

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN



TEMA:

SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA PARROQUIA PIARTAL, PROVINCIA DEL CARCHI

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación

AUTOR (A):

Sofia Lizeth López Pinchao

DIRECTOR (A):

MSc. Jaime Roberto Michilena Calderón

Ibarra, 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

II

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401987128
APELLIDOS Y NOMBRES:	López Pinchao Sofia Lizeth
DIRECCIÓN:	Cristóbal Tobar y Luis Madera
EMAIL:	sllopezp@utn.edu.ec
TELÉFONO:	0985545217

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Sistema de control y automatización para la producción de biogás en la parroquia Piartal, provincia del Carchi”.
AUTOR (ES):	López Pinchao Sofia Lizeth
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AA	29/01/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
ASESOR / DIRECTOR:	Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MsC.

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original, esta fue desarrollada sin violar los derechos de autor de terceros, de tal manera, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por esta razón se asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de existir reclamos por parte de terceros.

Ibarra, a los 30 días del mes de enero de 2024

EL AUTOR:

----- *Sofia López* -----

Nombre: Sofia Lizeth López Pinchao

CI: 0401987128



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN.

MAGISTER JAIME MICHILENA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE
TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de grado **"SISTEMA DE CONTROL Y
AUTOMATIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA PARROQUIA
PIARTAL, PROVINCIA DEL CARCHI"**. Ha sido desarrollado por la señorita Sofia
Lizeth López Pinchao bajo mi supervisión.

Es todo cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jaime Roberto Michilena Calderón".

Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MsC.

100219843-8

DIRECTOR

DEDICATORIA

Hoy quiero tomar un momento para expresar mi profundo agradecimiento por el apoyo incondicional que me han brindado durante toda la realización de este proyecto de titulación. Esta etapa de mi vida no habría sido posible sin su constante aliento, amor y paciencia.

Gracias a mi padre Hernán López, desde que era pequeña has sido mi ejemplo de dedicación y esfuerzo. Tu constante apoyo y sabias palabras me han guiado en este camino académico y personal. Siempre has estado ahí para escucharme, aconsejarme y brindarme la fuerza que necesitaba para superar los desafíos. Gracias por ser mi guía y mi mayor inspiración.

Hijo mío Christopher Rosero, tu presencia en mi vida ilumina cada día. Aunque a veces ha sido difícil equilibrar mis estudios y responsabilidades contigo, tu sonrisa y tu amor incondicional han sido mi motor. Cada vez que sentía que no podía más, recordaba que estoy construyendo un mejor futuro para ti y eso me daba la determinación para seguir adelante.

Este proyecto de titulación es más que un logro personal, es un logro compartido. Papá e hijo, ustedes son parte fundamental de cada página escrita, de cada desafío superado y de cada éxito alcanzado. Espero que sientan el mismo orgullo que siento yo al completar esta etapa.

Con todo mi amor y gratitud,

Sofia Lizeth López Pinchao

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por guiarme y darme la fortaleza para enfrentar cada obstáculo en este recorrido académico.

A mis padres Ana Julia y Hernán, su amor y constante respaldo han sido mi base. Gracias por creer en mí, por brindarme palabras de aliento y por siempre estar a mi lado. Su apoyo ha sido la fuerza que me impulsa a superarme día a día.

A mi esposo Anderson, tu amor incondicional, en medio de las largas horas de estudio y trabajo. Gracias por ser mi compañero de vida y por compartir este viaje conmigo.

A mi hijo Christopher, tu sonrisa y alegría han sido mi inspiración constante. Espero que veas en este logro un ejemplo de que los sueños se pueden alcanzar con esfuerzo y determinación.

A mis amigos, a Cinty, en especial a Sebas, tus palabras de aliento y tu disposición para escucharme han sido un apoyo invaluable en esta travesía. Gracias por ser un verdadero amigo en todo sentido.

A mi profesor Jaime Michilena, su orientación y conocimiento han sido cruciales para el éxito de mi proyecto. Gracias por su dedicación y por compartir su sabiduría conmigo.

A todos ustedes, les estoy enormemente agradecida. Esta titulación no solo es mía, sino también de todos ustedes que han estado a mi lado en este viaje.

Sofía Lizeth López Pinchao

INDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	2
CONSTANCIAS	3
CERTIFICACIÓN.	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO.....	6
INDICE DE CONTENIDOS	7
INDICE DE FIGURAS	12
INDICE DE TABLAS	16
RESUMEN.....	18
ABSTRACT	20
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES.....	22
1.1. Tema	22
1.2. Problema.....	22
1.3. Objetivos.....	23
1.3.1. Objetivo General	23
1.3.2. Objetivos Específicos.....	23
1.4. Alcance	25
1.5. Justificación	26
2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	28
2.1. Biomasa	28
2.1.1. Tipos de biomasa	28
2.1.2. Tabla comparativa de los desechos orgánicos	31
2.2. Digestión anaeróbica	32
2.2.1. Sustrato, sólidos totales y volátiles	33
2.2.2. pH y alcalinidad	34
2.3. Biodigestores	34
2.3.1. Tipos de biodigestores	35
2.3.2. Tabla comparativa de los tipos de biodigestores	38
2.3.3. Productos resultantes de la biodigestión.....	39
2.4. Parámetros de funcionamiento de un biodigestor.....	41

2.4.1.	Estiércol diario	42
2.4.2.	Mezcla con agua	44
2.4.3.	Temperatura y tiempo de retención	45
2.4.4.	Agitado – mezclado	46
2.4.5.	Diseño de calefacción solar pasiva	46
2.5.	Sistema automatizado	47
2.5.1.	Ventajas y desafíos de la automatización	48
2.5.2.	Arquitectura IoT.....	49
2.6.	Estándar IEEE 802.3 ethernet.....	50
2.6.1.	¿Cómo funciona IEEE 802.3 ethernet?.....	51
2.6.2.	Tabla comparativa de los estándares IEEE 802.3	52
2.7.	Estándar inalámbrico 802.11	53
2.7.1.	802.11n.....	53
2.7.2.	Estándar 802.11ac	54
2.8.	Sistema de control	56
2.8.1.	Controlador	56
2.8.2.	Sensores	57
2.8.3.	Actuadores	57
2.9.	Biodigestores automatizados	58
2.9.1.	Biodigestor automatizado para la granja Zapotepamba.....	58
2.9.2.	Automatización de un proceso de Biodigestión Anaeróbica	59
2.9.3.	Biodigestor a escala de laboratorio para producción de biogás a partir de residuos sólidos domésticos.....	60
2.9.4.	Diseño e implementación de biodigestores automatizados producción de biogás	61
2.9.5.	Generación de biogás en un biodigestor automatizado.....	62
2.9.6.	Telecontrol de Biodigestor para Generación de Gas	63
2.10.	Modelo iterativo.....	64
3.	CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DEL BIODIGESTOR	66
3.1.	Situación actual	66
3.1.1.	Condiciones geográficas y meteorológicas.....	67
3.1.2.	Distribución de gas licuado de petróleo.....	70
3.1.3.	Principal actividad económica	71

3.1.4.	Disponibilidad de equipos tecnológicos en el hogar.....	73
3.2.	Levantamiento de información.....	74
3.2.1.	Análisis de resultados	76
3.3.	Descripción general del sistema.....	78
3.3.1.	Propósito y ámbito del sistema.....	79
3.3.2.	Objetivos del sistema.....	80
3.3.3.	Beneficiarios.....	81
3.4.	Requerimientos.....	81
3.4.1.	Nomenclatura de los requerimientos.....	81
3.4.2.	Requerimientos de stakeholders.....	82
3.4.3.	Requerimientos del sistema.....	83
3.4.4.	Requerimientos de arquitectura.....	85
3.5.	Recursos.....	87
3.6.	Selección de hardware y software.....	87
3.6.1.	Hardware.....	88
3.6.1.1.	Sistema embebido.....	88
3.6.1.2.	Módulo de comunicación.....	89
3.6.1.3.	Sensor de temperatura.....	90
3.6.1.4.	Sensor de nivel.....	91
3.6.1.5.	Sensor de pH.....	93
3.6.1.6.	Sensor de gas metano.....	94
3.6.2.	Software.....	95
3.6.2.1.	Lenguaje de programación.....	95
3.6.2.2.	Servidor web.....	96
3.6.2.3.	Servidor en la nube.....	97
3.7.	Diseño del sistema.....	99
3.7.1.	Diagrama de Arquitectura de funcionamiento del sistema.....	99
3.7.2.	Adquisición de datos.....	100
3.7.2.1.	Diagrama de flujo del bloque 1.....	101
3.7.2.2.	Sensor de nivel de agua.....	102
3.7.2.3.	Sensor de nivel de materia orgánica.....	105
3.7.2.4.	Bomba de agua.....	110
3.7.2.5.	Sensor de flujo de agua.....	112

3.7.2.6.	Sensor de pH del sustrato.....	115
3.7.2.7.	Sensor de temperatura.....	119
3.7.2.8.	Agitador del sustrato	122
3.7.2.9.	Sensor de gas metano (CH ₄).....	123
3.7.2.10.	Diagrama de conexión del bloque 1.....	126
3.7.2.11.	Alimentación eléctrica	127
3.7.3.	Procesamiento y envío de datos	128
3.7.3.1.	Diagrama de flujo del bloque 2.....	128
3.7.3.2.	Comunicación serial entre microcontrolador y módulo de envío de datos.....	129
3.7.4.	Almacenamiento de datos	131
3.7.5.	Visualización de datos	134
3.7.5.1.	Diagrama de flujo de bloque 4.....	134
3.7.5.2.	Aplicación web con autenticación de usuario.....	135
4.	CAPITULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS.....	139
4.1	Implementación del sistema	140
4.1.1	Sistema de calefacción solar pasiva.....	140
4.1.2	Control de nivel de agua	143
4.1.3	Control de nivel de materia orgánica	143
4.1.4	Control de agitador y bomba de agua	144
4.1.5	Control de alarma, gas, flujo y temperatura.....	145
4.1.6	Colocación de sensor de pH.....	148
4.1.7	Válvula de alivio y filtro de ácido sulfhídrico	148
4.1.8	Llave de ingreso de sustrato.....	149
4.1.9	Salida de sustrato	150
4.1.10	Conexión entre dispositivo de procesamiento y módulo de comunicación.....	150
4.2	Prueba de implementación.....	151
4.3	Validación de requerimientos del sistema.....	156
4.3.1	Bloque de adquisición de datos.....	157
4.3.2	Bloque de procesamiento y envío de datos.....	157
4.3.3	Bloque de almacenamiento de datos.....	158
4.3.4	Bloque de visualización de datos	159
4.4	Resultados.....	159
5.	CAPÍTULO V: ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	164

5.1	Costos del proyecto	164
5.1.1	Costos de hardware	164
5.1.2	Costos de software	165
5.1.3	Costos de infraestructura.....	166
5.1.4	Costos de ingeniería.....	167
5.1.5	Costo total	169
5.2	Beneficios del proyecto	170
CONCLUSIONES		172
RECOMENDACIONES		174
ANEXOS.....		180
Anexo 1. Encuesta a Stakeholders		180
Anexo 2. Tabulación de encuestas		183
Anexo 3. Código de programación del módulo de procesamiento (transmisor).....		192
Anexo 4. Código de programación del módulo de comunicación (receptor)		198
Anexo 5. Código de programación de la plataforma web.....		201
Anexo 8. Diseño y elaboración de las placas		208
Anexo 8. Ficha técnica del microcontrolador Arduino nano		211
Anexo 9. Ficha técnica del Wemos D1 mini.....		212
Anexo 10. Ficha técnica del sensor MQ4		214
Anexo 11. Ficha técnica del sensor de temperatura DS18B20		217
Anexo 12. Ficha técnica del sensor de pH		219
Anexo 13. Ficha técnica del sensor de flujo.....		220
Anexo 14. Ficha técnica del sensor de nivel tipo flotador horizontal		222
Anexo 15. Ficha técnica del sensor ultrasónico HC-SR04		224
Anexo 16. Ficha técnica de la bomba de agua		226
Anexo 17. Ficha técnica del motor agitador		227

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Digestión anaerobia en sus tres etapas para producción de biogás y biofertilizante.....	32
Figura 2 Biodigestor construido con membrana de PVC	35
Figura 3 Biodigestor de domo fijo	37
Figura 4 Biodigestor de tambor flotante	37
Figura 5 Esquema de un digestor y sistema de almacenamiento de biogás.....	41
Figura 6 Componentes fundamentales del IoT	49
Figura 7 Diagrama de Flujo en Bloque de Proceso para la Producción de Biogás y Bioabono...	59
Figura 8 Modelación 3D del Sistema Automatizado	60
Figura 9 Ventana de control principal	60
Figura 10 Resultados del proceso de biodigestión en campo a los 12 días	61
Figura 11 Concentración de metano (CH ₄) monitoreado en el biodigestor durante el proceso...	62
Figura 12 Maqueta que indica el funcionamiento del sistema.....	63
Figura 13 Ubicación geográfica de la Parroquia Piartal	66
Figura 14 Vista superior de la cabecera de la Parroquia Piartal	68
Figura 15 Salida del sol y puesta del sol con crepúsculo en San Gabriel.....	69
Figura 16 Salida del sol y puesta del sol con crepúsculo en San Gabriel.....	70
Figura 17 Viviendas del barrio Bellavista en la parroquia Piartal	72
Figura 18 Diagrama de bloques del sistema	79
Figura 19 Diagrama de arquitectura de funcionamiento del sistema.....	100
Figura 20 Diagrama de flujo del bloque de adquisición de datos.....	101
Figura 21 Diagrama conexión del sensor de nivel tipo flotador.....	103
Figura 22 Código de funcionamiento del sensor de nivel tipo flotador.....	104
Figura 23 Prueba de sensor con flotador abajo	104
Figura 24 Prueba de sensor con flotador arriba	105
Figura 25 Diagrama de conexión del sensor HC-SR04	106
Figura 26 Código de calibración del sensor HC-SR04.....	107
Figura 27 Prueba de sensor HC-SR04 en tanque vacío con 9,3 kg de estiércol y lleno	107
Figura 28 Prueba de sensor HC-SR04 en tanque vacío, medio lleno y lleno	108
Figura 29 Código principal de funcionamiento del sensor ultrasónico	110

Figura 30 Medición de distancia (cm) y cantidad de estiércol (kg) con el sensor ultrasónico ...	110
Figura 31 Diagrama de conexión de la bomba de agua	111
Figura 32 Código de funcionamiento de la bomba de agua.....	111
Figura 33 Bomba de agua en funcionamiento	112
Figura 34 Diagrama de conexión del sensor de flujo de agua	112
Figura 35 Código de funcionamiento del sensor de flujo de agua.....	113
Figura 36 Midiendo el flujo de agua para calibración	114
Figura 37 Comparación entre sensor de flujo (izquierda) y recipiente con mediciones (derecha)	115
Figura 38 Diagrama de conexión de sensor de pH	115
Figura 39 Referencia de valor de pH y voltaje de salida	116
Figura 40 Código de funcionamiento del sensor de pH.....	117
Figura 41 Prueba de calibración del sensor de pH.....	118
Figura 42 Sensor de pH calibrado en voltaje	119
Figura 43 Diagrama de conexión del sensor de temperatura DS18B20	120
Figura 44 Código de funcionamiento del sensor de temperatura DS18B20.....	120
Figura 45 Sensor de temperatura DS18B20 instalado (izquierda) y resultados (derecha)	121
Figura 46 Diagrama de conexión del agitador	122
Figura 47 Código de funcionamiento del agitador	122
Figura 48 Funcionamiento del agitador	123
Figura 49 Diagrama de conexión del sensor MQ4	123
Figura 50 Curva de sensibilidad del sensor MQ4.....	124
Figura 51 Código de funcionamiento del sensor MQ4.....	125
Figura 52 Prueba (izquierda) y resultados (derecha) de funcionamiento del sensor MQ4.....	126
Figura 53 Diagrama de conexión del bloque 1 (adquisición de datos).....	127
Figura 54 Diagrama de flujo del bloque de procesamiento y envío de datos	128
Figura 55 Comunicación serial entre Arduino nano y Wemos D1 mini (bloque 2).....	130
Figura 56 Código del dispositivo transmisor (Arduino nano)	130
Figura 57 Código del dispositivo receptor (Wemos D1)	131
Figura 58 Diagrama general de almacenamiento de datos (bloque 3).....	132
Figura 59 Identificación de UID de usuario en Firebase	132

Figura 60 Reglas establecidas en la base de datos de Firebase.....	133
Figura 61 Obtención de valores en la base de datos en tiempo real de Firebase	134
Figura 62 Diagrama general de visualización de datos (bloque 4).....	135
Figura 63 Identificador de correo de usuario en Firebase.....	135
Figura 64 Ventana de registro de usuarios en la página web.....	136
Figura 65 Visualización de datos en la plataforma web	137
Figura 66 Proceso para generar aplicación web con Firebase Hosting	137
Figura 67 Diagrama de arquitectura de funcionamiento del sistema.....	140
Figura 68 Preparación del área para implementar el biodigestor	141
Figura 69 Cubierta para mejor aprovechamiento de sol	141
Figura 70 Corral de cerdos (izquierda) y materia orgánica (derecha)	142
Figura 71 Sensor de nivel de agua tipo flotador instalado e indicador led encendido	143
Figura 72 Colocación del sensor de nivel de materia orgánica y botón de inicio de medición..	143
Figura 73 Relé para activar bomba de agua (rojo) y agitador (verde)	144
Figura 74 Minibomba de agua (izquierda) y motor agitador (derecha).....	145
Figura 75 Conexión de sensores a la placa	145
Figura 76 Colocación del sensor de temperatura vista interna y vista externa.....	146
Figura 77 Colocación del sensor de gas metano.....	147
Figura 78 Colocación del sensor de flujo de agua	147
Figura 79 Sensor de pH colocado dentro del tanque de sustrato	148
Figura 80 Válvula de alivio de presión de gas	148
Figura 81 Filtro de ácido sulfhídrico. Construcción e implementación.....	149
Figura 82 Indicador led de aviso y llave para ingreso de sustrato	149
Figura 83 Tubería para salida de biofertilizante. Vista interna y externa.....	150
Figura 84 Implementación de dispositivos de procesamiento y de comunicación.....	151
Figura 85 Instrucciones a seguir por el usuario para el ingreso de estiércol	152
Figura 86 Verificando estado de pH en la plataforma web	153
Figura 87 Verificando estado de tanque de agua mediante el indicador led rojo	153
Figura 88 Ingreso de estiércol en el tanque de mezcla	154
Figura 89 Medición de estiércol añadido.....	154
Figura 90 Cantidad de estiércol medida por el sensor	155

Figura 91 Cantidad de agua agregada.....	155
Figura 92 Indicador led encendido y llave de ingreso de sustrato abierta.....	156
Figura 93 Valores de PH medidos durante 24 días.....	160
Figura 94 Valores de temperatura durante 24 días.....	161
Figura 95 Valores de gas metano (CH ₄) durante 24 días.....	162
Figura 96 Llama generada por el biogás y llama generada de la quema de madera.....	163
Figura 97 Tabulación de pregunta 1.....	183
Figura 98 Tabulación de pregunta 2.....	183
Figura 99 Tabulación de pregunta 3.....	184
Figura 100 Tabulación de pregunta 4.....	185
Figura 101 Tabulación de pregunta 5.....	185
Figura 102 Tabulación de pregunta 6.....	186
Figura 103 Tabulación de pregunta 7.....	187
Figura 104 Tabulación de pregunta 8.....	187
Figura 105 Tabulación de pregunta 9.....	188
Figura 106 Tabulación de pregunta 10.....	189
Figura 107 Tabulación de pregunta 11.....	189
Figura 108 Tabulación de pregunta 12.....	190
Figura 109 Tabulación de pregunta 13.....	190
Figura 110 Tabulación de pregunta 14.....	191

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros principales del estiércol animal.....	31
Tabla 2 Principales características de los biodigestores	38
Tabla 3 Porcentaje de los gases presentes en el biogás	40
Tabla 4 Índices para determinar la producción de biogás a partir del peso y características de biomasa 43	43
Tabla 5 Ejemplo de cálculo de estiércol diario	43
Tabla 6 Mezcla con agua para la carga diaria.....	44
Tabla 7 Relación entre temperatura y tiempo de retención recomendado para lograr producciones de biogás aceptables	45
Tabla 8 Diferencias entre estándares IEEE 802.3.....	53
Tabla 9 Parámetros de redes reales.....	56
Tabla 10 Indicadores de TIC 2022 (Nacional)	73
Tabla 11 Listado de stakeholders.....	81
Tabla 12 Definición de abreviatura.....	82
Tabla 13 Requerimientos de stakeholders	83
Tabla 14 Requerimientos del sistema	84
Tabla 15 Requerimientos de arquitectura	86
Tabla 16 Recursos Humanos	87
Tabla 17 Especificaciones técnicas de los sistemas embebidos	88
Tabla 18 Elección de sistema embebido.....	89
Tabla 19 Especificaciones de los módulos de comunicación	89
Tabla 20 Elección de módulo de comunicación	90
Tabla 21 Especificaciones de los sensores de temperatura.....	90
Tabla 22 Elección de sensor de temperatura.....	91
Tabla 23 Especificaciones técnicas de los sensores de nivel.....	92
Tabla 24 Elección de sensor de nivel.....	92
Tabla 25 Especificaciones técnicas de los sensores.....	93
Tabla 26 Elección de sensor de pH.....	93
Tabla 27 Especificaciones técnicas de los sensores MQ2 y MQ4.....	94
Tabla 28 Elección del sensor de gas metano	94

Tabla 29 Especificaciones de los lenguajes de programación	95
Tabla 30 Elección de lenguaje de programación	96
Tabla 31 Especificaciones del servidor web	96
Tabla 32 Elección del servidor web	97
Tabla 33 Especificaciones de los servidores en la nube	98
Tabla 34 Elección del servidor	98
Tabla 35 Pruebas para medir cantidad de estiércol.....	108
Tabla 36 Eliminando el offset.....	109
Tabla 37 Detalle de consumo de corriente y voltaje de cada dispositivo	128
Tabla 38 Verificación de requerimientos para el bloque de adquisición de datos.....	157
Tabla 39 Verificación de requerimientos para el bloque procesamiento y envío de datos.....	158
Tabla 40 Verificación de requerimientos para el bloque de almacenamiento de datos	158
Tabla 41 Verificación de requerimientos para el bloque de visualización de datos	159
Tabla 42 Cantidad de estiércol y agua ingresados	160
Tabla 43 Costos de hardware para implementación del proyecto	165
Tabla 44 Costos de software del proyecto	166
Tabla 45 Costos de los componentes usados en el armado de la infraestructura	166
Tabla 46 Costos de ingeniería para el desarrollo del proyecto	169
Tabla 47 Costo total del proyecto	169

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en el diseño e implementación de un sistema innovador en la parroquia Piartal para la producción eficiente de biogás. Este sistema utiliza estiércol de cerdo como materia prima debido a su mayor contenido de humedad en comparación con otros tipos de estiércol. Los parámetros cruciales para la producción óptima de biogás, como la temperatura, el pH, la concentración de gas metano y la cantidad de estiércol ingresada se mantienen bajo control.

La metodología empleada en el presente proyecto de titulación se basa en un enfoque de investigación-acción, que combina la investigación teórica con la implementación práctica en el campo. Se realizó el diseño e implementación de un sistema de control que incorpora sensores para medir variables clave, como la temperatura, el pH y la concentración de gas metano en el biodigestor. La automatización se logró mediante la programación de un controlador lógico programable (PLC) para controlar y monitorear automáticamente las condiciones del proceso, optimizando así la producción de biogás. Se llevaron a cabo pruebas en un biodigestor piloto en la parroquia Piartal para validar el funcionamiento del sistema. Los datos recopilados se analizaron para evaluar la eficiencia y la mejora en la producción de biogás. Además, se realizaron encuestas con los habitantes de la parroquia que se dedican a la crianza de cerdos para recopilar datos y sus percepciones sobre la viabilidad del sistema. Esta metodología integral permitió no solo el desarrollo tecnológico, sino también la evaluación de su aplicabilidad en el contexto local y su impacto potencial en la comunidad.

La plataforma web proporciona una interfaz intuitiva para que los usuarios autorizados accedan y supervisen el funcionamiento del sistema, permitiéndoles obtener información en

tiempo real, como valores de temperatura, pH, concentración de gas metano y cantidad de sustrato (mezcla de estiércol con agua). Este monitoreo empodera a los usuarios para tomar decisiones informadas y ajustar el pH según sea necesario, ya que es un parámetro crucial para mantener un ambiente propicio para la actividad microbiana, esencial en el proceso de producción de biogás. En este contexto, es importante destacar que se registró una concentración de gas metano de 19,34 ppm en los datos recopilados durante 24 días, de los cuales se utilizaron 12 ppm para la cocción de 50 libras de papa, el alimento principal de los cerdos. Aprovechando el potencial del biogás como fuente de energía renovable, el proyecto contribuye a la reducción de residuos y a la generación de energía limpia en la comunidad local.

ABSTRACT

The present project focuses on the design and implementation of an innovative system in the Piartal parish for the efficient production of biogas. This system utilizes pig manure as raw material due to its higher moisture content compared to other types of manure. Crucial parameters for optimal biogas production, such as temperature, pH, methane gas concentration, and the amount of entered manure, are kept under control.

The methodology employed in this graduation project is based on an action research approach, combining theoretical research with practical implementation in the field. The design and implementation of a control system incorporating sensors to measure key variables, such as temperature, pH, and methane gas concentration in the biodigester, were carried out. Automation was achieved through the programming of a Programmable Logic Controller (PLC) to automatically control and monitor process conditions, thereby optimizing biogas production. Tests were conducted on a pilot biodigester in the Piartal parish to validate the system's functionality. The collected data were analyzed to assess efficiency and improvement in biogas production. Additionally, surveys were conducted with parish residents involved in pig farming to gather data and perceptions about the viability of the system. This comprehensive methodology allowed not only technological development but also the evaluation of its applicability in the local context and its potential impact on the community.

The web platform provides an intuitive interface for authorized users to access and monitor the system's operation, enabling them to obtain real-time information, such as temperature values, pH, methane gas concentration, and substrate quantity (manure-water mixture). This monitoring empowers users to make informed decisions and adjust pH as

needed, as it is a crucial parameter for maintaining a conducive environment for microbial activity, essential in the biogas production process. In this context, it is important to note that a methane gas concentration of 19.34 ppm was recorded in the data collected over 24 days, of which 12 ppm were used for cooking 50 pounds of potatoes, the main food for the pigs. Leveraging the potential of biogas as a renewable energy source, the project contributes to waste reduction and the generation of clean energy in the local community.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

En este apartado se redacta los antecedentes que han sido necesarios para el desarrollo del proyecto, incluyendo el análisis de la problemática, los objetivos generales y específicos, la definición del alcance y la justificación correspondiente.

1.1. Tema

Sistema de control y automatización para la producción de biogás en la parroquia Piartal, provincia del Carchi

1.2. Problema

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es subsidiado en Ecuador, entregándolo a los domicilios a un precio de \$1,60 a escala nacional, en cambio en el país vecino Colombia, en Ipiales, se lo entrega a un precio de 74.000 pesos (\$18,90) (Inconformismo en Ipiales: precio de la pipeta de gas aumentó en \$5.000, 2021). Por este motivo se genera el contrabando de dicho combustible desde la provincia del Carchi hacia Ipiales, en donde se lo comercializa hasta un aproximadamente \$17 más (Cabezas, 2021). En la provincia del Carchi al ser una zona fronteriza con Colombia, se toma como recomendación el control del GLP por parte de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH) como una forma de frenar el contrabando (Agencia de Regulación y Control, s. f.). Por ello, el gas doméstico se expende mediante un sistema que funciona con la cédula de la cabeza de hogar, asignando un cupo limitado de acuerdo con el número de integrantes de cada familia. Por ejemplo, una familia de hasta tres miembros tiene acceso a un cilindro de gas por mes.

Por otro lado, una de las actividades principales de los habitantes de la parroquia Piartal, situada en la zona centro-oriental de la provincia del Carchi, es la crianza de especies menores

como cuyes, gallinas y chanchos, para su propio consumo o comercialización local. Parte de la alimentación de estos animales es cocinada, lo que demanda una gran cantidad de GLP y el adquirido no es suficiente. En consecuencia, se opta por métodos tradicionales como es la quema de madera, siendo una alternativa para la cocción de dichos alimentos. En adición, los desperdicios orgánicos que se originan de estos animales son bastantes, y por falta de conocimiento de los habitantes, en la comunidad no cuentan con un método de aprovechamiento de estos, pues se los desecha por la tubería de alcantarillado, deteriorándolo y generando una mayor contaminación al medio ambiente.

Una forma de solventar la necesidad de GLP es el aprovechamiento de los residuos orgánicos de los animales mediante un biodigestor controlado de manera automática que permita conocer el estado del proceso de producción, la cantidad generada y almacenada de biogás. De esta forma se busca aminorar las preocupaciones de las familias de la parroquia Piartal, en cuanto a la cantidad mensual de este combustible y manejo del biodigestor.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Implementar un sistema de control y automatización para el proceso de producción de biogás mediante la ubicación de sensores en un biodigestor, abasteciendo de este combustible a los habitantes de la parroquia Piartal, provincia del Carchi, como un recurso extra al GLP.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar tipos de biodigestores y desechos orgánicos que permitan una mejor producción de biogás, mediante el uso de fuentes bibliográficas.

- Evaluar la situación actual de la parroquia Piartal para levantar los requerimientos del sistema en base al modelo iterativo.
- Diseñar del sistema de control y automatización del biodigestor con los componentes que cumplan los requerimientos con el fin de obtener mejores resultados en la implementación.
- Implementar y realizar pruebas de funcionamiento del sistema operando en la parroquia Piartal, provincia del Carchi.
- Realizar un análisis costo-beneficio con el fin de determinar si el sistema es deseable con relación al bienestar social de los habitantes de la parroquia Piartal.

1.4. Alcance

El presente proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema que permita controlar y automatizar el proceso de producción de biogás a partir de residuos orgánicos, con el fin de proveer de este combustible a los habitantes de la parroquia Piartal, provincia del Carchi, como un recurso extra al Gas Licuado de Petróleo.

Para llevar a cabo este proyecto, se hace uso del modelo iterativo, que cuenta con cinco etapas. En la primera etapa se recopila y analiza información bibliográfica necesaria para establecer una base de conocimientos sobre tipos de biodigestores, materia orgánica, digestión anaerobia, entre otros, siendo de gran utilidad para el desarrollo del proyecto.

Como segunda etapa se analiza la situación actual de la cabecera de la parroquia Piartal mediante entrevistas y encuestas a los habitantes (stakeholders) que realizan como una de sus actividades principales la crianza de animales de granja como cuyes, gallinas y chanchos. Así como también la evaluación de la zona en donde se implementará el sistema con arquitectura IoT para obtener los requerimientos de estos, a través de visitas en sitio, inspecciones, entre otras.

En la tercera etapa se diseña el sistema de control y automatización del proceso de producción de biogás, con el software y hardware que se adapte mejor a los requerimientos determinados en la segunda etapa. Se toma como referencia una familia que conste de no más de tres miembros y que cuente con un número de animales de granja que permitan generar una cantidad adecuada de biogás para la cocción de alimentos de los mismos animales. El sistema recopila la información del proceso de producción de biogás mediante sensores que miden parámetros de humedad, presión, gas metano, entre otros. Esta información es procesada y en

caso de ser necesario, emite respuestas inmediatas a los actuadores que realizarán una tarea específica. El estado del proceso de producción, cantidad generada y almacenada de biogás se podrá visualizar mediante una aplicación para que el usuario mantenga una supervisión constante del sistema de forma remota.

Como cuarta etapa se realiza la implementación y pruebas del sistema operando en la parroquia Piartal, provincia del Carchi, midiendo los parámetros más importantes que influyen en la producción del biogás, con los componentes definidos en la tercera etapa.

Como quinta etapa se realiza un análisis costo-beneficio con el fin de determinar si el sistema es deseable con relación al bienestar social de los habitantes de la parroquia Piartal.

1.5. Justificación

Este proyecto toma como punto de partida lo estipulado en Plan de Creación de Oportunidades, en sus Objetivos del Eje de Transición Ecológica, en donde menciona la protección de recursos naturales y fomentar medidas de adaptación y mitigación al cambio climático (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

Con la implementación de un sistema de control y automatización de un biodigestor, se busca aportar con un método de aprovechamiento de los desechos orgánicos que se originan de los animales de granja, obteniendo como principal producto una energía térmica renovable también conocido como biogás, la cual será usada para la cocción de alimentos de los mismos animales y de esta forma contribuir con una solución a los problemas que conlleva tener una cantidad limitada de GLP (Gas Licuado de Petróleo) y el desecho inadecuado de la materia orgánica. Esto es, mejorar la calidad de vida de las familias de la parroquia Piartal al contar con otra forma de abastecerse de un combustible que resulta económico y amigable con el

medio ambiente, ya que también se disminuye la quema de madera y promueve la conservación de una de las áreas protegidas que forma parte del territorio de la parroquia Piartal llamado “Bosque de los Arrayanes” (Chiriboga et al., 2020). Del mismo modo, se acorta el tiempo de deterioro del sistema de alcantarillado, al adoptar un método factible de tratamiento a este tipo de materia orgánica.

Además, se estima que, a partir de la aplicación de tecnología en el biodigestor, se evite la interacción humana en el proceso y mejorar la eficiencia de este al generar biogás, pues se mantiene un control automático de los parámetros más importantes que influyen en su producción.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En esta sección se lleva a cabo la primera etapa del presente proyecto, en donde se recopila y analiza información bibliográfica sobre los biodigestores, desechos orgánicos de los animales de granja, digestión anaerobia, biogás, sistemas de agitación, elementos de un sistema de control, entre otros temas que intervienen en el desarrollo de dicho proyecto. En este apartado también se incluye el estado del arte.

2.1. Biomasa

La biomasa es un material orgánico renovable que se genera a partir de plantas y animales. En muchos países, la biomasa sigue siendo un combustible importante, especialmente para cocinar y calentar, aportando con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Para el caso de las plantas, la biomasa puede transformarse en combustible líquido o gaseoso renovable a través de ciertos procesos.

El uso de la biomasa como vector de energía juega un papel importante ya que permite potencializar los vectores bioenergéticos de una forma más eficaz, ratificando la protección del medio ambiente.

2.1.1. Tipos de biomasa

La demanda de energía cada vez es mayor y casi todo el combustible fósil, como el petróleo crudo y el carbón se va agotando. Estos combustibles no son renovables y para complementar su suministro, los investigadores exploran alternativas disponibles en forma de biocombustibles, siendo fáciles de reponer, ya que todo lo que se necesita es biomasa. Esta se presenta en forma de material vegetal y animal como desechos humanos y animales, madera, residuos agrícolas, forestales, industriales, etc.

2.1.1.1. Residuos agrícolas.

Los residuos de cultivos contienen todo tipo de desechos agrícolas, como paja, bagazo, tallos, hojas, cáscaras, etc. Los residuos de cultivos característicos están muy infrautilizados, como la paja y las cáscaras de arroz, que se originan en el procesamiento del arroz, las cuales se pueden usar para producir energía. En la actualidad, las prácticas agrícolas echan estos residuos al suelo, los queman, alimentan al ganado o simplemente los dejan que se descompongan. Sin embargo, pueden usarse para producir biocombustible o procesarse para generar calor o electricidad.

2.1.1.2. Desechos animales.

Gran cantidad de desechos animales son apropiados como fuentes de energía. Los más usuales son las aves de corral y el estiércol animal, siendo recolectado y usado como fertilizante líquido para la agricultura. El control ambiental en la contaminación del agua y el olor figuraba que las granjas debían tener controles de gestión de residuos, proporcionando un buen estímulo para convertir los residuos en energía.

Un excelente método de conversión para estos desechos es la digestión anaeróbica, que produce biogás y se usa como combustible para cocinar, calentar agua o generar electricidad a través de pequeños generadores de gas.

Las tecnologías de biomasa presentan opciones atractivas para mitigar muchos de los desafíos ambientales de los desechos de estiércol y las más comunes son la combustión, la digestión anaeróbica y el compostaje.

Según Freire, Villamar y Zapata (2017), “En Ecuador, potencialmente se generan alrededor de 140 mil ton/día de residuos pecuarios (porcinos y bovinos)” (p. 1).

A nivel nacional, una de las actividades primordiales en la economía del Ecuador es la agropecuaria. “De acuerdo con la última Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, para los rubros porcino y bovino existen alrededor de 4,12 y 1,64 millones de cabezas de ganado, respectivamente” (Freire et al., 2017).

2.1.1.3. Residuos forestales.

La obtención de biomasa a partir de residuos forestales ha sido el foco de grandes estudios, con el fin de conservar los bosques y la prevención de incendios forestales.

Los residuos forestales son una composición de árboles que consisten en hojas, troncos y ramas. Principalmente se trata de restos de árboles talados y son eliminados mediante el apilamiento y la quema en el sitio (bosque).

2.1.1.4. Residuos industriales.

Los residuos forestales se originan de la fabricación o procesos industriales. Los cuales incluyen basura de restaurantes, tierra, mampostería, concreto, chatarra, aceite, productos químicos, hierbas y desechos de madera. Ciertos productos como pesticidas, pinturas o líquidos de limpieza son desechados por establecimientos particulares o comerciales, y pueden definirse como residuos peligrosos. Estos pueden generar consecuencias peligrosas para la salud y el medio ambiente, pues al no ser gestionados correctamente, llegan a ser tóxicos, inflamables, corrosivos o reactivos.

Los residuos líquidos se derivan del lavado de frutas, verduras, carnes, pescados y otros procesos que contienen almidones, azúcar y otras materias sólidas y disueltas. Cuando estos residuos se digieren anaeróbicamente, producen biogás o se fermentan para generar etanol.

2.1.1.5. Residuos sólidos y aguas residuales.

Las aguas residuales de los procesos químicos en las industrias suelen contener compuestos fácilmente identificables que contribuyen a la contaminación del agua. Este líquido no es apto para el consumo, recreación, agricultura e industria. Además, disminuye la calidad de los lagos y ríos, destruyendo la vida acuática y su capacidad de reproducción. En consecuencia, es un peligro para la salud humana.

Cada día se recoge gran cantidad de residuos domésticos, los cuales son eliminados en campos abiertos. Estos desechos pueden convertirse en energía por digestión anaeróbica o mediante combustión directa.

2.1.2. Tabla comparativa de los desechos orgánicos

Debido a que el proyecto se enfoca en el uso de estiércol animal, principalmente en los animales de granja, en la Tabla 1 se muestran sus parámetros a tomar en cuenta en la selección del tipo de materia orgánica que se ingresa al biodigestor.

Tabla 1

Parámetros principales del estiércol animal

Tipo	Relación estiércol:agua	kg de estiércol por cada 100 kg de peso vivo	Temperatura de trabajo (°C)	Tiempo de retención (días)	Biogás (l/kg)
Vaca	1:3	8	23-27	50	35
			18-22	65	33
			13-17	90	31
			23-27	35	61
Cerdo	1:4	4	18-22	50	59
			13-17	65	54

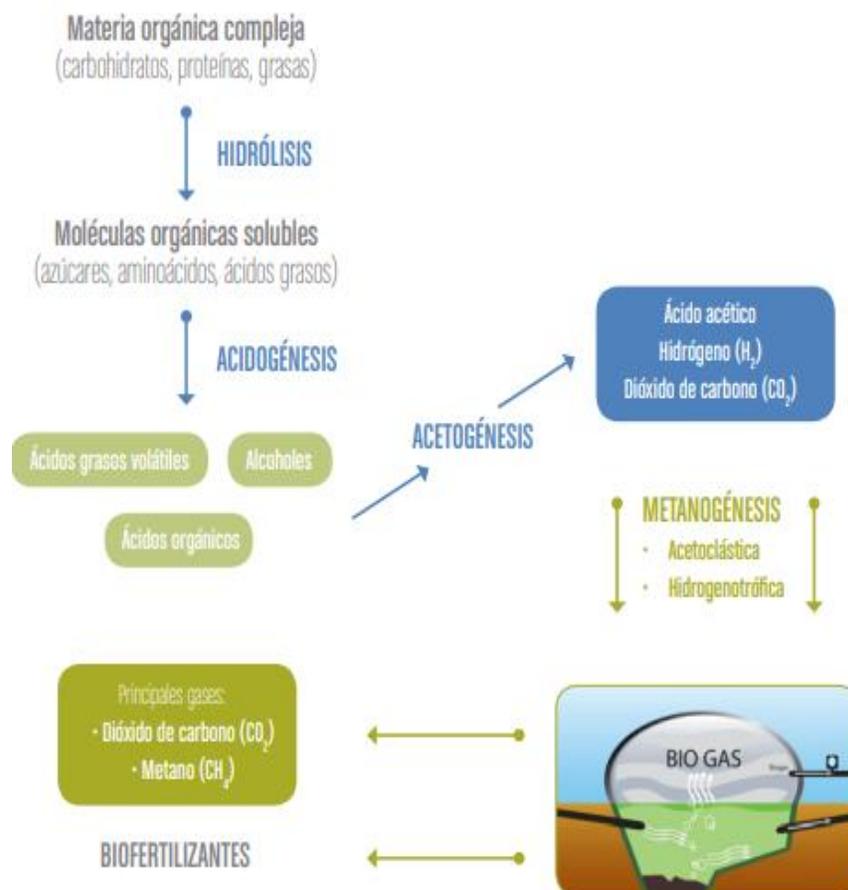
Fuente: (Martí, 2019).

2.2. Digestión anaeróbica

Las bacterias operan bajo un proceso que requiere condiciones ambientales adecuadas, como la ausencia de aire, temperaturas superiores a 20 °C. Bajo estas consideraciones, se desarrollan tres fases: hidrólisis, acidogénesis y acetogénesis, y metanogénesis como se observa en la Figura 1

Figura 1

Digestión anaerobia en sus tres etapas para producción de biogás y biofertilizante.



Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019).

También se debe entender que los tres procesos ocurren de forma simultánea en los digestores.

- **Hidrólisis:** en este proceso actúan bacterias hidrolíticas, que producen enzimas extracelulares. Así, las cadenas de carbohidratos complejos (proteínas y lípidos) se descomponen en materia orgánica soluble (aminoácidos, azúcares y grasas).
- **Acidogénesis y acetogénesis:** los microorganismos acidogénicos y acetogénicos convierten los azúcares y aminoácidos, liberando principalmente dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno molecular (H₂), amoníaco y ácidos orgánicos. Las bacterias acidogénicas pueden bajar el pH (acidificación), por lo que es fundamental controlarla para mantener el rango de pH definido en la siguiente fase.
- **Metanogénesis:** la última fase de la digestión anaeróbica es en donde los microorganismos metanógenos convierten el ácido acético en metano y dióxido de carbono (vía metabólica acetoclástica), y el hidrógeno y CO₂ en metano (vía metabólica hidrogenotrófica). Esta fase tiene sensibilidad a los valores de pH altos y bajos. El rango recomendado es entre 6.5 y 8 de pH.

2.2.1. Sustrato, sólidos totales y volátiles

La materia orgánica que ingresa al biodigestor se le conoce como sustrato. La materia orgánica se puede caracterizar por muchos parámetros, pero los principales son tres: sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y pH. Para conocer estos parámetros es necesario realizar análisis de laboratorio, pero en el caso de los estiércoles de animales, ya tienen resultados que sirven de referencia. (Martí, 2019, p. 26)

Una de las materias orgánicas más utilizadas es el estiércol fresco de ganado vacuno, que contiene alrededor de 16% de material sólido y 84% de agua, y que se recomienda mezclar en proporción 1:1 con agua. El cieno de fermentación para introducir en una

planta de biogás tiene entonces 8% de material sólido y 92% de agua. (Guardado, 2007)

2.2.2. pH y alcalinidad

Potencial Hidrogeno (pH) es un parámetro que afecta directamente el crecimiento de los microorganismos durante la fermentación. Un nivel de pH 7 indica que el sustrato tiene una concentración neutra, además en su fase inicial (ácida) presenta niveles de pH menores a 6 y a medida que aumenta la producción de biogás este se va elevando hasta valores que oscilan un rango de 7. Un pH ácido del sustrato promueve la inhibición en la actividad de las bacterias metanogénicas, también hay un aumento en la cantidad de gas carbónico en el biogás. Por encima de un valor de pH 5, la eficiencia de producción de CH₄ es de más del 75%. (Briceño et al., 2021)

La alcalinidad es otro parámetro utilizado para evaluar la digestión anaerobia, ya que es un indicador de la capacidad del biodigestor de mantener un pH adecuado [...] En general, con los estiércoles de animales, la alcalinidad no es un problema, y solo se merece la pena medirlo cuando hay un problema de acidificación del biodigestor (cuando se acidifica un biodigestor produce CO₂, pero no metano, ya que debido al bajo pH no se desarrolla la etapa metanogénica). (Martí, 2019)

2.3. Biodigestores

Según Martí (2008) un biodigestor es una técnica natural que, mediante la ausencia de oxígeno, realiza la digestión anaerobia de las bacterias que residen en el estiércol, para transformar éste en biogás y biofertilizante.

