



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO MODULAR DE
MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LA
ATMÓSFERA CON SISTEMA DE UBICACIÓN GPS**

Melvin Saúl Calel Otzoy

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, noviembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO MODULAR DE
MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LA
ATMÓSFERA CON SISTEMA DE UBICACIÓN GPS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MELVIN SAÚL CALEL OTZOY

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMÁN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Antonio de León Escobar
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO MODULAR DE MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LA ATMÓSFERA CON SISTEMA DE UBICACIÓN GPS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 5 de junio de 2017.



Melvin Saúl Cael Otzoy

Guatemala, 9 de septiembre de 2018

Ingeniero
Julio César Solares Peñate
Coordinador Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

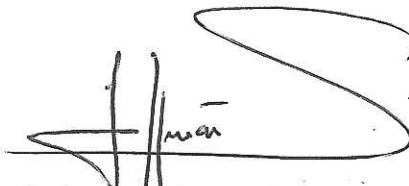
Estimado ingeniero Solares:

Por este medio hago de su conocimiento que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante **Melvin Saúl Calel Otoy**, titulado **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO MODULAR DE MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LA ATMÓSFERA CON SISTEMA DE UBICACIÓN GPS"**.

Indicándole que el mismo cumple con los propósitos y objetivos para los cuales fue concebido. Por lo que, doy mi **APROBACIÓN** al mismo. El estudiante Calel Otoy y el suscrito somos los únicos responsables por el contenido del trabajo en referencia.

Reciba un cordial saludo y quedo en la mejor disposición de resolver cualquier duda sobre el trabajo presentado.

Atentamente,



Carlos Guzmán Salazar

ASESOR

ROS GUZMAN SALAZAR
Ingeniero Electricista
Col. No. 2762



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 71. 2018.
26 DE SEPTIEMBRE 2018.

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.


Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO
MODULAR DE MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE
DIÓXIDO DE CARBONO EN LA ATMÓSFERA CON SISTEMA
DE UBICACIÓN GPS,** del estudiante; Melvin Saúl Calel
Otzoy, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS




Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica



REF. EIME 71. 2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: MELVIN SAÚL CALEL OTZOY titulado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO MODULAR DE MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LA ATMÓSFERA CON SISTEMA DE UBICACIÓN GPS, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andriano González



GUATEMALA, 10 DE OCTUBRE 2018.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

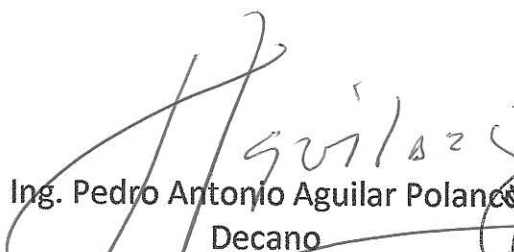


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 506.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO MODULAR DE MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LA ATMÓSFERA CON SISTEMA DE UBICACIÓN GPS”** presentado por el estudiante universitario: **Melvin Saúl Calel Otzoy** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala noviembre de 2018.

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Efraín Calel y Ester Otzoy, por su amor incondicional y por dedicar su vida a trabajar por la superación de mí y de mis hermanos. Por haberme inculcado la búsqueda de la excelencia en todo aspecto de la vida e impulsarme en el desarrollo de las artes. Todo lo que he alcanzado y alcanzaré se debe a ustedes.

Mis hermanos

Alan Calel, Lesly Calel, Gerson Calel y Marvin Calel, por estar conmigo en cada momento de mi vida, por amarme y perdonar mis errores. Ustedes son los protagonistas de los recuerdos más hermosos de mi vida.

Mis amigos

Por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida y por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme las herramientas para desarrollarme en mi carrera profesional e influir en mí la conciencia social y el pensamiento crítico.
Departamento de Matemática	Por darme la oportunidad de laborar y crecer profesionalmente al lado de profesionales catedráticos y auxiliares de quienes aprendí y sigo aprendiendo.
Departamento de Física	Por darme la oportunidad de laborar y desarrollarme en el ejercicio de la docencia.
Alan Calel	Por creer en mí siempre y apoyarme cada vez que lo necesité.
Ing. Carlos Guzmán	Por brindarme sus conocimientos y asesoramiento en este trabajo de graduación.
Mis amigos y compañeros de la universidad	Por darme su apoyo durante toda la carrera, por trabajar día y noche junto a mí en los proyectos de electrónica, gracias a ustedes fue posible concluir la carrera.

**Mis amigos auxiliares de
cátedra**

Por brindarme su amistad y apoyarme en todo momento, todas las experiencias que vivimos nos unieron en una amistad que durará por siempre. Esta etapa siempre será una de las mejores de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. DIÓXIDO DE CARBONO EN LA ATMÓSFERA.....	1
1.1. Gases de efecto invernadero.....	1
1.2. Dióxido de carbono.....	2
1.2.1. Descripción general	2
1.2.2. Unidades de medición	3
1.2.2.1. Partes por millón.....	3
1.2.2.2. Porcentaje de concentración	3
1.2.3. Fuentes de emisión	3
1.2.3.1. Fuentes naturales	4
1.2.3.2. Fuentes no naturales	4
1.2.4. Dióxido de carbono como contaminante.....	4
1.2.5. Efectos en la salud	7
1.2.5.1. Toxicidad	7
1.2.5.2. Límites de exposición	7
1.2.5.3. Efectos nocivos.....	8
2. TEORÍA DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS DEL PROTOTIPO	11

2.1.	Sensor de gas	11
2.1.1.	Sensores electroquímicos	11
2.1.2.	Sensores por semiconductor.....	12
2.1.3.	Sensores de conductividad térmica.....	13
2.1.4.	Sensores catalíticos	14
2.1.5.	Sensores NDIR	15
2.2.	Receptor GPS	16
2.2.1.	Principio de operación.....	17
2.2.2.	Señal GPS.....	19
2.3.	Microcontrolador	19
2.3.1.	Programación del microcontrolador.....	20
2.3.1.1.	Lenguaje ensamblador.....	21
2.3.1.2.	Lenguaje de alto nivel	22
2.4.	Protocolos de comunicación serial.....	23
2.4.1.	Comunicación paralela.....	23
2.4.2.	Comunicación serial	24
2.4.2.1.	Comunicación serial síncrona	25
2.4.2.2.	Comunicación serial asíncrona	25
2.4.2.2.1.	Bits de datos	26
2.4.2.2.2.	Bits de sincronización ...	26
2.4.2.2.3.	Bits de paridad	27
2.4.2.2.4.	Tasa de baudios.....	27
2.4.3.	Protocolos de comunicación serial más utilizados ..	28
2.4.3.1.	Protocolo UART	28
2.4.3.2.	Protocolo USB.....	29
2.4.3.3.	Protocolo I ² C	30
2.4.3.4.	Protocolo SPI	31
2.5.	Comunicación por radiofrecuencias	32
2.5.1.	Espectro electromagnético	34

2.5.2.	Modulación	35
2.5.2.1.	Técnicas de modulación	35
2.6.	Pantalla LCD	36
3.	MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	37
3.1.	Descripción del módulo	37
3.2.	Sensor MQ135	38
3.2.1.	Medición de la concentración de CO ₂	40
3.3.	Receptor GY-GPS6MV2.....	43
3.4.	Módulo NFR24L01	46
3.5.	Microcontrolador y diseño electrónico	48
3.5.1.	Diagramas esquemáticos	49
3.5.2.	Componentes y presupuesto	51
4.	MÓDULO DE CONTROL	53
4.1.	Descripción del módulo	53
4.2.	Módulo NFR24L01	54
4.3.	Pantalla LCD	54
4.4.	Teclado.....	56
4.5.	Conexión al ordenador	57
4.6.	Microcontrolador y diseño electrónico	60
4.6.1.	Diagramas esquemáticos	62
4.6.2.	Componentes y presupuesto	64
5.	DISEÑO FINAL Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO MODULAR.....	67
5.1.	Montaje final	67
5.2.	Recepción de datos.....	69
5.2.1.	Bancos de memoria.....	70

5.3. Lugares documentados.....	71
CONCLUSIONES.....	77
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA.....	81
APÉNDICES.....	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Abundancia de CO ₂ a lo largo de los años	6
2.	Influencia de los principales gases de efecto invernadero	6
3.	Composición de un sensor electroquímico.....	12
4.	Configuración de sensor por semiconductor	13
5.	Diagrama eléctrico de un sensor de conductividad térmica	14
6.	Principio de medición de un sensor catalítico	15
7.	Diagrama esquemático de un sensor de gas NDIR	16
8.	Posicionamiento GPS	18
9.	Diagrama de un microcontrolador	20
10.	Programas en C y ASM que realizan la misma función	22
11.	Interfaz paralela	24
12.	Interfaz serial.....	24
13.	Paquete de datos	26
14.	Trama de datos seriales.....	27
15.	Interfaz serial simple	28
16.	Pines de conector USB	29
17.	Esquema de comunicación I ² C	30
18.	Esquema de comunicación SPI	31
19.	Parámetros de onda electromagnética	32
20.	Onda electromagnética en el espacio vacío.....	33
21.	Transmisión por radiofrecuencias	33
22.	Espectro electromagnético.....	34
23.	Modulación AM y FM.....	35

24.	Pantalla LCD de 16 x 2	36
25.	Diagrama de bloques del módulo de adquisición de datos	38
26.	Sensor MQ135.....	39
27.	Características sensitivas del sensor MQ135	40
28.	Estructura y configuración del sensor MQ135	41
29.	Diagrama de bloques NEO 6M	43
30.	Módulo GY-GPS6MV2.....	44
31.	Módulo NFR24L01	46
32.	Módulo NFR24L01 con antena	47
33.	Diagrama del microcontrolador ATMEGA328 (Arduino Nano).....	48
34.	Diagrama esquemático, conexión del módulo inalámbrico	49
35.	Diagrama esquemático, conexión del sensor GPS.....	50
36.	Diagrama esquemático, conexión del sensor MQ135	51
37.	Diagrama de bloques del módulo de control.....	54
38.	Pantalla LCD1604 azul	55
39.	Módulo I2C PCF8574.....	55
40.	Pantalla de inicio software GooPs	57
41.	Menú de configuraciones, software GooPs	58
42.	Enlace entre GooPs y Google Earth Pro	60
43.	Diagrama del microcontrolador ATMEGA2560	61
44.	Diagrama esquemático, conexión de la pantalla LCD	62
45.	Diagrama esquemático, conexión del módulo inalámbrico	63
46.	Diagrama esquemático, conexión del teclado de funciones	64
47.	Módulo de adquisición de datos, vista lateral	67
48.	Módulo de adquisición de datos, vista frontal	68
49.	Módulo de adquisición de datos	68
50.	Módulo de control, datos adquiridos	69
51.	Ubicación adquirida, módulo de adquisición de datos	69
52.	Módulo de control, banco de memoria 2.....	70

53.	Módulo de control, banco de memoria 7	71
54.	Localidad 1, Plaza de los Mártires, Universidad de San Carlos	72
55.	Localidad 2, paso peatonal, Universidad de San Carlos	73
56.	Localidad 3, parqueo Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos	74
57.	Localidad 4, afueras de Comalapa, Chimaltenango.....	75
58.	Localidad 5, área poblada, Comalapa, Chimaltenango.....	76

TABLAS

I.	Efectos en la salud a diferentes niveles de exposición y duración a CO ₂	8
II.	Especificaciones del sensor MQ135	39
III.	Especificaciones del módulo GY-NEO6MV2.....	44
IV.	Especificaciones del módulo NFR24L01	47
V.	Componentes del módulo de adquisición de datos	51
VI.	Teclado de funciones	56
VII.	Componentes del módulo de control.....	64
VIII.	Localidad 1, datos obtenidos.....	72
IX.	Localidad 2, datos obtenidos.....	73
X.	Localidad 3, datos obtenidos.....	74
XI.	Localidad 4, datos obtenidos.....	75
XII.	Localidad 5, datos obtenidos.....	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
B	Campo magnético
bps	Bits por segundo
CO₂	Dióxido de carbono
c	Velocidad de la luz
dB	Decibelio
E	Campo eléctrico
f	Frecuencia
Gbps	Gigabits por segundo
GHz	Gigahertz
Hz	Hertz
kΩ	kilo-ohmio
kHz	Kilohertz
λ	Longitud de onda
mHz	Megahertz
mW	Miliwatt
nm	Nanómetro
O₂	Oxígeno
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
Ω	Ohmio
m	Metro
mA	Miliamperio

Mbps	Megabits por segundo
nm	Nanómetro
pH	Potencial de hidrógeno
T	Período
V	Voltio

GLOSARIO

Adsorción	Proceso mediante el cual las partículas de un gas o líquido quedan confinadas en la superficie porosa de un sólido
Analógico	Sistema que emplea señales en tiempo continuo.
Átomo	Elemento más pequeño de un sistema químico.
Atmósfera	Capa de gas que rodea un cuerpo celeste.
Baudio	Unidad de medida utilizada en comunicaciones, representa el número de símbolos por segundo, enviados en un medio de comunicación.
Capacitor	Elemento eléctrico que almacena energía sustentando un campo eléctrico.
Catalítico	Elemento que actúa como acelerador de una reacción química.
Circuito	Arreglo de componentes electrónicos que forma una trayectoria cerrada.
Corriente	Flujo de cargas eléctricas a través de un medio.

Digital	Sistema que emplea señales en tiempo discreto.
Electrodo	Conductor eléctrico designado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito.
Electrolítico	Sustancia con iones libres la cual se comporta como un conductor eléctrico.
Enlace covalente	Unión de átomos que comparten sus electrones de valencia.
Oxidación	Proceso químico que implica la pérdida de electrones en una molécula, átomo o ion.
Periférico	Dispositivo auxiliar e independiente conectado a la unidad central de procesamiento.
Puente de Wheatstone	Circuito eléctrico utilizado para la medición de resistencias.
Radiación	Emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas.
Radiofrecuencia	Porción menos energética del espectro electromagnético, se utiliza en comunicaciones.
Resistencia	Elemento de un circuito eléctrico, que se opone al flujo de electrones a través de este.

RX	Receptor.
Semiconductor	Material aislante que en ciertas circunstancias se comporta como un material conductor.
Software	Equipamiento lógico de un sistema informático.
Tóxico	Capacidad de una sustancia química de producir efectos perjudiciales en un ser vivo.
TX	Transmisor.
Voltaje	Tecla que se presiona para separar concepto de significado.

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla el diseño y se documenta la implementación de un dispositivo modular de medición de dióxido de carbono en la atmósfera. En los 5 capítulos que componen el documento se plantean los aspectos considerados en el desarrollo de los módulos electrónicos y las pruebas realizadas al dispositivo implementado.

En el capítulo 1 se describe el efecto invernadero y el dióxido de carbono como principal causante de este, se consideran las fuentes de emisión del mismo y su abundancia a lo largo de los años. Se establecen los límites de exposición a dióxido de carbono en los humanos con relación al nivel de este gas medido en la atmósfera en partes por millón.

En el capítulo 2 se expone la teoría del funcionamiento de los dispositivos electrónicos utilizados en el desarrollo del sistema. Se analiza de forma general el funcionamiento de sensores de gas, posicionamiento en coordenadas GPS, comunicación por radiofrecuencias y protocolos de comunicación serial. Se introduce el concepto de microcontrolador y las tareas que pueden realizarse con este dispositivo.

El capítulo 3 contiene la teoría y las consideraciones de diseño electrónico aplicadas al desarrollo del módulo de adquisición de datos del dispositivo modular, para cada componente utilizado y el microcontrolador. Se exponen los diagramas eléctricos utilizados para conectar cada componente del módulo. Se detalla el costo estimado para la realización del módulo.

El capítulo 4 posee la misma estructura del capítulo 3, en este se expone el diseño del módulo de control del dispositivo modular.

El capítulo 5 documenta la implementación del dispositivo modular, aplicado al muestreo de concentración de dióxido de carbono en la atmósfera en cinco localidades. Se detallan los datos de concentración de dióxido de carbono, altitud y coordenadas GPS para cada localidad. Se documenta el funcionamiento de los dos módulos del dispositivo desarrollado.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un dispositivo modular para la medición de dióxido de carbono en la atmósfera, con sistema de ubicación GPS.

Específicos

1. Describir la relación de la abundancia de dióxido de carbono en la atmósfera y sus efectos en la salud en humanos.
2. Presentar la teoría de los componentes electrónicos utilizados en el dispositivo.
3. Diseñar los módulos de adquisición de datos y de control para la construcción del dispositivo.
4. Realizar el enlace del dispositivo a una computadora para visualizar la posición del módulo de control en un programa informático de mapas.
5. Documentar las pruebas realizadas con el dispositivo en distintas localidades.

INTRODUCCIÓN

Es importante conocer los niveles de concentración de dióxido de carbono (el más abundante después del oxígeno) en la atmósfera, porque es el causante principal del efecto invernadero en la Tierra. Este determina las condiciones de calidad del aire a las que están expuestas las personas en un área específica, las cuales influyen en la calidad de vida de los humanos y otros organismos vivos presentes.

Determinar las concentraciones de dióxido de carbono, periódicamente, en determinada localidad ayuda a identificar las fuentes que lo emiten y las soluciones posibles para mejorar la calidad del aire en ese lugar. Las concentraciones de dióxido de carbono por países y regiones grandes se pueden conocer mediante distintas fuentes en internet, sin embargo, no son datos inmediatos y no se conocen los valores de concentración para regiones pequeñas específicas.

