

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS
ELECTRÓNICOS Y DE TELECOMUNICACIONES

**Desarrollo de un Sistema de Monitoreo Inalámbrico
para tanques de almacenamiento de agua potable
en la Ciudad de México**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

**LICENCIADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS
ELECTRÓNICOS Y DE TELECOMUNICACIONES**

P R E S E N T A N :

**ELENA RODRÍGUEZ ALVA
OMAR TORRES GUEVARA**

D I R E C T O R

DR. SEBASTIÁN IBARRA ROJAS

Ciudad de México, junio de 2021

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

AGRADECIMIENTOS.

Elena Rodríguez Alva

A Dios por dejarme vivir este momento, por todo lo que me ha dado durante mi vida.

A mi padre por todo tu amor y sacrificio, para que yo fuera alguien en la vida, gracias infinitas hasta el cielo, te quiero Papá

A mi madre por el apoyo que he tenido hasta este momento, gracias por todo mamá.

A mi hija, esto es por ti mi amor, te amo.

A mis hermanos Teresa, Francisco y Ángel por todo el apoyo y en especial a ti Ángel porque me diste otra esperanza de vida, ¡eternamente agradecida contigo!

Al director de tesis Dr. Sebastián Ibarra por todo el apoyo durante mi carrera, por los regaños y consejos, todo mi cariño y respetos para usted.

Omar Torres Guevara

A mi madre, que desde el cielo guía cada uno de mis pasos.

A mi padre, por todos y cada uno de sus consejos.

A mi esposa, por todo su apoyo y amor incondicional.

A mi hija, por ser el motor que me impulsa a ser mejor.

A mi familia, por siempre estar a mi lado.

A mis maestros, por darme las herramientas para mi desarrollo profesional.

SÍNTESIS.

En el presente documento, se describe el diseño, implementación y pruebas de operación de un sistema de monitoreo inalámbrico en tiempo real, para la medición de nivel de agua y actuación de una bomba en un tanque de almacenamiento a escala. La motivación del presente trabajo se deriva de una de las problemáticas del sistema de aguas, que es el desabasto y el desperdicio del líquido y está basado en la operación actual del sistema de monitoreo de una parte del sistema de aguas de la Ciudad de México, de acuerdo a nuestra experiencia profesional.

El objetivo principal de este trabajo es obtener y visualizar en tiempo real y de forma remota, datos para medir la variación de los niveles de agua contenida en los tanques, lo que nos podrá auxiliar en el análisis del consumo y agilizar la detección de fugas (por medio de variaciones de la medición que estén fuera de los parámetros regulares de consumo) y la pronta respuesta al presentarse una falla.

El sistema basa su operación en el uso de un sensor ultrasónico de reflexión (o de eco) acondicionado para medir la cantidad de líquido en un tanque contenedor y en el uso de dispositivos de comunicación inalámbricos con diferentes tecnologías de comunicación. Estos dispositivos son módulos XBee que utilizan tecnología de comunicación ZigBee basada en el estándar IEEE 802.15.4, así mismo se utilizó la tarjeta de desarrollo NodeMCU que tiene una conectividad WiFi, lo que permite enviar los datos a través de internet y visualizarlos en una aplicación para teléfono celular.

Una vez obtenida la medición del líquido, esta es enviada por un canal de comunicación inalámbrico a un sistema de monitoreo electrónico de datos, el sistema está dividido en dos partes, el sistema de adquisición de datos 1 que se controla por medio de una PC donde se procesa y almacena dicha información y se acciona el equipo de bombeo, y el sistema de adquisición de datos 2, que se controla por medio de un teléfono celular donde es posible visualizar las mediciones y accionar el equipo de bombeo.

La adquisición de los datos provenientes del sensor y su procesamiento se realizó utilizando la plataforma de programación de Arduino [1], la interface gráfica de usuario se realizó mediante el software Visual Basic de Microsoft [2], el almacenamiento de los valores medidos se efectúa en una base de datos usando el software Access [3] y la implementación de la aplicación móvil se realiza en el sistema operativo Android [4].

La implementación física para comprobar el funcionamiento del sistema sólo es demostrativa por lo que los dispositivos empleados para esto son básicos, así mismo se fabricó un contenedor que simula un tanque de almacenamiento real.

RESUMEN.

Capítulo 1.

Se describen las características principales de los diferentes tipos de comunicaciones inalámbricas, topologías, tecnologías, modelos de referencia y protocolos.

Capítulo 2.

Se describen las diferentes herramientas de hardware y software que fueron empleadas para la realización del proyecto, como son los sensores, los dispositivos de comunicación y los programas de desarrollo y configuración.

Capítulo 3.

Se describe el diseño de cada uno de los componentes electrónicos que forman al sistema de monitoreo inalámbrico, su configuración, cálculo de parámetros eléctricos y la realización de los códigos de programación para controlarlos y procesar los datos.

Capítulo 4.

Se describen las pruebas realizadas al sistema para comprobar el correcto funcionamiento del mismo, tales como envío y recepción de datos, visualización de datos, operación de la interface gráfica y de la aplicación para el teléfono celular.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	8
Problemática actual del sistema de aguas de la Ciudad de México.....	8
OBJETIVOS.....	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos.....	10
JUSTIFICACIÓN.....	10
CAPÍTULO 1. REDES INALÁMBRICAS.....	13
1.1 DEFINICIÓN.....	13
1.2 MODELOS DE REFERENCIA.....	14
Modelo de referencia OSI.....	14
Suite de protocolos TCP/IP [].	16
1.3 TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS.....	17
WPAN (Redes Inalámbricas de Área Personal).....	18
WLAN (Redes Inalámbricas de Área Local).....	18
WMAN (Redes Inalámbricas de Área Metropolitana).....	18
WWAN (Redes Inalámbricas de Área Amplia).....	18
1.4 TOPOLOGÍAS UTILIZADAS EN REDES INALÁMBRICAS [].	18
Topología en estrella.....	18
Topología en malla.....	19
Topología de árbol.....	19
Topología Bus.....	19
Punto a punto.....	19
Punto de Acceso.....	19
1.5 TECNOLOGÍAS PARA REDES INALÁMBRICAS.....	20
WiFi [].	20
Bluetooth [].	22
ZigBee.....	22
Comparación entre tecnologías.....	23
CAPITULO 2. HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA.....	25
2.1 SENSORES.....	25
Características principales de un sensor.....	25
Tipos de sensores.....	25
2.2 MÓDULOS XBEE.....	27

Circuito básico y terminales del XBee.....	28
Modos de Operación.....	30
Tipos de Módulos.....	31
Tipos de Antenas.....	32
2.3 MÓDULOS ESP8266.....	34
Especificaciones del chip ESP8266 [].....	34
Modos de operación.....	35
Tipos de módulos ESP.....	35
2.4 IDE DE ARDUINO.....	37
2.5 VISUAL BASIC.....	37
Propiedades del lenguaje.....	38
Desventajas.....	38
2.6 PLATAFORMAS DE DESARROLLO IOT.....	39
Blynk.....	40
ThingSpeak.....	40
Ubidots.....	40
Adafruit.IO.....	41
2.7 PROGRAMAS DE APOYO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA.....	41
Base de datos Access.....	41
Programa de diseño Proteus.....	42
Programa de configuración X-CTU.....	42
CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO.....	43
3.1 CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE.....	43
3.2 INTERPRETACIÓN Y CREACIÓN DE TRAMAS.....	46
3.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	47
3.4 SENSOR ULTRASÓNICO SRF-06.....	50
Conversión a una salida de voltaje.....	51
3.5 MÓDULO TRANSMISOR.....	52
3.6 MÓDULO RELEVADOR.....	54
3.7 MÓDULO COORDINADOR.....	59
3.8 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS 1 (SAD1).....	60
Lectura y procesamiento de datos.....	60
Interface gráfica de usuario.....	62
3.9 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS 2 (SAD2).....	68
Consideraciones para el diseño.....	68
Diseño de la aplicación.....	70

CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS.....	73
4.1 DISEÑO DEL CONTENEDOR.	73
4.2 CONDICIONES INICIALES.	73
4.3 PRUEBAS DE OPERACIÓN.	76
Pruebas de operación SAD1.....	76
Pruebas de operación SAD2.....	79
CONCLUSIONES.	82
BIBLIOGRAFÍA.	83
ANEXO A.	85

INTRODUCCIÓN.

Por razones históricas y políticas México es un país muy centralizado, a causa de esto el desarrollo industrial se ha concentrado en la Ciudad de México, en ella se localiza el 45% de la actividad industrial nacional; tiene lugar el 38% de su producto nacional bruto y, junto con la zona conurbada, concentra el 20% de la población del país. La ciudad alberga casi todas las oficinas de gobierno, los centros de negocios nacionales e internacionales, las actividades culturales, las universidades y los institutos de investigación más importantes [5].

A lo largo del tiempo, se ha prestado atención a este crecimiento, proporcionando los servicios urbanos desde la perspectiva de la oferta, es decir, buscando siempre nuevas fuentes de suministro para cumplir con los crecientes requerimientos de servicios. El agua no ha sido la excepción, inicialmente con la explotación del acuífero y posteriormente con el desarrollo de grandes proyectos de infraestructura hidráulica para traer agua del Valle de Lerma (Estado de México) y del Sistema Cutzamala (Estado de México y Michoacán). A pesar del esfuerzo, de las millonarias inversiones y la sobreexplotación de las fuentes de abastecimiento, en muchas zonas de la Ciudad de México el servicio de agua es insuficiente e inadecuado la mayor parte del tiempo, aunado a la gran cantidad de fugas que se presentan a lo largo de todo el sistema de distribución.

El uso eficiente y el ahorro del agua, se han convertido en una necesidad crucial para garantizar la sustentabilidad del recurso, considerándolo como finito y vulnerable, teniendo en cuenta que su gestión, debe basarse en un enfoque participativo, involucrando a usuarios y distribuidores. El uso eficiente del agua implica evaluar, cuantificar y analizar los hábitos de consumo para emprender acciones dirigidas hacia cambios que optimicen su uso, así como a la promoción de prácticas que permitan favorecer el ahorro y la correcta distribución de este recurso [6].

Problemática actual del sistema de aguas de la Ciudad de México.

Los retos que enfrenta el sistema hidráulico de la Ciudad de México en la actualidad son considerables, las condiciones ambientales, geográficas y socioeconómicas; el desmesurado crecimiento poblacional, así como las consecuentes demandas sociales, dan como resultado un conjunto de necesidades difíciles de atender. Esta tendencia sin duda, marca la atención prioritaria de los servicios hidráulicos a fin de cubrir eficiente y adecuadamente las necesidades de sus habitantes.

En materia de agua potable, por ejemplo, se encuentra un déficit estimado en 3 m³/s, provocando que uno punto ocho millones de habitantes reciba un servicio de agua por tandeo, así mismo, su distribución es muy variable, ya que registra entre 120 y 450 litros por habitante al día (l/h/d) [7].

En el caso de la sobreexplotación del acuífero, se ha alcanzado un déficit de 17.79 m³/s, provocando que los hundimientos del terreno alcancen hasta 30 centímetros por año en algunas zonas de la Ciudad [8].

Además, existen importantes problemas de calidad del agua que se extrae del acuífero (específicamente en el oriente de la ciudad), aunado a ello se tiene una antigüedad en la red de 25 años en promedio, con zonas hasta de 70 años o más y con componentes que en muchos casos han rebasado su vida útil.

El suministro de agua potable es indispensable para el sustento de una población y la cobertura de estos servicios está sujeta a la disponibilidad y aprovechamiento sustentable de los recursos hidráulicos, así como a su ubicación respecto a los centros de consumo. En el caso de la Ciudad de México, la alta densidad de población ha generado una fuerte demanda de agua, lo que se ha traducido en una grave problemática agudizada por la insuficiencia de las fuentes de abastecimiento locales, y la consecuente importación de agua de cuencas vecinas.

La cobertura de agua potable es del 97.14%, en términos de conexiones a toma domiciliaria [9], no es posible una conexión del 100% debido al crecimiento demográfico, las condiciones actuales de la infraestructura y la localización geográfica de algunos asentamientos, en este contexto, es necesario reforzar el suministro de agua potable a la Ciudad de México con el desarrollo de nuevas fuentes y la mejora de las actuales.

Dentro de esta cobertura, se presentan pérdidas por fugas y claudestinaje del orden del 42% [10], lo que genera zonas sin servicio y servicio intermitente, principalmente en las alcaldías Álvaro Obregón, Coyoacán, Cuajimalpa, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Miguel Hidalgo, Magdalena Contreras y Tlalpan señaladas en la Figura A.

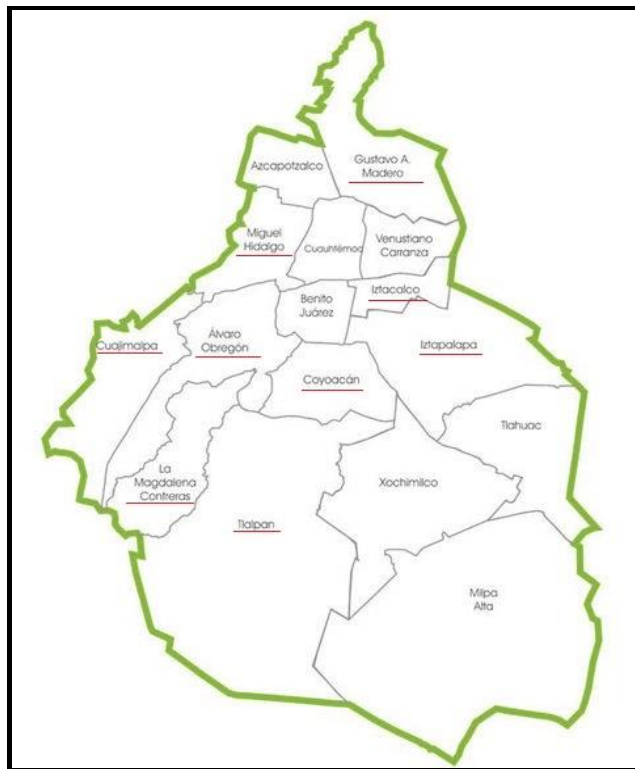


Figura A. Alcaldías con mayor porcentaje de pérdidas de suministro por fugas.

OBJETIVOS.

Objetivo general.

Desarrollar un sistema de monitoreo inalámbrico en tanques de almacenamiento de agua potable que nos permita conocer, en tiempo real, el nivel contenido en estos, para realizar evaluaciones y estadísticas de consumo.

Objetivos específicos.

- Realizar la medición del nivel del agua por medio de una red de sensores ultrasónicos.
- Desarrollar un sistema de adquisición y actuación inalámbrico en tiempo real.
- Implementar una interface gráfica de usuario para la visualización y almacenaje de los datos obtenidos.
- Implementar una aplicación de teléfono celular para la visualización de los datos obtenidos de forma remota.

JUSTIFICACIÓN.

Los sistemas de comunicación inalámbricos han adquirido gran importancia en aplicaciones de monitoreo y control de equipos, estos sistemas consisten en la adquisición de datos de cualquier índole a distancia, mediante sensores o transductores ya sean analógicos o digitales y enviarlos a una estación de control donde estos datos son adquiridos, procesados y visualizados.

En los últimos años han surgido nuevas tecnologías tales como los dispositivos inteligentes de comunicación, los sistemas de comunicación y adquisición de datos (SCADA), sensores analógicos y digitales para múltiples variables, circuitos cerrados de televisión, el internet de las cosas (IoT), dispositivos de radio frecuencia (RF), etc., encaminadas al monitoreo remoto de múltiples sistemas, motivadas por el bajo costo de implementación, seguridad y confiabilidad.

Uno de los retos más importantes que hoy en día se plantean las industrias, es lograr aumentar la productividad, la eficiencia operacional y la reducción de costos. Para lograr esto, es indispensable monitorear y controlar en tiempo real todos los procesos críticos, porque posibilita, en suma, tener información basada en la propia información.

Un sistema de monitoreo a distancia permite la detección oportuna de fallas en la red y mejorar el tiempo de respuesta para su reparación, elimina los tiempos de traslado para verificar el correcto funcionamiento de los equipos y permite tener en tiempo real el valor de los datos que estemos analizando, estos datos se pueden almacenar durante periodos de tiempo determinados y hacer un análisis de los mismos para considerar las mejoras pertinentes a los sistemas.

El sistema de agua potable de la Ciudad de México cuenta con una infraestructura compleja que incluye 13,488 kilómetros de tubería, 360 tanques de almacenamiento, 268 plantas de bombeo, 976 pozos de extracción y 53 plantas potabilizadoras [11].

En el presente proyecto se pretende utilizar la tecnología de telecomunicación inalámbrica para monitorear los niveles de agua contenida en los tanques de almacenamiento.

Un ejemplo de donde puede ser instalado este sistema, son los tanques de almacenamiento ubicados en la Alcaldía Tlalpan del denominado macro sector 7, este sector está conformado de 4 tanques cuyas características se muestran en la Tabla 1.

TANQUE	CAPACIDAD (m ³)	PROFUNDIDAD (m)
TL-3	300	2
TL-4	120	3
TL-5	500	5
TRTL-1	144	4

Tabla 1. Características de los tanques del macro sector 7.

En la Figura 1 se observan la ubicación y las distancias entre cada tanque.



Figura 1. Distancias y ubicación de los tanques del sector.

El sensor ultrasónico sería colocado en la parte superior del tanque, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Ubicación del sensor en el tanque.

La central de monitoreo deberá contar con la acometida eléctrica correspondiente para alimentar el equipo de cómputo y los elementos de comunicación, así como de un modem para proporcionar la conexión WIFI a internet.

Los resultados que se desprendan de la realización de este proyecto permitirán determinar los alcances, limitaciones y mejoras a futuro de este sistema de telecomunicaciones, además de disponer de una plataforma para el desarrollo de proyectos relacionados.

CAPÍTULO 1. REDES INALÁMBRICAS.

1.1 DEFINICIÓN.

Una red inalámbrica es aquella que permite conectar diversos nodos sin utilizar una conexión física (cables), estableciendo la comunicación mediante ondas electromagnéticas, un nodo es un punto de conexión que puede recibir, crear, almacenar o enviar datos a lo largo de rutas de red distribuidas. Cada nodo de la red, tiene una capacidad programada o diseñada para reconocer, procesar y reenviar transmisiones a otros nodos [12]. En febrero de 1980 se formó en el IEEE (Institute of electrical and electronics engineers), un comité de redes locales con la intención de estandarizar un sistema de 1 o 2 Mbps, a este sistema se le asignó el número 802, los grupos de trabajo que se han generado con el paso del tiempo se muestran en la Tabla 2:

Nombre	Descripción	Nota
<u>IEEE 802.1</u>	Normalización de interfaz, protocolos superiores de redes de área local	
<u>IEEE 802.2</u>	Control de enlace lógico	Inactivo
<u>IEEE 802.3</u>	CSMA / CD (ETHERNET)	
<u>IEEE 802.4</u>	Token bus	Disuelto
<u>IEEE 802.5</u>	Token ring	Inactivo
<u>IEEE 802.6</u>	Red de área metropolitana	Disuelto
<u>IEEE 802.7</u>	Grupo Asesor en Banda ancha	Disuelto
<u>IEEE 802.8</u>	Grupo Asesor en Fibras Ópticas	Disuelto
<u>IEEE 802.9</u>	Servicios Integrados de red de Área Local	Disuelto
<u>IEEE 802.10</u>	Seguridad	Disuelto
<u>IEEE 802.11</u>	Redes inalámbricas	
<u>IEEE 802.12</u>	Prioridad por demanda	Disuelto
<u>IEEE 802.13</u>	Se ha evitado su uso por superstición	Sin uso
<u>IEEE 802.14</u>	Modems de cable	Disuelto
<u>IEEE 802.15</u>	Redes de área personal WPAN	
<u>IEEE 802.16</u>	Redes de acceso metropolitanas sin hilos de banda ancha (WIMAX)	
<u>IEEE 802.17</u>	Anillo de paquete elástico	
<u>IEEE 802.18</u>	Grupo de Asesoría Técnica sobre Normativas de Radio	
<u>IEEE 802.19</u>	Grupo de Asesoría Técnica sobre Coexistencia	
<u>IEEE 802.20</u>	Mobile Broadband Wireless Access	
<u>IEEE 802.21</u>	Media Independent Handoff	
<u>IEEE 802.22</u>	Wireless Regional Area Network	

Tabla 2. Estándares de comunicación

1.2 MODELOS DE REFERENCIA.

Trabajar en entornos inalámbricos obliga a tener en cuenta aspectos que son inherentes al medio de transmisión, con esto, se hace inevitable hablar de modelos, capas, estándares y protocolos.

Modelo de referencia OSI.

En 1977 la ISO (Organización Internacional para la Estandarización), creó un comité para desarrollar estándares de comunicación de datos y lograr la interoperabilidad entre sistemas heterogéneos, como resultado, se creó el modelo de referencia OSI (open systems interconnection), este modelo sirve de guía para las tareas de comunicación, más no especifica un estándar de comunicación.

El modelo OSI tiene siete capas [13]; el término capa se utiliza para reflejar el hecho de que los datos que viajan por la red atraviesan distintos niveles, por lo tanto, cada capa procesa sucesivamente los datos (paquetes de información) que circulan por la red, les agrega un elemento de información (llamado encabezado) y los envía a la capa siguiente. Figura 3.

Capa Física.

Esta capa se encarga directamente de los elementos físicos de la conexión, gestiona los procedimientos a nivel electrónico para que la cadena de bits de información viaje desde el transmisor al receptor sin alteración alguna. Define el medio físico de transmisión: cables de pares trenzados, cable coaxial, guías de onda y fibra óptica, maneja las señales eléctricas y transmite el flujo de bits, define las características de los materiales, como conectores y niveles de tensión.

Capa de Enlace.

Esta capa se encarga de proporcionar los medios funcionales para establecer la comunicación de los elementos físicos, del direccionamiento físico de los datos, el acceso al medio y la detección de errores en la transmisión. Además, construye las tramas de bits con información para controlar que la transmisión se haga de forma correcta, provee medios de sincronización para controlar el flujo de la capa física, también es capaz de identificar cada bit de la cadena transmitida o recibida.

Capa de Red.

Esta capa se encarga de la identificación del enrutamiento (ruta más óptima para el envío de paquetes de datos) entre dos o más redes conectadas. Hace que los datos puedan llegar desde el transmisor al receptor siendo capaz de hacer las conmutaciones y direccionamientos necesarios para que el mensaje llegue, debido a esto es necesario que esta capa conozca la topología de la red en la que opera.

Capa de Transporte.

Esta capa define la interconexión entre la capa de red y las capas superiores, está diseñada para aislar al usuario de las características físicas de la red. Se encarga de realizar el transporte de los datos que se encuentran dentro del paquete de transmisión desde el origen al destino, esto se realiza de forma independiente al tipo de red que haya detectado el nivel inferior.

Capa de Sesión.

Mediante esta capa se puede controlar y mantener activo el enlace entre los dispositivos que están transmitiendo información, de esta forma se asegura que una vez establecida la conexión, se mantenga hasta que finalice. Se encarga además del mapeo de la dirección de sesión del usuario para pasarla a direcciones de transporte con las que trabajan los niveles inferiores, constituye la interface hacia la capa de transporte y provee medios para intercambiar organizadamente la información entre usuarios.

Capa de Presentación.

Esta capa se encarga de la representación de la información transmitida, asegura que los datos que llegan a los usuarios sean entendibles a pesar de los distintos protocolos utilizados tanto en un receptor como en un transmisor. En esta capa no se trabaja con direccionamiento de mensajes ni enlaces, sino que es la encargada de trabajar con el contenido útil que se quiere ver.

Capa de Aplicación.

Este es el último nivel y el encargado de permitir a los usuarios ejecutar acciones y comandos en sus propias aplicaciones como, por ejemplo, un botón para enviar un email o un programa para enviar archivos, permite también la comunicación entre el resto de capas inferiores.

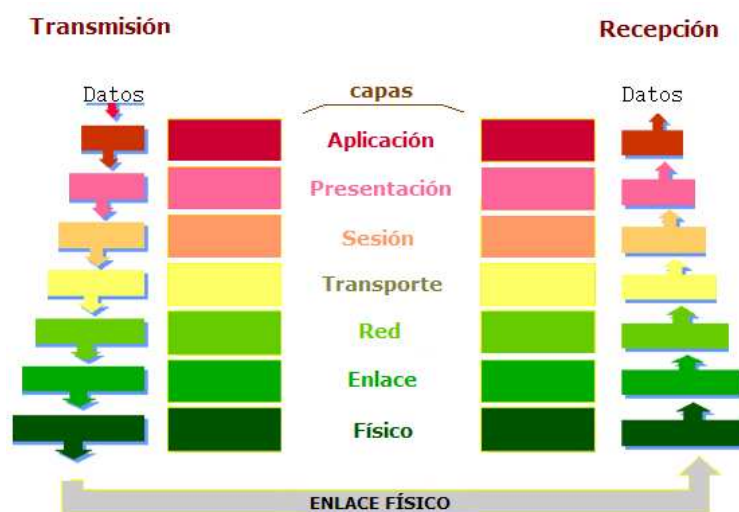


Figura 3. Capas del Modelo OSI [14].

Suite de protocolos TCP/IP [15].

Las siglas TCP/IP son por el nombre de dos protocolos TCP (Protocolo de control de transmisión) y el IP (Protocolo de internet). Es el conjunto de protocolos de más uso a nivel mundial, ya que sirve para comunicarse a través de un conjunto de redes interconectadas.

La familia de protocolos TCP/IP, comprende entre otros, los siguientes:

- IP (internet protocol) es el encargado de proporcionar una dirección a todos los equipos conectados a una red.
- TCP (transmission control protocol) encargado de establecer y permitir la conexión entre dos usuarios y asegurar el intercambio de datos entre ellos.
- UDP (user datagram protocol) permite la transmisión de datos sin necesidad de confirmar la conexión
- FTP (file transfer protocol) se utiliza para la transferencia interactiva de archivos entre sistemas.
- SMTP (simple mail transfer protocol) se utiliza para la transferencia de mensajes y archivos adjuntos de correo electrónico.
- NFS (network file system) es un protocolo que permite acceso remoto a un sistema de archivos a través de la red.
- HTTP (hyper text transfer protocol) se utiliza para transferir archivos que conforman las páginas Web de la “world wide web”.

TCP/IP está organizado en cuatro capas como se muestra en la Figura 4.

Capa de aplicación.

Es el nivel más alto, los usuarios llaman a una aplicación que acceda servicios disponibles a través de la red de redes TCP/IP. Una aplicación interactúa con uno de los protocolos de nivel de transporte para enviar o recibir datos, el programa de aplicación pasa los datos en la forma requerida hacia el nivel de transporte para su entrega.

Capa de transporte.