Este sistema o también llamado digestor de metano utiliza la descomposición de la materia orgánica, como estiércol y restos de comida, similar a un inodoro biológico que descompone

los desechos humanos donde ciertas bacterias de alto grado crecen constantemente al digerir la materia (en temperaturas cálidas) y estas se convierten en un tipo de combustible alternativo al gas licuado de petróleo.

2.3.1. Tipos de biodigestores

El biodigestor es una forma económica y cómoda de generar energía a través de una estructura sellada. Los biodigestores más comunes en las zonas rurales de Latinoamérica y de bajo costo son: tubular, domo fijo y domo flotante.

2.3.1.1. Biodigestor tubular.

También se le llama taiwanés y consiste en un pozo plano de hormigón revestido con una bolsa de plástico o cilindro, como se observa en la Figura 2. Esta bolsa debe tener conexiones para entrada de residuos orgánicos y salida de biogás.

El cilindro se llena de agua y aire, y luego se le agrega la carga de residuos orgánicos.

El biodigestor tubular plástico radica en una especie de bolsa elongada de polietileno con una relación longitud-ancho de aproximadamente 5:1, dicha bolsa se sitúa en una fosa o trinchera. Este biodigestor tiene un costo mucho menor al de cúpula fija, aproximadamente la mitad, y posee una vida útil inferior (menos de un 25% de la vida del biodigestor de cúpula fija) (Suárez et al., 2012).

Figura 2

Biodigestor construido con membrana de PVC



Fuente:(FAO, 2019)

La principal desventaja es el tiempo de vida útil, el cual es estimado entre 2-5 años para los de plástico y 10 años para los mejor elaborados con materiales como a geomembrana. Los volúmenes máximos que llegan a alcanzar son entre 5 y 20 m^3 , siendo limitado en escenarios con alta disponibilidad de biomasa.

2.3.1.2. Domo fijo.

Es del tipo semicontinuo y trabaja con presión variable de biogás según la producción. La descarga se realiza de forma total a los 120-180 días y se reinicia el ciclo. Este biodigestor mantiene un volumen constante del biogás, mientras que la presión varía con relación a la cantidad de biogás producida o liberada.

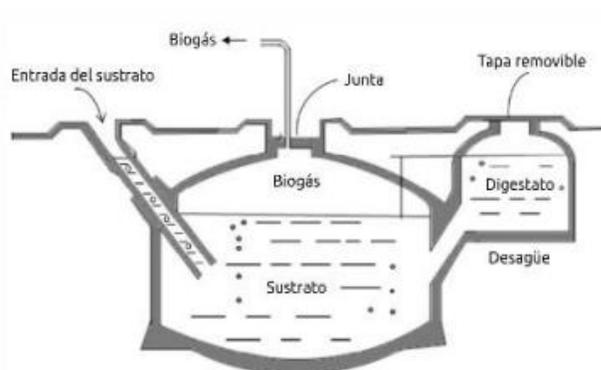
La forma del biodigestor de cúpula fija, de origen chino, se asemeja a una esfera y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, como se puede observar en la Figura 3, la cual se obtiene al desplazar el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidro presión; los materiales de construcción son bloques y/o ladrillos, cemento y acero. (Suárez et al., 2012)

Los biodigestores de domo fijo pueden manipular sustratos de alto contenido de fibra, como excremento animal de hasta 500 cerdos. “Poseen una vida útil estimada

entre 15 y 20 años; y pueden llegar a alcanzar de 6 a 91 m^3 en aplicaciones domésticas y hasta 740 m^3 en aplicaciones industriales” (Nzila et al., 2012).

Figura 3

Biodigestor de domo fijo



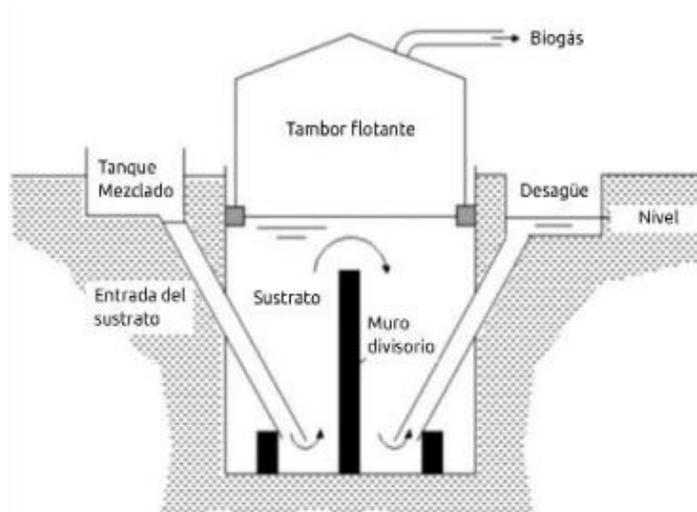
Fuente: (Garfi et al., 2012)

2.3.1.3. Domo flotante.

El biodigestor de domo flotante es montado bajo tierra con cemento, hierro, ladrillos y arena. Se le llama de esta forma debido al tambor metálico que sobresale en la superficie del suelo, manteniendo una presión constante en el biogás con relación al peso que ejerce del tambor o masas que se le añadan, como se muestra en la Figura 4. El tiempo de vida útil podría ser aproximadamente 12-15 años debido a la corrosión.

Figura 4

Biodigestor de tambor flotante



Fuente: (Garfi et al., 2012)

Estos biodigestores llegan a alcanzar volúmenes de 5-70 m^3 a nivel doméstico y hasta 248 m^3 a escala industrial.

2.3.2. Tabla comparativa de los tipos de biodigestores

A continuación, en la Tabla 2 se detalla las principales características de construcción y funcionamiento que presentan los biodigestores.

Tabla 2

Principales características de los biodigestores

Tipo	Régimen	Carga	Ubicación	Material	Vida útil
Chino	semicontinuo	Diaria	Bajo tierra	Tanque de plástico, ladrillo u hormigón	15 años
Tubular o Taiwán	semicontinuo	Diaria	Semienterrado	Plástico doble capa Geomembrana	5-7 años 10-15 años
Domo fijo	semicontinuo	Diaria	Subterránea	Cemento y ladrillo	20 años

Domo flotantes	semicontinuo	Diaria	Subterránea	ladrillo	12-15 años
-------------------	--------------	--------	-------------	----------	---------------

Fuente: (Martí, 2019).

2.3.3. Productos resultantes de la biodigestión

Los productos finales que se obtienen de la digestión anaerobia son el biogás que es utilizado como combustible y el bio usado como abono en el sector agrícola.

2.3.3.1. Biogás

El biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica como el estiércol y la basura orgánica, la composición química del biogás indica que el componente más abundante es el metano (CH₄); este es el primer hidrocarburo de la serie de alcanos y un gas de efecto invernadero. (Suárez et al., 2012, p.220)

Este combustible tiene un alto valor calórico de 4700 a 5500 Kcal/m³ y puede ser utilizado en la cocción de alimentos, para la iluminación de viviendas, así como la alimentación de motores de combustión interna que accionan, máquinas, herramientas, molinos de granos, generadores eléctricos, bombas de agua y vehículos agrícolas o de cualquier otro tipo. (Villegas, 2006, p.4)

Según Martínez (2015) en un estudio realizado argumenta que “el ganado porcino produce 4 kg de estiércol fresco por día por cabeza por lo que cada cerdo es capaz de producir 0,33 m³ de biogás útil al día, existen 3 opciones empleadas para usar el biocombustible” (p. 106).

La composición de biogás es de acuerdo con el tipo de desecho orgánico que se

utilice y de las condiciones en las que ha sido procesado. Los principales componentes de biogás y en mayor porcentaje son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), como se observa en la Tabla 3. Aunque la composición del biogás varía de acuerdo con la biomasa utilizada, a continuación, se presenta una referencia. (Fuentes, 2012)

Tabla 3

Porcentaje de los gases presentes en el biogás

GAS	VOLUMEN
Metano, CH ₄	54 – 70 %
Dióxido de carbono, CO ₂	27 -45 %
Hidrógeno, H ₂	1 -10 %
Nitrógeno, N ₂	0.5 -3 %
Ácido sulfhídrico, H ₂ S	0.1 %

Fuente: Energías renovables para el desarrollo (como se citó en Fuentes, 2012).

2.3.3.2. Biol

El biol es un fertilizante de gran utilidad para los cultivos, el cual permite que el productor pueda fertilizar sus campos, ahorrando precios de compra de fertilizantes sintéticos, y dándole un valor agregado a su producción por la aplicación de material orgánico. De esta forma, el biol que se obtiene de los biodigestores, permite que el productor, de cierta forma, sea independiente respecto a insumos externos, aportando un valor agregado a la cosecha y suelo (Martí, 2019).

La digestión anaeróbica se produce dentro de un espacio cerrado y hermético, es decir, un biodigestor, dentro del cual se fermenta el estiércol mezclado con agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca el fertilizante líquido abundante

en nitrógeno, fósforo y potasio, que conocemos como biol.

2.4. Parámetros de funcionamiento de un biodigestor

Existe terminología y componentes que se deben usar al trabajar con un biodigestor, sin importar su tipo.

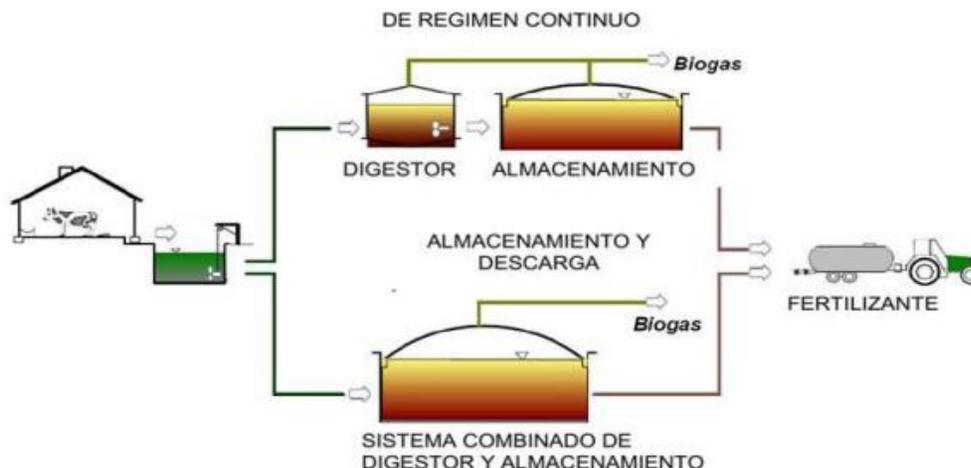
Según Arrieta (2016) el sustrato (mezcla de materia orgánica y agua) que se ingresa al digestor se denomina afluente. Después de haber transcurrido un tiempo dentro del digestor, se obtiene el efluente o digestato.

La capacidad del reactor puede ser dividido en una parte inferior o de trabajo, ocupado por el sustrato (mezcla de agua con la materia orgánica), y una parte superior o de almacenamiento de biogás. Este último también es denominado cúpula, domo o campana de gas. En caso de contar con un almacenamiento externo para el biogás, el tamaño de la cúpula no será muy voluminoso como se observa en la Figura 5.

El conducto de salida de un biodigestor casi siempre suele estar posicionada en su parte más alta, que permita extraer el biogás al abrir la válvula.

Figura 5

Esquema de un digestor y sistema de almacenamiento de biogás.



Fuente: (Moncayo, 2013).

2.4.1. Estiércol diario

El biocombustible se genera a partir de diferentes tipos de biomasa y mientras existan desechos vegetales y animales, siempre se puede conseguir una alternativa de combustible.

Sin embargo, el biogás suele ser usado únicamente para la cocción de alimentos y su excedente es descartado o enviado hacia la atmósfera. Considerando que el metano es un gas con gran poder de influencia en el efecto invernadero, incluso hasta 34 veces más que el dióxido de carbono.

Según Guardado (2007) existen algunas opciones para diversificar el uso del biogás a nivel doméstico y disminuir las emisiones de gas metano, entre ellas los focos, el refrigerador, la cocción de alimentos. De igual forma, el consumo de biogás fluctúa entre 150-200 L/h para el quemador de una cocina, entre 120-200 L/h para un foco; y entre 50-100 L/h para un refrigerador doméstico.

“Teóricamente se puede obtener biogás de cualquier material orgánico. Este material orgánico, o biomasa, debe de contar con 5-10% de partes sólidas para constituir un material apropiado, como cieno de fermentación” (Guardado, 2007).

En la Tabla 4 se exponen algunos de los índices de estiércol mayormente disponibles.

Tabla 4

Índices para determinar la producción de biogás a partir del peso y características de la biomasa

	Excreta húmeda diaria (kg/animal)	Biogás (m^3/día)
Vaca	10	0,360
Toro	15	0,540
Cerdo (100 kg)	4	0,202
Pollo	0,18	0,108
Caballo	10	0,300
Ternero	5	0,200
Persona adulta	0,40	0,025

Fuente: (Guardado, 2007).

A modo de ejemplo, una familia que se dedica a la crianza de cerdos cuenta con 2 cerdos adultos de 100 kg, 12 cerdos jóvenes de 30 kg y 5 lechones de 2 kg. Se realiza el cálculo de estiércol diario que se obtiene en una granja de cerdos, como se muestra en la Tabla 5.

Se toma como referencia que por cada 100 kg de peso vivo de los cerdos, se obtiene 4 kg de estiércol diario.

Tabla 5

Ejemplo de cálculo de estiércol diario

Cerdos	Cantidad	Peso promedio (kg)	Peso vivo total (kg)	Estiércol diario (kg)
Adulto	2	100	200	8
Joven	12	30	360	14,40
Lechón	5	2	10	0,4

Por lo tanto, en este ejemplo se produce un total de 22,8 kg de estiércol al día.

2.4.2. Mezcla con agua

Una vez conocida la cantidad de estiércol a ingresar en el biodigestor se debe considerar la mezcla con agua, es decir, cuantos litros se agrega por cada kilogramo de estiércol.

En los biodigestores tubulares se trata de conseguir que la carga de entrada al biodigestor (la mezcla de estiércol y agua) tenga entre 3% y 16% de sólidos totales (ST). Este es el rango deseable, pudiendo meter cargas con menor % de sólidos totales, pero no es recomendable como valores mayores. (Martí, 2019)

Tabla 6

Mezcla con agua para la carga diaria

Estiércol	Relación estiércol: agua
Vaca	1:3
Cerdo	1:4
Llama/oveja/cuy	1:8-9

Fuente: (Martí, 2019).

En la Tabla 6 se indica un valor referencia que permite reducir el porcentaje de sólidos totales que contiene cada estiércol a un rango entre 3 y 5%.

Un caso particular sería el estiércol de llama, oveja o cuy, ya que son estiércoles muy secos con valores de sólidos totales entorno al 40-50%. En este caso, supongamos un estiércol con 45% de ST. 1 litro de agua llevaría a la mezcla a 22.5% de sólidos totales; 3 litros a 11.25% de sólidos totales; 5 litros a 7.5% de sólidos totales; 7 litros a 5,63% de sólidos totales; y 9 litros a 4.5% de sólidos totales. (Martí, 2019)

En el caso anterior, el requerimiento de agua es muy alto, lo que puede hacer que el biodigestor sea inviable por no disponer la cantidad suficiente de agua.

2.4.3. Temperatura y tiempo de retención

Según Jarauta (2005) la digestión anaerobia depende del grado de temperatura, ya que a mayor temperatura mayor será la velocidad de crecimiento de los microorganismos y de esta forma se acelera el proceso de digestión y menor tiempo de retención, lo que repercute en mayores producciones de biogás.

En la Tabla 7 se tiene una referencia del tiempo de retención (TR) que necesitan las bacterias para que se produzca una cantidad de biogás considerable con relación a la temperatura.

Tabla 7

Relación entre temperatura y tiempo de retención recomendado para lograr producciones de biogás aceptables.

Temperatura	Tiempo de retención (TR)
35 °C	25-30 días
30 °C	30-40 días
25 °C	35-50 días
20 °C	50-65 días
15 °C	65-90 días
10 °C	90-125 días

Fuente: (Martí, 2019).

En la Tabla 7 indica que para una temperatura menor es necesario mayor tiempo de retención.

La temperatura a la que se encuentran el consorcio bacteriano que realiza la digestión anaerobia del biodigestor, es la que determina la temperatura del trabajo del biodigestor.

Para conocer la temperatura de trabajo de un biodigestor hay que considerar dos cosas: el clima del lugar y el diseño del biodigestor. (Martí, 2019)

2.4.4. Agitado – mezclado

Diseño de biodigestores (s.f.) indica que los principales objetivos que se buscan con la agitación son:

- Remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas.
- Mezcla del sustrato fresco con la población bacteriana.
- Evitar la formación de costra en el fondo del digestor.
- Uniformar la densidad bacteriana.
- Evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica. (pág. 13)

2.4.5. Diseño de calefacción solar pasiva

Giraldo y Arango (2020) plantean que uno de los principios que permiten aprovechar la energía proveniente del sol es mediante la construcción de un espacio de captación cerrado con superficies translúcidas, que permita el ingreso de rayos solares directos que luego se convierten en radiación infrarroja o energía térmica.

La temperatura ambiente cotidiana suele ser 20°, pero lugares con mayores alturas es menor. Tomando como referencia el lugar geográfico a construir el biodigestor, se considera el diseño de un sistema de calefacción solar pasiva, permitiendo que el biodigestor trabaje con temperaturas mayores a las ambientales.

Una pauta para tomar en cuenta es la ubicación del proyecto, ya que la incidencia de los rayos solares serán un factor importante en la captación de la energía térmica. Así como las edificaciones o vegetación cercana al proyecto.

Según Martí (2019) existen tres principios a considerar en el diseño de calefacción solar

pasiva:

- **Colores oscuros:** el uso de colores oscuros en el material del que está elaborado el biodigestor permite el aumento de temperatura de trabajo entre 2 y 3 °C. Teniendo en cuenta que la vida útil del plástico será menor por la radiación directa que recibirá este.
- **Aislantes en paredes y suelo:** por lo general, la temperatura del suelo y las paredes suelen ser iguales o menores a la ambiental y esto hará que el biodigestor trabaje a una temperatura similar. Por esto, es esencial usar un aislante que permita preservar la temperatura ganada con el uso de colores oscuros y aumentar la temperatura entre 4 y 6 °C.
- **Invernadero:** otro elemento muy útil es el invernadero que puede servir como protección para el biodigestor y para evitar pérdidas de calor. Lo más recomendable es que este sea compacto, es decir, que sea pequeño y que cubra por completo al biodigestor. Para que esta técnica trabaje es preciso que en el interior haya alguna unidad de color oscuro para que absorba la radiación solar.

Al incluir las tres técnicas, se puede conseguir que el biodigestor trabaje hasta 6 – 10 °C más que la temperatura ambiental.

2.5. Sistema automatizado

La automatización de un sistema se puede definir como un conjunto de software y hardware que realiza operaciones con un nivel bajo de acción humana con el fin de gestionar información u obtener un producto.

Un sistema automatizado consta de la parte operativa y la parte de mando. En donde, la

parte operativa se refiere a los actuadores, motores, sensores, entre otros., que permiten que la ejecución de una operación determinada. Por otro lado, la parte de mando abraza la tecnología programada, la cual será capaz de establecer comunicación con todos los componentes que constituyen el sistema automatizado.

2.5.1. Ventajas y desafíos de la automatización

La automatización no siempre significa sustituir a las personas. No obstante, la eliminación de ciertas etapas que requieren la intervención del humano se dará en algunos casos, pero las ventajas se encuentran en la productividad, la uniformidad y la eficiencia.

Según RedHat (2022) algunas ventajas y desafíos de la automatización son:

- Mayor productividad: el personal puede dedicar más tiempo para actividades de mayor importancia y dejar que el sistema de software se encargue de las tareas cotidianas y repetitivas.
- Mayor confiabilidad: se disminuye la necesidad de verificar procesos o realizar controles, ya que todas las tareas se llevarán a cabo con la exactitud programada y en un tiempo específico.
- Control simplificado: se crean lagunas de conocimiento cuando hay más personas involucradas en una operación, por ello es primordial codificar los procesos para tener un mejor control.
- Costo: el diseño de un sistema de automatización que trabaje eficientemente lleva tiempo, energía y dinero.
- Alcance: se puede delimitar algunas funciones del sistema de automatización para

no dejar puntos vulnerables, pues la eficacia y seguridad dependerán de la forma en que se ha implementado el sistema.

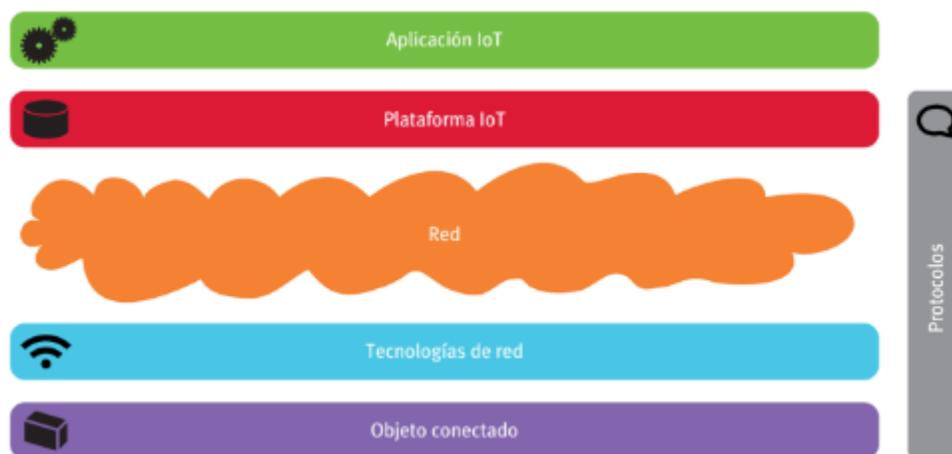
2.5.2. Arquitectura IoT

El internet de las cosas (Internet of Things, IoT) es definido como una red de objetos físicos conectados a través de internet, los cuales logran interactuar vía sistemas embebidos, redes de comunicación, mecanismos de computación de respaldo y aplicaciones típicamente en la nube. Permite a los objetos comunicarse entre sí, acceder a información de internet, capturar, almacenar y recuperar datos e interactuar con usuarios humanos, así como con otros sistemas y aplicaciones, creando ambientes cada vez más conectados e inteligentes. (Quiñonez, 2019)

En la Figura 6 se observa los pilares fundamentales del IoT, en donde se puede describir como un proceso que inicia con sensores que envían datos, a través de una red, hacia un centro de datos o a la nube para procesarlos, analizarlos y posteriormente almacenarlos. (Cruz, 2015)

Figura 6

Componentes fundamentales del IoT



Fuente: (Cruz, 2015).

Según Jahnke (2020) existen cuatro etapas en la arquitectura IoT:

- **Sensores y actuadores:** el proceso inicia con los sensores y actuadores, los dispositivos conectados que supervisan (sensores) o controlan (actuadores) alguna “cosa” o proceso físico. Los sensores captan datos, detectan una condición de un proceso que requiere una respuesta casi de inmediato para procesar la información o para que un actuador realice alguna acción.
- **Gateway de internet y sistemas de adquisición de datos:** este sistema toma los datos brutos que se encuentran en un formato análogo y los convierte en digital para luego enviarlos a través de una red inalámbrica o cableada.
- **Preprocesamiento (análisis de la frontera):** la cantidad de datos puede ser enorme, por ello se deben filtrar para obtener un volumen óptimo para ser transmitidos. Esto puede ser realizado por el dispositivo de borde como parte del preprocesamiento.
- **Análisis en profundidad en la nube o en el centro de datos:** en esta fase se analizan, gestionan y almacenan los datos, ya sea en un centro de datos o en la nube. Estos datos se pueden combinar con los datos de cada uno de los sensores de campo.

2.6. Estándar IEEE 802.3 ethernet

La norma IEEE 802.3 define un modelo de red de área local utilizando el protocolo de acceso al medio CSMA/CD con persistencia de 1, es decir, las estaciones están permanentemente a la escucha del canal y cuando lo encuentran libre de señal efectúan sus transmisiones inmediatamente. Esto puede conllevar a una colisión que hará que las estaciones interrumpan sus transmisiones, luego cada una espera un tiempo aleatorio y lo

vuelve a intentar. (Llamas, s.f.)

Ethernet destina a una tecnología que admite que los dispositivos de redes conectados mediante un cable se comuniquen entre sí. De esta forma, los dispositivos constituyen una red e intercambian paquetes de información. Así, una red local o LAN se compone mediante conexiones Ethernet.

2.6.1. ¿Cómo funciona IEEE 802.3 ethernet?

En una red Ethernet se asigna una única dirección MAC (48 bits) a cada dispositivo. La comunicación simultánea se puede dar debido a que se utiliza el algoritmo CSMA/CD y la transmisión de los paquetes son a alta frecuencia por el uso del método de banda base y el método de multiplexación. En cambio, no se provee corrección de errores ni una unidad de control central. Es decir, cada dispositivo es responsable de verificar la dirección y aceptar el mensaje dirigido a este.

Según “Ethernet” (s.f.) algunos de las claves principales de Ethernet son:

- **Simplicidad:** las particularidades que puedan dificultar el diseño de la red sin hacer una contribución substancial para alcanzar otras finalidades se han excluido.
- **Bajo costo:** el progreso tecnológico va a seguir aminorando el costo de los dispositivos de conexión.
- **Compatibilidad:** las implementaciones de Ethernet deberán tener la capacidad de transmitir datos a nivel de capa enlace de datos. Para descartar la posibilidad de variaciones incompatibles de Ethernet, la especificación evade características opcionales.
- **Direccionamiento flexible:** el mecanismo de direccionamiento debe facilitar la

direccionalidad de datos a uno o varios dispositivos específicos, difundir (broadcast) el paquete a todos los dispositivos que se encuentren conectados a la red.

- Equidad: todos los elementos conectados deben tener el mismo acceso a la red.
- Progreso: alta velocidad y la red debe operar a una tasa de datos de 10 Mb/s.
- Bajo retardo: el tiempo de retardo debe ser el mínimo posible en cualquier nivel de tráfico de la red, para la transferencia de datos.
- Estabilidad: la red debe ser estable bajo todas las condiciones de carga. Los mensajes entregados deben mantener un porcentaje constante de la totalidad del tráfico de la red.
- Mantenimiento: la arquitectura de Ethernet debe reducir el mantenimiento de la red, operaciones y planeamiento.
- Arquitectura: el diseño Ethernet debe ser especificado en término de capas de forma de separar las operaciones físicas del canal de comunicación con las operaciones lógicas de los protocolos de capa de enlace.

2.6.2. Tabla comparativa de los estándares IEEE 802.3

IEEE 802.3 fue el primer intento para estandarizar ethernet. Aunque hubo un campo de la cabecera que se definió de forma diferente, posteriormente ha habido ampliaciones sucesivas al estándar, como se identifica en la Tabla 8, que cubrieron las ampliaciones de velocidad (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet y los de 10, 40 y 100 Gigabits Ethernet), redes virtuales, hubs, conmutadores y distintos tipos de medios, tanto de fibra óptica como de cables de cobre (tanto par trenzado como coaxial). (Muñoz, 2017)

Tabla 8*Diferencias entre estándares IEEE 802.3*

Nombre	Estándar	Medio	Velocidad	Distancia máxima
10BASE5	802.3	Coaxial grueso	10 Mbps	500 m
10BASE2	802.3a	Coaxial fino	10 Mbps	185 m
10BASE-T	802.3i	Par trenzado cat. 3 o 5	10 Mbps	100 m
10BASE-FL	802.3j	Fibra multimodo 850nm	10 Mbps	2 km
100BASE-TX	802.3u	Par trenzado cat. 5	100 Mbps	100 m
100BASE-FX	802.3u	Fibra multimodo 1310 nm	100 Mbps	2 km

Fuente: (Muñoz, 2017)

2.7. Estándar inalámbrico 802.11

Según Salazar (s.f.) estas especificaciones son creadas y sostenidas por el grupo de trabajo IEEE 802.11. La versión base de este estándar fue lanzado en el año 1997 teniendo modificaciones posteriores. El estándar y las enmiendas componen la base de los productos para redes inalámbricas que manejan la marca WiFi. Entre los estándares más utilizados son el WiFi 4 y WiFi 5, conocidos como 802.11n y 802.11ac respectivamente. El estándar WiFi 6 comenzó su transición hace relativamente poco tiempo y cada vez tiene un nivel de adopción mayor, pero aún queda un largo camino para que se convierta en el más empleado.

2.7.1. 802.11n

El estándar IEEE 802.11n tiene como fin mejorar la distancia (hasta 250 m) y la velocidad de transmisión de estas dos normas anteriores, 802.11a y 802.11g, con un aumento característico de la velocidad máxima de datos en bruto de 54 Mbps a 600 Mbps en

condiciones ideales añadiendo la tecnología de múltiple entrada múltiple salida y canales de 40 MHz, de mayor ancho de banda. Esta tecnología, denominada MIMO (Multiple Input Multiple Output), utiliza múltiples señales inalámbricas y antenas en el transmisor y el receptor. El estándar puede funcionar en las bandas de frecuencia de 2,4 GHz o 5 GHz. (Salazar, s.f.)

Las antenas con estándar WiFi 802.11n introducen mejoras en las capas PHY y MAC lo cual mejora el throughput y la confiabilidad en las redes inalámbricas.

Algunas de estas mejoras se describen a continuación:

- OFDM mejorado: esta modulación es más eficiente, facilitando anchos de banda más amplios y con mayores velocidades de datos.
- Ancho de canal: mediante el incremento del ancho del canal a 40 MHz, se logra también duplicar la velocidad de transmisión.
- MIMO: envío de datos de forma simultánea, a través de un sistema de radios con múltiples entradas en el receptor y múltiples salidas en el transmisor.
- Agregación de tramas: mejora la capa MAC reduciendo la transmisión de encabezados al permitir el envío de varias tramas en una sola transmisión. En adición, el espaciado entre tramas es menor lo que disminuye el tiempo en transmitir la información, liberando el medio para futuras comunicaciones e incrementando la eficiencia y throughput de la red.

2.7.2. Estándar 802.11ac

El estándar 802.11ac, una actualización de 802.11n, ofrece un alcance similar, pero aumenta la velocidad de transmisión. Funciona en la banda de 5GHz e incorpora la

tecnología de formación de haz, banda ancha y múltiples antenas para ofrecer velocidades de datos teóricas de hasta 1,3 Gbps, más del doble que las tasas de pico de 600 Mbps alcanzadas con el estándar 802.11n. (Salazar, s.f.)

Una red 802.11ac admite anchos de banda del canal de máximo 80MHz, lo cual fue mejorado en la segunda ola, admitiendo un ancho de banda de hasta 160 MHz, mejorando significativamente el rendimiento.

En cuanto a la tecnología MIMO, en wave 2 se realizaron mejoras y adoptaron MU-MIMO (Multi-user Multiple-Input Multiple-Output). Esto significa que los enrutadores pueden transmitir información a múltiples dispositivos a la vez, admitiéndolo solo en el enlace descendente. La comunicación ascendente (paquetes enviados al enrutador) solo se pueden enviar uno por uno.

Además, la tecnología QAM se mejoró para WiFi 5. WiFi 5 usa 256-QAM; permite que los dispositivos envíen 8 bits de código binario a la vez. Esta actualización mejoró las velocidades WiFi en un 20 % - 33 %. Ambas ondas 802.11ac admitían 256-QAM. (SignalBoosters, 2022)

Según Pimentel (s.f.) este estándar logra aumentar su velocidad optimizando las siguientes características:

- **Incremento en los canales:** en el estándar 802.11n, para la transmisión, se tiene un ancho de canal de máximo 40MHz. Ahora, el estándar 802.11ac lo ha incrementado hasta 80MHz e inclusive hasta 160MHz, permitiendo una mayor velocidad de datos por cada radio.
- **Mejora en la modulación:** la modulación que emplea el estándar 802.11ac es

256QAM (Modulación de amplitud en cuadratura), lo que apuntan altas tasas de transferencia de datos

- **Multi-user MIMO (MU-MIMO):** soporte para transmisiones al mismo tiempo a varios clientes, aumentando la utilización de la banda RF.

En la Tabla 9 se expone los parámetros de mayor importancia que intervienen en los estándares 802.11n y 802.11ac.

Tabla 9

Parámetros de redes reales

Parámetros de red	802.11n	802.11ac
Modulación	OFDM	OFDM
Tecnología	MIMO	MU-MIMO
Frecuencia de trabajo	5,8 GHz	5,8 GHz
Ranura de tiempo (slotTime)	9 us	20 us
Velocidad de transmisión	300 Mbps	600 Mbps
Ventana	20-40 MHz	40-80 MHz
Número de índice OFDM	1-4	1-8
Potencia	450 mW	450 mW
Distancia	600 m	600 m

Fuente: (Ortiz, 2015).

2.8. Sistema de control

Un sistema automatizado debe contener componentes electrónicos o de control que le permitan actuar de forma independiente y establecer los mejores valores para las señales de control, dependiendo del proceso y sus exigencias.

2.8.1. Controlador

“Es un dispositivo que se compara el valor medido con el valor deseado, en base a esta comparación calcula un error (diferencia entre valor medido y deseado), para luego actuar a fin de corregir este error” (Díaz y Rodríguez, 2011).

Es un instrumento que actúa mediante algoritmos, de forma que la variable que está controlando sea la señal deseada y finalmente efectuar una acción. Las interfaces de entrada y salida que le permiten ejecutar los procesos pueden ser de tipo analógicas o digitales.

2.8.2. Sensores

Los sensores son elementos que detectan y responden a algún tipo de información del medio que están monitoreando. Estos dispositivos detectan cambios en el entorno y emite una señal, convirtiendo el fenómeno físico en una señal digital o analógica, la cual se puede visualizar en una pantalla o simplemente se transmite para ser procesada.

Existe una gran variedad de sensores, por sus características y según el medio a detectar. Los más comunes son de temperatura, presión, nivel, posición, ambientales, presencia, entre otros.

2.8.3. Actuadores

Según Corona, Abarca y Mares (2014), los actuadores son “Dispositivos con la capacidad de generar una fuerza que ejerce un cambio de posición, velocidad o estado de algún tipo sobre un elemento mecánico, a partir de la transformación de energía”.

Según el tipo de energía que utilizan, los actuadores se clasifican en:

- **Eléctricos:** son dispositivos que tienen incorporado un motor eléctrico y un reductor que permite llevar a cabo una acción, comunicando un proceso con otro y almacena datos que luego son procesados, y según las necesidades este actuador será

conectado o desconectado desde la parte de control. (Rubio, s.f.)

- Neumáticos: estos actuadores se encargan de transformar la energía del aire comprimido (energía acumulada) en energía mecánica rotatoria o rectilínea, de esta forma se genera fuerza sobre otro dispositivo mecánico. (Corona et al., 2014)
- Hidráulicos: su funcionamiento es muy similar a los actuadores neumáticos, pues ambos transforman la energía almacenada en energía mecánica, con la excepción de que los hidráulicos no usan el aire sino un aceite mineral. En general, su sistema de distribución se constituye de tubos y mangueras. (Corona et al., 2014)

2.9. Biodigestores automatizados

En este apartado se recopila proyectos e investigaciones relacionados al uso de la tecnología en biodigestores.

2.9.1. Biodigestor automatizado para la granja Zapotepamba

El diseño del Biodigestor Automático está encaminado a resolver la problemática que atraviesa la Granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja en lo que respecta a la elevada demanda de gas licuado para la cocción de alimentos, además de dar solución al tratamiento de las excretas animales, con el fin de obtener abono de mayor calidad y en un menor tiempo. (Cabrera et al., 2012)

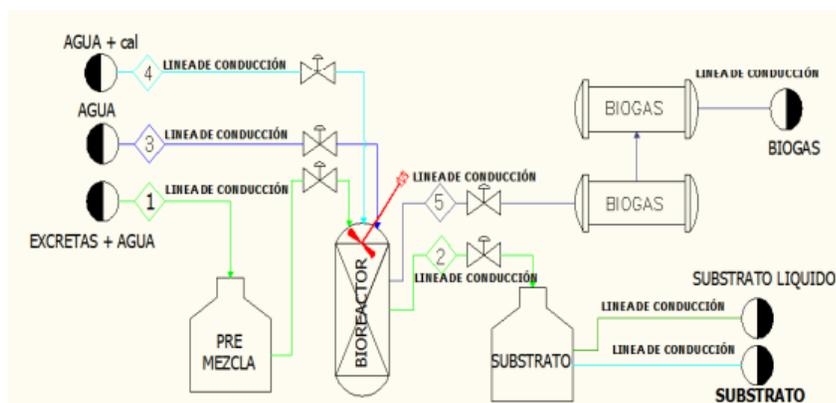
El objetivo principal de este trabajo consiste en diseñar y simular un biodigestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno de flujo semicontinuo con desplazamiento horizontal, el cual permitirá realizar la automatización a todos los procesos que conlleva la obtención y producción del bioabono a más de la obtención del biogás para la cocción de alimentos y calefacción de una incubadora automatizada, como resultado de

la descomposición anaeróbica de los desechos vegetales y residuos de estiércol animal.

(Cabrera et al., 2012)

Figura 7

Diagrama de Flujo en Bloque de Proceso para la Producción de Biogás y Bioabono



Fuente: (Cabrera et al., 2012).

Mediante la Figura 7 se pueden monitorear cada una de las variables como son la temperatura, presión, nivel y PH; con esta aplicación de automatización se disminuye el uso de personal y se aumenta la eficiencia del sistema. (Cabrera et al., 2012)

El sistema automático se encuentra diseñado con toda la instrumentación tanto de medición, control y regulación que garanticen todas las condiciones de seguridad en su funcionamiento, la cual podrá ser tomada como base para la implementación en el mismo y en otros trabajos afines. (Cabrera et al., 2012)

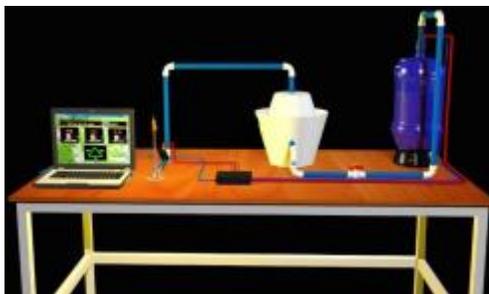
2.9.2. Automatización de un proceso de Biodigestión Anaeróbica

El principal objetivo de este proyecto es la creación de un sistema automatizado que controla variables como temperatura, pH, y presión; con el fin de obtener biogás, el cual se puede visualizar en la Figura 8. Este sistema contiene entornos de programación que se

comunican con el hardware y luego estos procesan los datos y transmiten la información en tiempo real. (López et al., 2016)

Figura 8

Modelación 3D del Sistema Automatizado



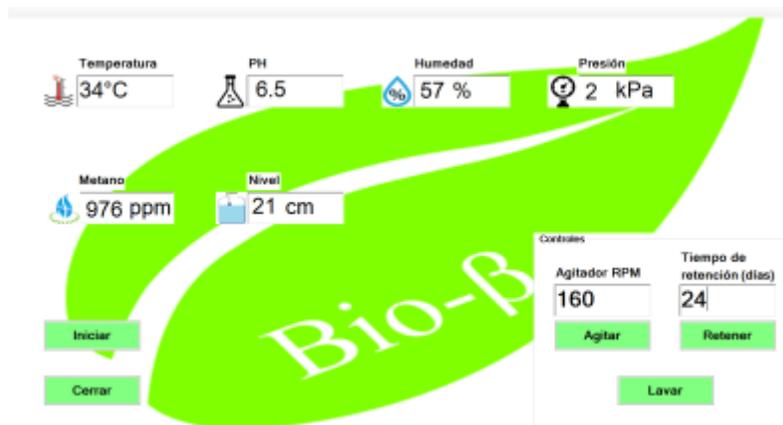
Fuente: (López et al., 2016)

El controlar y monitorear variables de proceso mediante una computadora brindan una gran variedad de posibilidades al usuario final, de manera que proporciona una mayor eficiencia del proceso, además le da la oportunidad de que en caso de que se presente alguna anomalía tomar las medidas correctivas necesarias, en tiempo real. (López et al., 2016)

2.9.3. Biodigestor a escala de laboratorio para producción de biogás a partir de residuos sólidos domésticos

Según Torres (2019), explica que ha diseñado, construido y automatizado un biodigestor con un sistema que permite monitorear y procesar la información recibida desde los diferentes sensores, a través de Arduino. Las variables se monitorean mediante una interfaz hombre máquina (HMI) en tiempo real. Con este sistema se logrará reducir los costos, sin necesidad de implementar equipos industriales en la producción de biogás.

Figura 9



Fuente: (Montijo, 2018)

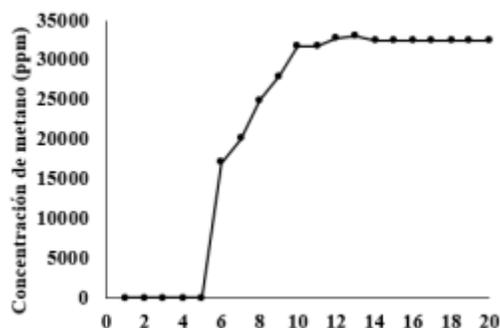
En la Figura 10 se muestran los valores de lectura de los sensores desde a interfaz de Visual Studio, con una duración de 12 días del proceso de biodigestión. Los resultados fueron los siguientes: temperatura 34°C, el pH disminuyó a 6.5, también hubo un decremento en la humedad, marcando 57%, la presión pasó de 0 a 2kPa, con una lectura de 976 ppm y el nivel tuvo un decremento de 7 cm respecto a las condiciones iniciales. (Montijo, 2018)

2.9.5. Generación de biogás en un biodigestor automatizado

El principal objetivo del actual trabajo fue aprovechar los excrementos de animales procedentes de un rancho ganadero para generar biogás a través de la implementación de un biodigestor automatizado, monitoreando el proceso de la producción de gas metano, la presión y temperatura con el fin de evaluar el tiempo de producción y la cantidad de metano obtenido. (Ramírez et al., 2017)

Figura 11

Concentración de metano (CH₄) monitoreado en el biodigestor durante el proceso.



Fuente: (Ramírez et al., 2017)

En la Figura 11 se puede observar la producción de gas metano, en la cual se nota que a partir del quinto día se nota la concentración de biogás con aumentos hasta el día 13. Con esto se puede decir que la degradación microbiana ha finalizado, así como también la producción de metano. La temperatura bajo la que trabaja el biodigestor empieza en 15° y termina en 32° hasta el día 13. (Ramírez et al., 2017)

2.9.6. Telecontrol de Biodigestor para Generación de Gas

El presente trabajo radica en el diseño e implementación de un sistema de telecontrol que permita automatizar el proceso que se realiza a partir de desechos orgánicos con el fin de obtener biogás de un biodigestor. (Martillo et al., 2015).

Para la automatización del proceso, se ha utilizado un controlador que permita manipular las variables identificadas, mediante sensores ubicados estratégicamente. El producto que se obtiene principalmente es el gas a partir de desechos orgánicos, fomentando su uso en las zonas rurales. Con el propósito de demostrar el funcionamiento del sistema se ha construido una maqueta, que se puede observar en la Figura 12. (Martillo et al., 2015)

Figura 12

Maqueta que indica el funcionamiento del sistema



Fuente: (Martillo et al., 2015)

Dentro del biodigestor se ha colocado el sensor de nivel para saber cuándo se encuentra vacío el biodigestor, el sensor de temperatura que permitirá conocer si el tiempo de digestión utilizado ha sido o no el óptimo, y el sensor de presión que indicará el momento en que se debe abrir la válvula de salida de gas. (Martillo et al., 2015)

2.10. Modelo iterativo

El modelo iterativo se puede dividir en una serie de ciclos que permiten dividir un proyecto en varias fases o también llamadas iteraciones, con el fin de reducir riesgos y mejorar el producto que se le entrega al cliente.

Ventajas del modelo iterativo:

- **Comunicación:** permite interactuar de forma constante con los stakeholders, es decir, se realizan retroalimentaciones al inicio y fin de cada iteración para optimizar el producto.
- **Gestión del riesgo del proyecto:** se reduce los riesgos, ya que cada iteración está sujeta a cambios por las constantes observaciones del producto.

- Orientado al cliente: los proyectos que se realizan con este modelo están centrados en los requerimientos del cliente más que en el producto en sí, ya que se lo integra en el desarrollo de este.
- Intensidad y velocidad: este método incrementa la productividad y optimiza el proceso.

Desventajas del modelo iterativo:

- Falta de planificación: no se definen los requisitos del proyecto al comienzo, por lo que puede haber inconvenientes relacionados con la arquitectura.
- Requiere mayor organización con el cliente: en cada etapa del proyecto se requiere la interacción del cliente y de esta forma es necesario ser disciplinado, pues de las evaluaciones de riesgos y de la organización con el cliente dependerá el avance del proyecto.

CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DEL BIODIGESTOR

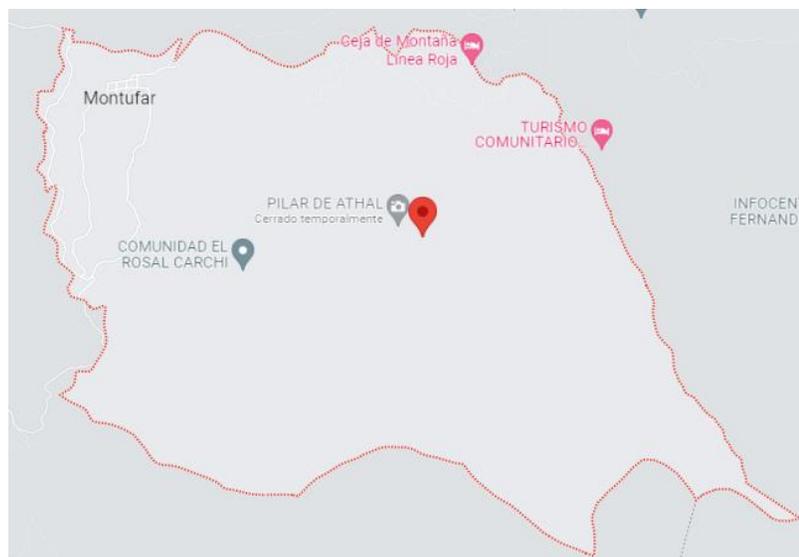
En esta sección se describe los métodos usados para desarrollar la segunda y tercera etapa planteadas mediante el modelo iterativo. Las cuales contemplan el análisis de la situación de la parroquia Piartal-Carchi y la zona en donde se implementará el sistema para determinar sus requerimientos, como segunda etapa. De igual forma, en la tercera etapa, se incluye el diseño del sistema de control y automatización con todos sus elementos integradores tanto en software y hardware, como son: reactor, sensores, actuadores, monitoreo, control y registro de variables que serán representadas en una aplicación web. Para el diseño se toma como referencia una familia que conste de no más de tres miembros y que cuente con un número de animales de granja que permitan generar una cantidad suficiente de biogás que al menos permita la cocción de alimentos de los mismos animales.

3.1. Situación actual

Piartal es una parroquia rural que pertenece al cantón Montúfar de la provincia del Carchi, ubicada al norte de Ecuador. Siendo una zona en donde predomina la actividad agrícola, con una superficie de 18 Km², está conformada por cuatro comunidades: Piartal (cabecera parroquial), El Rosal, San Pedro y Las Lajas. Esto se lo puede observar en la Figura 14.

Figura 13

Ubicación geográfica de la Parroquia Piartal



Fuente: (Google, s.f. -a)

En la cabecera parroquial también se cuenta con el centro de salud perteneciente al Ministerio de Salud Pública y el puesto de salud, Seguro Campesino IESS, perteneciente al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social.

3.1.1. Condiciones geográficas y meteorológicas

Al noreste de la ciudad de San Gabriel está la cabecera de la parroquia Piartal, la cual se encuentra limitada al norte con la parroquia Fernández Salvador, al sureste con la parroquia San José, y al este con la provincia de Sucumbíos, al mismo tiempo se encuentra bañada por dos significativos ríos que son el Cuasmal y el Minas. (Piartal, s.f.)

La cabecera parroquial está dividida en tres barrios que son: Santa Bárbara, Las Palmas y Bellavista.

En la Figura 14 se tiene una vista satelital de la cabecera parroquial Piartal, a la cual se puede llegar mediante un recorrido de aproximadamente 8 km desde San Gabriel, cabecera cantonal de Montúfar, por la vía “El Ejido”. Las coordenadas geográficas de la cabecera

parroquial son 0°33'58.88" N de latitud y 77°46'20.01" O de longitud.

Figura 14

Vista superior de la cabecera de la Parroquia Piartal



Fuente: (Mi corazón viajero, 2022, 4m49s)

Según El clima en Piartal (2022) a la fecha es de:

- Temperatura del aire: 14°
- Precipitación: nubosidad, pequeña lluvia
- Presión: 1017 hPa/mBar (763 mmHg)
- Humedad del aire: 60%
- Velocidad del viento: 3m/s (con ráfagas de 3 m/s)

Con base en El clima y el tiempo promedio en todo el año en San Gabriel (2016) en San Gabriel, los veranos son cortos, cómodos y nublados y los inviernos son cortos, frescos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 9 °C a 19 °C y rara vez baja a menos de 7 °C o sube a más de 21 °C.

La duración del día en San Gabriel no varía considerablemente durante el año, solamente

varía 9 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2022, el día más corto es el 21 de diciembre, con 12 horas y 5 minutos de luz natural. (El clima y el tiempo promedio en todo el año en San Gabriel, 2022)

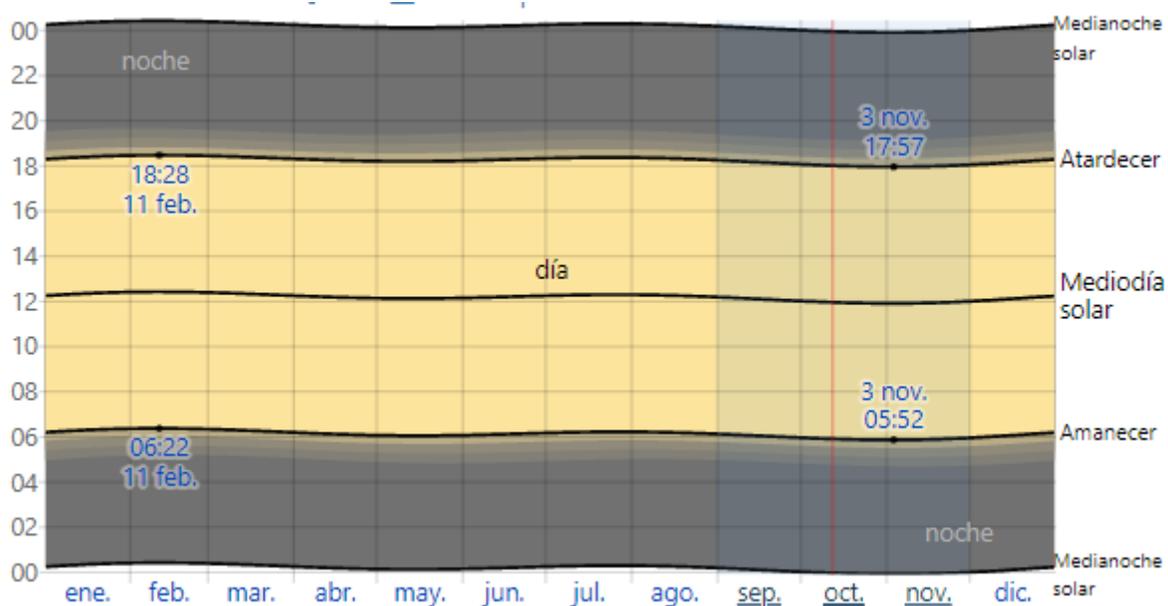
La salida y puesta de sol más temprana y tardía en el año 2022 se pueden observar en la Figura 15. Se toma a la ciudad de San Gabriel como referencia, ya que es lo más cercano posible a la parroquia Piartal, lo cual ayudará a obtener datos sobre el clima, principalmente la temperatura.

La temperatura promedio es de 12°C en la mayor parte del territorio, determinado en base a la interpolación de la información recopilada en las estaciones meteorológicas del INAMHI ubicadas en las proximidades del territorio cantonal, la variación de la temperatura anual y mensual. (Chiriboga et al., 2020)

nunca supera los 2°C.

Figura 15

Salida del sol y puesta del sol con crepúsculo en San Gabriel

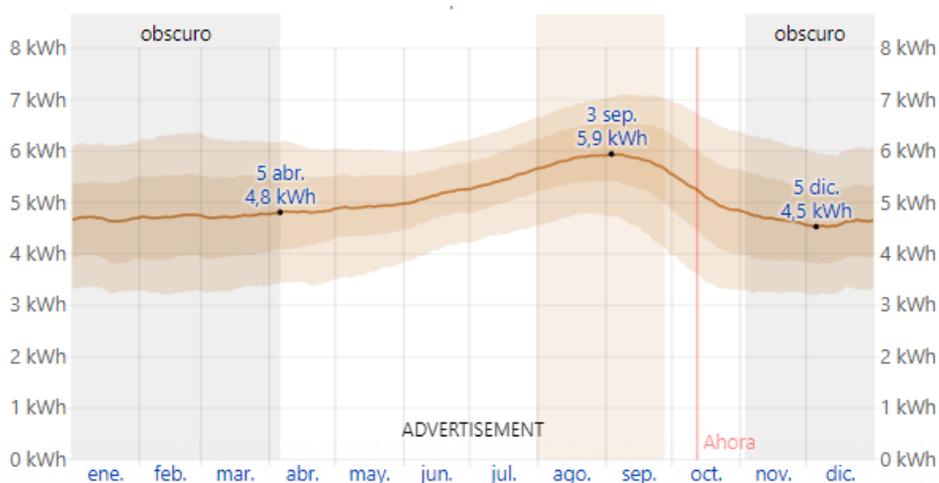


Fuente: (El clima y el tiempo promedio en todo el año en San Gabriel, 2022)

Como se visualiza en la Figura 16 el periodo más obscuro del año dura 5,1 meses, del 3 de noviembre al 5 de abril, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado de menos de 4,8 kWh. El mes más oscuro del año en San Gabriel es diciembre, con un promedio de 4,6 kWh. (El clima y el tiempo promedio en todo el año en San Gabriel, 2022)

Figura 16

Salida del sol y puesta del sol con crepúsculo en San Gabriel.



Fuente: (El clima y el tiempo promedio en todo el año en San Gabriel, 2022)

3.1.2. Distribución de gas licuado de petróleo

“Según la información proporcionada en el último censo, en el cantón Montúfar el 93,7% de hogares utilizan el gas para cocinar (tanque o cilindro), el 5,7% utilizan leña o carbón” (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Montúfar [GADCM], 2020).

“La Agencia de Regulación y control Hidrocarburífero revela que la población que hace uso de gas licuado de petróleo se distribuye en un 45% en barrios, 41% en comunidades y el

14% en las cabeceras parroquiales” (GADCM, 2020).

Las autoridades, con el fin de controlar la distribución de este combustible, aplican un sistema que funciona con la cédula de la cabeza del hogar.

Una familia de hasta tres integrantes tendrá acceso a un máximo de dos cilindros al mes. Si la familia tiene de cuatro a siete integrantes podrá acceder a cuatro cilindros. Y para las familias de más de ocho integrantes el cupo será de hasta seis cilindros al mes. (“Gobierno amplía cupo de cilindros”, 2012)

Una parte de la alimentación de los animales, principalmente los de granja, (cuyes, gallinas y chanchos) es cocinada usando el gas doméstico, lo que demanda mayor cantidad de dicho combustible y la adquirida no siempre es suficiente.

Además, los habitantes conocen las posibles fechas que el distribuidor de gas se acercará a su sector, sin embargo, esto no siempre sucede como se lo espera. Esto les obliga a adquirir cilindros a mayores precios.

3.1.3. Principal actividad económica

INEC (2010) indica que Piartal es una parroquia que cuenta con una población de 1140 habitantes. De ellos, se distribuye en 48,6% de mujeres y 51,4% de hombres.

La explotación pecuaria en las cuatro comunidades es importante, en promedio el 74% de la población en general se dedica a la crianza de animales, siendo ligeramente mayor en la comunidad de El Rosal (77,3%) y menor en la comunidad de Piartal (68,0%). (Chiriboga et al., 2020)

En las especies pecuarias más explotadas según la comunidad está: el cerdo

(Piartal 32,5%) y las aves (El Rosal 37,5%, San Pedro 37,9%). Otras especies también se explotan con importancia tal es el caso de vacas (19% promedio) y cuyes (18%), Las especies animales de menor explotación o tenencia son caballos y conejos. (Chiriboga et al., 2020)

Como se puede observar en la Figura 17, la mayoría de las viviendas cuentan con un espacio, el cual usan para la crianza de los animales menores. Además, esto resulta factible para el proyecto ya que existe espacio para la implementación de este.

Figura 17

Viviendas del barrio Bellavista en la parroquia Piartal.



Fuente: (Mi corazón viajero, 2022, 2m16s)

La comercialización de productos agrícolas al por mayor y ganaderos se realiza en el Mercado Agroganadero con una capacidad mensual de comercialización de 5099 individuos de ganado bovino (ternero, torete, toro, vaca, vacona), 1293 ganado porcino (cerdo levante, verraco, madre porcina), 6 ovinos, 49 equinos y 15 equino en un área de 5 hectáreas. (GADCM, 2020)

“Durante los últimos cuatro años (2015-2018) las entidades financieras privadas son las que

más han aportado a financiamientos productivos” (GADCM, 2020).

El financiamiento en el sector Pecuario tiene mayor representativo promedio del 64,90% y está conformado por los subsectores: Actividades de apoyo a la agricultura, ganadería y actividades postcosecha, cría de aves de corral, cría de caballos y otros equinos, cría de cerdos, cría de ganado bovino, cría de otros animales, ganadería. (GADCM, 2020)

3.1.4. Disponibilidad de equipos tecnológicos en el hogar

En el año 2016, al menos un 26,7 % de los hogares a nivel nacional cuentan con una computadora de escritorio y un 27,6% computadora portátil. En cuanto a telefonía, en el país, 9 de cada 10 hogares disponen de un teléfono móvil.

A nivel rural, en el año 2012 se contaba con un 4,8% de hogares con acceso a Internet y para el año 2016 ya se cuenta con un 16,4%, es decir, hubo un crecimiento de 11,6%.

Hasta el año 2016, el 24,5% de los hogares, a nivel nacional, accede a Internet a través de un medio inalámbrico.

“La información de Tecnologías de la Información y Comunicación genera datos sobre equipamiento, acceso y uso del computador, internet y celular, en el hogar proporcionando insumos para el análisis y formulación de políticas públicas” (INEC, 2022).

Estos datos se los puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10

Indicadores de TIC 2022 (Nacional)

Indicadores de TIC	Jul-22
Hogares con acceso a internet	60,4
Personas que utilizan internet	69,7

Personas que tienen celular activado	58,8
Personas que tienen teléfono inteligente	52,2

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2022).

3.2. Levantamiento de información

A través de una encuesta, se pretende recopilar información sobre la situación actual y sustentar el desarrollo del proyecto, realizando un análisis de mercado para la implementación de un sistema de control y automatización para la producción de biogás. Dicha encuesta se realiza a los habitantes de la cabecera parroquial Piartal-Carchi que se dedican a la crianza de animales menores, principalmente cerdos ya que estos contienen mayor cantidad de estiércol húmedo y por ende un aproximado de 20 % de sólidos totales, es decir, que los requerimientos de agua no serán muy altos. Además, las cantidades de estiércol diario que se obtiene de los cerdos es mayor a la que se obtiene de los conejos, cuyes y pollos, animales que también son criados por los habitantes de dicha parroquia.

Hasta el año 2010, en la parroquia Piartal, provincia del Carchi hay 1140 habitantes, de los cuales, el 74% se dedican a la crianza de animales. Específicamente, en la cabecera parroquial, el 32,5% de la población se dedica a la crianza de cerdos. (Chiriboga et al., 2020)

Por lo tanto, la muestra para la aplicación de la encuesta será 8, siendo este el número de familias pertenecientes a la comunidad de Piartal, que se dedican a la crianza de cerdos.

La siguiente encuesta consta de 11 preguntas cerradas y 3 abiertas que permitirá obtener información concisa y requerida para la continuación del proyecto. El llenado de esta no llevará más de 4 minutos por encuestado.

Marque con una X el casillero correspondiente según considere su respuesta:

Preguntas relacionadas al bastecimiento de GLP

1. ¿Cuál es el cupo que tiene para adquirir el gas licuado de petróleo al mes?

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

1

2

3

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

4

5

6

2. ¿Es suficiente la cantidad de gas adquirida mensualmente?

SI NO

3. ¿Conoce usted la próxima fecha en que el distribuidor de gas vendrá a su barrio?

SI NO

Preguntas relacionadas a la crianza de animales de granja

4. ¿Con cuántos chanchos cuenta usted actualmente?

0

1-5

6-10

Más de 10

5. ¿Cuántos de los anteriores son adultos, jóvenes o lechones?

Adultos:

Jóvenes:

Lechones:

6. ¿Con qué periodicidad realiza el lavado de los corrales de los chanchos?

Diario

Semanal

Preguntas relacionadas a la disponibilidad de dispositivos tecnológicos e Internet

7. ¿Dispone de conexión a Internet en su hogar?

SI NO

8. ¿Cuál dispositivo usa para acceder a Internet con mayor frecuencia?

Teléfono móvil	<input type="checkbox"/>
Tablet	<input type="checkbox"/>
Computadora	<input type="checkbox"/>

Preguntas relacionadas a la adquisición del sistema de producción de biogás

9. ¿Ha escuchado usted acerca del combustible llamado biogás?

SI NO

10. ¿Sabe usted que se puede generar biogás a partir de desechos orgánicos?

SI NO

11. ¿Está dispuesto a implementar un sistema que le permita generar biogás?

SI NO

Preguntas relacionadas al sistema

12. ¿El sistema debe contar con autenticación de usuario para mostrar la información?

SI NO

13. Los resultados deben ser mostrados en:

Página web	<input type="checkbox"/>
Aplicación móvil	<input type="checkbox"/>

14. El sistema debe contar con alertas sobre el proceso (cantidad de biogás, llenado de tanques):

SI NO

3.2.1. Análisis de resultados

Una vez realizada la encuesta a 8 habitantes de la cabecera parroquial Piartal que se dedican a la crianza de cerdos, se obtienen los resultados que permitirán tomar mejores decisiones relacionadas al desarrollo del proyecto, ya que se toman en cuenta los requerimientos de usuario y operacionales. A continuación, se establecen las conclusiones que se derivan de la tabulación mostrada en el Anexo 2. Tabulación de encuestas

Con relación a la disponibilidad de gas licuado de petróleo, se ratifica que no es suficiente la cantidad que adquieren mensualmente, siendo de gran ayuda el presente proyecto, pues les podrán disponer de otro combustible que les permitirá al menos cocinar el alimento de los cerdos.

Por otro lado, el número de cerdos que cuenta cada hogar es diferente, al menos un 50% de la muestra tiene más de 10 chanchos, un 25% cuenta con número de entre 6-10 cerdos y el otro 25% entre 1-5. Para el desarrollo del proyecto, es necesario enfocarse en la cantidad de cerdos que son adultos, jóvenes y lechones. Esto se debe a que los cerdos generan cierta cantidad de estiércol dependiendo de su edad. Por ello, se debe calcular el estiércol que se obtendrá a diario en cada hogar, con el fin de conocer el tamaño de los depósitos que almacenaran los productos en el proceso de obtención de biogás y la viabilidad de la implementación, es decir, que se generen al menos 700 litros de biogás diarios, los cuales, según Herrero (s.f.) abastecen aproximadamente 3 horas por jornada, lo que se considera suficiente para la cocción de los alimentos de los cerdos.

Con respecto a la recolección de la materia orgánica, los encuestados indicaron que la limpieza la realizan dos veces al día, por ello se debe cargar el digestor diariamente.

Para la operación y uso del sistema, es primordial la conexión a Internet y en todos los hogares encuestados si disponen de este recurso, lo cual no genera inconvenientes para implementar el sistema en cualquiera de estos.

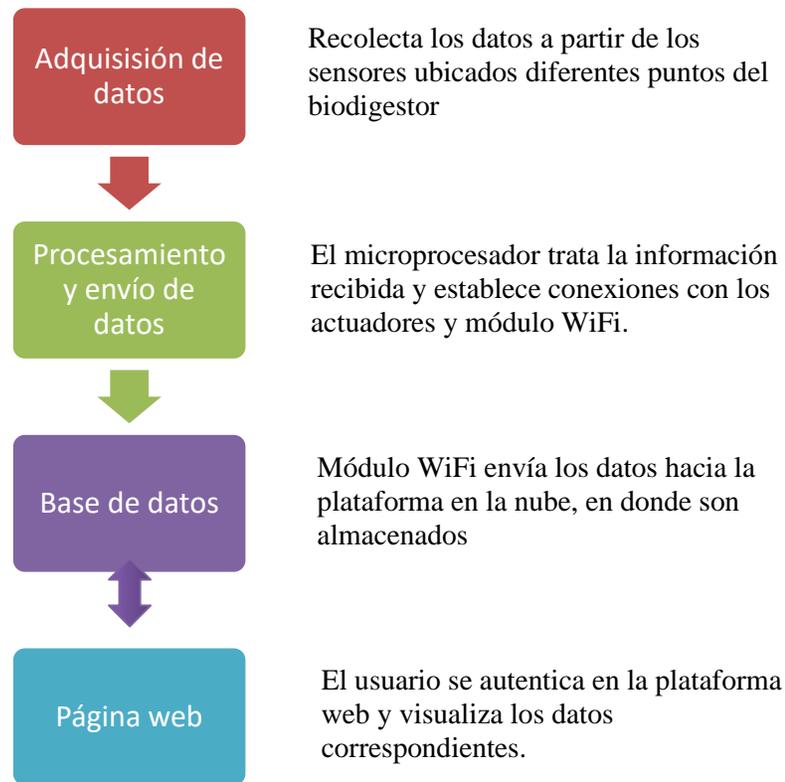
Todos los encuestados cuentan con un teléfono móvil, por lo que se les facilitará acceder a la información y resultados de la producción de biogás. Los interesados en implementar el sistema requieren que la visualización de los datos sea mediante autenticación de usuario y que se lo haga a través de una página web. De igual forma, se consideran importantes la alertas del

proceso para evitar desastres, riesgos en la salud o daños económicos.

A partir de los resultados de la encuesta realizada se puede concluir que los encuestados se encuentran interesados en implementar el proyecto debido a las ventajas que este representa en cuanto al uso del biogás y a la disminución de la quema de madera. Sin embargo, para obtener el mejor provecho del biodigestor es importante tomar en cuenta la cantidad de estiércol diaria que se obtiene por parte de los cerdos, por ello no sería factible la implementación en dos hogares ya que el estiércol diario no es suficiente para la producción de biogás requerido. Además, los encuestados tienen accesibilidad a un dispositivo móvil que cuenta con Internet, parte fundamental para el funcionamiento y monitoreo del sistema.

3.3. Descripción general del sistema

El sistema de control y automatización llamado “AutoBiogas” consiste en dotar al usuario de herramientas tecnológicas que permitan conocer el estado del proceso de la generación de biogás. Este sistema está conformado por cuatro bloques que se logran visualizar en la Figura 18.

Figura 18*Diagrama de bloques del sistema*

Fuente: Autor

3.3.1. Propósito y ámbito del sistema

La propuesta presentada consiste en el desarrollo e implementación de un sistema que permita un control y automatización del proceso de producción de biogás para los habitantes de la parroquia Piartal, el cual consta de diferentes dispositivos que trabajaran de forma conjunta en el sensado y control, tales como: temperatura, cantidad de sustrato, biogás, pH, entre otros., con el fin de generar la mayor cantidad de biogás posible.

El sustrato ingresa en un tanque de plástico, mismo que entra en proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás. Una vez transcurrido el tiempo de retención del

sustrato, éste se dirige hacia el tanque en donde se almacena el biofertilizante que ayuda a los cultivos como un abono que admite una forma más eficiente de asimilar los nutrientes.

El usuario y administrador tendrá acceso a una plataforma web que muestra los resultados que se generan a partir del proceso de producción de biogás, los cuales también son almacenados en una base de datos.

3.3.2. Objetivos del sistema

Para el desarrollo del sistema es necesario definir los aspectos con los que debe contar, a fin de obtener los resultados esperados. Teniendo como objetivo fundamental la implementación de un sistema de control y automatización que permita una producción de biogás más eficiente en comparación con lo tradicional, mediante la ubicación de sensores en un biodigestor para que los habitantes de la parroquia Piartal cuenten con un combustible como recurso extra al gas doméstico.

- Analizar tipos de biodigestores y desechos orgánicos que permitan una mejor producción de biogás, mediante el uso de fuentes bibliográficas.
- Evaluar la situación actual de la parroquia Piartal para levantar los requerimientos del sistema en base al modelo iterativo.
- Diseñar el sistema de control y automatización del biodigestor con los componentes que cumplan los requerimientos con el fin de obtener mejores resultados en la implementación.
- Implementar y realizar pruebas de funcionamiento del sistema operando en la parroquia Piartal, provincia del Carchi.
- Realizar un análisis costo-beneficio con el fin de determinar si el sistema es deseable

con relación al bienestar social de los habitantes de la parroquia Piartal.

3.3.3. *Beneficiarios*

A continuación se identifica los beneficiarios o afectados directos e indirectos en el desarrollo del proyecto. En la Tabla 11 se enlistan los stakeholders, es decir, las personas involucradas en las tareas realizadas en la presente investigación.

Tabla 11

Listado de stakeholders

Stakeholders	
1	Habitantes de la parroquia Piartal que se dediquen a la crianza de cerdos
2	Habitantes de la parroquia Piartal
3	Universidad Técnica del Norte
4	MSc. Jaime Michilena
5	MSc. Edgar Maya
6	Srta. Sofia López

Fuente: Elaborado por el autor

3.4. **Requerimientos**

Para cumplir con las funcionalidades esperadas del sistema de control y automatización es necesario analizar los requerimientos que se deben establecer para el usuario, sistema y arquitectura.

3.4.1. *Nomenclatura de los requerimientos*

Es fundamental asignar la nomenclatura adecuada para identificar de mejor forma los requerimientos que debe tener el sistema. A continuación, en la Tabla 12 se muestran las respectivas abreviaturas para el manejo de los requerimientos.

Tabla 12*Definición de abreviatura*

Abreviatura	Descripción
StSR	Requerimientos de Stakeholders
SySR	Requerimientos del Sistema
SRSR	Requerimientos de Arquitectura

Fuente: Elaborado por el autor

3.4.2. Requerimientos de stakeholders

Los requerimientos de stakeholders se refiere a las necesidades de los usuarios en cuanto a la visualización de los resultados, así como también la parte funcional del sistema. Para determinar los requerimientos y su prioridad, se realizó una encuesta a los usuarios. De esta forma, se define la prioridad de cada requerimientos, los cuales se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13*Requerimientos de stakeholders*

StSR				
#	REQUERIMIENTOS	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES				
StSR1	El sistema debe tener conexión a Internet para el envío de datos.	X		
StSR2	El sistema debe generar avisos sobre el proceso de obtención de biogás.		X	
StSR3	El sistema debe ser implementado en el hogar del usuario y cerca del corral de los cerdos.			X
StSR4	El digestor debe ser cargado a diario sin sobrepasar la capacidad de carga del tanque de mezcla.		X	
StSR5	El tanque del biol debe ser descargado cuando sea necesario, es decir, no sobrepasar su capacidad de 55 galones.		X	
StSR6	El sistema debe ser implementado bajo una cubierta de plástico negro.		X	
StSR7	La adquisición de datos debe ser a diario para prevenir la sobrecarga de los contenedores.	X		
REQUERIMIENTOS DE USUARIO				
StSR8	El acceso a la información de la plataforma debe ser autenticada, validando la información del usuario.	X		
StSR9	La plataforma debe ser lo más intuitiva posible para el usuario.		X	
StSR10	Los resultados deben ser mostrados en una página web.	X		

Fuente: Elaborado por el autor

3.4.3. Requerimientos del sistema

En la Tabla 14 se muestran los requerimientos que debe tener el diseño, con el fin de garantizar las funciones que va a desempeñar el sistema, dentro de los cuales se encuentran los requerimientos de uso, interfaz, performance, modos/estados y físicos. Cada requerimiento cuenta con una prioridad de acuerdo con la funcionalidad del sistema.

Tabla 14

Requerimientos del sistema

SySR				
#	REQUERIMIENTOS	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
REQUERIMIENTOS DE USO				
SySR1	El usuario debe contar con conexión a Internet en el hogar para el envío de información a la base de datos.	X		
SySR2	El usuario debe contar con un dispositivo conectado a Internet para ingresar a la página web.	X		
SySR3	La carga de la materia orgánica al tanque de la mezcla y su ingreso al digestor debe ser manual.		X	
SySR4	El usuario debe verificar si el tanque del biol requiere ser descargado.		X	
SySR5	El usuario debe verificar el estado del sistema, en la plataforma web, antes de ingresar el sustrato.		X	
REQUERIMIENTOS DE INTERFAZ				
SySR6	La base de datos debe recopilar y almacenar la información en un formato adecuado para luego presentarla ante el usuario en la página web.	X		
SySR7	La página web no debe saturarse y debe tener un funcionamiento continuo.	X		
SySR8	Los resultados deben ser visualizados de forma numérica en la página web.			X
SySR9	El sistema embebido debe tener entradas/salidas digitales y analógicas.	X		
REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE				
SySR10	El sistema debe permitir almacenar la información de forma temporal.		X	
SySR11	El funcionamiento del sistema debe ser continuo, durante las 24 horas del día.	X		
SySR12	Una vez activado el agitador, este se apagará luego de 4 minutos.		X	
SySR13	La visualización de los resultados en la plataforma web deben estar disponibles para el usuario.		X	
REQUERIMIENTOS DE MODOS/ESTADOS				

SySR14	En caso de haber una alerta, el sistema le indicará al usuario mediante indicadores led o señal auditiva implementada en una parte estratégica del biodigestor.	X
REQUERIMIENTOS FÍSICOS		
SySR15	La capacidad del digestor será regulada mediante un sistema de nivelación con tubería que permite la salida del sustrato hacia el tanque del biol.	X
SySR16	El presente proyecto debe ser implementado en una zona, en la cual pueda recibir la radiación solar directa durante la mayor parte del día.	X
SySR17	Se debe implementar un sistema de calefacción solar pasiva para obtener mayor cantidad de biogás en menor tiempo.	X
SySR18	El tanque que contiene el sustrato y el sistema de calefacción solar pasiva deben ser de color negro	X

Fuente: Elaborado por el autor

3.4.4. Requerimientos de arquitectura

Dentro de los requerimientos de arquitectura se definen los parámetros y especificaciones técnicas de los elementos de hardware, software y sistema eléctrico. Así como también la compatibilidad entre los módulos, lenguajes de programación y base de datos a utilizar en el desarrollo del proyecto. Los requerimientos de arquitectura y su prioridad se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Requerimientos de arquitectura

SRSH				
#	REQUERIMIENTOS	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
REQUERIMIENTOS LÓGICOS				
SRSH1	El lenguaje de programación debe ser compatible con el sistema embebido.	X		
SRSH2	La placa, módulos y sensores deben ser compatibles entre sí.	X		
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO				
SRSH3	Comunicación entre el sistema embebido, base de datos y página web.	X		
SRSH4	El sistema embebido debe estar protegido por un case.		X	
SRSH5	Los componentes por usar tanto en software como hardware deben ser de libre distribución.		X	
SRSH6	Utilizar herramientas que permitan disminuir los costos del sistema.			X
SRSH7	Debe ubicarse un agitador en el tanque de sustrato, el cual funcionara durante cierto tiempo en cada ingreso de sustrato.		X	
REQUERIMIENTOS DE HARDWARE				
SRSH8	El sensor debe medir el en el sustrato del tanque del digestor.	X		
SRSH9	El sensor de pH debe verificar si el sustrato tiene un pH ácido, neutro (6 a 8,5) o alcalino.		X	
SRSH10	El sensor debe medir la temperatura del sustrato en el tanque del digestor.	X		
SRSH11	El sensor de nivel debe identificar la cantidad de materia orgánica a ingresar en el tanque de mezcla para no sobrepasar su capacidad.	X		
SRSH12	El sensor debe medir la presencia de gas metano (CH ₄) en el recipiente que almacena el biogás.	X		
SRSH13	Los sensores por ubicarse en el tanque del digestor deben tener como característica el funcionamiento en ambientes líquidos.	X		

SRSH14	El sistema embebido debe tener la capacidad de procesamiento de información.	X
SRSH15	Módulo de transmisión de información de forma inalámbrica para poder enviar los datos.	X
REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE		
SRSH16	Sistema operativo, plataforma de programación, almacenamiento y base de datos deben ser Open Source.	X
SRSH17	Las librerías para el funcionamiento de los sensores y módulos deben estar disponibles.	X
REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS		
SRSH18	El sistema debe estar conectado a una fuente de alimentación eléctrica de 110v.	X

Fuente: Elaborado por el autor

3.5. Recursos

Es importante tomar en cuenta los recursos humanos que aportan de forma directa al desarrollo del proyecto en la toma de decisiones en cada una de sus etapas. Tanto desarrolladores como supervisores son fundamentales para alcanzar los objetivos propuestos. A continuación, en la Tabla 16 se indican los recursos humanos de la investigación.

Tabla 16

Recursos Humanos

Recursos Humanos	
Tutor	MsC. Jaime Michilena
Asesor	MsC. Edgar Maya
Desarrollador	Srta. Sofia López

Fuente: Elaborado por el autor

3.6. Selección de hardware y software

Los requerimientos definidos anteriormente para Stakeholders, sistema y arquitectura permiten evaluar las características de los atributos tanto en hardware como en software. De

este modo se puede elegir una opción óptima en concordancia con el proyecto.

Cada atributo de los componentes es evaluado si cumple (valor="1") o no cumple (valor="0") con los requerimientos de mayor relevancia, obteniendo una valoración y al final se escoge el de mayor puntuación.

3.6.1. Hardware

En este apartado se determina el hardware en base al análisis previamente realizado de los requerimientos del sistema. Los componentes disponibles en el mercado son seleccionados mediante tablas comparativas valorando si cumple el funcionamiento o característica indicada.

3.6.1.1. Sistema embebido

El sistema embebido es el dispositivo que receptorá los datos obtenidos por sensores, actuadores, módulos, entre otros. A continuación, en la Tabla 17 se muestra las especificaciones técnicas de los sistemas embebidos.

Tabla 17

Especificaciones técnicas de los sistemas embebidos

Parámetro	Arduino Uno	Raspberry Pi 1B	Arduino nano	Arduino Uno WiFi
Microcontrolador	ATmega328	Broadcom BCM2835	ATmega328	ATmega4809
Voltaje	5V	5V	5V	5V
Pines de entrada/salida digital	14	26	14	14
Pines de entrada análogas	6	3	6	6
Memoria flash	32 KB	4 GB	32 KB	48 KB
Almacenamiento	EEPROM 1KB	Micro SD	EEPROM 1KB	EEPROM 256B
Velocidad del reloj	16 MHz	1.8 GHz	16 MHz	16 MHz
Precio	\$25	\$50	\$12	\$53

Fuente: (Arduino, 2023).

En la Tabla 18 se muestran las valoraciones asignadas a cada una de las placas, verificando si cumplen o no con los requerimientos establecidos.

Tabla 18

Elección de sistema embebido

Tipo	Requerimientos							Total
	SySR9	SySR10	SySR11	SRSH2	SRSH5	SRSH6	SRSH14	
Arduino Uno	1	1	1	1	1	1	1	7
Raspberry Pi	1	1	1	1	1	0	1	6
Arduino Uno WiFi	1	1	1	1	1	0	1	6
Arduino nano	1	1	1	1	1	1	1	7
“1” Cumple “0” No cumple								

Fuente: Elaborado por el autor

Es importante que cumpla con la característica de procesamiento de información y cuente con los pines digitales y analógicos necesarios para la implementación de los dispositivos que estarán conectados a este. Por ello, el dispositivo seleccionado es Arduino Nano.

3.6.1.2. Módulo de comunicación

Los módulos de comunicación son ampliamente usados en sistemas de control y monitoreo ya que estos permiten enviar y recibir datos, a través de una comunicación inalámbrica o cableada. Las especificaciones técnicas de los módulos de comunicación se las indica en la Tabla 19.

Tabla 19

Especificaciones de los módulos de comunicación

Parámetro	ESP8266	Ethernet Shield	Wemos D1 mini ESP8266
Voltaje de alimentación	20V	5V	3.3 V
Temperatura de operación	-40 a 125°C	-40 a 85°C	-40 a 125 °C
Frecuencia de reloj	80 MHz	16 MHz	80/160 MHz
RAM	64 KB	16 KB	32 KB
Memoria flash externa	4 MB	32 KB	4 MB
Pines digitales GPIO	9	14	4
Pines análogos	1	6	1 (1.0 V max)
Estándar de comunicación	802.11b/g/n	IEEE 802.3af	802.11 b/g/n
Stack de protocolo	TCP/IP	TCP/IP	TCP/IP

Fuente: (AV Electronics, 2023).

Tabla 20

Elección de módulo de comunicación

Tipo	Requerimientos							Total
	StSR1	SySR11	SRSH2	SRSH5	SRSH6	SRSH15	SRSH17	
ESP8266	1	1	1	1	1	1	1	7
Ethernet Shield	1	1	1	1	0	0	1	5
Wemos D1 mini ESP8266	1	1	1	1	1	1	1	7

“1” Cumple
“0” No cumple

Fuente: Elaborado por el autor

En el presente proyecto se requiere de una transmisión de datos inalámbrica ya que esta nos brinda ciertas ventajas en comparación con la comunicación cableada. De este modo, se ha seleccionado el dispositivo Wemos D1 mini ESP8266.

3.6.1.3. Sensor de temperatura

A continuación, en la Tabla 21 se muestran las especificaciones del sensor de temperatura seleccionado.

Tabla 21

Especificaciones de los sensores de temperatura

Parámetro	DS18B20	LM35	DHT11
Rango de temperatura	-55 a 125 °C	-55 a 150 °C	0 a 50 °C
Precisión	± 0.5 °C	± 0.5 °C	± 0.2 °C
Alimentación	3 a 5.5 V	4-30 V	3 a 5 V
Tiempo de medición	750 ms	700 ms	2 seg
Cubierta	Acero inoxidable	Plástico	Plástico
Longitud de cable	1 m	No contiene	No contiene
Escenarios de medición	Líquidos y gases	ambiental	Ambiental

Fuente: (Dallas, s.f.).

En la Tabla 22 se hace referencia a los requerimientos que debe cumplir el sensor de temperatura, el cual estará ubicado dentro del tanque de digestor, es decir, que debe medir la temperatura en un entorno líquido.

Tabla 22

Elección de sensor de temperatura

Tipo	Requerimientos						Total
	StSR7	SySR11	SRSH5	SRSH10	SRSH13	SRSH17	
Sensor DS18B20	1	1	1	1	1	1	6
LM35	1	1	1	0	0	1	4
DHT11	1	1	1	0	0	1	4
“1” Cumple “0” No cumple							

Fuente: Elaborado por el autor

El sensor de temperatura seleccionado es DS18B20 ya que tiene la característica de poder sumergirle en un ambiente líquido, lo cual es fundamental para el desarrollo del proyecto.

3.6.1.4. Sensor de nivel

El sensor de nivel permite controlar que la cantidad de sustrato ingresada en el tanque de digester no sobrepase la capacidad de este. A continuación, en la Tabla 23 se muestra las especificaciones técnicas de los sensores de temperatura.

Tabla 23

Especificaciones técnicas de los sensores de nivel

Parámetro	Switch flotador horizontal	HC-SR04	Analógico
Voltaje máximo	100v	5 V	12 a 30 V
Corriente de conmutación	0.5A	15 mA	4 a 20 mA
Escenario de trabajo	Líquido	Ambiental	Líquido
Temperatura	-10 a 85 °C	-15 a 70 °C	-20 a 70 °C
Distancia	Cable de 30 cm	2cm a 400cm	1 a 100 m
Peso	20 gr	10 gr	25 gr

Fuente: (Dielect, s.f.-a)

En la Tabla 24 se muestra algunos sensores disponibles en el mercado, verificando si cumplen o no con los requerimientos indicados anteriormente.

Tabla 24

Elección de sensor de nivel

Tipo	Requerimientos					Total
	SySR11	SRSH2	SRSH5	SRSH10	SRSH12	
HC-SR04	1	1	1	1	0	4
Analógico	1	1	1	0	1	4
Flotador Horizontal	1	1	1	1	1	5
“1” Cumple “0” No cumple						

Fuente: Elaborado por el autor

El sensor tipo flotador horizontal fue seleccionado, pues cumple con todos los requerimientos definidos para un buen funcionamiento del sistema.

3.6.1.5. Sensor de pH

En el proceso de digestión anaerobia es primordial que el rango de pH del sustrato se encuentre entre 6,5 y 8,5. De lo contrario, el proceso de biodigestión puede detenerse, es decir, que no habrá producción de metano. En la Tabla 25 se muestra las características técnicas de los sensores de pH.

Tabla 25

Especificaciones técnicas de los sensores

Parámetro	Kit pH-4502C	Sonda de pH
Rango de medición	0-14 pH	0-13 pH
Punto cero	7 ± 0.5 pH	7 pH
Error de alcalinidad	0.2 pH	0.2 pH
Tiempo de respuesta	5 seg	1 min
Temperatura de funcionamiento	-10 a 50 °C	1 a 60 °C
Terminal	Conector BNC	Conector BNC
Longitud de cable	70 cm	85 cm
Voltaje	5 V	5 V
Corriente	5-10 mA	5-10 mA
Señal de salida	Analógica	Analógica

Fuente: (Dielect, s.f.-b).

A continuación, en la Tabla 26 se establece si los dispositivos cumplen o no con los requerimientos.

Tabla 26

Elección de sensor de pH

Tipo	Requerimientos					Total
	SRSH5	SRSH6	SRSH8	SRSH9	SRSH17	
Kit PH-4502C	1	0	1	1	1	4
Sonda de pH	1	1	1	0	1	4
“1” Cumple						
“0” No cumple						

Fuente: Elaborado por el autor

El dispositivo seleccionado fue el kit sensor pH-4502C. El kit cuenta con un controlador y un potenciómetro integrado que permite una calibración de la sonda de forma sencilla, y así realizar una toma de datos más exacta.

3.6.1.6. Sensor de gas metano

Los tipos de sensores que miden la presencia de gas metano son MQ2 y MQ4. De estos hay que investigar cual tiene mayor sensibilidad al gas que se requiere detectar. En la Tabla 27 se muestran sus características.

Tabla 27

Especificaciones técnicas de los sensores MQ2 y MQ4

Parámetro	MQ4	MQ-2
Detecta	Metano, gas natural comprimido	GLP y propano
Voltaje	5 v	5 v
Interfaz	Analógico	Analógico
Respuesta	Rápida	Rápida < 10 s
Concentración	300 a 10000 ppm	300 a 10000 ppm
Temperatura	-10 a 50 °C	-20 a 55 °C
Potencia	Menos de 900 mW	800 mW

Fuente: (Hanwei Electronics, 2013).

En la Tabla 28 se muestra los requerimientos que deben cumplir los dispositivos.

Tabla 28

Elección del sensor de gas metano

Tipo	Requerimientos				Total
	SySR11	SRSH2	SRSH5	SRSH12	

MQ-2	1	1	1	1	4
MQ-4	1	1	1	1	4
“1” Cumple “0” No cumple					

Fuente: Elaborado por el autor

Aquí se puede notar que los dos dispositivos tienen una valoración final igual a 4, ya que ambos cumplen con todos los requerimientos definidos anteriormente. Sin embargo, de acuerdo con sus especificaciones técnicas, se puede decir que tiene mayor sensibilidad al gas metano (CH₄), el sensor MQ4.

3.6.2. Software

3.6.2.1. Lenguaje de programación

Dentro de la selección de software se analiza los diferentes lenguajes de programación que permitirán un correcto funcionamiento del sistema. En la Tabla 29 se realiza una comparación de los lenguajes de programación que son compatibles con el sistema embebido seleccionado.

Tabla 29

Especificaciones de los lenguajes de programación

Parámetro	Arduino IDE	Python
Modificaciones	Se realiza un compilado cada vez que haya cambios en el código	Se accede a un sistema de archivos para realizar modificaciones
Número de librerías	Entre más librerías existan, mayor es el tiempo de compilación	Se puede agregar tantas librerías como desee, dependiendo de la memoria flash del dispositivo
Ejecución de archivo	Se ejecuta el principal main.py, el cual va después del archivo boot.py	Se compila el archivo a lenguaje de máquina, lo que le hace más eficiente.

Lenguaje de programación	C++	Orientado a objetos
Distribución	Libre	Libre
Bibliotecas	Varias librerías disponibles para los módulos compatibles	A pesar de ser compatible con Arduino, no cuenta con todas las librerías.

Fuente: (330ohms, 2020).

A continuación, se realiza el análisis de los requerimientos que deben cumplir los lenguajes de programación. Se asigna una valoración teniendo en cuenta las características mostradas en la Tabla 30.

Tabla 30

Elección de lenguaje de programación

Tipo	Requerimientos				Total
	SRS1	SRS5	SRS16	SRS17	
Arduino IDE	1	1	1	1	4
Phyton	1	1	1	0	3
“1” Cumple “0” No cumple					

Fuente: Elaborado por el autor

El lenguaje de programación seleccionado según el cumplimiento de los requerimientos es Arduino IDE con una puntuación total de 4.