Para identificar la concentración de dióxido de carbono en una región pequeña se plantea en este documento, el desarrollo de un dispositivo modular con un módulo de adquisición de datos y uno de control. El primero, de tamaño reducido, portable y con capacidad de establecer su posición en coordenadas GPS; el segundo, muestra los datos de concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, altitud y coordenadas GPS del lugar donde se localice el módulo de adquisición de datos. Ambos módulos con sistema de comunicación bidireccional por radiofrecuencias, con alcance de hasta 500 metros.

Además, se realiza un enlace del dispositivo con una computadora, para marcar visualmente la región donde se realizan las mediciones en un programa informático de mapas.

1. DIÓXIDO DE CARBONO EN LA ATMÓSFERA

El dióxido de carbono es un gas presente en la atmósfera de forma natural, el desbalance de su concentración y la de otros gases de efecto invernadero presenta efectos nocivos sobre los organismos que respiran el aire en el entorno.

1.1. Gases de efecto invernadero

Una parte de la energía calorífica de la superficie de la Tierra escapa al espacio, si la magnitud de esta energía que escapa fuera muy grande, la Tierra sería demasiado fría. Sin embargo, algunos gases en la atmósfera pueden atrapar esta energía que escapa, provocando que esta retorne a la superficie terrestre, manteniendo el planeta cálido. Esto se llama efecto invernadero y se debe a los gases de efecto invernadero.

El dióxido de carbono es el más importante de los gases de efecto invernadero, por su concentración en la atmósfera. Proviene de las emisiones de organismos vivos que respiran el aire y a las actividades humanas que requieren la utilización de combustibles fósiles. El metano se produce en pantanos y en la ganadería. El óxido nitroso se emite a la atmósfera de forma natural, en los océanos, en la quema de biomasa y en el uso de fertilizantes. Los clorofluorocarbonos se usan en refrigerantes y aerosoles. El dióxido de sulfuro es un componente de la niebla tóxica, causa la lluvia ácida y los halocarbonos, estos considerados como gases de efecto invernadero menores.

1.2. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es el principal gas de efecto invernadero debido a su concentración y a sus diversas fuentes de emisiones, principalmente por la actividad industrial y la quema de combustibles fósiles.

1.2.1. Descripción general

Es un gas incoloro, de fórmula química CO_2 , compuesto de un átomo de carbono unido con enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno, presente en la atmósfera de forma natural e importante para la vida, utilizado por organismos fotosintéticos en un proceso llamado fijación del dióxido de carbono y en el proceso de respiración de animales y humanos. El dióxido de carbono protege el nivel pH de la sangre.

Durante la fotosíntesis, algas, plantas y cianobacterias sintetizan carbohidratos utilizando energía solar a partir de CO_2 , liberando oxígeno diatómico en el proceso (O_2), el CO_2 regresa a las aguas por la respiración de los peces mediante branquias y al aire por la respiración de animales terrestres y humanos.

El dióxido de carbono absorbe y emite radiación atmosférica, debido al aumento de su concentración desde el inicio del siglo XX. Es el principal gas de efecto invernadero a causa de su concentración debido a numerosas fuentes de emisión y a su larga vida atmosférica, éste permanece aproximadamente 100 años en la atmósfera antes de ser procesado naturalmente.

1.2.2. Unidades de medición

Cuando se miden gases como el dióxido de carbono, metano y oxígeno, el término concentración se utiliza para describir la cantidad de gas por volumen en el aire. Las dos unidades de medida más utilizadas son: partes por millón (ppm) y porcentaje de concentración.

1.2.2.1. Partes por millón

Abreviado como “ppm”, es la proporción de un gas a otro, por ejemplo, 1000ppm de CO₂ representa 1000 moléculas de CO₂ y 999000 moléculas de otro gas en el millón de moléculas presentes.

1.2.2.2. Porcentaje de concentración

Cuando se empieza a contar sobre 10000 ppm, la unidad de medición pasa a ser el porcentaje de concentración, en este caso 1000ppm de CO₂ equivale a 1 % de CO₂ ($10000/1000000 = 0.1$). En otras palabras, 1 ppm=0.1 % de gas.

1.2.3. Fuentes de emisión

El balance de CO₂ en la atmósfera era regulado antes de la era industrial por los organismos fotosintéticos y fenómenos geológicos, la industrialización introdujo fuentes no naturales de CO₂ en la atmósfera, causan el desbalance actual. Las fuentes de emisión pueden catalogarse en naturales y no naturales.

1.2.3.1. Fuentes naturales

Entre las fuentes principales se pueden enlistar:

- Proceso de respiración de organismos aeróbicos
- Descomposición de las plantas
- Erupciones volcánicas
- Aguas termales
- Géiseres
- Rocas carbonatadas al diluirse en agua y ácidos
- Yacimientos de petróleo y gas natural

1.2.3.2. Fuentes no naturales

Principalmente, se originan del procesamiento de combustibles fósiles como petróleo, gas natural y carbón, algunas actividades que emplean este tipo de combustibles son:

- Procesos industriales y manufactureros
- Transporte que utiliza derivados del petróleo
- Minería

1.2.4. Dióxido de carbono como contaminante

La concentración de gases de efecto invernadero en el aire es un indicador de la calidad de este. El calentamiento global debido al aumento de dicha concentración se produce por el forzamiento radiactivo, que es el balance entre la radiación que entra a la atmósfera y la radiación que escapa al espacio.

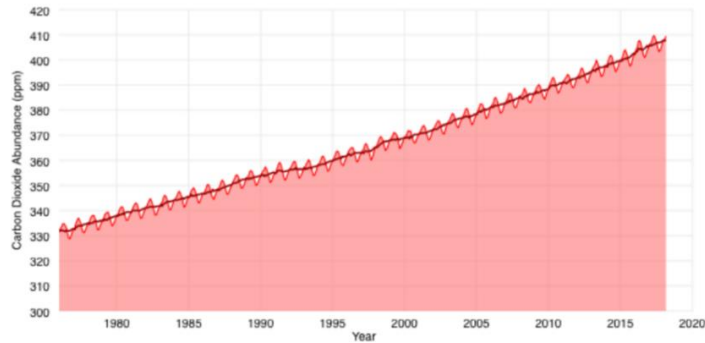
Se enlistan los principales gases de efecto invernadero y su contribución al forzamiento radiactivo.

- Dióxido de carbono, su contribución representa un 63.5 % del forzamiento radiactivo global, con una concentración máxima de 550 ppm.
- Metano, su contribución representa un 18.1 % del forzamiento radiactivo global, con una concentración máxima de 1800 ppm.
- Óxido nitroso, su contribución representa un 6.24 % del forzamiento radiactivo global, con una concentración máxima de 320 ppm.
- Otros gases de efecto invernadero, representan un 12 % del forzamiento radiactivo global.

El objeto de estudio, relacionado con los cambios climáticos y calidad del aire es el dióxido de carbono. Es el principal de los gases de efecto invernadero debido a su concentración, larga vida atmosférica, potencial global de calentamiento y a sus numerosas fuentes de emisión.

Se muestra el aumento de la concentración de CO₂ a lo largo de los años en la atmósfera.

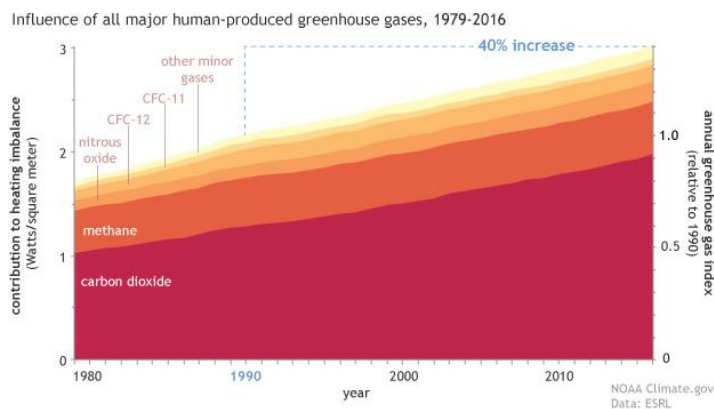
Figura 1. **Abundancia de CO₂ a lo largo de los años**



Fuente: Carbon Dioxide Abundance. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>. Consulta: 18 de abril de 2018.

El siguiente gráfico muestra la incidencia de los principales gases de efecto invernadero en el desbalance térmico atmosférico, causante del calentamiento global.

Figura 2. **Influencia de los principales gases de efecto invernadero**



Fuente: Influence of all major human-produced greenhouse gases. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>. Consulta: 18 de abril de 2016.

El dióxido de carbono absorbe menos energía calorífica que otros gases de efecto invernadero, pero su incidencia en el calentamiento global, como se observa en la figura 2 es la más importante debido a su abundancia respecto a los otros gases.

1.2.5. Efectos en la salud

La evaluación de los efectos nocivos se basa en la exposición a diferentes dosis de CO₂ en ambientes exteriores e interiores, con lo cual se determina si la exposición es peligrosa o puede ser tolerada. En la mayoría de los casos, debido a la compensación metabólica, los efectos de la exposición a este gas son reversibles.

1.2.5.1. Toxicidad

Los niveles, en los cuales la exposición al CO₂, se consideran tóxicos están por encima de los 50000 ppm. Estos niveles no se encuentran en la atmósfera de forma natural, excepto en erupciones volcánicas y géiseres. A esos niveles de exposición se considera el riesgo de muerte por intoxicación.

En niveles menores a 50000 ppm de exposición a CO₂ los efectos en la salud se consideran como complicaciones físicas.

1.2.5.2. Límites de exposición

La exposición a CO₂ es regulada por diferentes propósitos, pero no como una sustancia tóxica, se enlistan algunas regulaciones respecto a la exposición a CO₂ en ambientes interiores y exteriores.

- Límite de exposición por U.S. EPA, recomienda una máxima concentración de CO₂ de 1000 ppm, para una continua exposición.
- Estándar 62-1989 ASHRAE recomienda exposiciones continuas en interiores a CO₂ de un máximo de 1000 ppm.
- NIOSH, límite de exposición para CO₂, recomienda un máximo de exposición, de 10 horas de duración como máximo, a 10000 ppm de CO₂.
- Límite de exposición OSHA a CO₂ recomienda un máximo de 5000 ppm en ambientes interiores.

En ambientes interiores los niveles pueden superar las 10000 ppm de CO₂ dependiendo de los factores contaminantes del aire, en exteriores es difícil encontrar este nivel de contaminación, sin embargo, esto depende de la naturaleza contaminante del lugar, es decir, las fuentes contaminantes continuas y la presencia de vegetación que actúa como purificador del aire.

1.2.5.3. Efectos nocivos

La tabla a continuación resume los efectos en la salud y peligros que producen los diferentes niveles y duración de exposición a CO₂ en una persona.

Tabla I. **Efectos en la salud a diferentes niveles de exposición y duración a CO₂**

Concentración de CO ₂ en el aire	Duración de la exposición	Efectos en la salud
300-500 ppm		Ninguno, concentración típica en ambientes exteriores.
600 ppm		Ninguno, concentración típica en ambientes exteriores, nivel aceptable de CO ₂ .
700 ppm		Ninguno, concentración normal en interiores con actividad humana.

Continuación de la tabla I.

600-1000 ppm		Valor atípico relacionado a las emisiones de CO ₂ de humanos, puede resultar incómodo para algunas personas.
1000 ppm		Estándar OSHA para el límite de exposición aceptado.
1000-5000 ppm		Complicaciones generales de somnolencia
20000 ppm		En exposiciones cortas, no se reporta ningún riesgo o síntoma.
20000-30000 ppm		La persona es consciente de calidad pobre del aire, esto puede causar pesadez y bostezos frecuentes.
30000 ppm	Algunas horas	Acidosis mínima, incremento en la frecuencia de respiración.
30000 ppm	15 horas	Disminución en la visión nocturna y la sensibilidad al color.
33000-54000 ppm	15 minutos	Incremento en la profundidad de la respiración. La frecuencia de respiración aumenta 4 veces.
75000 ppm	15 minutos	Inhabilidad para respirar, incremento en el ritmo cardíaco, dolor de cabeza, mareos, sudor, agitación, desorientación y distorsión visual.
65000-75000 ppm	20 minutos	Disminución de la capacidad mental.
65000-75000 ppm	70 minutos	Irritabilidad e incomodidad.
100000 ppm	1 minuto	Parpadeo de ojos, excitación, incremento de la actividad muscular y actividad.
Más de 10000 ppm	1 minuto	Dificultad para respirar, reducción de la audición, náuseas, vómitos, sensación de estrangulación, transpiración, estupor y pérdida de la conciencia.
Más de 20000 ppm	1 minuto o menos	Riesgo de muerte.
30000 ppm	20 a 30 segundos	Afecta directamente el corazón, convulsiones, pérdida de la conciencia, riesgo de muerte.
Más de 30000 ppm		Daño a la retina, sensibilidad a la luz, movimientos anormales en los ojos, estrechamiento del campo visual, riesgo de muerte.

Fuente: elaboración propia.

Debe considerarse que los efectos del CO₂ en la salud se tornan más pronunciados si hay esfuerzo físico, una concentración elevada de CO₂ puede desplazar oxígeno en el aire, lo que resulta en bajas concentraciones de oxígeno para respirar, lo cual también aumenta la incidencia de efectos en la salud por la respiración de CO₂ en concentraciones elevadas.

2. TEORÍA DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS DEL PROTOTIPO

A continuación, se explica la teoría fundamental de los componentes electrónicos utilizados en la implementación de los módulos del prototipo.

2.1. Sensor de gas

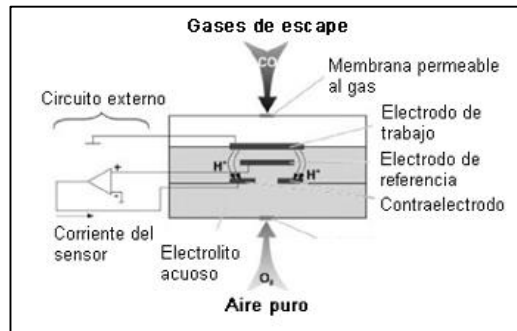
Un sensor de gas es un elemento que sufre una alteración física o química al ser expuesto a un gas. el sensor traduce esa alteración en una señal que es transmitida, mostrada o utilizada para operar alarmas o controles. Se basan en las propiedades características de los gases, como la conductividad térmica, el paramagnetismo del gas y el coeficiente de absorción infrarroja.

2.1.1. Sensores electroquímicos

Poseen dos o más electrodos sumergidos en un electrolítico común. el electrolítico es aislado de perturbaciones externas y posee un medio permeable al gas que va a medir como una membrana, un difusor o un capilar.

Para su funcionamiento, un voltaje aplicado a los electrodos los polariza, al penetrar el gas en el electrolítico, una reacción química genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración del gas. Se utilizan sensores electroquímicos con electrolíticos específicos para detectar la mayoría de los gases tóxicos.

Figura 3. **Composición de un sensor electroquímico**



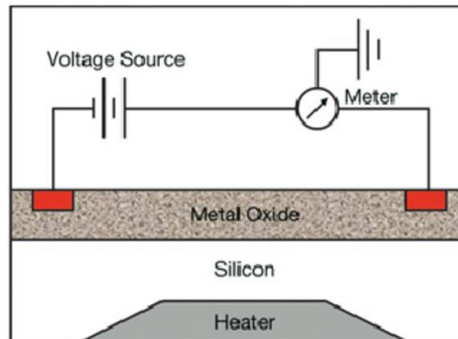
Fuente: Sensor electroquímico. <http://www.academiatesto.com.ar/cms/sensores-electroquimicos>. Consulta: 26 de abril de 2018.

Los sensores electroquímicos son compactos, tienen un bajo consumo de energía, muestran una gran linealidad, poseen gran selectividad para el gas que fueron diseñados y generalmente poseen una larga vida útil.

2.1.2. **Sensores por semiconductor**

Construido con materiales semiconductores como el silicio y germanio. opera con la propiedad de adsorción de los gases en la superficie de un óxido calentado, depositado en la base del semiconductor. La adsorción del gas en la superficie del óxido, seguido de una oxidación catalítica, significa un cambio en la resistencia eléctrica del material oxidado que se relaciona con la concentración del gas.

Figura 4. **Configuración de sensor por semiconductor**



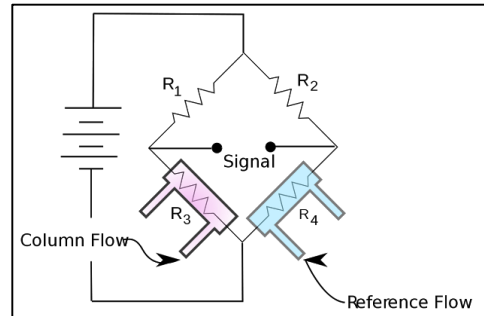
Fuente: Semiconductor gas sensor. https://www.researchgate.net/figure/Showing-one-electrode-configuration-of-semiconductor-gas-sensor-40_fig9_285988329. Consulta: 26 de abril de 2018.

Los sensores por semiconductor detectan cientos de gases en una variedad amplia de rangos, su construcción es robusta, apta para tolerar golpes y vibraciones y poseen una expectativa de vida útil de hasta 10 años.

2.1.3. Sensores de conductividad térmica

En su estructura disponen de, al menos, dos filamentos con propiedades conductoras y térmicas formando parte de un puente de Wheatstone. Cada filamento se ubica en una célula independiente y el conjunto se encuentra a una temperatura definida.

