

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas  
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico**

**DESAGREGACIÓN DE CARGAS POR IDENTIFICACIÓN “POWER LINE  
COMMUNICATION”**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

**AUTOR:**

Cristian Alexis Ortiz Lara

**DIRECTOR:**

MSc. Francisco Roberto Naranjo Cobo

**ASESORES:**

MSc. Jhonny Javier Barzola Iza

MSc. Isabel Marina Quinde Cuenca

Ibarra, 2021



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

#### IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003889464		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cristian Alexis Ortiz Lara		
DIRECCIÓN:	Ibarra		
EMAIL:	cristian99ortiz@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	+593984344122	TELÉFONO MÓVIL:	+593983224861

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DESAGREGACIÓN DE CARGAS POR IDENTIFICACIÓN "POWER LINE COMMUNICATION"
AUTOR (ES):	Cristian Alexis Ortiz Lara
FECHA: DD/MM/AAAA	12/07/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Francisco Naranjo Cobo MSc.

#### CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de Julio de 2021.

EL AUTOR:

(Firma).....  
Nombre: Cristian Alexis Ortiz Lara



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante; Cristian Alexis Ortiz Lara, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **“DESAGREGACIÓN DE CARGAS POR IDENTIFICACIÓN “POWER LINE COMMUNICATION”**. Para la obtención de título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobando la defensa, impresión y empastado.

Ing. Francisco Roberto Naranjo Cobo  
DIRECTOR DE TESIS

## DEDICATORIA

El presente proyecto de tesis se lo dedico a mi madre Patricia Lara por todo su esfuerzo invertido en cada momento de mi vida además de sus grandes e importantes consejos que han marcado la persona que soy hoy.

Por su apoyo en los momentos críticos de mi vida y sus enseñanzas sobre el valor del esfuerzo, trabajo e importancia del estudio académico en la realidad que vivimos se lo dedico a mi padre Nilo Ortiz.

A mi hermano Lenin Ortiz se lo dedico, por su tolerancia en nuestras constantes discrepancias en gustos y aficiones, por otra parte, guardo esos momentos vividos jamás olvidados y siempre compartidos.

Muchas personas han marcado grandes conocimientos en mi por lo que se lo dedico a todos los que han intervenido tiempo, paciencia, esfuerzo y más, para el cumplimiento de este gran logro personal que es la culminación de este proyecto, cabe destacar el esfuerzo de mi tío Omar Lara por ser ejemplo como persona y ser como mi hermano mayor, también docentes y compañeros de estudio que generosamente han compartido su conocimiento y su amistad que perdura con el paso del tiempo.

***Cristian A. Ortiz L.***

## TABLA DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	ii
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
TABLA DE CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
ANTECEDENTES .....	xiii
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	xiv
EL PROBLEMA .....	xv
JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....	xv
ALCANCE DEL TRABAJO .....	xvi
VIABILIDAD DEL TRABAJO .....	xvi
OBJETIVO GENERAL .....	xvii
OBJETIVO ESPECIFICO .....	xvii

### CAPÍTULO I

#### FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA .....	1
1.1.1 AHORRO DE ENERGÍA .....	2
1.1.2 DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	2
1.2 CARGA DE CONSUMO ELÉCTRICO .....	2
1.2.1 CLASIFICACIÓN DE CARGAS .....	3
1.3 IDENTIFICACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS DIVERSAS (CED) .....	6
1.3.1 MÉTODO NO INTRUSIVO .....	6

1.3.2	MÉTODO INTRUSIVO.....	7
1.4	POWER LINE COMMUNICATION.....	10
1.4.1	CLASIFICACIÓN DE PLC.....	11
1.4.2	CHIP PLC.....	14
1.5	CÓDIGO DE AUTENTICACIÓN DE MENSAJE.....	15
1.6	DIRECCIÓN IP.....	15
1.7	INTERFAZ WEB LOCAL.....	15
1.8	CENTRALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	16
1.8.1	ADQUISICIÓN DE DATOS.....	16
1.8.2	TRANSMISIÓN DE DATOS.....	16
1.9	MICROCONTROLADORES.....	17
1.9.1	MICROCONTROLADOR ESP8266.....	17
1.9.2	ARDUINO PRO MINI.....	19
1.10	PROGRAMAS INFORMÁTICOS.....	20
1.10.1	ARDUINO IDE.....	20
1.10.2	SOFTWARE DE DISEÑO KICAD.....	21

## CAPÍTULO II

### DESARROLLO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1	INTRODUCCIÓN.....	25
2.2	ANÁLISIS DEL OBJETIVO.....	25
2.3	UBICACIÓN FÍSICA.....	25
2.4	DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL.....	26
2.5	PLACA DEL DISPOSITIVO PLC.....	28
2.5.1	SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA PLACA PLC.....	28
2.5.2	DISEÑO DE LA PLACA PLC.....	29
2.6	PLACA DEL DISPOSITIVO ESCLAVO.....	33
2.6.1	SELECCIÓN DE MATERIALES DE LA PLACA ESCLAVO.....	33
2.6.2	DISEÑO DE LA PLACA ESCLAVO.....	34

2.6.3	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE LA PLACA ESCLAVO .....	36
2.7	PLACA DEL DISPOSITIVO MAESTRO .....	37
2.7.1	SELECCIÓN DE MATERIALES DE LA PLACA MAESTRO.....	38
2.7.2	DISEÑO DE LA PLACA MAESTRO.....	38
2.7.3	CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE LA PLACA MAESTRO.....	39
2.7.4	INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO.....	41
2.8	PROTOTIPO.....	42

### CAPÍTULO III

#### RESULTADOS

3.1	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO .....	44
3.1.1	CONFIGURACIÓN DE USO DEL PROTOTIPO .....	44
3.2	PARTES DEL DISPOSITIVO MAESTRO.....	46
3.2.1	PRUEBAS EN EL MAESTRO.....	46
3.3	PARTES DEL DISPOSITIVO ESCLAVO .....	47
3.3.1	PRUEBAS EN EL ESCLAVO.....	47
3.4	PRUEBAS DE DATOS EN LOS CONDUCTORES DE 120 AC.....	48
3.5	CONCLUSIONES .....	50
3.6	RECOMENDACIONES .....	51
4	BIBLIOGRAFÍA .....	52
5	ANEXOS.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Diagrama de una carga conectada a una fuente .....	3
Fig. 2 Electrodomésticos .....	3
Fig. 3 Clasificación de cargas eléctricas diversas .....	5
Fig. 4 Esquema de control de cargas no intrusivo .....	6
Fig. 5 Configuración ILM 1 .....	7
Fig. 6 Configuración ILM 2 .....	8
Fig. 7 Configuración ILM 3 .....	8
Fig. 8 Configuración de los dispositivos de comunicación PLC .....	11
Fig. 9 Bandas de frecuencia utilizadas en PLC .....	12
Fig. 10 Modem TDA5051 .....	14
Fig. 11 Microcontrolador ESP8266.....	18
Fig. 12 Pines arduino pro mini.....	19
Fig. 13 Arduino IDE.....	21
Fig. 14 Diagrama de flujo de trabajo en kicad .....	23
Fig. 15 Diagrama de flujo del prototipo.....	27
Fig. 16 Diagrama de flujo de los componentes PLC.....	28
Fig. 17 Diagrama de conexiones de la placa PLC .....	30
Fig. 18 Placa de circuito impreso PLC .....	31
Fig. 19 Placa electrónica PLC de acople la red eléctrica.....	32
Fig. 20 Prueba de acople a la red de la placa PLC .....	32
Fig. 21 Diagrama de flujo de tres esclavos.....	33
Fig. 22 Diagrama de conexiones de la placa esclavo.....	34
Fig. 23 Diagrama electrónico del relé a 5VDC.....	35
Fig. 24 Placa electrónica esclavo y PLC de acople a la red eléctrica .....	35
Fig. 25 Diagrama de flujo del código de programación de los esclavos .....	36
Fig. 26 Diagrama de flujo del maestro.....	37

Fig. 27 Diagrama de conexiones de la placa maestro .....	38
Fig. 28 Placa electrónica maestro y PLC de acople a la red eléctrica .....	39
Fig. 29 Diagrama de flujo del código de programación del maestro .....	40
Fig. 30 Interfaz gráfica de usuario .....	42
Fig. 31 Imagen del prototipo.....	42
Fig. 32 Ventana de interfaz grafica.....	44
Fig. 33 Ventana de interfaz gráfica y códigos de identificación e instrucción.....	45
Fig. 34 Ventana de la consola serial con el historial de instrucciones .....	45
Fig. 35 Partes constructivas del dispositivo maestro .....	46
Fig. 36 Señal de salida del TDA5051 hacia la red eléctrica.....	46
Fig. 37 Partes constructivas del dispositivo esclavo .....	47
Fig. 38 Señal de comunicación y de energía a 120V.....	47
Fig. 39 Señal de comunicación y de energía a 120V con aumento .....	47
Fig. 40 Señal de datos del emisor y receptor a través de conductores a 120V.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Lista de materiales utilizados para el diseño y construcción de la placa PLC .....	29
Tabla 2 Lista de materiales utilizados para el diseño y construcción de la placa esclavo ....	33
Tabla 3 Lista de materiales utilizados para el diseño y construcción de la placa esclavo ....	38
Tabla 4 Parámetros eléctricos del prototipo PLC.....	43

## RESUMEN

La presente investigación se centra en la creación del prototipo de desagregación de cargas en redes eléctricas AC de baja tensión con el método de monitoreo de carga intrusivo (ILM), y la comunicación a través de líneas eléctricas (PLC). El prototipo cuenta con una placa electrónica que cumple la función de maestro centralizando la información de desagregación con la capacidad de reconocer y controlar indistintamente los dispositivos esclavos.

Además, el maestro cuenta con un módulo wi-fi el cual está configurado para conectarse a un smartphone o computadora, facilitando el control de los dispositivos esclavos través de una interfaz gráfica desarrollada en código HTML y lenguaje Java. También, los esclavos cuentan con un actuador para la activación y desactivación de las cargas según se requiera.