La principal tarea de la capa de transporte es proporcionar la comunicación entre un programa de aplicación y otro, este tipo de comunicación se conoce frecuentemente como comunicación punto a punto. La capa de transporte regula el flujo de información, puede también proporcionar un transporte confiable, asegurando que los datos lleguen sin errores y en secuencia, el programa de transporte divide el flujo de datos que se está enviando en pequeños fragmentos (por lo general conocidos como paquetes) y pasa cada paquete, con una dirección de destino, hacia la siguiente capa de transmisión.

Capa de red.

La capa de red maneja la comunicación de una celda a otra, ésta acepta una solicitud para enviar un paquete desde la capa de transporte, junto con una identificación de la celda, hacia la que se debe enviar el paquete. También maneja la entrada de datagramas (unidad de datos que se encuentra asociada a una red de conmutación de paquetes.), verifica su validez y utiliza un algoritmo de ruteo para decidir si el datagrama debe procesarse de manera local o debe ser transmitido.

Capa de acceso.

Esta capa define el acceso físico de los equipos conectados a la red y los protocolos que en él intervienen. También se denomina capa de enlace de red porque incluye todos los hosts (dispositivo que contiene datos o programas a los que otros equipos pueden acceder a través de una red) accesibles en una red de área local, además define la topología de la red, estrella, malla, etc., y cómo se mueven los paquetes entre las interfaces de la capa de red.

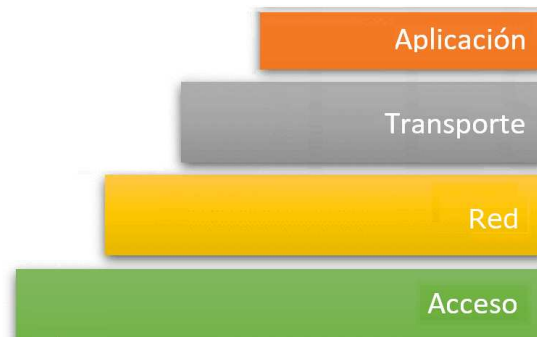


Figura 4. Capas del modelo TCP/IP [16].

1.3 TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS.

Clasificaremos los sistemas de comunicaciones inalámbricas en 4 tipos de acuerdo con su alcance [17], que es la distancia máxima a la que pueden situarse tanto el transmisor como el receptor, como se muestra en la Figura 5.

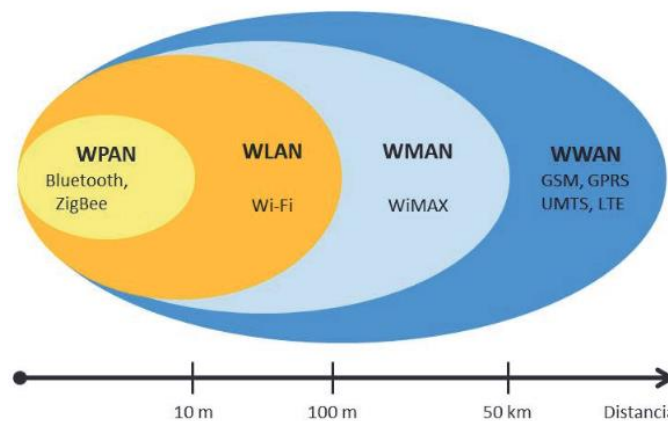


Figura 5. Tipos de redes y su cobertura (Redes inalámbricas, Techpedia).

WPAN (Redes Inalámbricas de Área Personal).

Las redes WPAN (wireless personal area network) cubren distancias inferiores a los 100 metros. Estas redes están pensadas para interconectar los distintos dispositivos de un usuario, este es el caso, por ejemplo, de la tecnología Bluetooth.

WLAN (Redes Inalámbricas de Área Local).

Las redes WLAN (wireless local area network) cubren distancias con un rango típico de 100 metros. Estas redes están pensadas para crear un entorno de red local entre las PC's o terminales situadas en un mismo edificio o grupo de edificios, este es el caso de WiFi, por ejemplo.

WMAN (Redes Inalámbricas de Área Metropolitana).

Las WMAN se basan en el estándar IEEE 802.16, denominado WiMAX (worldwide Interoperability for microwave access). WiMAX es una tecnología de comunicaciones con arquitectura punto a multipunto orientada a proporcionar una alta velocidad de transmisión de datos (70 Mbps) en una distancia de 50 km a miles de usuarios desde una única estación base.

WWAN (Redes Inalámbricas de Área Amplia).

Tienen la posibilidad de cubrir toda una región (país o grupo de países), se basan en la tecnología celular y han aparecido como evolución de las redes de comunicaciones de voz. En comunicaciones móviles de voz se les llama 1G (primera generación) a los sistemas analógicos (tipo GSM o CDMA), 2.5G a los digitales con soporte para datos alta velocidad (tipo GPRS, IS-95B o EDGE etc.), 3G y 4G, los nuevos sistemas de telefonía celular con capacidad de gran ancho de banda actualmente implementados en México, aunque también se está implementando 5G.

1.4 TOPOLOGÍAS UTILIZADAS EN REDES INALÁMBRICAS [18].

La topología de una red es el arreglo físico y lógico en el cual los dispositivos o nodos de una red se interconectan entre sí sobre un medio de comunicación. Está compuesta por dos partes, la topología física, que es la disposición real de los medios y la topología lógica, que define la forma en que los dispositivos acceden a los medios. Las topologías que se utilizan comúnmente se describen a continuación y se muestran en la Figura 6.

Topología en estrella.

En la topología estrella, las estaciones están conectadas directamente a un punto central que asume el rol de coordinador de red y es responsable de inicializar y mantener los demás dispositivos en la red y todas las comunicaciones se hacen necesariamente a través de ese punto (conmutador, repetidor o concentrador). Los dispositivos no están directamente conectados entre sí, además de que no se permite tanto tráfico de información.

Topología en malla.

La topología de red en malla es aquella en la que cada nodo está conectado a todos los nodos, de esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por distintos caminos. Si la red de malla está completamente conectada y si un nodo falla, este no afecta a los demás nodos de la red.

Topología de árbol.

La topología de árbol, es parecida a una serie de redes en estrella interconectadas, salvo en que no tiene un nodo central, sino que tiene un nodo de enlace troncal, generalmente ocupado por un “hub” o “switch”, desde el que se ramifican los demás nodos.

Topología Bus.

Es aquella topología que se caracteriza por tener un único canal de comunicaciones al cual se conectan los diferentes dispositivos, de esta forma todos los dispositivos comparten el mismo canal para comunicarse entre sí. La topología de bus tiene todos sus nodos conectados directamente a un enlace y no tiene ninguna otra conexión entre nodos.

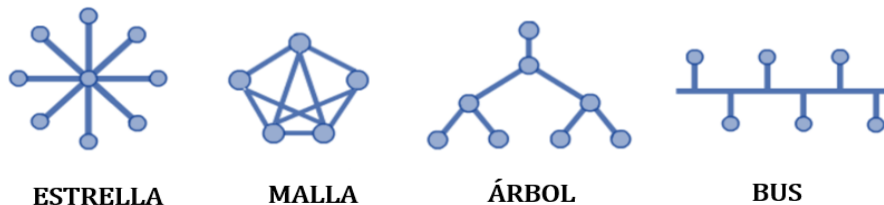


Figura 6. Topologías de redes (conoce sobre informática, topologías).

Punto a punto.

También conocidas como redes ad-hoc (red inalámbrica descentralizada), los únicos elementos necesarios son terminales móviles equipadas con los correspondientes adaptadores para comunicaciones inalámbricas. En este tipo de redes, el único requisito deriva del rango de cobertura de la señal, ya que es necesario que los terminales móviles estén dentro de este rango para que la comunicación sea posible, no es necesario ningún tipo de gestión administrativa de la red. Figura 7.

Punto de Acceso.

Utiliza el concepto de celda usado en comunicaciones inalámbricas, como la telefonía móvil, una celda podría entenderse como el área en el que una señal radioeléctrica es efectiva. La estrategia empleada para aumentar el número de celdas, y por lo tanto el área de cobertura de la red, es la utilización de puntos de acceso, que funcionan como repetidores y, por tanto, son capaces de doblar el alcance de una red inalámbrica, ya que ahora la distancia máxima permitida no es entre estaciones, sino entre una estación y un punto de acceso, Figura 7.



Figura 7. Enlace Punto de acceso

1.5 TECNOLOGÍAS PARA REDES INALÁMBRICAS.

A continuación, se mencionan de algunas tecnologías inalámbricas existentes.

WiFi [19].

Wifi es una tecnología de red inalámbrica de área local a través de la cual los dispositivos, como computadoras (portátiles y de escritorio), dispositivos móviles (teléfonos inteligentes y accesorios) y otros equipos (impresoras y videocámaras), intercambian información y establecen una red. El estándar IEEE 802.11 define los protocolos que permiten la comunicación con los dispositivos inalámbricos actuales que admiten WiFi, incluidos “routers” y puntos de acceso inalámbrico. Actualmente son seis los estándares dentro de la familia IEEE 802.11 que están siendo más utilizados, en la Tabla 3 se muestran las principales características de estos estándares.

802.11a.

El IEEE ratificó en julio de 1999 el estándar de 802.11a, alcanza una velocidad de hasta 54 Mbps en la banda 5 GHz, menos congestionada y con menos interferencias, que el 802.11 original, pero con un alcance limitado de 50m, lo que implica tener que montar más puntos de acceso para cubrir una misma área, con el costo adicional que con ello supone.

802.11b.

En el año 1999 se aprobó el estándar 802.11b, con una velocidad de hasta 11Mbps, que emplea la banda de 2,4 GHz, permite mayor velocidad y su alcance llega a 300 metros, suficiente para un entorno de oficina o residencial. El rango de frecuencias de 2.4 a 2.4835 GHz, se divide en canales, definiendo unas velocidades de 11, 5.5, 2 y 1 Mbps por canal.

802.11g.

En junio de 2003, se ratificó 802.11g, que es la evolución de 802.11b, utiliza la banda de 2.4 GHz (al igual que 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbps, que en promedio es de 22 Mbps de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a, es compatible con el estándar b y utiliza las mismas frecuencias.

802.11n.

El estándar WiFi IEEE 802.11n, otorga mejoras en confiabilidad, velocidad y rango con respecto a los anteriores, cuenta con una velocidad de modulación hasta 6 veces más rápida y una tasa de transferencia de datos de 2 a 5 veces más que una antena WiFi 802.11 a/g, mejoras sustanciales en cobertura y calidad de conexión. El WiFi 802.11n fue diseñado para reemplazar por completo la actual tecnología alámbrica (Ethernet) y convertirse en la tecnología dominante en redes de área local.

802.11ac.

También conocido como WiFi 5 o WiFi Gigabit, es una mejora a 802.11n, se desarrolló entre el año 2011 y el 2013 y finalmente se aprobó en julio de 2014. El estándar consiste en mejorar las tasas de transferencia hasta 433 Mbps por flujo de datos, consiguiendo teóricamente tasas de 1.3 Gbps empleando 3 antenas, opera dentro de la banda de 5 GHz, amplía el ancho de banda hasta 160 MHz (40 MHz en las redes 802.11n), utiliza hasta 8 flujos MIMO (multiple input multiple output) e incluye modulación de alta densidad.

802.11ax.

De última generación, conocido como WiFi 6, agrega al estándar 802.11ac eficacia, flexibilidad y escalabilidad, lo que permite que las redes nuevas y existentes aumenten la velocidad y la capacidad con las aplicaciones de última generación.

El IEEE lo propuso para combinar la libertad y la alta velocidad del acceso inalámbrico Gigabit Ethernet, con la confiabilidad y la previsibilidad propias. Posibilitará un rendimiento más predecible de aplicaciones avanzadas, como video 4K o 8K, aplicaciones de alta definición y alta densidad, oficinas inalámbricas e Internet de las cosas (IoT).

Estándar	Año	Clasificación	Frecuencia	Velocidad Mbps
802.11b	1999	WiFi 1	2.4 GHz	11
802.11a	1999	WiFi 2	5 GHz	54
802.11g	2003	WiFi 3	2.4 GHz	54
802.11n	2009	WiFi 4	2.4 GHz, 5 GHz	600
802.11ac	2013	WiFi 5	5 GHz	6800
802.11ax	2019	WiFi 6	2.4 GHz, 5 GHz	10000

Tabla 3. Características de las redes inalámbricas.

Bluetooth [20].

Protocolo de comunicación para WPAN que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM (industrial, scientific and medical) de los 2.4 GHz, que es una banda reservada internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica.

Tiene como principales objetivos facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos, eliminar cables y conectores entre éstos y ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales. Los dispositivos que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología pertenecen a sectores de las telecomunicaciones y la informática personal, teléfonos móviles, computadoras portátiles, computadoras personales, impresoras o cámaras digitales.

En enero del 2020 se lanzó la versión 5.2, con mejoras en la sincronía de canales de envío de datos, control de potencia de envío y un consumo de energía bajo constante, lo que hace posible aumentar la capacidad de transmisión en un 800 por ciento y el alcance hasta 200 metros (exterior) o 40 metros (interior) [21].

ZigBee.

La tecnología ZigBee fue diseñada por la ZigBee Alliance [22], comunidad internacional de más de 200 empresas, de las que podrían destacarse Philips, Samsung, Motorola, Texas Instruments, etc., con el objetivo de implementar redes inalámbricas de bajo costo y bajo consumo de energía, está basado en el estándar IEEE 802.15.4. El 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal (WPAN) centrado en la habilitación de comunicación entre dispositivos con bajo costo y velocidad (100 Kbps)

El propósito de ZigBee es ofrecer una solución completa para este tipo de redes, construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar 802.15.4 no cubre, comprende velocidades entre 20 KBps y 250 KBps y trabaja dentro de la banda ISM. Una red ZigBee puede estar formada por hasta 255 nodos, permite formar redes que cambian los canales en forma dinámica en caso que ocurran interferencias y se basa en el modelo de referencia OSI.

En la Figura 8 se muestra la estructura de la arquitectura en capas, cada capa realiza una función específica para la capa que se encuentra en el nivel superior.

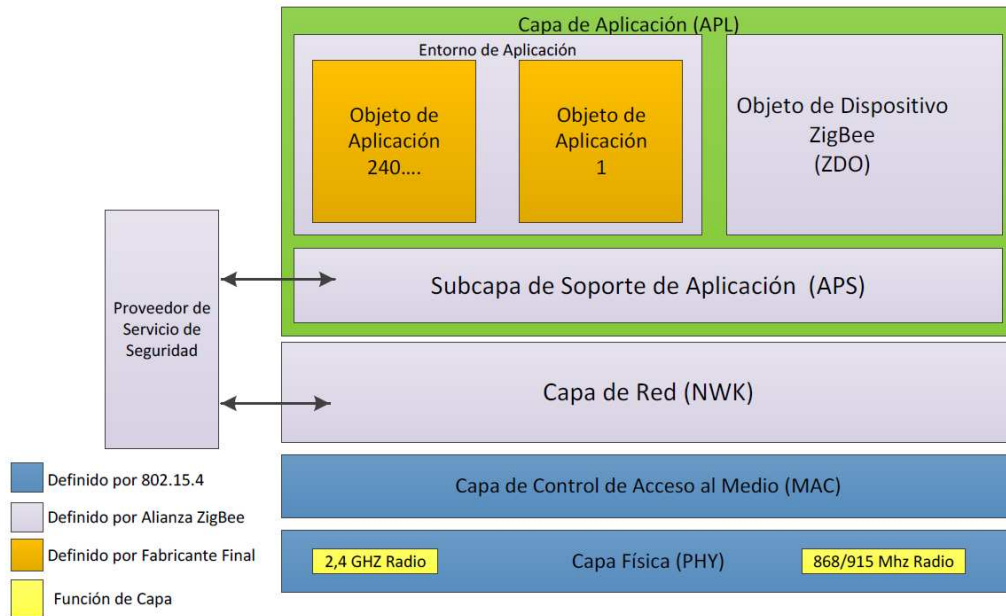


Figura 8. Estructura ZigBee [23].

Tipos de dispositivos [24].

Se definen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee según su papel en la red:

- Coordinador (ZigBee coordinator, ZC): El tipo de dispositivo más completo, debe existir uno por red, sus funciones son las de controlar la red y las rutas que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
- Enrutador (ZigBee router, ZR): Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- Dispositivo final (ZigBee end device, ZED): Posee la funcionalidad para comunicarse con su coordinador o un "router", pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos, este tipo de nodo puede estar en reposo la mayor parte del tiempo.

Comparación entre tecnologías.

En la Tabla 4, se muestra una comparación entre las diferentes tecnologías.

Comparación de Tecnologías Inalámbricas			
	WiFi	Bluetooth	ZigBee
Bandas de Frecuencias	2.4GHz, 5GHz	2.4GHz	2.4GHz, 868 / 900 MHz
Tasa de Transferencia	11Mbps-1800Mbps	52Mbps	250kbps (2.4GHz) 40kbps (900MHz) 20kbps (868MHz)
Números de Canales	11 - - 14	79	16 (2.4GHz) 10 (900MHz) 1 (868MHz)
Tipos de Datos	Digital	Digital, Audio	Digital
Rango de Nodos Internos	100m	10m - 100m	10m - 100m
Números de Dispositivos	32	8	255
Requisitos de Alimentación	Media - Horas de Batería	Media - Días de Batería	Muy Baja - Años de Batería
Introducción al Mercado	Alta	Media	Baja
Topologías	Estrella	Estrella	Estrella, Árbol, Punto a Punto y Malla
Aplicaciones	Internet	Computadoras y Teléfonos	Control y Monitoreo
Consumo de Potencia	400 mW transmitiendo, 20 mW en reposo	40 mW transmitiendo, 0.2 mW en reposo	30 mW transmitiendo, 3 mW en reposo
Precio	Alto	Medio	Bajo

Tabla 4. Comparación de tecnologías.

CAPITULO 2. HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA.

2.1 SENSORES.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctricas [25]. Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia (como en un detector de temperatura resistivo RTD, resistance temperature detector), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), un voltaje eléctrico (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

El sensor no sólo cambia el dominio de la variable física medida, sino que además, la salida del sensor se utiliza como un dato útil para un sistema de medición, de este modo el sensor se comporta como un dispositivo de entrada que provee una salida manipulable de la variable física medida [26].

Características principales de un sensor [27].

- Rango de medida: intervalo presente entre el valor mínimo y máximo de la variable que se puede medir.
- Precisión: grado de repetitividad de una medida, es el error de medida máximo esperado.
- Exactitud o sensibilidad: diferencia máxima entre la salida actual del sensor y el valor real de la variable.
- Resolución: cambio mínimo de la variable que es posible registrar por el sensor.
- Tiempo de respuesta: periodo de tiempo que transcurre desde que la variable presenta un cambio de estado y el sensor lo registra.

Por lo general, la señal de salida de los sensores no puede ser interpretada de manera directa, por lo que resulta necesario adecuar dicha señal para que esta pueda ser interpretada de forma correcta por el sistema de procesamiento. Los circuitos utilizados para esta acción se conocen como acondicionadores de señal como por ejemplo amplificadores, convertidores, filtros, divisores de voltaje y corriente, etc., que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de los circuitos.

Tipos de sensores.

Existen en la actualidad un gran número de sensores que se clasifican de acuerdo a ciertas características como son el principio de transducción, el tipo de variables del medio que se pretende analizar, etc. En la Figura 9, se muestra una clasificación de estos.

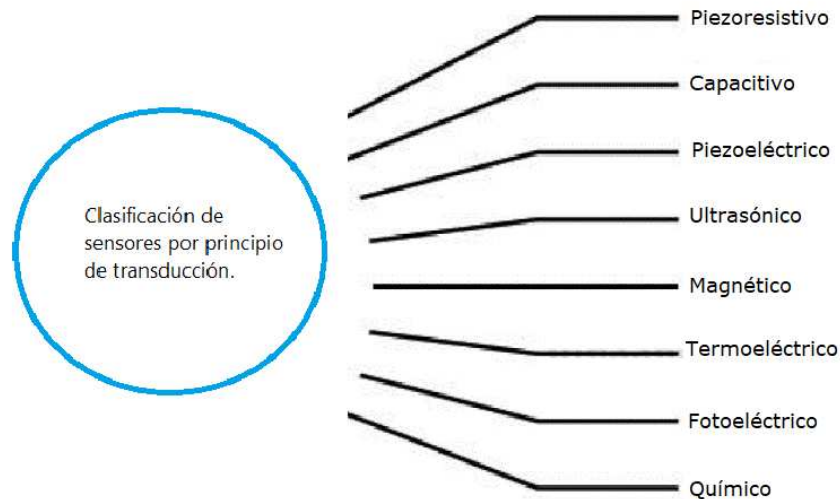


Figura 9. Clasificación de sensores [28].

De acuerdo a esta clasificación y con el fin de determinar el tipo de sensor que mejor se adapte a las necesidades del proyecto, teniendo en cuenta que no se tiene contacto físico con la variable, a continuación, se describen algunos tipos de sensores. Figura 9a.

Sensores fotoeléctricos.

Se basan en el empleo de una fuente de señal luminosa (lámparas, LED's, diodos láser etc.) y un elemento receptor, como fotodiodos, fototransistores, fotorresistencia, etc. Según la forma en que se produce esta emisión y detección de luz, se dividen en sensores por barrera, que detectan la existencia de un objeto cuando este interfiere la recepción de la señal y sensores por reflexión, cuando la señal luminosa es reflejada por el objeto y esta luz reflejada es captada por el receptor fotoeléctrico.

Sensores capacitivos.

Estos sensores se caracterizan por generar un campo electrostático, que puede describirse como la influencia que una o más cargas ejercen sobre el espacio que los rodea. Cuando un objeto se aproxima al sensor e interactúa con el campo electrostático, cambia la capacitancia equivalente del circuito, este cambio produce un cambio de estado en el sensor, activando un circuito oscilador, el cual a su vez produce a la salida un cambio de estado bajo a alto.

Sensores inductivos.

Un sensor inductivo determina la distancia hasta un objeto metálico, si no se llega a una distancia determinada (distancia de conmutación) el sensor dispara una acción. El sensor dispone de una superficie activa en su lado frontal que es un oscilador, dicho oscilador produce un campo magnético en un semicírculo, un objeto metálico introducido en el campo lo disminuye, de este modo el sensor puede reconocer a qué distancia está y actuar en correspondencia.

Sensores ultrasónicos.

El principio de funcionamiento de estos sensores consiste en la emisión de una onda ultrasónica (considerada arriba de los 20 KHz) y cíclica de corta duración, la cual es reflejada por el objeto en forma de eco y el circuito de acondicionamiento determina el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal y la recepción del eco. Son muy utilizados en sistemas de medición no invasivos para determinar la distancia del emisor a un objeto dado, así mismo pueden ser empleados para medir profundidades y alturas que cambian dinámicamente. Debido a la naturaleza de la señal ultrasónica, es posible realizar mediciones en diversas superficies, como por ejemplo en líquidos.



Figura 9a. Tipos de sensores: a-fotoeléctrico, b-inductivo, c-capacitivo, d-ultrasónico.

2.2 MÓDULOS XBEE.

Son propiedad de “Digi International”, empresa líder a nivel mundial en el desarrollo de módems de conexión a redes inalámbricas para dispositivos electrónicos [29]. Los módulos XBee son productos de uso industrial con homologación ZigBee, se basan en una plataforma compatible y cuentan con un rango y una fiabilidad líderes en el sector [30]. Se utilizan para crear redes punto a multipunto (point-to-multipoint) o para redes punto a punto (peer-to-peer) y fueron diseñados para aplicaciones que requieren de un alto tráfico de datos y baja latencia (tiempo que tarda en transmitirse un paquete dentro de la red).

La Figura 10 muestra los módulos XBee de las series 1, 2 y 3. Los de las series básicas tienen un alcance en interiores de hasta 30m y en exteriores el alcance es de hasta 1200m, los módulos XBee-PRO, tienen un alcance en interiores de hasta 100m y en exteriores el alcance es de hasta 3200m.



Figura 10. Módulos XBee

Los módulos tienen convertidores análogo-digital (ADC) internos, entradas y salidas digitales (DIO), conexiones para recepción (Rx) y transmisión (Tx) de datos, generan una red propia a la que se pueden conectar o desconectar fácilmente.

Son módulos con microprocesador integrado, que se encarga de recibir tramas de baja velocidad del puerto serial hacia el transmisor y de recibir las tramas a alta velocidad (250 Kbps) del receptor y adaptarlas a una tasa baja (desde 1.2 Kbps a 115.2 Kbps), además se pueden solucionar fallas de tramas (pérdida de datos), ruidos, etc. También se encarga de que los datos recibidos en el puerto serial sean tratados para que sigan el protocolo IEEE 802.15.4, mediante el firmware implementado en él.

El firmware es un software capaz de proporcionar un entorno de operación para las funciones más complejas del componente, o bien puede actuar como el propio sistema operativo interno, realiza entre otras funciones, el monitoreo y control de las terminales DIO del dispositivo y habilita o deshabilita los ADC dependiendo de la configuración de las terminales.

Existen dos tipos de interfaces que pueden ser utilizadas para configurar los módulos XBee (serial y USB) con un programa propietario llamado X-CTU, con este programa se pueden definir todos los parámetros que se quieran modificar en los módulos.

En este proyecto se utilizó una tarjeta llamada "XBee Explorer USB" de la marca "SparkFun" con interface USB y alimentación de 5V. Para utilizarla, se coloca el módulo XBee sobre la tarjeta, se le conecta un cable mini USB tipo B y este se conecta a la PC para tener acceso directo a la programación serial y a las terminales del módulo XBee, esta tarjeta puede trabajar con los módulos de las series 1, 2, y 3 en la versión estándar y Pro. Figura 11.



Figura 11. Interface XBee Explorer USB.

La tarjeta cuenta con control de la UART (universal asynchronous receiver-transmitter o Transmisor-Receptor Asíncrono Universal), que es el dispositivo que controla las funciones de solicitud de envío (RTS, request to send), libre para envío (CTS, clear to send) y terminal de datos listo (DTR, data terminal ready).

Circuito básico y terminales del XBee.

La Figura 12 muestra las conexiones mínimas que necesita el módulo XBee para ser utilizado.

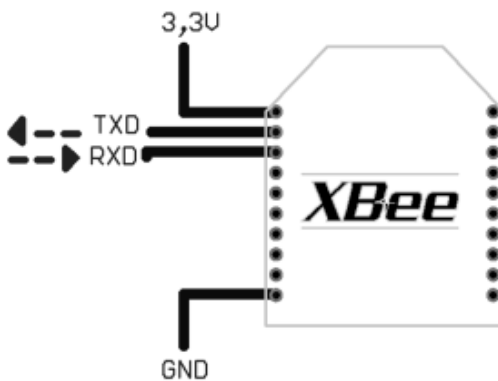


Figura 12. Conexiones mínimas de XBee.