Figura 5. **Diagrama eléctrico de un sensor de conductividad térmica**



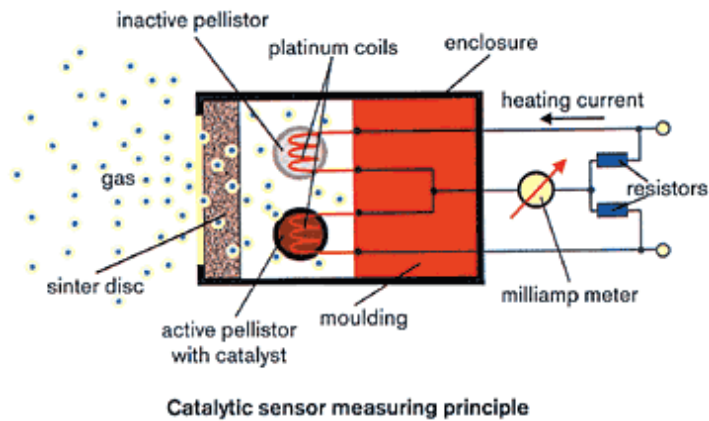
Fuente: Thermal conductivity detector. <https://aavos.eu/glossary/thermal-conductivity-detector-tcd/>. Consulta: 26 de abril de 2018.

En la célula de referencia se confina una cantidad de gas estándar, en la otra célula se hace ingresar el gas a detectar, su conductividad térmica difiere del gas de referencia. la temperatura del filamento se altera y, en consecuencia, la señal del puente de Wheatstone cambia dependiendo del gas que ingrese a la celda de medición.

2.1.4. Sensores catalíticos

Su componente principal es un *pellistor*, formado por un filamento de platino calentado eléctricamente, recubierto con una base de cerámica y, posteriormente, con una dispersión catalítica de paladio o rodio, en un sustrato de torio. Si una mezcla de aire y gas se ponen en contacto con el catalizador, la temperatura del *pellistor* aumenta. consecuentemente, la resistencia del filamento de platino aumenta, este cambio es medido en un circuito. El cambio de resistencia está relacionado con la concentración de gas presente.

Figura 6. **Principio de medición de un sensor catalítico**



Fuente: Catalytic sensor measuring principle.

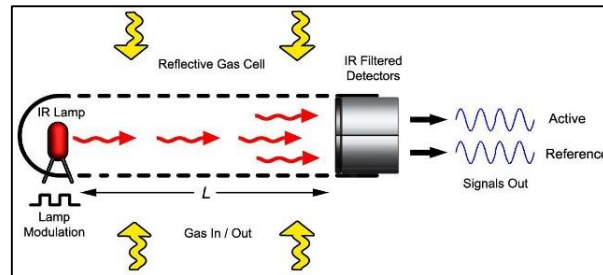
<http://archive.sensormag.com/articles/0102/34/main.shtml>. Consulta: 26 de abril de 2018.

Los sensores catalíticos se utilizan, principalmente, en la medición de gases de hidrocarburos. La salida es directamente proporcional a la concentración del gas y poseen una expectativa de vida de uno a dos años.

2.1.5. Sensores NDIR

Sensores infrarrojos no dispersivos, son dispositivos electroscópicos utilizados en el análisis de gases. Su estructura incluye una fuente de infrarrojos, una cámara de muestra, un filtro de longitud de onda y un detector de infrarrojos. El gas ingresa dentro de la cámara de muestra y se mide la concentración de forma electrónica y óptica por la propiedad de los gases de absorción en una determinada longitud de onda en el infrarrojo.

Figura 7. Diagrama esquemático de un sensor de gas NDIR



Fuente: NDIR gas sensor diagram. <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=544>.

Consulta: 26 de abril de 2018.

El tamaño de los sensores NDIR es reducido. Consumen poca energía, no se queman ni alteran ante exposiciones prolongadas y concentraciones altas de gas y poseen un amplio rango de detección.

2.2. Receptor GPS

El Sistema de Posicionamiento Global, GPS (siglas del nombre en inglés), es un conjunto de 27 satélites que se encuentran orbitando la Tierra, 24 en operación y 3 extras en caso de fallos. Esta red de satélites fue desarrollada e implementada por el ejército de los Estados Unidos, como un sistema de navegación militar, más tarde abierto a todo el mundo. Cada satélite realiza dos rotaciones completas a la Tierra en un día, las órbitas están dispuestas de tal manera que en cualquier momento y en cualquier lugar en la superficie terrestre, al menos 4 satélites sean visibles en el cielo.

El trabajo del receptor GPS es localizar cuatro o más de estos satélites, calcular la distancia a cada uno de ellos y utilizar esta información para deducir

su locación en la superficie terrestre. Esta operación está basada en un principio matemático básico llamado “trilateración”.

2.2.1. Principio de operación

El posicionamiento GPS puede describirse en los siguientes pasos:

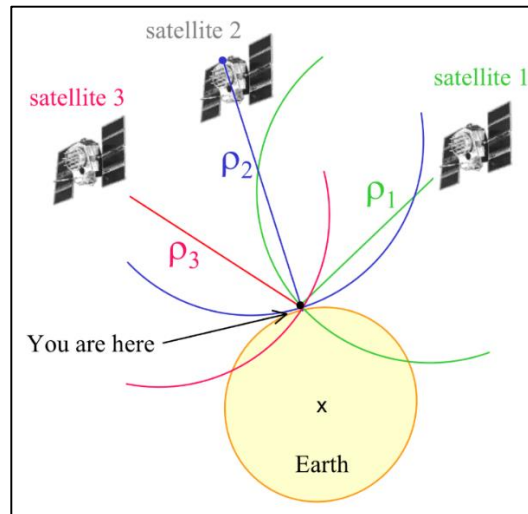
- El satélite 1 envía una señal en el tiempo t_{e1}
- El receptor en tierra recibe la señal en el tiempo t_r
- El rango de medición ρ_1 al satélite 1 es:

$$\rho_1 = (t_r - t_{e1}) \times \text{velocidad de la luz}$$

Por consiguiente, la locación es en una esfera de radio ρ_1 , centrada en el satélite 1.

- Los 3 satélites en la intersección de 3 esferas.

Figura 8. **Posicionamiento GPS**



Fuente: GPS positioning, a simple principle.

http://web.ics.purdue.edu/~ecalais/teaching/geodesy/GPS_observables.pdf. Consulta: 30 de abril de 2018.

En términos matemáticos simples:

- $$\rho_r^s = \sqrt{(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2 + (z_s - z_r)^2}$$

El receptor GPS recibe:

- Medición de t_r
- Decodificación de t_e
- Cálculo de ρ_r^s

Si la posición de los satélites en un punto de referencia fijo en tierra (x_s, y_s, z_s) es conocido, entonces se puede resolver para (x_r, y_r, z_r) , si al menos se conoce la posición de 3 satélites.

2.2.2. Señal GPS

El reloj atómico a bordo de cada satélite GPS produce una frecuencia fundamental $f_0 = 10.23 \text{ Mhz}$. Dos frecuencias se derivan de esta: $L_1 = f_0 \times 154$ y $L_2 = f_0 \times 120$.

- L_1 : 1.57542 Ghz, longitud de onda de 19.0 cm.
- L_2 : 1.22760 Ghz, longitud de onda de 24.4 cm.
- L_1 y L_2 son las dos frecuencias portadoras utilizadas para transmitir la información de los satélites GPS.
- La información transmitida es codificada en modulación de fase de la frecuencia portadora.

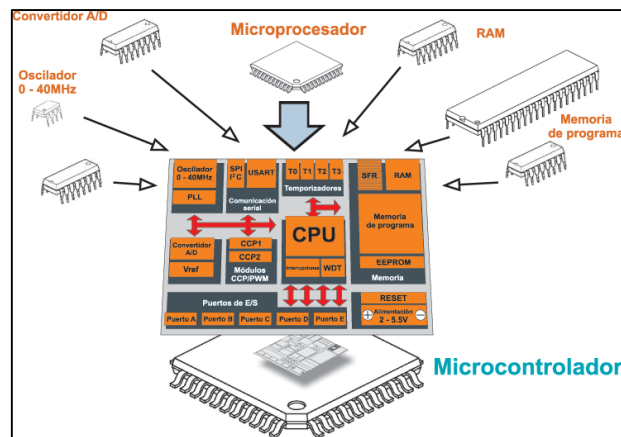
2.3. Microcontrolador

Es una computadora encapsulada en un circuito integrado, diseñado para realizar una tarea y ejecutar una aplicación específica. Contiene memoria, periféricos de entrada y salida programables, son empleados en el diseño de sistemas embebidos y en el diseño de sistemas electrónicos automáticos. Este es capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria de manera secuencial o estar a la espera de una interrupción externa para realizar una acción, por lo que su consumo de energía es muy bajo, ideal para aplicaciones con batería de larga duración.

Microprocesador y microcontrolador son dos términos que suelen confundirse, como principal característica, difieren en su funcionalidad, el microprocesador puede realizar operaciones aritméticas y lógicas pero necesita de módulos externos como memorias para comunicarse con dispositivos externos y ejecutar un programa, el microcontrolador incorpora un

microprocesador, memoria y periféricos, por lo que puede ejecutar un programa grabado en su memoria y comunicarse con algún módulo externo a través de circuitería especializada.

Figura 9. **Diagrama de un microcontrolador**



Fuente: Microcontrolador. <https://www.mikroe.com/ebooks/microcontroladores-pic-programacion-en-basic/introduccion-al-mundo-de-los-microcontroladores>. Consulta: 24 de abril de 2018.

El diseño de un microcontrolador, como se muestra en la figura, se realiza de tal manera que tenga los módulos y componentes necesarios en el mismo encapsulado. Su funcionamiento como circuito integrado programable no requiere de otros componentes externos, por lo que se ahorra recursos de tiempo y espacio en el diseño de algún dispositivo.

2.3.1. Programación del microcontrolador

El programa escrito por el usuario se carga en la memoria flash del microcontrolador, se conoce como código ejecutable y está escrito en código

binario, compuesto de secuencias de unos y ceros. Dependiendo de la arquitectura del microcontrolador, las secuencias de código binario, llamadas palabras tienen longitud de 8, 12 o 16 bits, donde cada bit es un uno o cero. El microprocesador interpreta cada palabra como una instrucción a ser ejecutada durante el funcionamiento del microcontrolador. Las instrucciones que el microprocesador puede reconocer y ejecutar se conocen como conjunto de instrucciones. Es más fácil representar las palabras compuestas de unos y ceros en el sistema de numeración hexadecimal, por lo que el código del programa se representa como una serie de números hexadecimales, que se denomina código HEX.

2.3.1.1. Lenguaje ensamblador

Fue el primer lenguaje de programación creado, conocido por la abreviatura ASM, desarrollado para reducir la dificultad en la escritura del código ejecutable, que era un trabajo arduo. El lenguaje ensamblador posee una sintaxis básica que facilita escribir y entender el código, se compone de abreviaturas con un significado, cada instrucción corresponde a una localidad de memoria. La traducción de código ASM a lenguaje de máquina (unos y ceros) la realiza un programa denominado ensamblador.

El programa ensamblador traduce cada instrucción, de esta forma se controlan detalladamente los procesos dentro del microprocesador. Esto permite una optimización del funcionamiento del mismo, este lenguaje aún se utiliza ampliamente en programación.

2.3.1.2. Lenguaje de alto nivel

Un lenguaje de alto nivel utiliza instrucciones de programación más reducidas que el lenguaje ensamblador, y las instrucciones son más fáciles de asimilar por el programador. Algunas desventajas del lenguaje ensamblador se enlistan:

- Una instrucción en lenguaje ASM representa muchas instrucciones en lenguaje de máquina, haciéndolo difícil de manejar.
- Cada tipo de microcontrolador posee un conjunto de instrucciones propio que el programador debe conocer para programarlo.
- El programador tiene que conocer el hardware del microcontrolador para escribir un programa.

Figura 10. Programas en C y ASM que realizan la misma función

```
int num_a = 34;
int num_b = 14;
int result;

void main() {
    result = num_a * num_b;
}
```

```
; ADDRESS
$0000 MOVLW 128
GOTO $000A
$0005D M $001E $1C03
$005D $000B BTFSZ
MOVLW C $001F $0033 $0CF9
$005E $000C GOTO $+10 RRF STACK 9, F
BCF ST B $0020 $0034 $0CF8
$005F $000D MOVF STAC RRF STACK 8, F
BCF ST G $0021 $0035 $1C03
$0060 $000E ADDWF BTFSZ STATUS, C
MOVWF C $0022 $0036 $281C
$0061 $000F MOVF STAC GOTO $-26
MOVLW C $0023 $0037 $1C7D
$0062 $0010 BTFSZ BTFSZ STACK_13, 0
MOVWF IN $0024 $0038 $2844
$0063 $0011 INCFSE GOTO $+12
MOVLW B $0025 $0039 $09FB
$0064 $0012 ADDWF COMF STACK 11, F
MOVWF IN $0026 $003A $09FA
$0065 $0013 BTFSZ COMF STACK 10, F
MOVLW IN $0027 $003B $09F9
$0066 $0014 INCF STAC COMF STACK 9, F
MOVWF B $0028 $003C $09F8
$0067 $0015 BCF STAT COMF STACK 8, F
RETURN G $0029 $003D $0AF8
$0004 $0016 BTFSZ INCF STACK 8, F
$0004 C $002A $003E $1903
BCF ST $0017 GOTO $+7 BTFSZ STATUS, Z
$0005 C $002B $003F $0AF9
BCF ST $0018 MOVF STAC INCF STACK 9, F
$0006 IN $002C $0040 $1903
$0019 ADDWF BTFSZ STATUS, Z
B $002D $0041 $0AFA
BTFSZ INCF STACK 10, F
$002E $0042 $1903
BTFSZ STATUS, Z
$0043 $0AFB
```

Fuente: Lenguaje C y ASM. <https://www.mikroe.com/ebooks/microcontroladores-pic-programacion-en-c-con-ejemplos/lenguajes-de-programacion>. Consulta: 25 de abril de 2018.

Los lenguajes de alto nivel (Basic, Pascal, C, entre otros.) fueron desarrollados con el propósito de solventar las desventajas del lenguaje ensamblador. Un lenguaje de alto nivel utilizará un número reducido de instrucciones para realizar una acción. Un lenguaje de bajo nivel utiliza múltiples instrucciones para realizar la misma acción, como se muestra en la figura . El programador ya no debe conocer el hardware del microcontrolador o su conjunto de instrucciones, aunque siempre es posible escribir alguna instrucción en ensamblador dentro del lenguaje de alto nivel.

2.4. Protocolos de comunicación serial

Un sistema embebido, se basa, principalmente, en la interconexión de circuitos (microcontroladores y otros circuitos integrados), para que estos circuitos intercambien su información en forma de bits, en consecuencia, deben emplear un protocolo de comunicación común.

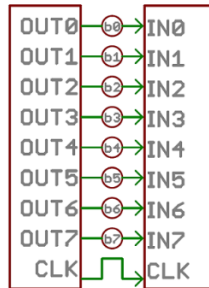
Se han desarrollado múltiples protocolos de comunicación para definir el intercambio de información, En comunicación digital, se identifican dos tipos de transferencia de datos:

- Comunicación serial
- Comunicación paralela

2.4.1. Comunicación paralela

Una interfaz de comunicación paralela transmite múltiples bits al mismo tiempo. Requiere usualmente buses de datos, transmitiendo a través de 8, 16 o más líneas.

Figura 11. **Interfaz paralela**



Fuente: An 8-bit data bus. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>.

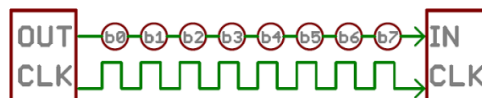
Consulta: 2 de mayo de 2018.

La comunicación paralela es sencilla de implementar, se puede transmitir mucha información en un solo pulso de reloj, sin embargo, requiere de muchas líneas de entrada/salida en cada dispositivo, y el número de líneas limita la velocidad de transmisión máxima y la distancia máxima de transmisión.

2.4.2. **Comunicación serial**

Una interfaz serial transmite los datos en forma de cadena, un bit en cada tiempo de reloj puede operar con solo dos líneas de interconexión o un solo canal de transmisión, usualmente nunca con más de 4 líneas.

Figura 12. **Interfaz serial**



Fuente: Example of a serial interface. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>. Consulta: 2 de mayo de 2018.

La comunicación serial es más difícil de implementar, sin embargo, se requieren menos líneas de entrada/salida para su implementación. Esto posibilita mayores velocidades de transmisión y distancias mayores para la comunicación.

Dentro de los protocolos de comunicación serial, se pueden separar dos tipos: asíncronos y síncronos.

2.4.2.1. Comunicación serial síncrona

Una interfaz serial síncrona empareja sus líneas de datos con una señal de reloj, en consecuencia, todos los dispositivos en un bus serial síncrono comparten una señal de reloj. Por esta razón, su implementación es sencilla, pero requiere, al menos, una línea extra de entrada/salida para la comunicación entre dispositivos, la figura 12 es un ejemplo de una interfaz serial síncrona.

2.4.2.2. Comunicación serial asíncrona

Transmisión asíncrona significa que los datos son transferidos entre dispositivos sin el soporte de una señal de reloj externa. Este método de transmisión es ideal para el ahorro de líneas de entrada/salida, pero significa una mayor complejidad en el protocolo de transmisión para asegurar la transferencia y recepción de datos.

Un protocolo de comunicación asíncrona posee un número incorporado de reglas, mecanismos que aseguran la transmisión de datos sin errores, prescindiendo de una señal de reloj como soporte adicional. Estos mecanismos son:

- Bits de datos
- Bits de sincronización
- Bits de paridad
- Tasa de baudios

2.4.2.2.1. Bits de datos

Los datos enviados serialmente se representan en niveles lógicos que representan los bits (unos y ceros). Cada bit en la secuencia de datos tiene un significado y una función. La información se envía en forma de paquetes de datos.

Figura 13. Paquete de datos



Fuente: Serial Packet. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>. Consulta: 3 de mayo de 2018.