3.6.2.2. Servidor web

El servidor web va a permitir el alojamiento del sitio web que se requiere en la presente investigación para la visualización de los datos desde cualquier dispositivo que tenga conexión a Internet. En la Tabla 31 se definen los parámetros para la selección del servidor web.

Tabla 31

Especificaciones del servidor web

Parámetro	000webhost	Firestore
Idioma	Inglés	Inglés
Espacio	1 Gb	1 GB
Transferencia mensual de datos	10 Gb	10 GB
Sitios web	2	36
Alojamiento	local	web
Versión	Gratuito	Gratuito
Soporte	No	Si

Fuente: (Souza, 2019).

En la Tabla 32 se analiza el cumplimiento de los requerimientos para el servidor web, asignando una puntuación de 1 para el servidor que cumple con el parámetro y 0 el que no cumple.

Tabla 32

Elección del servidor web

Tipo	Requerimientos					Total
	StSR8	SySR7	SySR10	SySR13	SRS16	
000webhost	0	1	1	0	1	3
Firestore	1	1	1	1	1	5

“1” Cumple
“0” No cumple

Fuente: Elaborado por el autor

El servidor web elegido es Firestore por que ha cumplido con todos los requerimientos necesarios para el funcionamiento del sistema.

3.6.2.3. Servidor en la nube

Existen algunos servidores en la nube, tanto gratuitos como pagados. Sin embargo, un

requerimiento es disminuir costos. Por ello, se realiza una comparación de servidores que cuentan con ciertas características necesarias para el funcionamiento del sistema. A continuación, en la Tabla 33 se representa las principales características de los servidores en la nube como Firebase, ThingSpeak y Arduino Cloud.

Tabla 33

Especificaciones de los servidores en la nube

Parámetro	Firestore	ThingSpeak	Arduino Cloud
Conexiones	100	1	1
Administrar usuarios	Si	No	No
Almacenamiento en tiempo real	Si	Si	Si
Seguridad	Si	No	Si
Escalabilidad	Si	No	Si
Servicio web	Si	No	No

Fuente: (Souza, 2019)

Tabla 34

Elección del servidor

Tipo	Requerimientos					Total
	StSR8	SySR10	SRSR3	SRSR6	SRSR16	
Firestore	1	1	1	1	1	5
ThingSpeak	0	1	1	1	1	4
Arduino Cloud	0	1	1	1	1	4

“1” Cumple
“0” No cumple

Fuente: Elaborado por el autor

En la Tabla 34 se ha realizado la comparación del cumplimiento de los requerimientos, en donde el servidor que cumple totalmente lo necesario para el proyecto es Firebase, por lo cual es el seleccionado para el diseño del sistema. Este permite crear aplicaciones con acceso seguro a la base de datos directamente desde el lado del cliente. En adición, los datos se pueden representar en una aplicación en tiempo real.

3.7. Diseño del sistema

Una vez conocidos los requerimientos del sistema, se ha logrado definir los elementos de este. Ahora se procede a realizar la fase de diseño, dentro de la cual se trabaja los códigos para el funcionamiento de los dispositivos que pertenecen al bloque de adquisición de datos, como para su procesamiento, la creación de la base de datos y finalmente el diseño de una página web para la visualización de ciertos datos que pueden resultar útiles para el usuario

3.7.1. Diagrama de Arquitectura de funcionamiento del sistema

El sistema cuenta con cuatro bloques, dentro de los cuales se puede identificar los componentes que forman parte de un proceso que va desde la adquisición de datos, procesamiento y envío de datos, almacenamiento de datos y visualización de estos.

El **primer bloque** se refiere a la adquisición de datos, a través de sensores implementados estratégicamente en ciertos puntos de toda la estructura física que comprende el sistema. Los sensores son conectados a una placa de programación que les permite la alimentación eléctrica. Los datos por obtener principalmente son: temperatura de sustrato, pH, cantidad de sustrato, cantidad de gas metano (CH₄), estado del agitador y cantidad de materia orgánica.

El **segundo bloque** de envío y procesamiento de datos comprende desde las señales que envían los sensores en forma de pulsos eléctricos hacia el microprocesador, el cual se encarga

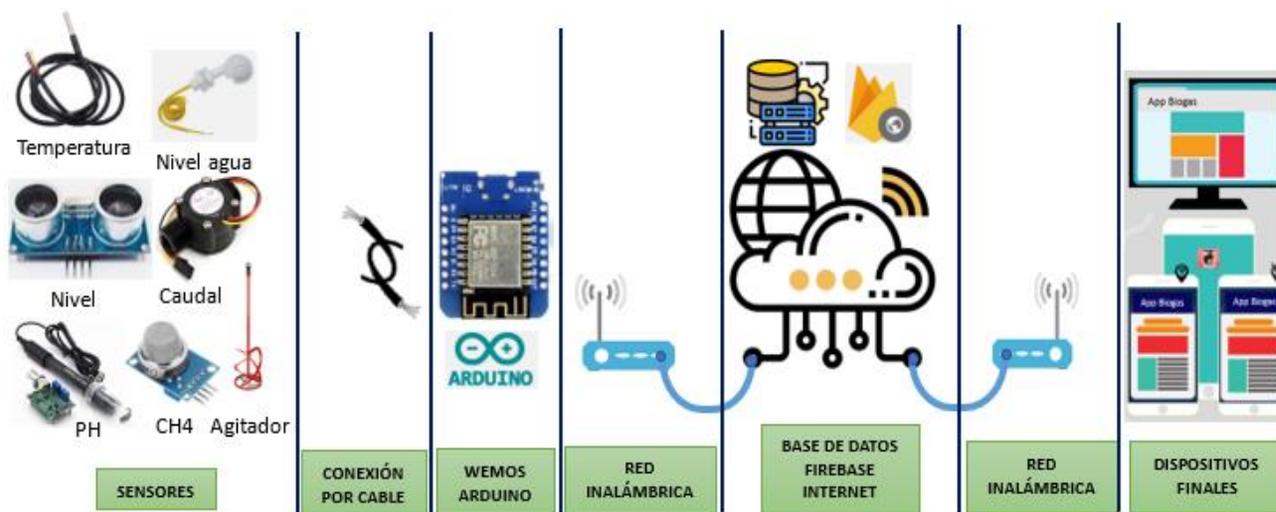
de procesar y tratar la información. Posteriormente, dependiendo del tipo de señal recibida, el microcontrolador establece conexión con alguno de los diferentes actuadores.

El **tercer bloque** está enfocado en el almacenamiento de datos en “Firebase Real Time Database” alojada en la nube, permitiendo almacenar y sincronizar datos en tiempo real. La comunicación con la base de datos, se la realiza a través de un módulo WiFi.

En el **cuarto bloque** se muestra la información que requiere conocer el usuario a través de una página web, la misma que debe tener la funcionalidad de autenticación. Tanto la plataforma web como los datos a visualizar, deben ser sencillos y fáciles de comprender.

Figura 19

Diagrama de arquitectura de funcionamiento del sistema



Fuente: Elaborado por el autor

3.7.2. Adquisición de datos

El bloque de adquisición de datos se basa especialmente en dispositivos electrónicos o sensores que permiten la detección de eventos o cambios que se presentan en el entorno, y a su vez transmiten esta información al microprocesador, con el fin de mejorar el control del proceso

de obtención de biogás.

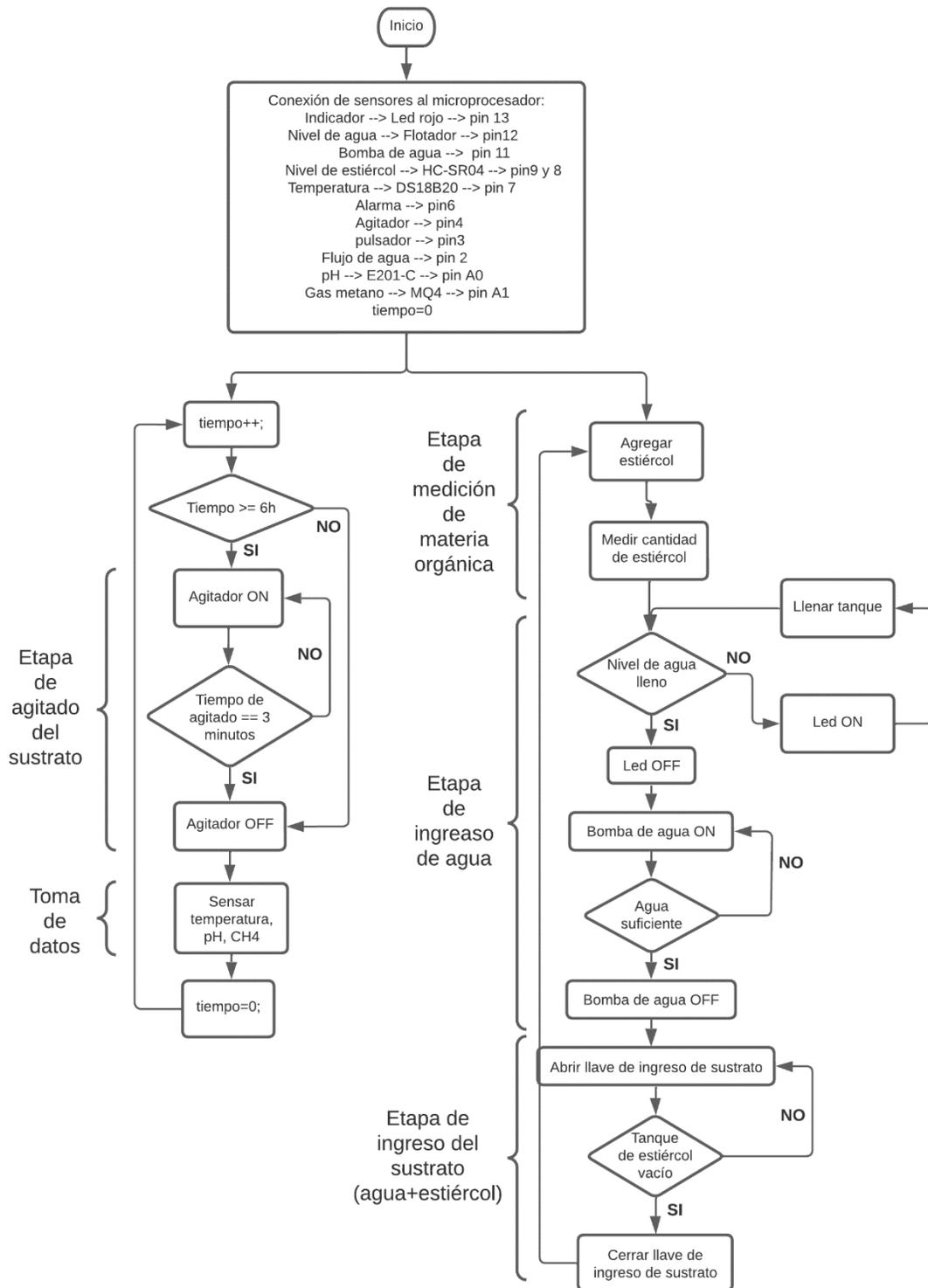
3.7.2.1. Diagrama de flujo del bloque 1

El bloque de adquisición de datos se encarga de recopilar las diferentes condiciones físicas o ambientales de las variables que son necesarias para un monitoreo del proceso de producción de biogás. Los sensores encargados de medir las variables van conectados al microcontrolador encargado de procesar la información. El proceso de obtención de biogás está estructurado bajo cinco etapas que son: medición de materia orgánica, ingreso de agua, ingreso de sustrato (agua + estiércol), agitado de sustrato y obtención de biogás. El diagrama de flujo general del bloque 1 se muestra en la Figura 20.

Para iniciar el proceso, el usuario debe ingresar el estiércol y una vez haya terminado de agregar, presiona un botón para que el sensor HC-SR04 inicie la medición y según la cantidad de estiércol agregado, como segundo paso se agregará 1,6 litros de agua por cada kilogramo de estiércol. Una vez terminado el segundo proceso, el sistema le indica al usuario que debe abrir la llave de ingreso de sustrato, como cuarta etapa el sistema realiza la medición de la cantidad de sustrato existente en el tanque y si supera los 260 litros, el agitador se activará durante 3 minutos. En la quinta etapa se realiza la medición del biogás almacenado.

Figura 20

Diagrama de flujo del bloque de adquisición de datos



Fuente: Elaborado por el autor

3.7.2.2. Sensor de nivel de agua

El principal funcionamiento del sensor de nivel de agua es el aviso al usuario de que

el tanque de agua no cuenta con la suficiente cantidad de agua para una futura mezcla con la materia orgánica, esto de acuerdo con la cantidad promedio de estiércol que se recolecta a diario.

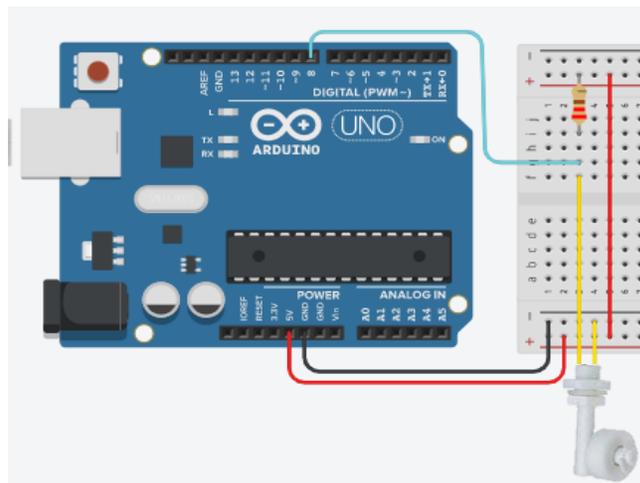
El sensor seleccionado fue el tipo flotador horizontal funciona de manera similar a un switch y debe ir conectado a una entrada digital del microcontrolador con una resistencia pull-down o pull-up. En este caso se ha optado por una conexión de resistencia pull-up, de este modo, el sensor indicará que el nivel de líquido está lleno cuando la boya que contiene el sensor este arriba.

Con el objetivo de que el usuario pueda conocer cuando el nivel de agua está bajo, se agrega un indicador led que puedan informarle que debe agregar agua al tanque para que esté lo suficientemente lleno para una mezcla de sustrato.

El diagrama de conexión del sensor de nivel tipo flotador se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Diagrama conexión del sensor de nivel tipo flotador



Fuente: Elaborado por el autor

El sensor de nivel tipo flotador se encarga de identificar si el nivel del agua contenida

en el tanque, lo sobrepasa o está por debajo de éste. La ubicación del dicho sensor se la realiza a una altura estratégica, tomando en cuenta los datos recopilado en la encuesta realizada al usuario y el tamaño del tanque. Es decir, el sensor se ubica a una altura que indique una cantidad de al menos 35 litros. El código para el funcionamiento del sensor de nivel de agua se lo identifica en la Figura 22, dentro del cual dará un aviso cuando el usuario debe agregar agua al tanque, mediante un led.

Figura 22

Código de funcionamiento del sensor de nivel tipo flotador

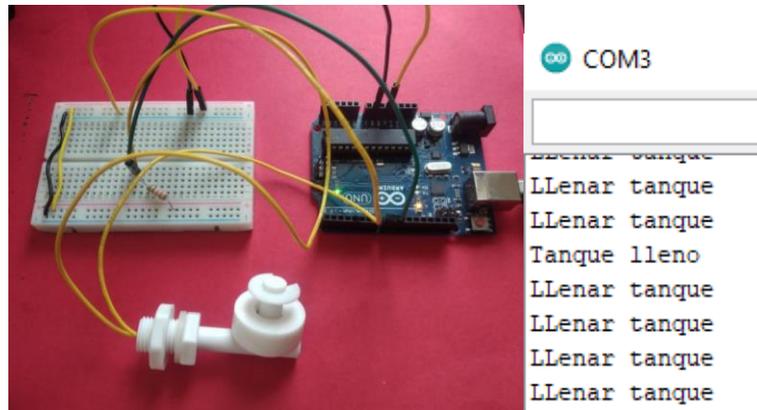
```
const int Led_llenarAgua = 13; // indicador agregar agua
const int nivel_agua = 12; //nivel de agua
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // configuración de entradas y salidas
  pinMode(nivel_agua, INPUT);
  pinMode(Led_llenarAgua, OUTPUT);
}
void loop() {
  //leemos lo que marca el nivel
  // si el flotador esta arriba --> tanque lleno
  int SensorNivel = digitalRead(nivel_agua);
  if (SensorNivel == 1) {
    Serial.println("Tanque lleno");
    digitalWrite(Led_llenarAgua, LOW);
    delay(3000);
  }
  // si el flotador esta abajo --> agregar agua
  if (SensorNivel == 0) {
    Serial.println("Llenar tanque");
    digitalWrite(Led_llenarAgua, HIGH);
    delay(3000);
  }
}
```

Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 23 se puede observar que el flotador está abajo e indica que el tanque debe llenarse.

Figura 23

Prueba de sensor con flotador abajo

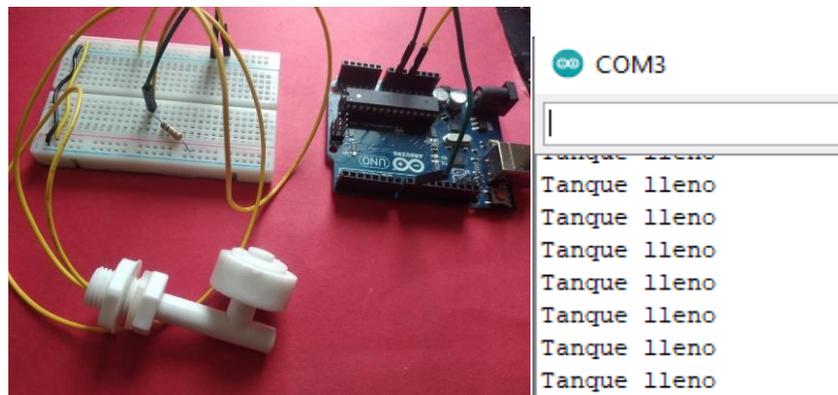


Fuente: Elaborado por el autor

Si el flotador del sensor está en la parte de arriba, este indica que el tanque está lo suficientemente lleno para una mezcla con una carga máxima de 20kg por ingreso. Esto se puede observar en la Figura 24.

Figura 24

Prueba de sensor con flotador arriba



Fuente: Elaborado por el autor

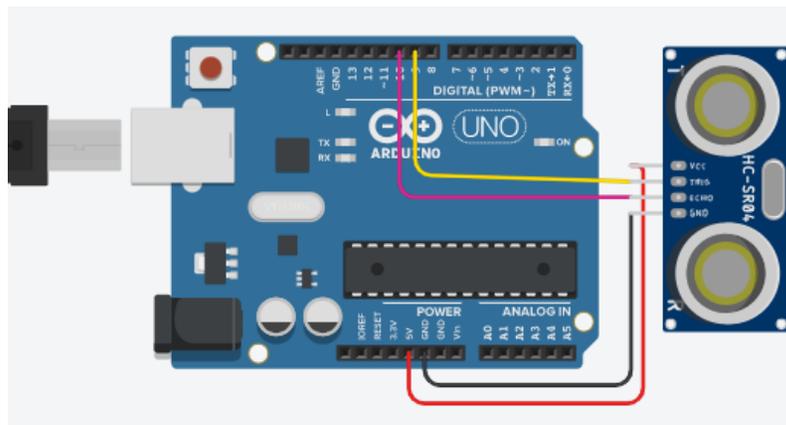
3.7.2.3. Sensor de nivel de materia orgánica

El dispositivo a usar para medir la cantidad de estiércol de cerdo que se agrega al tanque es el sensor ultrasónico HC-SR04, el cual envía un pulso de ondas ultrasónicas y se reflejan cuando choca con algún obstáculo. De esta forma se calcula la distancia en función del tiempo que las ondas reflejadas tardan en regresar.

El dispositivo se ubica en la tapa de un tanque de plástico de capacidad 60 litros, sin embargo, por seguridad de este se realiza la medición máxima de 52 litros, es decir que el usuario únicamente puede agregar hasta máximo 20 kg de estiércol en cada ingreso. Esto se debe a que la materia orgánica (estiércol) es mezclado con 1,6 litros de agua por cada kg y esto daría como resultado hasta 52 litros de sustrato. El diagrama de conexión del sensor ultrasónico se lo muestra en la Figura 25.

Figura 25

Diagrama de conexión del sensor HC-SR04



Fuente: Elaborado por el autor

El transmisor (pin trigger) del ultrasonido emite una onda de alta frecuencia, la cual choca con un objeto, rebota y el receptor (pin echo) del ultrasónico recibe la onda reflejada. El tiempo que tarda la onda en ir y regresar permite calcular la distancia a un objeto, gracias a que la velocidad del sonido en el aire ya es conocida, siendo igual a 342,2 m/s. Dato necesario e incluido en el código de funcionamiento del sensor, como se observa en la Figura 26.

La funcionalidad del sensor de nivel de materia orgánica es conocer la cantidad que se agrega al tanque para luego calcular la cantidad de agua que se debe agregar, de modo que el proceso de la digestión anaerobia cumpla el principio de generar biogás.

Figura 26

Código de calibración del sensor HC-SR04

```

// Variables para conocer el nivel de materia orgánica con sensor HC-SR04
const int PinEcho_nivel = 5; // Pin ECHO
const int PinTrig_nivel = 6; // Pin TRIGGER
const float Vel_sonido = 34320.0; // velocidad de sonido en cm/s a 20°C
float nivelMateria; //cantidad de materia orgánica
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  // Pin echo(entrada) y trig(salida) del sensor de nivel de agua
  pinMode(PinEcho_nivel, INPUT);
  pinMode(PinTrig_nivel, OUTPUT); }
void loop() {
  inicio_Trigger(); // hacemos un llamado al método
  //pulseIn --> función para obtener tiempo al cambio entre estados, de LOW a HIGH (en este caso)
  unsigned long tiempo_estados = pulseIn(PinEcho_nivel, HIGH);
  // Obtenemos la distancia en cm, hay que convertir el tiempo de microseg a segundos(multiplica por 0.000001)
  nivelMateria = tiempo_estados * 0.000001 * Vel_sonido / 2.0;
  Serial.print("Distancia: ");
  Serial.print(nivelMateria);
  Serial.println(" cm");
  delay(5000); }
void inicio_Trigger() {
  digitalWrite(PinTrig_nivel, LOW); // Configuramos Trigger en estado LOW(bajo)
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(PinTrig_nivel, HIGH); // Configuramos Trigger en estado HIGH(alto)
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(PinTrig_nivel, LOW); // Inicializamos pin Trigger en estado LOW
}

```

Fuente: Elaborado por el autor

Para medir la cantidad de estiércol que se agrega, primero se realiza 3 mediciones diferentes: vacío, con 9,3 kg y lleno, como se observa en la Figura 27. De estas mediciones se toma 100 muestras para ser más precisos en los datos obtenidos.

Figura 27

Prueba de sensor HC-SR04 en tanque vacío (izquierda) con 9,3 kg de estiércol (centro) y lleno (derecha)



Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 28 se visualizan los resultados obtenidos cuando el tanque está vacío, medio lleno (9,3 kg) y lleno.

Figura 28

Prueba de sensor HC-SR04 en tanque vacío (izquierda), medio lleno (centro) y lleno (derecha)

COM3	COM3	COM3
Vacio: 58.77 cm	Medio lleno: 52.84 cm	lleno: 3.28 cm
Vacio: 58.76 cm	Medio lleno: 52.80 cm	lleno: 3.28 cm
Vacio: 58.76 cm	Medio lleno: 52.80 cm	lleno: 3.28 cm
Vacio: 58.76 cm	Medio lleno: 52.84 cm	lleno: 3.28 cm

Fuente: Elaborado por el autor

Los resultados de las mediciones van a depender del contenedor y la cantidad de líquido, las pruebas que se han tomado se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35

Pruebas para medir cantidad de estiércol

Vacío	Lleno	9,3 kg
55,58 cm	3,28 cm	52,80cm

Fuente: Elaborado por el autor

En base a los datos obtenidos ya se puede obtener una fórmula para que el sensor

indique la cantidad de estiércol con relación a la distancia. Para ello, se debe eliminar la distancia que se obtuvo cuando el tanque está lleno para llevarlo a cero. Los resultados se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36

Eliminando el offset

Vacío	Lleno	9,3 kg
55,58 cm	3,28 cm	46,50cm
52,3 cm	0 cm	43,40 cm

Fuente: Elaborado por el autor

Ahora se debe restar la distancia en vacío menos la distancia con 9,3 kg para obtener la distancia que ocupa con esta cantidad.

$$Distancia_{9,3kg} = 52,3 - 43,40 = 8,9 \text{ cm}$$

Este resultado indica que cada 8,96 cm hay 9,3 kg de estiércol.

Con esto se puede realizar una regla de tres.

$$\begin{array}{lcl} 8,9 \text{ cm} & \rightarrow & 9,3 \text{ kg} \\ 55,58\text{cm} - \text{EspacioVacio}(\text{cm}) & \rightarrow & \text{Estiercol}(\text{kg}) \end{array}$$

Quedando la fórmula de la siguiente forma:

$$Estiercol(kg) = \frac{[55,58\text{cm} - \text{EspacioVacio}(\text{cm})] * 9,3 \text{ kg}}{8,9 \text{ cm}}$$

Una vez obtenida la base matemática, se puede programar el código para calcular el nivel de estiércol en kilogramos. Como se puede observar en la Figura 29 se incluye la fórmula con las variables obtenidas en la calibración como lo son la distancia cuando el tanque está vacío y la distancia cuando el tanque tiene 9,3kg de estiércol

Figura 29

Código principal de funcionamiento del sensor ultrasónico

```

float nivelMateria; //cantidad de materia orgánica
const float distanciaMedioLleno = 5.96; // distancia a los 9,3 kg de estiércol
const float distanciaVacio = 58.76; // distancia con tanque vacio
// Variables para activar la medición de nivel de materia orgánica
const int LED_midiendoMateria = 11;
const int pulsador_medirMateria = 3;
int val_pulsador = 0;
int estado_medirMateria = 0; // 0 LED_midiendoMateria apagado
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(LED_midiendoMateria, OUTPUT); // LED_midiendoMateria como una señal de salida
  pinMode(pulsador_medirMateria, INPUT); // pulsador_medirMateria como señal de entrada
  pinMode(PinEcho_nivel, INPUT); // PinEcho_nivel como señal de entrada
  pinMode(PinTrig_nivel, OUTPUT); // PinTrig_nivel como una señal de salida }
void loop() {
  val_pulsador = digitalRead(pulsador_medirMateria); // lee estado de pulsador_medirMateria
  if (val_pulsador == HIGH) {
    digitalWrite(LED_midiendoMateria, HIGH); //
    inicio_Trigger(); // hacemos un llamado al método
    unsigned long tiempo_estados = pulseIn(PinEcho_nivel, HIGH);
    nivelMateria = tiempo_estados * 0.000001 * Vel sonido / 2.0;
    float distanciaLleno = distanciaVacio - nivelMateria;
    float cantidadEstiercol = (distanciaLleno * 9.3) / distanciaMedioLleno;
    Serial.print("M");
    Serial.println(cantidadEstiercol);
  }
}

```

Fuente: Elaborado por el autor

La ejecución del código anterior se obtiene como resultados los que se muestran en la

Figura 30.

Figura 30

Medición de distancia “nivel (cm)” y cantidad de estiércol “nivel(kg)” con el sensor ultrasónico

```

Nivel(cm): 21.95      Nivel(kg): 57.44
-----
Nivel(cm): 23.78      Nivel(kg): 54.58
-----
Nivel(cm): 22.51      Nivel(kg): 56.56
-----
Nivel(cm): 22.60      Nivel(kg): 56.42
-----
Nivel(cm): 26.79      Nivel(kg): 49.89
-----
Nivel(cm): 26.43      Nivel(kg): 50.45
-----
Nivel(cm): 27.15      Nivel(kg): 49.33
-----
Nivel(cm): 29.27      Nivel(kg): 46.01
-----

```

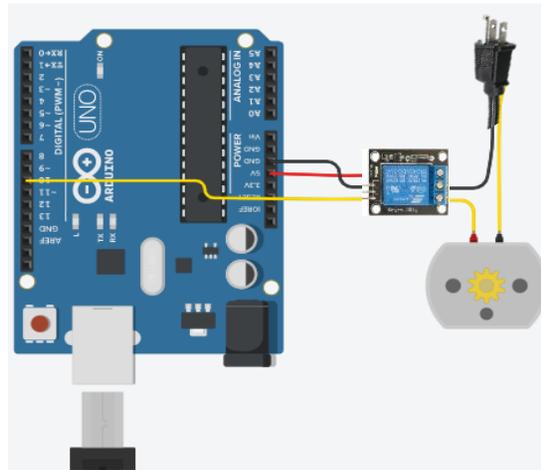
Fuente: Elaborado por el autor

3.7.2.4. Bomba de agua

Una vez obtenido la cantidad de materia orgánica a ingresar, la bomba de agua se activa y agrega 1,6 litros de agua por kg. Este líquido es agregado en el tanque que contiene la materia orgánica para luego llevarlo al tanque del digestor. El diagrama de conexión de la bomba de agua se puede visualizar en la Figura 31. La altura a la que debe llegar el bombeo de agua es aproximadamente 1,20 m, por lo que se usa una bomba que funciona hasta una altura de 4m a 12V.

Figura 31

Diagrama de conexión de la bomba de agua



Fuente: Elaborado por el autor

La bomba de agua funciona luego de que se haya medido y obtenido la cantidad de materia orgánica agregada al tanque. Un código muy corto permite accionar este dispositivo, este se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Código de funcionamiento de la bomba de agua

```
#define rele_bomba 10 // rele que activa la bomba
void setup() {
  pinMode(rele_bomba, OUTPUT);
}
void loop() {
  digitalWrite (rele_bomba, HIGH); //enciende la bomba de agua
  delay (3000);
  digitalWrite (rele_bomba, LOW); //enciende la bomba de agua
  delay (1000);
}
```

Fuente: Elaborado por el autor

A continuación, en la Figura 33 se muestra que la bomba esta accionada mediante la fludes del agua que se está agregando al tanque.

Figura 33

Bomba de agua en funcionamiento



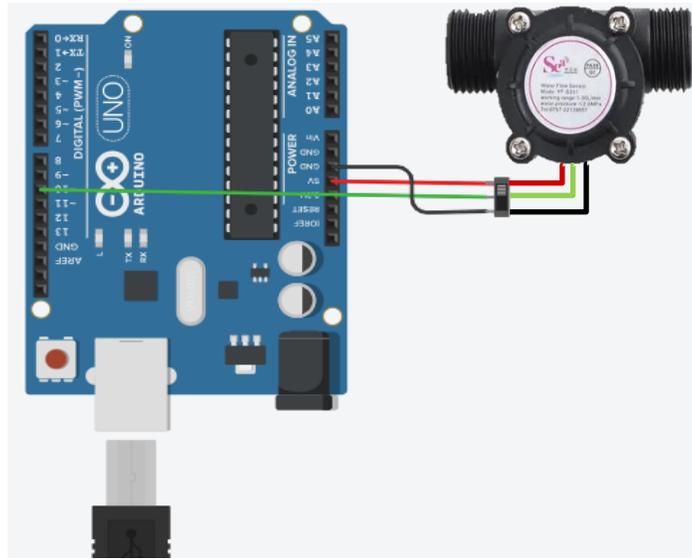
Fuente: Elaborado por el autor

3.7.2.5. Sensor de flujo de agua

Las grandes industrias que manejan procesos automatizados y cuantifican constantemente líquidos requieren de un sensor para medir el flujo de un líquido, siendo el más común el sensor de flujo. Si este se conecta a un Arduino, se puede calcular el caudal y verificar el volumen que ha pasado por una tubería, de forma que se pueda controlar según sea necesario. En este proyecto, se utiliza un sensor de flujo de agua conectado a la placa Arduino . La funcionalidad de este sensor es obtener el valor del volumen de agua que ha pasado a través de una tubería. El dispositivo a utilizar es YF-S400 , que utiliza un efecto Hall para detectar el caudal del líquido. El diagrama de conexión se muestra en la Figura 34.

Figura 34

Diagrama de conexión del sensor de flujo de agua



Fuente: Elaborado por el autor

Dentro del código que se logra observar en la Figura 35, se incluye una interrupción “sensorInterrupt” que permite hacer un llamado cada vez que haya una señal en el pin que se conecta el sensor al Arduino. Por cada señal recibida, la variable contenida aumentará en 1.

Dentro de una función if se asegura el conteo de número de frecuencia que se producen por segundo. Las características de la hoja de datos del sensor indican que la frecuencia es de 7,5 multiplicada por la tasa de flujo o caudal.

Figura 35

Código de funcionamiento del sensor de flujo de agua

```

int sensorInterrupt = 0; // interrupción 0
int sensorFlujo = 2; // sensor de flujo conectado en el pin 2
int bomba = 9; // activa la bomba en el pin 9
// El sensor de flujo de efecto Hall emite pulsos por segundo por litro/minuto de flujo
float calibrationFactor = 7.5 ; // dato de acuerdo al datasheet
volatile byte pulseCount = 0;
float caudal = 0.0;
float caudalLitros = 0;
float totalLitros = 0;
unsigned long oldTime = 0;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(bomba, OUTPUT);
  digitalWrite(bomba, HIGH);
  pinMode(sensorFlujo, INPUT);
  digitalWrite(sensorFlujo, HIGH);
  // El sensor de efecto Hall está conectado al pin 2 que utiliza la interrupción 0.
  // Configurado para activarse en un cambio de estado FALLING (transición del estado ALTO al estado BAJO)
  attachInterrupt(sensorInterrupt, numPulsos, FALLING); //La config puede ser falling o rising
void loop() {
  if ((millis() - oldTime) > 1000) { // procesa contadores una vez por seg
    detachInterrupt(sensorInterrupt);
    caudal = ((1000.0 / (millis() - oldTime)) * pulseCount) / calibrationFactor;
    oldTime = millis();
    caudalLitros = (caudal / 60); // caudal en litros/seg
    totalLitros += caudalLitros; // acumula los litros
    // Imprime en caudal y total en litros/seg
    Serial.print(totalLitros, 3);
    Serial.println(" L");
    digitalWrite(bomba, LOW);
    pulseCount = 0; // resetea el contador para empezar de nuevo
    attachInterrupt(sensorInterrupt, numPulsos, FALLING); }}

```

Fuente: Elaborado por el autor

Como se puede observar en la Figura 36, se realiza la medición de la cantidad de agua que fluye a través del sensor y la cantidad de agua acumulada.

Figura 36

Midiendo el flujo de agua para calibración

Caudal: 0.02 L/seg	Total: 0.779 L
Caudal: 0.02 L/seg	Total: 0.801 L
Caudal: 0.02 L/seg	Total: 0.821 L
Caudal: 0.02 L/seg	Total: 0.844 L
Caudal: 0.02 L/seg	Total: 0.864 L
Caudal: 0.02 L/seg	Total: 0.884 L
Caudal: 0.02 L/seg	Total: 0.903 L
Caudal: 0.02 L/seg	Total: 0.926 L
Caudal: 0.02 L/seg	Total: 0.946 L
Caudal: 0.02 L/seg	Total: 0.968 L
Caudal: 0.02 L/seg	Total: 0.988 L
Caudal: 0.01 L/seg	Total: 0.999 L
Caudal: 0.00 L/seg	Total: 0.999 L

Fuente: Elaborado por el autor

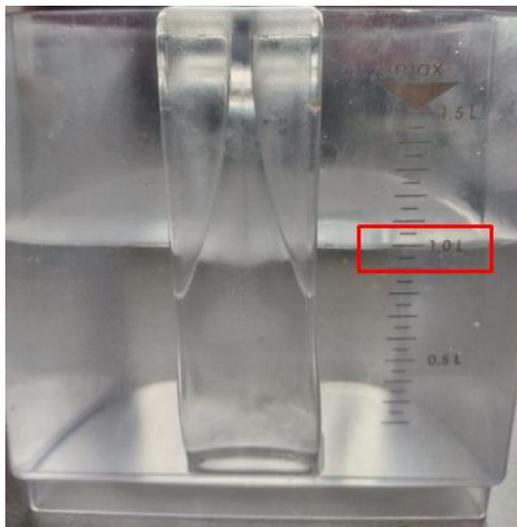
Se realiza una comparación entre la cantidad real de agua agregada a un recipiente con el valor medido por el sensor, el cual fue de 1 Litro. Con esto se puede decir que la

calibración del sensor ha sido exitosa.

Figura 37

Comparación entre sensor de flujo (izquierda) y recipiente con mediciones (derecha)

Total: 0.779 L
 Total: 0.801 L
 Total: 0.821 L
 Total: 0.844 L
 Total: 0.864 L
 Total: 0.884 L
 Total: 0.903 L
 Total: 0.926 L
 Total: 0.946 L
 Total: 0.968 L
 Total: 0.988 L
 Total: 0.999 L
 Total: 0.999 L



Fuente: Elaborado por el autor

3.7.2.6. Sensor de pH del sustrato

La medición del pH se usa en una amplia variedad de aplicaciones, como lo es en este caso el monitoreo del sustrato para una mejor producción de biogás.

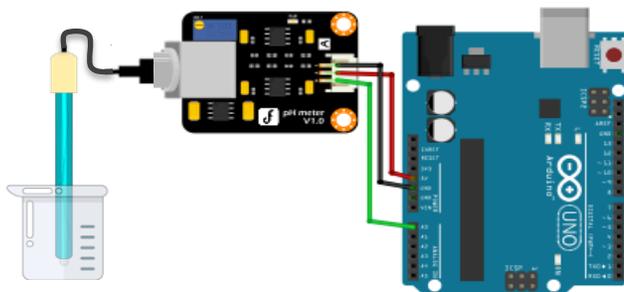
El pH tiene un rango de valores entre 0 y 14. Un valor de 7 es un pH neutro, los valores inferiores a 7 son ácidos y los valores superiores a 7 son alcalinos.

Para el sistema se realiza el monitoreo de un pH neutro del sustrato en un rango de 6 a 8,5. Aunque también un valor mayor a 5 se considera que la producción de biogás es de hasta un 75%.

El diagrama del circuito para medir el pH se muestra en la Figura 38.

Figura 38

Diagrama de conexión de sensor de pH



Fuente: Elaborado por el autor

Antes de usar el sensor de pH se realiza la calibración ya que es un sensor analógico, pues la salida depende del voltaje y también se debe cubrir todos los valores que se encuentran en el espectro. La forma más fácil de calibrar el sensor es aplicarle un voltaje de 5V y tomar la muestra de la salida analógica transformada en valores de voltaje. Para seguridad en la calibración, se puede usar una sustancia con pH conocido, por lo que se puede usar el líquido que viene con el sensor y según el fabricante tiene un valor de pH igual a 4, lo cual representa un voltaje de 3.071V, tal como se observa en la Figura 39.

Figura 39

Referencia de valor de pH y voltaje de salida

pH Value	Output
4	3.071
7	2.535
10	2.066

Fuente: (Dielect, s.f.-a)

Al sumergir la sonda en la solución que se desea analizar, ocurre un intercambio de iones de hidrógeno presentes en la solución con otros iones cargados positivamente en la membrana de vidrio. Este intercambio da lugar a la formación de un potencial electroquímico a través de la membrana, el cual es captado por un módulo amplificador electrónico. Dicho módulo mide el potencial entre los electrodos y lo convierte en valores de pH. La diferencia entre estos potenciales determina el pH de la solución según la

ecuación de Nernst (Ecuación 1)

$$E = E0 - 2,3 \left(\frac{RT}{nF} \right) \ln Q \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- Q: coeficiente de reacción
- E: salida del electrodo
- E0: compensación cero para el electrodo
- R: constante ideal gas 8.314 J/mol-K
- T: temperatura en °K
- F: constante de Faraday 95,484.56 C/mol
- N: carga iónica

Esta ecuación 1 se usa en la codificación para el funcionamiento del sensor de pH como se observa en la Figura 40. Además se realiza una lectura de 10 valores para dar mejores resultados. Al final se ordena los 10 valores en forma ascendente para tomar únicamente los 6 centrales y de esta forma obtener un promedio e imprimir el valor de pH.

Figura 40

Código de funcionamiento del sensor de pH

```

float calibration_value = 21.49;
int phval = 0;
unsigned long int avgval = 0;
int buffer_arr[10], temp;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, INPUT); }
void loop() {
  int sensorvalue = analogRead(A0);
  float voltaje = sensorvalue * (5.0 / 1024.0);
  Serial.print("Voltaje: ");
  Serial.println(voltaje);
  delay(1000);
  for (int i = 0; i < 10; i++) {
    buffer_arr[i] = analogRead(A0);
    delay(30); }
  for (int i = 0; i < 9; i++) {
    for (int j = i + 1; j < 10; j++) {
      if (buffer_arr[i] > buffer_arr[j]) {
        temp = buffer_arr[i];
        buffer_arr[i] = buffer_arr[j];
        buffer_arr[j] = temp; } } }
  for (int i = 2; i < 8; i++)
  avgval += buffer_arr[i];
  float volt = (float)avgval * 5.0 / 1024 / 6;
  float ph_act = -5.70 * volt + calibration_value;
  Serial.print("PH: ");
  Serial.println(ph_act);
  delay(3000); }

```

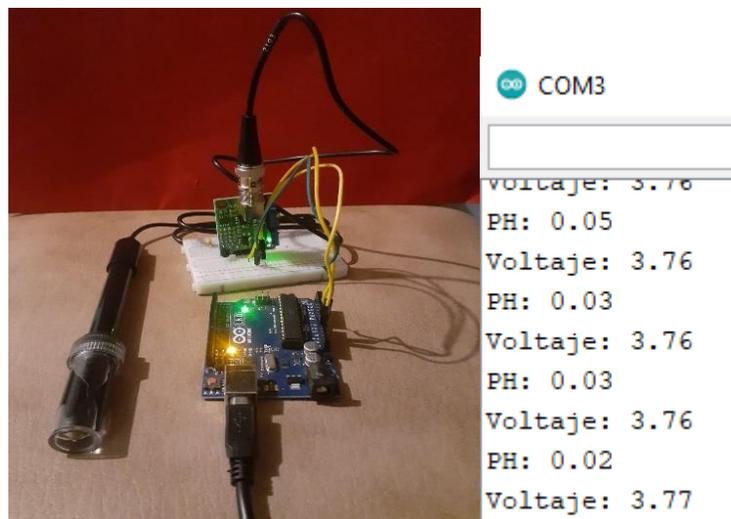
Fuente: Elaborado por el autor

Se procede a cargar el sketch y los resultados obtenidos son los mostrados en la

Figura 41.

Figura 41

Prueba de calibración del sensor de pH



Fuente: Elaborado por el autor

Es necesario girar el potenciómetro hasta que el resultado se iguale con el valor esperado o muy cercano a 3.071V, lo que significa un valor de pH igual a 4.

De igual forma se realiza la verificación mediante un equipo profesional obteniendo una medición de 4.09, estos datos se pueden observar en la Figura 42.

Figura 42

Sensor de pH calibrado en voltaje (izquierda) y con equipo profesional (derecha)



Fuente: Elaborado por el autor

3.7.2.7. Sensor de temperatura

El sensor de temperatura DS18B20 es un dispositivo electrónico que usa un código de 64 bits, lo cual permite obtener la temperatura de varios sensores conectados al mismo cable de datos, es decir, usando un solo pin digital de Arduino y tiene su versión para ambientes líquidos. El sensor funciona con una fuente de voltaje de 3 hasta 5,5V y consume 1 mA durante las conversiones de temperatura activas.

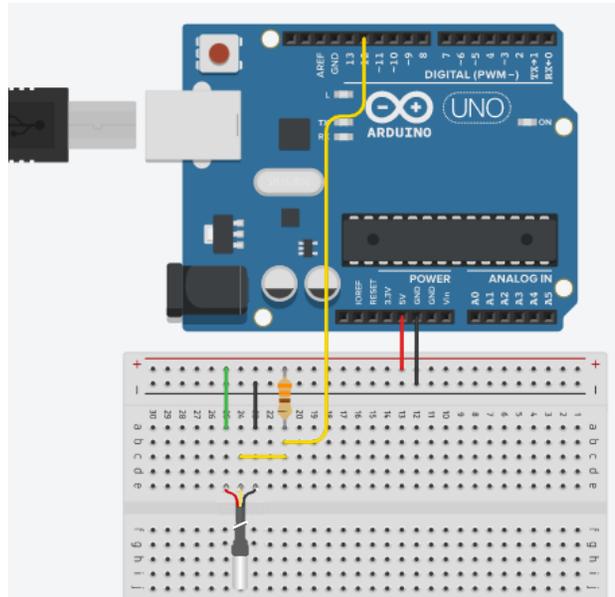
Este sensor de líquidos utiliza un protocolo basado en comunicación bidireccional llamado 1-Wire y es necesario usar una librería llamada Dallas temperatura para la comunicación con el sensor. Además, se conecta una resistencia pull-up de 4.7Ω ya que el cable de conexión no supera los 5 metros.

La funcionalidad del sensor es medir la temperatura del sustrato (estiércol y agua).