El módulo requiere una alimentación de 2.8 V a 3.4 V, la conexión a tierra y las líneas de transmisión de datos por medio del UART para comunicarse con otro dispositivo, la tarjeta “XBee explorer” contempla todas las conexiones que requiere.

En la Tabla 5 se describen las funciones de las 20 terminales con las que cuenta el módulo, la distribución física de las terminales se muestra en la Figura 13.

Pin	Nombre	Entrada/salida	Función
1	VCC		Alimentación
2	DOUT	SALIDA	UART salida
3	DIN/CONFIG	ENTRADA	UART entrada
4	D08	SALIDA	Salida digital 8
5	RESET	ENTRADA	Reset (pulsar más de 20 ms)
6	PWM0/RSSI	AMBOS	Salida PWM0/ indicador de intensidad de señal
7	PWM1	AMBOS	Salida PWM1
8	RESERVADO		No conectar
9	DTR / SLEEP_RQ/ DI8	AMBOS	Línea de control de reposo/entrada digital 8
10	GND		Tierra
11	AD4 / DIO4	AMBOS	Entrada analógica 4 o E/S digital 4
12	CTS / DIO7	AMBOS	Control de flujo de envío - E/S digital 7
13	ON / SLEEP	SALIDA	Indicador de estado del módulo
14	VREF	ENTRADA	Referencia de voltaje para entradas AD
15	AD5 / DIO5	AMBOS	Indicador de asociación, entrada analógica 5, E/S digital 5
16	RTS / DIO6	AMBOS	Control de flujo de solicitud de envío o E/S digital 6
17	AD3 / DIO3	AMBOS	Entrada analógica 3 o E/S digital 3
18	AD2 / DIO2	AMBOS	Entrada analógica 2 o E/S digital 2
19	AD1 / DIO1	AMBOS	Entrada analógica 1 o E/S digital 1
20	AD0 / DIO0	AMBOS	Entrada analógica 0 o E/S digital 0

Tabla 5. Funciones de las terminales del XBee.

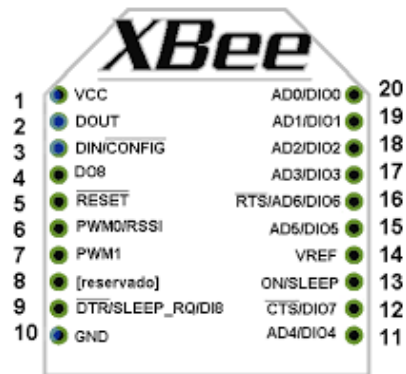


Figura 13. Distribución de las terminales, vista superior del módulo.

Modos de Operación.

Los módulos XBee pueden operar en cinco modos diferentes, como se muestra en la Figura 14.

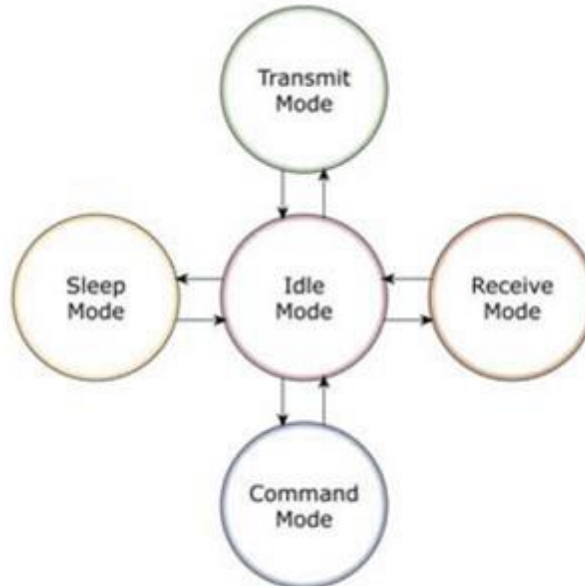


Figura 14. Modos de operación del XBee.

Los modos utilizados en la realización de este proyecto se describen a continuación [31].

Modo RECIBIR/TRANSMITIR (transmit mode).

Se encuentra en este modo cuando al módulo le llega algún paquete de información a través de la antena (modo Receive) o cuando se manda información serial al buffer del pin 3 (UART Data in) que luego será transmitida (modo Transmit). La información transmitida puede ser directa o indirecta, en el modo directo la información se envía inmediatamente a la dirección de destino, en el indirecto la información es retenida durante un período de tiempo y es enviada sólo cuando la dirección de destino la solicita.

Es posible enviar información por dos formas “Unicast” y “Broadcast”, para “Unicast”, la comunicación es desde un punto a otro y es la única que permite respuesta de quien recibe el paquete de información RF (radio frecuencia), es decir, quien recibe debe enviar un ACK (acknowledgement, acuse de recibo) que indica que recibió el paquete, (el usuario no puede verlo, es interno de los módulos) a la dirección de origen. Quien envió el paquete, espera recibir un ACK, en caso de que no le llegue, reenviará el paquete hasta tres veces o hasta que reciba el ACK. En “broadcast” la comunicación es entre un nodo y todos los demás nodos de la red, no hay confirmación por ACK.

Modo de operación API (API mode).

API Interface de programación de aplicaciones (application programming interface). Este modo es más complejo, pero permite el uso de tramas con encabezados que aseguran la entrega de los datos, extiende el nivel en el cual la aplicación del cliente, puede interactuar con las capacidades de red del módulo. Cuando el módulo XBee se encuentra en este modo, toda la información que entra y sale, es empaquetada en tramas que definen operaciones y eventos dentro del módulo, incluyendo la información RF transmitida o recibida, los comandos de operación y notificaciones de eventos.

Esta API provee alternativas para la configuración del módulo y ruteo de la información en la capa de aplicación del cliente, un cliente puede enviar información al módulo XBee, estos datos serán contenidos en una trama cuyo encabezado tendrá información útil referente al módulo, esta información además se podrá configurar, esto es, en vez de estar usando el modo de comandos para modificar las direcciones, la API lo realiza automáticamente.

Entre las opciones que permite la API, se tienen:

- Transmitir información a múltiples destinatarios, sin entrar al modo de comandos.
- Recibir estado de éxito/falla de cada paquete RF transmitido.
- Identificar la dirección de origen de cada paquete recibido.

Tipos de Módulos.

Para satisfacer los diferentes requerimientos de las aplicaciones en que se pueden usar, se ofrecen diferentes módulos agrupados en varias series [32]. En la Tabla 6 se muestran las principales características de los diferentes modelos.

Series 1 y 2.- Pueden establecer una conexión punto a punto y “broadcast”. De la serie 2 existen cuatro modelos, es mejorada y pueden establecer redes tipo malla. En cada modelo la terminación PRO indica una mayor potencia de salida y capacidad para formar redes más grandes. Un dispositivo de la serie 1 no puede establecer una red con uno de la serie 2 y viceversa.

Serie 3. – El XBee3 permite crear redes “broadcast” y “mesh”, además, se puede eliminar el uso de microcontroladores externos, gracias al soporte de “MicroPhyton”, que es una implementación eficiente del lenguaje de programación Python 3 [33], que incluye un pequeño subconjunto de su biblioteca estándar y está optimizado para ejecutarse en entornos restringidos, se pueden programar todos los nodos XBee para que realicen las operaciones necesarias y procesar toda la información de forma directa.

XBee PRO XSC y XBee PRO 900.- Son módulos de 900MHz, tienen una velocidad de datos de aproximadamente 200 Kbps, mientras que en los módulos XSC es de alrededor de 20 Kbps. Por otro lado, si se coloca una antena de alta ganancia se puede tener un alcance mayor a comparación de una antena regular.

Tipos de Antenas.

Los módulos XBee utilizan diferentes tipos de antenas de acuerdo a las necesidades de cada aplicación [34], estas se muestran en la Figura 15.

Chip. – Básicamente es un pequeño chip que actúa como antena.

Wire. – Una antena sólida pero flexible que sobresale 25 mm del módulo. Esta antena aumenta el rango sobre la antena chip, pero en el exterior.

u.FL. – Un conector pequeño para conectar una antena externa.

RPSMA. – Un conector más grande para antena externa. Adecuada para equipos instalados en gabinetes.

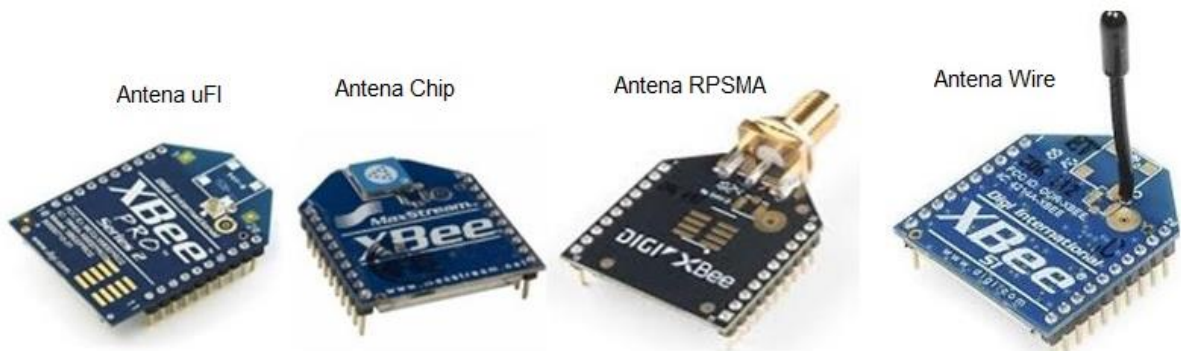


Figura 15. Tipos de antenas

MÓDULO	VELOCIDAD	FRECUENCIA	POTENCIA	ANTENA	ALCANCE MÁXIMO
 XBee S1	250Kbps	2.4 GHz	1 mW	Chip, Wire	90m
 XBee PRO S1	250Kbps	2.4 Ghz	60 mW	Chip, Wire	1200m
 XBee S2	250 kbps	2.4 GHz	6.3mW	Chip, Wire	1200m
 XBee PRO S2	250kbps	2.4 GHz	63mW	Chip, Wire	3200m
 XBee PRO 900	200kbps	900 Mhz	250mW	RP-SMA	14Km
 XBee PRO XSC	20kbps	900Mhz	250mW	RP-SMA	45Km
 XBee3	250kbps	2.4 GHz	6.3mW	PCB, RP-SMA	1200m
 XBee3 PRO	250kbps	2.4 GHz	79mW	PCB, RP-SMA	3200m

Tabla 6. Características principales

Los módulos que serían utilizados en una implementación de campo real, son los XBee Pro de la serie 3, debido principalmente al mayor alcance que estos tienen y que son los más actuales. En este proyecto se decidió utilizar los módulos XBee serie 1 básica, con antena “wire” para hacer la demostración del funcionamiento, esto en razón a su bajo costo.

2.3 MÓDULOS ESP8266.

El ESP8266, Figura 16, es un chip WiFi de bajo costo con la suite TCP/IP incluida y capacidad de unidad de microcontrolador MCU (micro controller unit) producido por el fabricante chino “Espressif Systems” [35], con sede en Shanghai, China.

El chip llegó a los grandes distribuidores en agosto de 2014 con el módulo ESP-01, este pequeño módulo permite a los microcontroladores conectarse a una red WiFi y realizar conexiones TCP/IP sencillas utilizando comandos de tipo AT (attention), que son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre usuarios y dispositivos.

Estos módulos WiFi destacan por su alto nivel de integración y confiabilidad, la serie de módulos ESP8266 tienen un rendimiento de RF elevado, un diseño compacto y pueden ser utilizados en una amplia variedad de aplicaciones.

Los módulos ESP8266 [36], pueden funcionar con el firmware ESP-AT para proporcionar conectividad WiFi a MCU anfitriones externos, o como MCU que pueden ejecutar aplicaciones de conectividad de forma nativa. En ambos modos de operación, los clientes pueden aprovechar características como la conectividad en la nube lista para usar, operación de bajo consumo de energía y soporte de seguridad WiFi, incluido WPA3 (WiFi protected access 3).



Figura 16. Chip ESP8266.

Especificaciones del chip ESP8266 [37].

A continuación, se describen las características más importantes del chip.

- Utiliza una CPU Tensilica L106 de 32-bit.
- Voltaje de operación entre 3 V y 3.6 V.
- Temperatura de operación -40°C y 125°C.
- Suite TCP/IP integrada.
- Tiene 17 puertos GPIO (de propósito general), pero sólo se pueden usar 10. El GPIO16 es especial, ya que está conectado al RTC (Real Time Clock).
- Soporta los principales buses de comunicación (SPI, I2C, UART).
- El consumo de corriente oscila entre los 0.5 μ A, cuando el dispositivo está apagado y los 170 mA cuando transmite toda la señal.

Modos de operación.

Hay tres modos de operación en el módulo ESP8266 [38]:

- “Station Mode” (STA). En este modo el módulo se conectará a una red WiFi que ya está configurada por un punto de acceso, como un “router” WiFi.
- “Access Point” (AP). En este modo, el módulo ESP8266 actúa como punto de acceso y proporciona una red WiFi a otras estaciones (como móviles o portátiles).
- “Soft AP” (SAP). En este modo, el módulo está configurado para actuar tanto en el modo “station como en el modo “access point”.

Debido a los sectores a los que va enfocado, dispositivos de IoT y móviles, el ESP8266 requiere de una gestión de energía eficaz, dispone de una arquitectura de bajo consumo que trabaja en 3 modos.

- Modo activo: a pleno rendimiento.
- Modo reposo o dormido: sólo el RTC está activo para mantener la sincronización, se queda en modo alerta de los posibles eventos que le hagan despertar, mantiene en memoria los datos de conexión y así no hace falta volver a establecer la conexión con la red WiFi, consume entre 0.6 mA y 1 mA.
- Modo en sueño profundo: el RTC está encendido, pero no operativo, debe pasar por el modo dormido antes de activarse. Hay que tener especial cuidado con los datos ya que en este estado es como si estuviera apagado y todos los datos que no estén almacenados se pierden, consume alrededor de 20 μ A.

Tipos de módulos ESP.

El fabricante “AI-Thinker” [39], es un desarrollador de productos con licencia de “Espressif Systems”, proporciona la serie ESP con diferentes modelos para diferentes usos que integran el ESP8266 como integrado central, como se observa en la Figura 17.

ESP-01.

Se trata del módulo más popular, aunque en muchas ocasiones, no es el más conveniente. El módulo ESP-01 tiene un precio muy reducido, cuenta con dos pines GPIO digitales para controlar sensores y actuadores, también se pueden llegar a utilizar para este uso los pines Rx y Tx si no se utilizan para la comunicación a través del puerto serie. Se puede programar a través de un adaptador serie/USB o con el cableado adecuado, a través del entorno de desarrollo integrado IDE (integrated development environment) de Arduino. Los conectores que vienen por defecto, no permiten conectarlo a un “protoboard”, lo que dificulta hacer prototipos de prueba con este módulo, sin embargo, podemos utilizar unos conectores especiales para conectarlo a la “protoboard”, lo podemos usar como un dispositivo autónomo o como complemento.

ESP-12E.

Pertenece a la familia de módulos ESP-XX, este módulo tiene acceso a 11 puertos GPIO de los cuales uno, es un convertidor analógico-digital con una resolución de 10-bit. Mayormente es utilizado integrado a placas de desarrollo con mayores capacidades, una característica principal es que la configuración en modo dormido es muy sencilla, lo que permite ahorrar más energía.

NodeMCU.

El NodeMCU es el módulo más característico de este tipo, incluye un adaptador serie/USB y se alimenta con 5 V a través de este o con una fuente externa a través de sus pines, tiene integrado el ESP-12E y la última versión oficial es la 3. Utiliza un firmware que permite programar en lenguajes como LUA, Python, Basic o JavaScript.

Tiene la facilidad de adaptarse a una “protoboard” para la realización de pruebas y se programa por medio de la IDE de Arduino o con softwares como “Visual Studio Code”. La mayor ventaja que tiene es que nos permite crear proyectos de IoT.

Las características principales de esta tarjeta de desarrollo son [40]:

- Procesador Tensilica de 32 bits ESP8266 @ 80 MHz (3.3 V) (ESP-12E)
- 4 MB de memoria FLASH
- WiFi 802.11 b/g/n
- Regulador 3.3 V integrado (500 mA)
- Conversor USB-Serial CH340G / CH340G
- Función Auto-reseteo
- 9 pines GPIO con I2C y SPI
- 1 entrada analógica (1.0 V máx.)
- Antena PCB



Figura 17. Tipos de módulos ESP8266.

El módulo que se utilizó para la realización de este proyecto es el NodeMCU 1.0 ESP12E versión 2, ya que ofrece gran funcionalidad a bajo costo. En la Figura 18, se muestra la distribución de sus pines.

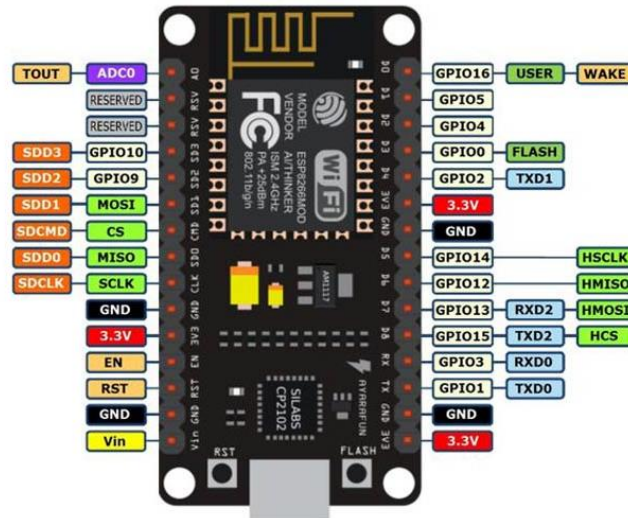


Figura 18. Distribución de pines del NodeMCU [41].

2.4 IDE DE ARDUINO.

El entorno de desarrollo integrado IDE Arduino, es una aplicación multiplataforma (Windows, macOS, Linux) que está escrita en el lenguaje de programación Java. Se utiliza para escribir y cargar programas en placas compatibles con Arduino, pero también, con la ayuda de núcleos de terceros, se puede usar con placas de desarrollo de otros proveedores [42]. El código fuente para el IDE se publica bajo la Licencia Pública General de GNU, versión 2.2. El IDE de Arduino admite los lenguajes C y C++ utilizando reglas especiales de estructuración de códigos, suministra una biblioteca de software del proyecto “Wiring”, que proporciona muchos procedimientos comunes de entrada/salida.

El código escrito por el usuario solo requiere dos funciones básicas, para iniciar el boceto y el ciclo principal del programa, que se compilan y vinculan con un apéndice de programa “main” en un ciclo con el “GNU toolchain” (programa de desarrollo de software libre), que también se incluye. Emplea el programa “avrdude” para convertir el código ejecutable en un archivo de texto en codificación hexadecimal que se graba en la memoria de la placa Arduino.

Los programas de Arduino están compuestos por un sólo archivo con extensión (.ino), aunque es posible organizarlo en varios archivos, el archivo principal siempre debe estar en una carpeta con el mismo nombre que el archivo. También hay que destacar que el IDE proporciona una utilidad que sirve de interface de entrada y salida para los dispositivos, es lo que se conoce como monitor y permite solicitar la entrada de datos, así como mostrar mensajes.

2.5 VISUAL BASIC.

Visual Basic 6.0 es un lenguaje de programación visual creado en 1991 por Alan Cooper para Microsoft [43], también llamado lenguaje de cuarta generación, esto quiere decir que un gran número de tareas se realizan sin escribir código, simplemente con operaciones gráficas realizadas con el ratón sobre la pantalla [44].

Es también un programa basado en objetos, aunque no orientado a objetos como C++ o Java, dentro del mismo IDE de Visual Basic, se puede ejecutar el programa que esté desarrollándose, es decir en modo intérprete. Desde ese entorno también se puede generar el archivo en código ejecutable (.exe), ese programa así generado en disco puede luego ser ejecutado sin requerir del ambiente de programación, aunque sí será necesario que las librerías DLL (biblioteca de enlace dinámico o dynamic-link library) requeridas por la aplicación desarrollada, se encuentren también instaladas en el sistema para posibilitar su ejecución.

El propio Visual Basic provee soporte para empaquetado y distribución, es decir, permite generar un módulo instalador que contiene al programa ejecutable y las DLL necesarias para su ejecución, con ese módulo la aplicación desarrollada se distribuye y puede ser instalada en cualquier equipo (que tenga un sistema operativo compatible) [45].

Propiedades del lenguaje.

- Posee una curva de aprendizaje muy rápida.
- Integra el diseño e implementación de formularios de Windows.
- Permite usar con facilidad la plataforma de los sistemas Windows, dado que tiene acceso prácticamente total a la API de Windows.
- Es uno de los lenguajes de uso más extendido, por lo que resulta fácil encontrar información, documentación y fuentes para los proyectos.
- Fácilmente extensible mediante librerías DLL y componentes ActiveX de otros lenguajes.
- Posibilita añadir soporte para ejecución de scripts, VBScript o JScript, en las aplicaciones mediante “Microsoft Script Control”.
- Existe la versión VBA integrada en las aplicaciones de Microsoft Office, tanto Windows como Mac, que permite programar macros para extender y automatizar funcionalidades en documentos, hojas de cálculo y bases de datos.

Desventajas.

- Problema de actualización asociado con varias librerías “runtime”.
- Bajo soporte para programación orientada a objetos.
- Incapacidad para crear aplicaciones multi hilo, sin tener que recurrir a llamadas de la API de Windows.
- La capacidad de utilizar controles en un solo formulario es muy limitada en comparación a otras herramientas.
- Carece de los mecanismos de herencia y polimorfismo propios de los lenguajes orientados a objetos como Java y C++.

Para la realización del proyecto se eligió este lenguaje por la compatibilidad que tiene con otros softwares, la facilidad de su uso, así como la disposición de versiones libres, que nos ofrecen las herramientas de desarrollo necesarias, ya que el programa desarrollado no requiere herramientas de control especializadas, aunado a la experiencia que se tiene para usarlo.

2.6 PLATAFORMAS DE DESARROLLO IOT.

Una plataforma del internet de las cosas IoT (internet of things), es la base para que diversos dispositivos estén interconectados y se genere un sistema propio, dicho de otra forma, una plataforma web integrada a IoT, es el software que conecta hardware, puntos de acceso y redes de datos a la aplicación del usuario [46].

El mercado de las plataformas IoT está en auge y en continua expansión, de hecho, hay encuestas [47] que hablan de que más de 80% de las empresas cree que el campo del internet de las cosas es el más conveniente para sus negocios.

Una plataforma IoT puede consistir en una plataforma de software, una plataforma de desarrollo de aplicaciones y una plataforma de análisis y consta de 8 importantes bloques [48], estos son:

1. Conectividad y normalización: con diferentes protocolos y diferentes formatos de datos en una interface de software, garantiza la precisa transmisión de datos y la interacción con todos los dispositivos.
2. La gestión de dispositivos: asegura que todos los dispositivos conectados están funcionando correctamente.
3. Base de datos: almacenamiento escalable de datos del dispositivo basados en la nube a un nuevo nivel en términos de volumen de datos, variedad, velocidad y veracidad.
4. Procesamiento y gestión de la acción: aporta datos basados en reglas de acción de evento-disparadores (señales de entrada del sistema) que permitan la ejecución de las acciones inteligentes basados en datos específicos del sensor.
5. Analítica: lleva a cabo una serie de análisis complejo de la agrupación de datos básicos y de aprendizaje automático.
6. Visualización: permite a los usuarios observar las tendencias de cuadros de mando de visualización de datos.
7. Herramientas adicionales: la IoT permite a los desarrolladores de prototipos, probar y comercializar para visualizar, gestionar y controlar los dispositivos conectados.
8. Interfaces externas: se integran con los sistemas de TI (tecnologías de información: se basan en el estudio y desarrollo de sistemas de información como aplicaciones software y hardware) a través de una función de interfaces de programación de aplicaciones API, kits de desarrollo de software SDK (software development kit) y puertas de enlace.

Hoy en día existen diversas plataformas de IoT, aunque la gran mayoría ofrecen su funcionalidad completa por medio de pago, manejan opciones de prueba o para uso estudiantil y para desarrollos personales que no requieren de una explotación considerable de las mismas, de forma gratuita.

Algunas de las plataformas más usadas en la actualidad [49], se mencionan a continuación:

Blynk.

Blynk es una plataforma de IoT para conectar diferentes dispositivos a internet, permite diseñar aplicaciones móviles para controlarlos, analizar datos de telemetría y administrar productos implementados a escala. Es una de las plataformas más populares para conectar dispositivos a la nube y supervisarlos de forma remota, ayuda a usuarios y organizaciones a avanzar progresivamente desde el inicio de un prototipo hasta su lanzamiento comercial, sus características principales son:

- Gestión de dispositivos.
- Gestión de datos.
- Gestión de la conectividad.
- Visualización.
- Desarrollo de aplicaciones móviles.

ThingSpeak.

ThingSpeak es una plataforma que permite recoger y almacenar datos de sensores en la nube y desarrollar aplicaciones IoT, también ofrece aplicaciones que permiten analizar y visualizar datos en MATLAB [50] y actuar sobre ellos, los datos de los sensores pueden ser enviados desde dispositivos como Arduino, Raspberry Pi, etc.

Sus principales características son:

- Recopilar datos en canales privados.
- Compartir datos con canales públicos.
- Alertas en tiempo real.
- Programación de eventos.
- Integraciones de aplicaciones.

Ubidots.

Ubidots es compatible con dispositivos como Arduino, Raspberry Pi, Espressif, Onion, etc., puede conectar el hardware y/o servicios de datos a esta plataforma en la nube caracterizada por ser agnóstica (capacidad de interoperabilidad y compatibilidad de un componente de cómputo entre diversos sistemas y ambientes, sin requerir una adaptación especial) en cuanto a los dispositivos que se empleen.

Sus principales características son:

- La SDK/API Ubidots se proporciona para diferentes dispositivos, lo que permite simplificar el proceso de integración entre el dispositivo y la plataforma.
- Tiene varias API que se pueden invocar para interactuar con esta plataforma.
- Cuenta con varios protocolos de soporte, como el protocolo de mensajería estándar para Internet de las cosas MQTT (message queing telemetry transport) y HTTP.
- Posibilidad de aplicar fórmulas matemáticas en los datos.
- Almacenamiento de datos.
- Visualización de datos.

Adafruit.IO.