En la figura 13, se identifican los bits de inicio, bits de final y bits de datos, el valor binario se envía iniciando con el bit menos significativo de la palabra binaria.

2.4.2.2.2. Bits de sincronización

Son bits transmitidos en cada paquete de datos, son los bits de inicio y bits de parada. Acorde al nombre de cada uno, marcan el inicio y el final del

paquete. El bit de inicio indica el cambio en el nivel lógico de la entrada para dar inicio a la transmisión.

2.4.2.2.3. Bits de paridad

La paridad es una forma muy simple de corrección de errores, se representa en dos formas: paridad par y paridad impar.

Figura 14. Trama de datos seriales



Fuente: A serial frame. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>. Consulta: 3 de mayo de 2018.

En la figura 14, la trama de datos incluye un bit de paridad, por ejemplo, asumiendo que la paridad está establecida como paridad impar, si la palabra binaria es 0b01011101, el número de 1's es 5, por lo tanto, el bit de paridad es establecido en 1. El bit de paridad es opcional, pero resulta útil en la detección de errores en la transmisión de datos.

2.4.2.2.4. Tasa de baudios

La tasa de baudios especifica cuán rápido es transmitida la información en una línea de datos serial, expresada usualmente en número de bits por segundo (bps), la tasa de baudios puede ser establecida sin restricciones, siempre que los dispositivos involucrados operen a la misma tasa de

transferencia. Algunas tasas de baudios utilizadas en microcontroladores son: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 y 115200 bps.

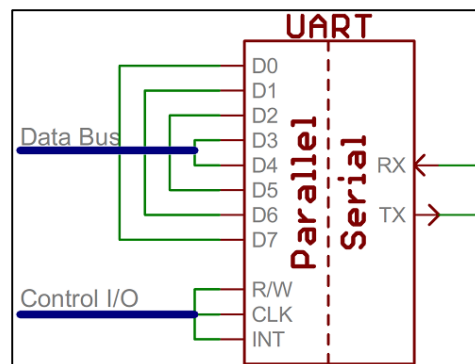
2.4.3. Protocolos de comunicación serial más utilizados

Un microcontrolador puede comunicarse con dispositivos externos utilizando protocolos de comunicación serial síncronos y asíncronos, se identifican los protocolos utilizados en la implementación del prototipo.

2.4.3.1. Protocolo UART

Receptor/Transmisor asíncrono universal (UART, siglas del nombre en inglés) es un bloque de circuitos, responsable de la comunicación serial entre dispositivos. Usualmente actúa como intermediario entre interfaces paralelas y seriales. En un lado, el bloque UART posee un bus de datos de 8 bits, más los pines de control, en el otro lado están las dos líneas seriales, RX y TX.

Figura 15. Interfaz serial simple



Fuente: Simplified UART interface. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>.

Consulta: 3 de mayo de 2018.

El estándar UART se encuentra, normalmente, implementado dentro de la mayoría de microcontroladores, se configura a través del programa que se escribe en la memoria de este.

2.4.3.2. Protocolo USB

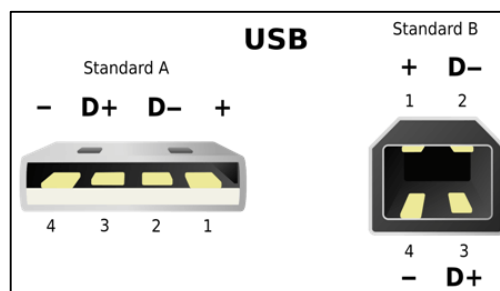
Es probablemente el protocolo de comunicación más utilizado. Se encuentran conectores USB en casi todos los dispositivos electrónicos, un microcontrolador utiliza un puerto USB para comunicarse con una computadora.

El protocolo USB está diseñado para cumplir dos propósitos:

- Comunicación con dispositivos periféricos
- Suministrar energía a los dispositivos conectados

Las velocidades de transmisión para el protocolo USB van desde 1.5 Mbps para la versión 1.0 hasta 4.8 Gbps para la versión 3.0. Se muestra el esquema de líneas para conectores USB tipo A y tipo B.

Figura 16. Pines de conector USB



Fuente: A diagram of USB pinout. <https://theydiffer.com/difference-between-usb-2-0-and-3-0-cables/>. Consulta: 3 de mayo de 2018.

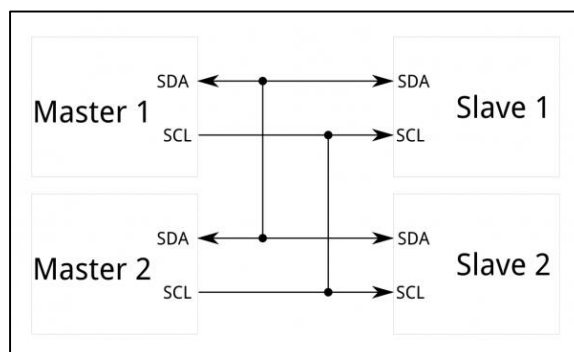
Los pines de conexión se identifican como:

- Pin 1, alimentación de 5 voltios
- Pin 2, pin de datos D-
- Pin 3, pin de datos D+
- Pin 4, referencia de 0 voltios o tierra

2.4.3.3. Protocolo I²C

El protocolo I²C (Inter Integrated Circuits), permite la conexión de múltiples dispositivos esclavos con uno o más dispositivos maestros. Está desarrollado principalmente para la comunicación a corta distancia de circuitos integrados en el mismo circuito impreso. Requiere solamente dos cables bidireccionales para transmitir y recibir datos, soporta una velocidad de transferencia máxima de 3.4 Mbps.

Figura 17. Esquema de comunicación I²C



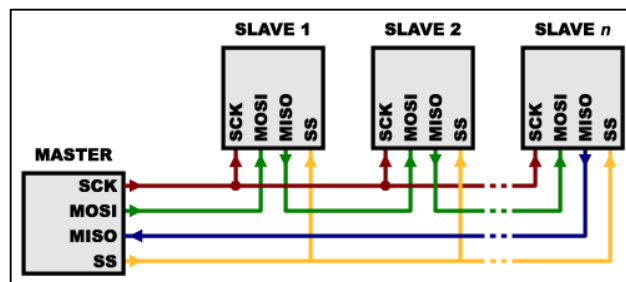
Fuente: I²C communication scheme. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c>. Consulta: 3 de mayo de 2018.

El protocolo requiere solo dos señales para operar, SDA y SCL. SDA es la señal de datos y SCL es la señal de reloj.

2.4.3.4. Protocolo SPI

El protocolo SPI (Serial Peripheral Interface), permite la comunicación entre dispositivos utilizando la arquitectura maestro-esclavo, múltiples dispositivos pueden ser conectados a un único dispositivo maestro, soporta una velocidad de transferencia máxima de 1 Mbps.

Figura 18. Esquema de comunicación SPI



Fuente: SPI communication scheme. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi>. Consulta: 3 de mayo de 2018.

El protocolo utiliza 4 señales para operar:

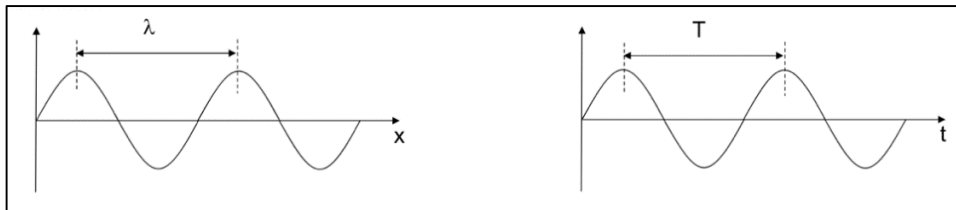
- Master slave in (MOSI), entrada de datos para el dispositivo esclavo
- Master slave out (MISO), salida de datos para el dispositivo esclavo
- Serial clock (SCK), señal de reloj
- Slave select (SS), señal de selección para el dispositivo esclavo

2.5. Comunicación por radiofrecuencias

La comunicación por radiofrecuencias se basa en la generación de ondas electromagnéticas desde una fuente, las cuales son captadas en un destino en particular. Estas ondas viajan a través del aire a una velocidad cercana a la de la luz, su característica principal es la frecuencia, que es inversamente proporcional a la longitud de onda.

La frecuencia es medida en hertz (ciclos por segundo), las radiofrecuencias se miden en kilohertz (kHz), megahertz (MHz) y gigahertz (GHz). Una frecuencia alta resulta en una menor longitud de onda.

Figura 19. **Parámetros de onda electromagnética**



Fuente: Onda electromagnética.

http://profesores.sanvalero.net/~arnadillo/Documentos/Apuntes/Tecnicas/UD9_Comicaci%F3n%20inal%E1mbrica/1_Conceptos%20de%20RF.pdf. Consulta: 3 de mayo de 2018.

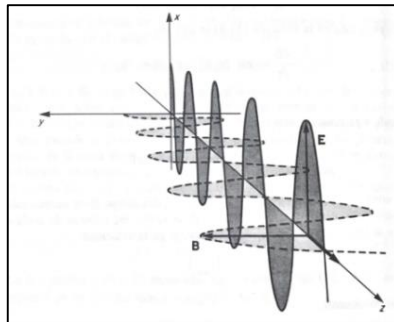
En la figura 19 se muestran las propiedades de la onda electromagnética:

- λ es la longitud de onda.
- τ es el período, la frecuencia se define como:

$$f = \frac{1}{\tau}$$

- λ es igual a $c * \tau$
- c es la velocidad de la luz en el vacío.

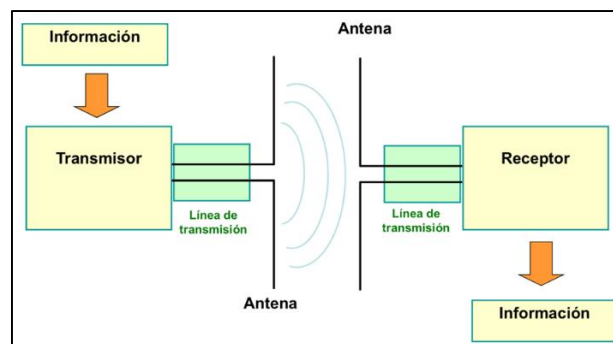
Figura 20. **Onda electromagnética en el espacio vacío**



Fuente: I.S Grantt, W.R Phillips. *Electromagnetismo*. p. 418.

La onda se compone de dos campos, eléctrico (E) y magnético (B), perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación.

Figura 21. **Transmisión por radiofrecuencias**



Fuente: Transmisión radioeléctrica.

http://profesores.sanvalero.net/~arnadillo/Documentos/Apuntes/Tecnicas/UD9_Comunicaci%F3n%20inal%E1mbrica/1_Conceptos%20de%20RF.pdf. Consulta: 3 de mayo de 2018.

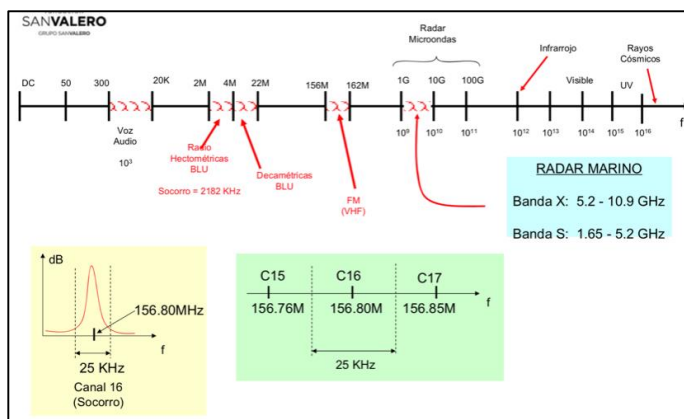
La transmisión por radiofrecuencias se puede realizar en tres modos:

- Simplex, solo se puede transmitir en un sentido, emisor a receptor.
- Half-duplex, se puede transmitir y recibir información, separando cada tarea en tiempos diferentes. Los sistemas involucrados en la transmisión funcionan como emisores/receptores en tiempos separados.
- Full-duplex, se puede transmitir y recibir información al mismo tiempo. En este caso, los sistemas involucrados en el intercambio de información funcionan como emisores/receptores en todo momento.

2.5.1. Espectro electromagnético

Es el conjunto de ondas electromagnéticas, agrupadas según su longitud de onda y frecuencia, en un espectro que contiene todo el rango de radiación estudiado.

Figura 22. Espectro electromagnético



Fuente: Espectro electromagnético.

http://profesores.sanvalero.net/~arnadillo/Documentos/Apuntes/Tecnicas/UD9_Comunicaci%F3n%20inal%20E1mbrica/1_Conceptos%20de%20RF.pdf. Consulta: 3 de mayo de 2018.

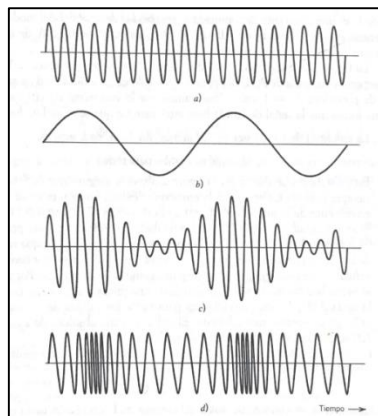
2.5.2. Modulación

La modulación es la técnica utilizada para transportar información a través de una señal portadora, usualmente una onda sinusoidal. Se modifica una característica de la onda portadora con base en la variación de la información transmitida. Normalmente, se modifica la frecuencia o amplitud de la portadora en las técnicas de modulación más comunes.

2.5.2.1. Técnicas de modulación

Las técnicas de modulación más comunes son AM (Amplitude Modulation) y FM (Frequency Modulation). Ambas se conocen como sistemas de modulación continua. En el caso de AM se varía la amplitud de la onda portadora de acuerdo a la señal de información. En el caso de FM se varía el ángulo de la onda portadora senoidal en concordancia con la señal de información.

Figura 23. Modulación AM y FM



Fuente: HAYKIN, Simon. *Sistemas de Comunicación*. p. 89.

2.6. Pantalla LCD

Una pantalla LCD (Liquid Crystal Display), utiliza cristal líquido, que es depositado entre electrodos transparentes, a través de los cuales se puede cambiar la polarización de la luz que pasa por ellos. Los electrodos están cubiertos por filtro de polarización, que aseguran que la luz pueda pasar a través de ellos en un solo sentido. Si el cristal líquido cambia su polarización debido a un campo eléctrico, la luz no puede atravesar la pantalla y esta se muestra en un color oscuro o casi negro.

Una pantalla LCD alfanumérica es utilizada para mostrar números y letras, esta pantalla está dividida en segmentos, con indicadores de filas y columnas. Está dispuesta como una matriz, donde cada elemento de la matriz es un píxel. Por ejemplo, una matriz de 5*7 píxeles poseen 32 indicadores, los indicadores 1-4 son las filas y los indicadores 5-32 son las columnas, esta matriz puede representar todos los números y letras del alfabeto latino.

Figura 24. **Pantalla LCD de 16 x 2**



Fuente: LCD display. <https://www.robot-r-us.com/vmchk/display-graphics/i2c-16x2-blue-backlight-lcd-display-module-for-arduino.html>. Consulta: 3 de mayo de 2018.

3. MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En este capítulo se exponen los componentes que se utilizarán en el módulo de adquisición de datos, la función y modo de operación de cada uno. Se describe el módulo mediante un diagrama de bloques y su operación con todos los componentes.

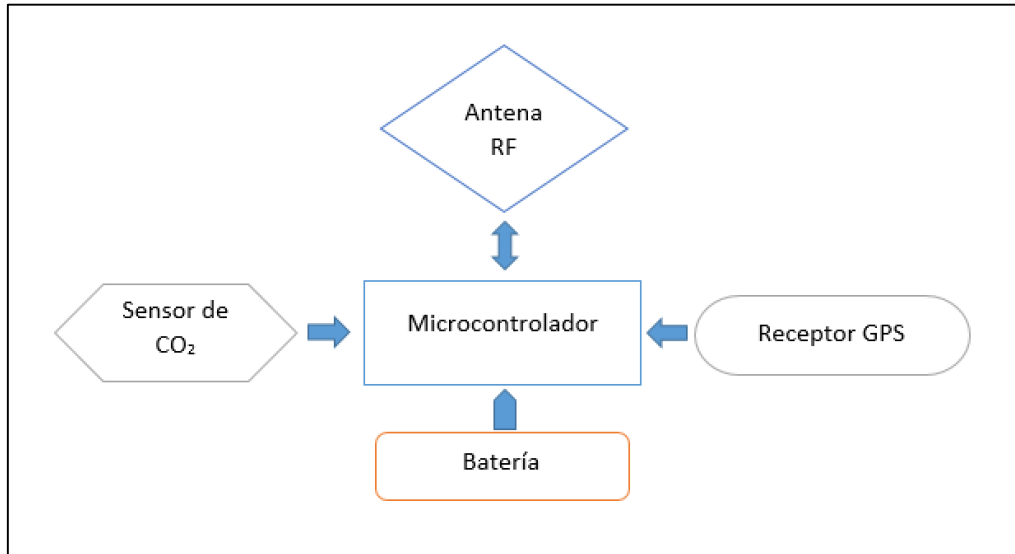
3.1. Descripción del módulo

El módulo debe ser portable, con fuente de alimentación propia y de tamaño reducido. En su funcionamiento adquiere la concentración de CO₂ en el ambiente en el que se encuentre, obtiene la altura a la que se encuentra el módulo y determina su posición en coordenadas GPS. Estos datos son enviados al receptor en tierra. Para ello, debe poder comunicarse mediante radiofrecuencias de forma bidireccional.

El control del funcionamiento del módulo se realiza remotamente, es decir, el usuario en tierra solicita los datos del módulo y este responde con el dato solicitado. Es decir, funciona en comunicación bidireccional con el usuario en tierra.