El resultado de la presente investigación indica que este prototipo ayuda al desarrollo del estudio de eficiencia energética con una gestión de consumo sin la necesidad de implementar cableado de control dando como resultado una fácil y rápida instalación en edificaciones existentes. Para la selección de componentes y herramientas para el diseño y construcción del prototipo, se tomó en cuenta software y hardware libre. Al finalizar, las pruebas realizadas demostraron un funcionamiento sin pérdida de información y un control correcto de las cargas en tiempo real.

**Palabras clave:** Monitoreo de cargas intrusivo, ILM, power line communication, PLC, desagregación de cargas, identificación de cargas eléctricas, sistema de gestión de la energía residencial, prototipo.

## ABSTRACT

The present research focuses on the creation of a prototype for load shedding in low voltage AC electrical networks with the intrusive load monitoring (ILM) and power line communication (PLC). The prototype has an electronic board that performs the function of master centralizing the unbundling information with the ability to recognize and control the slave devices indistinctly.

In addition, the master has a wi-fi module which is configured to connect to a smartphone or computer, facilitating the control of the slave devices through a graphical interface developed in HTML and Java. Also, the slaves have an actuator on/off the loads as required.

The result of this research indicates that this prototype helps the development of the energy efficiency study with a consumption management without the need to implement control wiring resulting in an easy and quick installation in existing buildings. For the selection of components and tools for the design and construction of the prototype, free software and hardware were considered. At the end, the tests carried out showed an operation without loss of information and a correct control of the loads in real time.

**Keywords:** Intrusive load monitoring, ILM, power line communication, PLC, load desaggregation, electric load identification, residential energy management system, prototype

# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

La identificación y control de cargas eléctricas, utilizando como interfaz la red de baja tensión en tiempo real, surge a base de poder planificar el control de los aparatos individuales en un circuito eléctrico (Tabatabaei, Dick, & Xu, 2016), con el fin de administrar la conexión y desconexión de las cargas. En general, los métodos de desagregación de los aparatos eléctricos se pueden determinar en dos categorías: supervisión de cargas no intrusiva (INLM) y monitorización de carga intrusiva (Wichokool, Zachary, Uzoma, & Leeb, 2014).

La supervisión de cargas no intrusivas mide la variación de corriente desde un solo punto en la red (Seongbae, Youngwook, Rakkyung, & Joo, 2015). Esta supervisión de cargas no cuenta con un control sobre los aparatos eléctricos, tampoco con la administración de cargas prioritarias en situaciones conflictivas de la red. La metodología no intrusiva tiene sus inicios a partir del siglo XX, donde se plantea, una técnica de monitorización de la carga desarrollada por primera vez por G. Hart en el MIT (Basu, Debusschere, Bacha, & Maulik, 2014), centralizando el control en un único nodo analizado.

En cambio, la desagregación por el método intrusivo presenta una variación dando un control no solo de lectura e identificación de la carga específica, sino de tener la capacidad de manipular la conexión o desconexión del elemento, cumpliendo el objetivo de separar las cargas imprescindibles de las prescindibles en un momento crítico de operación de la red eléctrica. En la metodología de monitoreo de cargas por conexión se emplean, equipos de identificación invasivos que se colocan entre el contacto eléctrico y el dispositivo a monitorear (Vasquez, 2015).

El método intrusivo, para que cumpla con el proceso de monitoreo, requiere de la centralización de la información del código único de identificación de las cargas. Por lo que se necesita de la implantación de un sistema de comunicación Power Line Communication (PLC) (Balaguera, 2017), creando un interfaz entre el dispositivo de gestión de cargas y el dispositivo implantado en él toma eléctrico que identifica y controla la carga. El control de la carga se efectúa con la ayuda de un actuador que permite activar o desactivar un aparato eléctrico (Bonilla & Ramos, 2016).

El PLC es un sistema de transmisión de datos por los cables eléctricos, con inmunidad a la presencia de ruido eléctrico presente en las líneas de alimentación, dentro de un ancho

de banda de 1.6 a 30 MHz (Estrada, Lopez, Rangel, & Gallegos, 2007), con una capacidad de transmisión desde 24 Mbps hasta 200Mbps. El uso de la red eléctrica para la comunicación entre dispositivos significa una reducción de costos, en la infraestructura del sistema de desagregación de cargas en baja tensión (Bonilla & Ramos, 2016).

La creciente demanda de energía eléctrica motiva a generar un control eficiente de cargas. Por lo que se propone el desarrollo de un prototipo el cual cumpla con la función de desagregación intrusiva, para lograr de esta manera controlar y monitorear los aparatos eléctricos, optimizando el sistema eléctrico existente (Li, Sawyer, & Dick, 2015).

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad existen reducidas soluciones para la desagregación y control de la gestión eléctrica, debido al incremento constante de aparatos residenciales, dando una problemática que afecta a la eficiencia energética, perjudicando el abastecimiento energético de la demanda creciente. La constante necesidad de sistemas de optimización de energía en las zonas residenciales se incrementa cuando existe un consumo eléctrico elevado.

La reducida administración y monitoreo de cargas eléctricas tiene como resultado, el alto pago de planillas eléctricas, afectando de manera directa a los consumidores finales de este servicio.

Existen razones para el incremento del consumo eléctrico, entre las más importantes es el alto número de equipos conectados innecesariamente, debido a que algunos aparatos no tienen la capacidad de enviar información a sistemas de optimización energética; en la actualidad se ha implementado el uso del método no intrusivo de identificación de cargas NILM, incumpliendo con los requerimientos de selectividad y control en las cargas.

Por ello se ha visto importante diseñar y crear un sistema de monitoreo intrusivo, el cual resulta ser conveniente debido a la identificación de cargas, a partir de un elemento que genera un código de identificación para cada carga y el control de un componente (actuador), siendo capaz de controlar las operaciones de encendido/apagado del aparato específico conectado a la red.

Por otro lado, la centralización de la información se empleará un microcontrolador como dispositivo maestro, esto permitirá el control y administración de la energía, que a su

vez se implementará en un módulo didáctico, en el cual se ilustrará la desagregación de cargas intrusiva con tres equipos de baja tensión.

## **EL PROBLEMA**

¿Cómo controlar las cargas de un circuito de baja tensión y mediante que método pueden ser identificadas?

## **JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO**

La electricidad tiene como finalidad satisfacer la creciente demanda de las tecnologías que requieren de este servicio básico, tomando en cuenta las características lineales y no lineales de los dispositivos. En su disminuido monitoreo de instalaciones eléctricas domiciliarias, se evidencia una problemática de administración de cargas. Es importante realizar la investigación a fin de desarrollar un sistema de identificación y control de cargas, que funcione de manera intrusiva en tiempo real respecto a la administración energética en instalaciones de baja tensión.

El desarrollo de este proyecto dará paso a la investigación en la administración de cargas en redes de baja tensión y además ello permitirá a la carrera de Ingeniería Eléctrica (CIELE) tener un sistema de pruebas en monitorización intrusiva, siendo la base de futuras investigaciones. El sistema será una contribución al material pedagógico y dispositivos de investigación y contribuyendo con el desarrollo de nuevos estudios en el área de administración energética, selectividad de cargas aplicando inteligencia artificial, formación de niveles de potencia a causa del consumo de energía, administración de energía a nivel de microgrid (Rojas & Rousan, 2017), entre otras aplicaciones, provocadas por la separación de cargas de manera intrusiva.

Para ello se ha visto necesario en este trabajo de investigación realizar un análisis de desagregación de cargas con el método intrusivo y así discriminar las cargas prescindibles de las imprescindibles, dando paso a la optimización de energía en momentos conflictivos y en presencia de fenómenos que alteren el normal funcionamiento de las instalaciones eléctricas.

## **ALCANCE DEL TRABAJO**

Con la presente investigación se desea implementar un prototipo para la desagregación de cargas, el cual estará limitado a un dispositivo maestro de identificación de tres cargas, las que disponen de un dispositivo individual denominado esclavo, que interactuarán sobre una plataforma de pruebas, a través de comunicación por el cableado eléctrico existente PLC ( por sus siglas en ingles Power Line Communication), de esta manera se podrá centralizar la información con el acceso al dispositivo maestro.

El dispositivo esclavo comunicará un código de identificación único y el estado encendido/apagado del actuador, facilitando al dispositivo maestro administrar la información emitida, dándole la capacidad de reconocer y controlar indistintamente las cargas que están presentes en un circuito específico.

El dispositivo maestro estará conectado, a través de una red wi-fi hacia una computadora que contenga el software con la programación, este facilitará la transmisión de información entre los dispositivos.

## **VIABILIDAD DEL TRABAJO**

El presente proyecto contará con características y condiciones técnicas que efectúan el cumplimiento de los objetivos, relacionados a la desagregación intrusiva de cargas en redes de baja tensión. Se puede determinar que el diseño y construcción del prototipo es técnicamente viable, por la asequibilidad a los implementos eléctricos y electrónicos.

El presente proyecto al contar con una investigación, diseño y construcción del prototipo de identificación de cargas, desde un punto de vista económico, los reducidos costos de los implementos eléctricos y electrónicos se hará con recursos propios, con una duración de ocho meses, mismos que contarán con el desarrollo de los procesos que componen el sistema de desagregación de cargas residenciales, fusionando cada una de las partes y verificando el cumplimiento con los requerimientos de funcionalidad de la identificación de cargas.

## **OBJETIVO GENERAL**

Implementar un prototipo con método intrusivo de identificación y control de cargas eléctricas conectadas en una red de baja tensión, diseñado con un sistema electrónico de comunicación "Power Line Communication".

## **OBJETIVO ESPECIFICO**

- Identificar los componentes electrónicos necesarios para desarrollar el prototipo de identificación y control de cargas.
  
- Diseñar los circuitos electrónicos impresos del prototipo de identificación y control de cargas eléctricas.
  
- Realizar pruebas de identificación y control de cargas en la red de baja tensión.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTO TEÓRICO

En este apartado se plantea diferentes conceptos que definen la importancia de la desagregación de cargas, también se identifica los componentes para el diseño de un método intrusivo de control y monitoreo de cargas eléctricas en tiempo real con el intercambio de información a través de los conductores de corriente alterna entre 120V a 240V.

### 1.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA

En la actualidad se ha identificado la necesidad de crear sistemas de administración de cargas eléctricas, en este sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2017), menciona un aumento de la demanda mundial de energía de hasta 55% para el 2030 y para los países en desarrollo el panorama se torna más difícil con un 74%, por ende, el aumento en la demanda energética repercutirá en la reducción de los recursos hídricos alrededor del mundo como principal generador de energía.