Adafruit.IO es una plataforma que facilita el análisis de los datos al centrarse en la sencillez de uso y en la conexión de distintos dispositivos, con una programación muy sencilla. Se trata de un servicio en la nube que evita que el usuario tenga que gestionarlo, permitiéndole conectarse a él mediante internet. Sus características principales son:

- Muestra los datos en tiempo real.
- Conexión del proyecto a la web para un fácil control sobre los actuadores y lectura de datos de los sensores.
- Conexión de los proyectos a servicios web y a otros dispositivos con acceso a Internet.
- Cuenta con versión de servicio gratuito.
- Tratamiento y visualización de múltiples fuentes de datos.
- Posibilidad de programación de eventos que envían correos electrónicos o SMS.

Para la realización de este proyecto se utilizó la plataforma Blynk, ya que permite elegir entre una gran variedad de herramientas interactivas (widgets) prediseñadas para crear la aplicación nativa de Android que controla el dispositivo del proyecto. Permite monitorear los datos de los sensores, recibir notificaciones y es posible controlar los dispositivos desde cualquier parte del mundo. Además, permite convertir los prototipos en soluciones comerciales de IoT, es decir, se puede exportar el proyecto a una aplicación de marca funcional y luego publicarlo en alguna tienda de aplicaciones (versión de paga que va de los 415 USD a los 1000 USD al mes). La versión gratuita no tiene límite de envío de datos por día.

2.7 PROGRAMAS DE APOYO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA.

Base de datos Access.

Es un sistema de gestión de bases de datos para los sistemas operativos Windows, desarrollado por Microsoft y orientado a ser usado en entornos personales o en empresas, permite crear bases de datos relacionales que pueden ser gestionadas por una interface gráfica simple.

Estas bases de datos pueden ser consultadas por otros programas, permite manipular los datos en forma de tablas, crear relaciones entre ellas, consultar formularios para introducir datos e informes para presentar la información.

Algunas de sus características más importantes son:

- Provee asistentes y plantillas que facilitan su utilización.
- No necesita de conocimientos avanzados de programación.
- Interactúa de manera sencilla con otros softwares de Microsoft
- Permite importar datos de forma fácil y rápida.
- Personalización de aplicaciones.
- Integración de datos de varias fuentes.

Aunque no cuenta con la robustez de otras bases de datos como SQL o MySQL, se decidió utilizarla en este proyecto, ya que la interface gráfica de usuario se diseñó utilizando Visual Basic, esto facilita la conexión, además, sólo se utiliza como almacenaje de los datos para su posterior consulta y análisis.

Programa de diseño Proteus.

“Proteus design suite” es un software de automatización de diseño electrónico, desarrollado por “Labcenter electronics Ltd” [51]. Es una aplicación para la ejecución de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño del esquema electrónico, programación del software, construcción de la placa de circuito impreso, simulación de todo el conjunto, depuración de errores, documentación y construcción.

Programa de configuración X-CTU.

El programa X-CTU (XBee configuration and test utility) [52], es utilizado para configurar y probar los módulos XBee, es una aplicación gratuita multiplataforma compatible con Windows, MacOS y Linux suministrada por la empresa Digi, fue diseñado para interactuar con los archivos de firmware que se encuentran en los productos de Digi RF y para proporcionar una interface gráfica fácil de usar.

CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO.

El sistema de monitoreo se compone de siete elementos principales que se interconectan entre sí, la Figura 19 muestra el diagrama de bloques funcional de la comunicación y conexión de estos. La bomba, aunque interactúa con el sistema, se considera como elemento externo y no tiene desarrollo explicativo en este documento.

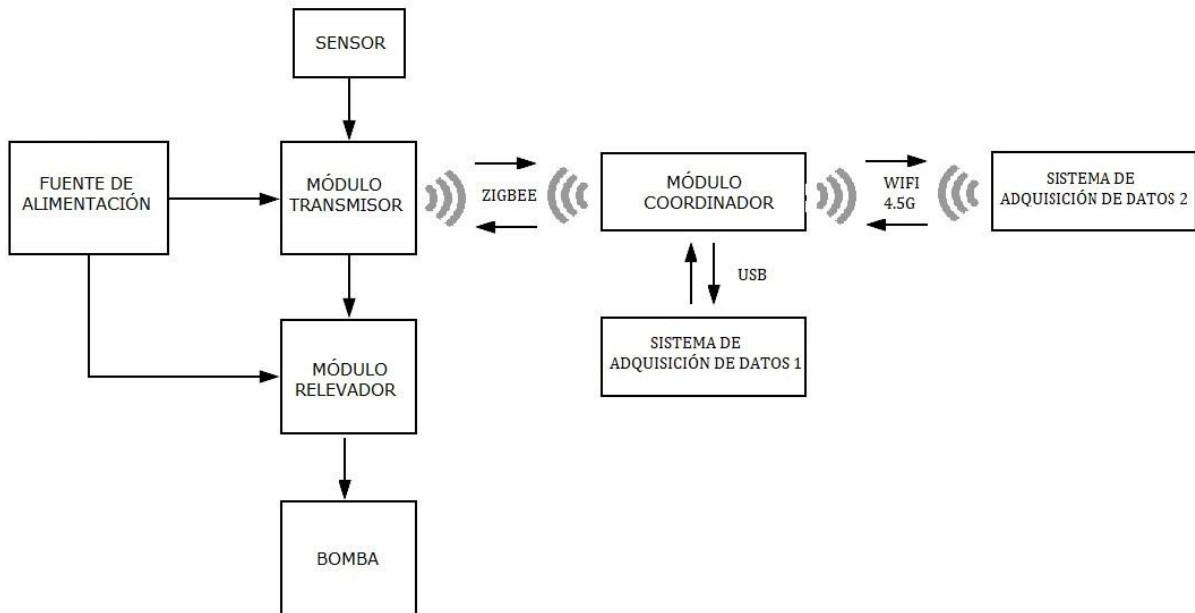


Figura 19. Diagrama de bloques funcional de elementos del sistema.

3.1 CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE.

La primera parte dentro del diseño del sistema es la configuración de los módulos XBee de la serie 1, ya que es necesario modificar los parámetros para que se pueda realizar el envío y recepción de los datos como se requiere, esta configuración se realizó mediante el programa X-CTU y se utilizó la tarjeta “XBee Explorer USB” para realizar la conexión entre los XBee y la PC. Figura 20.

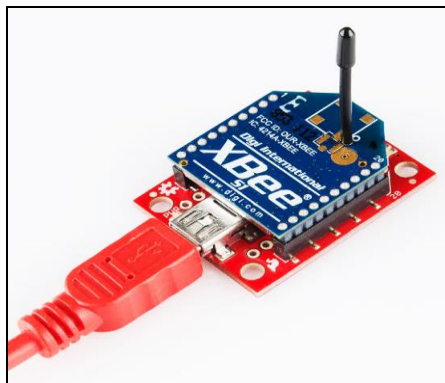


Figura 20. Tarjeta XBee explorer USB con módulo XBee.

Se realiza la detección del módulo por el programa, utilizando la pestaña “Discover Device” de la ventana principal, como se muestra en la Figura 21.

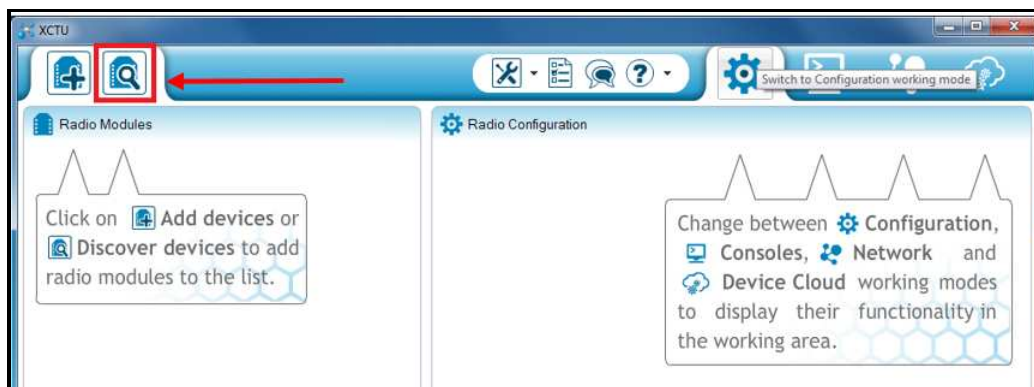


Figura 21. Añadir módulo para configurar.

La siguiente ventana muestra el puerto donde está conectado y las características básicas de comunicación, se oprime el botón “finish” y después el botón “Add selected devices” Figura 22.

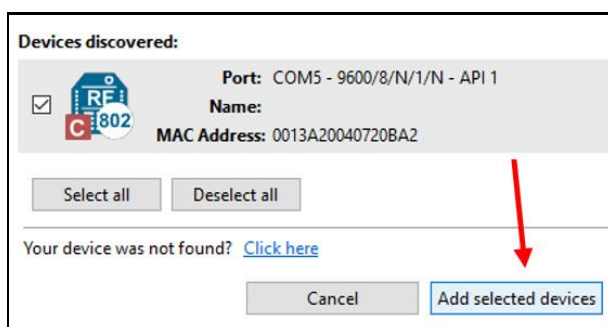


Figura 22. Selección del módulo a configurar.

Realizado esto, se procedió a leer los parámetros previamente cargados en el módulo para posteriormente realizar la configuración requerida, esto se realiza en la pestaña “configuration working mode” y oprimiendo en botón “read”.

Para modificar los datos sólo es necesario elegir la opción que se desea cambiar y después se oprime el botón “write” para salvar los parámetros modificados, como se muestra en la Figura 23.

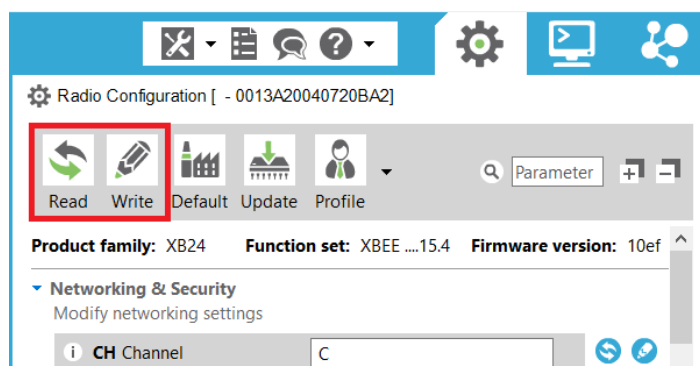


Figura 23. Lectura y escritura de parámetros del módulo XBee.

En la Tabla 7 se muestra la descripción de los parámetros que se configuraron en los módulos XBee para una conexión punto a multi-punto.

Indicador	Función
CH	Canal de comunicación
ID	Identificador de Red (PAN ID)
DH	Dirección de destino alto (Destination Address High)
DL	Dirección de destino bajo (Destination Address Low)
MY	Dirección fuente (16-bit Source Address)
CE	Habilitar coordinador (Coordinator Enable)
AP	Habilitar modo API
D0-8	Tipos de entradas/salidas
IU	Habilitar entradas y salidas
IT	Número de muestras tomadas antes de transmitir
IR	Tiempo de muestreo
IA	Permitir lectura de entradas y salidas

Tabla 7. Parámetros principales.

En la Tabla 8 se muestran los valores asignados a estos parámetros.

XBee Coordinador		XBee Dispositivo Final	
CH	C	CH	C
ID	3332	ID	3332
DH	0	DH	0
DL	FFFF	DL	0
MY	0	MY	1
CE	1 - Coordinador	CE	0 – Disp. final
AP	1 - API Habilitado	AP	0 - API Deshabilitado
		D0	4 – Salida digital 0 bajo
		D1	2 – ADC
		IT	1
IU	1-Habilitado	IU	1-Habilitado
		IR	3E8 (1 seg)
IA	FFFF (habilitado)	IA	FFFF (habilitado)

Tabla 8. Valores asignados.

Este proceso se realiza para todos los módulos que intervienen en la red, cabe mencionar que el módulo principal (ubicado en la PC) es el coordinador de la red, que recibe los datos de los nodos pertenecientes a la misma.

Realizada la configuración de los parámetros, se procedió a establecer la conexión con el dispositivo transmisor para verificar que los datos se entregan de manera correcta, esto se realiza por medio de la ventana “console working mode”, en donde es posible ver las tramas de datos recibidas en código hexadecimal y su descripción, como se ve en la Figura 24.

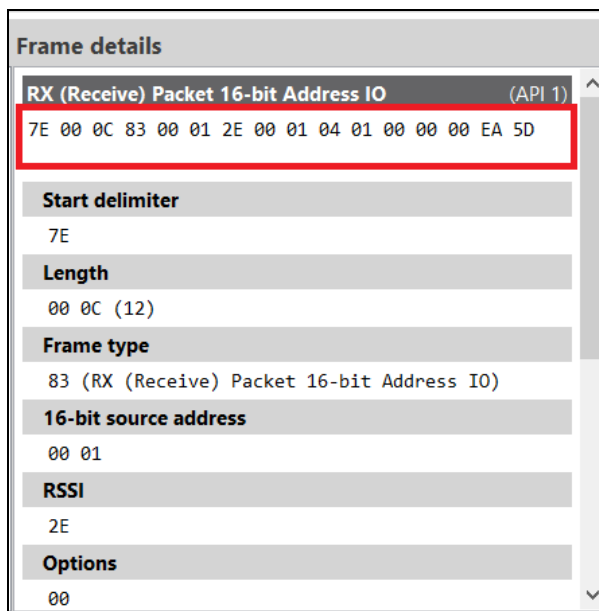


Figura 24. Lectura de tramas de datos recibidas.

3.2 INTERPRETACIÓN Y CREACIÓN DE TRAMAS.

La trama recibida proveniente del XBee transmisor en formato hexadecimal es la siguiente:

7E 00 0C 83 00 01 3F 00 01 04 01 00 01 00 E0 63

Cuyos parámetros se describen en la Tabla 9:

DATO	DESCRIPCIÓN
7E	Delimitador de inicio
00 0C	Longitud de la trama (12 Bytes)
83	Identificador API (RX dirección de 16 bits)
00 01	Dirección de la fuente
3F	Valor RSSI
00	Opción
01	Cantidad de muestras
04 01	Terminales habilitadas
00 01	Valor de la entrada digital
00 E0	Valor de la entrada analógica
63	Check Sum

Tabla 9. Parámetros de la trama.

Los bytes 00 E0 en formato hexadecimal del pin D0 configurado como entrada analógica, son el valor de la medición realizada por el sensor.

Los bytes 00 01 en formato hexadecimal del pin D1 configurado como salida digital, nos indican que está en estado alto. Si los bytes fuesen 00 00, indicarían que la salida digital está en estado bajo.

El control del arranque y paro de la bomba de forma remota para el llenado del tanque, se realiza mediante el envío de una petición de configuración remota de salida digital del módulo coordinador al módulo transmisor, para esto, se crearon las tramas de datos a ser enviadas por medio del programa X-CTU, las tramas a enviar para el arranque y paro son las siguientes:

7E 00 10 17 00 00 00 00 00 00 00 00 00 01 02 44 30 04 6D

7E 00 10 17 00 00 00 00 00 00 00 00 00 01 02 44 30 05 6C

La descripción de sus parámetros se observa en la Tabla 10.

DATO	DESCRIPCIÓN
7E	Delimitador de inicio
00 10	Longitud de la trama (16 Bytes)
17	Tipo de trama (modificar parámetros)
00	Identificador de trama (sin respuesta remota)
00 00 00 00 00 00 00 00	Dirección 64 bits
00 01	Dirección del transmisor
02	Opción remota (aplicar comando)
44 30	Salida digital D0
04 / 05	Comando bajo / alto
6D / 6C	Check Sum

Tabla 10. Parámetros de las tramas para arranque y paro.

3.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

La alimentación eléctrica de los dispositivos es provista por una fuente de voltaje regulada de 24 VCD, este valor de voltaje se consideró debido a que el máximo voltaje requerido por los elementos (sensor, relevador) utilizados en el sistema es de 24 VCD.

La fuente de voltaje consta de cuatro etapas principales como se muestra en la Figura 20, el tratamiento de la señal inicia con el transformador, el cual se encarga de reducir el nivel de tensión de corriente alterna. Se eligió un transformador de 110 V/24 V a 2 A, este valor de corriente es suficiente, ya que el consumo máximo de corriente de todos los elementos no supera 200 mA.

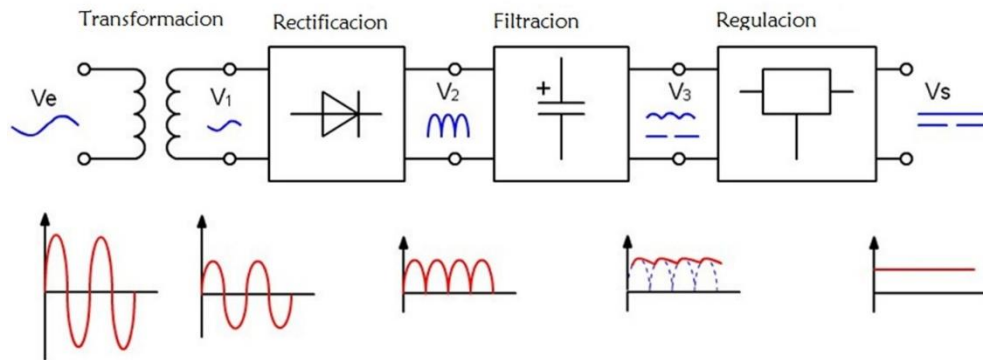


Figura 20. Etapas de la fuente de alimentación.

En la Figura 21 se muestra el circuito completo.

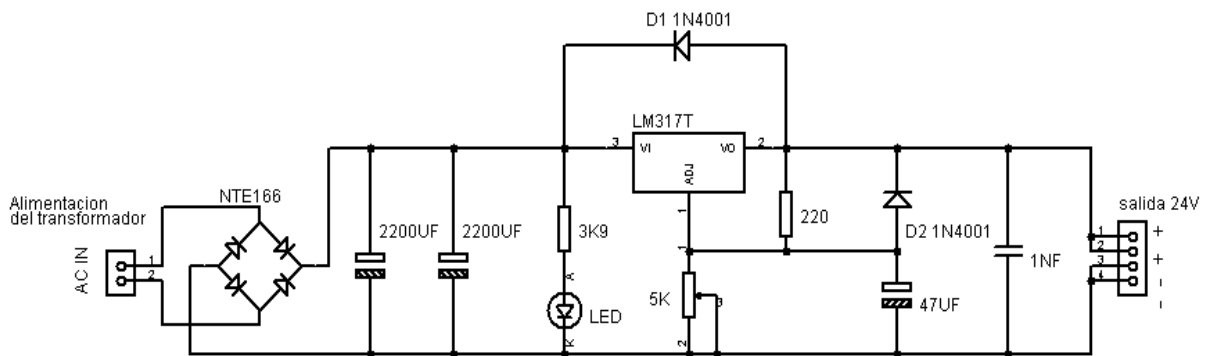


Figura 21. Diagrama eléctrico de la fuente de voltaje 24V.

El voltaje de alterna proveniente del transformador, se conecta a la etapa de rectificación por medio de un puente de diodos que se encarga de convertir la entrada de alimentación en un voltaje rectificado. Para el proyecto se eligió el puente rectificador NTE166 de la marca NTE, que maneja un máximo de voltaje de entrada RMS de 100 V y una corriente de suministro máxima de 2 A [53], el voltaje RMS es suficiente, ya que el entregado por el transformador es de 33.9V.

Para la etapa de filtrado de entrada se utilizaron 2 capacitores electrolíticos de 2200µF, para que se entregue un rizo de voltaje muy pequeño a la entrada de la etapa de regulación.

Este voltaje de rizo, se determina por la siguiente formula:

$$V_r = \left(\frac{V_{prms}}{2 * f * R * C} \right)$$

$$V_r = \left(\frac{33.9}{2 * 120 * 1000 * 0.004} \right)$$

$$V_r = 32.1mV$$

El regulador LM317T controla un voltaje de 1.25 V hasta 37 V de acuerdo a la hoja de especificación [54], se empleó un potenciómetro de 5 K Ω que nos permite entregar un voltaje estable y regulado para el funcionamiento de nuestro circuito. De acuerdo a la hoja de datos del regulador, el voltaje de salida máximo V_o depende de la resistencia del potenciómetro y de una resistencia base para controlar el máximo voltaje a entregar, este voltaje está dado por la fórmula (tomada de la hoja de datos):

$$V_o = 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{adj} * R_2$$

La corriente de ajuste, de acuerdo a la hoja de datos en el valor típico es de 50 μ A, si se elige una resistencia de base de 220 Ω y se coloca el potenciómetro en su valor máximo de resistencia, el voltaje máximo de salida del regulador es:

$$V_o = 1.25 \left(1 + \frac{5000}{220} \right) + (0.000005 * 5000)$$

$$V_o = 29.9 \text{ V}$$

Se colocaron a la salida del regulador, dos capacitores de 47 μ F y de 1 μ F conectados en paralelo al potenciómetro y a tierra respectivamente que, de acuerdo a la hoja de datos, sirven para garantizar la estabilidad del regulador y la correcta rectificación del voltaje de salida.

El regulador cuenta con protección de sobrecarga térmica interna que maneja una constante de limitación de corriente de cortocircuito interno por temperatura, pero cuando se utilizan capacitores de salida, se recomienda agregar diodos de protección para evitar que los capacitores se descarguen a través de puntos de baja corriente en el regulador.

El diodo D1 evita que el capacitor se descargue a través del regulador durante una entrada de cortocircuito, el diodo D2 protege contra la descarga del capacitor durante un cortocircuito de salida, por lo que se eligieron los diodos 1N4001 para ello, adicionalmente se colocó un LED verde con su respectiva resistencia de protección, para indicar cuando la fuente este encendida o apagada.

La Figura 22 muestra los diseños realizados para la fabricación del PCB de la fuente, realizados con el programa "Proteus".

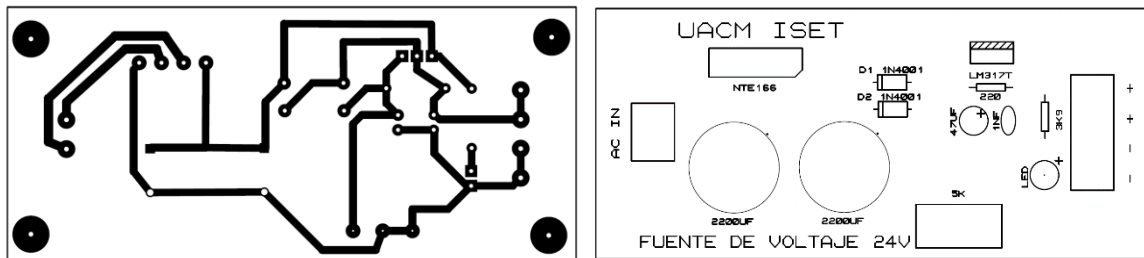


Figura 22. Diseños para PCB.

3.4 SENSOR ULTRASÓNICO SRF-06.

En la industria existen gran cantidad de marcas y tipos de sensores para diferentes aplicaciones, un ejemplo de sensor ultrasónico que se podría implementar en el campo es el sensor QT50U de la marca BANNER [55], el cual tiene un rango de 200 mm hasta 8m, alimentación de 13-30 VDC y salida analógica de 0-10 V o 4-20 mA.

De igual forma que se decidió por la utilización de los módulos XBee serie 1 para la simulación del funcionamiento de este proyecto, se optó por la utilización del sensor ultrasónico SRF-06, Figura 23, ya que es un sensor de bajo costo, de fácil utilización debido a que no requiere ser programado y que funciona bajo el principio de reflexión o eco, se usa para medir la distancia que hay entre el mismo sensor y el nivel del agua del tanque.

Este sensor cuenta con una salida de 4-20 mA y es alimentado por un lazo de corriente, que es ampliamente empleado en procesos industriales de control, ya que el dispositivo se alimenta por medio del mismo lazo y como la corriente se mantiene igual en todo el cable, la señal enviada no se ve afectada por la caída de tensión que se produce en la línea, lo que permite controlar actuadores u obtener medidas de sensores colocados a grandes distancias (desde 1 km hasta 10 km, dependiendo del calibre del cable).

La salida del sensor es proporcional a la variable que se desea transmitir, normalmente se emplean 4 mA para representar el nivel bajo del rango y 20 mA el nivel alto [56]. El rango de medición del sensor es de 2 cm a 510 cm, la salida de corriente está en el rango de 4 mA en 0 cm a 20 mA en 510 cm, lo que da una corriente nominal de 4 mA con un incremento de 31.37 $\mu\text{A}/\text{cm}$, este valor se calcula de la siguiente forma:

si se resta el máximo amperaje menos el mínimo se obtiene:

$$0.02\text{A} - 0.004\text{ A} = 0.016\text{ A}$$

si este resultado se divide entre el valor máximo del rango se tiene:

$$\frac{0.016\text{ A}}{510\text{ cm}} = 31.37\ \mu\text{A}/\text{cm}$$

El SRF-06 requiere una alimentación de 9 V como mínimo a 25 V como máximo, realiza de forma automática y continua una medición en un intervalo de tiempo que va de los 70 a los 100 ms, sólo tiene dos conexiones útiles, positiva y negativa, un diodo en la tarjeta protege el módulo en caso de conexiones inversas.

Las cinco terminales del sensor marcadas como de programación, se utilizan sólo una vez durante la fabricación para programar la memoria "flash" en la tarjeta. Estas se utilizan también para otras funciones en el SRF-06, así que se recomienda no conectar nada a estos pines para no afectar el funcionamiento.

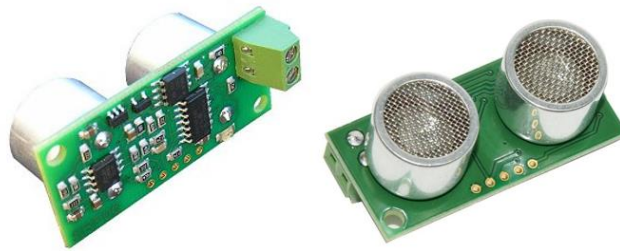


Figura 23. Sensor ultrasónico SRF-06.

Conversión a una salida de voltaje.

Si el sensor no se conecta a algún tipo de controlador con interface de 4-20 mA, se debe convertir la corriente a voltaje, esto se logra conectando una resistencia a esta corriente. Se utilizaron dos resistencias comerciales de película metálica de 100 Ω y 150 Ω con 5% de tolerancia en serie para tener un voltaje de 5V a través de ellas cuando están fluyendo 20 mA en el rango máximo de 510 cm. Figura 24.

Esto le dará un valor de 1 V a 5 V para una entrada de 4 mA a 20 mA. Figura 36.

$$V = IR$$

$$V = 0.02 \text{ A} * 250 \Omega$$

$$V = 5 \text{ V}$$

$$V = 0.004 \text{ A} * 250 \Omega$$

$$V = 1 \text{ V}$$

Esto nos da una resolución del dato de distancia de 7.84 mV de incremento por centímetro.

$$\frac{5 \text{ V} - 1 \text{ V}}{510 \text{ cm}} = 0.00784 \text{ V/cm}$$

Este potencial se conecta al módulo transmisor, pero es necesario acondicionarlo para ser enviado, lo cual se realizó por medio de un circuito acondicionador de señal utilizando un amplificador operacional que se explica más adelante.