El diagrama de bloques del módulo se muestra en la figura 25.

Figura 25. **Diagrama de bloques del módulo de adquisición de datos**



Fuente: Elaboración propia utilizando Microsoft Word.

3.2. **Sensor MQ135**

Los sensores de gas de la serie MQ son sensores electroquímicos, su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia eléctrica de un elemento detector, proporcional a la variación del gas cuya concentración se desea detectar en el aire.

Para detectar la concentración de gas se hace fluir una corriente eléctrica en el circuito serie compuesto por la resistencia del elemento detector (R_o) y la resistencia de carga (R_L). La variación del voltaje sobre la resistencia del elemento detector se asocia a la concentración de gas.

Tabla II. **Especificaciones del sensor MQ135**

Especificación	Descripción
Voltaje de alimentación	5 V
Voltaje del calentador	5 V
Resistencia de carga R_L	10 k Ω
Resistencia del sensor R_o	Variable
Resistencia medida R_s	Variable
Potencia disipada	700 mW
Sustancias detectadas	CO ₂ , humo, alcohol, NH ₃ , NO _x

Fuente: elaboración propia.

Se muestra el esquema del sensor MQ135 en la figura 26.

Figura 26. **Sensor MQ135**



Fuente: Sensor de gas. <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>. Consulta: 26 de junio de 2018.

El sensor dispone de 4 terminales, las cuales son:

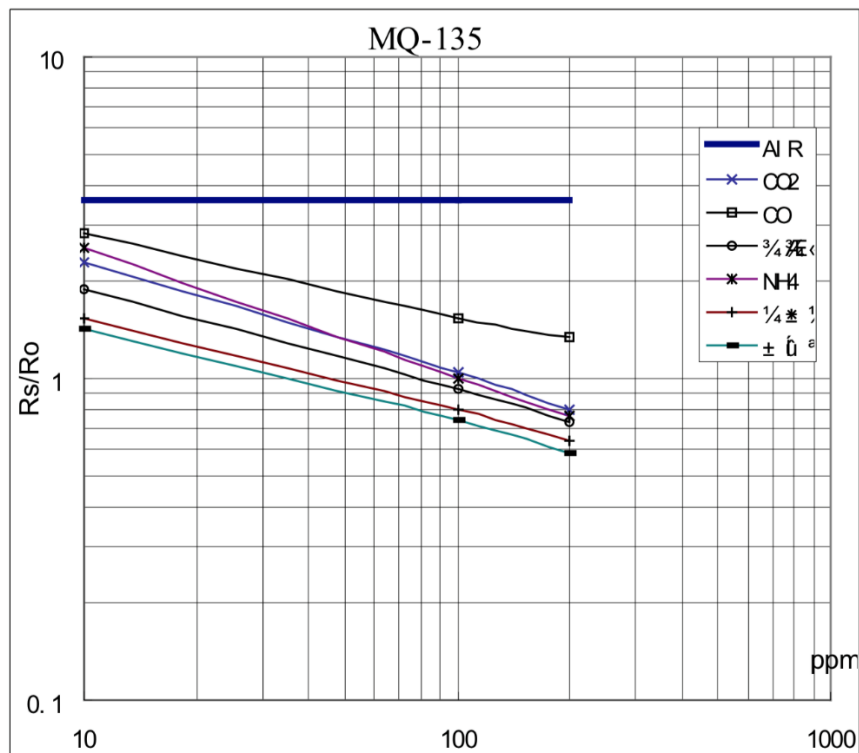
- D0, salida digital, su disparo puede calibrarse variando la resistencia del potenciómetro del módulo.
- A0, salida analógica, es el voltaje asociado a la variación de gas en el sensor.

- GND, entrada de alimentación negativa.
- VCC, entrada de alimentación positiva.

3.2.1. Medición de la concentración de CO₂

Para conocer la concentración de gas en el sensor MQ135 es necesario consultar la hoja de datos del sensor, la cual proporciona la gráfica de comportamiento de este, bajo la concentración de cada gas. La figura 27 muestra la gráfica de comportamiento del sensor MQ135.

Figura 27. Características sensitivas del sensor MQ135

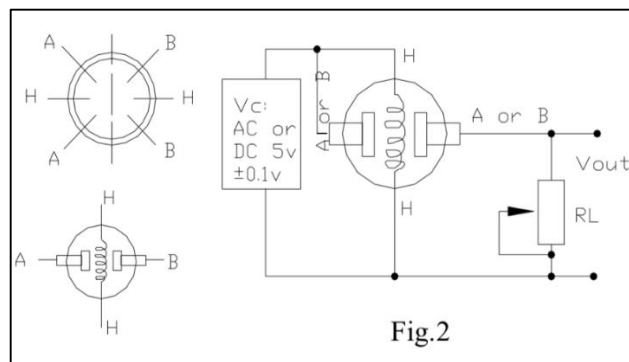


Fuente: MQ135 sensitive characteristics. <http://www.dreamgreenhouse.com/datasheets/MQ-135/MQ-135.pdf>. Consulta: 26 de junio de 2018.

La concentración del gas se obtiene de la relación R_s/R_o , resistencia medida y resistencia del sensor, respectivamente, también es necesario conocer la resistencia de carga R_L del sensor para realizar la lectura de la concentración de gas.

R_L es proporcionada por el fabricante y se puede medir directamente en la placa del circuito impreso en el sensor siguiendo el esquema de la figura 28. En el caso del sensor MQ135 el valor de R_L es de 1 k Ω .

Figura 28. **Estructura y configuración del sensor MQ135**



Fuente: MQ135 scheme. <http://www.dreamgreenhouse.com/datasheets/MQ-135/MQ-135.pdf>.

Consulta: 26 de junio de 2018.

El valor de R_s se obtiene de la relación entre el voltaje medido en la salida del sensor y el voltaje de alimentación, sabiendo el valor de la resistencia de carga, con la siguiente ecuación del divisor de voltaje, suponiendo un voltaje de alimentación de 5 V.

$$R_s = \frac{5 * R_L}{V_{medido}} - R_L$$

La relación entre R_s/R_o , en la figura 27 a altas concentraciones de CO_2 se toma como referencia para calcular R_o , es decir en el punto para $\frac{R_s}{R_o} = 0.8$, la ecuación para calcular R_o es:

$$R_o = \frac{R_s}{0.8}$$

Las gráficas se disponen en escala logarítmica para ambos ejes, en general son rectas bajo escala, por lo que la concentración de gas se obtiene de la forma:

$$\text{Concentración (ppm)} = 10^{A \cdot \log(R_s/R_o) + B}$$

Para determinar la concentración se necesita la recta que lo aproxima, de la cual se obtienen dos puntos $P_0(x_0, y_0)$ y $P_1(x_1, y_1)$, de los cuales se determina la ecuación de la recta:

$$y = A * x + B$$

Utilizando para ello las ecuaciones:

$$A = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}$$

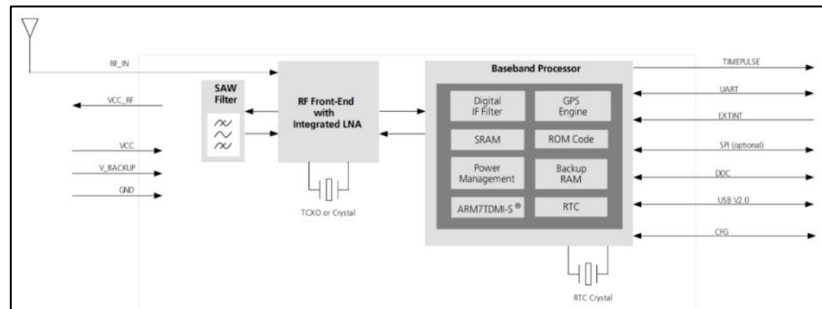
$$B = y_0 - A * x_0$$

3.3. Receptor GY-GPS6MV2

Este modelo de receptor GPS viene equipado en un PCB con el chip U-Blox NEO 6M, una EEPROM con configuración de fábrica, una pila de botón para mantener los datos de configuración en la memoria EEPROM, un indicador LED y una antena cerámica.

Al alimentar el módulo, este adquiere automáticamente la señal de la red de satélites GPS y fija su posición. El indicador LED comienza a parpadear cuando la posición del módulo está fijada. Su arquitectura compacta lo hace ideal para dispositivos con batería y su desempeño en la navegación es excelente. La figura 29 muestra el diagrama de bloques del chip U-Blox NEO 6M.

Figura 29. Diagrama de bloques NEO 6M



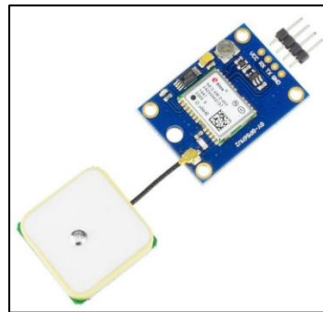
Fuente: NEO 6M block diagram. [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf).

Consulta: 27 de junio de 2018.

El módulo opera con el protocolo UART, los datos del GPS pueden ser adquiridos a través de un puerto serial en un microcontrolador o una

computadora, a continuación, se muestra la configuración de las terminales del módulo GY-GPS6MV2.

Figura 30. **Módulo GY-GPS6MV2**



Fuente: NEO 6M module. <https://www.addicore.com/NEO-6M-GPS-p/231.htm>. Consulta: 27 de junio de 2018.

El sensor dispone de 4 terminales, las cuales son:

- VCC, entrada de alimentación positiva
- GNS entrada de alimentación negativa
- RX, terminal de recepción de datos con el protocolo UART
- TX, terminal de transmisión de datos con el protocolo UART

Tabla III. **Especificaciones del módulo GY-NEO6MV2**

Especificación	Descripción
Voltaje de alimentación	2.7 V a 3.6 V
Consumo de corriente	67 mA
Ganancia de la antena	50 dB
Interfaces	UART, SPI, USB, DDC
Velocidad de datos	9600 Bps

Fuente: elaboración propia.

Los datos recibidos del módulo se muestran en el estándar del protocolo NMEA (National Marine Electronics Association), estos son sentencias estándares para la recepción de datos GPS. La empleada en el módulo de adquisición de datos es la sentencia \$GPRMC, la cual tiene la siguiente estructura:

**\$GPRMC,044235.000,A,4322.0289,N,00824.5210,W,0.39,65.46,020618,,,
A*44**

La trama de caracteres, siguiendo el protocolo NMEA muestra los siguientes datos de interés:

- 044235.000 representa la hora GMT (04:42:35), 4 horas, 42 minutos y 35 segundos en este caso.
- "A" es el indicador de que el dato de posición está fijado y es correcto, "V" significa que el dato no es correcto.
- 4322.0289 representa la longitud (43° 22.0289')
- N representa el Norte
- 00824.5210 representa la latitud (8° 24.5210')
- W representa el Oeste
- 0.39 representa la velocidad en nudos
- 65.46 representa la orientación en grados
- 020618 representa la fecha, 2 de junio del 2018 en este caso

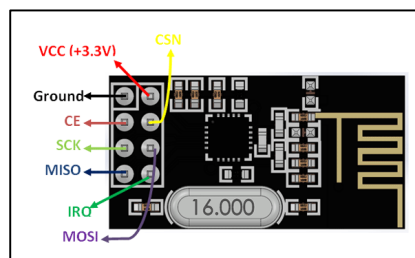
Los datos de interés para establecer el posicionamiento de algún dispositivo a través de este módulo son los datos de latitud y longitud.

3.4. Módulo NFR24L01

El módulo NFR24L01 es un tranceptor inalámbrico, lo cual significa que cada módulo puede enviar y recibir información dependiendo del modo que opere. Opera en la banda ISM de 2.4 GHz, que es de uso libre en casi todo el mundo para el desarrollo de aplicaciones de ingeniería.

El modelo utilizado en el prototipo posee, además del chip NFR24L01, un circuito amplificador de potencia (PA), un circuito amplificador de bajo ruido (LNA) y una antena SMA que, en conjunto, permiten lograr comunicación inalámbrica de hasta 1000 m. El módulo trabaja con el protocolo SPI para enviar y recibir información al microcontrolador que lo opera.

Figura 31. Módulo NFR24L01



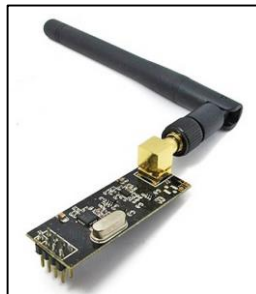
Fuente: NFR24L01 pinout. <https://components101.com/wireless/nrf24l01-pinout-features-datasheet>. Consulta: 11 de julio de 2018.

El módulo posee 8 terminales, que se detallan a continuación:

- Ground, entrada de alimentación negativa.
- VCC, entrada de alimentación positiva.
- CE, habilitador de la comunicación SPI.

- CSN, este pin debe mantenerse en un estado lógico alto para habilitar la comunicación SPI.
- SCK, entrada de reloj.
- MOSI, conectado al pin MOSI del microcontrolador para la recepción de datos.
- MISO, conectado al pin MISO del microcontrolador para el envío de datos.
- IRQ, pin utilizado si una interrupción es requerida.

Figura 32. **Módulo NFR24L01 con antena**



Fuente: NFR24L01 antenna. <https://openhardware.pe/wp-content/uploads/2013/08/nRF24L01-LN-PA-1.jpg>. Consulta: 4 de septiembre de 2018.

Tabla IV. **Especificaciones del módulo NFR24L01**

Especificación	Descripción
Voltaje de alimentación	3.3 V a 5 V
Corriente nominal	50 mA
Rango de operación	Hasta 1000 m
Protocolo de comunicación	SPI
Banda de operación	2.4 GHz
Velocidad de datos	9600 Bps

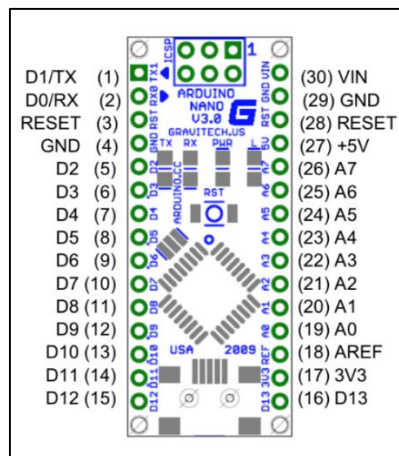
Fuente: elaboración propia.

3.5. Microcontrolador y diseño electrónico

El microcontrolador, como cerebro del módulo, obtiene la información solicitada, remotamente, por el usuario, en el lugar en el que se encuentre el mismo, también envía la información obtenida al módulo de control por medio de radiofrecuencias.

Se utilizó el microcontrolador ATMEGA328, montado en la placa de desarrollo Arduino Nano, cuyo diagrama se muestra en la figura 32. Su tamaño reducido lo hace ideal para la aplicación en el módulo de control. Posee un conector mini USB para conectar la fuente de alimentación y 30 terminales para la conexión de módulos externos. En sus terminales posee las conexiones para funcionar con hardware externo con los protocolos SPI y UART, también entradas analógicas, que se necesitan para que el módulo de adquisición de datos funcione.

Figura 33. Diagrama del microcontrolador ATMEGA328 (Arduino Nano)



Fuente: ATMEGA328 pinout. <https://www.es.co.th/Schematic/PDF/ARMB-0022.PDF>. Consulta:

17 de julio de 2018.

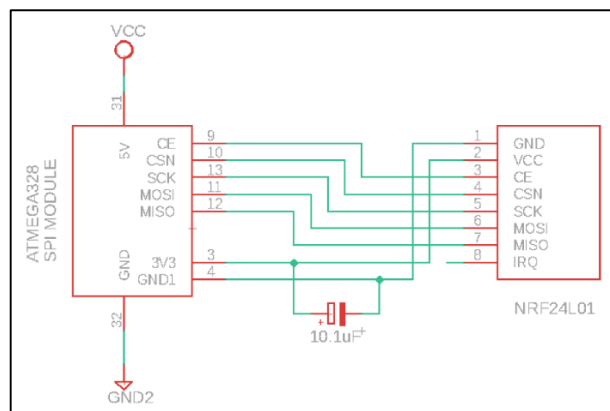
Los módulos internos para controlar el hardware externo con los distintos protocolos en el microcontrolador se programan en lenguaje C.

3.5.1. Diagramas esquemáticos

El módulo NFR24L01 opera con un nivel de voltaje de alimentación de 3.3 V, el microcontrolador ATMEGA328 posee una salida de alimentación con ese requerimiento. La conexión al módulo SPI del microcontrolador no requiere de circuitería externa, se conecta directamente a los pines SPI del módulo inalámbrico para establecer la comunicación bidireccional en el módulo de control.

Se conecta un capacitor electrolítico en las terminales de alimentación del módulo de radiofrecuencias para mejorar la estabilidad de su funcionamiento y evitar que las variaciones en el voltaje de alimentación afecten el funcionamiento del módulo. El capacitor debe ir conectado físicamente cerca del módulo de radiofrecuencias.