La ley orgánica de eficiencia energética promueve el uso racional de la energía en la República del Ecuador dentro del marco de transformación energética del país, busca “*promover la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas*”, además, establece un equilibrio entre el crecimiento económico y la conservación del ambiente (Registro Oficial Suplemento 449 de 19-mar.-2019, 2019).

Existen varias definiciones para comprender qué es eficiencia energética, entre las más importantes se puede citar:

Según (MAE, 2016), **la eficiencia energética** se define por “*el aprovechamiento óptimo de la energía*; y ello no implica renunciar a la calidad de vida, sino obtener los mismos bienes, servicios y realizar las mismas actividades sin desperdiciarla”.

Según (Salazar, Guzmán, & Bueno, 2018), **la eficiencia energética** se puede definir como “*La capacidad de uso del, equipo, instalación o proceso para realizar su función con el menor consumo energético posible, de la misma forma se puede entender el ahorro de energía como la disminución del consumo de energía primaria de un centro de consumo de energía por la implementación de medidas de índole técnica o no técnica*”.

En síntesis, la eficiencia energética es la capacidad de realizar las mismas actividades, procesos y servicios con el menor gasto energético posible manteniendo su calidad.

### **1.1.1 AHORRO DE ENERGÍA**

Para lograr el ahorro de energía existe una combinación entre hábitos de consumo por parte de los usuarios residenciales, y de diversas tecnologías de ahorro de energía, los consumidores más pequeños presentan diferentes prioridades en sus decisiones de consumo, ya que la mayoría presentan poco o un ningún conocimiento de su propio consumo, el ahorro de energía se logra en los clientes con consumo entre 100 y 250 KWh/mes según (González, Pavas, & Sánchez, 2017).

(Hall, 2016) menciona que el ahorro energético es una práctica de eficiencia energética y se basa en tres fundamentos de consumo:

- Consumir con calidad.
- Consumir con eficiencia.
- Consumir con conocimiento

Se puede definir el ahorro de energía como el efecto del comportamiento de uso e implementación de métodos técnicos en un dispositivo, en una edificación o en una urbe, el cual reduzcas el consumo de energía.

### **1.1.2 DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

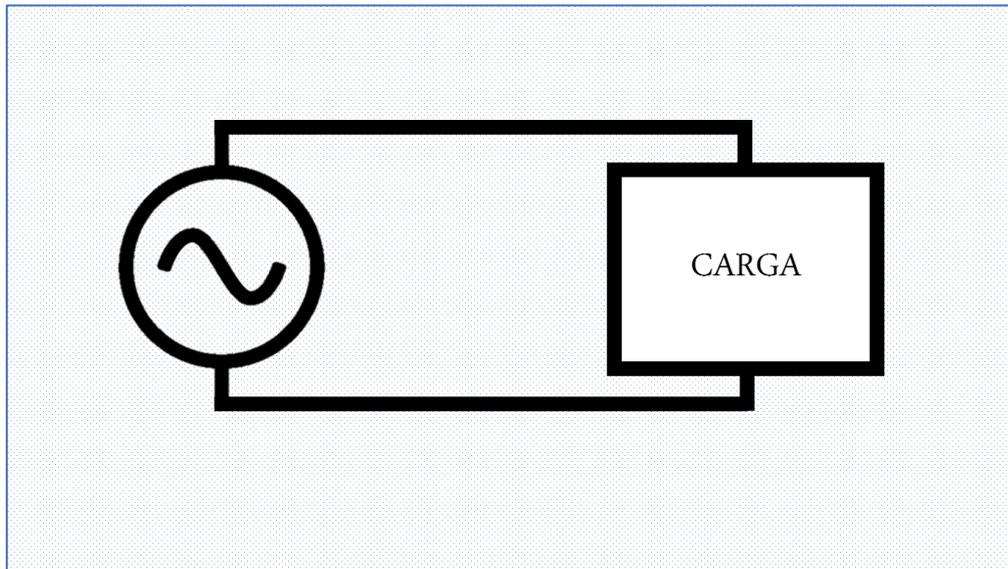
La demanda eléctrica siendo el registro de los picos de consumo más elevado en un periodo de tiempo determinado, (ARCONEL, 2019) precisa que; la demanda por sector de consumo tiene una aportación mayoritaria del sector residencial en el país. En el año 2018 el aporte del sector residencial fue de 37%, seguido por los industriales con el 25% y de los comerciales con el 19%.

Dado la alta demanda de energía en el sector residencial es preciso investigar, diseñar e implementar, métodos y tecnologías que logren una disminución de la demanda optimizando recursos de infraestructura en consecuencia recursos económicos.

### **1.2 CARGA DE CONSUMO ELÉCTRICO**

Se denomina carga a cualquier dispositivo o componente de un circuito o sistema alimentado eléctricamente ofreciendo una resistencia al paso de la corriente (IEEE Guide for Evaluating and Testing the Electrical Performance of Energy Saving Devices, 2018) en la

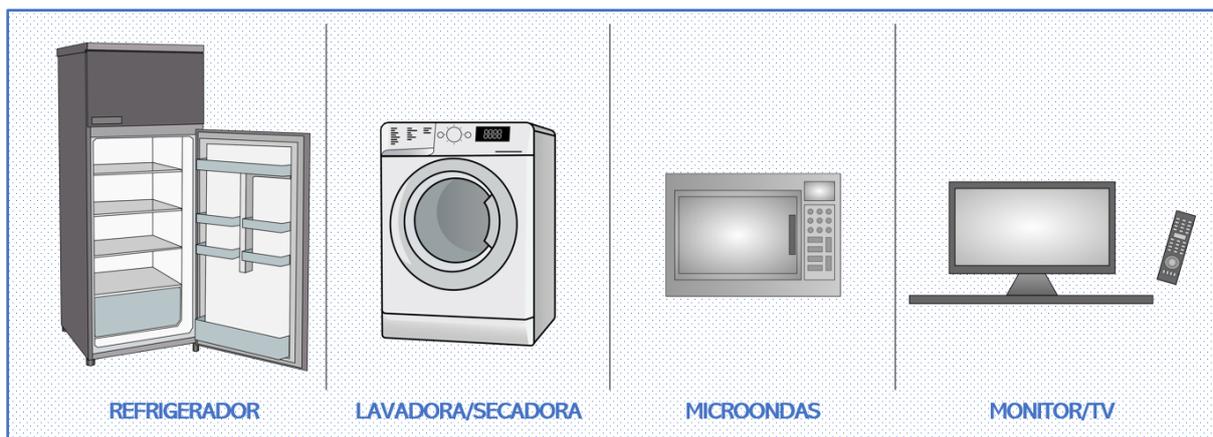
figura 1 aprecia el diagrama de la fuente conectada a la carga. Las cargas pueden ser capacitivas resistivas o inductivas.



**Fig. 1 Diagrama de una carga conectada a una fuente**

Fuente: Autor

Existen variedad de cargas suministradas de energía eléctrica en instalaciones residenciales o también cargas eléctricas diversas (CED). En la figura 2 se puede ver algunos de los ejemplos de CED donde se incluyen electrodomésticos, así como refrigeradores, lavadoras, secadoras, otros (Du, He, Harley, & Ha, 2016).



**Fig. 2 Electrodomésticos**

Fuente: Autor

### 1.2.1 CLASIFICACIÓN DE CARGAS

Las cargas residenciales se pueden clasificar en función de múltiples factores. En la literatura se encuentra diferentes definiciones con respecto a la clasificación de cargas, entre

ellas, está la clasificación según su topología eléctrica (Du, He, Harley, & Ha, 2016) la cual divide en diferentes categorías las CED dentro de una edificación residencial. Se puede clasificar como:

- **Cargas resistivas:** se caracteriza por no tener desfase entre la corriente y la tensión.
- **Cargas reactivas:** La carga suele contener una inductancia conectada directamente en el extremo a través de un rectificador y hay un gran desplazamiento de fase entre la corriente y la tensión.
- **Cargas electrónicas sin corrección de factor de potencia:** se identifica por una interferencia electromagnética el cual generalmente consta de un rectificador, un filtro de tensión o de corriente y un convertidor CC-CC. La onda de la corriente tiene abundantes armónicos, pero no hay desfase en la onda entre la corriente y la tensión.
- **Cargas electrónicas con corrección de factor de potencia:** este tipo de cargas se las puede identificar por su firma electromagnética la cual está generada por un rectificador, un regulador de tensión, un módulo de corrección de factor de potencia y un convertidor CC-CC.
- **Cargas de estructuras complejas:** estas cargas suelen estar formadas por varios circuitos alimentados por fuentes independientes. Como resultado, la corriente de carga simula estar compuesta por corrientes de una o varias de otras categorías.
- **Cargas lineales:** Cargas compuestas principalmente por un transformador, un rectificador y otros componentes posteriores.
- **Cargas controladas por ángulo de fase:** se caracteriza por ajustar su corriente de carga controlando su ángulo con la ayuda de un tiristor.