Como se puede observar en la Figura 43, se usa el sensor DS18B20 con el fin de que realicen la medición en el sustrato y analizar la producción de biogás en base a estos valores registrados.

Figura 43

Diagrama de conexión del sensor de temperatura DS18B20



Fuente: Elaborado por el autor

Para el funcionamiento del sensor, es indispensable el uso del protocolo 1-Wire mediante la librería OneWire, la cual tiene un grado de complejidad que se logra disminuir a comandos más simples al emparejar con la librería DallasTemperature.h

En la comunicación con el sensor DS18B20 es necesaria la creación de un objeto “oneWire” incluyendo la señal del sensor como parámetro. Luego, se crea un objeto “sensors” usando la librería DallasTemperature y pasamos la referencia del objeto OneWire como parámetro. Estas configuraciones se aplican en el código de funcionamiento del sensor, las cuales se pueden identificar en la Figura 44.

Figura 44

Código de funcionamiento del sensor de temperatura DS18B20

```

// Librerias para funcionamiento de sensor
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// Sensor DS18B20 con resistencia pull_up 4.7K
#define ONE_WIRE_BUS D4 // Cable es conectado al pin 4
// configuración para comunicación con otro dispositivo oneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// referencia de oneWire direccionada al sensor de temperatura Dallas
DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup(void) {
  Serial.begin(9600); // Comunicación serial
  sensors.begin(); // iniciar la librería
}
void loop(void) {
  // llamado a los sensores para obtener la temperatura
  // de todos los dispositivos conectados
  sensors.requestTemperatures();
  Serial.print("Celsius Temperatura: ");
  Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0));
  delay(5000);
}

```

Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 45 se verifica el funcionamiento del sensor de temperatura en comparación con la medición realizada por un equipo profesional. Ambos realizan la medición a un líquido conocido como agua destilada.

En las dos figuras se puede observar claramente que los dos dispositivos se asemejan en las mediciones obtenidas.

Figura 45

Sensor de temperatura DS18B20 (izquierda) y medición con equipo profesional (derecha)



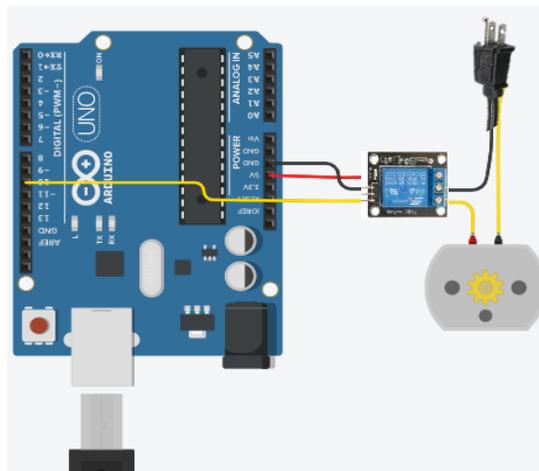
Fuente: Elaborado por el autor

3.7.2.8. Agitador del sustrato

El agitador del sustrato tiene como finalidad que el material sólido que se encuentra dentro del tanque no se aglomere en la parte inferior del mismo. Este dispositivo funciona una vez que se haya agregado el sustrato, durante 3 minutos y necesita un voltaje de 110V, por lo que es necesario conectarlo a un relé que envíe la señal cuando este motor se debe activar. El diagrama de conexión se indica en la Figura 46.

Figura 46

Diagrama de conexión del agitador



Fuente: Elaborado por el autor

El código del funcionamiento del agitador que se indica en la Figura 47 es similar al de la bomba ya que se usa un relé que permite su activación.

Figura 47

Código de funcionamiento del agitador

```
#define rele_agitador 9 // rele que activa el agitador
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(rele_agitador, OUTPUT);
  digitalWrite (rele_agitador, HIGH);
}
void loop() {
  digitalWrite (rele_agitador, LOW); //enciende el agitador
  Serial.println("Agitador ON");
  delay (4000);
  digitalWrite (rele_agitador, HIGH); //apaga el agitador
  Serial.println("Agitador OFF");
  delay (1000);
}
```

Fuente: Elaborado por el autor

Una forma de verificar que el agitador se enciende y apaga de acuerdo con lo requerido es el led que viene incluido en el módulo del relé, es decir, este se encenderá indicando que el agitador esta activo como se indica en la Figura 48 y se apagará indicando que el agitador se encuentra desactivado.

Figura 48

Funcionamiento del agitador



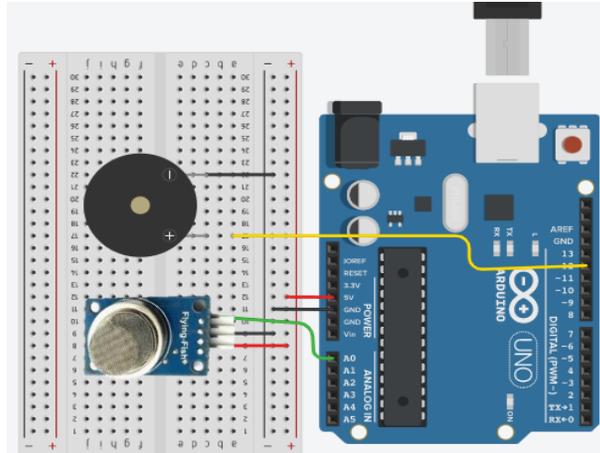
Fuente: Elaborado por el autor

3.7.2.9. Sensor de gas metano (CH₄)

En la Figura 49 se indica el diagrama de conexión del sensor MQ4 junto con una alarma que indica cuando la cantidad de gas es alta.

Figura 49

Diagrama de conexión del sensor MQ4

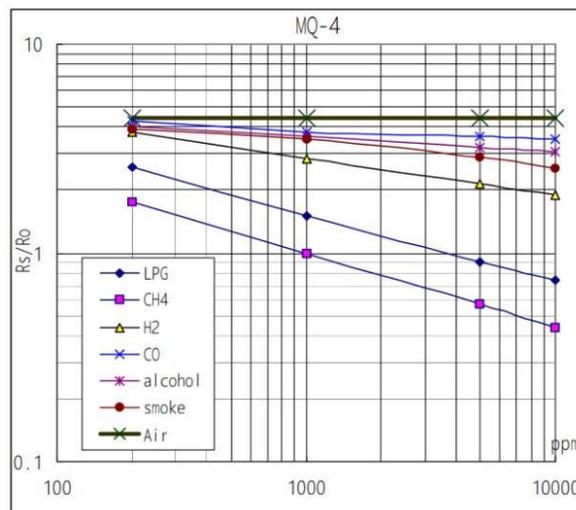


Fuente: Elaborado por el autor

Para verificar la cantidad de gas metano que se produce, se utiliza el sensor MQ4 ya que tiene mayor sensibilidad al tipo de gas que se desea detectar como se observa en la Figura 50. El rango de concentración de gas metano es 200-10000ppm.

Figura 50

Curva de sensibilidad del sensor MQ4



Fuente: (Hanwei Electronics, 2013).

El gráfico indica en el eje Y la relación entre la resistencia del sensor en cierto gas (R_S) y la resistencia del sensor en ambiente limpio (R_0), y en el eje X indica la concentración de gas en una medida de parte por millón a una escala logarítmica.

Para obtener la fórmula que permita calcular la concentración de metano en PPM, se

toma dos puntos de la curva del gráfico de sensibilidad. El primer punto es cuando $RS/R0=1$ y $ppm=1000$, el segundo punto es $RS/R0=0,58$ y $ppm=5000$. Estos punto se reemplazan en la fórmula siguiente:

$$\log Y - \log Y1 = \frac{\log Y2 - \log Y1}{\log X2 - \log X3} (\log X - \log X1)$$

Reemplazando los puntos anteriores, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\log Y = -0.339 \log X + 1.017$$

Ahora cambiando Y por $RS/R0$ y X por ppm, resolviendo ppm queda:

$$ppm = 1000(RS/R0)^{-2,95}$$

Para encontrar RS se lo hace mediante la fórmula de divisor de voltaje con RL, en donde RL es la resistencia de carga que comúnmente es de 1k.

$$\frac{RS}{RL} = \frac{V - V0}{V0}$$

En donde, V0 es la conversión de las lecturas analógicas del sensor a voltaje y V es el voltaje aplicado de 5V. De esta forma se obtiene RS y R0 es la resistencia entre los electrodos del sensor, siendo igual a 945. Una vez reemplazado todos los datos, se aplican en la fórmula de ppm para conseguir la cantidad de gas metano en partes por millón. Estos datos son esenciales para la programación del código que se observa en la Figura 51.

Figura 51

Código de funcionamiento del sensor MQ4

```

// Variables para sensar Metano (CH4) - sensor MQ4
const int R0 = 945;
#define AO_Metano 0 // Conectamos el pin A0 de MQ4 al pin A0 de Arduino
#define Alarma_UmbralMetano 7 // Conectamos un led al pin 7 de Arduino
float Metano_Input; // Variable de salida analoga de MQ4
float V0, Rs, Metano_ppm ; // valores --> volts, resist, sensibilidad y ppm
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Comunicación serial a 9600 baudios
  pinMode(Alarma_UmbralMetano, OUTPUT); //Configura como pin digital de salida
}
void loop() {
  Metano_Input = analogRead(AO_Metano); // Lectura del pin analogo Ao del sensor MQ4
  V0 = Metano_Input * 5 / 1023; // convertir la lectura a voltios
  Rs = (5 - V0) * 1000 / V0; //formula para obtener Rs --> Resistencia de sensibilidad
  Metano_ppm = pow(Rs / R0, -2.95) * 1000; //formula para obtener valores en ppm
  Serial.print("Metano: ");
  Serial.println(Metano_ppm); // Imprime el valor de metano
  delay(100);
  // valor alto 8000, consumir el biogás para evitar posibles daños Metano_ppm >= 8000
  if ( Metano_ppm >= 0.31 ) {
    digitalWrite(Alarma_UmbralMetano, HIGH);
    delay(1000);
  }
}

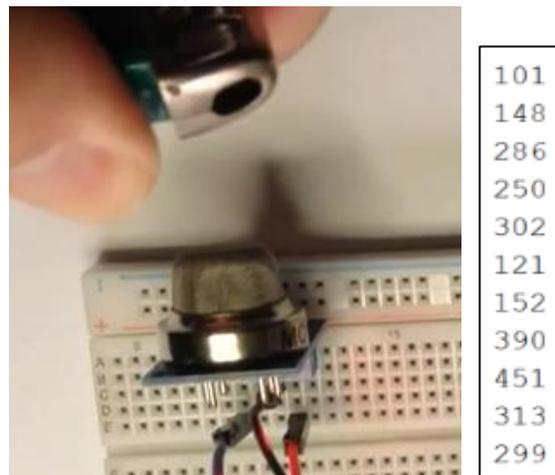
```

Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 52 se indica el funcionamiento del sensor MQ4 cuando se aplica gas lo más cercano posible al sensor.

Figura 52

Prueba (izquierda) y resultados (derecha) de funcionamiento del sensor MQ4



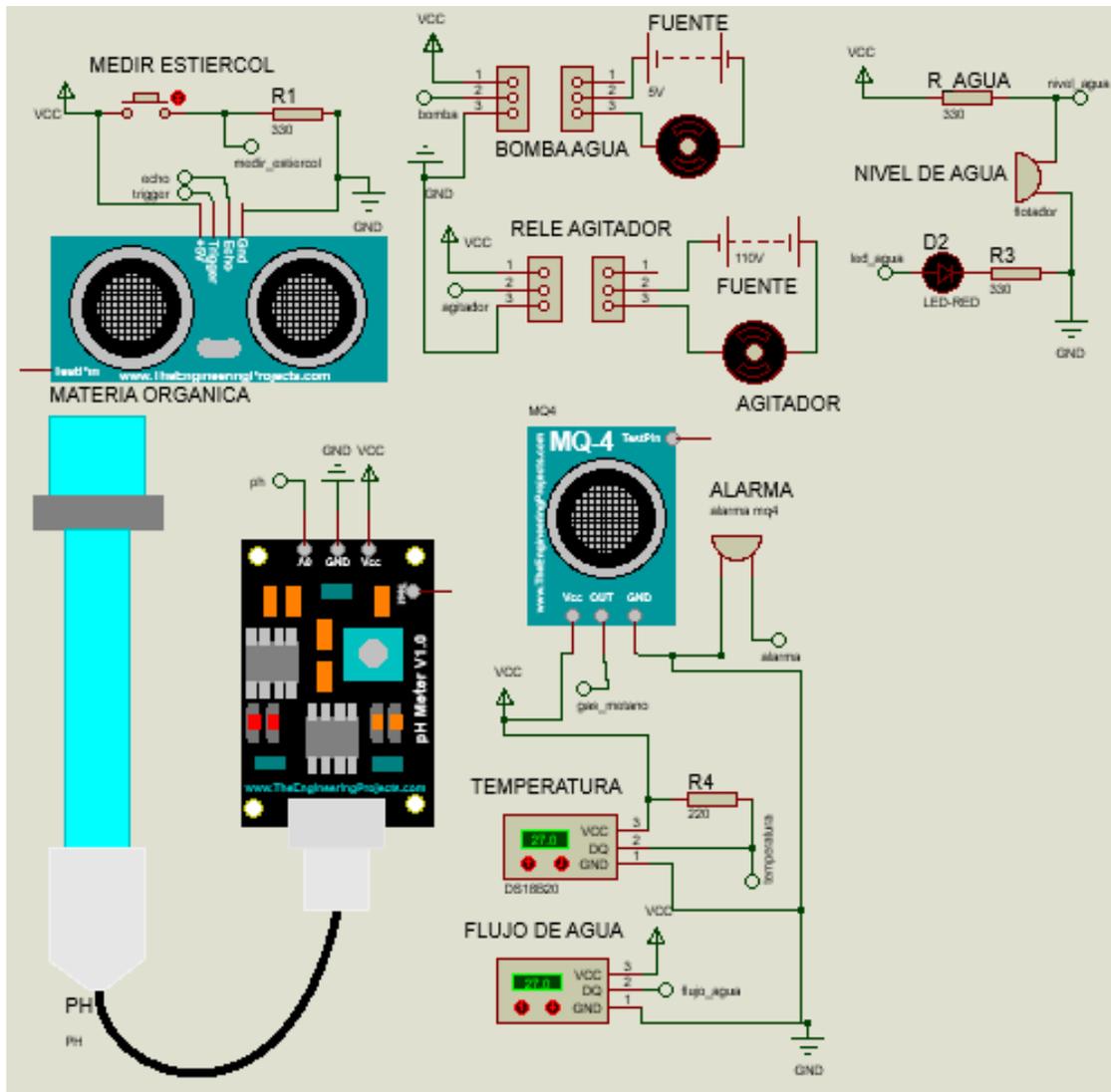
Fuente: Elaborado por el autor

3.7.2.10. Diagrama de conexión del bloque 1

La conexión del bloque 1, en donde se realiza la adquisición de datos se observa en la Figura 53. Aquí se visualizan los 6 sensores y 2 actuadores que intervienen en el sistema.

Figura 53

Diagrama de conexión del bloque 1 (adquisición de datos)



Fuente: Elaborado por el autor

3.7.2.11. Alimentación eléctrica

Los elementos y dispositivos seleccionados para el funcionamiento del sistema necesitan voltaje y corriente eléctrica, por lo que es factible realiza un cálculo para verificar el consumo total del sistema. En la Tabla 37 se detalla el consumo de cada elemento.

Tabla 37

Detalle de consumo de corriente y voltaje de cada dispositivo

Dispositivo	Modo	Corriente	Voltaje
Sensor nivel de agua	Activo	0.5 A	5 V
Bomba de agua	Activo	350mA	12 V
Caudalímetro	Activo	5V	15mA
Sensor ultrasónico	Activo	5V	15mA
Temperatura DS18B20	Activo	5V	1,5 mA
PH	Activo	5V	10mA
Agitador	Activo	110V	5A
Sensor MQ4	Activo	5V	150mA
Arduino nano	Activo	5V	19mA
Wemos D1 mini	Activo	5V	70mA

Fuente: Elaborado por el autor

3.7.3. Procesamiento y envío de datos

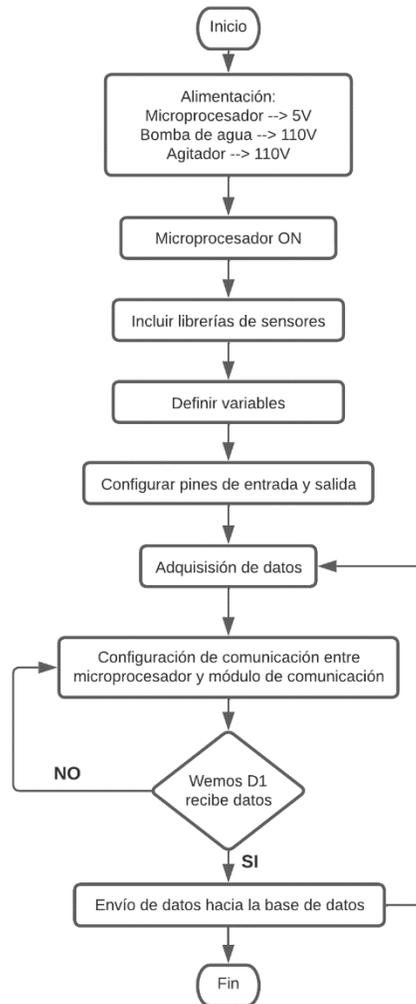
El bloque de procesamiento y envío de datos es el encargado de recibir las señales que son enviadas desde los sensores hacia el microprocesador, el cual procesa la información y envía las instrucciones ya establecidas en la programación. Por consiguiente, este transmite la información hacia el módulo de comunicación mediante conexión serial a través del protocolo UART. Posteriormente son enviados a la base de datos en tiempo real de Firebase.

3.7.3.1. Diagrama de flujo del bloque 2

El diagrama de flujo del bloque 2, se muestra en la Figura 54.

Figura 54

Diagrama de flujo del bloque de procesamiento y envío de datos



Fuente: Elaborado por el autor

3.7.3.2. Comunicación serial entre microcontrolador y módulo de envío de datos

La comunicación serial es el proceso de enviar un bit de datos a la vez, secuencialmente, de un lugar a otro. Por ejemplo, al usar datos en serie, se puede enviar datos desde un microcontrolador a otro conectado.

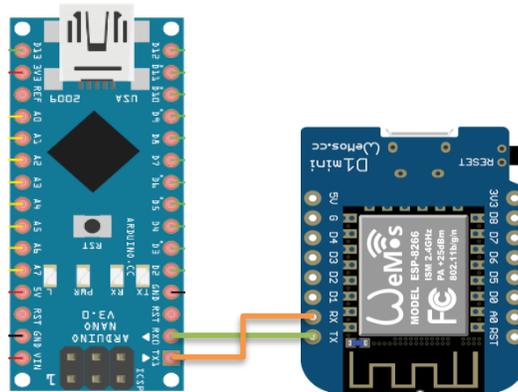
La biblioteca Serial tiene varias funciones, una de ellas es Serial.read(), la cual se usará para la comunicación serial entre la tarjetas Arduino nano y Wemos.

Cuando los bits de datos comienzan a transmitirse desde una computadora, una pieza

de hardware en Arduino llamada receptor/transmisor asíncrono universal (también llamado UART) ensamblará cada uno de los 8 bits en un byte. El UART luego almacenará esos bytes (hasta 64 bytes) en el búfer de recepción en serie. Entonces, los datos que se envía al Arduino terminan en el búfer de recepción en serie y estos se los puede leer con `Serial.read()`. El diagrama de conexión para la comunicación entre estos dos dispositivos se indica en la Figura 55.

Figura 55

Comunicación serial entre Arduino nano y Wemos D1 mini (bloque 2)



Fuente: Elaborado por el autor

Un Wemos Lolin D1 Mini Pro V2 transmite datos a través de la comunicación en serie a un Arduino Nano que actúa como receptor. Tomar en cuenta que el código mostrado en las dos siguientes imágenes (Figura 56 y Figura 57) son un ejemplo de cómo se debe establecer la comunicación entre el Arduino Nano y el Wemos D1 mini. El código para el presente proyecto, configurado en el transmisor se encuentra en el Anexo 3 y el código configurado en el receptor se encuentra en el Anexo 4.

Figura 56

Código del dispositivo transmisor (Arduino nano)

```

// Código transmisor
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(100);
}
void loop() {
  Serial.print("encendido");
  delay(2000);
  Serial.print("apagado");
  delay(1000);
}

```

Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 57 se muestra el código del dispositivo que funciona como receptor, el cual lee los datos y luego ejecuta el código transmitido, en este caso enciende un led.

Figura 57

Código del dispositivo receptor (Wemos D1)

```

// Código de Receptor
String datos;
#define ledDatos 13
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.setTimeout(50); // por defecto esta configurado en 1seg
  delay(100);
  pinMode(ledDatos, OUTPUT);
}
void loop() {
  if (Serial.available()) {
    datos = Serial.readString();
  }
  delay(4);
  if (datos == "encendido") {
    digitalWrite(ledDatos, HIGH);
  }
  if (datos == "apagado") {
    digitalWrite(ledDatos, LOW);
  }
}

```

Fuente: Elaborado por el autor

A modo de recomendación, es indispensable desconectar los cables TX/RX de los microcontroladores cuando cargue el código con el IDE de Arduino, ya que el código no se cargará correctamente cuando los pines TX o RX estén conectados a cualquier cable durante la carga.

3.7.4. Almacenamiento de datos

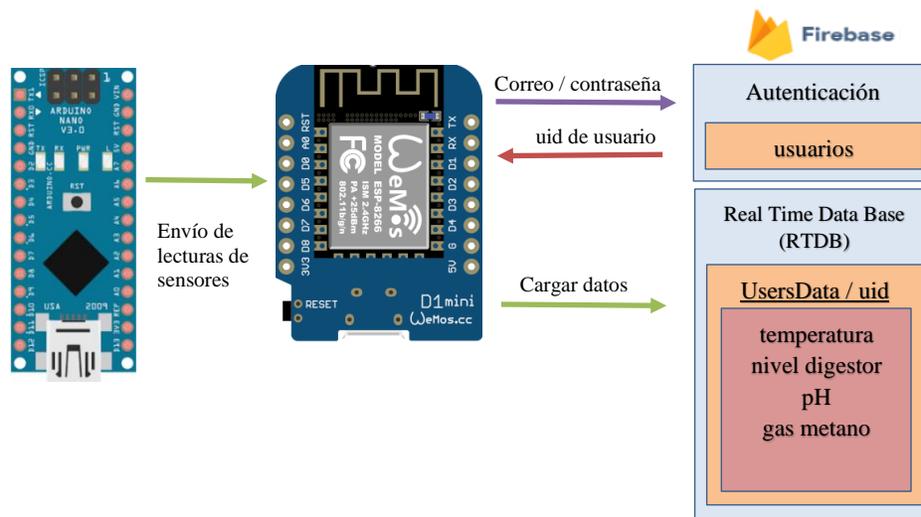
La plataforma a usar para el almacenamiento de datos es Firebase, la cual permite

desarrollar aplicaciones y cuenta con varios servicios para administrar, autenticar, almacenar datos en tiempo real, entre otros.

La siguiente Figura 58 muestra el diagrama general del proceso para el almacenamiento de datos.

Figura 58

Diagrama general de almacenamiento de datos (bloque 3)



Fuente: Elaborado por el autor

El primer paso es la autenticación para lo cual se debe realizar una configuración en Firebase para que el dispositivo Wemos D1 logre autenticarse con el usuario y contraseña ya definidas. Una vez realizada correctamente la autenticación, el Wemos obtiene el llamado “uid”, el cual es único para cada usuario como se visualiza en la Figura 59.

Figura 59

Identificación de UID de usuario en Firebase

Identificador	Proveedores	Fecha de creación	Fecha de acceso	UID de usuario
test2@test.com	✉	9 feb 2023	24 feb 2023	53rkhCYG5kUWjCkJHSCTFohP23...
test@test.com	✉	21 ene 2023	12 jun 2023	AEjq8efCkDRCoD70co09ETaDrhm2

Fuente: Elaborado por el autor

Cabe recalcar que la base de datos de Firebase cuenta con reglas de seguridad establecidas en la Figura 60, para definir las acciones que el usuario puede realizar en la base de datos y únicamente accederá a los nodos que se encuentren bajo el nodo registrado con su uid de usuario.

Figura 60

Reglas establecidas en la base de datos de Firebase

```

1 {
2   "rules": {
3     "UserData": {
4       "Suid": {
5         ".read": "$Suid === auth.uid",
6         ".write": "$Suid === auth.uid"
7       }
8     }
9   }
10 }

```

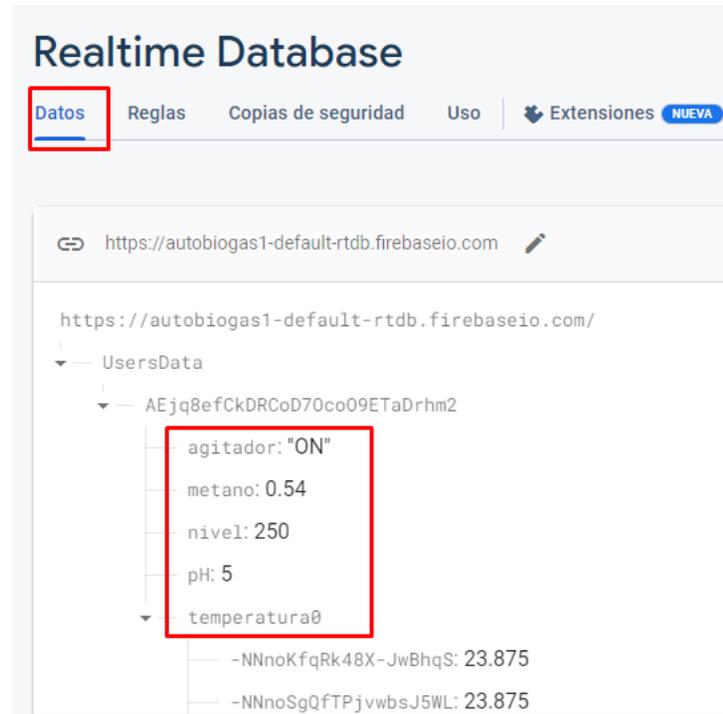
Fuente: Elaborado por el autor

Una vez obtenido el uid, el Wemos puede leer o escribir sobre la base de datos los valores que ha recibido de parte del microcontrolador Arduino nano, el cual a su vez recibe datos de los sensores conectados a este. Los valores admitidos, se agregarán de

forma periódica en una lista de la base de datos en tiempo real de Firebase, tal cual se lo indica en la Figura 61.

Figura 61

Obtención de valores en la base de datos en tiempo real de Firebase



Fuente: Elaborado por el autor

3.7.5. Visualización de datos

La visualización de la información en la aplicación web se la puede realizar a través de un correo y contraseña registrados, por ello es importante la autenticación para restringir o permitir el acceso a los datos propios de cada usuario.

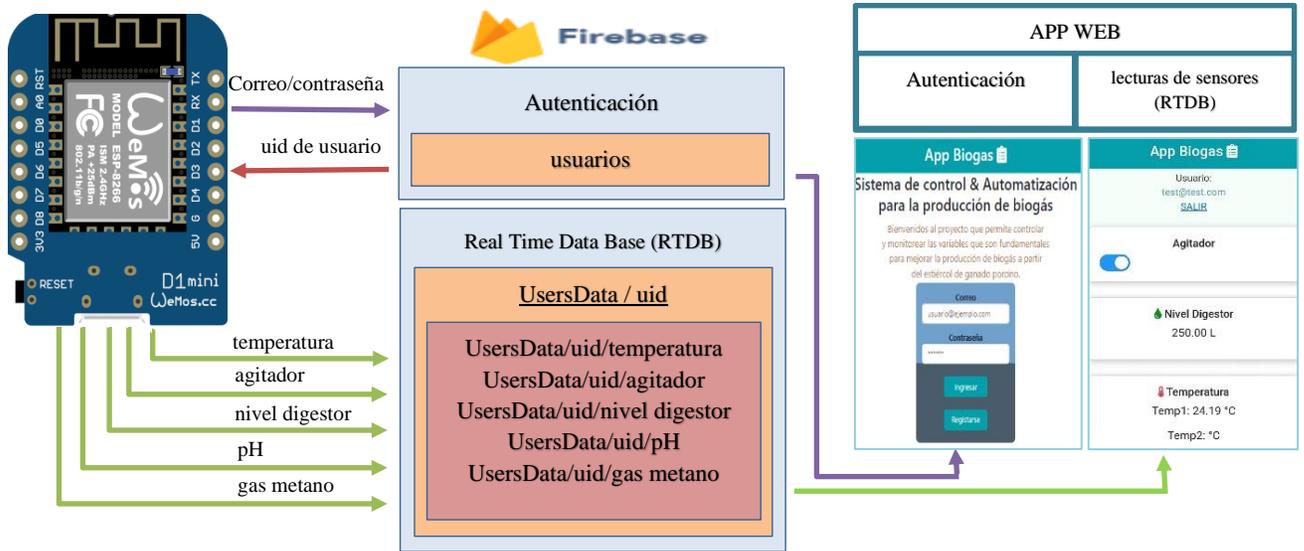
3.7.5.1. Diagrama de flujo de bloque 4

En esta sección se crea una aplicación web la cual muestra las lecturas obtenidas de los sensores y enviadas desde la placa Wemos hacia la base de datos en tiempo real de Firebase. Como se puede observar en la Figura 62, la aplicación web cuenta con

autenticación de usuario para tomar los valores correctos desde la RTDB y luego muestra los datos en la página.

Figura 62

Diagrama general de visualización de datos (bloque 4)



Fuente: Elaborado por el autor

3.7.5.2. Aplicación web con autenticación de usuario

La primera vez que un usuario accede a la página web debe autenticarse con una dirección de correo electrónico y una contraseña previamente registrados. Estos correos se pueden verificar en la pestaña de autenticación de Firebase tal como se indica en la Figura 63, al momento se han registrado dos correos.

Figura 63

Identificador de correo de usuario en Firebase



Fuente: Elaborado por el autor

Firestore cuenta con varios métodos de acceso de algunos proveedores federados como Google, Facebook, Twitter, GitHub o acceso anónimo. En esta aplicación creada únicamente se ha configurado el acceso con el proveedor de Google o creando un correo nuevo. El usuario puede realizar el registro del correo electrónico y contraseña, además tiene la opción de acceder mediante un correo de Google ya registrado. La ventana de registro de usuarios se visualiza en la Figura 64.

Figura 64

Ventana de registro de usuarios en la página web

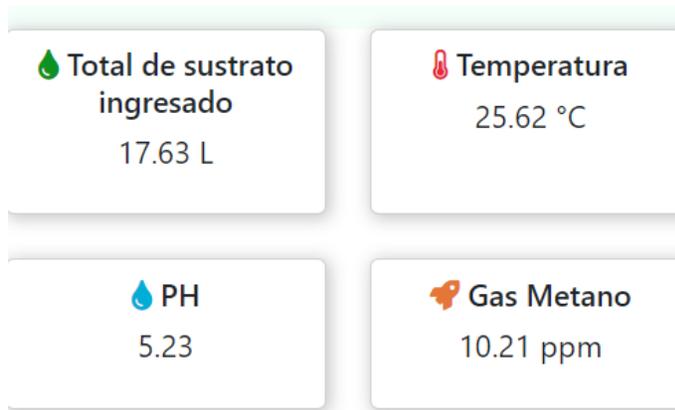
Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 65 se observa que una vez que el usuario se haya autenticado, accede a los valores tomados de los sensores que ya se han guardado en la base de datos en tiempo

real. Luego, el usuario puede cerrar sesión e ingresar nuevamente en cualquier momento.

Figura 65

Visualización de datos en la plataforma web



Fuente: Elaborado por el autor

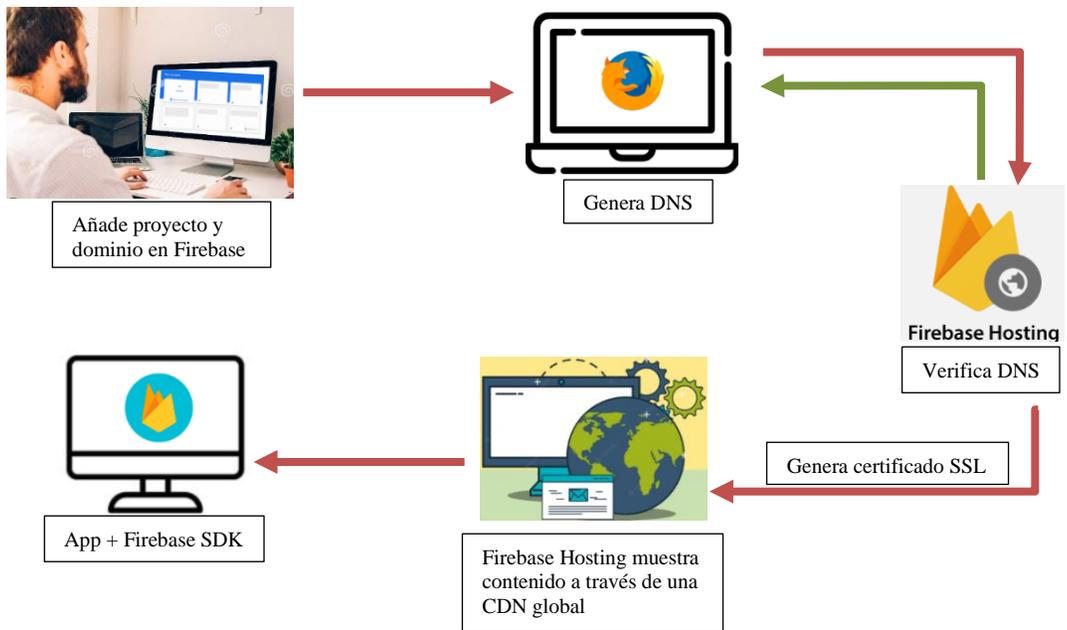
Firestore aloja las aplicaciones web en una CDN (Content Delivery Network) global mediante la herramienta Firebase Hosting proporcionando seguridad con certificado SSL, como se observa en la Figura 66.

El tipo de datos que admite Firestore son JSON y todos los usuarios reciben actualizaciones en tiempo real, con un máximo de 50 conexiones y 100 MB de almacenamientos para el plan gratuito.

Para la conexión e interacción entre el proyecto de Firestore y el sitio web se usa la clave API (application programming interface) que realiza la llamada a esta. En adición, se usa para rastrear y controlar el uso malicioso. La clave API es necesaria para acceder a cualquier servicio que brinda Firestore como autenticación y almacenamiento.

Figura 66

Proceso para generar aplicación web con Firebase Hosting



Fuente: Elaborado por el autor

CAPITULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

En esta sección se incluye la cuarta etapa del proyecto, la cual abarca el proceso de construcción del biodigestor y el montaje de cada elemento que conforma el sistema de control y automatización. Posteriormente se realizan las pruebas del sistema operando en la parroquia Piartal, provincia del Carchi, midiendo los parámetros más importantes que influyen en la producción del biogás.

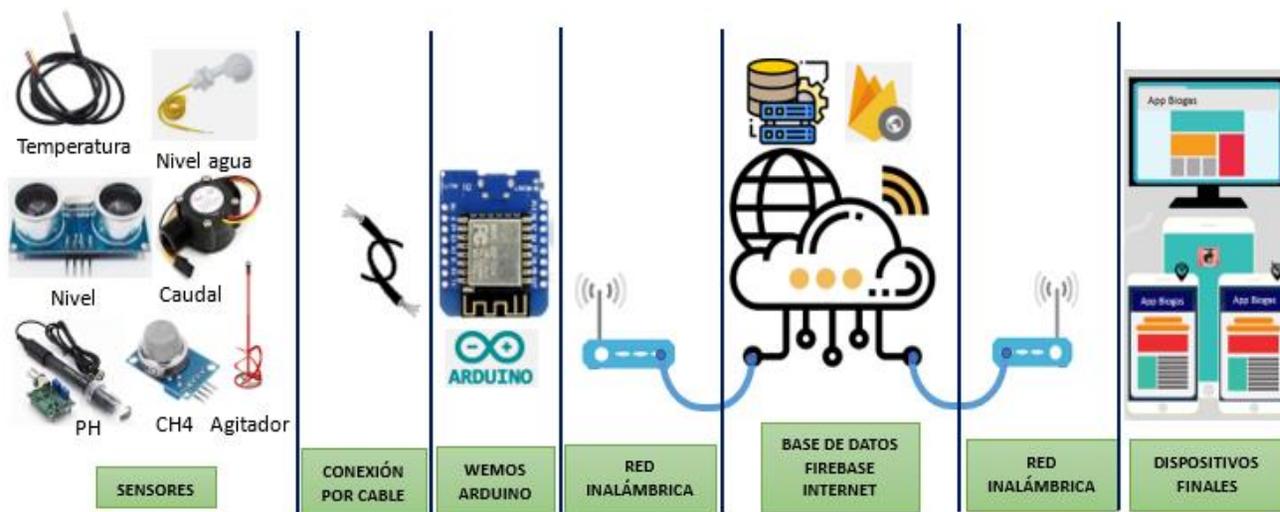
El sistema AuotBiogas cuenta con 4 bloques definidos como se detalla a continuación:

- El primer bloque de **adquisición de datos** se refiere a los sensores implementados estratégicamente en ciertos puntos de toda la estructura física que comprende el sistema. Los sensores son conectados a una placa de programación que les permite la alimentación eléctrica. Los datos por obtener principalmente son: temperatura de sustrato, pH, cantidad de sustrato, cantidad de gas metano (CH₄), estado del agitador y cantidad de materia orgánica.
- El segundo bloque de **envío y procesamiento de datos** comprende desde las señales que envían los sensores en forma de pulsos eléctricos hacia el microprocesador, el cual se encarga de procesar y tratar la información. Posteriormente, dependiendo del tipo de señal recibida, el microcontrolador establece conexión con alguno de los diferentes actuadores.
- El tercer bloque está enfocado en el **almacenamiento de datos** en “Firebase Real Time Database” alojada en la nube, permitiendo almacenar y sincronizar datos en tiempo real. La comunicación con la base de datos, se la realiza a través de un módulo WiFi.

- En el cuarto bloque es la **visualización de datos**, en donde se muestra la información que requiere conocer el usuario a través de una página web, la misma que debe tener la funcionalidad de autenticación. Tanto la plataforma web como los datos a visualizar, deben ser sencillos y fáciles de comprender.

Figura 67

Diagrama de arquitectura de funcionamiento del sistema



- Fuente: Elaborado por el autor

4.1 Implementación del sistema

Una vez finalizado el diseño del sistema en lo que comprende hardware y software, se procede a construir la estructura del sistema de calefacción solar pasiva para luego continuar con la implementación de cada uno de los sensores y actuadores en las ubicaciones estratégicas para que pueda realizar la lectura de los ambientes.

4.1.1 Sistema de calefacción solar pasiva

La estructura a construir para el sistema de calefacción solar pasiva debe ser lo más compacta posible, de modo que el calor obtenido del sol sea más provechoso, es decir, se

pueda generar una mayor temperatura dentro del biodigestor y por ende una descomposición del sustrato más rápida

En la Figura 68 se logra observar que el espacio seleccionado para la implementación del sistema es el más adecuado, pues se requiere obtener el mayor provecho del calor solar para aportar con una mayor temperatura.

Figura 68

Preparación del área para implementar el biodigestor



Fuente: Elaborado por el autor

Las dimensiones de la cubierta que se indica en la Figura 69 son de acuerdo con el espacio físico que ocuparán los tanques de sustrato, mezcla y gas. Entonces las medidas de la cubierta son de 2,10 m de largo por 1,50 m de ancho.

Figura 69

Cubierta para mejor aprovechamiento de sol



Fuente: Elaborado por el autor

Por ello, en esta área no se encuentran edificios cerca que hagan sombra al biodigestor, además se encuentra cerca del corral de los cerdos que observan en la Figura 70 (izquierda), los cuales son la fuente de la materia orgánica indicada en la Figura 70 (derecha).

Figura 70

Corral de cerdos (izquierda) y materia orgánica (derecha)



Fuente: Elaborado por el autor

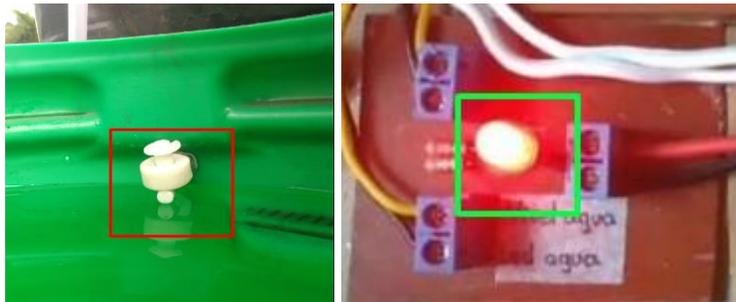
4.1.2 Control de nivel de agua

Como se puede observar en la Figura 71 (izquierda) se ha realizado la instalación del sensor de nivel de agua tipo flotador, el cual tiene la función de indicar si el tanque está lleno o no tiene la suficiente cantidad de agua para una carga de materia orgánica, es decir, no está completamente lleno. El sensor ha sido ubicado en la parte superior de un tanque de 60 litros, ya que la cantidad de materia orgánica recurrente y máxima a ingresar en cada carga es de 23 kg. Por lo tanto en cada carga es necesaria una cantidad de agua aproximada de 37 litros.

En la Figura 71 (derecha) se puede verificar que el led indicador se encuentra encendido, lo que indica al usuario que debe llenar el tanque.

Figura 71

Sensor de nivel de agua tipo flotador instalado (izquierda) e indicador led encendido (derecha)



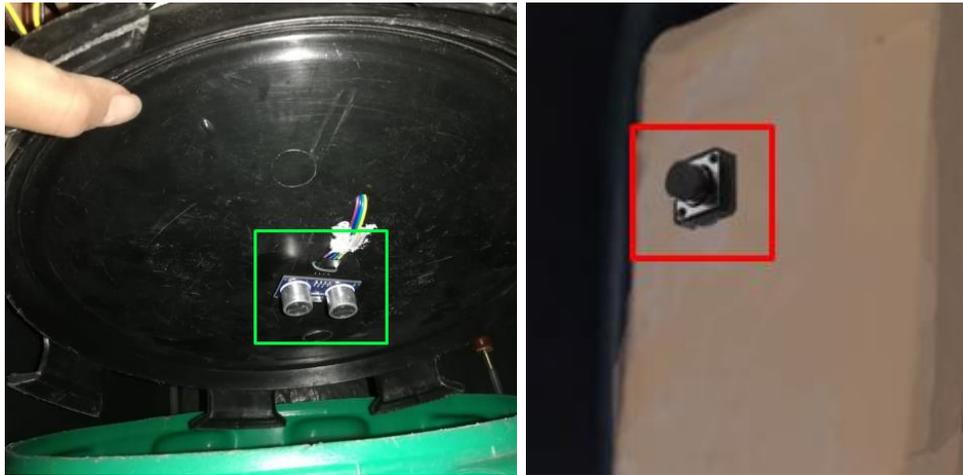
Fuente: Elaborado por el autor

4.1.3 Control de nivel de materia orgánica

Una vez que el usuario haya ingresado el estiércol, el siguiente paso es presionar el botón que iniciará la medición de la cantidad de estiércol que se encuentra agregada al tanque, de este modo se logra calcular la cantidad exacta de agua que se debe agregar para una mejor descomposición de estos desechos.

Figura 72

Colocación del sensor de nivel de materia orgánica (izquierda) y botón de inicio de medición (derecha)



Fuente: Elaborado por el autor

4.1.4 Control de agitador y bomba de agua

Para la activación de la bomba de agua y el agitador fue necesario el uso de módulos de relé visualizados en la Figura 73 ya que los dos actuadores necesitan una fuente de voltaje superior a los 5v que proporciona Arduino nano. Por lo tanto, la bomba de agua es conectada a una fuente de voltaje de 12v y el agitador a una fuente de voltaje de 110v.

Figura 73

Relé para activar bomba de agua (cuadro rojo) y agitador (cuadro verde)



Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 74 a la izquierda se puede visualizar la instalación de la bomba de agua y

en la derecha se observa el motor agitador instalado en la parte superior del tanque de digestor.

Figura 74

Minibomba de agua (izquierda) y motor agitador (derecha)



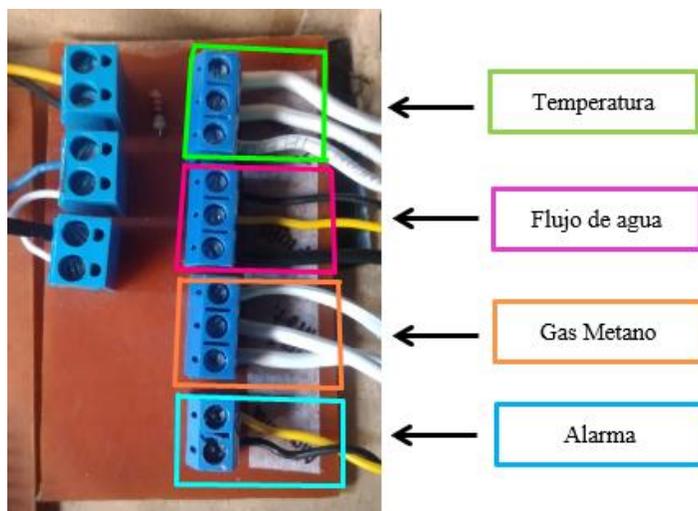
Fuente: Elaborado por el autor

4.1.5 Control de alarma, gas, flujo y temperatura

A continuación, en la Figura 75 se muestra la placa en donde se realiza la conexión de los sensores que realizan las mediciones de temperatura, flujo de agua, gas metano y alarma.