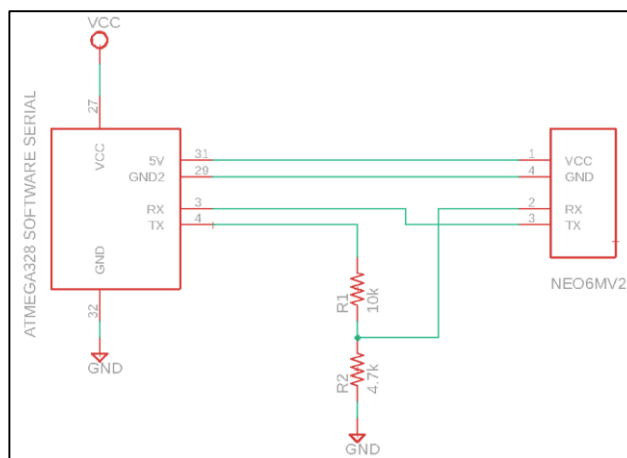
Figura 34. Diagrama esquemático, conexión del módulo inalámbrico



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

El sensor GPS NEO6MV2 establece comunicación con el microcontrolador a través del protocolo UART, sus terminales RX y TX operan con niveles de voltaje de hasta 3.3 voltios. Si se sobrepasa ese límite, el sensor podría funcionar mal o sufrir un daño importante, por lo que la señal enviada desde el microcontrolador, la cual es de 5 voltios es acondicionada con un divisor de voltaje para reducir el nivel de voltaje a uno cercano a 3.3 voltios.

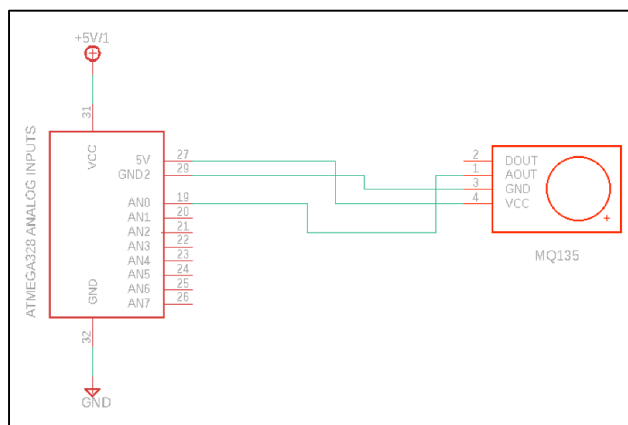
Figura 35. **Diagrama esquemático, conexión del sensor GPS**



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

El microcontrolador alimenta al sensor MQ135, el consumo de corriente no sobrepasa el límite que el microcontrolador puede proporcionar, la salida DOUT del sensor puede ser ajustada con el potenciómetro integrado en su placa, esta salida entra en estado lógico alto cuando se detecta un cierto nivel de concentración de gas en el ambiente. La salida AOUT genera un voltaje proporcional a la concentración de gas en el ambiente, por lo que se utiliza para realizar la medición de dióxido de carbono. Esta salida se conecta a una entrada analógica del microcontrolador, en la cual se hace la conversión de voltaje a concentración en ppm (partes por millón) de dióxido de carbono.

Figura 36. Diagrama esquemático, conexión del sensor MQ135



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

3.5.2. Componentes y presupuesto

La tabla V detalla los componentes utilizados en la elaboración del módulo de adquisición de datos y el presupuesto utilizado en la implementación de este.

Tabla V. Componentes del módulo de adquisición de datos

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Arduino Nano	1	Q 90,00	Q 90,00
Módulo NFR24L01 con antena	1	Q 115,00	Q 115,00
Sensor GPS NEO6MV2	1	Q 90,00	Q 90,00
Sensor MQ135	1	Q 55,00	Q 55,00
Placa de cobre	1	Q 20,00	Q 20,00
Interruptor	1	Q 4,00	Q 4,00
Resistencia de 10K Ω	1	Q 0,50	Q 0,50
Resistencia de 4.7k Ω	1	Q 0,50	Q 0,50
Fila de 20 pines IDC SIL hembra	2	Q 5,00	Q 5,00
Fila de 20 pines IDC SIL macho	1	Q 5,00	Q 5,00

Continuación de la tabla V.

Batería de 9V	1	Q 50,00	Q 50,00
Materiales varios	--	--	Q 30,00
		Total	Q 465,00

Fuente: elaboración propia.

4. MÓDULO DE CONTROL

En este capítulo se expone el funcionamiento y modo de operación de cada componente del módulo de control, se detallan las características de cada componente, se muestra el diagrama de bloques de funcionamiento del módulo y se muestra la construcción del módulo con sus componentes.

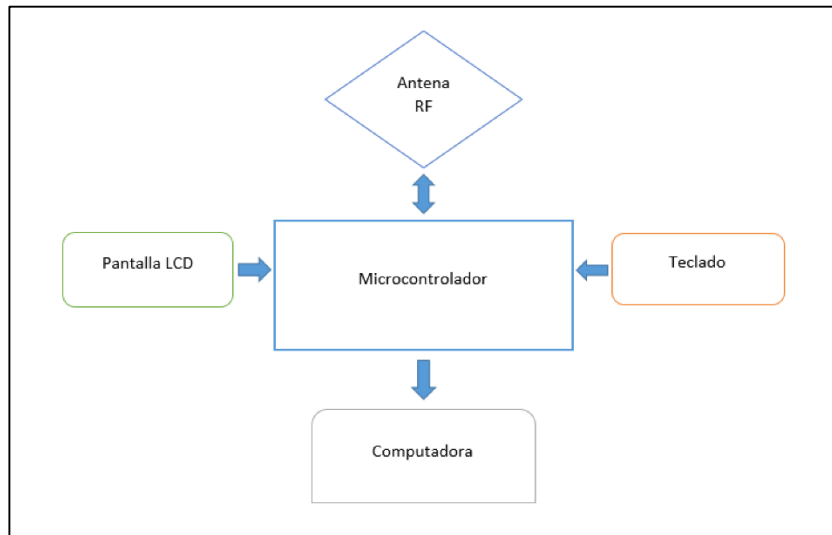
4.1. Descripción del módulo

El módulo de control opera el funcionamiento del módulo de adquisición de datos, por lo tanto, debe poseer comunicación inalámbrica bidireccional, ya que enviará datos de control y recibirá los datos obtenidos en el módulo de adquisición de datos. El control se hará desde un teclado, el cual debe tener el botón para la obtención de concentración de CO₂ en la atmósfera, botón para obtener la altitud del módulo de adquisición de datos y botón para obtener la localización de este, en coordenadas GPS.

Los datos de concentración de CO₂ en la atmósfera y altitud se mostrarán en la pantalla LCD y serán actualizados a petición del usuario por medio del teclado de funciones. El módulo dispone de 10 espacios de memoria para almacenar los datos solicitados por el usuario.

Los datos de localización del GPS se enviarán a una computadora con un software de mapas para mostrar el recorrido del módulo de adquisición de datos en el mapa, la computadora proveerá también la alimentación al módulo de control por medio de la conexión USB.

Figura 37. **Diagrama de bloques del módulo de control**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Word.

4.2. Módulo NFR24L01

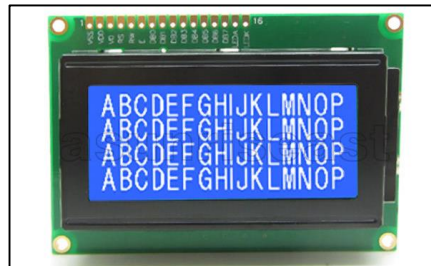
El modo de operación, conexiones y características de este componente en el módulo de control es igual al empleado en el módulo de adquisición de datos, el módulo SPI del microcontrolador ATMEGA360 empleado en el módulo de control es el mismo que posee el microcontrolador ATMEGA320 utilizado en el módulo de adquisición de datos, desarrollado en el capítulo 3 de este documento.

4.3. Pantalla LCD

El microcontrolador despliega la información a una pantalla LCD, la información corresponde a la concentración de CO₂ del lugar donde se encuentra el módulo de adquisición de datos y su altitud. Esta se actualiza a

petición del usuario en el teclado de funciones. Se utilizó una pantalla LCD1604, que corresponde a una pantalla de 16 columnas y 4 filas de caracteres.

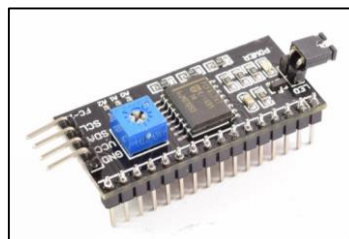
Figura 38. **Pantalla LCD1604 azul**



Fuente: LCD display. <https://www.ebay.es/itm/1604-16x4-Character-LCD-Display-Module-Blue-Backlight-for-Arduino-5V-/141644540807>. Consulta: 16 de julio de 2018.

La conexión al microcontrolador se realizó a través de un módulo adaptador I2C de pantallas LCD, el módulo PCF8574 es un expansor de entradas y salidas que opera con el protocolo I2C, el cual permite controlar la información desplegada a la pantalla LCD con solo 4 terminales desde el microcontrolador.

Figura 39. **Módulo I2C PCF8574**



Fuente: Adaptador I2C. <https://naylampmechatronics.com/displays/60-modulo-adaptador-lcd-a-i2c.html>. Consulta: 16 de julio de 2018.

El módulo posee un potenciómetro que regula la intensidad del brillo de la pantalla, dos terminales pin *header* y un *socket* para encender la pantalla, los terminales de alimentación VCC y GND y los terminales de conexión I2C (SDA y SCL) para el microcontrolador.

4.4. Teclado

El teclado de funciones se utiliza para solicitar la información al módulo de adquisición de datos. Esta información se despliega en la pantalla LCD y se envía a la computadora. Al presionar cada tecla el microcontrolador solicita la información y al recibirla actualiza el campo requerido en la pantalla LCD o la localización en el software de mapas en la computadora.

El teclado consta de 5 botones, los cuales se detallan a continuación.

Tabla VI. **Teclado de funciones**

Botón	Función
Concentración de CO ₂	El botón actualiza la información de concentración de dióxido de carbono en la pantalla LCD, en el lugar que se encuentre el módulo de adquisición de datos en ese instante.
Altitud	El botón actualiza la información de altitud en la pantalla LCD del lugar en que se encuentre el módulo de adquisición de datos en ese instante.
Localización	El botón actualiza la posición del módulo de adquisición de datos en ese instante, muestra en el software de mapas un punto en las coordenadas GPS recibidas al presionar el botón. También muestra las coordenadas GPS en la pantalla LCD.
Datos 1	Muestra los datos almacenados en los espacios de memoria en la pantalla LCD, retrocediendo en las localidades de memoria.

Continuación de la tabla VI.

Datos 2	Muestra los datos almacenados en los espacios de memoria en la pantalla LCD, adelantándose en las localidades de memoria.
---------	---

Fuente: elaboración propia.

4.5. Conexión al ordenador

El módulo de control envía la información GPS a la computadora para mostrar la ubicación del módulo de control en tiempo real. Se utilizó el software de mapas Google Earth Pro y el software GooPs, el cual recibe los datos GPS del módulo de control para mostrarlos en los mapas de Google Earth Pro en tiempo real.

Se muestra la pantalla de inicio del software GooPs y se describen sus características principales.

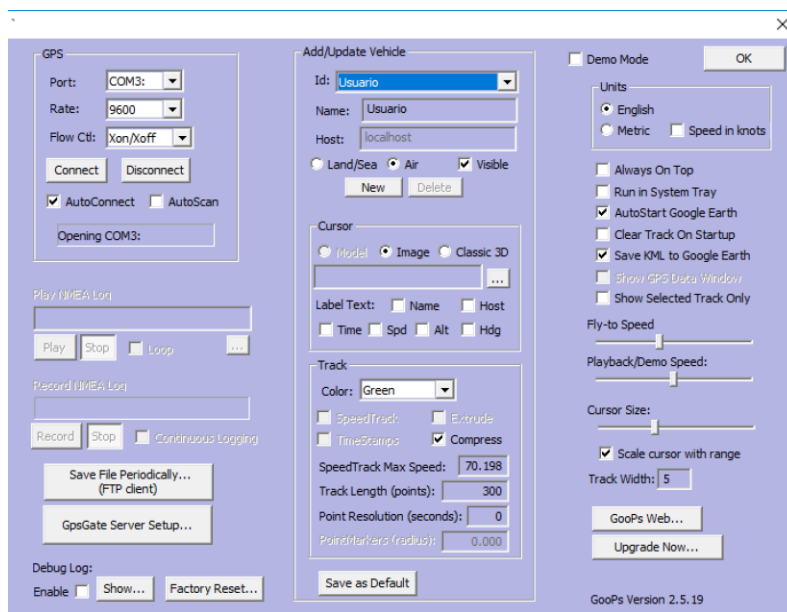
Figura 40. Pantalla de inicio software GooPs



Fuente: captura de pantalla, software GooPs.

- AutoTrack, al seleccionar este campo, se activa la localización del lugar en las coordenadas GPS recibidas en el puerto de comunicaciones.
- “Usuario”, es el nombre del perfil de configuraciones personalizado para mostrar la ubicación del módulo de control, se pueden seleccionar entre los perfiles guardados con el menú desplegable en la pantalla de inicio.
- Pause, este botón pone en pausa la recepción de coordenadas GPS del puerto de comunicaciones.
- Save, este botón fija una marca en el mapa de Google Earth Pro, con las coordenadas recibidas en el puerto de comunicaciones.
- Clear Track, este botón detiene la recepción de coordenadas GPS del puerto de comunicaciones.
- Options, este botón abre el menú de configuraciones personalizadas, el cual se detalla a continuación.

Figura 41. **Menú de configuraciones, software GooPs**



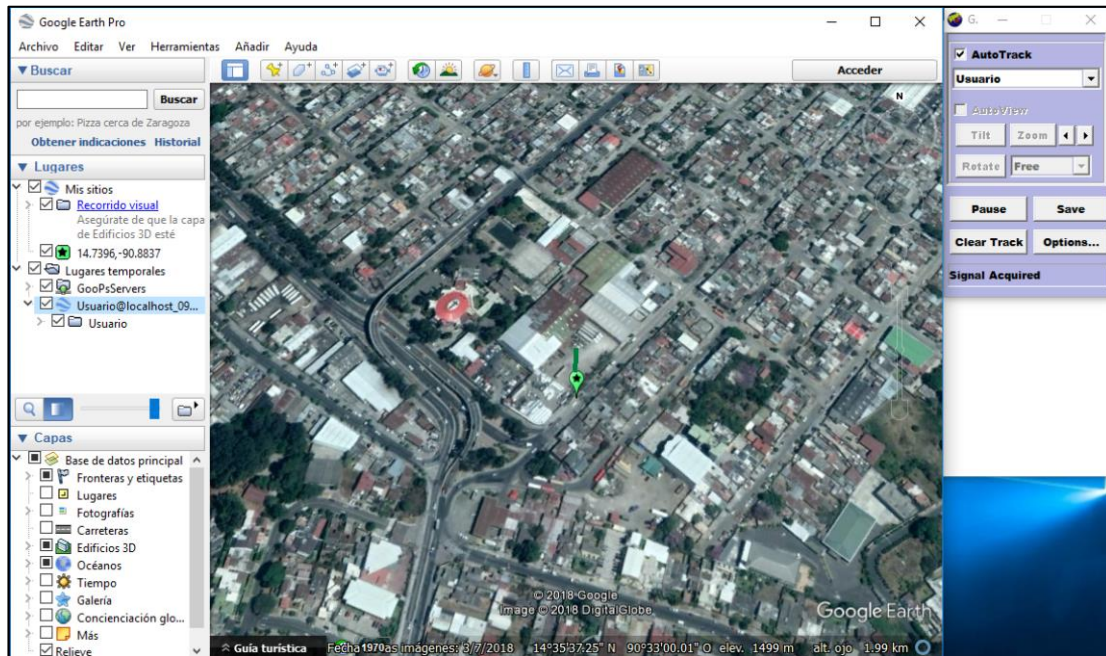
Fuente: captura de pantalla, software GooPs.

La figura 41 muestra el menú de configuraciones personalizadas para mostrar las coordenadas GPS recibidas en un puerto de comunicaciones en la computadora al software de mapas Google Earth Pro, se detallan las configuraciones más importantes realizadas:

- Port: en este campo desplegable se selecciona el puerto de comunicaciones por el cual se va a recibir la información de coordenadas GPS.
- Rate: en este campo se selecciona tasa a la que va a ser recibida la información en el puerto serial.
- Id: en este campo se selecciona el perfil de configuraciones personalizadas guardado previamente.
- Name: en este campo se escribe el nombre que se desea asignar a las configuraciones realizadas por el usuario.

La figura 42 muestra la conexión del software GooPs con el software de mapas Google Earth Pro, la recepción en tiempo real de coordenadas GPS se muestra en la parte izquierda, en la carpeta “Lugares temporales”, dentro de la misma se encuentra la carpeta “GooPsServers”, que es la carpeta creada por el software GooPs, para mostrar los marcadores de ubicación en el mapa, en color verde.

Figura 42. Enlace entre GooPs y Google Earth Pro



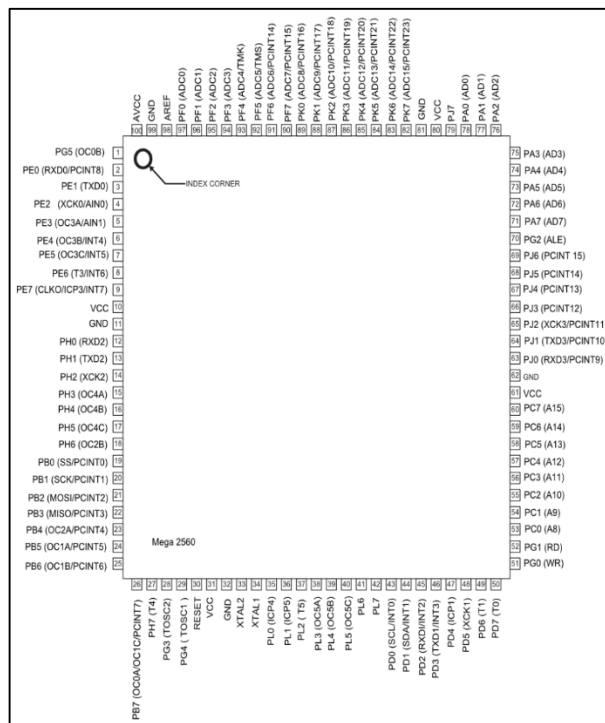
Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth Pro y GooPs.