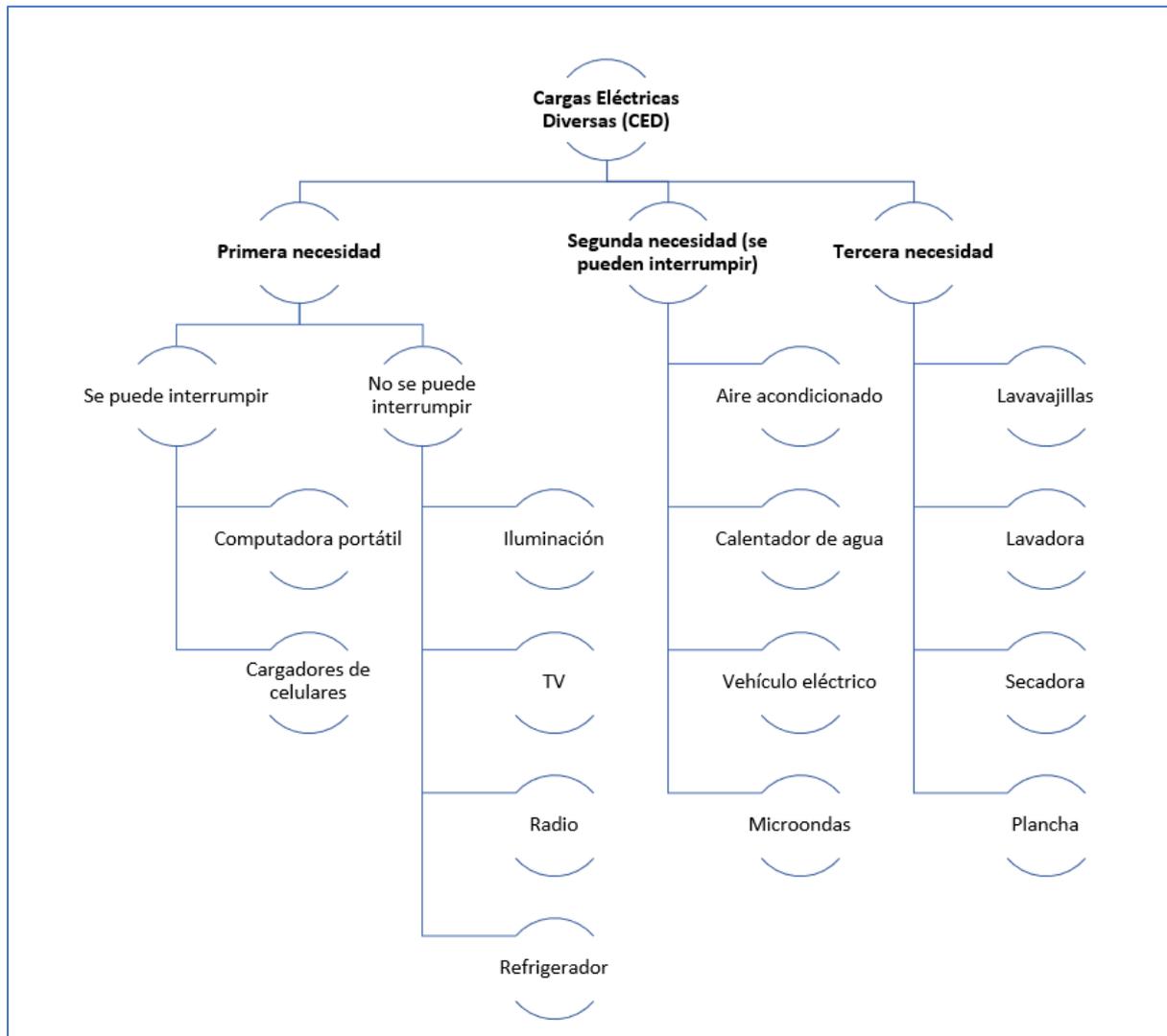
Las dos últimas categorías no se fabrican en la industria moderna, pero se las toma en cuenta porque aún están en funcionamiento en ciertos circuitos eléctricos residenciales.

No obstante, en los domicilios la carga total es una combinación de los diferentes tipos de cargas. La caracterización de cargas proporciona oportunidades para incorporar información detallada sobre el uso de energía en respuesta a la gestión de la energía.

La clasificación de cargas se puede darse de diferentes formas ya sea según la capacidad de control de los dispositivos, remota o local. También se puede clasificar según el consumo de energía nominal dividiendo en cargas ligeras menores a 100W, cargas normales entre 100W y 1000W y cargas pesadas mayor a 1000W (Ayan & Turkay, 2018).

Otra categorización de CED se la puede hacer según su utilidad o aplicación en el día a día. Iluminación, televisores y refrigeradores no se pueden aplazar a priori, consideradas

cargas de primera necesidad, dado que hay cargas de primera necesidad pero no de uso frecuente por ello se subdivide las categorías en interrumpibles e interrumpibles. Por otra parte, las cargas que usan almacenamiento térmico como calentadores de agua y sistemas de aire acondicionado se pueden aplazar a posteriori, consideradas cargas de segunda necesidad.



**Fig. 3 Clasificación de cargas eléctricas diversas**

Fuente: Autor

Algunas CED como el lavavajillas o lavadora de ropa se pueden posponer considerando como cargas de tercera necesidad, en la figura 3 se ha definido una categorización que puede variar acorde a la frecuencia de uso y prioridad que se determine en la carga. Para las cargas de segunda y tercera necesidad se puede interrumpir en cortos periodos de tiempo reduciendo la demanda máxima y mejorar la eficiencia energética sin afectar la comodidad o conveniencia general.

### 1.3 IDENTIFICACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS DIVERSAS (CED)

La identificación es importante en varias aplicaciones como edificios de alta eficiencia o en microrredes autoconfigurables dando control al consumo de energía y gestión de forma eficaz de las cargas (Thiruvanan, Phung, & Ambikairajah, 2013). Por ejemplo, en condición de sobrecarga de las microrredes un sistema automatizado de gestión del lado de la demanda puede apagar las cargas selectivamente si las identifica automáticamente.

#### 1.3.1 MÉTODO NO INTRUSIVO

El método no intrusivo o NILM por sus siglas en inglés (non-intrusive load monitoring), el cual monitorea las formas de onda de estado estable o formas de onda transitorias analizando los cambios en la tensión y la corriente en un solo punto de la red (Liu, Wang, & You, 2018) es un método que no satisface una desagregación de CED en su totalidad. Con el aumento en la cantidad y tipo de cargas eléctricas es cada vez más difícil mantener un modelo no intrusivo basado en algoritmos y firmas de carga únicas (Jadhav, Rao, & Vhatkar).

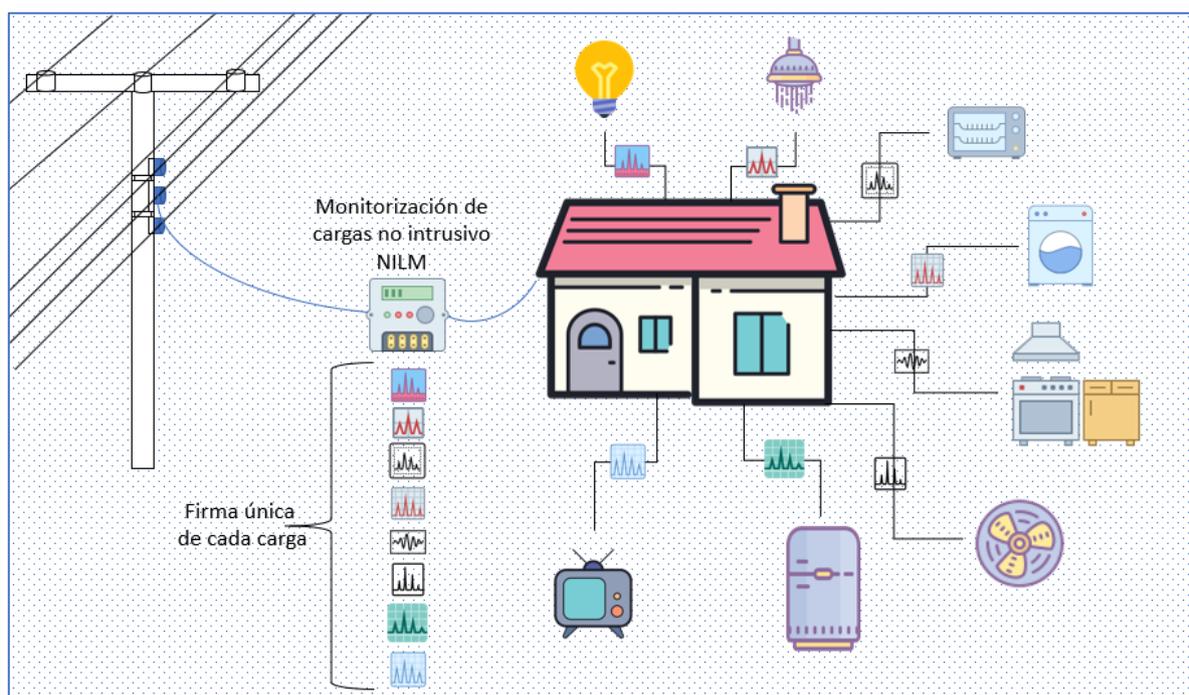


Fig. 4 Esquema de control de cargas no intrusivo

Fuente: Autor

En la figura 4 se puede observar un esquema de control de cargas no intrusivo el cual depende totalmente de las firmas únicas analizadas para cada carga. Este método presenta algunas desventajas como la no selectividad de cargas iguales en una misma red, además de demandar una constante actualización a causa del creciente número de aparatos

eléctricos en el hogar presentando una complejidad temporal, lo que presenta una desventaja para el funcionamiento en tiempo real (Machlev, Tolkachov, Levron, & Beck, 2020).

La precisión del método NILM se encuentra en constante investigación por lo que existen investigaciones de código abierto como Non-Intrusive Load Monitoring Toolkit facilitando herramientas de evaluación de la precisión de los algoritmos (Batra, Kelly, & Parson, s.f.).

### 1.3.2 MÉTODO INTRUSIVO

La metodología intrusiva aplicada a CED es una técnica de monitorización que se realiza a través de dispositivos de medición distribuidos de gama baja. El término intrusivo significa que el medidor está ubicado entre la alimentación de energía y el aparato que se monitorea. Además, Al implementar dispositivos en la red eléctrica para la desagregación esto nos da la posibilidad de analizar diversas configuraciones o subdominios (ILM) por sus siglas en ingles Intrusive load monitoring (Ridi, 2014).

Los subdominios facilitan la desagregación de cargas en regiones de un circuito eléctrico residencial acorde a la importancia o la clasificación de CED. La primera configuración ILM 1 se basa en dispositivos de monitoreo instalados al inicio de una sección o zona del circuito eléctrico de una vivienda como se indica en la figura 5.