Figura 75

Conexión de sensores a la placa



Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 76 se muestra la colocación del sensor de temperatura dentro del tanque de sustrato. Este dispositivo ha sido conectado a una altura de 5cm del suelo del tanque, con el fin de lograr la toma de temperatura a partir del primer ingreso de materia.

Figura 76

Colocación del sensor de temperatura vista interna (izquierda) y vista externa (derecha)



Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 77 se muestra el lugar en donde está ubicado el sensor MQ4 para la medición de gas metano. El sensor se encuentra en el tanque de almacenamiento de biogás, el mismo que antes de llegar a este depósito ya es filtrado el ácido sulfhídrico.

Figura 77

Colocación del sensor de gas metano



Fuente: Elaborado por el autor

El sensor de flujo se lo ha situado a una altura de 1,80 metros ya que la recomendación es colocarlo de forma vertical para la caída y sensado de flujo de agua, tal como se muestra en la Figura 78.

Figura 78

Colocación del sensor de flujo de agua



Fuente: Elaborado por el autor

4.1.6 Colocación de sensor de pH

La implementación de un sensor de pH es esencial ya que la producción de biogás está directamente relacionada con el nivel de pH al cual se encuentra el sustrato, es decir, la cantidad de gas a obtener será mayor si el nivel de pH se encuentra dentro de un rango de 6,5 y 8. El dispositivo ha sido colocado a una altura mínima como se muestra en la Figura 79 lo cual permitirá una toma de datos desde el primer ingreso de materia.

Figura 79

Sensor de pH colocado dentro del tanque de sustrato



Fuente: Elaborado por el autor

4.1.7 Válvula de alivio y filtro de ácido sulfhídrico

Es importante construir una válvula de alivio de presión, la misma se puede realizar de forma artesanal tal como se encuentra en la Figura 80, usando una “T” y una botella con agua que cubra por completo la salida del tubo. Esto permite liberar el exceso de gas de forma segura en forma de burbujas.

Figura 80

Válvula de alivio de presión de gas



Fuente: Elaborado por el autor

Es de suma importancia la implementación de un filtro para el ácido sulfhídrico, pues el gas obtenido es altamente corrosivo. La construcción del filtro se puede visualizar en la Figura 81, en donde se introduce viruta de hierro o esponjilla de metal.

Figura 81

Filtro de ácido sulfhídrico. Construcción (izquierda) – implementado (derecha)



Fuente: Elaborado por el autor

4.1.8 Llave de ingreso de sustrato

Una vez que la cantidad de agua sea suficiente el indicador led amarillo se encenderá dando aviso al usuario que la llave de ingreso de sustrato debe ser abierta para ingresar la mezcla de estiércol y agua. Tanto el indicador led como la llave de ingreso se muestran en la Figura 82.

Figura 82

Indicador led de aviso (izquierda) y llave para ingreso de sustrato (derecha)



Fuente: Elaborado por el autor

4.1.9 Salida de sustrato

Para la parte de descarga del biol o biofertilizante se ha colocado una tubería que permitirá su salida cuando la cantidad de sustrato llegue a un nivel aproximadamente de 450 litros ingresados. Tal como se indica en la Figura 83, el biofertilizante será recolectado en un tanque de 60 litros, el cual deberá ser verificado y descargado por parte del usuario. En adición, el tanque del biol ha sido ubicado fuera de la cubierta de calefacción solar, con el objeto de que la descarga de este material sea de mayor facilidad.

Figura 83

Tubería para salida de biofertilizante. Vista interna (izquierda) – vista externa (derecha).



Fuente: Elaborado por el autor

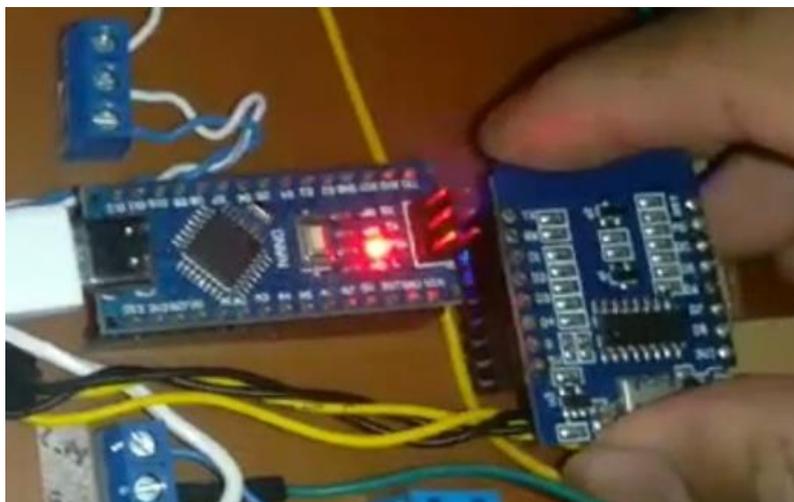
4.1.10 Conexión entre dispositivo de procesamiento y módulo de comunicación

La conexión entre un dispositivo de procesamiento y un módulo de comunicación es

un concepto clave en el mundo de la tecnología. En nuestras vidas cotidianas, interactuamos constantemente con dispositivos que dependen de esta conexión para funcionar correctamente. En esta breve introducción, exploraremos cómo esta unión entre el "cerebro" de un dispositivo y su capacidad para comunicarse con otros dispositivos o sistemas es esencial para muchas de las comodidades tecnológicas que damos por sentado. Descubriremos cómo estas conexiones permiten que nuestros dispositivos se comuniquen, compartan información y realicen tareas diversas, lo que es esencial en la era digital en la que vivimos. A continuación, en la Figura 84 se muestra la implementación de los dispositivos microcontrolador Arduino nano y el Wemos D1 mini.

Figura 84

Implementación de dispositivos de procesamiento y de comunicación



Fuente: Elaborado por el autor

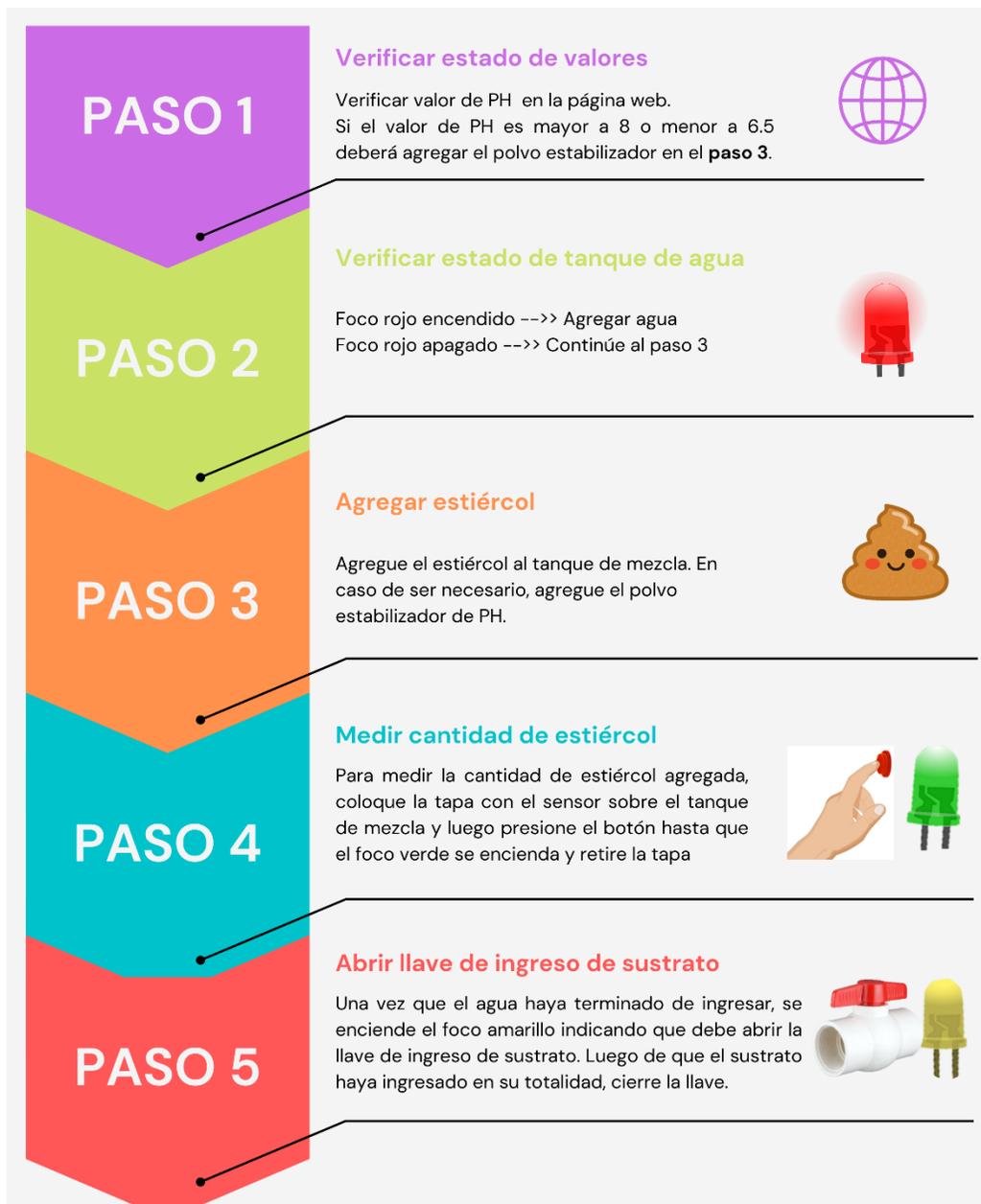
4.2 Prueba de implementación

Para el ingreso de materia orgánica al biodigestor, se debe seguir un proceso ordenado para que el sistema pueda realizar las acciones indicadas mediante programación. De esta forma se garantiza el buen funcionamiento de este.

En la Figura 85 se muestran las instrucciones que debe seguir el usuario para el ingreso de materia orgánica o estiércol.

Figura 85

Instrucciones a seguir por el usuario para el ingreso de estiércol



Fuente: Elaborado por el autor

- **Primer paso:** se verifica el estado del PH mediante la plataforma web. En caso de

que el valor de PH se encuentre fuera del rango entre 6.5 y 8 se debe agregar el polvo estabilizador en el paso 3.

Figura 86

Verificando estado de pH en la plataforma web

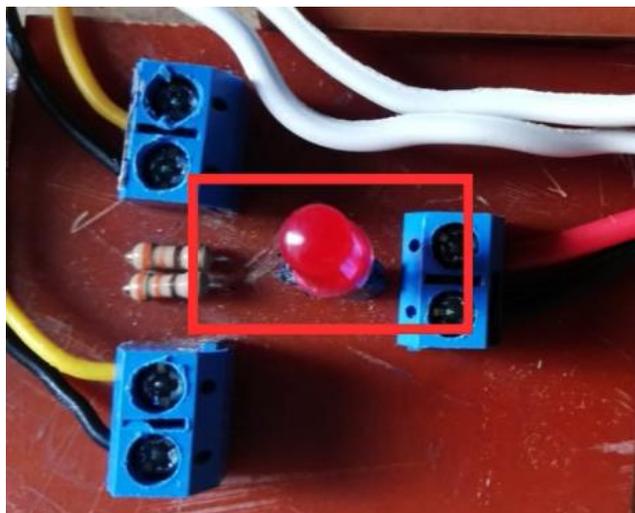


Fuente: Elaborado por el autor

- **Segundo paso:** el usuario debe verificar el estado del tanque de agua. Esto se lo realiza visualizando el foco rojo. Si se encuentra encendido, debe agregar agua, caso contrario continúe al paso 3.

Figura 87

Verificando estado de tanque de agua mediante el indicador led rojo



Fuente: Elaborado por el autor

- **Tercer paso:** el usuario debe agregar el estiércol. En caso de ser necesario deberá agregar el polvo estabilizador de pH.

Figura 88

Ingreso de estiércol en el tanque de mezcla



Fuente: Elaborado por el autor

- **Cuarto paso:** a continuación el usuario debe colocar la tapa que contiene el sensor para proceder a medir la cantidad de estiércol añadida. Luego de esto debe retirar la tapa.

Figura 89

Medición de estiércol añadido



Fuente: Elaborado por el autor

En la siguiente Figura 90 se muestra la cantidad de estiércol que ha sido agregada por el usuario.

Figura 90

Cantidad de estiércol medida por el sensor

17:48:42.487	->	Cantidad: 1.46	
17:48:43.513	->	Caudal: 0.11 L/seg	Litros: 0.108 L
17:48:44.512	->	Caudal: 0.26 L/seg	Litros: 0.368 L
17:48:45.512	->	Caudal: 0.25 L/seg	Litros: 0.615 L
17:48:46.536	->	Caudal: 0.23 L/seg	Litros: 0.846 L

Fuente: Elaborado por el autor

La cantidad de agua corresponde a la multiplicación de la cantidad de estiércol medida por 1,6 litros.

$$\text{Cantidad de agua (litros)} = \text{estiércol (kg)} * 1,6$$

$$\text{Cantidad de agua (litros)} = 1,46 * 1,6$$

$$\text{Cantidad de agua} = 2,336 \text{ litros}$$

Figura 91

Cantidad de agua agregada

```

17:48:42.487 -> Cantidad: 1.46
17:48:43.513 -> Caudal: 0.11 L/seg Litros: 0.108 L
17:48:44.512 -> Caudal: 0.26 L/seg Litros: 0.368 L
17:48:45.512 -> Caudal: 0.25 L/seg Litros: 0.615 L
17:48:46.536 -> Caudal: 0.23 L/seg Litros: 0.846 L
17:48:47.507 -> Caudal: 0.20 L/seg Litros: 1.042 L
17:48:48.536 -> Caudal: 0.17 L/seg Litros: 1.208 L
17:48:49.505 -> Caudal: 0.15 L/seg Litros: 1.360 L
17:48:50.521 -> Caudal: 0.13 L/seg Litros: 1.491 L
17:48:51.540 -> Caudal: 0.11 L/seg Litros: 1.599 L
17:48:52.537 -> Caudal: 0.07 L/seg Litros: 1.671 L
17:48:53.522 -> Caudal: 0.07 L/seg Litros: 1.737 L
17:48:54.539 -> Caudal: 0.07 L/seg Litros: 1.802 L
17:48:55.545 -> Caudal: 0.07 L/seg Litros: 1.867 L
17:48:56.570 -> Caudal: 0.07 L/seg Litros: 1.932 L
17:48:57.538 -> Caudal: 0.06 L/seg Litros: 1.990 L
17:48:58.554 -> Caudal: 0.07 L/seg Litros: 2.055 L
17:48:59.570 -> Caudal: 0.07 L/seg Litros: 2.120 L
17:49:00.570 -> Caudal: 0.06 L/seg Litros: 2.178 L
17:49:01.573 -> Caudal: 0.06 L/seg Litros: 2.236 L
17:49:02.571 -> Caudal: 0.07 L/seg Litros: 2.301 L
17:49:03.556 -> Caudal: 0.07 L/seg Litros: 2.366 L
17:49:03.604 -> M1.46
17:49:03.604 -> Fin ingreso agua

```

Fuente: Elaborado por el autor

- **Quinto paso:** una vez que se haya agregado el agua y se encienda el foco amarillo, debe abrir la llave de sustrato. Cuando haya terminado de ingresar el sustrato, procede a cerrar la llave.

Figura 92

Indicador led encendido (izquierda) y llave de ingreso de sustrato abierta (derecha)



Fuente: Elaborado por el autor

4.3 Validación de requerimientos del sistema

La verificación y validación son dos procesos cruciales en el desarrollo del presente proyecto ya que garantizan su eficacia, fiabilidad y adecuación para el propósito previsto. La

verificación se refiere a la evaluación del sistema con el fin de cumplir con los requerimientos de este, mientras que la validación se centra en confirmar que el sistema satisface las necesidades reales de los usuarios y se ajusta a su entorno operativo.

4.3.1 Bloque de adquisición de datos

En el proceso de desarrollo del sistema de adquisición de datos, se lleva a cabo una etapa crucial de validación. En esta fase, se verifica la concordancia entre los requerimientos de stakeholders, el diseño del sistema y su arquitectura, los cuales han sido especificados. Esto se logra mediante la ejecución del test de funcionamiento desarrollado en el punto 4.2. La confirmación del cumplimiento de estos requisitos en el diseño e implementación del sistema se presenta de manera detallada en la Tabla 38, brindando una visión clara y concreta del progreso y la calidad del proyecto.

Tabla 38

Verificación de requerimientos para el bloque de adquisición de datos

		Validación de requerimientos						
Requerimientos		SR7	SR12	SR8	SR9	SR10	SR11	SR12
Cumple	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NO							

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.2 Bloque de procesamiento y envío de datos

En la fase de desarrollo correspondiente al bloque de procesamiento y envío de datos, se lleva a cabo un proceso esencial de validación. En este contexto, se verifica minuciosamente la conformidad de los requerimientos previamente especificados. Los resultados de esta validación

se presentan de manera detallada y accesible en la Tabla 39, lo que permite una evaluación precisa y transparente del cumplimiento de estos requisitos en el diseño e implementación del sistema.

Tabla 39

Verificación de requerimientos para el bloque procesamiento y envío de datos

Validación de requerimientos					
Requerimientos	SISR1	SISR2	SYSR14	SRSH14	SRSH15
Cumple	SI ✓	✓	✓	✓	✓
	NO				

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.3 Bloque de almacenamiento de datos

La validación de los requerimientos establecidos para el bloque de almacenamiento de datos es un paso crítico en el proceso de desarrollo. En este contexto, se lleva a cabo una exhaustiva evaluación para garantizar que estos requisitos se cumplan de manera efectiva. Los resultados de esta validación se encuentran detalladamente en la Tabla 40, lo que proporciona una visión clara y precisa del grado de conformidad de estos requisitos en el diseño e implementación del sistema.

Tabla 40

Verificación de requerimientos para el bloque de almacenamiento de datos

Validación de requerimientos		
Requerimientos	SySR6	SySR10
Cumple	SI ✓	✓
	NO	

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.4 Bloque de visualización de datos

La validación de los requerimientos del bloque de visualización de datos se ha completado con éxito, demostrando una correcta representación de los valores capturados por los sensores y la cantidad de sustrato agregado. Además, se ha logrado una efectiva visualización de las notificaciones y alertas generadas por el sistema. Los resultados de esta validación se encuentran detallados en la Tabla 41.

Tabla 41

Verificación de requerimientos para el bloque de visualización de datos

		Validación de requerimientos					
Requerimientos		SISR8	SISR9	SISR10	SYSR7	SYSR8	SYSR13
Cumple	SI	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	NO						

Fuente: Elaborado por el autor

4.4 Resultados

En la Tabla 42 se muestran las cantidades que han sido ingresadas, tanto de estiércol como de agua. En el caso del estiércol las cantidades ingresadas varían entre un rango de 19,90 a 26 kg diarios, siendo el mínimo 19,90 kg y el máximo 25,69 kg. En el caso del agua, se ha agregado una cantidad mínima de 31,84 litros y un máximo de 41,1 litros. La totalidad de materia orgánica que fue ingresada es de 165,58 kg y sumándole la cantidad de agua para su mezcla, da un total de 430,516 litros de sustrato ingresado al tanque del digestor en donde se

realiza el proceso de la digestión anaerobia para la producción del biogás.

Tabla 42

Cantidad de estiércol y agua ingresados

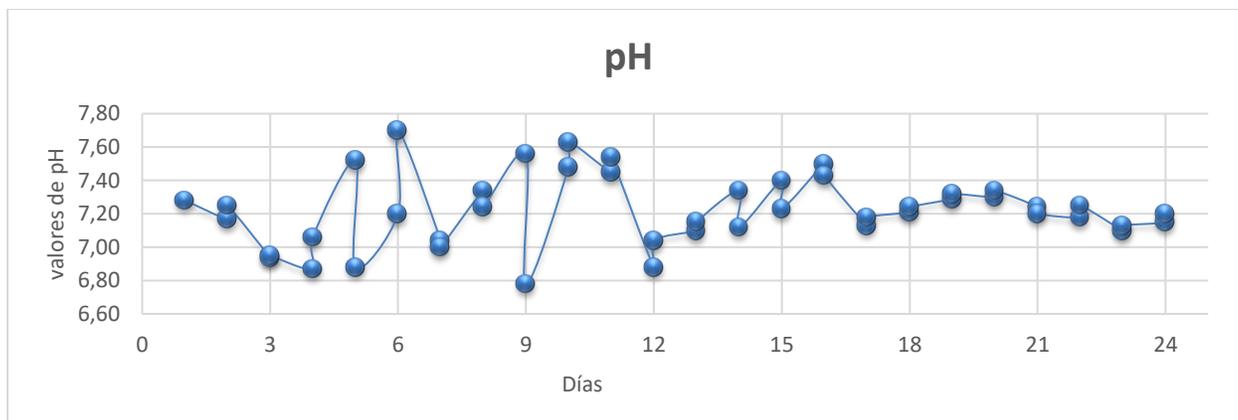
Días	Materia orgánica (kg)	Agua (litros)	Sustrato (litros)
1	23,32	37,3168	60,640
2	19,90	31,84	51,740
3	24,81	39,696	64,506
4	25,69	41,104	66,794
5	22,49	35,984	58,474
6	24,59	39,344	63,934
7	23,32	37,312	60,63
8	1,46	2,336	3,80
Total	165,58	264,9328	430,516

Fuente: Elaborado por el autor

Los resultados medidos durante 24 días indican una variación en los valores de pH, que oscilaban en un rango que iba desde 6.78 hasta 7.70 como se muestra en la Figura 93. Esta variabilidad en los valores de pH subraya la importancia de monitorear y controlar cuidadosamente las condiciones del sustrato, ya que incluso pequeños cambios en la acidez pueden tener un impacto significativo en la producción del biogás. Además, no fue necesario el uso de un polvo estabilizador.

Figura 93

Valores de PH medidos durante 24 días

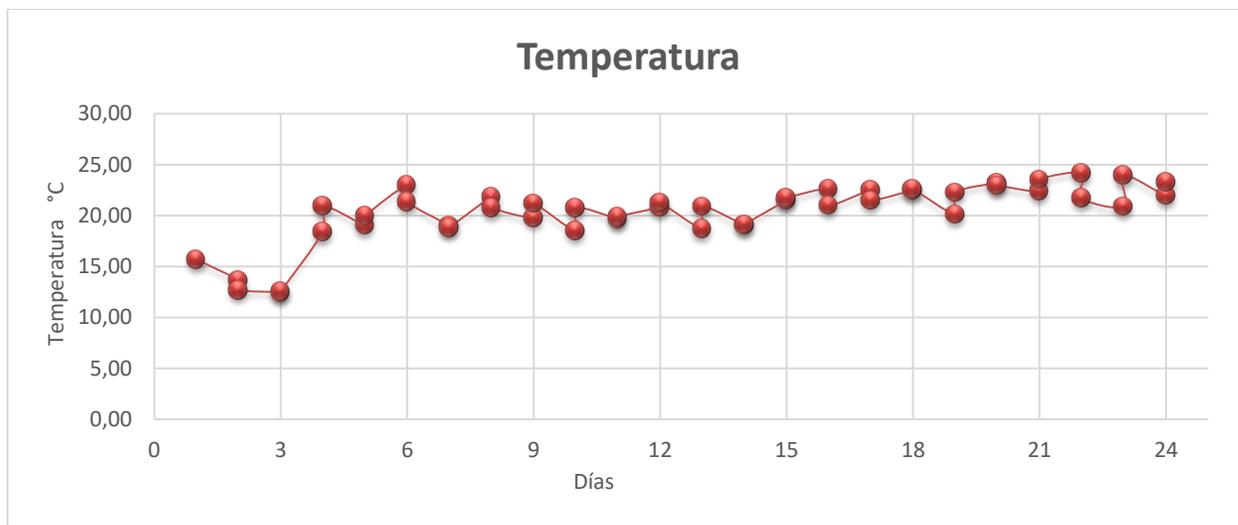


Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 94 se muestra los valores de temperatura medidos durante 24 días. En los primeros 3 días se observa una temperatura baja, en donde la temperatura mínima fue de 12,56 °C durante el día. En los próximos días se visualiza un aumento gracias a que los días ya eran soleados, además la estructura de calefacción solar pasiva ayuda a mantener la temperatura captada por el sol. En el resto de los días, los datos recopilados muestran fluctuaciones notables en la temperatura, que abarcan un rango que va desde 18,43°C hasta 24,14°C. Estos resultados son cruciales en nuestra investigación, ya que la temperatura es un factor determinante en la eficiencia de la producción de biogás. Las variaciones en la temperatura pueden influir en la velocidad de descomposición de la materia orgánica y, por lo tanto, en la cantidad de biogás producido.

Figura 94

Valores de temperatura durante 24 días



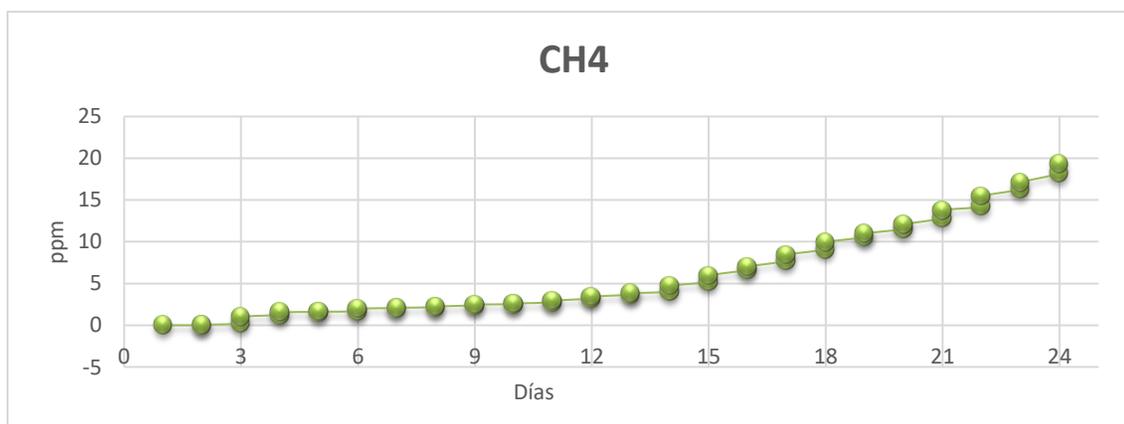
Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 95 se muestran los valores de gas metano durante los 24 días monitoreados.

Los resultados revelan una variación desde niveles de 0 hasta un máximo de 19.34 ppm de gas metano. Estos datos son de vital importancia, ya que reflejan la eficiencia de nuestro proceso de digestión anaeróbica utilizando 165.58 kilogramos de estiércol recolectados durante un período de 8 días. Es notable cómo la cantidad de gas metano producido puede variar en función de diversos factores, como la composición del estiércol, la temperatura y el tiempo de digestión.

Figura 95

Valores de gas metano (CH₄) durante 24 días



Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 96 (izquierda) se logra apreciar claramente cómo se ve la llama del biogás, su

tonalidad azulada muestra un aspecto limpio y sin humo lo que indican que estamos presenciando una fuente de energía respetuosa con el medio ambiente. Por el contrario, cuando la tonalidad de la llama es amarilla/naranja, por ejemplo en la quema de madera que se muestra en la Figura 96 (derecha), significa que libera mayor cantidad de gases nocivos perjudiciales para la calidad del aire.

Figura 96

Llama generada por el biogás (izquierda) y llama generada de la quema de madera (derecha)



Fuente: Elaborado por el autor

De esta forma se demuestra la implementación exitosa del proyecto de control y automatización en la producción de biogás en la parroquia Piartal, provincia del Carchi a partir de estiércol de cerdo ha representado un importante avance en la provisión de energía renovable a los habitantes de esta comunidad. La introducción de tecnología, como sensores, ha desempeñado un papel fundamental al permitir un riguroso control y monitoreo de los parámetros esenciales en la producción de biogás. Este recurso se convierte en una adición valiosa al suministro de gas licuado de petróleo, tanto para la cocción de alimentos de los usuarios como para la alimentación de los propios cerdos.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

En esta sección se realiza la quinta etapa del proyecto, analizando las variables económicas que permitan determinar si el sistema es factible desde el punto de vista técnico y económico para los habitantes de la parroquia Piartal.

El análisis de costos y beneficios no se trata simplemente de números; es un proceso que implica evaluar cuidadosamente todos los aspectos financieros y estratégicos de un proyecto. Al identificar y cuantificar los costos involucrados, desde los gastos iniciales hasta los costos operativos en curso, se obtiene una visión realista de la inversión requerida. Al mismo tiempo, se analizan los beneficios esperados, tanto los tangibles como los intangibles, que el proyecto podría generar a lo largo del tiempo.

5.1 Costos del proyecto

El análisis de los costos no se trata solamente de números sino del proceso que implica la evaluación de ciertos aspectos financieros y estratégicos de un proyecto. Por ello es importante identificar y cuantificar los costos involucrados, desde los gastos iniciales hasta los gastos operativos.

5.1.1 Costos de hardware

Como parte fundamental de este proyecto, en la Tabla 43 se detallan los costos que inciden en la materialización exitosa del mismo. A continuación, se presentan los valores de cada dispositivo implementado en el sistema para su adecuado funcionamiento.

Tabla 43

Costos de hardware para implementación del proyecto

Dispositivo	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio total (\$)
Arduino nano	1	12	12
Wemos D1 mini	1	8,5	8,5
Kit Módulo Sensor de PH + Sonda de electrodo BNC Arduino	1	25	25
Sensor de temperatura sumergible DS18B20	1	3	3
Sensor de nivel tipo flotador horizontal ZPC1	1	2	2
Sensor ultrasónico HC-SR04	1	3	3
Sensor de flujo 1/2" YF-S201	1	6	6
Sensor MQ4	1	3	3
Módulo Relay dual channel 5V	1	5	5
Motor agitador Iskra Perles TP6R	1	35	25
Indicador led 5mm	3	0,05	0,15
Pulsador 6x6x5mm	1	0,2	0,2
Resistencias ¼ watt	6	0,07	0,42
Zumbador 5v	1	0,7	0,7
Mini bomba 12v AD20P	1	11	11
		TOTAL	104,97

Fuente: Elaborado por el autor

5.1.2 Costos de software

El software usado para el desarrollo e implementación del proyecto han sido de código abierto, lo cual es un requerimiento del sistema para reducir costos. De este modo, en la Tabla 44 se muestra que el costo total es \$0.

Tabla 44

Costos de software del proyecto

Dispositivo	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio total (\$)
Arduino IDE	1	0	0
Servicio web Firebase	1	0	0
Real Time Database Firebase	1	0	0
TOTAL			0

Fuente: Elaborado por el autor

5.1.3 Costos de infraestructura

Los valores indicados en la Tabla 45 han sido establecidos una vez culminado el diseño e implementación del sistema. En este apartado se incluye la mano de obra requerida para el armado de la infraestructura.

Tabla 45

Costos de los componentes usados en el armado de la infraestructura

Componente	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio total (\$)
Manguera de silicona de 10mm exterior, 8mm interior	2 m	0,7	1,4
Postes de madera para estructura de sistema de calefacción solar pasiva	12	0,4	4,8
Plástico polietileno negro 2m	9m	1	9
Tanque plástico negro hermético de 500 litros	1	35	35
Tanque plástico hermético 60 litros	4	9	36
Cable jumper M-H 20cm	10	0,08	0,8
Cable de timbre	15m	0,5	7,5
Reductor de 1" a 1/4"	2	1,5	3

Baquelita virgen 15x20	1	3,5	3,5
Impresión de pistas en papel couche	1	1,05	1,05
Estaño de 1mm	3m	0,75	2,25
Borneras 3pines	6	0,35	2,1
Borneras 2pines	18	0,25	4,5
Espadines hembra 1x40	1	0,6	0,6
Llave plástica de paso de agua de 2"	1	4	4
Fuente de 5v 4A	1	11,25	11,25
Fuente de 12V	1	6	6
Manguera de gas industrial 300psi	7	1	7
Llave de paso de gas ½"	1	3	3
Hornillo a gas	1	10	10
Tubería y accesorios varios	1	5	5
Gastos varios	1	12	12
Mano de obra artesano	4 personas	15	60
		TOTAL	229,75

Fuente: Elaborado por el autor

5.1.4 Costos de ingeniería

En el proceso de desarrollo de este proyecto, es esencial tener en cuenta los costos asociados a la ingeniería. Estos costos abarcan diversos aspectos, como la adquisición de materiales y equipos específicos, la realización de pruebas y análisis técnicos, así como la posible contratación de personal capacitado para la implementación de la infraestructura, garantizando la calidad del proyecto. Además, es crucial considerar los costos indirectos, como el tiempo de investigación y desarrollo, así como posibles gastos imprevistos que puedan surgir durante el proceso.

La investigación sobre los biodigestores y la selección de materia orgánica para optimizar la producción de biogás requirieron un total de 4 días. La fase de diseño y desarrollo del sistema de control y automatización demandó un periodo de 12 días, mientras que la logística asociada a la adquisición de materiales y su traslado al lugar de instalación sumó 1 día adicional. La fase culminante implicó la instalación del biodigestor, incluyendo dispositivos de control, sensores y comunicación, y se llevó a cabo durante 3 días. En conjunto, todas estas etapas sumaron un total de 20 días dedicados al proyecto. Tomando como referencia el sueldo base asignado a un ingeniero recién graduado en el campo de las telecomunicaciones es de \$500 mensuales aproximadamente. Este salario se desglosa alrededor de \$22 por día, considerando un mes promedio de 22 días hábiles. Por lo tanto, la cantidad presupuestada para esta sección específica del proyecto es de \$440.

La tarifa inicial para un viaje en un vehículo comercial de carga liviana es de \$3.80, con un cargo adicional de \$5.70 para un recorrido básico de 10 km, lo que suma un costo base de \$9.50. En caso de ser necesario, se le añade un costo adicional de \$0.57 por cada kilómetro extra. Por lo tanto, en esta ocasión, con una distancia total recorrida de 11 km, el costo de transporte ascendió aproximadamente a \$10.

Entre los dispositivos electrónicos que requieren un mantenimiento preventivo más frecuente se encuentra la bomba de agua, la cual precisa una limpieza cada 4 meses aproximadamente. Además, se lleva a cabo una verificación periódica del funcionamiento de los demás dispositivos, y anualmente se realiza una limpieza de los tanques que comprenden el biodigestor. Este enfoque implica la realización de tres mantenimientos preventivos al año, cada uno con un costo de \$22, acumulando así un total de \$66. A esto se añade la consideración de posibles cambios en dispositivos electrónicos con mayores

probabilidades de fallo, estimando un gasto adicional de \$34. Sumando ambos componentes, el costo total del mantenimiento anual asciende a \$100. Este enfoque proactivo garantiza el rendimiento eficiente y la durabilidad de los dispositivos electrónicos a lo largo del tiempo.

La evaluación de los costos presentados en la Tabla 46 contribuyen a la planificación efectiva y al logro exitoso de los objetivos del presente proyecto.

Tabla 46

Costos de ingeniería para el desarrollo del proyecto

Componente	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio total (\$)
Diseño y desarrollo del sistema	20 días	22	440
Servicio de transporte de equipos	1	10	10
Mantenimiento y operación anual	1	100	100
TOTAL			550

Fuente: Elaborado por el autor

5.1.5 Costo total

La suma total de los costos necesarios para la realización del presente proyecto ha sido realizada poniendo atención a cada detalle. Al combinar los costos de hardware, software, de infraestructura e ingeniería, se ha obtenido una cifra que se refleja en Tabla 47 de manera integral.

Tabla 47

Costo total del proyecto

Descripción	Total (\$)
Costos de hardware	104,97

Costos de software	0
Costos de infraestructura	229,75
Costos de ingeniería	550
TOTAL	884,72

Fuente: Elaborado por el autor

5.2 Beneficios del proyecto

La implementación de un sistema de control y automatización en la producción de biogás ofrece una serie de beneficios que pueden incluir:

- El control automatizado en la etapa de medición de estiércol e ingreso de agua garantiza un manejo preciso en la mezcla y obtención del sustrato, creando las condiciones óptimas para la digestión anaeróbica. Esta precisión asegura que la relación correcta de materia orgánica y humedad se mantenga constantemente, lo que se traduce en un aumento significativo en la producción de biogás. Como resultado, se potencia la generación de energía renovable de manera eficiente y confiable, consolidando la importancia de la automatización en la optimización de la producción de biogás como una fuente sostenible y valiosa de energía.
- La implementación de un sistema de control y automatización en la producción de biogás ofrece un beneficio económico significativo para los usuarios. Esta tecnología permite optimizar la eficiencia de la conversión de residuos orgánicos en biogás, reduciendo los costos operativos y aumentando la producción. Además, al monitorear y controlar procesos como el pH y mezcla de materia orgánica con agua, se minimizan los errores humanos y se maximiza la generación de biogás de alta calidad. Esto no solo se traduce en un ahorro en recursos y energía, sino también en

un aumento de los ingresos a través de la venta de biogás excedente o la producción de energía renovable para autoconsumo.

- Este proyecto conlleva un beneficio ambiental sustancial, es decir, mejora significativamente la eficiencia del proceso de conversión de residuos orgánicos en biogás, lo que reduce la cantidad de materia orgánica que se degrada de manera ineficiente en vertederos o en condiciones anaeróbicas naturales, evitando así la liberación de metano, un potente gas de efecto invernadero. Además, al optimizar la producción de biogás, se fomenta la generación de energía renovable y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles, lo que disminuye aún más las emisiones de gases de efecto invernadero.
- La flexibilidad y escalabilidad son elementos clave que caracterizan a este proyecto. Su diseño y funcionamiento están concebidos para adaptarse eficazmente a cambios en la carga de alimentación y para permitir futuras expansiones de manera fluida. Esta versatilidad resulta fundamental en un entorno dinámico donde la disponibilidad de materia prima puede variar con el tiempo. La capacidad de ajustarse a estas fluctuaciones garantiza que el sistema mantenga su eficiencia y continúe siendo rentable a medida que las necesidades de producción evolucionan.

CONCLUSIONES

- Gracias al análisis de los diferentes tipos de biodigestores y desechos orgánicos, se logró identificar las mejores prácticas y tecnologías en el campo de la producción de biogás, además de entender la importancia de elegir con precisión los materiales orgánicos para optimizar el proceso. Este proyecto contribuye un avance significativo hacia la producción sostenible de biogás y establece las bases para futuras investigaciones y aplicaciones en este campo prometedor.
- La evaluación de la situación actual en Piartal e identificación de requerimientos han sido procesos esenciales para el desarrollo del sistema, garantizando que esté alineado con las necesidades específicas de la comunidad. Este enfoque ha sentado las bases para la implementación de una solución que no solo sea efectiva, sino que también tenga un impacto positivo y duradero en la comunidad. Además, el uso del modelo iterativo promueve la mejora continua y el perfeccionamiento del proyecto, lo que contribuye a su éxito y a la generación de resultados óptimos.
- El diseño e implementación de un sistema controlado y automatizado mediante la ubicación de sensores en un biodigestor con 165,58 kg de estiércol de cerdo recolectados durante 24 días, biodegradados a una temperatura promedio de 21 °C ha demostrado ser efectiva en la generación de biogás, específicamente 19,34 ppm de gas metano. Además, el hecho de que tan solo se necesiten 12 ppm de gas metano para cocinar 50 libras de papa, que sirven como alimento para los cerdos, destaca la utilidad y sostenibilidad de esta fuente de energía. Este biodigestor presenta un gran potencial para contribuir a la autosuficiencia energética y a la gestión eficiente de los residuos en la granja.

- La automatización y la eficiencia demostradas por este biodigestor son indicativos de su considerable potencial para ser ampliado y utilizado en otras granjas o entornos similares. Este éxito en la producción de biogás no solo se traduce en un beneficio económico para los habitantes de la parroquia, sino que también promueve la sostenibilidad energética a nivel local. En consecuencia, se destaca la importancia de considerar la replicabilidad de esta tecnología en otros lugares.

RECOMENDACIONES

- Una recomendación importante sería considerar la adquisición de un tanque de mayor capacidad para el biodigestor, de manera que pueda manejar el ingreso diario de estiércol sin desperdiciar nada. Esto aseguraría que el biodigestor funcione de manera óptima y eficiente, maximizando la producción de biogás y evitando la necesidad de desechar estiércol no procesado. Un tanque más grande permitiría un almacenamiento adecuado y una gestión más efectiva de los recursos, contribuyendo a una operación más sostenible y rentable del biodigestor.
- Proporcionar una explicación clara y concisa sobre el uso del biodigestor, detallando los pasos necesarios para el ingreso del estiércol. Esto incluiría instrucciones sobre cómo recolectar y cargar el estiércol en el biodigestor, así como las pautas para mantener un flujo constante y adecuado de material. Una capacitación o guía visual podría ser de gran ayuda para los usuarios, asegurando que se sigan los procedimientos adecuados y se maximice la eficiencia del biodigestor, al tiempo que se minimizan los errores en la operación.
- Cabe recalcar la importancia de tener claro la temperatura y tiempo de espera, que en este caso fueron de 21°C en promedio y al menos 20 días respectivamente, para que se generen las bacterias necesarias en el proceso de digestión anaerobia. Esto ayudaría a los usuarios a comprender la importancia de la paciencia en el funcionamiento del biodigestor y a evitar la interrupción prematura del proceso.

Bibliografía

- AV Electronics. (09 de enero de 2023). Wemos D1 mini ESP8266.
<https://avelectronics.cc/producto/wemos-d1-mini-esp8266/>
- Arduino. (2023). Datasheet Arduino Uno R3.
<https://docs.arduino.cc/static/fd740be3304cfd5193b82db7c513f738/A000066-datasheet.pdf>
- Arrieta, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado* [Tesis de Pregrado, Universidad de Pirhua].
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- BOSCH. (2013). Datasheet BMP180 Digital pressure sensor.
<http://dlmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Pressure/BMP180.pdf>
- Briceño, M., Anahua, A., Cusilayme, V., Morón, M., & Quispe, C. (2021). *Proyecto Grupal De Investigación - Producción De Biogás*. Perú.
- Casanovas, G., Della, F., Reymundo, F., & Serafini, R. (2019). *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Argentina: ISBN
- Cabrera, J., Jaramillo, L., & Romero, R. (2012). *Diseño de un biodigestor automatizado para la granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Loja.
- Charles Nzila, Jo Dewulf, Henri Spanjers, David Tuigong, Henry Kiriamiti, Herman van Langenhove. (2012). *Multi criteria sustainability assessment of biogas production in Kenya*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.020>
- Chiriboga, S., Arellano, P., Peñafiel, P., Aguilar, D., & Recalde, D. (2020). *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Rural de Piartal*. <http://piartal.gob.ec/web/wp-content/uploads/2020/09/Plan-de-Desarrollo-y-Ordenamiento-Territorial-Parroquia-Piartal-2019-2023-Final-1.pdf>
- Corona, L., Abarca, G., & Mares, J. (2014). *Sensores y Actuadores*. Grupo Editorial Patria.