4.6. Microcontrolador y diseño electrónico

El microcontrolador administra las operaciones del módulo de control. El microcontrolador procesa la solicitud de información formulada por el usuario a través del teclado de funciones. Este envía la solicitud al módulo de adquisición de datos que, a su vez, responde con la información solicitada. La información se muestra en la pantalla LCD o se envía a la computadora. El microcontrolador es alimentado mediante la conexión USB a la computadora, a través de esta conexión se envía la información del GPS para ser mostrada en un software de mapas.

Se utilizó el microcontrolador ATMEGA2560, montado en la placa de desarrollo Arduino Mega, cuyo diagrama se muestra en la figura 36. Utiliza un conector USB para conectarse a una computadora y para alimentación, posee 54 pines de entrada/salida digitales y 16 pines de entrada analógicos

Figura 43. Diagrama del microcontrolador ATMEGA2560



Fuente: ATMEGA2560 pinout. <https://www.arduino.cc/en/uploads/Hacking/PinMap2560big.png>.

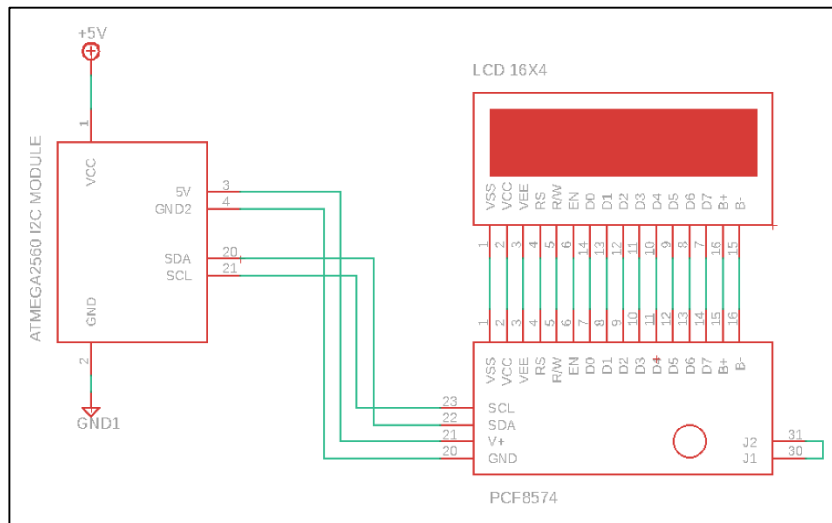
Consulta: 17 de julio de 2018.

El microcontrolador posee los módulos internos para conectarse con hardware externo que utilice los protocolos SPI, I2C y UART, el funcionamiento del microcontrolador y sus módulos se programa en lenguaje C.

4.6.1. Diagramas esquemáticos

La pantalla LCD se conecta al adaptador I2C directamente, las terminales SDA y SCL del adaptador se conectan a las terminales SPI del microcontrolador, el módulo es alimentado con la salida de 5 voltios del microcontrolador. El brillo de la pantalla es ajustado con el potenciómetro integrado en la placa del adaptador I2C PCF8574. La utilización del módulo I2C se traduce en el ahorro de terminales de conexión, ya que se reducen las terminales necesarias de 16 a 4.

Figura 44. Diagrama esquemático, conexión de la pantalla LCD

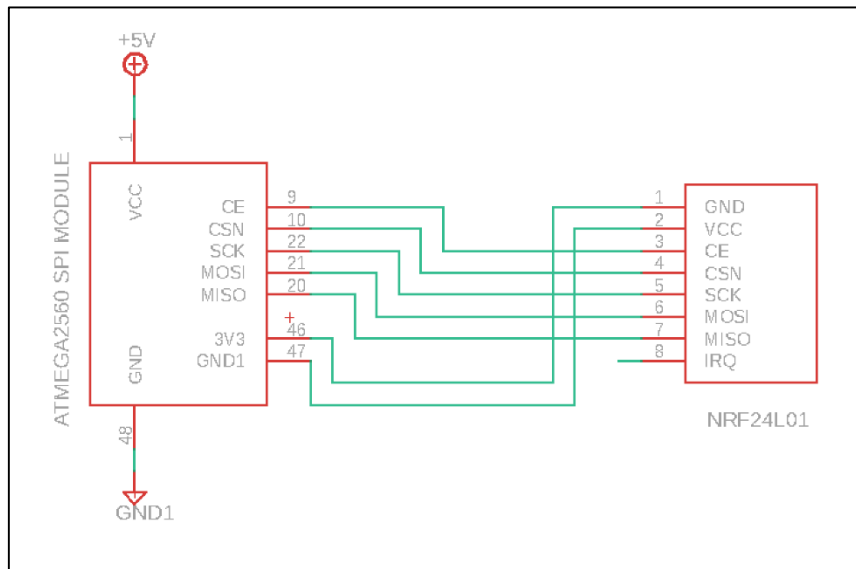


Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

El módulo inalámbrico NFR24L01 es alimentado con un voltaje de 3.3 voltios, el cual se obtiene de una terminal del microcontrolador. Los pines de conexión SPI se conectan directamente al módulo SPI del microcontrolador, no es necesaria circuitería externa para esta conexión. La comunicación con el

módulo inalámbrico se administra en el programa que se carga al microcontrolador.

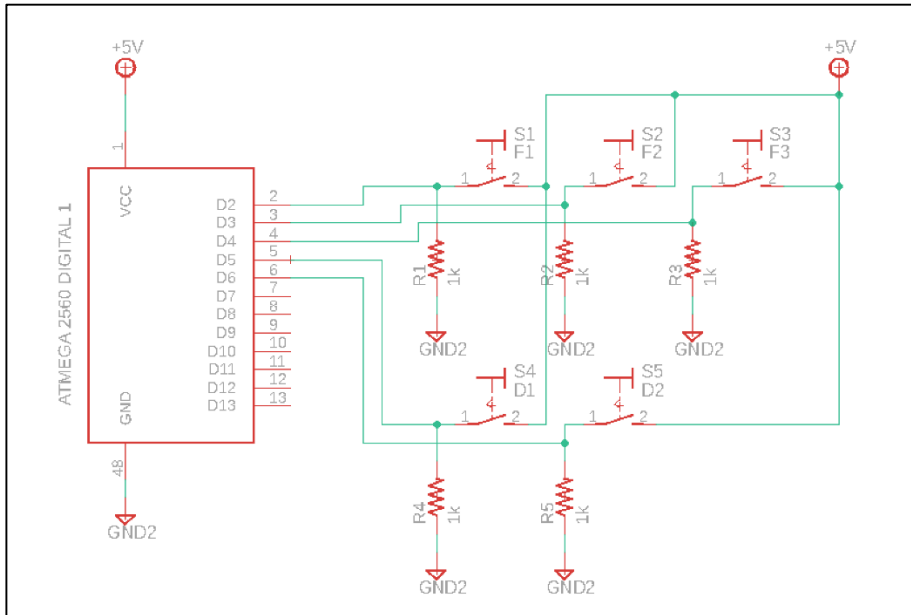
Figura 45. **Diagrama esquemático, conexión del módulo inalámbrico**



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

En el teclado de funciones se emplean pulsadores que, al ser presionados, hacen cambiar el nivel lógico de voltaje en las resistencias conectadas a las entradas digitales del microcontrolador. El cambio de nivel lógico “0” a nivel lógico “1” activa la función asociada a cada botón en el microcontrolador.

Figura 46. Diagrama esquemático, conexión del teclado de funciones



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

4.6.2. Componentes y presupuesto

La tabla VII detalla los componentes utilizados en la elaboración del módulo de control y el presupuesto utilizado en la implementación de este.

Tabla VII. Componentes del módulo de control

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Arduino MEGA	1	Q 190,00	Q 190,00
Módulo NFR24L01 con antena	1	Q 115,00	Q 115,00
Pantalla LCD 16X4	1	Q 90,00	Q 90,00
Adaptador I2C PCF8574	1	Q 20,00	Q 20,00
Placa de cobre	1	Q 20,00	Q 20,00

Continuación de la tabla VII.

Cable dupont	16	Q 2,00	Q 32,00
Resistencia de 10K Ω	5	Q 0,50	Q 2,50
Pulsador NA	5	Q 3,00	Q 15,00
Fila de 20 pines IDC SIL macho	2	Q 5,00	Q 10,00
Materiales varios	--	--	Q 40,00
		Total	Q 534,50

Fuente: elaboración propia.

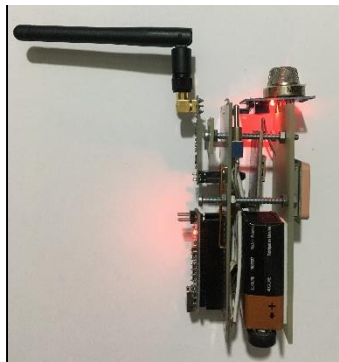
5. DISEÑO FINAL Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO MODULAR

A continuación, se describe el funcionamiento del sistema modular y se documenta las mediciones de concentración de dióxido de carbono realizadas en diferentes localidades mediante un muestreo de mediciones para un área en específico.

5.1. Montaje final

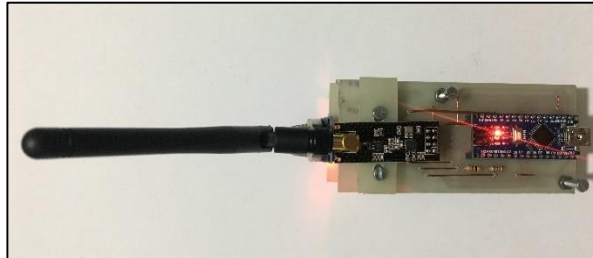
La figura 47 muestra la vista lateral del módulo de adquisición de datos y la figura 48 muestra la vista frontal del mismo, los componentes se ubicaron de tal forma que el ensamblaje fuese compacto y portable. La batería, microcontrolador, sensores y antena son desmontables, lo que facilita su reemplazo en caso de ser necesario.

Figura 47. **Módulo de adquisición de datos, vista lateral**



Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Módulo de adquisición de datos, vista frontal**



Fuente: elaboración propia.

La figura 49 muestra la vista frontal del módulo de control. En cada botón se indican las funciones asociadas a estos, descritas en el capítulo 4 de este documento.

Figura 49. **Módulo de adquisición de datos**



Fuente: elaboración propia.

5.2. Recepción de datos

Se muestra en la figura 50 los datos adquiridos en el módulo de control, para un lugar específico del módulo de adquisición de datos. En la figura 51 se muestra el marcador en el software Google Earth Pro para la ubicación adquirida del módulo de adquisición de datos en tiempo real.

Figura 50. **Módulo de control, datos adquiridos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Ubicación adquirida, módulo de adquisición de datos**



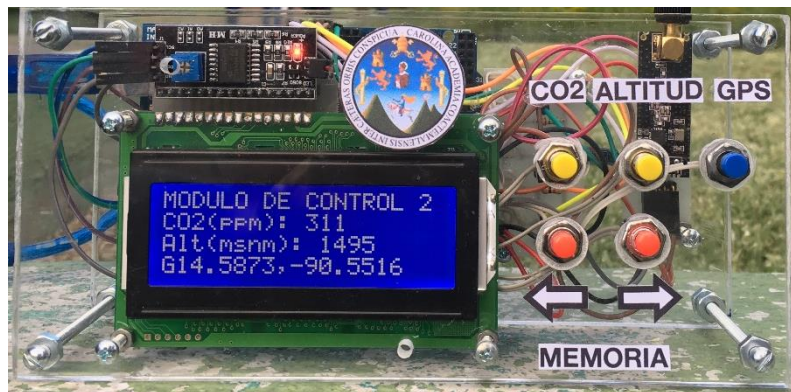
Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

5.2.1. Bancos de memoria

El módulo de control almacena 10 muestras de datos para concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, altitud y coordenadas GPS del módulo de adquisición de datos para diferentes lugares donde este se ubique. Los bancos de memoria se numeran del 0 al 9 y se muestra en la pantalla LCD del módulo de control en la esquina superior derecha, los bancos de memoria se muestran mediante los controles de desplazamiento etiquetados con flechas.

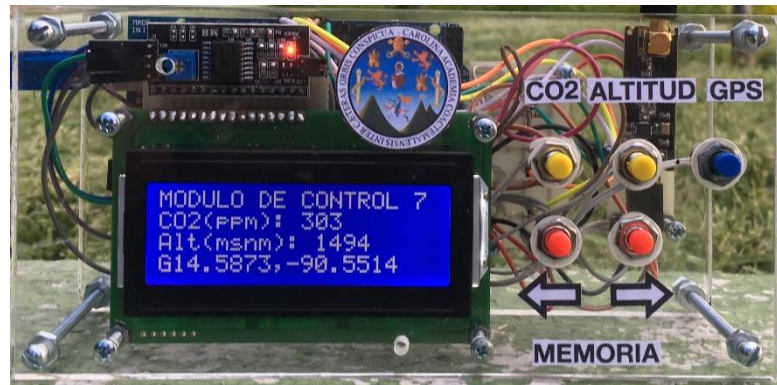
La figura 52 muestra los datos almacenados en el banco de memoria 2 y la figura 52 muestra los datos almacenados en el banco de memoria 7.

Figura 52. **Módulo de control, banco de memoria 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Módulo de control, banco de memoria 7**



Fuente: elaboración propia.

5.3. Lugares documentados

Se realizaron mediciones de concentración de CO₂ en 5 localidades dentro de la Universidad de San Carlos y en Comalapa, municipio de Chimaltenango. Se muestran los marcadores ubicados en Google Earth Pro y los datos obtenidos de altitud, coordenadas GPS y concentración de CO₂ para cada uno de los marcadores.

Figura 54. Localidad 1, Plaza de los Mártires, Universidad de San Carlos



Fuente, elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

Tabla VIII. Localidad 1, datos obtenidos

No. de muestra	Concentración de CO ₂ (ppm)	Altitud (m)	Coordenadas GPS
0	298	1494	14.5873,-90.5521
1	323	1495	14.5873,-90.5519
2	311	1495	14.5873,-90.5516
3	311	1494	14.5874,-90.5514
4	298	1497	14.5877,-90.5513
5	318	1496	14.5879,-90.5513
6	337	1498	14.5880,-90.5515
7	303	1494	14.5873,-90.5514
8	330	1498	14.5880,-90.5518
9	357	1496	14.5877,-90.5520

Fuente: datos obtenidos con el módulo de control, 5 de septiembre de 2018.

Figura 55. **Localidad 2, paso peatonal, Universidad de San Carlos**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

Tabla IX. **Localidad 2, datos obtenidos**

No. de muestra	Concentración de CO ₂ (ppm)	Altitud (m)	Coordenadas GPS
0	359	1493	14.5861,-90.5531
1	359	1494	14.5859,-90.5534
2	383	1492	14.5857,-90.5537
3	385	1491	14.5855,-90.5540
4	392	1489	14.5854,-90.5538
5	392	1490	14.5854,-90.5534
6	404	1491	14.5853,-90.5532
7	406	1492	14.5853,-90.5528
8	423	1492	14.5856,-90.5527
9	460	1493	14.5862,-90.5527

Fuente: datos obtenidos con el módulo de control, 5 de septiembre de 2018.

Figura 56. **Localidad 3, parqueo Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

Tabla X. **Localidad 3, datos obtenidos**

No. de muestra	Concentración de CO ₂ (ppm)	Altitud (m)	Coordenadas GPS
0	469	1491	14.5867,-90.5528
1	516	1491	14.5868,-90.5531
2	698	1494	14.5868,-90.5535
3	528	1492	14.5869,-90.5539
4	550	1492	14.5870,-90.5539
5	564	1491	14.5876,-90.5538
6	532	1494	14.5880,-90.5538
7	546	1494	14.5880,-90.5533
8	584	1493	14.5878,-90.5527
9	584	1493	14.5876,-90.5526

Fuente: datos obtenidos con el módulo de control, 5 de septiembre de 2018.

Figura 57. **Localidad 4, afueras de Comalapa, Chimaltenango**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

Tabla XI. **Localidad 4, datos obtenidos**

No. de muestra	Concentración de CO ₂ (ppm)	Altitud (m)	Coordenadas GPS
0	271	2116	14.7460, -90.8867
1	275	2117	14.7463, -90.8866
2	280	2119	14.7465, -90.8866
3	269	2121	14.7467, -90.8865
4	267	2122	14.7470, -90.8864
5	282	2124	14.7471, -90.8863
6	284	2125	14.7473, -90.8862
7	290	2127	14.7475, -90.8861
8	289	2129	14.7478, -90.8860
9	291	3131	14.7480, -90.8859

Fuente: datos obtenidos con el módulo de control, 25 de agosto de 2018.

Figura 58. **Localidad 5, área poblada, Comalapa, Chimaltenango**



Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

Tabla XII. **Localidad 5, datos obtenidos**

No. de muestra	Concentración de CO₂ (ppm)	Altitud (m)	Coordenadas GPS
0	267	2164	14.5867,-90.5528
1	263	2162	14.5868,-90.5531
2	255	2159	14.5868,-90.5535
3	260	2156	14.5869,-90.5539
4	263	2151	14.5870,-90.5539
5	253	2148	14.5876,-90.5538
6	261	2145	14.5880,-90.5538
7	261	2140	14.5880,-90.5533
8	262	2134	14.5878,-90.5527
9	264	2131	14.5876,-90.5526

Fuente: datos obtenidos con el módulo de control, 25 de agosto de 2018.