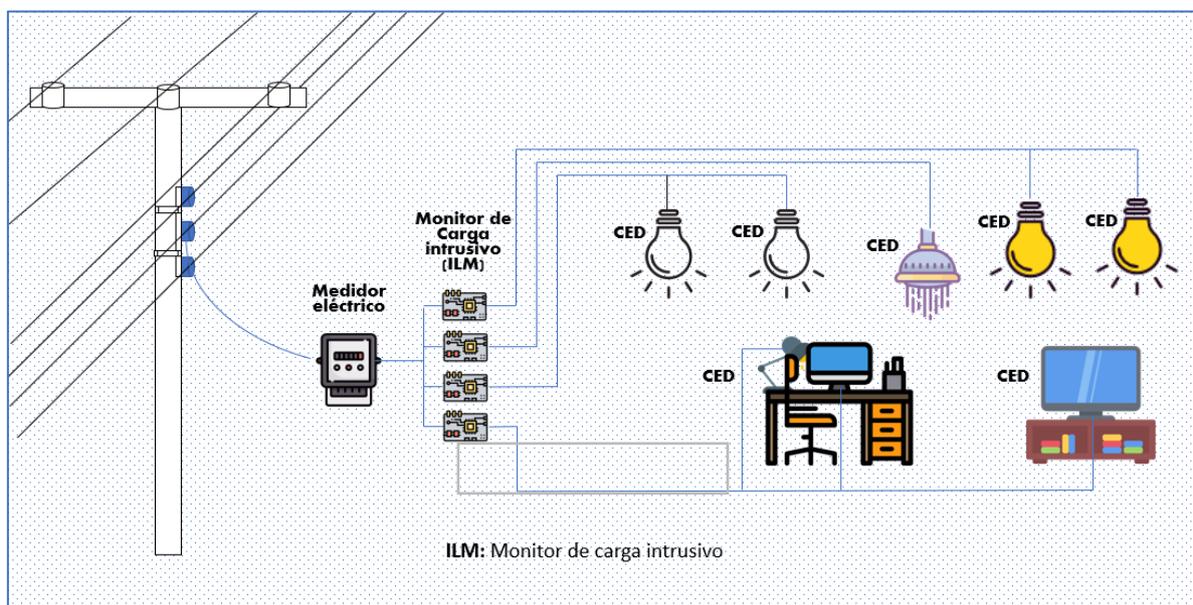
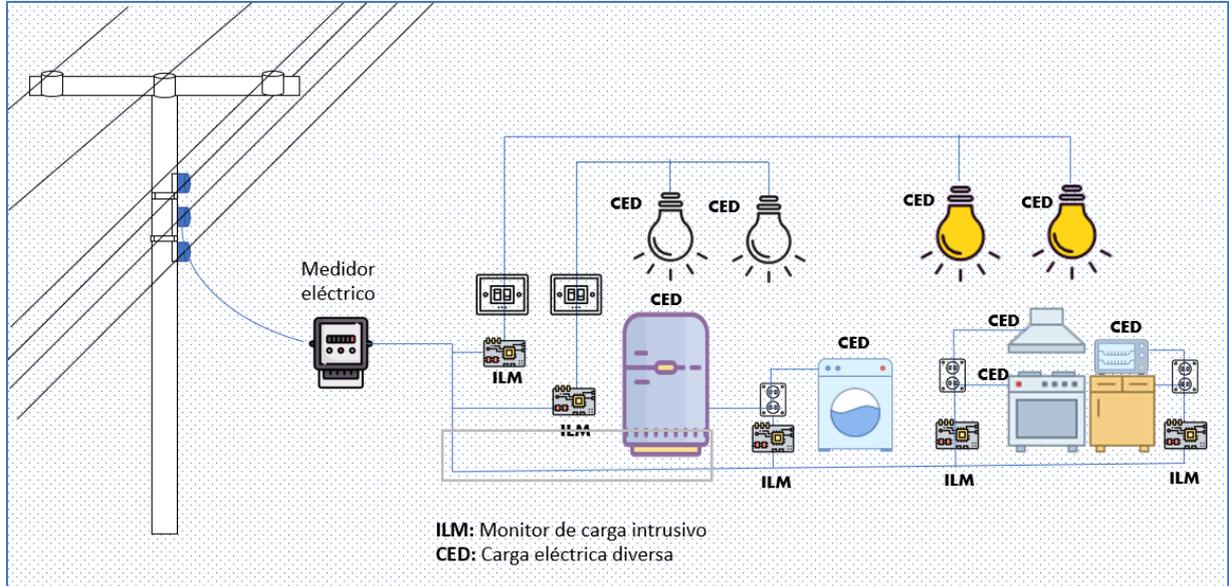


Fig. 5 Configuración ILM 1

Fuente: Autor

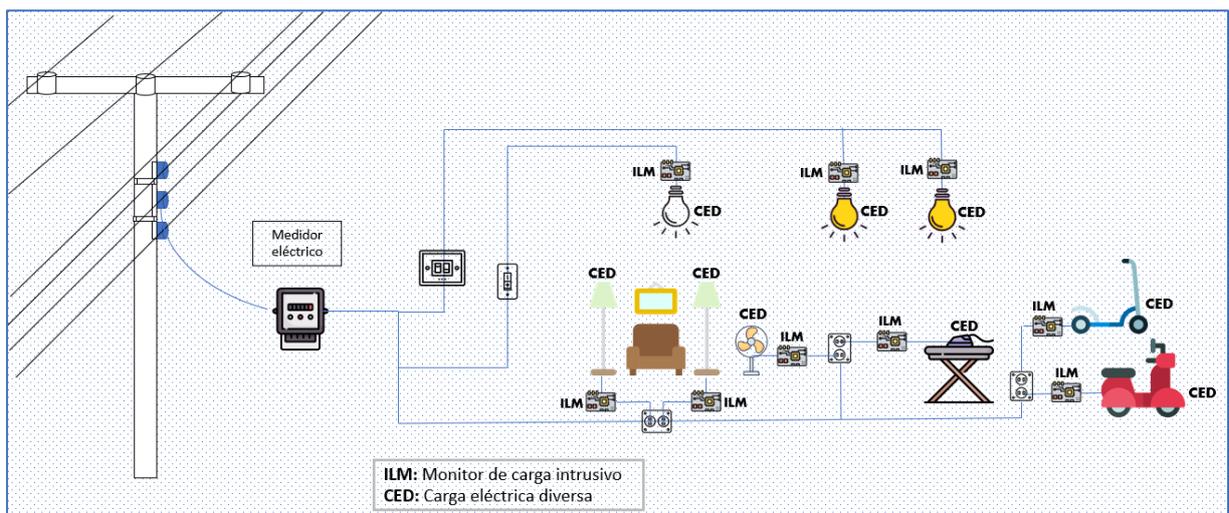
La segunda configuración ILM 2 se refiere al monitoreo directo al tomacorriente de configuración múltiple al cual se le puede conectar más de una carga como se indica en la figura 6.



**Fig. 6 Configuración ILM 2**

Fuente: Autor

La tercera configuración ILM 3 la monitorización con esta configuración se realiza con dispositivos de monitoreo a la alimentación individual de cada carga como se indica en la figura 7.



**Fig. 7 Configuración ILM 3**

Fuente: Autor

El reconocimiento de la actividad en la monitorización de los aparatos puede ser de diferentes tipos y nivel de complejidad dependiendo de la aplicación o actividades que suelen implicar el uso de aparatos para; comer, bañarse y dormir. Además, el uso de CED específicas de un área o lugar como; pasillos, gradas, jardín, cuarto de descanso, otros, pudiendo así aplicar medidas de control y ahorro de energía.

Entre las aplicaciones más evidentes de monitorización intrusiva (Ridi, 2014), (Revuelta Herrero, y otros, 2018) se encuentran:

- **Estadísticas de consumo específico:** facilita la comprensión del uso de energía de forma individual con datos de consumo eléctrico.
- **Estadística de consumo general:** da a conocer datos que ayudan a la comprensión del consumo energético global de la instalación residencial.
- **Monitoreo de electrodomésticos:** monitorea el consumo de los electrodomésticos ayudando a identificar consumos energéticos innecesarios.
- **Reconocimiento de uso:** reconoce la frecuencia de uso y la detección indirecta de actividad humana.
- **Evaluación de métodos NILM:** con la ayuda de dispositivos intrusivos ayuda a identificar con mayor facilidad nuevas firmas de nuevos aparatos en la red.
- **Simulación de métodos NILM:** al simular entornos no intrusivos disminuye el tiempo de análisis de nuevos métodos.
- **Localización de la carga:** localiza cargas específicas, anormales e ilegales efectuando desagregación y control de encendido apagado en ellas.

El propósito de la monitorización a todos los aparatos es proporcionar una descomposición de la energía por cargas, permitiendo la optimización del consumo de energía mientras se preserva el confort de los ocupantes. En la monitorización de cargas intervienen diversos conceptos como:

- **Dispositivos de medición:** se refiere al dispositivo que cuenta con la capacidad de adquirir información del consumo de energía o de cualquier otro parámetro eléctrico.
- **Herramientas de optimización:** dependiendo del método de monitorización las herramientas pueden ser deterministas o estocásticas comparando las firmas de la carga supervisada, además, los datos recolectados con los sensores se los compara con una base de datos y se analiza con la ayuda de programas informáticos.
- **Dispositivos de comunicación:** son dispositivos que tienen la función de enviar los datos de una etapa de lectura de los sensores hacia un servidor, en el campo de la

investigación se prefiere a las redes inalámbricas a las cableadas por su reducida complejidad y bajo coste energético.

- **Dispositivos de reconocimiento:** con la ayuda de un algoritmo extraen datos sobre la carga. En algunos casos, el reconocimiento de los aparatos implica la extracción y optimización de las firmas de la carga.
- **Dispositivos de control:** es sistemas que cuentan con la capacidad de gestión de la energía cuentas con dispositivos de apagado y encendido de la carga, denominando a estos dispositivos de control.
- **Dispositivos de visualización:** dispositivos en los que se puede visualizar los datos y análisis de cada carga sean estos locales o remotos. Actualmente se emplea interfaz web o una aplicación móvil.

En la identificación y monitorización de cargas eléctricas es conveniente analizar y diseñar un sistema acorde a las necesidades (Ridi, 2014). El método de medición en un solo punto NILM y método intrusivo ILM cuentan con características a mejora con investigaciones enfocadas a la administración de las cargas (Revuelta Herrero, y otros, 2018).

#### 1.4 POWER LINE COMMUNICATION

Los sistemas de comunicación a través de las líneas eléctricas funcionan sin ningún cableado específico para la transmisión de datos, dado que el dispositivo se conecta directamente a la red eléctrica. La tecnología PLC puede ser usado con dos propósitos, la comunicación y la medición de la calidad con bajo costo en infraestructura (Mlynek, Misurec, Kolka, Slacik, & Fujdi, 2015), técnica útil para la monitorización de CED y la gestión de la energía.