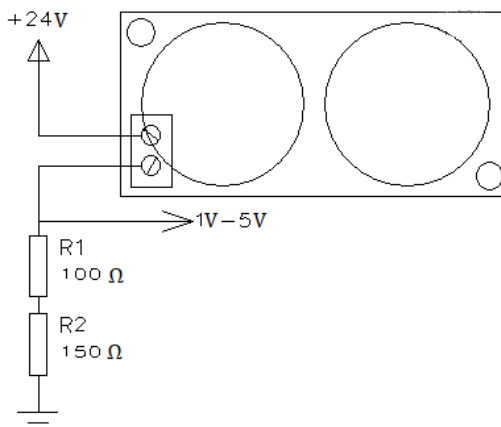


Figura 24. Diagrama de conexiones del sensor.

3.5 MÓDULO TRANSMISOR.

El módulo transmisor tiene la función de recibir los datos del sensor y transmitirlos al módulo coordinador, además también se emplea para el arranque remoto del equipo de bombeo al recibir la señal del módulo coordinador, está compuesto por el XBee transmisor y los elementos electrónicos del circuito acondicionador de la señal del sensor, en la Figura 25 se muestra el diagrama de bloques funcional.

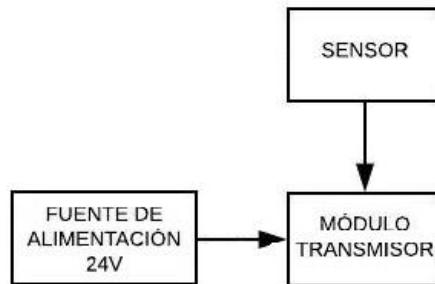


Figura 25. Diagrama funcional del módulo transmisor.

Como se mencionó anteriormente, el módulo XBee se alimenta con 3.3 V, debido a esto, los niveles lógicos del módulo XBee son 3.3 V para un uno lógico y 0 V para un cero lógico. En este proyecto se utilizó la tarjeta denominada “XBee explorer regulated” de la marca “SparkFun”, Figura 26, ya que esta tarjeta tiene como función principal la regulación del voltaje de alimentación al módulo, la tarjeta se alimenta con 5 V y cuenta con indicadores de entrada y salida de datos, encendido e indicador de fuerza de la señal recibida RSSI (received signal strength indicator).



Figura 26. XBee Explorer Regulated.

Como la señal del sensor es una señal analógica, se utilizó una entrada del módulo XBee configurada como ADC de 10 bits, en específico la entrada ADC2/DIO2 pin19. Para que los ADC del módulo funcionen correctamente, se debe conectar un voltaje de referencia a la entrada VREF del módulo en el pin 14, este voltaje de referencia se tomó de la misma alimentación de 3.3 V del módulo en el pin 1 VCC, lo que implica que la señal de entrada al ADC no puede superar este voltaje, por tal motivo, fue necesario adecuarlo para obtener una salida máxima de 3.3V con un voltaje de entrada de 5V, esto se hizo por medio de un divisor resistivo.

Los valores de las resistencias se calcularon por medio del teorema de Thevenin que establece que, un circuito lineal de dos terminales puede sustituirse por un circuito equivalente formado por una fuente de tensión V_{TH} en serie con una resistencia R_{TH} :

$$V_{TH} = \frac{V_{CC}R_2}{R_1 + R_2}$$

Con los valores $V_{TH}=3.3$ V, $V_{CC}=5$ V, y fijando $R_2=220$ K Ω

Se despeja R_1

$$R_1 = \frac{R_2(V_{CC}-V_{TH})}{V_{TH}}$$

$$R_1 = \frac{220000 * (5 - 3.3)}{3.3}$$

Se obtiene $R_1=113$ K Ω , por lo que se tomó un valor comercial de 110 K Ω al 5%.

Con este valor de resistencia comprobamos el V_{TH}

$$V_{TH} = \frac{5*220000}{110000 + 220000}$$

$$V_{TH} = 3.33$$
 V

El voltaje mínimo, con este valor de resistencias es:

$$V_{TH} = \frac{V_{CC}R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{TH} = \frac{1*220000}{110000 + 220000}$$

$$V_{TH} = 0.666$$
 V

Esto implica que la medición del sensor es de 5.16 mV/cm.

$$\frac{3.3 \text{ V} - 0.666 \text{ V}}{510 \text{ cm}} = 0.00516 \text{ V/cm}$$

Para controlar la corriente de entrada al módulo XBee y evitar los efectos de carga (variaciones en el voltaje del circuito), se necesita un circuito acondicionador de señal con alta impedancia de entrada [57], por lo que se utilizó un amplificador operacional OPAM configurado como seguidor común para así asegurar el voltaje requerido por el módulo XBee.

El circuito integrado que se usó es el LM358 [58], con encapsulado DIP-8 que se alimenta de forma unipolar a 5 V, este voltaje es proporcionado por el circuito regulador de voltaje L7805CV con encapsulado T0-220.

Para el arranque remoto del equipo de bombeo, las salidas digitales del módulo XBee se conectaron a una bornera, en específico se utilizó la salida DIO/D0 pin 20 para las funciones de control de arranque remoto.

Una vez identificadas las partes del circuito, se realizó el diagrama eléctrico mostrado en la Figura 27.

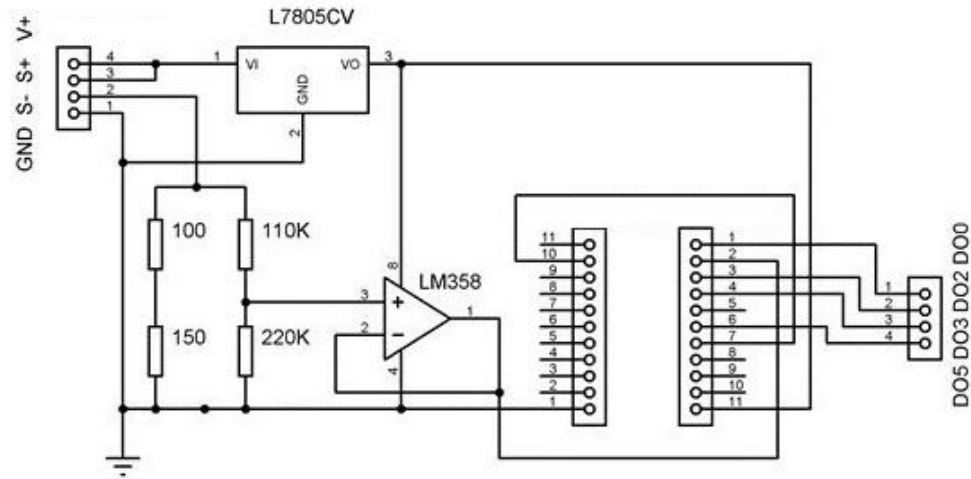


Figura 27. Módulo transmisor.

En la figura 28 se muestran los diseños para la fabricación del PCB.

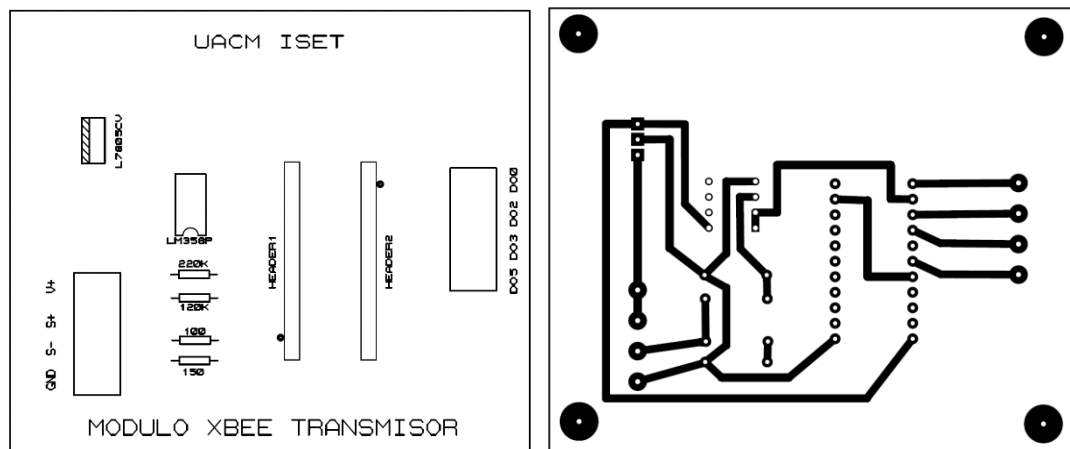


Figura 28. Diseños para PCB.

3.6 MÓDULO RELEVADOR.

El módulo relevador tiene la función de accionar la bomba de llenado del tanque al recibir la señal del módulo transmisor, en la Figura 29 se muestra el diagrama funcional.

Para lograr el accionamiento de la bomba, se implementó un control que consta de un relevador y un transistor, el relevador cuenta con dos contactos, uno normalmente abierto NO y otro normalmente cerrado NC, para la función, se ocupó el contacto NO.

Se alimenta con 24 V y de acuerdo a la hoja de datos [59], su bobina tiene una resistencia de 1600 Ω y la corriente de accionamiento es de 15 mA.

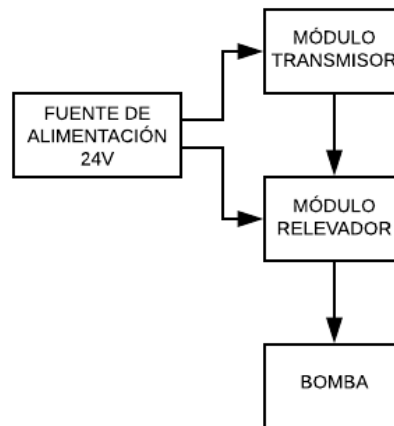


Figura 29. Diagrama funcional módulo relevador.

El módulo coordinador le envía la señal al módulo transmisor para que active o desactive la salida digital del mismo, esta salida entrega un voltaje de 3.3 V en estado alto, que es considerado como LVTTTL (low voltage TTL). Se utilizó un transistor tipo NPN BC337 que, de acuerdo a la hoja de especificaciones [60], maneja una corriente de colector I_C máxima de 800 mA, que es suficiente para accionar el relevador.

Los valores de las resistencias para el control del transistor en corte y saturación, se calcularon con las siguientes fórmulas [61]:

Teniendo como datos $I_C = 15 \text{ mA}$, $V_{BE} = 0.7\text{V}$, $h_{FE} = 100$, se calcula I_B

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}}$$

$$I_B = \frac{15 \text{ mA}}{100}$$

$$I_B = 150 \mu\text{A}$$

Ahora se calcula la resistencia de base R_B

$$R_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{I_B}$$

$$R_B = \frac{(3.3 - 0.7)}{0.000150}$$

$$R_B = 17.33 \text{ K}\Omega$$

Se recomienda usar un valor menor al calculado, aproximando al valor estándar de resistencias, $R_B = 15K\Omega$. Tomando este valor comercial, se recalcula el valor de la corriente de base.

$$I_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_B}$$

$$I_B = \frac{(3.3 - 0.7)}{15000}$$

$$I_B = 173.33 \mu A$$

Entonces, la I_C es:

$$I_C = I_B * h_{FE}$$

$$I_C = 173.33 \mu A * 100$$

$$I_C = 17.33 \text{ mA}$$

Se observa que, con ese valor de resistencia, se garantiza la corriente de accionamiento del relevador.

Por otro lado, si se considera un factor de sobresaturación de diez en la corriente de la base, se tiene:

$$I_B = 173.33 \mu A * 10$$

$$I_B = 1.73 \text{ mA}$$

Entonces, la I_C es:

$$I_C = I_B * h_{FE}$$

$$I_C = 1.73 \text{ mA} * 100$$

$$I_C = 173.3 \text{ mA}$$

Como se mencionó anteriormente, según la hoja de datos, la I_C máxima es de 800 mA.

En el diseño se agregó una resistencia R_1 entre la base del transistor y tierra, que sirve fundamentalmente para evitar que el transistor pueda activar en modo errático el relevador si la entrada de control se encuentra en un estado indefinido. Por diseño se recomienda que la corriente de esta resistencia sea 10 veces menor que la corriente de base [62].

Se calcula primero la corriente de R_1 de la siguiente forma:

$$I_{R1} = \frac{I_B}{10}$$

$$I_{R1} = \frac{150 \mu A}{10}$$

$$I_{R1} = 15 \mu A$$

Ahora se calcula el valor de R_1 :

$$R_1 = \frac{V_{BE}}{I_{R1}}$$

$$R_1 = \frac{0.7}{15 \mu A}$$

$$R_1 = 46.66 \text{ K}\Omega$$

Usando el valor estándar $R_1 = 47 \text{ K}\Omega$, la I_{R1} es:

$$I_{R1} = \frac{V_{BE}}{R1}$$

$$I_{R1} = \frac{0.7}{47000}$$

$$I_{R1} = 14.89 \mu A$$

Cuando a través del transistor se desactiva el relevador interrumpiendo la corriente que pasa por la bobina, el campo magnético presente en ella induce en la misma una tensión muy elevada de polaridad opuesta, este pico de tensión puede dañar el transistor. Para evitar esto, se conecta en paralelo con la bobina un diodo rectificador inversamente polarizado de modo que absorba los picos, en este caso se usó un diodo 1N4001, adicionalmente se colocó un LED verde con su respectiva resistencia de protección para indicar si el relevador está activado o desactivado.

Teniendo los valores correspondientes, se procedió a diseñar el circuito como se muestra en la Figura 30.

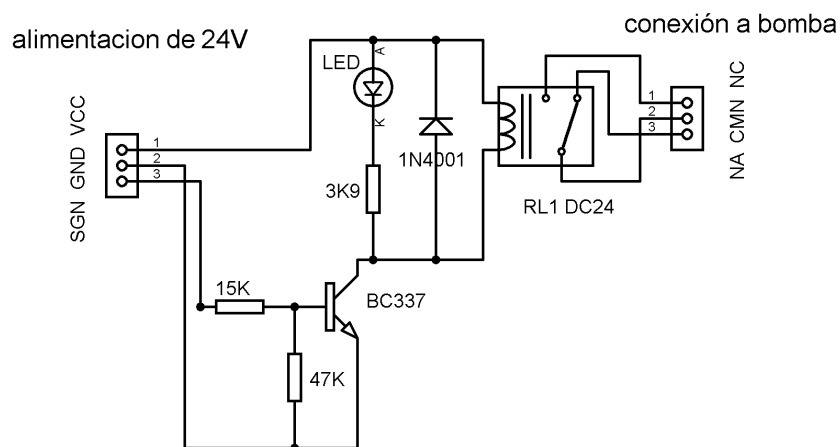


Figura 30. Diagrama eléctrico módulo releador.

En la Figura 31, se muestran los diseños para la fabricación del PCB.

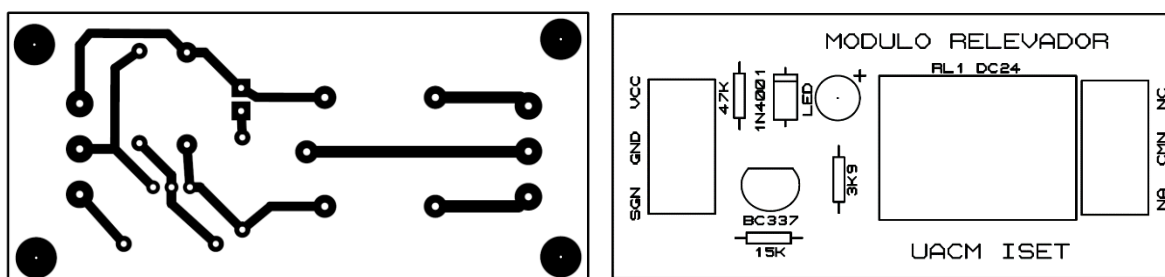


Figura 31. Diseños para PCB.

Teniendo diseñados los circuitos y para realizar pruebas preliminares, se armaron en un "protoboard" y se comprobó el correcto funcionamiento de todos los componentes, como se muestra en la Figura 32.

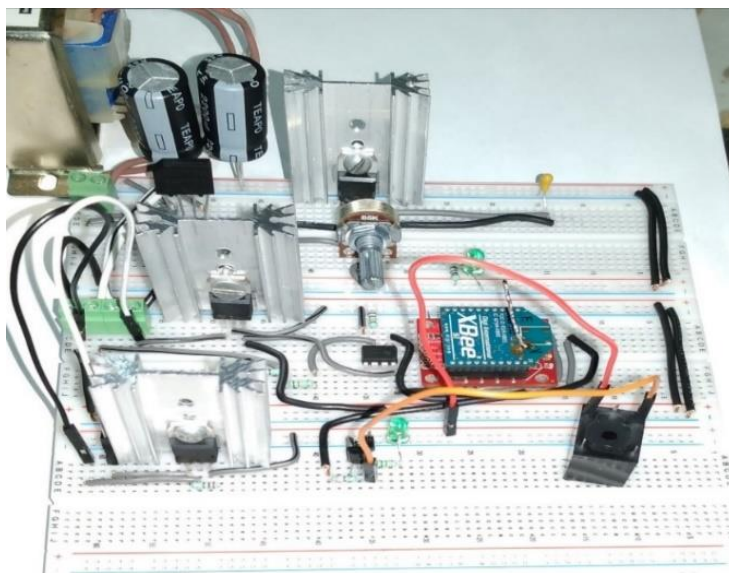


Figura 32. Circuitos alambrados en el "protoboard".

Al montar los circuitos hay que tener en cuenta la disipación de calor generada por la carga, en el caso de la fuente de alimentación, si se tiene una salida del regulador a 24 V y suponemos que se consumen los 2 A que entrega el transformador, la potencia de salida $P = 24V \cdot 2A = 48 \text{ W}$, para el regulador del módulo transmisor $P = 5V \cdot 2A = 10 \text{ W}$, entonces se debe tener una forma de disipar el calor que está generando dicha carga en el regulador, razón por la cual se colocaron disipadores de aluminio.

Una vez comprobado el funcionamiento de los dispositivos, se procedió a la fabricación de las tarjetas PCB, como se muestra en la Figura 33.



Figura 33. Tarjetas PCB: módulo relevador, fuente de alimentación, módulo transmisor.

3.7 MÓDULO COORDINADOR.

Está conformado por el XBee coordinador y el NodeMCU, realiza tres funciones principales que son: recibir los datos del módulo transmisor por medio del XBee, procesarlos por medio del NodeMCU para obtener los parámetros útiles y, enviar la señal de activación de la bomba. Los datos se canalizan a la PC por medio del cable USB y se envían por WiFi a internet hacia la aplicación en el teléfono celular.

El diagrama funcional se muestra en la Figura 34.

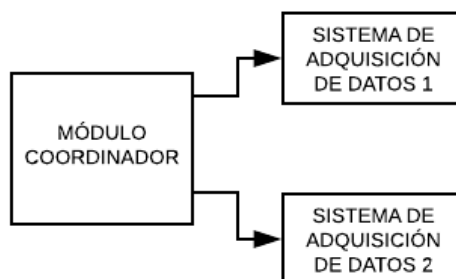


Figura 34. Diagrama de bloques funcional módulo coordinador.

EL XBee y el NodeMCU se conectan entre sí tanto para comunicación como para alimentación, por medio de sus pines, en el caso del XBee, los pines de recepción y transmisión son DIN y DOUT, para el NodeMCU se designaron los pines D1 y D2 respectivamente. La alimentación del módulo NodeMCU proviene directamente de la PC por medio del cable USB, el módulo NodeMCU alimenta a la tarjeta “XBee explorer regulated” por los pines Vcc (a 5 V) y GND (tierra), como se observa en la Figura 35.

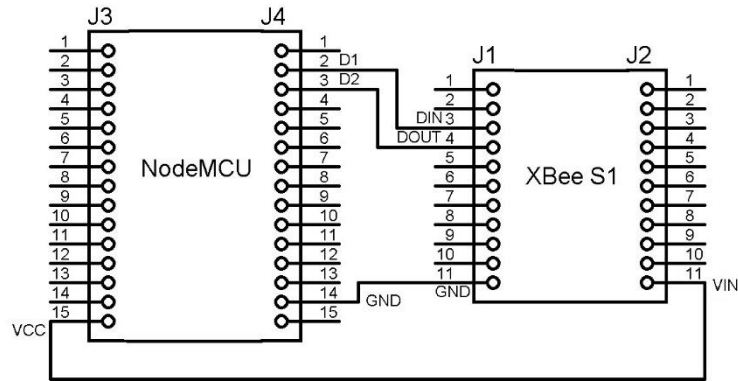


Figura 35. Conexiones entre el módulo XBee y el NodeMCU.

3.8 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS 1 (SAD1).

El SAD1 está desarrollado en 2 partes, tiene la función de recibir los datos provenientes del módulo transmisor y visualizarlos en la interface gráfica de usuario, así como de almacenarlos en la base de datos y accionar de forma remota el equipo de bombeo. En la Figura 36, se muestra el diagrama funcional del SAD1.

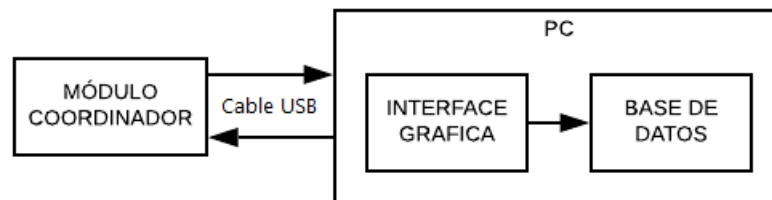


Figura 36. Diagrama funcional del SAD1.

Lectura y procesamiento de datos.

La primera parte se desarrolló en la IDE de Arduino y se grabó en la memoria del módulo NodeMCU, este se encarga de leer y procesar la trama de datos enviada por el módulo transmisor y recibida por el XBee coordinador. De la trama recibida, por medio de código, se separan los datos de la dirección de la fuente (XBee transmisor), los datos de la medición del sensor (distancia medida desde el sensor al nivel del agua) y el estado de la salida digital del módulo transmisor que acciona la bomba (alto o bajo).

Como la trama de datos recibida por el XBee coordinador está en formato hexadecimal, se realiza la conversión a formato decimal y posteriormente se realiza el escalamiento de los datos para obtener unidades de volumen, convertidos los datos, se forma una cadena con los mismos y se envía a la PC por medio del cable USB.

El la Figura 37 se muestra el diagrama de flujo de la recepción y procesamiento de los datos enviados por el sensor.

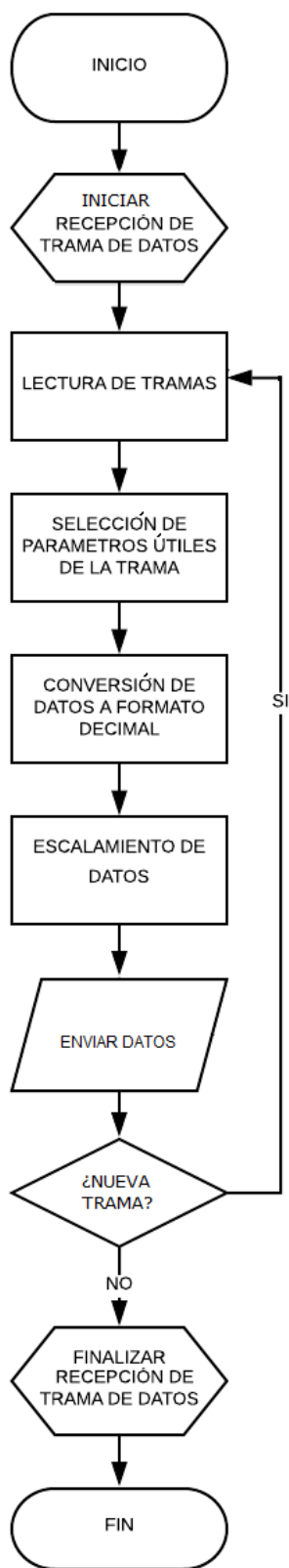


Figura 37. Diagrama de flujo para la adquisición, selección y conversión de datos.

Interface gráfica de usuario.

La segunda parte se realizó en Visual Basic para desarrollar la interface gráfica de usuario, que se encarga de separar los datos recibidos y mostrarlos en pantalla en la PC. En la Figura 38, se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento.

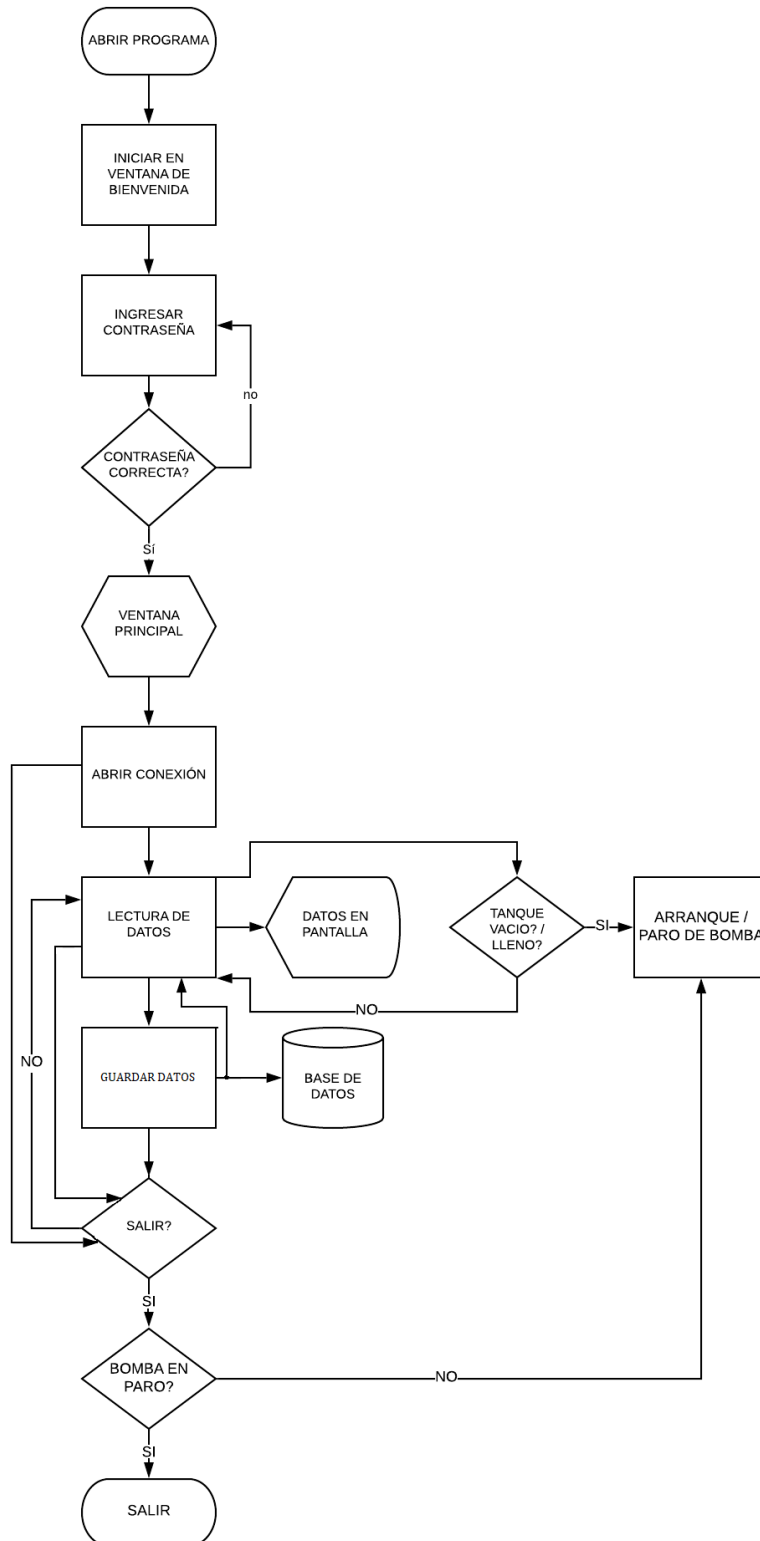


Figura 38. Diagrama de flujo del funcionamiento de la interface gráfica.