CONCLUSIONES

1. El dispositivo desarrollado es capaz de realizar las funciones de medición de dióxido de carbono en la atmósfera, ubicación en coordenadas GPS y comunicación bidireccional inalámbrica por radiofrecuencias entre sus dos módulos.
2. La abundancia de dióxido de carbono en la atmósfera en los ambientes a los que está expuesto el ser humano, solo representa efectos nocivos inmediatos en concentraciones arriba de 1000 ppm.
3. Los componentes electrónicos utilizados en la implementación de los módulos del dispositivo son los adecuados para los requerimientos planteados para cada uno de ellos.
4. La red abierta de satélites destinados al sistema de ubicación GPS permitió agregar esta función al dispositivo desarrollado, sin embargo, en ambientes cerrados construidos con materiales metálicos no es posible contar con esa función.
5. La ubicación en tiempo real del módulo de adquisición de datos se realizó con éxito empleando los programas informáticos GooPs y Google Earth Pro en conjunto, ambos con licencia de uso abierta.
6. En general, en ambientes boscosos, según las mediciones realizadas, la calidad del aire es superior.

RECOMENDACIONES

1. El módulo de adquisición de datos debe poseer un controlador de carga y descarga para la batería utilizada, logrando así un acceso rápido para la carga de esta sin removerla del módulo.
2. Diseñar una carcasa plástica para el módulo de adquisición de datos, aislando los componentes electrónicos de la manipulación, dejando solo el puerto de carga al alcance el usuario.
3. Emplear un microcontrolador más pequeño en el módulo de control, de tal forma que todos los componentes electrónicos puedan ser conectados en una sola placa y con esto reducir su tamaño.
4. Realizar las mediciones con los módulos en ambientes abiertos, la presencia de construcciones y objetos metálicos se traduce en una comunicación inalámbrica defectuosa entre los módulos del dispositivo.
5. Posicionar la antena cerámica del sensor GPS orientada hacia el cielo, para obtener una recepción óptima de la señal de los satélites de la red GPS global.
6. La sensibilidad del sensor de gases utilizado en el dispositivo cambia con el tiempo debido sus propiedades electrónicas y químicas, el dispositivo modular debe utilizarse con fines investigativos y no en situaciones en donde se determine la seguridad de personas.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAUER, Patricia. *Carbon Dioxide: Chemical Compound*. [en línea]. <<https://www.britannica.com/science/carbon-dioxide>> [Consulta: 18 de abril de 2018].
2. BBC Earth. *Changes in the Environment: Climate Change*. [en línea]. <http://www.bbc.co.uk/bitesize/ks3/science/environment_earth_universe/changes_in_environment/revision/6/> [Consulta: 18 de abril de 2018].
3. BBC Weather Centre. *Carbon Dioxide: Climate Change, Evidences*. [en línea]. <http://www.bbc.co.uk/climate/evidence/carbon_dioxide.shtml> [Consulta: 18 de abril de 2018].
4. BLOM, Jim. *Serial Communication*. [en línea]. <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>> [Consulta: 2 de mayo de 2018].
5. CALAIS, Eric. *The Global Positioning System*. [en línea]. <http://web.ics.purdue.edu/~ecalais/teaching/geodesy/GPS_observables.pdf> [Consulta: 30 de abril de 2018].

6. Center for Climate and Energy Solutions. *Main Greenhouse Gases.* [en línea]. <<https://www.c2es.org/content/main-greenhouse-gases/>> [Consulta: 18 de abril de 2018].
7. Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional. *Dióxido de carbono: Efectos en la Salud.* [en línea]. <http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/carbon_dioxide/health_cd.html#top> [Consulta: 19 de abril de 2018].
8. CO2 Meter. *CO₂ Gas Concentration Defined.* [en línea]. <<https://www.co2meter.com/blogs/news/15164297-co2-gas-concentration-defined>> [Consulta: 18 de abril de 2018].
9. DRAEGER. *Introducción a los Sistemas de Detección de Gases.* [en línea]. <https://www.draeger.com/Library/Content/9046703_infoflip_gds_es_13.pdf> [Consulta: 26 de abril de 2018].
10. FRIEDMAN, Daniel. *Exposure Limits for Carbon Dioxide Gas.* [en línea]. <https://inspectapedia.com/hazmat/Carbon%20Dioxide_Exposure_Limits.php> [Consulta: 19 de abril de 2018].
11. _____ . *Health Effects of Exposure to High Levels of Carbon Dioxide Gas Exposure.* [en línea]. <https://inspectapedia.com/hazmat/CO2_Health_Effects.php#reviewers> [Consulta: 19 de abril de 2018].

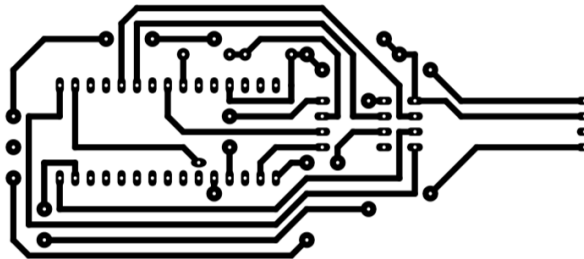
12. HAYKIN, Simon. *Sistemas de Comunicación*. 1a ed. México: LIMUSA. 2002. 817p.
13. JONHK, Carl T.A. *Teoría Electromagnética, Principios y Aplicaciones*. 1a ed. México: LIMUSA. 1981. 741p.
14. LAMB, Sheri. *How Does Carbon Dioxide Affect the Environment?* . [en línea]. <<https://sciencing.com/carbon-dioxide-affect-environment-8583965.html>> [Consulta: 18 de abril de 2018].
15. LINDSEY, Rebecca. *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*. [en línea]. <<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>> [Consulta: 18 de abril de 2018].
16. MikroElektronika. *Introducción al mundo de los microcontroladores*. [en línea]. <<https://www.mikroe.com/ebooks/microcontroladores-pic-programacion-en-c-con-ejemplos/introduccion-al-mundo-de-los-microcontroladores>> [Consulta: 25 de abril de 2018].
17. National Geographic. *Air Pollution Causes, Effects and Solutions*. [en línea]. <<https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/pollution/>> [Consulta: 18 de abril de 2018].

18. Organización Meteorológica Mundial. *Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero*. [en línea]. <https://library.wmo.int/pmb_ged/ghg-bulletin_11_es.pdf> [Consulta: 18 de abril de 2018].
19. PETZ, Bob. *Greenhouse Gas Concentrations at Highest Recorded Levels, Despite Economic Slowdown*. [en línea]. <<http://www.ecology.com/2010/11/24/greenhouse-gas-concentrations/>> [Consulta: 18 de abril de 2018].
20. Wikipedia. *Dióxido de Carbono*. [en línea] <https://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono#Detecci%C3%B3n_y_cuantificaci%C3%B3n> [Consulta: 18 de abril de 2018].

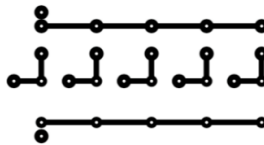
APÉNDICES

Apéndice 1. **Diseño de circuitos impresos utilizados en el dispositivo**

Módulo de adquisición de datos



Módulo de control, pulsadores



Módulo de control, pantalla LCD



Fuente: elaboración propia, empleando PCB Wizard.

Apéndice 2. **Fotografías de módulos del dispositivo**

Módulo de adquisición de datos



Módulo de control.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Código fuente, módulo de adquisición de datos

```
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS++.h>

TinyGPSPlus tigps;

SoftwareSerial gps(5,4);

RF24 modulo(7, 8);

byte canal_L[5] = {'l', 'i', 'n', 'e', '1'};
byte canal_E[5] = {'l', 'i', 'n', 'e', '2'};

char loc;
float alt;
float lon;
float lati;
float latitud;
float longitud;

String latlon="";
String slat="";
String slon="";

unsigned int t = 0;

float temp = 0;

const int MQ_PIN = A7;
const int RL_VALUE = 1;
const float R0 = 7.4;

const int READ_SAMPLE_INTERVAL = 100;
const int READ_SAMPLE_TIMES = 5;

const float X0 = 10;
const float Y0 = 2.3;
const float X1 = 200;
const float Y1 = 0.8;
```

Continuación del apéndice 3.

```
const float punto0[] = { log10(X0), log10(Y0) };
const float punto1[] = { log10(X1), log10(Y1) };

const float scope = (punto1[1] - punto0[1]) / (punto1[0] - punto0[0]);
const float coord = punto0[1] - punto0[0] * scope;

void setup(void)
{
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);
  delay(200);

  gps.begin(9600);
  delay(200);

  IniciarNrf();

  modulo.setRetries(15, 15);

  modulo.openWritingPipe(canal_E);
  modulo.openReadingPipe(1, canal_L);
  modulo.startListening();
}

void loop(void)
{
  float rs_med = readMQ(MQ_PIN);
  float temp = getConcentration(rs_med/R0);

  slat=String(int(lati))+ "."+String(getDecimal(lati));
  slon=String(int(lon))+ "."+String(getDecimal(lon));
  latlon=slat+","+slon;

  char char1[latlon.length()+1];
  latlon.toCharArray(char1,latlon.length()+1);

  while (gps.available() && !modulo.available()) {
    tigps.encode(gps.read());
    if (tigps.altitude.isUpdated()) {
```

Continuación del apéndice 3.

```
        alt=tigps.altitude.meters();

        Serial.println(alt);
        delay(200);
    }

    if (tigps.location.isUpdated()){
        lati=tigps.location.lat();
        lon=tigps.location.lng();
        Serial.println(lati,4);
        Serial.println(lon,4);
        delay(200);
    }
}

if ( modulo.available() )
{
    char op; //operacion
    bool done = false;
    while (!done)
    {
        modulo.read( &op, sizeof(op) );
        if (op > 0) done = true;

        if(done) {Serial.println("recibido");Serial.println(op);}else{Serial.println("error");}

        delay(30);
    }
    modulo.stopListening();
    if (op == 'p')
    {
        delay(100);

        modulo.write( &char1, sizeof(char1)+1);
        Serial.println(char1);
        Serial.println();

        delay(30);

        int i=0;
        while(i<10000) {
            if(gps.available() {
                loc=gps.read();
                Serial.write(loc);
                i=i+1;
            }
        }
    }
}
```


Continuación del apéndice 3.

```
} else if (op == 'l')
{
    delay(100);

    Serial.println(alt);

    bool ok = modulo.write( &alt, sizeof(alt));
    if(ok){Serial.println("enviado");}else{Serial.println("no
enviado");}
    delay(30);

} else if (op == 't')
{

    delay(100);
    bool ok = modulo.write( &temp, sizeof(float));
    if(ok){Serial.println("enviado");}else{Serial.println("no
enviado");}

    delay(30);

}else
{

    delay(30);

}

modulo.startListening();
}
}

float readMQ(int mq_pin)
{
    float rs = 0;
    for (int i = 0;i<READ_SAMPLE_TIMES;i++) {
        rs += getMQResistance(analogRead(mq_pin));
        delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    return rs / READ_SAMPLE_TIMES;
}

float getMQResistance(float raw_adc)
{
    return (((float)RL_VALUE / 1000.0*(1023 - raw_adc) / raw_adc));
}
```

Continuación del apéndice 3.

```
float getConcentration(float rs_ro_ratio)
{
    return pow(10, coord + scope * log(rs_ro_ratio));
}

void IniciarNrf(){
    Serial.println("Iniciando NRF");
    modulo.begin();
    modulo.setPALevel(RF24_PA_MIN);
    modulo.setChannel(124);
    boolean r= modulo.setDataRate(RF24_250KBPS);
    if (r){Serial.println("Cambio velocidad
OK");}else{Serial.println("Cambio velocidad ERROR");}
}

long getDecimal(float val)
{
    int intPart = int(val);
    long decPart = 10000*(val-intPart);

    if(decPart>0) return(decPart);
    else if(decPart<0) return((-1)*decPart);
    else if(decPart=0) return(00);
}
```

Fuente: elaboración propia, empleando Arduino IDE.

Apéndice 4. Código fuente, módulo de control

```
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

RF24 radio(8, 9);

byte canal_E[5] = {'1', 'i', 'n', 'e', '1'};
byte canal_L[5] = {'1', 'i', 'n', 'e', '2'};
char fun[3] = {'p', 'l', 't'};

int val=0;
int val2=0;
int val3=0;
int val4=0;
int val5=0;
int prestate=0;
int prestate2=0;
int prestate3=0;
int prestate4=0;
int prestate5=0;

int pos=0;

float altitud[10]={0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
float concen[10]={0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
String lug[10];

void setup(void)
{
  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(3, INPUT);
  pinMode(4, INPUT);
  pinMode(5, INPUT);
  pinMode(6, INPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);

  lcd.init();
  lcd.backlight();
```

Continuación del apéndice 4.

```
//Mensaje inicial
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("MODULO DE CONTROL");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("CO2(ppm):");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Alt(msnm):");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("G");

IniciarNrf();

radio.setRetries(15, 15);
radio.openWritingPipe(canal_E);
radio.openReadingPipe(1, canal_L);
Serial.println("Sistema de comunicacion con nRF24L01");
}

void loop(void)
{
    radio.stopListening();
    delay(20);
    val=digitalRead(6);
    val2=digitalRead(5);
    val3=digitalRead(4);
    val4=digitalRead(2);
    val5=digitalRead(3);

    if (val != prestate){

        if (val==1){

            bool ok = radio.write(&fun[0], sizeof(fun[0]));

            if(ok){Serial.println("enviado");}else{Serial.println("no enviado");}

            radio.flush_rx();
            delay(30);
            radio.startListening();
            unsigned long started_waiting_at = millis();
            bool timeout = false;
            while ( ! radio.available() && ! timeout )
                if (millis() - started_waiting_at > 1500 )
                    timeout = true;
            if ( timeout ){
```

Continuación del apéndice 4.

```
    lcd.setCursor(5,3);
    lcd.print("          ");
    lcd.setCursor(5,3);
    lcd.print("No data");
    delay(30);
}else
{
    char Loc[20]="";
    delay(10);
    radio.read( &Loc, sizeof(Loc));
    lug[pos]=Loc;
    lcd.setCursor(1,3);
    lcd.print("          ");
    lcd.setCursor(1,3);
    lcd.print(Loc);
    Serial.println(Loc);
}

delay(500);
}
}

if (val2 != prestate2){

    if (val2==1){

        bool ok = radio.write(&fun[1], sizeof(fun[1]));

        if(ok){Serial.println("enviado");}else{Serial.println("no enviado");}

        radio.flush_rx();
        delay(30);
        radio.startListening();
        unsigned long started_waiting_at = millis();
        bool timeout = false;
        while ( ! radio.available() && ! timeout )
            if (millis() - started_waiting_at > 1000 )
                timeout = true;
        if ( timeout ){

            lcd.setCursor(11,2);
            lcd.print("          ");
            lcd.setCursor(11,2);
            lcd.print("No data");
            delay(30);
        }else
        {
```

Continuación del apéndice 4.

```
float Alt=0.0;

delay(10);
radio.read( &Alt, sizeof(Alt));
altitud[pos]=Alt;

lcd.setCursor(11,2);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(11,2);
lcd.print(Alt,0);
Serial.print(Alt);
}
delay(500);
}
}

if (val3 != prestate3){

    if (val3==1){

        bool ok = radio.write(&fun[2], sizeof(fun[2]));
        if(ok){Serial.println("enviado");}else{Serial.println("no enviado");}
        radio.flush_rx();
        delay(30);
        radio.startListening();
        unsigned long started_waiting_at = millis();
        bool timeout = false;
        while ( ! radio.available() && ! timeout )
            if (millis() - started_waiting_at > 1000 )
                timeout = true;
        if ( timeout ){

            lcd.setCursor(10,1);
            lcd.print(" ");
            lcd.setCursor(10,1);
            lcd.print("No data");
            delay(30);
        }else
        {
            float Con=0;

            delay(10);
            radio.read( &Con, sizeof(Con));
            concen[pos]=Con;

            lcd.setCursor(10,1);
```

Continuación del apéndice 4.

```
    lcd.print("          ");
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print(Con,0);
    Serial.print(Con);
  }
  delay(500);
}

if (val4 != prestate4){

  if (val4==1){

    pos=pos-1;
    if (pos==-1){pos=9;}
    lcd.setCursor(18,0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(18,0);
    lcd.print(pos);

    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print("          ");
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print(concen[pos],0);

    lcd.setCursor(11,2);
    lcd.print("          ");
    lcd.setCursor(11,2);
    lcd.print(altitud[pos],0);

    lcd.setCursor(1,3);
    lcd.print("          ");
    lcd.setCursor(1,3);
    lcd.print(lug[pos]);

    delay(500);

  }
}

if (val5 != prestate5){

  if (val5==1){

    pos=pos+1;
    if (pos==10){pos=0;}
    lcd.setCursor(18,0);
```

Continuación del apéndice 4.

```
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(18,0);
lcd.print(pos);

lcd.setCursor(10,1);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print(concen[pos],0);

lcd.setCursor(11,2);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(11,2);
lcd.print(altitud[pos],0);

lcd.setCursor(1,3);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(1,3);
lcd.print(lug[pos]);

delay(500);

}
}
delay(20);
val=prestate;
val2=prestate2;
val3=prestate3;
val4=prestate4;
val5=prestate5;
delay(20);
}

void IniciarNrf(){

Serial.println("Iniciando NRF");
boolean s=radio.begin();
if (s){Serial.println("iniciado");}else{Serial.println("error inicio");}
radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
radio.setChannel(124);
boolean r= radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
if (r){Serial.println("Cambio velocidad
OK");}else{Serial.println("Cambio velocidad ERROR");}
}
```

Fuente: elaboración propia, empleando Arduino IDE.