La comunicación por los cables eléctricos funciona en una red convencional; fase (F), neutro (N) y tierra (G), con los protocolos de transición de radio frecuencia (RF). El trasmisor PLC envía una señal RF desfasada a través de los cables F y G, y los cables N y G, en el receptor el sistema PLC recibe y combina ambas transmisiones desfasadas, por lo que incluso si uno de estos caminos se ve afectado, el otro camino puede entregar una señal RF suficientemente fuerte al receptor para que la comunicación sea efectiva (Borle, Saswadkar, Hiwarkar, & Kad, 2013).

En la figura 8 se puede observar la configuración de los dispositivos de comunicación y la transmisión de datos a través de una red eléctrica convencional.

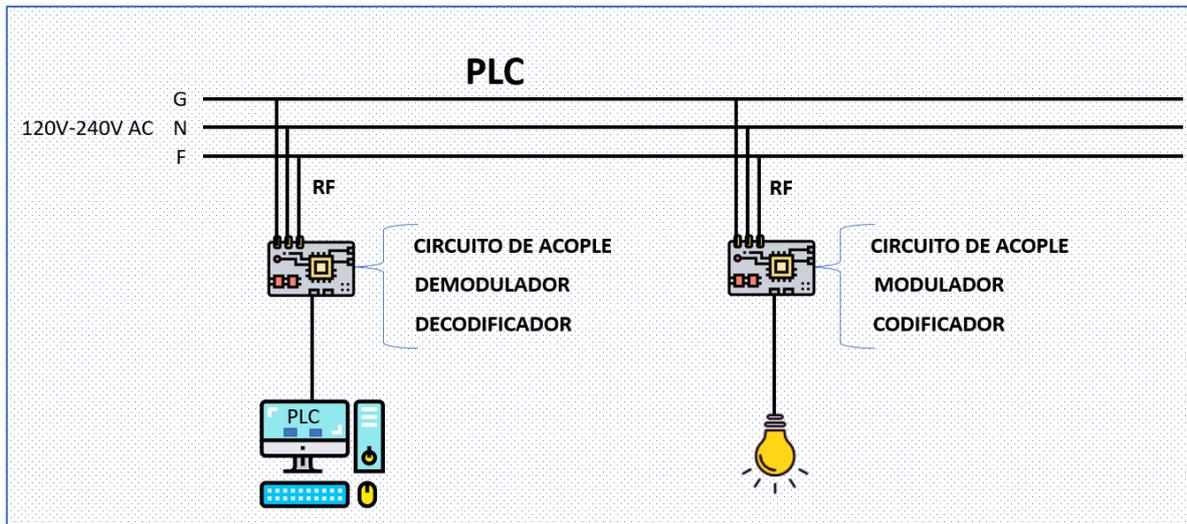


Fig. 8 Configuración de los dispositivos de comunicación PLC

Fuente: Autor

### 1.4.1 CLASIFICACIÓN DE PLC

La tecnología PLC se puede separar en distintos grupos o criterios ya sea por sus parámetros técnicos o su aplicación, la clasificación PLC se la puede dar por los siguientes parámetros:

**a) Por su nivel de voltaje;** dado que existen diferentes niveles de voltaje en la red eléctrica (Martial & Mohamed Tariq, 2019). Se puede clasificar en:

- Alto voltaje
- Medio voltaje
- Bajo voltaje

**b) Por su tipo de modulación;** en PLC al funcionar con estándares de telecomunicaciones, se pueden utilizar para la transmisión de datos dependiendo de las condiciones y necesidades de operación del sistema de comunicación específico, (Bilal , y otros, 2020), (Kabalci & Kabalci, 2019), (Rouissi, Han Vinck, Gassara, & Ghazel, 2019), (Russo & Hinson, 2019), (López, 2016), (Tilleria, 2016). Existen tres tipos de modulación más usados que son:

- **Modulación por desplazamiento de amplitud:** ASK (por sus siglas en ingles Amplitude Shift Keying); es una técnica que representa datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora en función de los datos a enviar. La amplitud de una señal portadora analógica varía conforme a la corriente de bit (modulando la señal) y manteniendo la frecuencia y la fase constante.

- **Modulación por desplazamiento de frecuencia:** FSK (por sus siglas en ingles Frequency Shift Keying): El proceso para llevar a cabo la modulación es análogo con referencia al ASK, con la diferencia de que cuenta con dos frecuencias, una de ellas para transmitir un uno y otra diferente para transmitir cero. En la modulación FSK la información digital va contenida en la frecuencia de la señal transmitida, hecho que la hace inmune a las perturbaciones externas o ruido.
- **Modulación por desplazamiento de fase:** PSK (por sus siglas en ingles Phase Shift Keying); es modulación angular la cual consiste en variar la fase de la portadora entre un número “n” de valores discretos posibles. La señal moduladora es una señal digital que tiene un número de estados limitados.

Los tres tipos de modulación se pueden utilizar para la transmisión de datos dependiendo de las condiciones y necesidades de operación del sistema de comunicación específico. Las bandas de frecuencia definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT por sus siglas en ingles) y la utilización de estas bandas en las aplicaciones PLC se ilustran en la figura 9. Las bandas de frecuencia se definen como super baja (SLF), ultra baja (ULF), muy baja (VLF), baja (LF), media (MF), alta (HF), muy alta (VHF), ultra alta (UHF), super alta (SHF), extremadamente alta (EHF) y tremendamente alta frecuencia (THF), respectivamente (Kabalci & Kabalci, 2019).

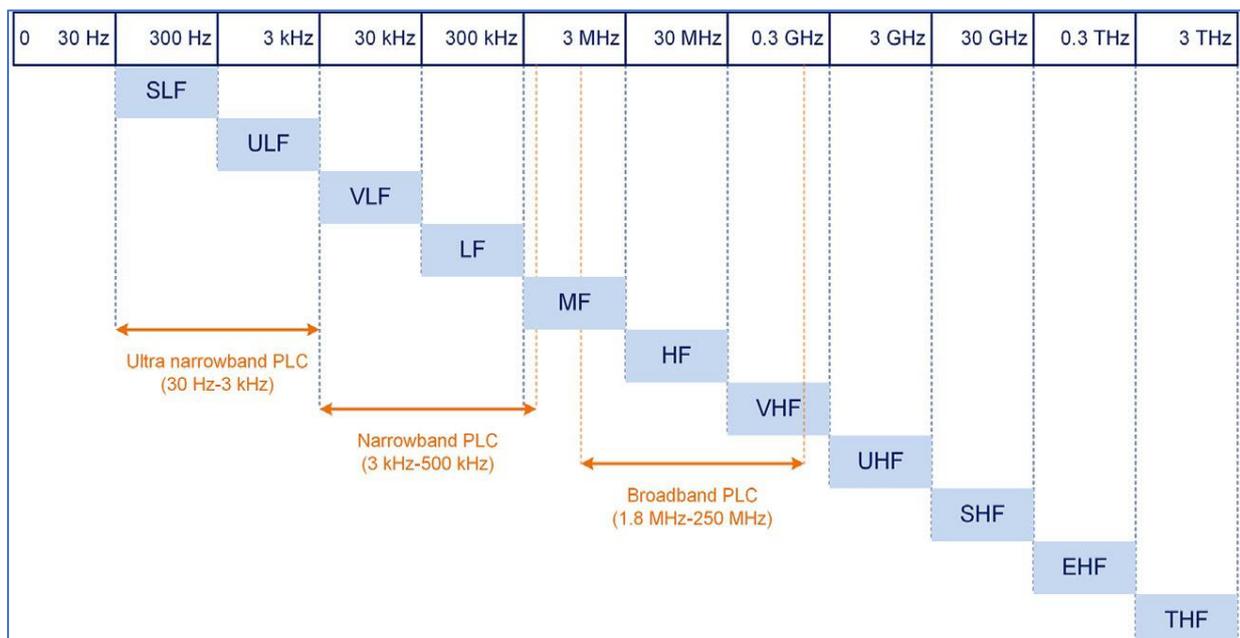


Fig. 9 Bandas de frecuencia utilizadas en PLC

Fuente: (Kwok Tai Chui, 2018)

c) **Por su ancho de banda;** en esta clasificación se toma en cuenta la normativa de compatibilidad electromagnética y su ancho de banda utilizado para clasificar estas tecnologías (Bilal , y otros, 2020), (Kabalci & Kabalci, 2019), (Masood & Baig, 2016), (Juwono, Reine, Liu, & Pamungkasari, 2019). En general, se dividen en tres categorías:

- **Banda ultra estrecha:** UNB (por sus siglas en inglés Ultra-Narrow Band); estas tecnologías utilizan la banda ultra baja frecuencia (0,3-3 kHz) o la parte superior de la banda super baja frecuencia (30-300 Hz). En otras palabras, las frecuencias por debajo de 3 kHz son utilizadas por las tecnologías UNB PLC, donde la velocidad de datos alcanzable es de unos 100 bps. El UNB utiliza una comunicación unidireccional que se emplea sobre todo para el control de la carga eléctrica. El UNB tiene un alcance operativo muy extenso (cientos de kilómetros).
- **Banda estrecha:** NB (por sus siglas en inglés Narrow Band); Estas tecnologías funcionan a frecuencias entre 3 y 500 kHz. Las tecnologías NB multiprotadora velocidad de datos de hasta 800 kbps.
- **Banda ancha:** BB (por sus siglas en inglés Broadband); Los sistemas PLC de banda ancha operan en una amplia gama de frecuencias de 1,8 a 250 MHz. Emplean esquemas de modulación multiprotadora similares a los sistemas NB. Además, esta tecnología puede alcanzar velocidades de datos de varios megabits por segundo hasta cientos de Mbps, ya que ha sido desarrollada para aplicaciones de alta velocidad en interiores.

d) **Por su aplicación o uso;** según, (Mlynek, Misurec, Kolka, Slacik, & Fujdi, 2015), (Martial & Mohamed Tariq, 2019), (Bhavya, Gangrade, & Kumar, 2018), la comunicación por los conductores eléctricos se usa en los siguientes casos:

- Transmisión de internet residencial.
- Trasmisión de datos para sistemas de control usado en el manejo de micro redes, nano redes y más configuraciones de redes inteligentes.
- Redundancia de información usada en comunicaciones que requieren estricta precisión.
- Monitoreo y control de cargas eléctricas residenciales.
- Lectura avanzada de medidores eléctricos.