La interface gráfica de usuario consta de tres ventanas con distintas funciones que se describen a continuación:

Ventana de bienvenida.

Al ejecutar el programa aparece una ventana de bienvenida, en esta ventana se observan el nombre de la institución, el nombre del programa, el botón de inicio y el botón para salir que cierra el programa si no se quiere continuar, como se muestra en la Figura 39.



Figura 39. Pantalla de Inicio.

Ventana de contraseña.

Al presionar el botón INICIAR de la ventana de bienvenida, se muestra la ventana de contraseña de usuario. Figura 40.



Figura 40. Pantalla con Contraseña.

Esta ventana cuenta con dos botones, el botón SALIR que cierra el programa si no se quiere continuar o si no se recuerda la contraseña y el botón ACEPTAR, que abre la ventana principal si la contraseña es correcta, Figura 41. Si se ingresa una contraseña incorrecta se mostrará un mensaje de error y se tendrá que volver a ingresarla.

Ventana principal.

Esta ventana contiene varios elementos de interacción con el usuario.

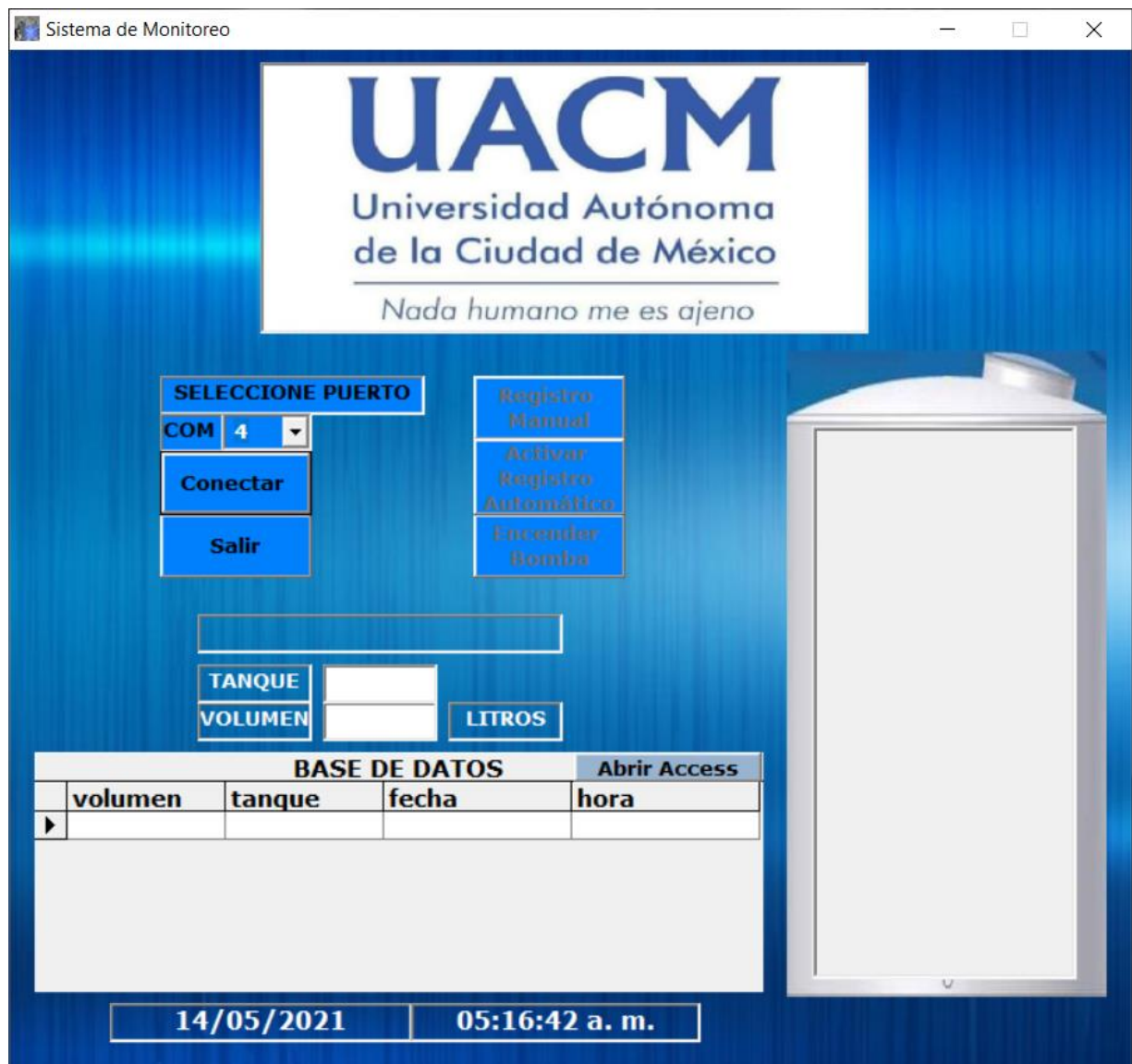


Figura 41. Ventana principal.

Los primeros elementos importantes de esta ventana son los cinco botones de control y un recuadro donde se visualiza el puerto donde se encuentra conectado el módulo coordinador, estos elementos son mostrados en la Figura 42. Los botones realizan diferentes funciones que a continuación se describen:



Figura 42. Botones de control.

- **Seleccione puerto:** Muestra el número del puerto en donde se encuentra conectado el módulo coordinador, el programa detecta automáticamente en que puerto está conectado el dispositivo.
- **Conectar:** Abre el puerto para recibir los datos provenientes del módulo transmisor, al abrir la conexión, el botón pasa al estado cerrar conexión, cuya función es cerrar el puerto.
- **Salir:** Al presionar este botón, el programa muestra un mensaje de confirmación, si se acepta, el programa se cierra.
- **Registro manual:** este botón tiene como función guardar el valor del nivel del tanque de agua mostrado en la pantalla en la base de datos de forma manual. Se encuentra deshabilitado hasta que se abre la conexión.
- **Activar registro automático:** Tiene como función guardar el valor en la base de datos automáticamente en un determinado tiempo según las necesidades de uso (para este proyecto se programó cada 5 segundos). Al activarlo, el botón pasa al estado desactivar registro automático, esta función detiene el registro automático. Este botón se encuentra deshabilitado hasta que se establece la conexión.
- **Encender bomba:** Tiene la función de encender y apagar la bomba de llenado del tanque, el botón se encuentra deshabilitado hasta que se abre la conexión.

La interface muestra una etiqueta que indica en qué estado se encuentra la bomba, esta confirmación proviene del módulo transmisor para asegurar que está activada o desactivada.

El accionamiento de la bomba también se realiza de forma automática, cuando el depósito se encuentra en el nivel mínimo se enciende, cuando se alcanza el volumen máximo se detiene.

En los cuadros de visualización de los datos, se puede observar el valor del volumen de agua contenida en el tanque y el número del tanque de donde provienen los datos, así mismo se observa una tabla que muestra cómo se han almacenado los valores en la base de datos, junto con la fecha y la hora en que fue hecho el registro. Figura 43.

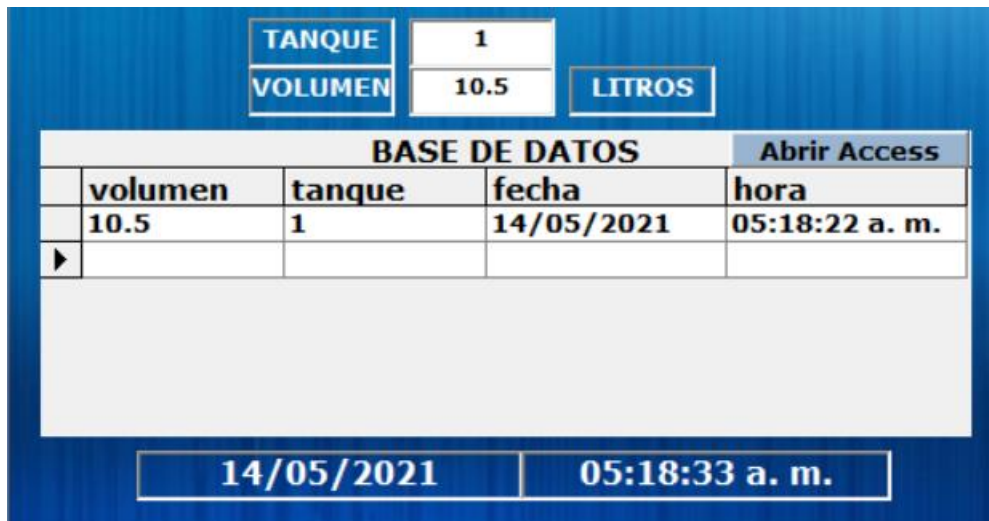


Figura 43. Visualización de datos.

Cabe mencionar que ninguno de estos campos es editable, son de sólo lectura, esto se establece así para evitar guardar un dato erróneo en la base de datos.

Sobre la tabla se observa un botón que tiene la función de abrir directamente el archivo de la base de datos sin la necesidad de salir del programa.

Por último, la interface muestra una simulación gráfica en tiempo real del nivel de agua contenido en el tanque, según varíe el valor numérico del volumen, también variará el contenido de la figura del tanque. Figura 44. Cuando el sistema no está conectado, el tanque se ve vacío.

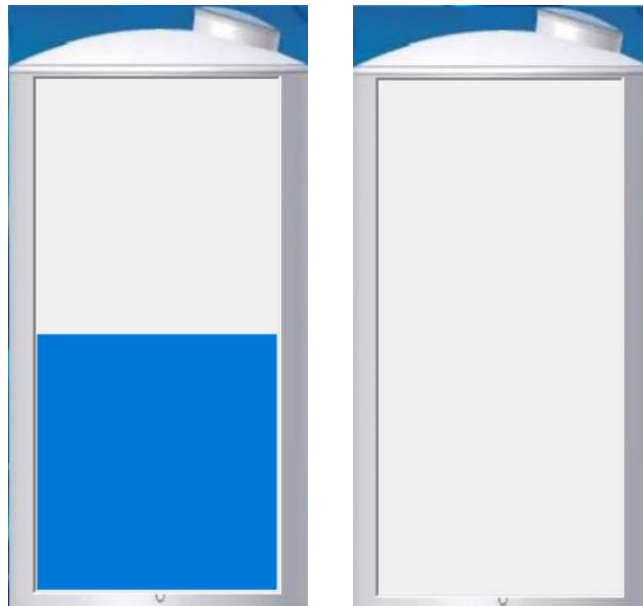


Figura 44. Simulación gráfica del llenado del tanque.

Controles de seguridad.

La interface no permite salir del programa si antes no se realiza el cierre de la conexión, este control de seguridad evita que el puerto se quede abierto y produzca un error de ejecución de la PC.

Cuando la bomba se encuentra encendida, el botón cerrar conexión se deshabilita, esto es para evitar que se cierre el puerto si la bomba está activada.

Cuando el tanque está lleno, el botón encender bomba se deshabilita, esto impide que se arranque de forma manual la bomba y se provoque un desbordamiento.

Mensajes de error.

La interface tiene implementados mensajes de error que se presentan en tres situaciones principales.

- Si se ingresa de forma incorrecta la contraseña, se muestra una advertencia informando que se ingresó erróneamente y pide ingresarla de nuevo.
- Si por alguna razón no se encuentra conectado el modulo coordinador, el programa muestra una advertencia del suceso y cierra la ventana para ingresar de nueva cuenta.
- Si por alguna razón el módulo transmisor no se encuentra conectado, al momento de abrir conexión se muestra un mensaje de advertencia y se debe conectar nuevamente.
- Si por alguna razón, durante la ejecución de la aplicación, el sensor se llega a desconectar, se muestra un mensaje de error de lectura y se deberá conectar nuevamente

Los mensajes de error se muestran en la Figura 45.



Figura 45. Mensajes de error.

3.9 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS 2 (SAD2).

El SAD2 está desarrollado en la aplicación de la plataforma Blynk, cuya función es visualizar el valor del volumen del tanque, así como el encendido y apagado de la bomba mediante un teléfono celular. En la Figura 46 se muestra el diagrama de bloques funcional.

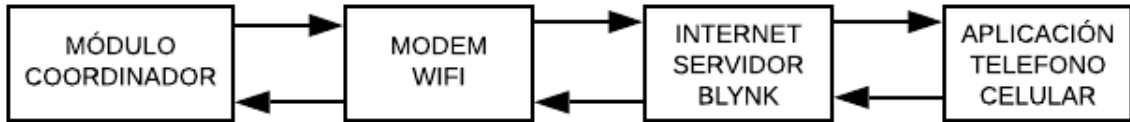


Figura 46. Diagrama de bloques funcional SAD2.

Los datos enviados por el módulo transmisor son recibidos por el módulo coordinador, el cual los envía por medio de la conexión WiFi al modem y este al servidor de la plataforma Blynk que a su vez los envía a la aplicación del teléfono celular y viceversa.

Consideraciones para el diseño.

Para desarrollar y utilizar la aplicación, Blynk recomienda seguir algunos pasos básicos [63], los cuales son:

1. Descargar la aplicación.

Se puede descargar de forma gratuita de la tienda de aplicaciones, la versión utilizada es la 2.27.25 del 10 de febrero del 2021. En la Figura 47, se muestran los datos de la aplicación descargada.

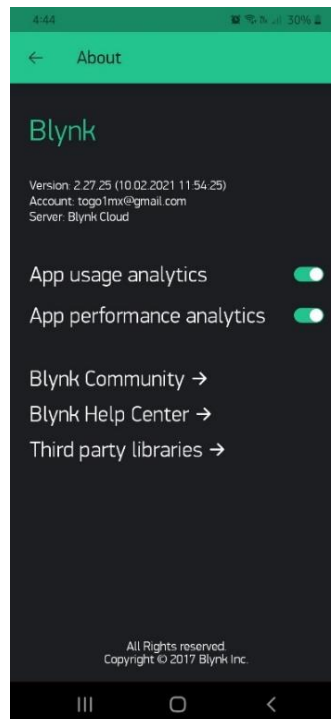


Figura 47. Datos generales de la aplicación Blynk.

2. Instalar la biblioteca Blynk.

“Blynk Library” es una extensión que se ejecuta sobre la aplicación de hardware, se instala directamente en la carpeta de almacenamiento de librerías de la IDE de Arduino, maneja todas las rutinas de conexión y el intercambio de datos entre el hardware, “Blynk cloud” (servidor Blynk) y la aplicación. En la Figura 48, se muestra el menú de la IDE de Arduino donde se descarga directamente la librería.

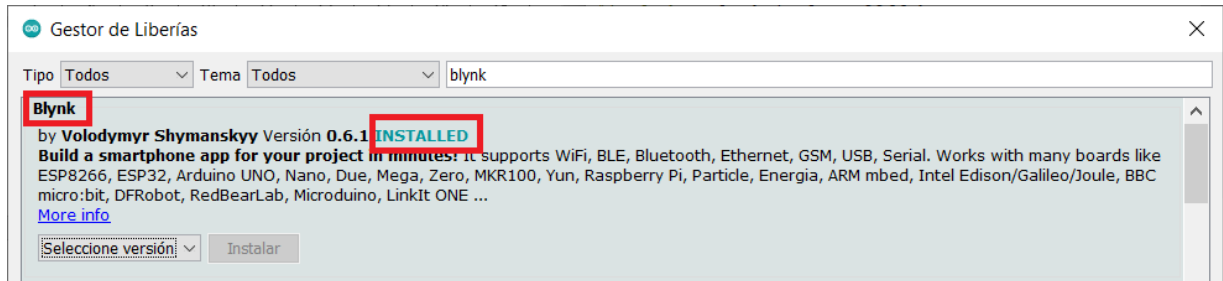


Figura 48. Instalación de librería Blynk en la IDE Arduino.

3. Conectar el hardware.

Para poner el hardware en línea, que en este proyecto es el NodeMCU y conectarlo a “Blynk cloud”, se necesita un “token” de autenticación de dispositivos, este “token” es un número de identificación exclusivo para el proyecto a desarrollar y para cada dispositivo. Como se ve en la Figura 49, la aplicación tiene la opción de enviar este código al correo electrónico registrado, de manera confidencial.

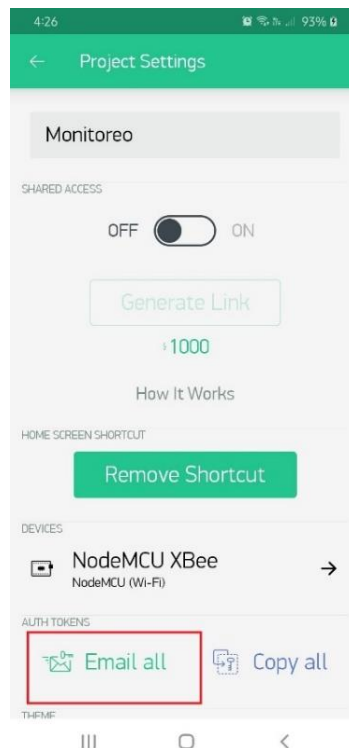


Figura 49. Enviar “token” por correo.

4. Usar la aplicación.

Una vez que el hardware está conectado, se eligen las herramientas necesarias para visualizar los datos. En la Figura 50, se observan algunas de las herramientas que la aplicación ofrece para el desarrollo del proyecto.



Figura 50. Herramientas de diseño de Blynk.

Diseño de la aplicación.

La aplicación utiliza un enlace llamado pines virtuales, estos simulan pines físicos en el dispositivo móvil, a estos pines, dentro del código, se les asignaron las variables que contienen los datos a enviar, estas variables son: el número del tanque, el valor del volumen, la activación de la bomba y la señal que indica que la bomba está encendida.

En la Figura 51, se muestran las líneas de código para la asignación de estas variables y el “token” generado por Blynk.

```

UACM Monitoreo Arduino 1.8.13

int a;
float h;
float y;
float z;
char auth[] = "XsGQx0nmm-POZJLNlv1PGGnOiADY2Ykj";
char ssid[] =
char pass[] =

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  XBee.begin(9600);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
  Blynk.virtualWrite(V1, " ");
  Blynk.virtualWrite(V2, " ");
  Blynk.virtualWrite(V5, " ");
  Blynk.virtualWrite(V6, LOW);
}

```

Figura 51. Token y puertos virtuales.

En la aplicación, se enlazaron estos pines a cada una de las herramientas que se escogieron para la interface, en la Tabla 11 se describen las herramientas y la función que realizan.

Herramienta	Función	Pin virtual
Button	Se utiliza para encender o apagar la bomba	V6
LCD	Muestra en forma numérica el valor del volumen de agua en el tanque y el número del tanque	V1, V2
LED	Indicador visual para saber si la bomba está encendida o apagada	V4
Level V	Indicador de nivel que muestra el volumen de agua contenido en el tanque	V3
Super chart	Muestra en forma de gráfico de línea los valores del volumen medido.	V1
Tabs	Permite separar las herramientas en pestañas	No asignado
Value display	Muestra la leyenda de error de lectura	V5

Tabla 11. Herramientas empleadas.

En la Figura 52, se muestra cómo se ordenaron estas herramientas en la aplicación móvil, para tener una vista óptima en la pantalla.

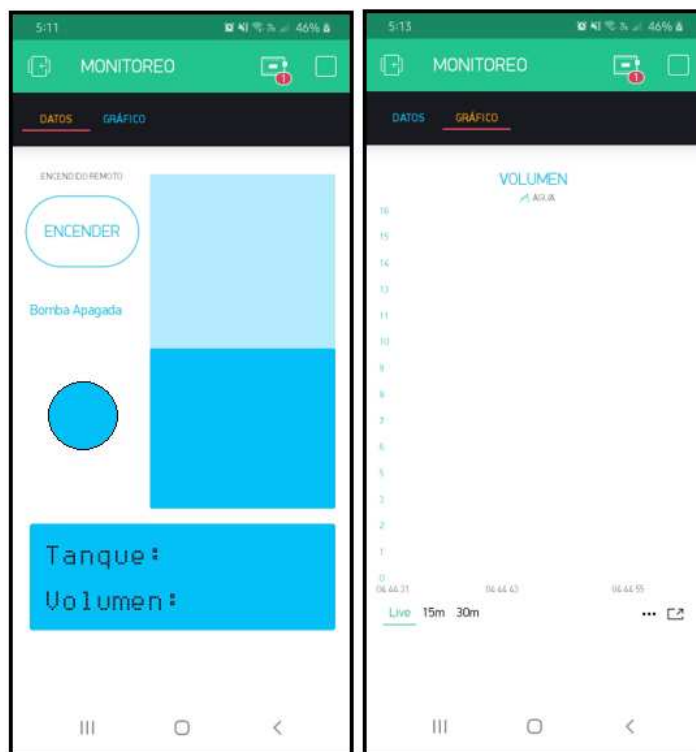


Figura 52. Herramientas empleadas y ordenamiento en la pantalla.

CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS.

En este capítulo se describe la interconexión de todos los elementos que conforman el sistema de monitoreo y las pruebas correspondientes realizadas.

4.1 DISEÑO DEL CONTENEDOR.

El contenedor que se muestra en la Figura 53, simula un tanque de almacenamiento real, las dimensiones del contenedor son 20 x 20 x 40 cm y se elaboró con acrílico transparente, se colocó una tubería de CPVC de ½" para el llenado por medio de la bomba.



Figura 53. Contenedor.

El contenedor tiene un volumen total interno de 15 lt, para la realización de las pruebas, se estableció como volumen mínimo 2 lt y como volumen máximo 14 lt.

4.2 CONDICIONES INICIALES.

Para iniciar con las pruebas, primeramente, se ensambló la fuente de alimentación colocando la tarjeta PCB dentro de un gabinete, Figura 54, dentro de este, se colocaron el transformador, un voltmetro digital que nos permite visualizar el voltaje seleccionado, un fusible, un botón de encendido y el cable de alimentación de CA.

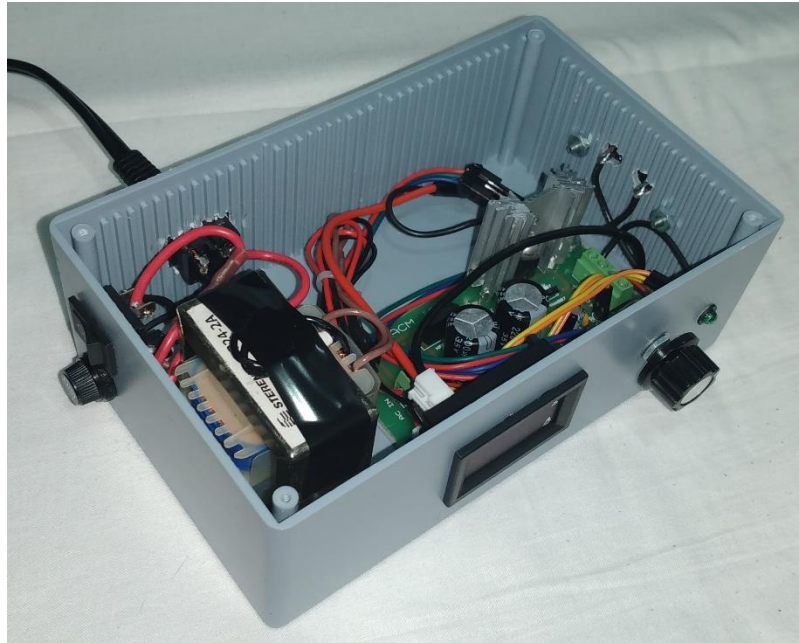


Figura 54. Armado de fuente de voltaje.

Teniendo ensamblada la fuente de alimentación, se ajustó el voltaje a 24 V y se conectó el sensor a la tarjeta del módulo transmisor, así mismo este se conectó a la fuente junto con el módulo relevador, Figura 55.

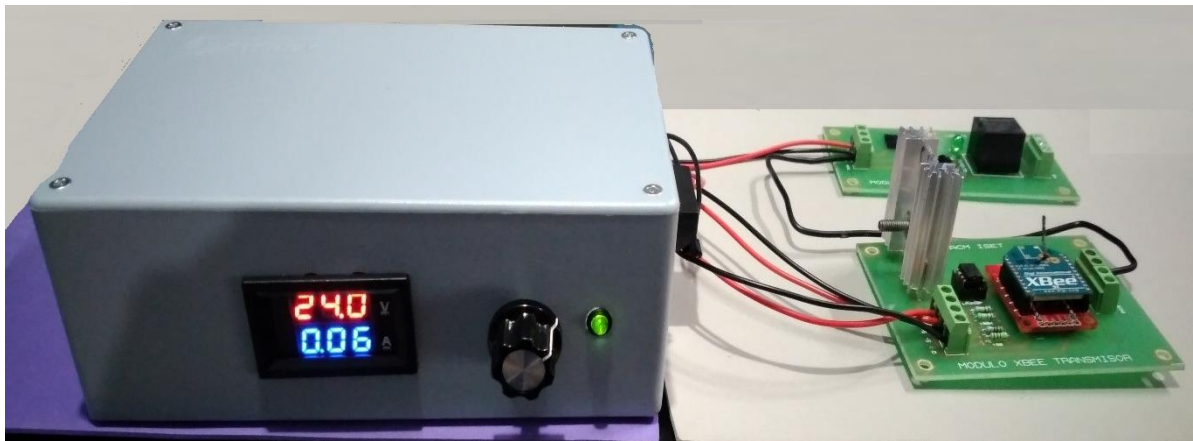


Figura 55. Verificación de voltajes de alimentación y conexión de módulos.