- <https://books.google.es/books?id=wMm3BgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Dallas. (s.f.). DS18B20 Datasheet. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>
- Díaz Castillo, D., & Rodríguez H. (2011). *Diseño de un biodigestor automatizado para la granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Loja.
- Dielect. (s.f.-a). Sensor de nivel de agua flotador boya para tanque. <https://ssdielect.com/para-liquidados/2439-sensor-nivel-plasti.html>
- Dielect. (s.f.-b). Kit modulo detector ph ph-4502c + sonda sensor e201 bnc. <https://ssdielect.com/sensores-para-medir-ph/888-kit-ss20.html>
- Diseño de biodigestores. (s.f.). *Infoagro*. <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf>
- El clima en Piartal. (2022). *White Light Sky*. Recuperado el 12 de octubre de 2022 de <https://whitelightskyes.com/administrative-area/4387867-piartal/>
- El clima y el tiempo promedio en todo el año en San Gabriel. (2016). *Weather Spark*. <https://es.weatherspark.com/y/20632/Clima-promedio-en-San-Gabriel-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Freire, S., Villamar, C. A., & Zapata, X. (2017). *Análisis geográfico para la implantación de sistemas de tratamiento de codigestión anaerobia de residuos agropecuarios en la provincia de Manabí, Ecuador*. Universidad del Azuay: <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/93/87>
- Fuentes López, A. F. (2012). *Diseño y construcción de un biodigestor con sistema automático para generación de biogás en la finca Tanguarín de la parroquia San Antonio de Ibarra* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1912/1/04%20MEC%20015%20TESIS.pdf>

- Giraldo, J., & Arango, J. (2020). “*Proceso de optimización en el diseño de sistema de calefacción solar pasivo*”. Revista Técnica “energía”. No. 16 Issue II, Pp. 100-110
- Gobierno amplía cupo de cilindros de gas doméstico para Tulcán (2012). *El Comercio*.
<https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/gobierno-amplia-cupo-de-cilindros.html>
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Montúfar. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. <http://www.gadmontufar.gob.ec/archivos/PDOT2020-2035.pdf>
- Google. (s.f. -a). [Ubicación geográfica de la parroquia Piartal]. Recuperado el 12 de octubre de 2022 de <https://www.google.com/maps/place/Piartal/@0.5502656,-77.7843921,13z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e29832a7292c1e9:0xa929161863c933d6!8m2!3d0.5554022!4d-77.7509303>
- Guardado, J. (2007). *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. Cuba: Cubasolar.
- Hanwei Electronics. (2013). Technical Data Mq-4 Gas Sensor. <https://cdn.electronilab.co/wp-content/uploads/2013/12/MQ-4.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (julio de 2022). *Tecnologías de la Información y Comunicación-TIC*. Recuperado el 7 de noviembre de 2022 de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec//tecnologias-de-la-informacion-y-comunicacion-tic/>
- Jahnke, A. (31 de julio de 2020). *Las 4 etapas de la arquitectura IoT*. DIGI.
<https://es.digi.com/blog/post/the-4-stages-of-iot-architecture>
- Jarauta Rovira, L. (2005). *Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos: estudio de las necesidades para la implantación en Perú*.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/2008/05_invest_JARAUTA.pdf
- Llamas, J. (s.f.). *Curso de Redes de Área Local*. Thales.
<https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0432-01/seccion/ieee.html>
- Martí Herrero, J. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. Bolivia: GTZ-Energía.

- Martillo, P., Orellana, R., & Millan, M. (2015). Telecontrol de Biodigestor para Generación de Gas. *Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31221>
- Mi corazón viajero. (3 de enero de 2022). 1 Piartal un pueblito hermoso en el Carchi [Archivo de vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=zWOyZqYlo6c>
- Moncayo Romero, G. (2013). *Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás*. Aqualimpia Engineering e.K.
- Montijo, E. (2018). *Diseño e implementación de biodigestores automatizados para producción de biogás en Sonora* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio Digital del Instituto Politécnico Nacional.
- Muñoz Jiménez, J. A. (2017). *Planificación y administración de Redes*. Read the docs.
<https://planificacionadministracionredes.readthedocs.io/es/latest/Tema06/Teoria.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Food & Agriculture Org.
https://books.google.com.ec/books?id=CV2mDwAAQBAJ&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Ortiz, D. (2015). *Análisis comparativo del desempeño del estándar IEEE 802.11ac respecto al IEEE 802.11n a través de simulación numérica apoyada por software* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana SEDE Quito].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10181/6/UPS%20-%20ST001829.pdf>
- Piartal. (s.f.). <https://www.goraymi.com/es-ec/carchi/montufar/rurales/piartal-a601s1try>
- Pimentel. (s.f.). *El nuevo estándar inalámbrico 802.11ac*. WNI México.
https://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=75:80211ac&catid=31:general
- Quiñonez, O. (2019). *Internet de las cosas (IoT)*. Ibukku.
https://books.google.es/books?id=vnnEDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Ramírez Coutiño, V. Á., Cuevas Vega, L. M., Vargas Hernández, A., & Pérez Sánchez, F. R. (2017). Generación de Biogás en un Biodigestor Automatizado. *Revista de Energía Química y Física*, 4(12), 8-13.
https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol4num12/Revista_de_Energ%c3%ada_Qu%c3%admica_y_F%c3%adsica_V4_N12_2.pdf
- RedHat. (10 de mayo de 2022). *La Automatización*.
<https://www.redhat.com/es/topics/automation>
- Rubio A. (s.f.). *Actuadores eléctricos y sus funciones principales*.
<https://www.instrumentaciondigital.es/actuadores-electricos-y-sus-funciones/>
- Salazar, J. (s.f.). *Redes inalámbricas*.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf
- SignalBoosters. (23 de mayo de 2022). *Explicación del estándar WiFi 802.11ac*.
<https://www.signalboosters.com/blog/the-80211ac-wifi-standard-explained/>
- Souza, I. (4 de agosto de 2019). Los 10 mejores hostings gratuitos para alojar tu página web.
<https://rockcontent.com/es/blog/hostings-gratuitos/#:~:text=Ampliamente%20usada%20por%20clientes%20de,datos%2C%20usuarios%20y%20otras%20tareas.>
- Suárez, J., Cepero, L., Savran, V., Díaz, M., Palacios, A., & Blanco, D. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 219-226. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269125071009>
- Textos Científicos. (s.f.). *Ethernet*. <http://www.textoscientificos.com/redes/ethernet>
- Torres, B. (2019). *Construcción de un biodigestor a escala de laboratorio para producción de biogás con digestión anaerobia seca a partir de residuos sólidos domésticos* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación



ANEXOS

Anexo 1. Encuesta a Stakeholders

Formato de encuesta realizada a los stakeholders de la cabecera parroquial Piartal.

Objetivo: realizar un análisis de mercado para la implementación de un sistema de control y automatización para la producción de biogás.

Tiempo estimado: 4 minutos

Dirigido a: Habitantes de la cabecera parroquial de Piartal que cuenten con la crianza de animales menores.

Marque con una X el casillero correspondiente según considere su respuesta:

Preguntas relacionadas al bastecimiento de GLP

1. ¿Cuál es el cupo que tiene para adquirir el gas licuado de petróleo al mes?

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

1

2

3

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

4

5

6

2. ¿Es suficiente la cantidad de gas adquirida mensualmente?

SI NO

3. ¿Conoce usted la próxima fecha en que el distribuidor de gas vendrá a su barrio?

SI NO

Preguntas relacionadas a la crianza de animales de granja

4. ¿Con cuántos chanchos cuenta usted actualmente?

0

1-5

6-10

Más de 10

5. ¿Cuántos de los anteriores son adultos, jóvenes o lechones?

Adultos:	<input type="text"/>
Jóvenes:	<input type="text"/>
Lechones:	<input type="text"/>

6. ¿Con qué periodicidad realiza el lavado de los corrales de los chanchos?

Diario	<input type="text"/>
Semanal	<input type="text"/>

Preguntas relacionadas a la disponibilidad de dispositivos tecnológicos e Internet

7. ¿Dispone de conexión a Internet en su hogar?

SI NO

8. ¿Cuál dispositivo usa para acceder a Internet con mayor frecuencia?

Teléfono móvil	<input type="text"/>
Tablet	<input type="text"/>
Computadora	<input type="text"/>

Preguntas relacionadas a la adquisición del sistema de producción de biogás

9. ¿Ha escuchado usted acerca del combustible llamado biogás?

SI NO

10. ¿Sabe usted que se puede generar biogás a partir de desechos orgánicos?

SI NO

11. ¿Está dispuesto a implementar un sistema que le permita generar biogás?

SI NO

Preguntas relacionadas al sistema

12. ¿El sistema debe contar con autenticación de usuario para mostrar la información?

SI NO

13. Los resultados deben ser mostrados en:

Página web	<input type="text"/>
Aplicación móvil	<input type="text"/>

14. El sistema debe contar con alertas sobre el proceso (cantidad de biogás, llenado de tanques):

SI

NO

Anexo 2. Tabulación de encuestas

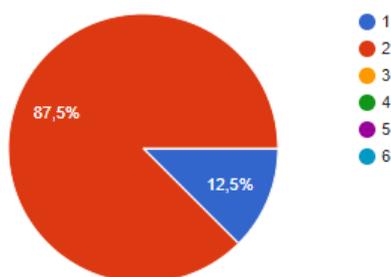
El cupo asignado para adquirir el gas licuado de petróleo, en la mayoría de los casos se puede observar una disponibilidad de hasta 2 tanques al mes, es decir, un 87,5% y solo un 12,5% accede a 1 cilindro de gas al mes. De los encuestados, se puede notar que ningún hogar cuenta con más de tres miembros, por ello la pregunta 1 de la encuesta no presenta resultados en donde una familia necesite 3 o más cilindros.

Figura 97

Tabulación de pregunta 1

¿Cuál es el cupo que tiene para adquirir el gas licuado de petróleo al mes?

8 respuestas



Fuente: Elaborado por el autor

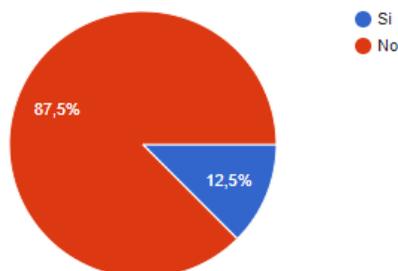
Los habitantes de la parroquia Piartal han manifestado que la cantidad de gas adquirida mensualmente no es suficiente. Esto es debido a varios factores, entre ellos: cocinar papas a diario (principal alimento de los cerdos), cocción de alimentos para las visitas que reciben frecuentemente. Tan solo 1 encuestado respondió que la cantidad de gas adquirido es suficiente, ya que su principal combustible para la cocción de algunos alimentos es la leña.

Figura 98

Tabulación de pregunta 2

¿Es suficiente la cantidad de gas adquirida mensualmente?

8 respuestas



Fuente: Elaborado por el autor

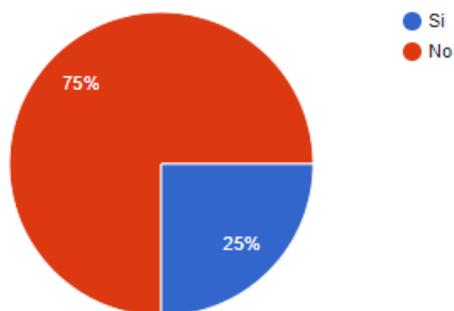
En la pregunta 3, tan solo el 25% de los encuestados respondió que sí conocían las fechas próximas en que el carro distribuidor de gas se acerca al barrio, sin embargo, supieron manifestar que no siempre llega en los días esperados. Esto implica que en ciertas ocasiones pueden perder su oportunidad de acceder a los cilindros de gas que tienen disponibles en su cupo, ya que podrían no encontrarse en su hogar.

Figura 99

Tabulación de pregunta 3

¿Conoce usted la próxima fecha en que el distribuidor de gas vendrá a su barrio?

8 respuestas



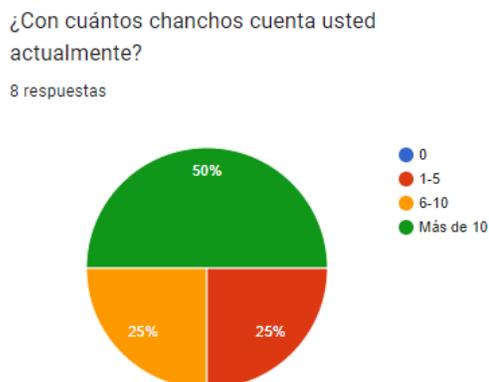
Fuente: Elaborado por el autor

Al menos un 50% de los encuestados cuenta con más de 10 chanchos, siendo una número adecuado con el cual se logra generar una cantidad de biogás suficiente para abastecer a la

familia en la cocción del alimento para los mismos animales. Si bien es cierto, los que cuentan entre 6-10 chanchos también podrían implementar el biodigestor, no obstante, el biogás generado no satisface las necesidades de consumo.

Figura 100

Tabulación de pregunta 4

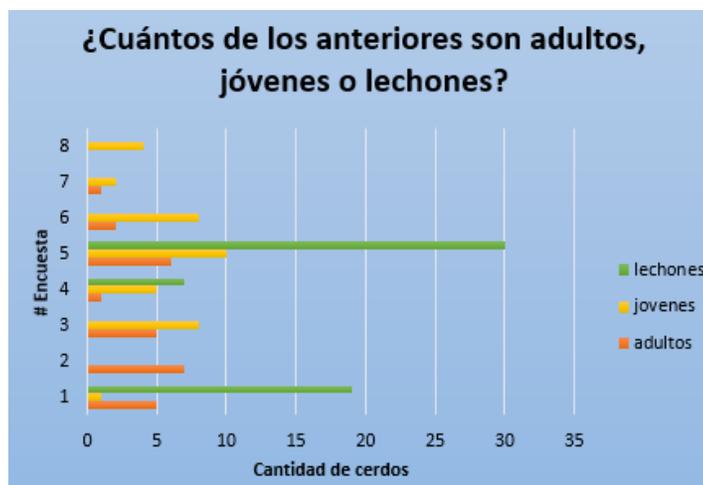


Fuente: Elaborado por el autor

Se puede distinguir que todos los encuestados a excepción de uno, cuentan con al menos 1 cerdo joven, por el contrario, tan solo 3 hogares cuentan con cerdos pequeños también llamados lechones. Si bien es cierto, en la Figura 101 se nota que existe gran cantidad de lechones en comparación con las otras edades, esto no suele ser frecuente debido a que las personas que ejercen esta actividad acostumbran a venderlos a temprana edad.

Figura 101

Tabulación de pregunta 5



Fuente: Elaborado por el autor

En la pregunta 6, todos los encuestados respondieron que realizan el lavado de los corrales a diario, incluso existen hogares en donde lo realizan dos veces al día. Esto se debe a la gran cantidad de excretas que producen los cerdos y con el fin de procurar que los animales crezcan en un ambiente limpio, el lavado lo realizan diariamente.

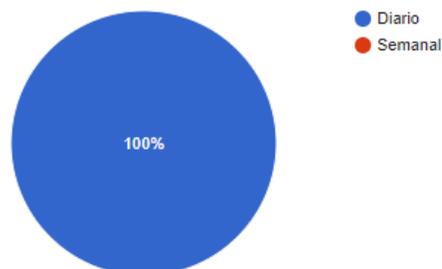
Algunos de los encuestados expresaron que la eliminación del estiércol de cerdo se lo hace por el alcantarillado, es decir, no siguen un protocolo con el que se pueda evitar la contaminación ambiental.

Figura 102

Tabulación de pregunta 6

¿Con qué periodicidad realiza el lavado de los corrales de los chanchos?

8 respuestas



Fuente: Elaborado por el autor

Con la pregunta 7 se pretende ratificar los datos que muestra el INEC, en el año 2022, en donde indica que al menos el 60,4% de hogares tienen acceso a Internet. De los encuestados, todos respondieron de forma positiva a la pregunta.

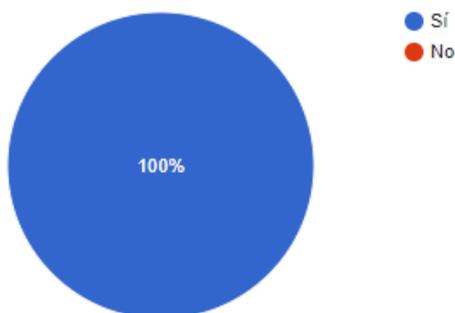
Es fundamental conocer la disponibilidad de conexión a Internet en los hogares, ya que esto forma parte de los requerimientos para el sistema opere y de igual manera, para que el usuario pueda acceder a la información y resultados sobre el proceso de obtención de biogás.

Figura 103

Tabulación de pregunta 7

¿Dispone de conexión a Internet en su hogar?

8 respuestas



Fuente: Elaborado por el autor

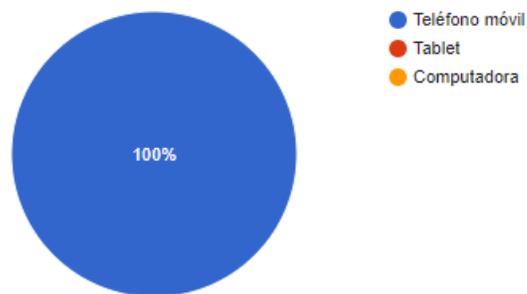
Según el INEC, hasta el año 2012, al menos un 52,2% de personas cuentan con un teléfono inteligente. En la Figura 104 se puede observar que el 100% de la muestra respondió que accede a Internet mediante un teléfono móvil, indicando que, para ellos, es un dispositivo que cuenta con mayor facilidad y rapidez para acceder a Internet.

Figura 104

Tabulación de pregunta 8

¿Cuál dispositivo usa para acceder a Internet con mayor frecuencia?

8 respuestas



Fuente: Elaborado por el autor

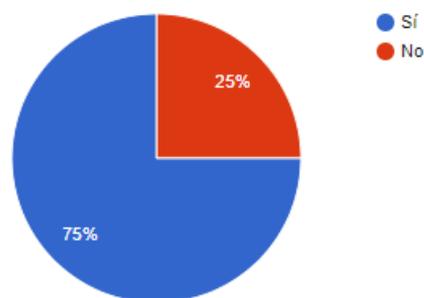
Los habitantes de la parroquia Piartal, principalmente los que se dedican a la crianza de y venta de cerdos, fueron llevados a un hogar, en donde se encuentra implementado un biodigestor. De esta forma lograron conocer la forma en que se puede generar biogás y el uso de este. De tal modo, el 75% de la muestra indicó que si tiene cierto conocimiento sobre el biogás.

Figura 105

Tabulación de pregunta 9

¿Ha escuchado usted acerca del combustible llamado biogás?

8 respuestas



Fuente: Elaborado por el autor

El 87,5% de la muestra respondieron que si tienen alguna idea sobre la generación de biogás a partir de desechos orgánicos. Gran parte de los encuestados manifestaron que algunos técnicos con conocimientos en el tema se han acercado a la parroquia Piartal a dar charlas e incentivarles

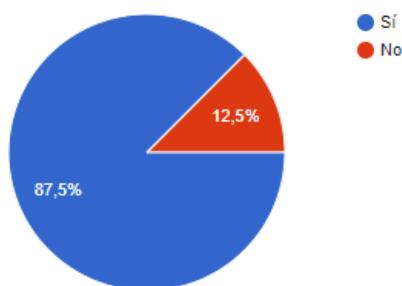
a que implementen un biodigestor en su hogar.

Figura 106

Tabulación de pregunta 10

¿Sabe usted que se puede generar biogás a partir de desechos orgánicos?

8 respuestas



Fuente: Elaborado por el autor

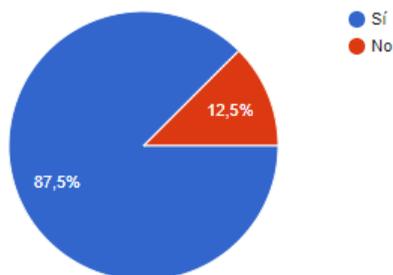
En la pregunta 10 tan solo una persona, que representa el 12,5% de encuestados, respondió que no estaría dispuesta a implementar el sistema. Esto se debe a que los técnicos que se habían acercado a la parroquia a comentarles sobre los biodigestores, les dieron un presupuesto aproximado de 900 dólares para adquirir el biodigestor. A pesar de ello, el 87,5% de la muestra si desean implementar el sistema .

Figura 107

Tabulación de pregunta 11

¿Está dispuesto a implementar un sistema que le permita generar biogás?

8 respuestas



Fuente: Elaborado por el autor

El control de acceso de usuario mediante su autenticación garantiza que sea la persona

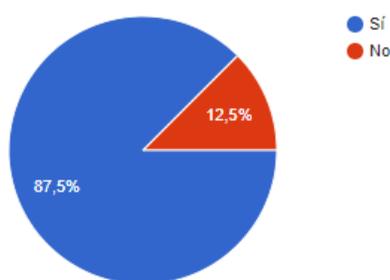
adecuada la que acceda al sistema para ver únicamente la información o resultados que le corresponden. En la Figura 108 se puede observar que el 87,5% de la muestra están claros en que, cada uno tenga acceso a la visualización del proceso de obtención de biogás de su propio biodigestor.

Figura 108

Tabulación de pregunta 12

¿El sistema debe contar con autenticación de usuario para mostrar la información?

8 respuestas



Fuente: Elaborado por el autor

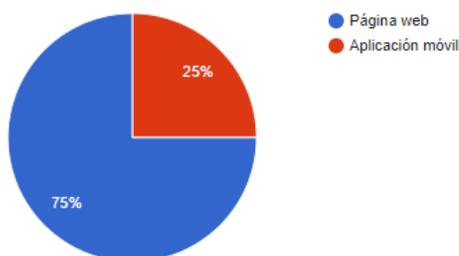
Tan solo un 25% de la muestra respondió que los resultados deben ser mostrados en una aplicación móvil, pues ellos cuentan con un teléfono que si tiene la capacidad para descargar aplicaciones. En cambio, el 75% prefiere visualizar los datos en una página web debido a que consumen menos recursos de sus dispositivos.

Figura 109

Tabulación de pregunta 13

Los resultados deben ser mostrados en:

8 respuestas



Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 110 se puede observar que el 100% de la muestra respondió que el sistema sí debe contar con alertas sobre el proceso de obtención de biogás, ya que esto les otorga seguridad en lo que se refiere a evitar desastres y disminuir impactos económicos.

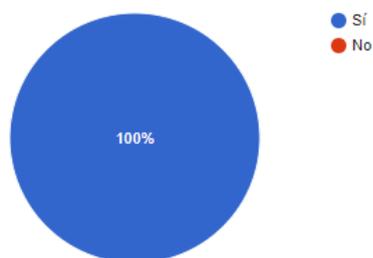
La generación de alertas es importante, puesto que el biogás es un combustible altamente inflamable y puede ser nocivo para la salud por sus componentes tóxicos.

Figura 110

Tabulación de pregunta 14

El sistema debe contar con alertas sobre el proceso (cantidad de biogás, llenado de tanque):

8 respuestas



Fuente: Elaborado por el autor

Anexo 3. Código de programación del módulo de procesamiento (transmisor)

```

#include <pt.h> // librería protothreads
// librerías para sensor de temperatura DS18B20
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Asignación de variables para ultrasónico
const int PinEcho_nivel = 11; // Pin ECHO
const int PinTrig_nivel = 10; // Pin TRIGGER
const float Vel_sonido = 34320.0; // velocidad de sonido en cm/s a 20°C
float nivelMateria; //cantidad de materia orgánica
const float distanciaMedioLleno = 5.96; // distancia a los 9,3 kg de estiércol
const float distanciaVacio = 58.76; // distancia con tanque vacio
// Variables para activar la medición de nivel de materia orgánica
const int LED_midiendoMateria = 13;
const int pulsador_medirMateria = 12;
int val_pulsador = 0;
int estado_medirMateria = 0; // 0 LED_midiendoMateria apagado
// Asignación de variables para agua (bomba y flujo)
const int Led_llenarAgua = 6; // indicador agregar agua
const int nivel_agua = 7; //nivel de agua
const int bomba = 8; // activa la bomba en el pin 8
float sensorFlujo = 2; //sensor de flujo conectado en el pin 2
int sensorInterrupt = 0; // interrupción 0
float calibrationFactor = 7.5; // dato de acuerdo al datasheet
volatile byte pulseCount = 0;
float caudal = 0.0;
float caudalLitros = 0;
float totalLitros = 0;
unsigned long oldTime = 0;
// Led de aviso para abrir llave de ingreso de sustrato
const int Led_ingresoSustrato = 5;
// Asignación variables agitador
const int rele_agitador = 9; // rele que activa el agitador

```

```

// Variables para sensar Metano (CH4) - sensor MQ4
const int R0 = 945;
#define AO_Metano 0 // Conectamos el pin A0 de MQ4 al pin A0 de Arduino
#define Alarma_UmbralMetano 4 // Conectamos un led al pin 7 de Arduino
float Metano_Input; // Variable de salida análoga de MQ4
float V0, Rs, Metano_ppmActual ; // valores --> volts, resist, sensibilidad y ppm
float Metano_ppmAnterior;

// Varibles para medición de PH
float calibration_value = 21.49;
int phval = 0;
float phAnterior;
unsigned long int avgval;
int buffer_arr[10], temp;

// Asignación variables de temperatura
#define ONE_WIRE_BUS 3 // Sensor conectado al pin 7
float tempAnterior;
// configuración para comunicación con otro dispositivo oneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// referencia de oneWire direccionada al sensor de temperatura Dallas
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// procesos
struct pt procesol; // mide la cantidad de materia orgánica ingresada al tanque
struct pt proceso2; // indica tanque lleno/vacio, activa bomba y flujo de agua
struct pt proceso3; // mide la temperatura, PH y gas metano
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(Alarma_UmbralMetano, OUTPUT); //Configura como pin digital de salida (alarma)
  pinMode(AO_Metano, INPUT); // Entrada de gas metano
  pinMode(A1, INPUT); // entrada de PH
  PT_INIT(&procesol);
  PT_INIT(&proceso2);
  PT_INIT(&proceso3);
}
//-----
void loop() {
  medirMateria (&procesol);
  delay(200);
  medirAgua (&proceso2);
  delay(200);
  medirTempPhGas (&proceso3);
  delay(200);
}

```

```

//-----// PROCESO 1 - MATERIA ORGÁNICA //-----
void medirMateria(struct pt *pt) {
  PT_BEGIN(pt); // inicio de ProtoThreads
  // void setup() {
  Serial.begin(115200);
  static long t = 0;
  int ingresoAgua = 0;
  pinMode(LED_midiendoMateria, OUTPUT); // LED_midiendoMateria como una señal de salida
  digitalWrite(LED_midiendoMateria, LOW);
  pinMode(pulsador_medirMateria, INPUT); // pulsador_medirMateria como señal de entrada
  pinMode(PinEcho_nivel, INPUT); // PinEcho_nivel como señal de entrada
  pinMode(PinTrig_nivel, OUTPUT); // PinTrig_nivel como una señal de salida
  pinMode(nivel_agua, INPUT); // verifica el nivel de agua a 55 litros
  pinMode(bomba, OUTPUT); // activa la bomba de agua
  pinMode(sensorFlujo, INPUT);
  digitalWrite(sensorFlujo, HIGH);
  pinMode(Led_ingresoSustrato, OUTPUT); // led abrir llave para ingreso de sustrato
  pinMode(rele_agitador, OUTPUT);
  digitalWrite(rele_agitador, HIGH); // desactiva el relé conectado al agitador
  // El sensor de efecto Hall está conectado al pin 2 que utiliza la interrupción 0.
  // Configurado para activarse en un cambio de estado FALLING (transición del estado ALTO al estado BAJO)
  attachInterrupt(sensorInterrupt, numPulsos, FALLING); //La config puede ser falling o rising
  // } fin setup
do {
  // void loop() {
  float cantidadEstiercol;
  int SensorNivel = digitalRead(nivel_agua);
  val_pulsador = digitalRead(pulsador_medirMateria); // lee estado de pulsador_medirMateria
  if (val_pulsador == HIGH && SensorNivel == 1 ) {
    ingresoAgua = 1;
    digitalWrite(LED_midiendoMateria, HIGH); //
    inicio_Trigger(); // hacemos un llamado al método
    //pulseIn --> función para obtener tiempo al cambio entre estados, de LOW a HIGH (en este caso)
    unsigned long tiempo_estados = pulseIn(PinEcho_nivel, HIGH);
    // Obtenemos la distancia en cm, hay que convertir el tiempo de microseg a segundos(multiplica por 0.000001)
    nivelMateria = tiempo_estados * 0.000001 * Vel_sonido / 2.0;
    float distanciaLleno = distanciaVacio - nivelMateria;
    cantidadEstiercol = (distanciaLleno * 9.3) / distanciaMedioLleno;
    Serial.print("M");
    Serial.println(cantidadEstiercol);
    delay(1000);
    digitalWrite(LED_midiendoMateria, LOW);
  }
}
if (ingresoAgua == 1) {
  if ((millis() - oldTime) > 1000) { // procesa contadores una vez por seg
    detachInterrupt(sensorInterrupt);
    caudal = ((1000.0 / (millis() - oldTime)) * pulseCount) / calibrationFactor;
    oldTime = millis();
    caudalLitros = (caudal / 60); // caudal en litros/seg
    totalLitros += caudalLitros; // acumula los litros
    float cantidadAgua = cantidadEstiercol * 1.6; // cantidad de agua a ingresar
    // Imprime en caudal y total en litros/seg
    Serial.print("Caudal: ");
    Serial.print(caudalLitros); // imprime la parte entera
    Serial.print(" L/seg \tLitros: ");
    Serial.print(totalLitros, 3);
    Serial.println(" L");
  }
}

```

```

if (totalLitros >= cantidadAgua) {
    digitalWrite(bomba, LOW);
    totalLitros = 0;
    Serial.println("Fin ingreso agua");
    digitalWrite(Led_ingresoSustrato, HIGH);
    delay(300000);
    digitalWrite(Led_ingresoSustrato, LOW);
    delay(60000);
    digitalWrite (rele_agitador, LOW); //enciende el agitador
    Serial.println("ON");
    delay (180000);
    digitalWrite (rele_agitador, HIGH); //apaga el agitador
    Serial.println("OFF");
    delay(2000);
    ingresoAgua = 0;
} else {
    digitalWrite(bomba, HIGH);
}
pulseCount = 0; // resetea el contador para empezar de nuevo
attachInterrupt(sensorInterrupt, numPulsos, FALLING);
}
}
if (ingresoAgua == 0) {
    t = millis();
    PT_WAIT_UNTIL(pt, (millis() - t) >= 500); // espera 500 ms
} // } fin loop
} while (true);
PT_END(pt); // fin de ProtoThreads
}
//-----
void inicio_Trigger() {
    digitalWrite(PinTrig_nivel, LOW); // Configuramos Trigger en estado LOW(bajo)
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(PinTrig_nivel, HIGH); // Configuramos Trigger en estado HIGH(alto)
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(PinTrig_nivel, LOW); // Inicializamos pin Trigger en estado LOW
}
void numPulsos() {
    pulseCount++; // incrementa el contador
}
}

```

```

//-----// PROCESO 2 - Agua //-----
void medirAgua (struct pt *pt) {
  PT_BEGIN(pt); // inicio de ProtoThreads
  // void setup() {
  Serial.begin(115200);
  static long t = 0;
  pinMode(nivel_agua, INPUT);
  pinMode(Led_llenarAgua, OUTPUT);
  // } fin setup
  do { // void loop() {
    int t_esperaAgua = 2000;
    int SensorNivel = digitalRead(nivel_agua);
    val_pulsador = digitalRead(pulsador_medirMateria);
    // leemos lo que marca el nivel si el flotador esta arriba --> tanque lleno
    if (SensorNivel == 1 && millis() > t + t_esperaAgua) {
      digitalWrite(Led_llenarAgua, LOW);
      t = millis();
      PT_WAIT_UNTIL(pt, (millis() - t) >= 500); // espera 1 seg
    }
    // si el flotador esta abajo --> agregar agua
    if (SensorNivel == 0 && millis() > t + t_esperaAgua) {
      digitalWrite(Led_llenarAgua, HIGH);
      t = millis();
      PT_WAIT_UNTIL(pt, (millis() - t) >= 1000); // espera 1 seg
    } // } fin loop
  } while (true);
  PT_END(pt); // fin de ProtoThreads
}

//-----// PROCESO 3 - TEMPERATURA - PH- GAS //-----
void medirTempPhGas (struct pt *pt) {
  PT_BEGIN(pt); // inicio de ProtoThreads
  // void setup() {
  Serial.begin(115200);
  sensors.begin(); // iniciar la librería
  static long t = 0;
  int t_esperaTemp = 2000;
  // } fin setup
  do { // void loop() {
    if (millis() > t + t_esperaTemp) {
      sensors.requestTemperatures(); // llamado a los sensores
      float tempActual = sensors.getTempCByIndex(0);
      if (tempActual >= 0) {
        if (tempActual != tempAnterior) {
          Serial.print("T");
          Serial.println(tempActual);
        } else {
          Serial.println("T no enviado");
        }
      }
      tempAnterior = tempActual;
    }
    medirPH (); // llamado a método de medir PH
    medirGas (); // llamado a método de medir GAS
  }
  t = millis();
  PT_WAIT_UNTIL(pt, (millis() - t) >= 1000); // espera 6 seg
  // } fin loop
} while (true );
PT_END(pt); // fin de ProtoThreads
}

```

```
// ----- Método para medir GAS -----
void medirGas () {
  Metano_Input = analogRead(AO_Metano);      // Lectura del pin análogo A0 del sensor MQ4
  V0 = Metano_Input * 5 / 1023;  // convertir la lectura a voltios
  Rs = (5 - V0) * 1000 / V0;    //formula para obtener Rs --> Resistencia de sensibilidad
  Metano_ppmActual = pow(Rs / R0, -2.95) * 1000; //formula para obtener valores en ppm
  if (Metano_ppmActual != Metano_ppmAnterior ) {
    Serial.print("G");
    Serial.println(Metano_ppmActual);  // Imprime el valor de metano
    delay(50);
  } else {
    Serial.println("G no enviado");
  }
  Metano_ppmAnterior = Metano_ppmActual;
  // valor alto 10000, consumir el biogás para evitar posibles daños  Metano_ppm >= 8000
  if ( Metano_ppmActual >= 8000 ) {
    digitalWrite(Alarma_UmbralMetano, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(Alarma_UmbralMetano, LOW);
    delay(50);
  }
}

// ----- Método para medir PH -----
void medirPH() {
  int sensorvalue = analogRead(A1);
  float voltaje = sensorvalue * (5.0 / 1024.0);
  // Serial.print("Voltaje: ");
  // Serial.println(voltaje);
  for (int i = 0; i < 10; i++) {
    buffer_arr[i] = analogRead(A0);
    delay(10);
  }
  for (int i = 0; i < 9; i++) {
    for (int j = i + 1; j < 10; j++) {
      if (buffer_arr[i] > buffer_arr[j]) {
        temp = buffer_arr[i];
        buffer_arr[i] = buffer_arr[j];
        buffer_arr[j] = temp;
      }
    }
  }
  avgval = 0;
  for (int i = 2; i < 8; i++)
    avgval += buffer_arr[i];
  float volt = (float)avgval * 5.0 / 1024 / 6;
  float phActual = -5.70 * volt + calibration_value;
  if (phActual != phAnterior ) {
    Serial.print("P");
    Serial.println(phActual);
    delay(50);
  } else {
    Serial.println("P no enviado");
  }
  phAnterior = phActual;
}
}
```

Anexo 4. Código de programación del módulo de comunicación (receptor)

```
//..... ESP8266 o Wemos D1 mini .....
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <Firebase_ESP_Client.h>
// Provide the token generation process info.
#include "addons/TokenHelper.h"
// Provide the RTDB payload printing info and other helper functions.
#include "addons/RTDBHelper.h"
// Insert your network credentials
#define WIFI_SSID "HomeInLove"
#define WIFI_PASSWORD "Sofy5102@"
// Insert Firebase project API Key
// Configuración de proyecto--> General --> Clave API web
#define API_KEY "AIzaSyBQPI_uX_rAUS0bWzeAolbaGnzeQIeCBEO"
// Insert RTDB URLdefine the RTDB URL
#define DATABASE_URL "autobiogas1-default-rtdb.firebaseio.com" //Sin http:// o https://
// Configuración de proyecto --> Cuentas de servicio --> Secretos de la base de datos
//#define FIREBASE_AUTH "SoC2wzGee9GyAvfvAEkSs6r09JKs9AN5nALBoPGJ"
// Insert Authorized Email and Corresponding Password
#define USER_EMAIL "test@test.com"
#define USER_PASSWORD "test123"
// Variables para comunicación con BDD de Firebase
String uid;
String databasePath;
FirebaseAuth auth;
FirebaseData firebaseData;
FirebaseConfig config;
void printResult(FirebaseData &data);
void CausaError(void);
char cadena;
```

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  Serial.print("Conectando a ....");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(1000);
  }
  Serial.println();
  Serial.print("Conectado con la IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  Serial.println();

  Firebase.reconnectWiFi(true);

  // Assign the api key (required)
  config.api_key = API_KEY;

  // Assign the user sign in credentials
  auth.user.email = USER_EMAIL;
  auth.user.password = USER_PASSWORD;

  // Assign the RTDB URL (required)
  config.database_url = DATABASE_URL;

  // Assign the callback function for the long running token generation task */
  config.token_status_callback = tokenStatusCallback; //see addons/TokenHelper.h

  // Assign the maximum retry of token generation
  config.max_token_generation_retry = 5;

  // Initialize the library with the Firebase authen and config
  Firebase.begin(&config, &auth);

  // Getting the user UID might take a few seconds
  Serial.println("Obteniendo UID");
  while ((auth.token.uid) == "") {
    Serial.print('.');
    delay(1000);
  }

  // Print user UID
  uid = auth.token.uid.c_str();
  Serial.print("UID usuario: ");
  Serial.println(uid);

  // Update database path
  databasePath = "/Users/" + uid;
}

```

```

void loop() {
  while (Serial.available() > 0) {
    cadena = Serial.read();
    //-----// PROCESO 1 - MATERIA ORGÁNICA //-----
    if (cadena == 'M') {
      float cantidadEstiercol, ingresoDigestor, actualNivel, nivelDigestor;
      cantidadEstiercol = Serial.parseFloat();
      if (cantidadEstiercol > 0) {
        ingresoDigestor = cantidadEstiercol + (cantidadEstiercol * 1.6);
        if (Firebase.RTDB.getFloat(&firebaseData, databasePath + "/nivel/actual" )) {
          actualNivel = firebaseData.floatData();
          Serial.print("Nivel anterior: ");
          Serial.println(actualNivel);
        } else {
          Serial.print("ERROR");
          Serial.println(firebaseData.errorReason());
        }
      }
      nivelDigestor = actualNivel + ingresoDigestor;
      Serial.print("Materia: ");
      Serial.println(cantidadEstiercol);
      Serial.print("NivelDigestor: ");
      Serial.println(nivelDigestor);
      Firebase.RTDB.setFloat(&firebaseData, databasePath + "/nivel/actual", nivelDigestor);
      Firebase.RTDB.pushFloat(&firebaseData, databasePath + "/nivel", nivelDigestor);
      Serial.println("-----");
      delay(100);
    }
  }

  //-----// PROCESO 2 - TEMPERATURA //-----
  if (cadena == 'T') {
    float temp = Serial.parseFloat();
    Serial.print("Temperatura(C°): ");
    Serial.println(temp);
    Serial.println("-----");
    Firebase.RTDB.setFloat(&firebaseData, databasePath + "/temperatura/actual", temp);
    Firebase.RTDB.pushFloat(&firebaseData, databasePath + "/temperatura", temp);
    delay(100);
  }

  //-----// PROCESO 3 - PH //-----
  if (cadena == 'P') {
    float ph = Serial.parseFloat();
    Serial.print("PH: ");
    Serial.println(ph);
    Serial.println("-----");
    Firebase.RTDB.setFloat(&firebaseData, databasePath + "/pH/actual", ph);
    Firebase.RTDB.pushFloat(&firebaseData, databasePath + "/pH", ph);
    delay(100);
  }

  //-----// PROCESO 4 - GAS //-----
  if (cadena == 'G') {
    float gas = Serial.parseFloat();
    Serial.print("Gas: ");
    Serial.println(gas);
    Serial.println("-----");
    Firebase.RTDB.setFloat(&firebaseData, databasePath + "/metano/actual", gas);
    Firebase.RTDB.pushFloat(&firebaseData, databasePath + "/metano", gas);
    delay(100);
  }
}
}
}

```

Anexo 5. Código de programación de la plataforma web

- Index.html

```

<!DOCTYPE html>
<html>

<head>
  <meta charset="utf-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
  <title>AutoBiogas</title>
  <!-- Bootstrap -->
  <link rel="stylesheet" href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.3.0-alpha1/dist/css/bootstrap.min.css">
  <!-- MAIN -->
  <script src="./main.js" type="module"></script>
  <!-- Toastify -->
  <link rel="stylesheet" type="text/css"
href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/toastify-js/src/toastify.min.css">

  <!-- update the version number as needed -->
  <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.8.1/firebase-app.js"></script>
  <!-- Firebase features -->
  <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.8.1/firebase-auth.js"></script>
  <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.8.1/firebase-database.js"></script>

  <script>
    const firebaseConfig = {
      apiKey: "AIzaSyBQPI_uX_rAUS0bWzeAolbaGnzeQIeCBE0",
      authDomain: "autobiogas1.firebaseio.com",
      databaseURL: "https://autobiogas1-default-rtdb.firebaseio.com",
      projectId: "autobiogas1",
      storageBucket: "autobiogas1.appspot.com",
      messagingSenderId: "197490047287",
      appId: "1:197490047287:web:306c92a13cd17790ba82b2",
      measurementId: "G-RQ5BC5151E"
    };
    // Initialize firebase
    firebase.initializeApp(firebaseConfig);
    // Make auth and database references
    const auth = firebase.auth();
    const db = firebase.database();
  </script>

  <link rel="stylesheet"
href="https://use.fontawesome.com/releases/v5.7.2/css/all.css"
integrity="sha384-
fnmOCqbTlWIlj8LyTjo7mOUStjsKC4pOpQbqyi7RrhN7udi9RwhKkMHpvLbHG9Sr"
crossorigin="anonymous">

```

```

<link rel="icon" type="image/png" href="biogas.png">
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="style.css">
</head>

<body>
  <!--TOP BAR-->
  <div class="topnav">
    <h1>App Biogas <i class="fas fa-clipboard-list"></i></h1>
  </div>

  <div class="content" id="intro">
    <h1>Sistema de control & Automatización<br>para la producción de
biogás</h1>
    <p class="par">Bienvenidos al proyecto que permite controlar
    <br> y monitorear las variables que son fundamentales
    <br> para mejorar la producción de biogás a partir
    <br> del estiércol de ganado porcino.
    </p>
  </div>

  <!--AUTHENTICATION BAR (USER DETAILS/LOGOUT BUTTON)-->
  <div id="authentication-bar" style="display: none;">
    <p><span id="authentication-status">Usuario: </span>
    <span id="user-details">USEREMAIL</span>
    <a href="/" id="logout-link">SALIR</a>
    </p>
  </div>

  <!--LOGIN FORM-->
  <form id="login-form" style="display: none;">
    <div class="form-elements-container">
      <label for="email"><b>Correo</b></label>
      <input type="email" class="form-control mb-3"
placeholder="usuario@ejemplo.com" id="login-email" required>
      <label for="password"><b>Contraseña</b></label>
      <input type="password" class="form-control mb-3" placeholder="*****"
id="login-password" required>
      <div class="d-grid gap-2 col-6 mx-auto">
        <button type="submit" id="login-button">Ingresar</button>
        <button href="#" data-bs-toggle="modal" data-bs-
target="#RegistrosModal" type="submit">Registrarse</button>
      </div>
    </div>
  </form>

  <!-- Registros Modal -->
  <div class="modal fade" id="RegistrosModal" data-bs-backdrop="static" data-
bs-keyboard="false" tabindex="-1"
aria-labelledby="staticBackdropLabel" aria-hidden="true">
    <div class="modal-dialog">
      <div class="modal-content" style="background-color: #c5e2f6;">
        <div class="modal-header">
          <h1 class="modal-title fs-5"
id="staticBackdropLabel">Registrarse</h1>

```

```

        <button type="button" class="btn-close btn-close-dark" data-bs-
dismiss="modal" aria-label="Close"></button>
    </div>
    <div class="modal-body">
        <form id="signup-form">
            <label for="email">Correo</label>
            <input type="email" id="signup-email" class="form-control mb-3"
placeholder="usuario@example.com" required>
            <label for="password">Contraseña</label>
            <input type="password" id="signup-password" class="form-control
mb-3" placeholder="*****" required>
            <button type="submit" class="btn btn-primary">Registarse</button>
            <button type="button" id="loginGoogle" class="btn btn-
primary">Ingresar con Google</button>
        </form>
    </div>
</div>
</div>
</div>
</div>

<!--CONTENT (SENSOR READINGS)-->
<div class="content-sign-in" id="content-sign-in" style="display: none;">
    <div class="cards">
        <!--Digestor Level-->
        <div class="card">
            <h4><i class="fas fa-tint" style="color:#0d9121;"></i> Total de
sustrato ingresado </h4>
            <p><span class="reading"><span id="level"></span> L</span></p>
        </div>
        <!--TEMPERATURE-->
        <div class="card">
            <h4><i class="fas fa-thermometer-half" style="color:#e72b3b;"></i>
Temperatura </h4>
            <p><span class="reading"><span id="temp1"></span> °C</span></p>
        </div>
        <!--ph-->
        <div class="card">
            <h4><i class="fas fa-tint" style="color:#00add6;"></i> PH </h4>
            <p><span class="reading"><span id="ph"></span></span></p>
        </div>
        <!--PRESSURE-->
        <div class="card">
            <h4><i class="fas fa-rocket" style="color:#e47637;"></i> Gas
Metano</h4>
            <p><span class="reading"><span id="pres"></span> ppm </span></p>
        </div>
    </div>
</div>

<script src="scripts/auth.js"></script>
<script src="scripts/index.js"></script>
<!-- Bootstrap -->
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.3.0-
alpha1/dist/js/bootstrap.bundle.min.js"></script>

```

```

    <!--   toastify   -->
    <script type="text/javascript" src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/toastify-
js"></script>