## 1.4.2 CHIP PLC

La tarea de la comunicación bidireccional en la red puede llevarse a cabo mediante una elección adecuada de la tecnología. El requisito para desplegar una configuración de comunicación bidireccional es elegir una solución de comunicación fiable que pueda transmitir una señal a distancias considerables (Masood & Baig, 2016). Uno de los chips comerciales con tecnología confiable es el TDA5051 (Bilal , y otros, 2020).

El TDA5051 es un chip ASK asíncrono semidúplex. La velocidad máxima de transmisión es de 1200 baudios. El módem cumple con la norma CENELEC EN 50065-1 y la frecuencia de la portadora es programable de 95 a 148,5 kHz (Mlynek, Misurec, Kolka, Slacik, & Fujdi, 2015). Este dispositivo permite acoplar un microcontrolador a la red de baja tensión (Morales, 2007), sus conexiones se pueden observar en la figura 15.

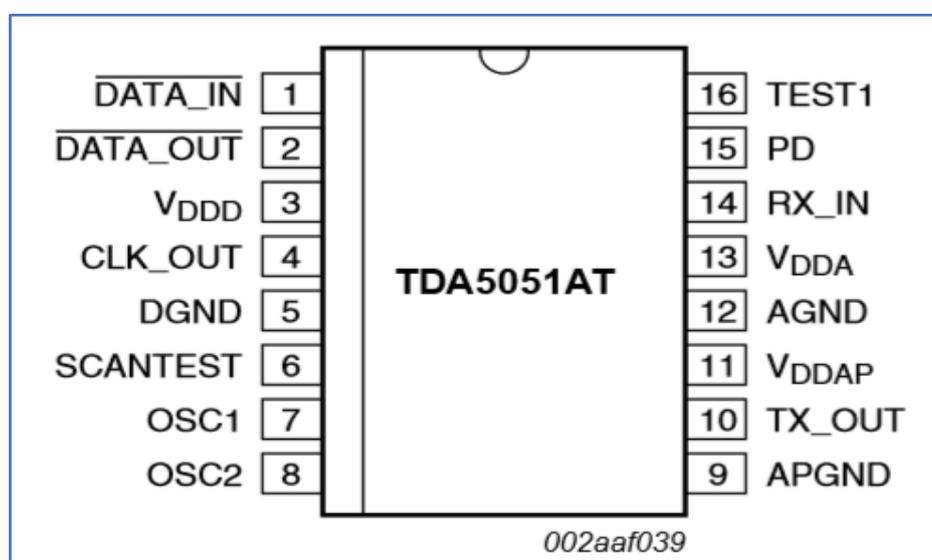


Fig. 10 Modem TDA5051

Fuente: Schemathics (2013)

Según (Shematics.com, 2013), dentro de las características que posee el chip TDA5051, se puede mencionar las siguientes:

- Portadora mediante conversión D/A de una tabla almacenada en ROM.
- Ajuste de la frecuencia de portadora mediante ajuste del cristal oscilador.
- Única alimentación a +5 V.
- Control automático de ganancia en la entrada.
- A/D de 8 bits, más filtro digital incorporado en la entrada.
- Interfaz digital de entrada y salida, representando la presencia o ausencia de generación de portadora.
- Modo de bajo consumo.
- Encapsulado SO16.

## **1.5 CÓDIGO DE AUTENTICACIÓN DE MENSAJE**

Según (Pavón & Pando, 2018), El mensaje de código de autenticación correspondiente a un bloque de datos, el cual es transferido a manera de mensaje con información legítima.

Para el uso de los códigos de autenticación de mensajes (MAC), se pueden crear algoritmos de clave secreta o pública que permite visualizar la información de los mensajes. Por medio de esta tecnología se establece que un sistema es considerado confiable cuando la obtención de sus datos es garantizada y proporcionen la información requerida por los usuarios.

La identificación de cargas tiene un sistema de seguridad usado para transferir o almacenar información denominado criptograma, El encriptado permite transmitir la información de forma confidencial, confiable y segura a través de un algoritmo de información cifrado que se han obtenido desde los dispositivos electrónicos hacia la centralización de información.

Según (Moya & Escobar, 2015), la capacidad de traducción de los mensajes es manejada de forma exclusiva, una de las características que favorece su implementación es el mapeo aleatorio de todas las posibilidades de codificación de los mensajes de entrada en salidas de tamaño bit.

## **1.6 DIRECCIÓN IP**

Según (Rubio, Gómez, Molina, San Juan, & Chaos, 2017), la dirección IP, es un número que logra identificar de manera lógica y jerárquica a una determinada interfaz de un dispositivo que se encuentre enlazado a una red. La dirección IP proporciona conectividad entre un microcontrolador y una interfaz en una computadora.

El Protocolo IP es uno de los pilares básicos de Internet, ya que permite el desarrollo y transporte de paquetes de datos, aunque su recepción no está asegurada. Además, forma parte del conocido protocolo TCP/IP. El protocolo IP, en este caso, se encarga de enlazar el dispositivo maestro con un dispositivo que permita la visualización de la interfaz de control como son las computadoras y smartphones.

## **1.7 INTERFAZ WEB LOCAL**

A través de la Interfaz web local se puede encender o reiniciar el equipo, controlar datos obtenidos en el dispositivo de red, favoreciendo la ejecución de las tareas de diagnóstico o de obtención de datos.

El ESP8266 hace que los microcontroladores se conecten a una red inalámbrica gracias al nivel de almacenamiento que tiene de 1 MB, por su capacidad de convertirse en servidor puede emitir y recibir información proveniente de un hardware como el Arduino. Al enviar una serie de comandos AT se genera una comunicación bidireccional entre el ordenador y el ESP8266, para lo cual se necesita contar con una velocidad adecuada de transmisión de datos, además, de la configuración de su conexión serial inalámbrica (Arduino, 2019).

## **1.8 CENTRALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Según (Velasco-Ramírez, Ángeles-Camacho, & García-Martínez, 2013), mencionan que tradicionalmente la red eléctrica ha estado sujeta a un diseño centralizado que es controlado por un solo operador. En la actualidad existen diferentes empresas que participan en la generación, distribución y operación de la información.

PLC tiene un nuevo enfoque que cobra gran importancia entre el monitoreo de la transmisión y la tecnología de comunicación y la información, creando lo que se conoce como una red de transmisión inteligente, mediante la adquisición de datos e inclusión de interfaces con otras aplicaciones, para establecer métodos de control y de comunicación en la red eléctrica.

Las tecnologías PLC, permite transmitir datos en tiempo real, regulando la demanda energética de los hogares, identificado la variación entre costos y consumos. Además, permite visualizar si los dispositivos eléctricos están conectados o desconectados, así como tener el control sobre la demanda y distribución del sistema eléctrico, logrando la optimización de consumo en los hogares, garantizando la eficiencia energética del edificio.

### **1.8.1 ADQUISICIÓN DE DATOS**

Según (Riffo, 2009), los datos obtenidos desde los dispositivos electrónicos son enviados al sistema de centralización por consecuencia se logra determinar el estado operativo, su ubicación y la importancia del consumo eléctrico actual. Este proceso se basa en el estándar de comunicación **PLC**, lo que permite captar la información con autonomía sobre todo en caso de fallas eléctricas evitando que exista pérdida de información. Adicionalmente, este sistema permite tener almacenamiento como respaldo del proceso.

### **1.8.2 TRANSMISIÓN DE DATOS**

Según (Vázquez, 2015), consiste en la transmisión de los datos desde la carga eléctrica hasta el software por medio del desarrollo de una programación que permita

controlar de mejor manera la conexión existente entre los dispositivos vinculados con la red y el mecanismo de centralización de datos.

## **1.9 MICROCONTROLADORES**

El microcontrolador es un elemento fundamental en los sistemas computacionales, contiene una memoria de acceso aleatorio (RAM), la memoria solo de lectura (ROM), y puertos de entrada/salida (E/S). La mayoría de los microcontroladores se emplean en aplicaciones de intenso hardware, de tiempo real, en las que se tienen seriales tanto digitales como analógicas (Gibilisco, 1994).

### **1.9.1 MICROCONTROLADOR ESP8266**

Esta placa de desarrollo o unidad de microcontrolador de nodo NodeMCU (por sus siglas en inglés Node MicroController Unit) ESP8266 funciona permanentemente gracias a la amplitud del rango de temperatura en la que puede operar, además de un uso eficiente de la energía, el chip ofrece componentes discretos, confiabilidad, con un diseño compacto (Systems, 2020).

Entre las diversas configuraciones las más destacadas son:

- Cambio rápido entre el modo de reposo y el de activación con el propósito de eficiencia energética.
- Procesamiento avanzado de la señal gracias a sus filtros.
- Mecanismos de cancelación de interferencias y coexistencia de RF para celulares comunes, Bluetooth, DDR, LVDS, mitigación de interferencias de LCD.

El dispositivo ESP8266, al ser un dispositivo de código abierto se puede programar fácilmente con IDE de arduino cuenta con la capacidad de alojar una aplicación o programación con un inicio rápido desde su memoria flash. La caché de alta velocidad integrada ayuda a aumentar el rendimiento del sistema y optimizar la memoria del sistema. Además, el ESP8266 se puede aplicar a cualquier diseño de microcontrolador como un adaptador Wi-Fi a través de interfaces SPI/SDIO o UART, con interruptores de antena, balun RF, amplificador de potencia, amplificador de recepción de bajo nivel de ruido, filtros y módulos de administración de energía (Systems, 2020). Su versatilidad permite ser usado para ahorro de energía en aplicaciones de IoT, como se puede apreciar en la figura 11 el ESP8266 cuenta con diversos pines de conexión dentro de su GPIO.