Se conectó el módulo coordinador al puerto USB de la PC a través de la tarjeta “XBee Explorer USB” y mediante el software X-CTU se verificó que se estuvieran recibiendo las tramas de datos provenientes del sensor de forma correcta, como se muestra en la Figura 56.

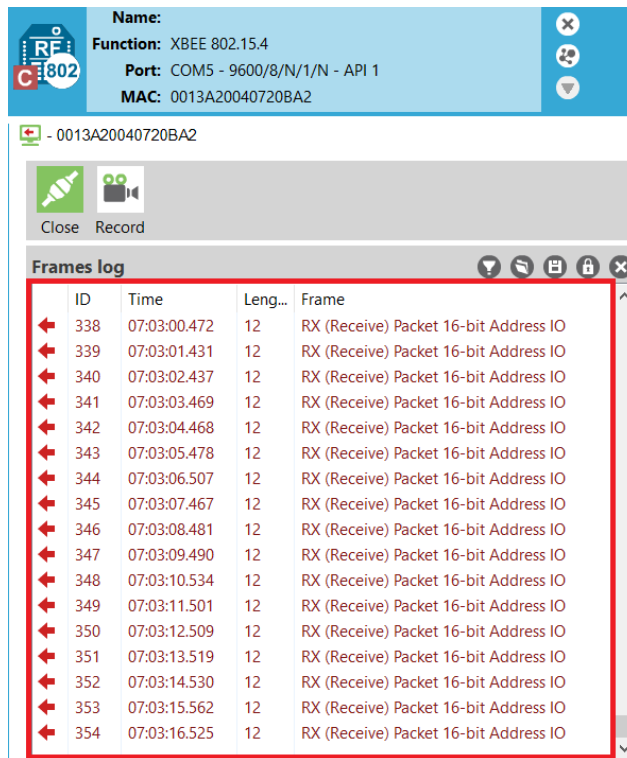


Figura 57. Recepción de tramas de datos.

Posteriormente, se montaron el XBee coordinador y el NodeMCU en una PCB prefabricada realizando las conexiones indicadas, se conectó el NodeMCU por medio de un cable USB a la PC y se verificó que la alimentación y la conexión fueran correctas. Figura 58.



Figura 58. Conexión del módulo coordinador.

Al conectar el módulo a la PC y reiniciarlo, se comprobó que se establece conexión WiFi con el módem y a su vez con el servidor Blynk mediante el monitor serial de la IDE de Arduino, como se observa en la Figura 59.

```
COM4
[5412] Connected to WiFi
[5413] IP: 192.168.1.69
[5413]
  _ _ _ _ _
 / _ \ / _ \ / _ \ / _ \
/_ _ \/_ _ \/_ _ \/_ _ \
 / _ \ v0.6.1 on NodeMCU

[5488] Connecting to blynk-cloud.com:80
[5705] Ready (ping: 85ms).
```

Figura 59. Conexión a internet y al servidor Blynk.

4.3 PRUEBAS DE OPERACIÓN.

A continuación, se describen las pruebas realizadas al SAD1 y SAD2, con el objetivo de verificar el envío y recepción de datos de los módulos transmisor y coordinador, la visualización de estos y el encendido y paro de la bomba en ambos sistemas.

Para la realización de las pruebas el tanque se marcó con 2 divisiones entre el volumen máximo y el mínimo que representan 6lt y 10lt respectivamente y se llenó con agua hasta el volumen mínimo.

Pruebas de operación SAD1.

En la Figura 60, se pueden observar las condiciones de la interface en el momento previo de iniciar la conexión, es decir, se observan los botones de registro de datos y arranque de la bomba deshabilitados y la leyenda del botón Conectar.



Figura 60. Condiciones iniciales para las pruebas.

Al abrir la conexión, la interface detecta que el tanque se encuentra en el valor mínimo y se enciende la bomba automáticamente, como se observa en la Figura 61, al encontrarse la bomba encendida, los botones de cerrar conexión y salir del programa se encuentran deshabilitados.



Figura 61. Arranque automático de la bomba.

Para verificar el arranque y paro de la bomba de forma manual, se comenzó a llenar el contenedor con agua y se detuvo en las marcas asignadas de 6 lt, 10 lt y 14 lt.

Así mismo, se realizó la comparación de las lecturas mostradas en la interface con el volumen contenido en el tanque, verificando que son las mismas. Figuras 62, 63 y 64.



Figura 62. Nivel 6 litros.



Figura 63. Nivel 10lt.

Al llegar al volumen máximo la interface detiene el funcionamiento de la bomba automáticamente, Figura 64, se observa la leyenda de bomba apagada y el botón de arranque de la bomba deshabilitado.



Figura 64. Nivel 14 lt.

A continuación, se procedió a almacenar los datos de forma manual verificando que se almacenaron en la base de datos con la fecha y hora correspondiente, posteriormente se realizó la prueba de registro automático, corroborando que esta se realiza en el tiempo determinado. En la Figura 65, se observan los datos presentados en la interface y los datos almacenados en la base de datos de Access, donde se puede apreciar que son los mismos.

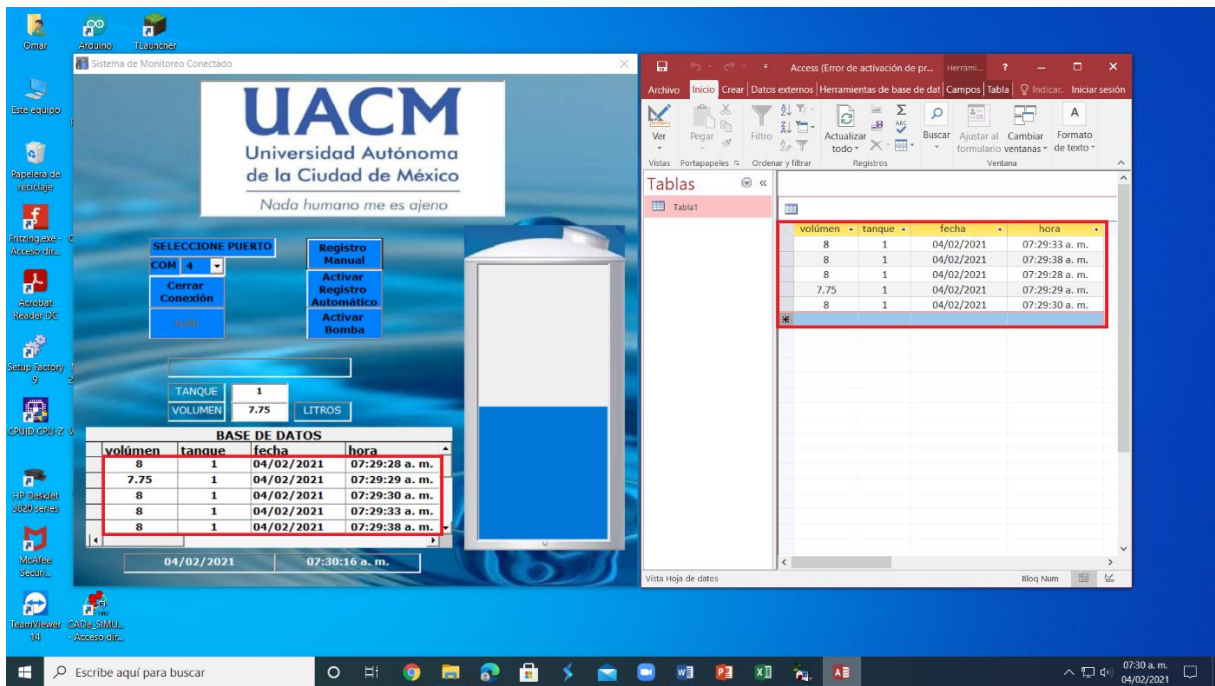


Figura 65. Registro de datos.

Pruebas de operación SAD2.

Para la realización de las pruebas del SAD2, se abre la aplicación en el teléfono celular y se oprime el botón iniciar, en la Figura 66, se muestra la aplicación al momento de establecer la conexión.

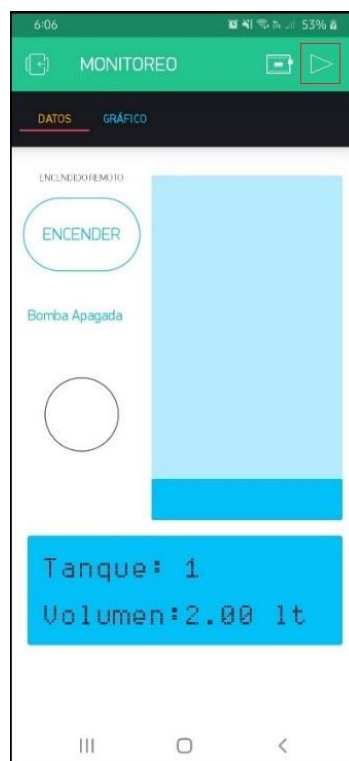


Figura 66. Inicio de la aplicación móvil.

Se hizo variar el volumen entre 6 lt, 10 lt y 14 lt, y se observó que los valores mostrados en la aplicación, coinciden con el volumen del tanque, Figura 67.

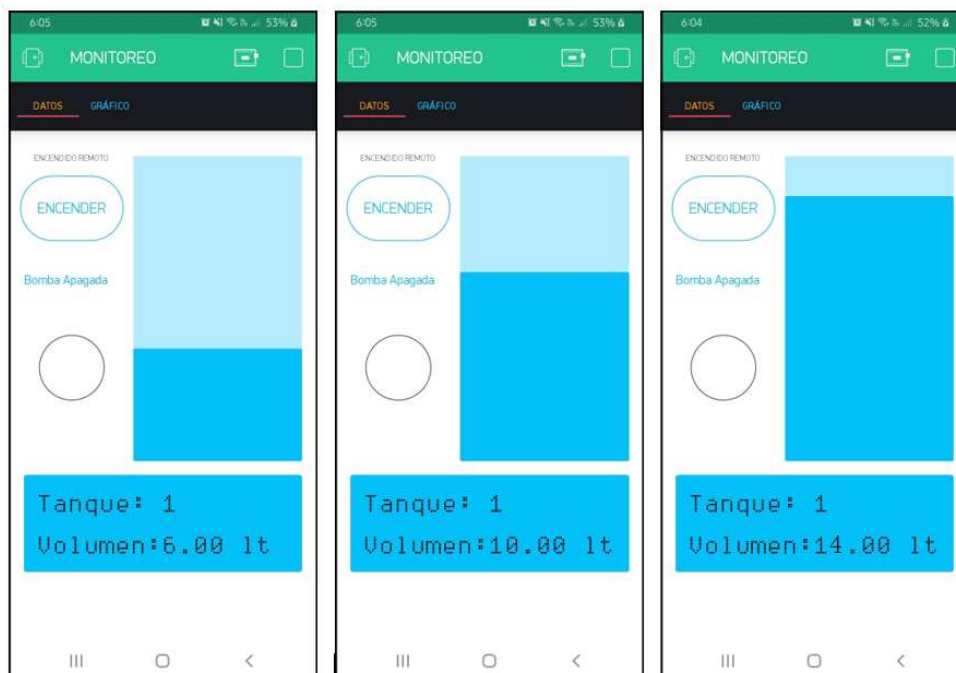


Figura 67. Medición de 6 lt, 10 lt Y 14 lt por medio de la aplicación móvil.

Las mediciones del volumen se hicieron mediante el arranque y paro de la bomba por medio de la aplicación. Al oprimir el botón ENCENDER este cambia su color y su leyenda por APAGAR, el “LED” se encuentra encendido, como se observa en la Figura 68.



Figura 68. Encendido de la bomba por medio de la aplicación.

Cabe mencionar que el botón ENCENDER, el LED y la etiqueta de bomba, cambian su estado cuando la bomba se enciende o se apaga de forma automática.

En la pestaña GRÁFICO de la aplicación, se pudieron observar los valores medidos durante las pruebas, como se ve en la Figura 69. El tiempo en que se realizaron las mediciones fue media hora, con intervalos de 10 minutos entre cada variación del volumen, estos valores pueden ser enviados (en formato CSV) al correo electrónico registrado para analizarlos.



Figura 69. Medición de niveles en gráfico lineal.

Durante la realización de las mediciones, se observó que presentaban una variación de ± 0.25 lt con respecto al nivel del tanque, se intentó corregir esta variación realizando un ajuste en la ecuación de escalamiento por medio de una regresión lineal, así mismo se realizó una conversión del dato leído por el ADC a valores de voltaje.

Posteriormente se utilizó el método del promedio móvil ponderado para disminuir la variación, con esto se mantuvieron estables por más tiempo, aunque se ralentizó la lectura. Después de realizar estos ajustes se observó que las variaciones en las lecturas persistieron, por lo que concluimos que el sistema tiene un error total de 0.5 litros.

Al terminar la realización de las pruebas, los resultados fueron:

- Comprobación del envío y la recepción de los datos por medio de los módulos XBee.
- La lectura y visualización de los datos tanto en la interface gráfica como en la aplicación móvil en tiempo real.
- El registro manual y automático de los valores en la base de datos.
- El arranque y paro tanto manual como automático de la bomba desde la interface y desde la aplicación
- La funcionalidad en general que tienen tanto la interface gráfica de usuario, como la aplicación móvil.

CONCLUSIONES.

Al finalizar este trabajo se concluye que se cumplieron con los objetivos planteados al iniciar el desarrollo del sistema, se ha comprobado la posibilidad de implementar una red de monitoreo con tecnología ZigBee y WiFi para la adquisición de datos.

Se comprueba que mediante el uso de tecnologías inalámbricas se permite la lectura de datos en todo momento sin la necesidad de estar en el sitio, por lo que se puede afirmar que mediante un prototipo como el desarrollado en este documento, se facilitan las tareas relacionadas con la observación y prevención de fallas a distancia.

Gracias a la ausencia de cableado en la implementación de una red inalámbrica con esta tecnología, se evitan trabajos como la construcción de canaletas y el uso de postes para cableado y otros materiales que elevarían el costo y consumirían más tiempo en la instalación.

El uso de una interface gráfica facilita la visualización y manipulación de los datos enviados por los sensores por parte del usuario, ya que se tienen en tiempo real y no es necesaria la realización de configuraciones directas en los módulos, cuyos ajustes se realizan al instalar y se pueden modificar y actualizar de manera remota. La utilización de una aplicación móvil proporciona una mayor flexibilidad y alcance del sistema.

El estándar de comunicación y la tecnología utilizadas en este trabajo se caracterizan por un bajo consumo de energía y un bajo costo, tanto de elementos como de implementación, además que están diseñados para una baja tasa de envío de datos, lo que la hacen una utilización ideal en sistemas de monitoreo remoto.

Cabe mencionar que este sistema en particular tiene grandes áreas de oportunidad, como se mencionó durante todo el documento, este proyecto es sólo una aplicación básica que se encuentra en los puntos mínimos de operación, el cual, con el uso de elementos de mayor calidad y capacidad, se podrá mejorar para aumentar los alcances del mismo.

BIBLIOGRAFÍA.

Aprenda Visual Basic 6.0 como si estuviera en primero, Javier García de Jalón, José Ignacio Rodríguez, Alfonso Brazález, Universidad de Navarra.

Arduino announces FPGA board, ATmega4809 in Uno WiFi mk2, cloud-based IDE and IoT hardware» (en inglés británico). 18 de mayo de 2018.

Diseño y construcción de un módulo transmisor receptor inalámbrico para el manejo de sensores con el protocolo estándar IEEE 802.15.4 (ZigBee), Jayro Santiago Paz,

Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca. Octubre de 2008

Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky. Prentice Hall, décima edición, 2009.

https://data.sacmex.cdmx.gob.mx/repositorio/art121/XXII/inter/Especificaciones_POA.pdf. Consulta agosto 2020

<https://histinf.blogs.upv.es/2010/12/02/historia-de-las-redes-inalambricas/>. Consulta abril 2020

<https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90001458-13.pdf>. Consulta junio 2020

<https://www.digi.com/xbec>. Consulta junio 2020

<https://www.profesionalreview.com/2018/11/22/modelo-osi/>. Consulta mayo 2020

IEEE 802.15.4-2006 “IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS)

IEEE Computer Society, “IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems.

Interfaz para el uso de microcontroladores de bajo costo con instrumentación de control estándar, José María Fernández Olmo.

La gestión del agua potable en la Ciudad de México, Lorena Torres Bernardino, Primera edición: febrero de 2017. Instituto Nacional de Administración Pública.

Leonel G. Corona, Sensores y actuadores, Parra, 2014. ProQuest ebrary.

Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANS)”, USA, 08/09/2006, ISBN: 0-7381-4997-7.

Los Fundamentos de los Lazos de Corriente de 4-20 mA, Simón Paonessa, Precision Digital Corporation.

Manual para la aplicación de la tecnología ZigBee, Universidad Politécnica Salesiana, Paul A. Becerra, 2017

Manual XCTU en inglés, 2019.

Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México, Sistema de Aguas de la Ciudad de México

XBee Guía Usuario en inglés, serie 1, 2018.

ANEXO A.

LM317, NCV317

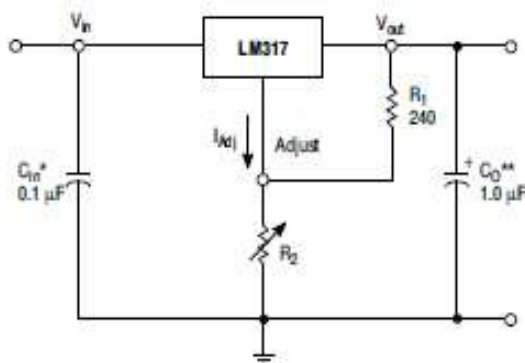
1.5 A Adjustable Output, Positive Voltage Regulator

The LM317 is an adjustable 3-terminal positive voltage regulator capable of supplying in excess of 1.5 A over an output voltage range of 1.2 V to 37 V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow-out proof.

The LM317 serves a wide variety of applications including local, on card regulation. This device can also be used to make a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM317 can be used as a precision current regulator.

Features

- Output Current in Excess of 1.5 A
- Output Adjustable between 1.2 V and 37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting Constant with Temperature
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Floating Operation for High Voltage Applications
- Available in Surface Mount D²PAK-3, and Standard 3-Lead Transistor Package
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and PPAP Capable
- Eliminates Stocking many Fixed Voltages
- These are Pb-Free Devices



* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

** C_O is not needed for stability, however, it does improve transient response.

$$V_{out} = 1.25 V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} R_2$$

Since I_{Adj} is controlled to less than 100 μ A, the error associated with this term is negligible in most applications.

Figure 1. Standard Application



ON Semiconductor®



D²PAK-3
D2T SUFFIX
CASE 936

Heatsink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.



TO-220
T SUFFIX
CASE 221AB

Pin 1. Adjust
2. V_{out}
3. V_{in}

Heatsink surface connected to Pin 2.

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 10 of this data sheet.

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Input-Output Voltage Differential	$V_I - V_O$	-0.3 to 40	Vdc
Power Dissipation			
Case 221A $T_A = +25^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	θ_{JA}	65	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	θ_{JC}	5.0	$^\circ\text{C/W}$
Case 936 (D ² PAK-3) $T_A = +25^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	θ_{JA}	70	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	θ_{JC}	5.0	$^\circ\text{C/W}$
Operating Junction Temperature Range	T_J	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_I - V_O = 5.0\text{ V}$; $I_O = 0.5\text{ A}$ for D2T and T packages; $T_J = T_{low}$ to T_{high} (Note 1); I_{max} and P_{max} (Note 2); unless otherwise noted.)

Characteristics	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Line Regulation (Note 3), $T_A = +25^\circ\text{C}$, $3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$	1	Reg_{line}	-	0.01	0.04	%/V
Load Regulation (Note 3), $T_A = +25^\circ\text{C}$, $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{max}$	2	Reg_{load}	-	5.0	25	mV
$V_O \leq 5.0\text{ V}$			-	0.1	0.5	% V_O
$V_O \geq 5.0\text{ V}$						
Thermal Regulation, $T_A = +25^\circ\text{C}$ (Note 4), 20 ms Pulse	-	Reg_{therm}	-	0.03	0.07	% V_O/W
Adjustment Pin Current	3	I_{Adj}	-	50	100	μA
Adjustment Pin Current Change, $2.5\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$, $10\text{ mA} \leq I_L \leq I_{max}$, $P_D \leq P_{max}$	1, 2	ΔI_{Adj}	-	0.2	5.0	μA
Reference Voltage, $3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$, $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{max}$, $P_D \leq P_{max}$	3	V_{ref}	1.2	1.25	1.3	V
Line Regulation (Note 3), $3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$	1	Reg_{line}	-	0.02	0.07	% V
Load Regulation (Note 3), $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{max}$	2	Reg_{load}	-	20	70	mV
$V_O \leq 5.0\text{ V}$			-	0.3	1.5	% V_O
$V_O \geq 5.0\text{ V}$						
Temperature Stability ($T_{low} \leq T_J \leq T_{high}$)	3	T_S	-	0.7	-	% V_O
Minimum Load Current to Maintain Regulation ($V_I - V_O = 40\text{ V}$)	3	I_{Lmin}	-	3.5	10	mA
Maximum Output Current	3	I_{max}	1.5	2.2	-	A
$V_I - V_O \leq 15\text{ V}$, $P_D \leq P_{max}$, T Package			0.15	0.4	-	
$V_I - V_O = 40\text{ V}$, $P_D \leq P_{max}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$, T Package						
RMS Noise, % of V_O , $T_A = +25^\circ\text{C}$, $10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$	-	N	-	0.003	-	% V_O
Ripple Rejection, $V_O = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$ (Note 5)	4	RR	-	65	-	dB
Without C_{Adj}			66	80	-	
$C_{Adj} = 10\text{ }\mu\text{F}$						
Thermal Shutdown (Note 6)	-	-	-	180	-	$^\circ\text{C}$
Long-Term Stability, $T_J = T_{high}$ (Note 7), $T_A = +25^\circ\text{C}$ for Endpoint Measurements	3	S	-	0.3	1.0	%/1.0 kHrs.
Thermal Resistance Junction-to-Case, T Package	-	Re_{JC}	-	5.0	-	$^\circ\text{C/W}$

1. T_{low} to $T_{high} = 0^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$, for LM317T, D2T. T_{low} to $T_{high} = -40^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$, for LM317BT, BD2T, T_{low} to $T_{high} = -55^\circ$ to $+150^\circ\text{C}$, for NCV317BT, BD2T.

2. $I_{max} = 1.5\text{ A}$, $P_{max} = 20\text{ W}$

3. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

4. Power dissipation within an IC voltage regulator produces a temperature gradient on the die, affecting individual IC components on the die. These effects can be minimized by proper integrated circuit design and layout techniques. Thermal Regulation is the effect of these temperature gradients on the output voltage and is expressed in percentage of output change per watt of power change in a specified time.

5. C_{Adj} , when used, is connected between the adjustment pin and ground.

6. Thermal characteristics are not subject to production test.

7. Since Long-Term Stability cannot be measured on each device before shipment, this specification is an engineering estimate of average stability from lot to lot.

APPLICATIONS INFORMATION

Basic Circuit Operation

The LM317 is a 3-terminal floating regulator. In operation, the LM317 develops and maintains a nominal 1.25 V reference (V_{ref}) between its output and adjustment terminals. This reference voltage is converted to a programming current (I_{PROG}) by R_1 (see Figure 17), and this constant current flows through R_2 to ground.

The regulated output voltage is given by:

$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} R_2$$

Since the current from the adjustment terminal (I_{Adj}) represents an error term in the equation, the LM317 was designed to control I_{Adj} to less than 100 μ A and keep it constant. To do this, all quiescent operating current is returned to the output terminal. This imposes the requirement for a minimum load current. If the load current is less than this minimum, the output voltage will rise.

Since the LM317 is a floating regulator, it is only the voltage differential across the circuit which is important to performance, and operation at high voltages with respect to ground is possible.

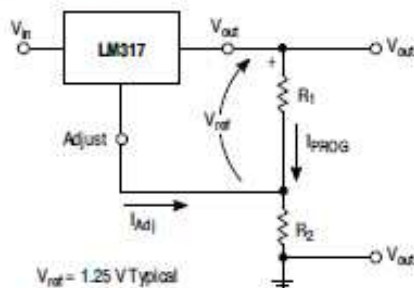


Figure 19. Basic Circuit Configuration

Load Regulation

The LM317 is capable of providing extremely good load regulation, but a few precautions are needed to obtain maximum performance. For best performance, the programming resistor (R_1) should be connected as close to the regulator as possible to minimize line drops which effectively appear in series with the reference, thereby degrading regulation. The ground end of R_2 can be returned near the load ground to provide remote ground sensing and improve load regulation.

External Capacitors

A 0.1 μ F disc or 1.0 μ F tantalum input bypass capacitor (C_{in}) is recommended to reduce the sensitivity to input line impedance.

The adjustment terminal may be bypassed to ground to improve ripple rejection. This capacitor (C_{Adj}) prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. A 10 μ F capacitor should improve ripple rejection about 15 dB at 120 Hz in a 10 V application.

Although the LM317 is stable with no output capacitance, like any feedback circuit, certain values of external capacitance can cause excessive ringing. An output capacitance (C_O) in the form of a 1.0 μ F tantalum or 25 μ F aluminum electrolytic capacitor on the output swamps this effect and insures stability.

Protection Diodes

When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator.

Figure 18 shows the LM317 with the recommended protection diodes for output voltages in excess of 25 V or high capacitance values ($C_O > 25 \mu$ F, $C_{Adj} > 10 \mu$ F). Diode D_1 prevents C_O from discharging thru the IC during an input short circuit. Diode D_2 protects against capacitor C_{Adj} discharging through the IC during an output short circuit. The combination of diodes D_1 and D_2 prevents C_{Adj} from discharging through the IC during an input short circuit.

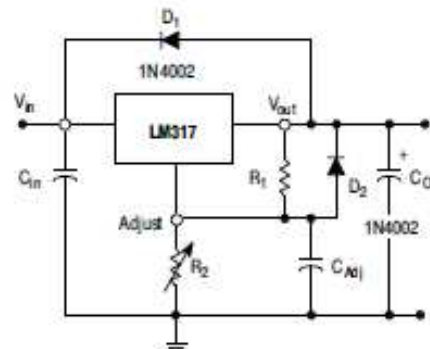
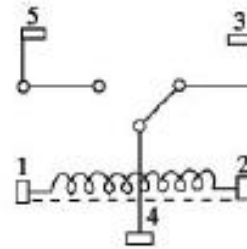


Figure 20. Voltage Regulator with Protection Diodes

RAS - RELEVADOR COMPACTO DE 1P/2T



CARACTERÍSTICAS

ORDER CODE

RAS-12-10-A

□: 1c
A: 1a
B: 1b
M: Automobile Relay

10: 10A 03: DC 3V
15: 15A 05: DC 5V
20: 20A(M type) 06: DC 6V

COIL VOLTAGE 09: DC 9V
12: DC 12V
18: DC 18V
24: DC 24V
36: DC 36V
48: DC 48V

TYPE

- Seguridad aprobada UL, CUR y TUV
- Corriente alta disponible arriba de 15 A, y uno especial de 20 A para uso en automóviles.
- Tipo de sello epóxico y libre de flux.
- Satisface todos los requerimientos de uso en automóviles y aplicaciones eléctricas en casa.