</body>

</html>

```

- Main.js

```

import { onAuthStateChanged } from
"https://www.gstatic.com/firebasejs/9.15.0/firebase-auth.js"

import { auth } from './scripts/firebase.js'
import { loginCheck } from './scripts/loginCheck.js'
import './scripts/RegistroUsuarios.js'
import './scripts/iniciarSesion.js'
import './scripts/loginGoogle.js'
import './scripts/index.js'

onAuthStateChanged(auth, async (user) => {
  if (user) {
    loginCheck(user)
  } else {
    loginCheck(user)
  }
  console.log(user)
})

```

- Auth.js

```

// listen for auth status changes
auth.onAuthStateChanged(user => {
  if (user) {
    console.log("user logged in");
    console.log(user);
    setupUI(user);
    var uid = user.uid;
    console.log(uid);
  } else {
    console.log("user logged out");
    setupUI();
  }
});

// login
const loginForm = document.querySelector('#login-form');
loginForm.addEventListener('submit', (e) => {
  e.preventDefault();
  // get user info
  const email = loginForm['login-email'].value;

```

```

const password = loginForm['login-password'].value;
// log the user in
auth.signInWithEmailAndPassword(email, password).then((cred) => {
  // close the login modal & reset form
  loginForm.reset();
  console.log(email);
})
.catch((error) => {
  const errorCode = error.code;
  const errorMessage = error.message;
  document.getElementById("error-message").innerHTML = errorMessage;
  console.log(errorMessage);
});
});

// logout
const logout = document.querySelector('#logout-link');
logout.addEventListener('click', (e) => {
  e.preventDefault();
  auth.signOut();
});

```

- Firebase.js

```

import { initializeApp } from
"https://www.gstatic.com/firebasejs/9.15.0/firebase-app.js";
import { getAnalytics } from
"https://www.gstatic.com/firebasejs/9.15.0/firebase-analytics.js";
import {getAuth } from "https://www.gstatic.com/firebasejs/9.15.0/firebase-
auth.js"

const firebaseConfig = {
  apiKey: "AIzaSyBQPI_uX_rAUS0bWzeAolbaGnzeQIeCBE0",
  authDomain: "autobiogas1.firebaseio.com",
  databaseURL: "https://autobiogas1-default-rtdb.firebaseio.com",
  projectId: "autobiogas1",
  storageBucket: "autobiogas1.appspot.com",
  messagingSenderId: "197490047287",
  appId: "1:197490047287:web:306c92a13cd17790ba82b2",
  measurementId: "G-RQ5BC5151E"
};

// Initialize Firebase
export const app = initializeApp(firebaseConfig);
const analytics = getAnalytics(app);

export const auth = getAuth(app)

```

- Index.js

```

const loginElement = document.querySelector('#login-form');

```

```

const contentElement = document.querySelector("#content-sign-in");
const userDetailsElement = document.querySelector('#user-details');
const authBarElement = document.querySelector("#authentication-bar");
const introElement = document.querySelector("#intro");
const cardsCheckboxElement = document.querySelector('input[name=cards-checkbox]');

// Elements for sensor readings
const cardsReadingsElement = document.querySelector("#cards-div");
const levelElement = document.getElementById("level");
const tempElement1 = document.getElementById("temp1");
// const aguaElement = document.getElementById("agua");
const phElement = document.getElementById("ph");
const presElement = document.getElementById("pres");

// MANAGE LOGIN/LOGOUT UI
const setupUI = (user) => {
  if (user) {
    //toggle UI elements
    loginElement.style.display = 'none';
    introElement.style.display = 'none';
    contentElement.style.display = 'block';
    authBarElement.style.display = 'block';
    userDetailsElement.style.display = 'block';
    userDetailsElement.innerHTML = user.email;

    // get user UID to get data from database
    var uid = user.uid;

    // Database paths (with user UID)
    var dbPathlevel = 'Users/' + uid.toString() + '/nivel/actual';
    var dbPathTemp1 = 'Users/' + uid.toString() + '/temperatura/actual';
    var dbPathph = 'Users/' + uid.toString() + '/pH/actual';
    var dbPathPres = 'Users/' + uid.toString() + '/metano/actual';
    // var dbPathAgua = 'Users/' + uid.toString() + '/agua';

    // Database references
    var dbReflevel = firebase.database().ref().child(dbPathlevel);
    var dbRefTemp1 = firebase.database().ref().child(dbPathTemp1);
    var dbRefph = firebase.database().ref().child(dbPathph);
    var dbRefPres = firebase.database().ref().child(dbPathPres);
    // var dbRefAgua = firebase.database().ref().child(dbPathAgua);

    /////// CARDS
    dbReflevel.on('value', snapshot => {
      levelElement.innerText = snapshot.val().toFixed(2);
    });

    dbRefTemp1.on('value', snapshot => {
      tempElement1.innerText = snapshot.val().toFixed(2);
    });
  }
};

```

```
dbRefph.on('value', snapshot => {
  phElement.innerText = snapshot.val().toFixed(2);
});

dbRefPres.on('value', snapshot => {
  presElement.innerText = snapshot.val().toFixed(2);
});

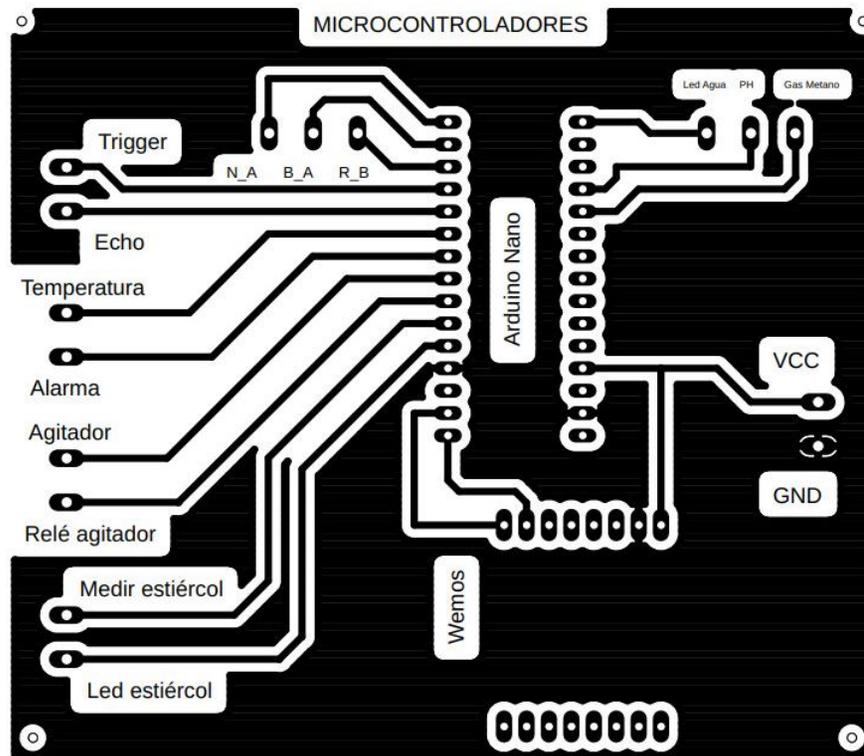
// dbRefAgua.on('value', snapshot => {
//   aguaElement.innerText = snapshot.val().toFixed(2);
// });

    // if user is logged out
} else {
  // toggle UI elements
  introElement.style.display = 'block';
  loginElement.style.display = 'block';
  authBarElement.style.display = 'none';
  userDetailsElement.style.display = 'none';
  contentElement.style.display = 'none';
}
}
```

Anexo 6. Diseño y elaboración de las placas

La elaboración de una placa de circuito impreso (PCB) es un proceso que implica varios pasos, desde el diseño del circuito hasta la fabricación y el ensamblaje. El método más común para fabricar PCBs es el proceso de "transferencia térmica" o "planchado".

El primer paso es utilizar un software de diseño PCB para crear el esquemático y el diseño de la placa. Es importante tomar en cuenta el tamaño de los componentes electrónicos y las conexiones según el diseño requerido. El diseño presentado en la siguiente imagen pertenece a la placa principal, en donde se ubican el microcontrolador Arduino nano y Wemos D1 mini.



El siguiente paso es imprimir el diseño en el papel de transferencia térmica utilizando una impresora láser. Es fundamental imprimir el diseño en espejo (invertido), ya que se transferirá al cobre en el proceso de planchado.

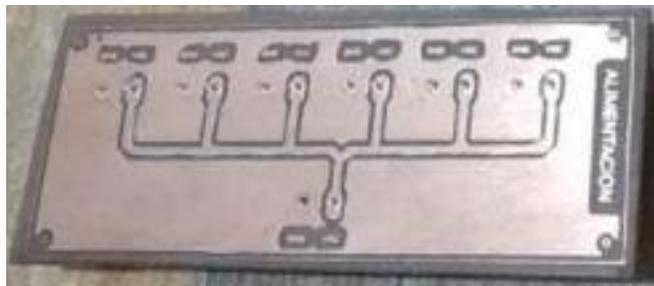
Ahora se debe cortar la placa de cobre a la medida deseada y lijar su superficie ligeramente

para que esté limpia y libre de óxido.

Para el proceso de planchado, se coloca el papel de transferencia térmica con el diseño impreso sobre la placa de cobre, con la tinta en contacto directo con el cobre. Luego, se aplica calor con una plancha de ropa caliente durante unos minutos para transferir el tóner del papel al cobre.

Después de aplicar calor, se sumerge la placa en agua caliente para eliminar el papel. Si es necesario, usamos un marcador permanente para corregir cualquier error en la transferencia.

Ahora se sumerge la placa en percloruro de hierro o ácido férrico mezclado con agua caliente para retirar el cobre no protegido por el tóner. Aquí se puede agitar la placa ocasionalmente para acelerar el proceso. Una vez lista la placa se enjuaga con agua.



Una vez lista la placa, se procede a la perforación de esta. Se utiliza un taladro con brocas de diferentes tamaños para perforar agujeros en la placa en los lugares donde se deben colocar los componentes electrónicos.

Se procede a colocar los componentes electrónicos en sus ubicaciones correspondientes en la placa. Luego utilizamos un soldador y estaño para soldar los componentes a las pistas de cobre.



En la siguiente imagen se muestra la vista superior de la placa con los componentes ya colocados.



Una vez que todos los componentes estén soldados, se puede realizar pruebas con un multímetro para asegurarse de que no haya cortocircuitos ni problemas de conexión. Además, es importante tomar precauciones de seguridad al manejar productos químicos y equipos de soldadura.

Anexo 7. Ficha técnica del microcontrolador Arduino nano



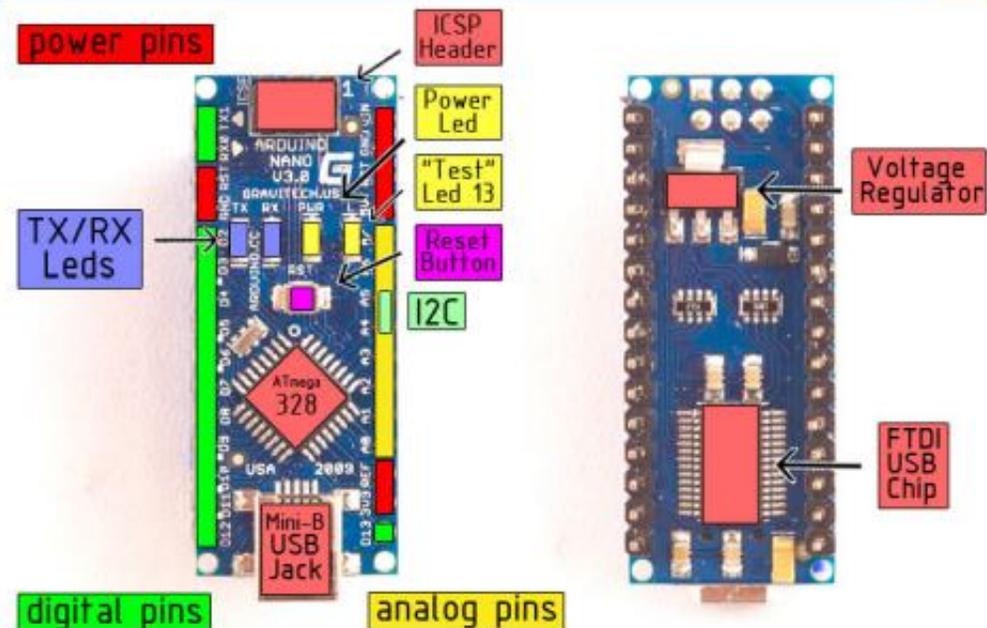
Arduino Nano 3.0 (ATmega328): [schematic](#), [Eagle files](#).

Arduino Nano 2.3 (ATmega168): [manual](#) (pdf), [Eagle files](#). Note: since the free version of Eagle does not handle more than 2 layers, and this version of the Nano is 4 layers, it is published here unrouted, so users can open and use it in the free version of Eagle.

Summary

Microcontroller	Atmel ATmega168 or ATmega328
Operating Voltage (logic level)	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	16 KB (ATmega168) or 32 KB (ATmega328) of which 2 KB used by bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) or 1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Dimensions	0.73" x 1.70"

the board



Anexo 8. Ficha técnica del Wemos D1 mini

LOLIN D1 mini



Una mini placa wifi con flash de 4MB basada en ESP-8266EX. [\[Cómpralo\]](#)

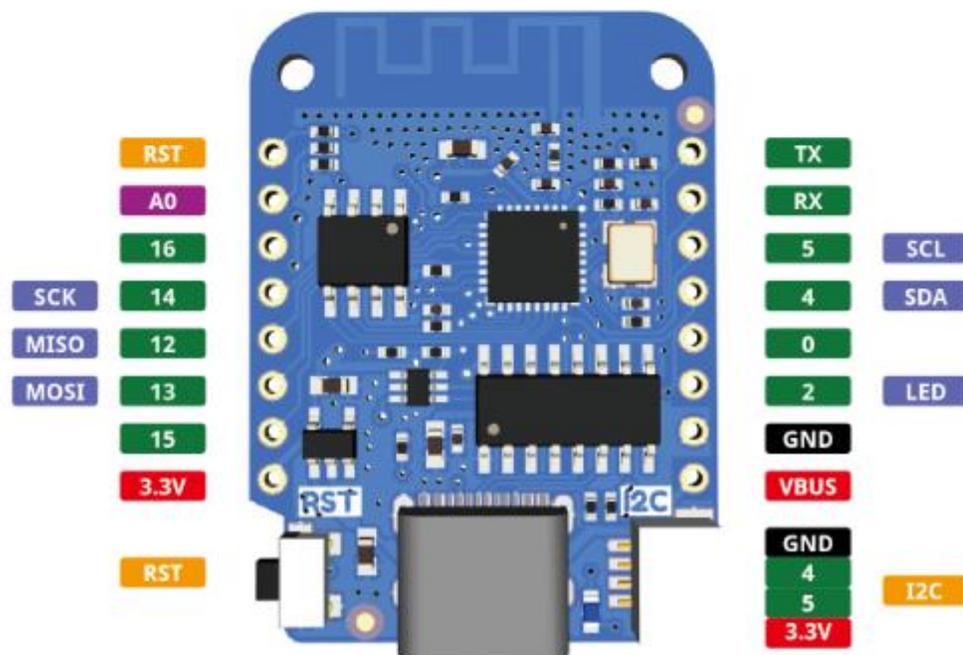
Características

- 11 E/S digitales, compatible con interrupción/pwm/I2C/un cable (excepto D0)
- 1 entrada analógica (entrada máxima de 3,2 V)
- Puerto USB tipo C
- Puerto LOLIN I2C
- Compatible con MicroPython, Arduino, nodemcu

Especificaciones técnicas

Tensión de funcionamiento	3,3 V
Pines de E/S digitales	11
Pines de entrada analógica	1 (3,2 V máx.)
Velocidad de reloj	80/160MHz
Destello	4 millones de bytes
Tamaño	34,2*25,6mm
Peso	3g

Alfiler



Anexo 9. Ficha técnica del sensor MQ4

HANWEI ELECTRONICS

MQ-4

www.hwsensor.com

TECHNICAL DATA**MQ-4 GAS SENSOR****FEATURES**

- * High sensitivity to CH₄, Natural gas.
- * Small sensitivity to alcohol, smoke.
- * Fast response . * Stable and long life * Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of CH₄, Natural gas. LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
P _L	Load resistance	20K Ω	
R _H	Heater resistance	33 Ω ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 750mw	

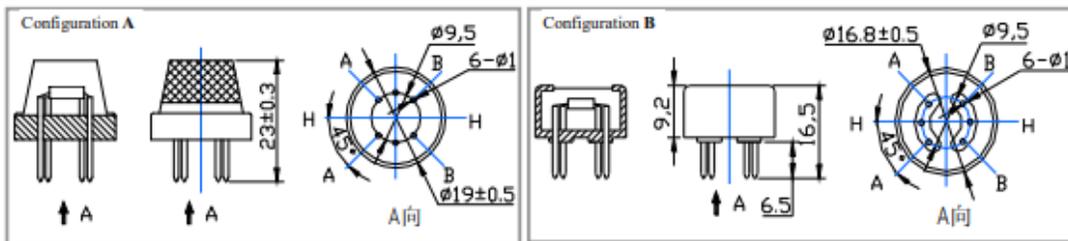
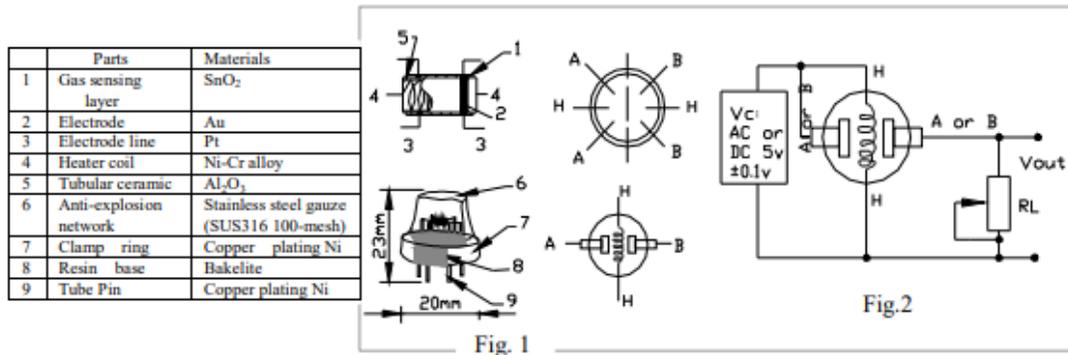
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10°C-50°C	
T _{as}	Storage Tem	-20°C-70°C	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (1000ppm CH ₄)	Detecting concentration scope: 200-10000ppm CH ₄ , natural gas
α (1000ppm/ 5000ppm CH ₄)	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20°C ± 2°C Humidity: 65% ± 5%	V _c : 5V ± 0.1 V _H : 5V ± 0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



TEL:86-371-67169080

FAX: 86-371-67169090

E-mail: sales@hwsensor.com

Structure and configuration of MQ-4 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

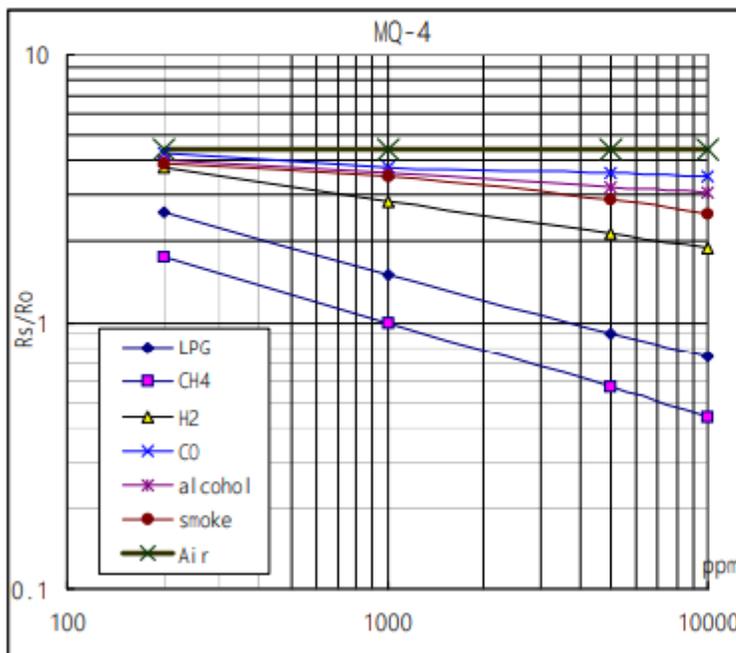


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-4

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4 for several gases.

in their: Temp: 20°C,
Humidity: 65%,
O₂ concentration 21%

RL=20k Ω
Ro: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in the clean air.
Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

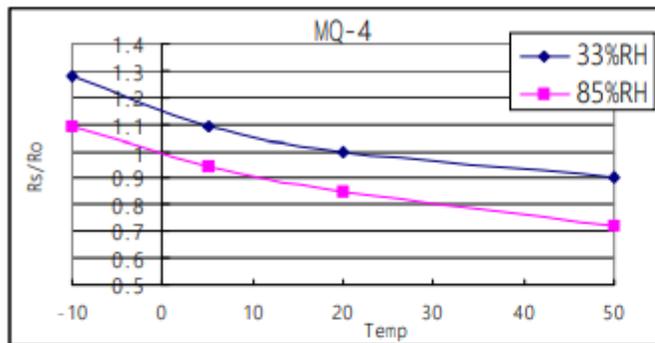


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-4 on temperature and humidity. Ro: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at 33%RH and 20 degree. Rs: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-4 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 5000ppm of CH₄ concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 20K Ω (10K Ω to 47K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

Anexo 10. Ficha técnica del sensor de temperatura DS18B20

DS18B20 Temperature Sensor **GAIMC**

GTS200



DESCRIPTION

The probe adopts the new original imported DS18B20 temperature sensor chip. Each pin of the chip is separated by heat-shrinkable tube to prevent short circuit, internal sealing, waterproof and moisture proof. The high quality stainless steel tube package is waterproof, moisture proof and rust proof. The DS18B20 digital temperature sensor from Dallas Semiconductor of the United States is encapsulated with a highly thermally conductive sealant to ensure high sensitivity of the temperature sensor and minimal temperature delay. The temperature sensor supports a "one-wire bus" interface (1-Wire) with a temperature range of -55°C to +125°C and an accuracy of $\pm 0.5^\circ\text{C}$ in the range of -10 to +85°C. The on-site temperature is directly transmitted in the digital way of "one-line bus", which greatly improves the anti-interference of the system. Suitable for on-site temperature measurement in harsh environments. The DS18B20 digital temperature sensor has a unique number, and the temperature acquisition device identifies the corresponding temperature sensor by number .

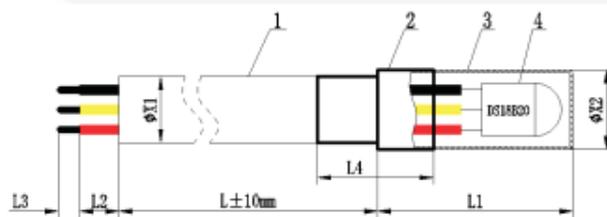
FEATURES

- Power supply range: 3.0V to 5.5V
- Operating temperature range: -55 ° C to + 125 ° C (-67 ° F to + 257 ° F)
- Storage temperature range: -55°C to + 125°C (-67F to + 257F)
- Accuracy in the range of -10 ° C to + 85 ° C: $\pm 0.5^\circ\text{C}$
- Waterproof stainless steel sheath
- Sheath size: 6 * 50mm or custom

APPLICATION

DS18B20 temperature sensor is mainly used in refrigerator temperature monitoring, pharmaceutical factory GMP monitoring system, telecommunication room monitoring, beer production, building automation, warehouse temperature monitoring, environmental monitoring, process temperature monitoring, air conditioning monitoring, incubation temperature control, aquaculture temperature measurement, greenhouse temperature monitoring.

DIMENSIONS



1	Cable length, wire diameter OD	PVC cable*3P	OD5.0mm
2	Heat shrinkable tube size	Heat shrinkable tube	OD6*30mm
3	Probe size	Stainless steel probe	OD6*30mm
4	DS18B20 sensor		Red VDD is the external power supply input The yellow DQ is a digital signal input / output terminal Black GND is the power ground

PARAMETERS

Digital chip	1DS18B20
Probe size	Φ 8mm, φ6mm (inside), length = 30mm or custom
Insulation Materials	Glass fiber, PVC, Teflon, silicone rubber or custom made
Wire material	FRP, PVC, Teflon, silicone rubber, stainless steel braided
Shell material	Stainless steel · nickel plated copper, brass, plastic
Wire Connector	UL Series(such as UL1007), Supply wire number, using temperature range, outside diameter and material requirements.
Special requirements	Molex, JST, DuPont, CWB, CJT, SM, TJC3, PH, EH, 5264, U-type etc.
Wiring	Waterproof, acid proof, antiseptic
	Black: GND Yellow: DATA Red: VDD+

ORDER INSTRUCTION

When you placing order, please inform us the following parameters:

1. Application and working environment (whether to be waterproof, acid or alkali and others)
2. Shell diameter D and length L (commonly size: 6 * 30mm, 6 * 50mm, other can be customized)?
3. How many lines of output? (Commonly used 2-wire/ 3-wire, choose one) ?
4. Wire material and length (commonly wire PVC, Silicone, Teflon wire)?
5. Temperature range (temperature range cannot exceed -50 to +125 °C)?
6. How to deal with the cable end (hanging tin or with connector)?

Anexo 11. Ficha técnica del sensor de pH

Característica:

Nombre del producto: Módulo sensor de adquisición del valor de PH (con compensación de temperatura)

1. Tensión de calentamiento: $5 \pm 0,2V$ (AC-DC)
2. Corriente de trabajo: 5-10 mA
3. Rango de concentración de detección: PH0-14
4. Rango de temperatura de detección: 0-80 °C
5. Tiempo de respuesta: $\leq 5S$
6. Tiempo de estabilización: $\leq 60S$
7. Consumo de energía de los componentes: $\leq 0,5 W$
8. Temperatura de trabajo: -10~50°C (temperatura nominal 20°C)
9. Humedad de trabajo: 95% RH (humedad nominal 65% RH)
10. Vida útil: 3 años
11. Tamaño: 42 mm × 32 mm × 20 mm
12. Peso: 25g
13. Modo de salida: salida de señal de voltaje analógico

Nota:

El disolvente tampón debe comprarse por separado (tenga en cuenta que no tenemos vent. Como:

Tampón de pH Valor de PH preparación de solución estándar 4/7/9

Reactivo tampón de PH 3*1/juego

Tampón PH 4/7/9

1. PH 4.003, 25 grados, ftalato ácido de potasio--- puede preparar una solución de 250ML
2. PH 6.864, 25 grados, fosfato mixto: puede preparar una solución de 250 ml
3. PH 9.182, 25 grados, ácido bórico --- puede preparar una solución de 250 ML

El paquete incluye:

(opcional)

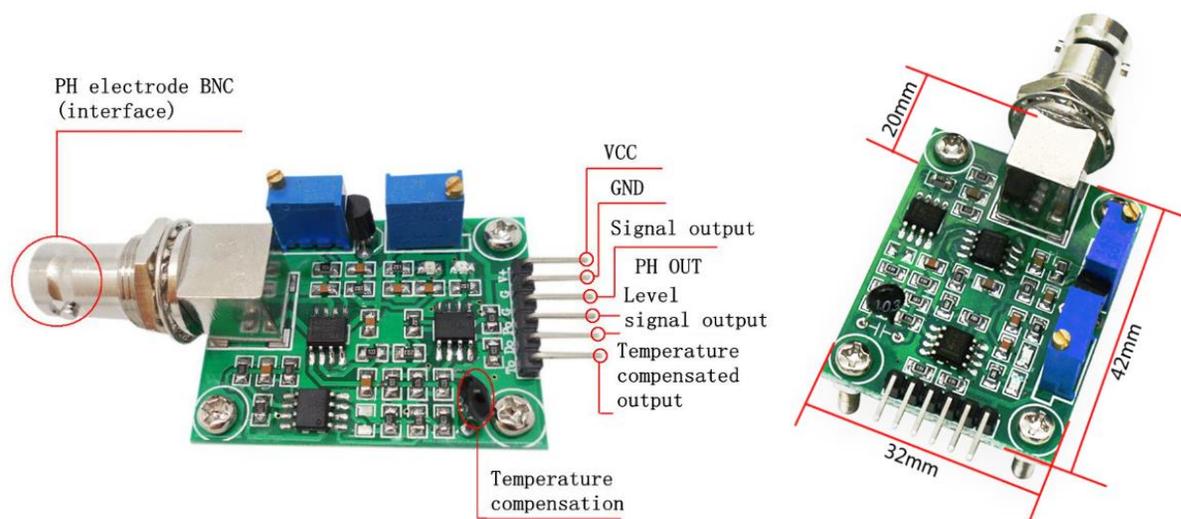
Sin sonda:

1 x módulo sensor de adquisición del valor de PH

Con sonda:

1 x módulo sensor de adquisición del valor de PH

1 x sonda de PH



Anexo 12. Ficha técnica del sensor de flujo



Features

- Compact, Easy to Install
- High Sealing Performance
- High Quality Hall Effect Sensor
- RoHS Compliant

Specifications

- Mini. Working Voltage: DC 4.5V
- Max. Working Current: 15mA (DC 5V)
- Working Voltage: DC 5V~24V
- Water resistant 0.35MPa
- Flow Rate Range: 1~ 5L/min
- Load Capacity: $\leq 10\text{mA}$ (DC 5V)
- Operating Temperature: $\leq 80^\circ\text{C}$
- Liquid Temperature: $\leq 120^\circ\text{C}$
- Operating Humidity: 35%~90%RH
- Water Pressure: $\leq 1.75\text{MPa}$
- Storage Temperature: $-25 \sim + 80^\circ\text{C}$
- Storage Humidity: 25%~95%RH
- Internal diameter: 1.2mm;
- Error: $\pm 2\text{L/min}$;
- Insulation resistance $> 100\text{M}\Omega$
- Output pulse duty cycle $50\% \pm 10\%$
- Output pulse high level $> \text{DC } 4.7\text{V}$ (input voltage DC 5V)
- Flow pulse characteristics $F = (98 * Q) \pm 2\% Q = L / \text{MIN}$

Other Features

- Light weight, small, easy to install;
- With stainless steel axis in the wheel, abrasion resistant;
- Sealing ring would never leak water;
- All material meets RoHS standard

Application

- Suitable for water heater, automatic water dispenser, coffee machine etc.

Caution

- Non-violent shocks and chemical erosion.
- Non-throwing or collision.
- Install it in vertical, inclination should not beyond 5 degree;
- Medium temperature should not exceed 120°C.
- Frequency: $F = 98 * Q$ (L / Min) Error: $\pm 2\%$, voltage :3.5-24VDC, current can not exceed 10mA,

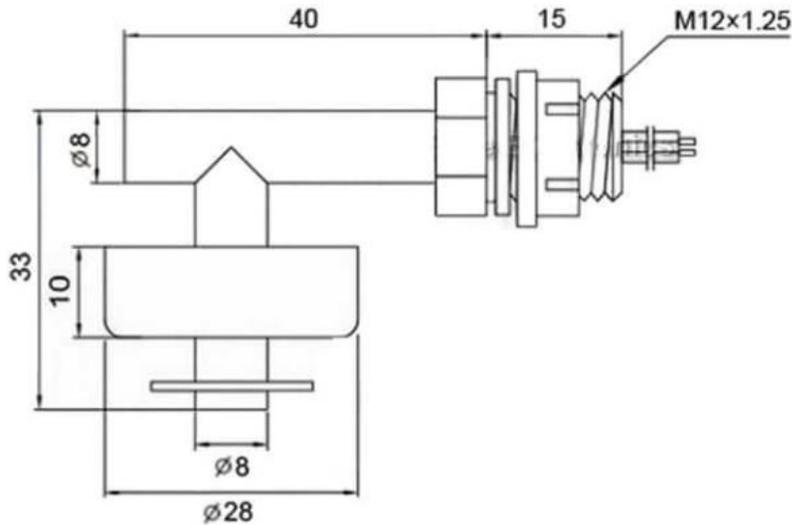
Connector Details

- Red : IN positive
- Yellow : OUT signal output
- Black : GND negative

Dimensions / Weight

- Dimensions : 2.28 in x 1.38 in x 1.06 in (5.8 cm x 3.5 cm x 2.7 cm)
- Weight : 0.88 oz (25 g)

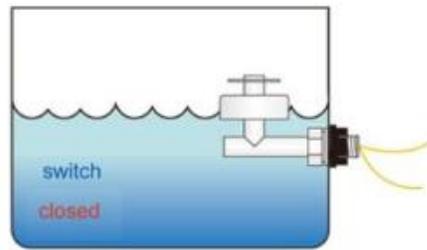
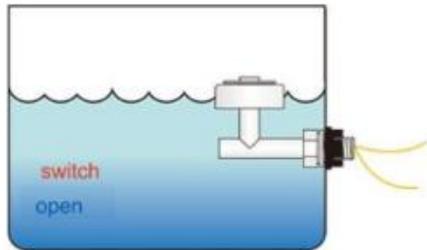
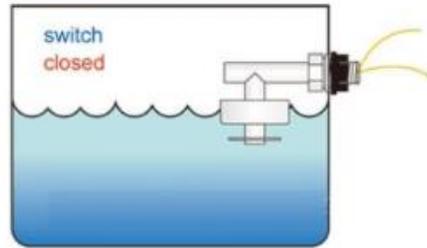
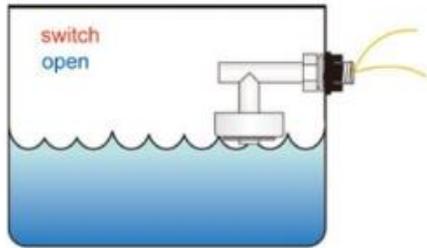
Anexo 13. Ficha técnica del sensor de nivel tipo flotador horizontal



ESPECIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

- Modelo: CS-CO058
- Material: Polímero y PP
- Potencia.: 10 Watts
- Voltaje: hasta 100v DC/AC
- Corriente de conmutación: hasta 0.5A
- Corriente de carga :hasta 1.0A
- Tensión de ruptura: hasta 220 V DC / AC
- Resistencia de aislamiento: > 10 MΩ
- Rango de temperatura: -10°C a 85 °C
- Cable: 30 cm
- Peso: 20g

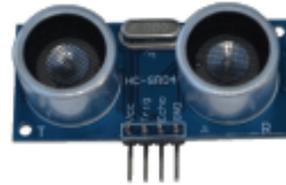
Diagrama de uso



Anexo 14. Ficha técnica del sensor ultrasónico HC-SR04

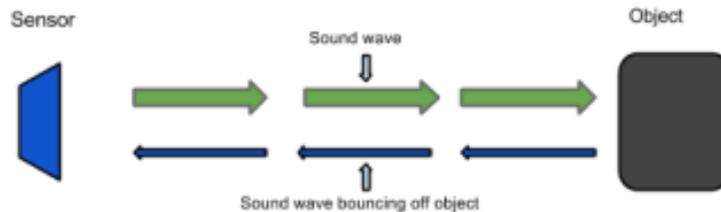
The purpose of this file is to explain how the HC-SR04 works. It will give a brief explanation of how ultrasonic sensors work in general. It will also explain how to wire the sensor up to a microcontroller and how to take/interpret readings. It will also discuss some sources of errors and bad readings.

1. How Ultrasonic Sensors Work
2. HC-SR04 Specifications
3. Timing chart, Pin explanations and Taking Distance Measurements
4. Wiring HC-SR04 with a microcontroller
5. Errors and Bad Readings



1. How Ultrasonic Sensors Work

Ultrasonic sensors use sound to determine the distance between the sensor and the closest object in its path. How do ultrasonic sensors do this? Ultrasonic sensors are essentially sound sensors, but they operate at a frequency above human hearing.



2. HC-SR04 Specifications

The sensor chosen for the Firefighting Drone Project was the HC-SR04. This section contains the specifications and why they are important to the sensor module. The sensor modules requirements are as follows.

- Cost
- Weight
- Community of hobbyists and support
- Accuracy of object detection
- Probability of working in a smoky environment
- Ease of use

The HC-SR04 Specifications are listed below. These specifications are from the Cytron Technologies HC-SR04 User's Manual (source 1).

- Power Supply: +5V DC
- Quiescent Current: <2mA
- Working current: 15mA
- Effectual Angle: <15°
- Ranging Distance: 2-400 cm
- Resolution: 0.3 cm
- Measuring Angle: 30°
- Trigger Input Pulse width: 10uS
- Dimension: 45mm x 20mm x 15mm
- Weight: approx. 10 g

3. Timing Chart and Pin Explanations

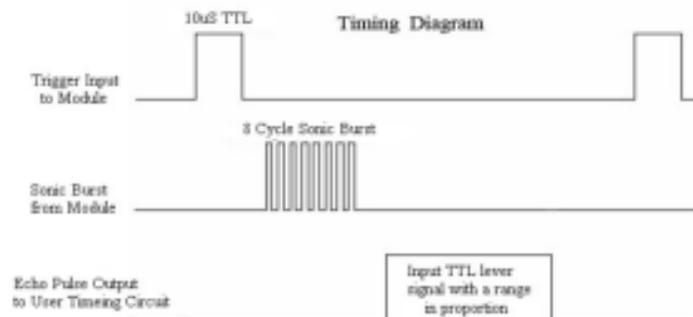
The HC-SR04 has four pins, VCC, GND, TRIG and ECHO; these pins all have different functions. The VCC and GND pins are the simplest -- they power the HC-SR04. These pins need to be attached to a +5 volt source and ground respectively. There is a single control pin: the TRIG pin. The TRIG pin is responsible for sending the ultrasonic burst. This pin should be set to HIGH for 10 μ s, at which point the HC-SR04 will send out an eight cycle sonic burst at 40 kHz. After a sonic burst has been sent the ECHO pin will go HIGH. The ECHO pin is the data pin -- it is used in taking distance measurements. After an ultrasonic burst is sent the pin will go HIGH, it will stay high until an ultrasonic burst is detected back, at which point it will go LOW.

Taking Distance Measurements

The HC-SR04 can be triggered to send out an ultrasonic burst by setting the TRIG pin to HIGH. Once the burst is sent the ECHO pin will automatically go HIGH. This pin will remain HIGH until the the burst hits the sensor again. You can calculate the distance to the object by keeping track of how long the ECHO pin stays HIGH. The time ECHO stays HIGH is the time the burst spent traveling. Using this measurement in equation 1 along with the speed of sound will yield the distance travelled. A summary of this is listed below, along with a visual representation in Figure 2.

1. Set TRIG to HIGH
2. Set a timer when ECHO goes to HIGH
3. Keep the timer running until ECHO goes to LOW
4. Save that time
5. Use equation 1 to determine the distance travelled

Figure 3
Source 2



Anexo 15. Ficha técnica de la bomba de agua

La **Mini Bomba de Agua Sumergible AD20P** fue creada especialmente para el desarrollo de proyectos de prototipado, incluyendo domótica (domótica) y prototipos robóticos basados en plataformas de microcontroladores, incluidos Arduino, ESP32 y Raspberry Pi. El principal diferencial de este modelo es la posibilidad de utilizarlo sumergido en agua, con total sellado de su sistema eléctrico, con un nivel de protección IP68, además de trabajar con voltaje de 12VDC.

Con un motor compacto, es capaz de impulsar entre 3,5l y 4 litros por minuto (máximo 240 litros/hora), destacando por su eficiencia y por ser un modelo anfibio, es decir, que se puede utilizar dentro o fuera del agua. .

El motor de la Mini Bomba de Agua Sumergible AD20P es sin escobillas, es decir, no posee escobillas internas para eliminar las interferencias electromagnéticas provocadas por la conmutación, además de tener mayor durabilidad y mayor velocidad, garantizando un mejor rendimiento.

Generalmente se aplica en el desarrollo de camiones o robots de bomberos, robots hidráulicos, aspersores automáticos en el caso de domótica, acuarios, en definitiva, tu creatividad que dará la aplicación final a este increíble accesorio. Por su reducido tamaño y bajo peso se puede utilizar en la gran mayoría de proyectos, permitiendo una elevación máxima de hasta 3 metros.

CARACTERÍSTICAS:

- Bomba de agua sumergible sin escobillas AD20P;
- Bomba de agua sumergida;
- Aumenta hasta 4 litros por minuto;
- Compatible con Arduino, Raspberry Pi y ESP32;
- Modelo similar QR30E;
- Indicado para proyectos de robótica;
- Rotor magnético sin escobillas;
- Libre de mantenimiento;
- Larga vida útil (más de 30.000 horas);
- Bajo consumo y bajo nivel de ruido;
- Estator y placa de circuito sellados;
- El eje está cerrado con junta estática;
- Diseño anfibio, capaz de trabajar en tierra o en agua;
- Alta capacidad;
- Viene con soporte de montaje.

ESPECIFICACIONES:

- Modelo: AD20P;
- Tensión nominal: DC12V;
- Potencia: 4,8W;
- Flujo estático: 2L/Min;
- Elevación estática: 3M;
- Diámetro de entrada: 8 mm;
- Diámetro de salida: 8 mm;
- Vida útil: +30000 horas;
- Ruido: ≤ 40 dB;
- Nivel de protección: IP68;
- Temperatura máxima del líquido: 60°C;
- Longitud del cable: 45 cm;
- Dimensiones (LxAxA1): 54x37x42mm;
- Peso: 72 g;



Anexo 16. Ficha técnica del motor agitador



Normas generales de seguridad

AREA DE TRABAJO

Mantener el área de trabajo limpia, con luz necesaria para no ocasionar daños a la herramienta o al operario.

No use la herramienta en caso de estar en presencia de sustancias tóxicas e inflamables, ya que suelen presentarse chispas que pueden provocar incendios.

Mientras opera con la herramienta mantener debe asegurarse que no existan personas que puedan intervenir y causar accidentes.

SEGURIDAD ELECTRICA

ADVERTENCIA

Asegúrese de conectar a fuentes de alimentación seguras

No utilice tomas a tierra para adaptar la fuente

Evite los puntos a tierras especialmente en lugares donde existe gran riesgo de descarga

No exponer a la herramienta a la lluvia, lugares húmedos

Evitar halar del cable suministro de energía ya que puede generar daños internos y ocasionar descarga eléctrica al momento de conectar.

El uso de un cable adecuado para exteriores disminuye el riesgo de choque eléctrico.

SEGURIDAD PERSONAL

Para el uso de la herramienta manténgase usando el equipo necesario de protección para evitar accidentes laborales.

Antes de conectar la herramienta a la fuente de energía asegúrese de que sea la necesaria, ya que un exceso de potencia puede dañar la herramienta.

Asegúrese de que la herramienta este apagada antes de encenderla.

USO Y CUIDADO

Use la herramienta correctamente, no fuerce a la herramienta en caso de atascamiento, apague y retire cuidadosamente.

Asegure el porta brocas y chequee su alineación, mantenga la herramienta fuera de lugares húmedos.

No altere o use de manera incorrecta la herramienta y use accesorio recomendado por el fabricante.

Mantenga fuera del alcance de los niños

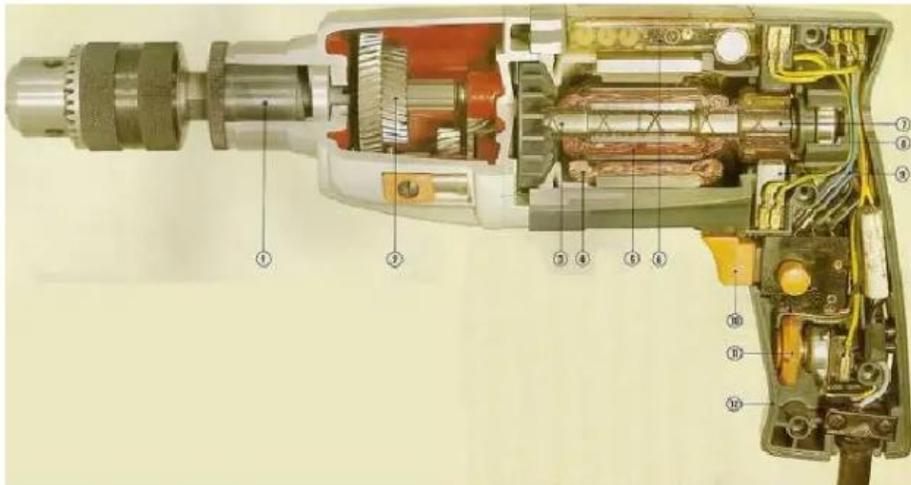
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tensión	120vA
Potencia	600w
Velocidad	1900rpm
Voltaje-Frecuencia	110v-60Hz
Dimensión de broca	13mm
Amperaje	5.0A

Parte Exterior



Parte Interior



1. Mecanismo de percusión
2. Mecanismo de perforación
3. Árbol motor del taladro.
4. Ventilador para refrigeración
5. Ventilador para refrigeración
6. Motor del taladro.
7. Colector del taladro
8. Cojinete
9. Escobillas del taladro
10. Gatillo interruptor del taladro
11. Regulador de rotación
12. Carcasa del taladro