**GRADO DE LA BOBINA
(A 20°C)**

Voltaje Nominal (VDC)	Resistencia de la Bobina (Ω) (+/- 10%)	Consumo de Energía (W)	Corriente Nominal (mA) (+/- 10%)	Voltaje para el Accionamiento (VDC)	Voltaje de Ruptura (VDC)	Voltaje Máximo Permitido (VDC)
5 V	69 Ω	0.36W	72mA	75% Max.	10% Min.	130%
6 V	100 Ω		60mA			
9 V	225 Ω		40mA			
12 V	400 Ω		30mA			
24 V	1600 Ω		15mA			

**FUNCIONAMIENTO
(EN VALOR INICIAL)**

ITEM	TIPO	10 A	15 A	20 A
Resistencia de Contacto		50m Ω Máx. (valor inicial)		
Tiempo de Operación		10mseg Mx.		
Tiempo de liberación		5mseg Mx.		
Fuerza del Dieltrico				
Entre bobina y contacto		AC 1500V (1min)		
Entre contacto		AC 750V (1min)		
Resistencia de aislamiento		100M Ω Min. (DC 500V)		
Temperatura de Operación Ambiente		-30°C ~ +80°C		
Humedad		35% to 85% RH		
Resistencia de Vibración		10G (10~55Hz) (Amplitud dual: 1.5mm)		
Resistencia de Choque		10G		
Expectativa de Vida				
Mecánicamente		10,000,000 ops. min. (1800 ops./h)		
Eléctricamente		100,000 ops. Min. (1200 ops./h)		
Peso		9.5g(aprox.)		

BC337, BC337-25, BC337-40

Amplifier Transistors

NPN Silicon

Features

- These are Pb-Free Devices

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector - Emitter Voltage	V_{CEO}	45	Vdc
Collector - Base Voltage	V_{CBO}	50	Vdc
Emitter - Base Voltage	V_{EBO}	5.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	800	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	W mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

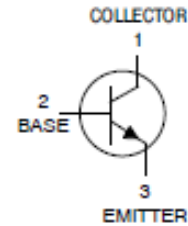
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

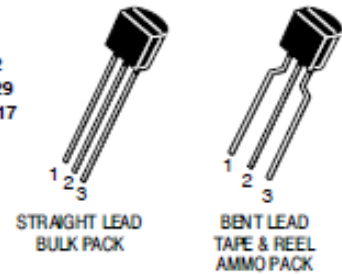


ON Semiconductor®

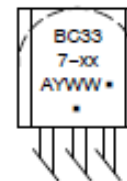
<http://onsemi.com>



TO-92
CASE 29
STYLE 17



MARKING DIAGRAM



BC337-xx = Device Code

(Refer to page 4)

A = Assembly Location

Y = Year

WW = Work Week

• = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector - Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 0$)	$V_{(BR)CEO}$	45	-	-	Vdc
Collector - Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 100\ \mu\text{A}$, $I_E = 0$)	$V_{(BR)CES}$	50	-	-	Vdc
Emitter - Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\ \mu\text{A}$, $I_C = 0$)	$V_{(BR)EBO}$	5.0	-	-	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ V}$, $I_E = 0$)	I_{CBO}	-	-	100	nAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 45\text{ V}$, $V_{BE} = 0$)	I_{CES}	-	-	100	nAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 4.0\text{ V}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	-	-	100	nAdc
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain ($I_C = 100\text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0\text{ V}$)	η_{FE}	100	-	630	-
($I_C = 300\text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0\text{ V}$)		180	-	400	-
		250	-	630	-
		60	-	-	-
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 300\text{ mA}$, $V_{CE} = 1.0\text{ V}$)	$V_{BE(on)}$	-	-	1.2	Vdc
Collector - Emitter Saturation Voltage ($I_C = 500\text{ mA}$, $I_B = 50\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	-	-	0.7	Vdc
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS					
Output Capacitance ($V_{CE} = 10\text{ V}$, $I_E = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{ob}	-	15	-	pF
Current - Gain - Bandwidth Product ($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $f = 100\text{ MHz}$)	f_T	-	210	-	MHz

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

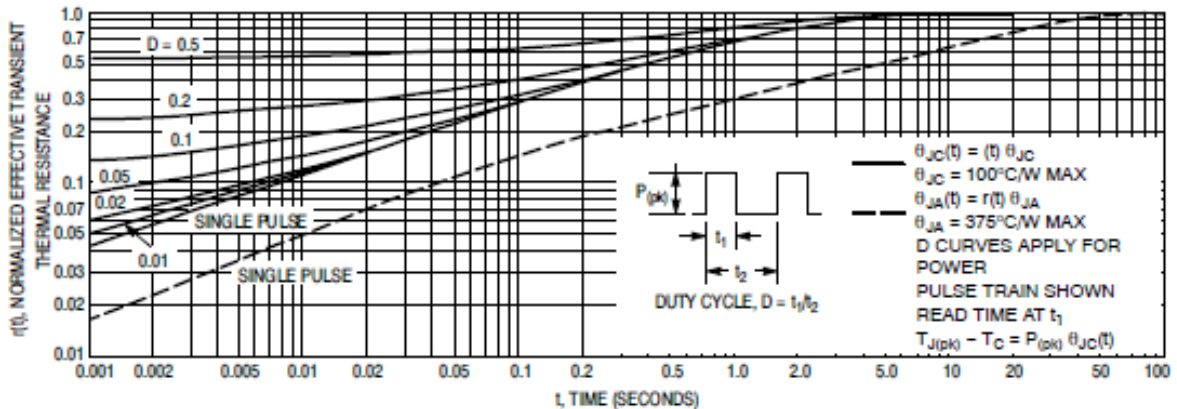


Figure 1. Thermal Response



ELECTRONICS, INC.
 44 FARRAND STREET
 BLOOMFIELD, NJ 07003
 (973) 748-5089
<http://www.nteinc.com>

NTE166 thru NTE170 Bridge Rectifier, Single Phase 2.0 Amp

Features:

- Diffused Junction
- Low Forward Voltage Drop
- High Current Capability
- High Reliability
- High Surge Current Capability
- Ideal for Printed Circuit Board

Maximum Ratings and Electrical Characteristics: ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified. Single Phase, Half Wave, 60Hz, Resistive or Inductive Load. For Capacitive Load, Derate Current by 20%)

Peak Repetitive Reverse Voltage, V_{RRM}	
NTE166	100V
NTE167	200V
NTE168	400V
NTE169	600V
NTE170	1000V
Working Peak Reverse Voltage, V_{RWM}	
NTE166	100V
NTE167	200V
NTE168	400V
NTE169	600V
NTE170	1000V
DC Blocking Voltage, V_R	
NTE166	100V
NTE167	200V
NTE168	400V
NTE169	600V
NTE170	1000V
RMS Reverse Voltage, $V_{R(RMS)}$	
NTE166	70V
NTE167	140V
NTE168	280V
NTE169	420V
NTE170	700V
Average Rectified Output Current ($T_A = +50^\circ\text{C}$, Note 1), I_O	
2A	
Peak Forward Surge Current, I_{FSM}	
(8.3ms Single Sine-Wave Superimposed on Rated Load)	
60A	
Forward Voltage Drop (Per Bridge Element, $I_F = 2A$), V_{FM}	
1.1V	

Note 1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from case.

Maximum Ratings and Electrical Characteristics (Cont'd): ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.
 Single Phase, Half Wave, 60Hz, Resistive or Inductive Load. For Capacitive Load, Derate Current by 20%)

Maximum Reverse Current (at Rated DC Blocking Voltage), I_{RM}

$T_A = +25^\circ\text{C}$	
All Devices	10 μA
NTE170 Only	5 μA
$T_A = +100^\circ\text{C}$	500 μA

Rating for Fusing ($t < 8.3\text{ms}$), I^2t 15 A^2s

Typical Junction Capacitance (Per Element, Note 2), C_j 25pF

Typical Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (Note 3), R_{thJA} 30K/W

Operating Junction Temperature Range, T_J

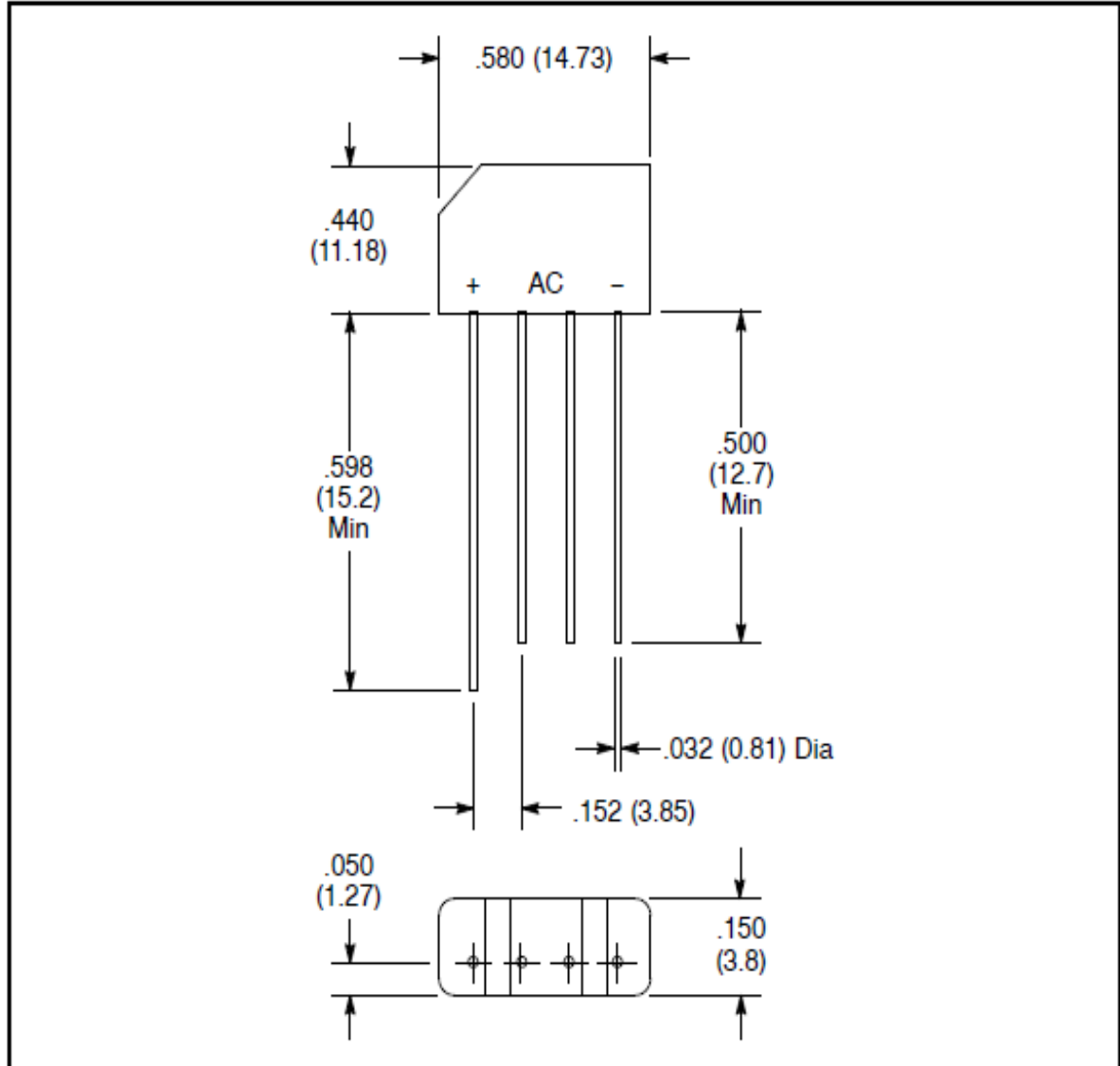
All Devices	-55° to +165°C
NTE170 Only	-55° to +150°C

Storage Temperature Range, T_{stg}

All Devices	-55° to +165°C
NTE170 Only	-55° to +150°C

Note 2. Measured at 1.0MHz and applied reverse voltage of 4VDC.

Note 3. Thermal resistance junction-to-ambient mounted on a PC board with 12mm² copper pad.





LOW POWER DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

- INTERNALLY FREQUENCY COMPENSATED
- LARGE DC VOLTAGE GAIN: 100dB
- WIDE BANDWIDTH (unity gain): 1.1MHz (temperature compensated)
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/OP (500µA) ESSENTIALLY INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 20nA (temperature compensated)
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE: 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT: 2nA
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE POWER SUPPLY VOLTAGE
- LARGE OUTPUT VOLTAGE SWING 0V TO ($V_{CC} - 1.5V$)

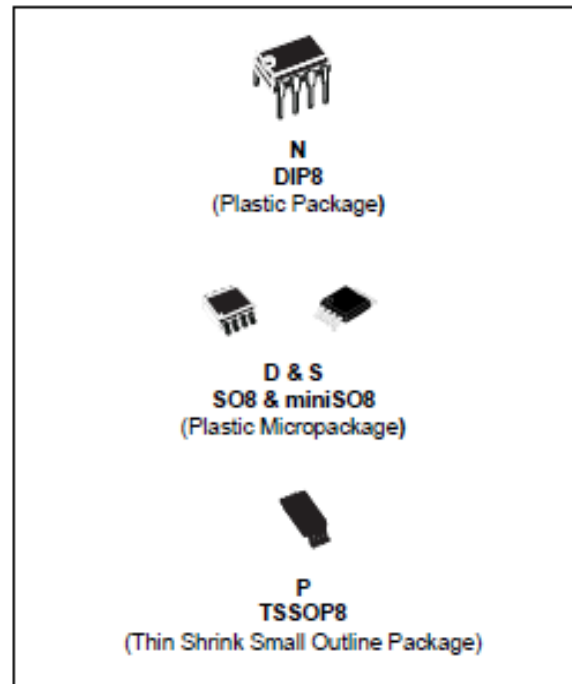
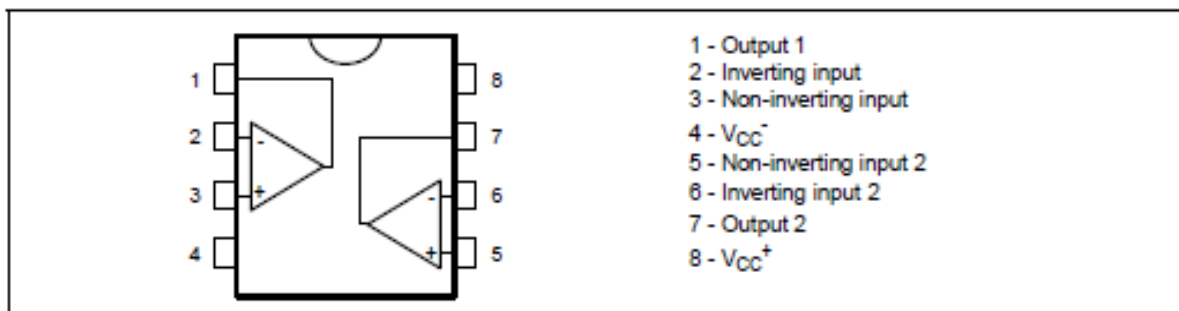
DESCRIPTION

These circuits consist of two independent, high gain, internally frequency compensated which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. The low power supply drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, these circuits can be directly supplied with the standard +5V which is used in logic systems and will easily provide the required interface electronics without requiring any additional power supply.

In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.

PIN CONNECTIONS (top view)



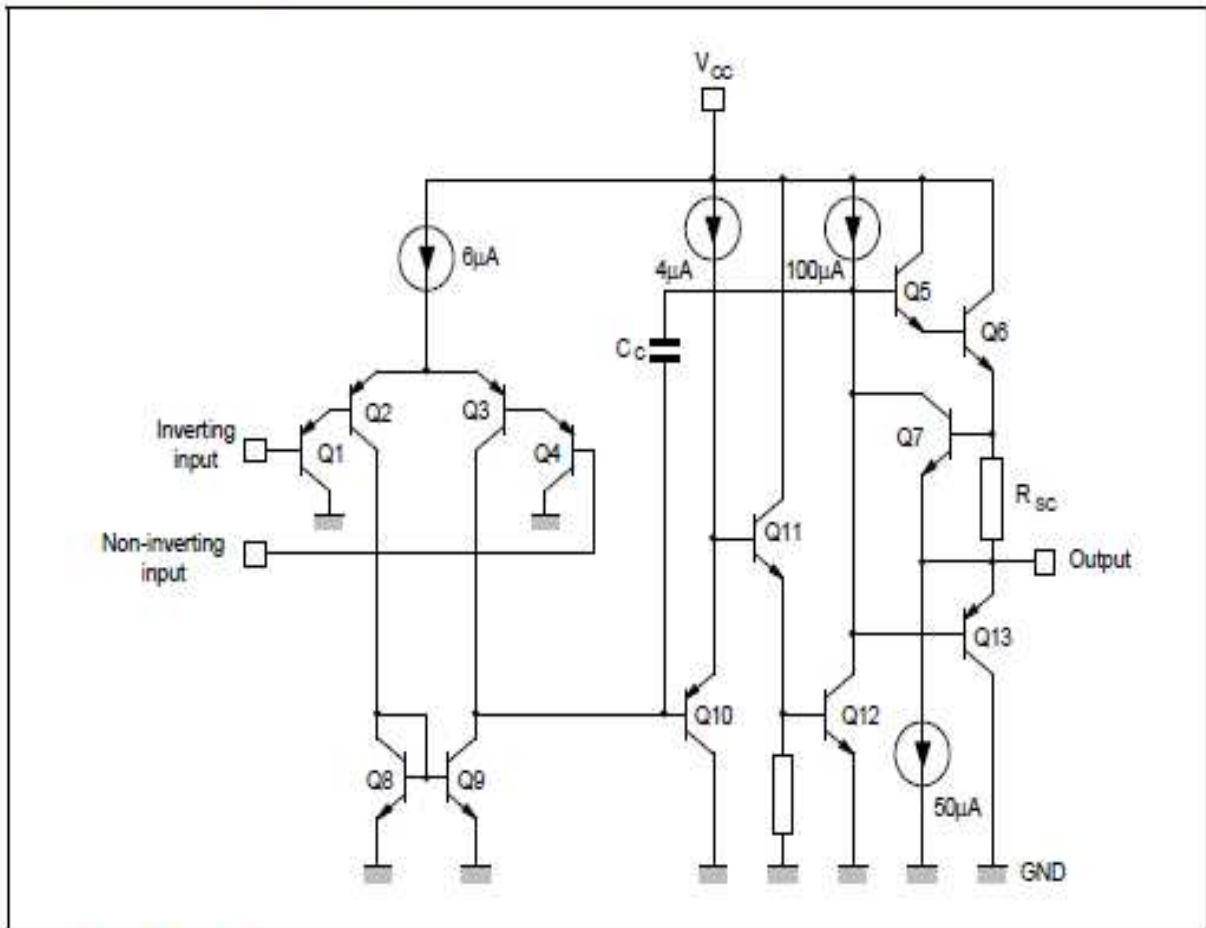
ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package			
		N	S	D	P
LM158,A	-55°C, +125°C	•		•	•
LM258,A	-40°C, +105°C	•		•	•
LM358,A	0°C, +70°C	•	•	•	•

Example : LM258N

N = Dual In Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
S = Small Outline Package (miniSO) only available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

SCHEMATIC DIAGRAM (1/2 LM158)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM158,A	LM258,A	LM358,A	Unit
V_{CC}	Supply voltage		+32		V
V_I	Input Voltage		-0.3 to +32		V
V_{Id}	Differential Input Voltage		+32		V
P_{tot}	Power Dissipation ¹⁾		500		mW
	Output Short-circuit Duration ²⁾		Infinite		
I_{in}	Input Current ³⁾		50		mA
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to +150		°C

1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature (T_J) is not exceeded.
2. Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating if $V_{CC} > 15V$. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC}^+ = +5V$, $V_{CC}^- = \text{Ground}$, $V_O = 1.4V$, $T_{amb} = +25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	LM158A-LM258A LM358A			LM158-LM258 LM358			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{IO}	Input Offset Voltage - note 1) $T_{amb} = +25^\circ C$ LM158, LM258 LM158A $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ LM158, LM258		1	3		2	7 5	mV
I_{IO}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	10 30		2	30 40	nA
I_{IB}	Input Bias Current - note 2) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	50 100		20	150 200	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain $V_{CC} = +15V$, $R_L = 2k\Omega$, $V_O = 1.4V$ to $11.4V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	100		50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $V_{CC}^+ = 5V$ to $30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	65 65	100		65 65	100		dB
I_{CC}	Supply Current, all Amp, no load $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC} = +5V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC} = +30V$		0.7	1.2 1		0.7	1.2 2	mA
V_{ICM}	Input Common Mode Voltage Range $V_{CC} = +30V$ - note 3) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 60	85		70 60	85		dB
I_{SOURCE}	Output Current Source $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$, $V_{ID} = +1V$	20	40	60	20	40	60	mA
I_{SINK}	Output Sink Current ($V_{ID} = -1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$ $V_{CC} = +15V$, $V_O = +0.2V$	10 12	20 50		10 12	20 50		mA μA
V_{OPP}	Output Voltage Swing ($R_L = 2k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	



XBee

XBee / XBee-PRO RF Modules

802.15.4 Protocol

Product Manual

Guía del Usuario



XBEE Series 1.

Revisión Julio 2010



Desarrollada por:

Andrés Oyarce

Revisada por:

Paul Aguayo

Eduard Martin

Ingeniería MCI LTDA.

REFERENCIAS.

- [1] <https://www.arduino.cc/>
- [2] <https://visualstudio.microsoft.com/es/>
- [3] <https://www.microsoft.com/es-mx/microsoft-365/access>
- [4] https://www.android.com/intl/es-419_mx/
- [5] Programa de manejo sustentable del agua para la CDMX, Sistema de aguas CDMX, 2017.
- [6] <http://sds.uanl.mx/uso-eficiente-del-agua/>
- [7] Cumbre de fondos de agua. Sistema aguas de la Ciudad de México, 2019
- [8] Cumbre de fondos de agua. Sistema aguas de la Ciudad de México, 2019
- [9] Cumbre de fondos de agua. Sistema aguas de la Ciudad de México, 2019.
- [10] Cumbre de fondos de agua. Sistema aguas de la Ciudad de México, 2019
- [11] Manual de Especificaciones CONAGUA POA, Formato 22 LTAIPRC Art 121 Fr. XXI.
- [12] <https://redesinalambricasmonterrey.wordpress.com/tipos-de-redes-inalambricas/concepto/>
- [13] <https://www.profesionalreview.com/2018/11/22/modelo-osi/>
- [14] <https://sites.google.com/site/soporteymantenimientodeequipo/home/modelo-osi>.
- [15] <https://www.profesionalreview.com/2020/03/21/protocolo-tcp-ip/>
- [16] <https://www.profesionalreview.com/2020/03/21/protocolo-tcp-ip/>
- [17] Redes Inalámbricas, Jordi Salazar, Techpedia, VP.
- [18] <https://clasificaciondelasredesblog.wordpress.com/>
- [19] https://www.cisco.com/c/es_mx/products/wireless/what-is-wifi.html
- [20] <https://softwarelab.org/es/bluetooth/>
- [21] <https://www.redeszone.net/reportajes/tecnologias/bluetooth-5-2-caracteristicas-mejoras-cambios>
- [22] <https://zigbeealliance.org/es/>
- [23] Manual para la aplicación de la tecnología ZigBee, Universidad Politécnica Salesiana, Paul A. Becerra, 2017.
- [24] XBee/XBee Pro RF modules, Product Manual, Digi International, 2015
- [25] Sensores y acondicionadores de señal, Ramón Pallás Areny, Marcombo, 4ª. Edición.
- [26] Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino, Leonel G. Corona, Grupo Editorial Patria, 2014.
- [27] Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino, Leonel G. Corona, Grupo Editorial Patria, 2014.
- [28] Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino, Leonel G. Corona, Grupo editorial Patria, 2014.
- [29] <http://www.digi.com>
- [30] XBee / XBee-PRO RF Modules 802.15.4 Product Manual, Digi International.
- [31] ZigBee RF Modules, Manual User Guide, Digi International, 2018.
- [32] <https://xbee.cl/que-es-xbee/>
- [33] <https://www.python.org/download/releases/3.0/>
- [34] <https://xbee.cl/que-es-xbee/>
- [35] <https://www.espressif.com/>
- [36] <https://www.espressif.com/en/products/modules/esp8266>

-
- [37] <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/09/12/que-es-esp8266/>.
- [38] <https://proyectosconarduino.com/curso/como-conectar-modulo-esp8266-a-wifi/>
- [39] <http://www.ai-thinker.com/>
- [40] <https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet>
- [41] <https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet>
- [42] https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino_IDE#cite_note-1
- [43] <https://www.microsoft.com/es-mx>
- [44] <http://todosobrevisualbasic1.blogspot.com/2015/06/visual-basic-visual-basic-es-un.html>
- [45] <https://es.slideshare.net/lesly53/visual-basic-60-66358438>
- [46] <https://secmotic.com/plataforma-iot/#gref>
- [47] <https://www.zebra.com/us/en/blog/posts/2019/study-shows-enterprises-embracing-iot-to-increase-operational-intelligence.html>
- [48] <https://secmotic.com/plataforma-iot/#gref>
- [49] <https://www.capterra.mx/directory/31016/iot/software>
- [50] <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- [51] <https://www.labcenter.com>
- [52] <https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/digi-xbee-tools/xctu>
- [53] Anexo A de este documento.
- [54] Anexo A de este documento.
- [55] <https://www.bannerengineering.com/mx/es/products/sensors/ultrasonic-sensors/long-range-ultrasonic-sensors-qt50u-series.html?pageNum=1&sort=4#all>
- [56] Interfaz para el uso de microcontroladores de bajo costo con instrumentación de control estándar, José María Fernández Olmo.
- [57] Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino, Leonel G. Corona, Grupo Editorial Patria, 2014.
- [58] Anexo A de este documento
- [59] Anexo A de este documento.
- [60] Anexo A de este documento.
- [61] Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky. Prentice Hall, décima edición, 2009.
- [62] <http://electgpl.blogspot.com/>
- [63] <http://help.blynk.cc/en/articles/511642-getting-started>.