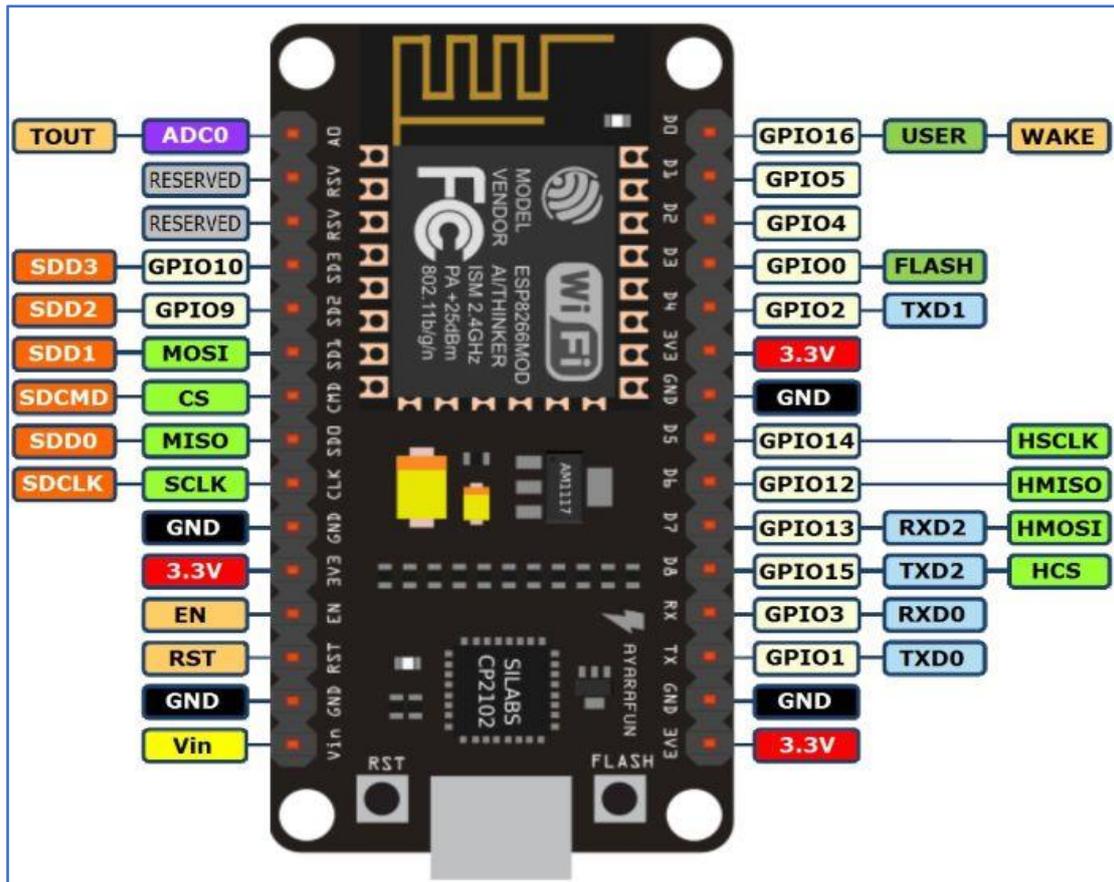


Fig. 11 Microcontrolador ESP8266

Fuente: BricoGeek (2018)

Gracias a que este microcontrolador incluye el procesador RISC con 32 bits y Tensilica L106, el mismo que permite un bajo consumo de energía, además el sistema operativo RTOS y el chip wi-fi contribuye al ahorro del 80% de potencia, la cual puede ser usada en programación, así como para desarrollar aplicaciones de usuario.

Entre las aplicaciones más comunes tenemos:

- Aplicaciones para el hogar en electrodomésticos
- Automatización del hogar
- Enchufes y luces inteligentes
- Control industrial inalámbrico
- Monitores para bebés
- Cámaras IP
- Redes de sensores
- Dispositivos electrónicos para llevar puestos
- Dispositivos Wi-Fi de localización
- Etiquetas de identificación de seguridad

## 1.9.2 ARDUINO PRO MINI

Arduino Pro mini, es una versión del Arduino con hardware libre, el cual se basa en el microcontrolador Atmega 328, el cual es utilizado en el Arduino Uno y Arduino Nano, ofreciendo como ventaja que viene en formato SMD, así la placa se reduce en tamaño a un 70%, manteniendo la potencia de Arduino UNO. En la figura 12 se puede apreciar la configuración de pines y su función.

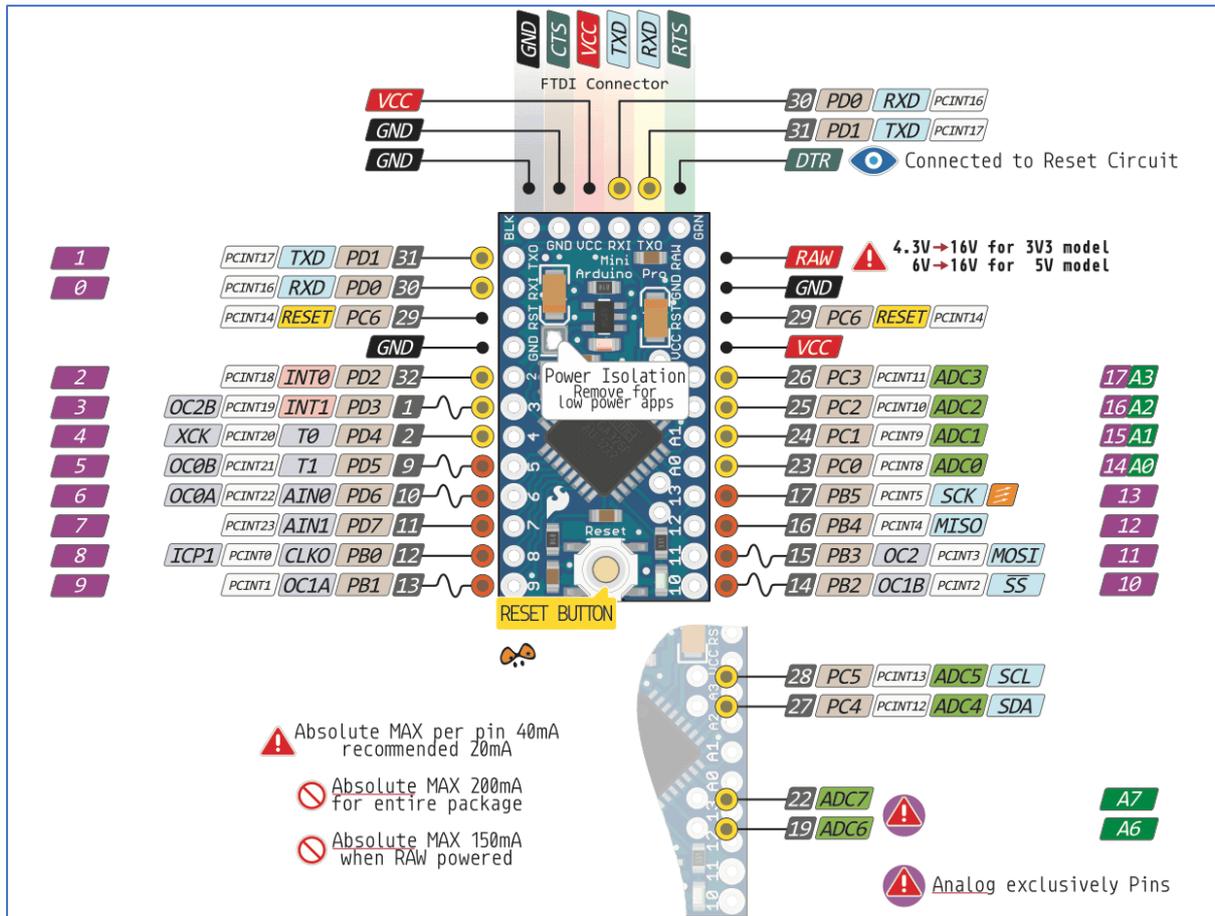


Fig. 12 Pines arduino pro mini

Fuente: jpralves.net (2016)

Según (Padilla, 2015), Arduino Pro mini tiene cuatro entradas analógicas y 14 puertos I/O Digitales, de los cuales 6 pueden ser utilizados como salidas PWM y 6 entradas analógicas, un oscilador integrado, un botón para reinicio y orificios para montar cabezales de pines que sirven de conexión (ARDUINO, 2020).

El Arduino Pro Mini está pensado para su instalación semipermanente en objetos o exposiciones. La placa viene sin cabezales pre montados , permitiendo el uso de varios tipos de conectores, o la soldadura directa de los cables (jpralves.net, 2016).

La placa suministra 3,3 V con 8 MHz y 5 V con 16 MHz, Para programar en esta tarjeta debe utilizarse un adaptador USB Serial TTL como el CP2102 o FTDI. Ya que no dispone de un puerto USB en la placa, debido a que carece de programador incorporado (HETPRO Herramientas Tecnológicas Profesionales, 2019).

## **1.10 PROGRAMAS INFORMÁTICOS**

Los programas informáticos o software se los crea con el propósito de dar instrucciones e información específica de determinadas tareas al personal de como operar la computadora. Existen diferentes lenguajes de programación, la forma más básica se le conoce como lenguaje máquina. El lenguaje de programación puede ser en forma escrita, en forma de impulsos magnéticos en una memoria. El software puede programarse en forma temporal o permanente por distintos medios. Cuando no es programado en forma permanente, se le llama firmware (Gibilisco, 1994).

### **1.10.1 ARDUINO IDE**

Según (Aprendiendo Arduino, 2016), IDE (*integrated development environment*) con sus siglas en inglés se puede traducir como *Ambiente Integrado de Desarrollo*. IDE es un programa informático gratuito compuesto por un conjunto de herramientas de programación. Puede dedicarse en exclusiva a un solo lenguaje de programación o bien puede utilizarse para varios lenguajes.

Según (Kong, Kim, Ko, & Joo, 2015), el IDE de Arduino es compatible con los lenguajes C y C ++ utilizan reglas especiales de código, también proporciona una biblioteca de software del proyecto Wiring, el cual incluye una variedad de procedimientos comunes de entrada y salida.

Cuando se inicia un programa en Arduino se usa el bootloader de Arduino, que es un pequeño programa cargado en el microcontrolador que permite subir el código sin usar hardware adicional. El bootloader está activo unos segundos cuando se reinicia la placa, después comienza el programa que tenga cargado el Arduino en su memoria Flash.

Un IDE es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación; es decir, que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI), en la figura 13 se puede observar su interfaz de escritorio. Además, en el caso de Arduino incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware.

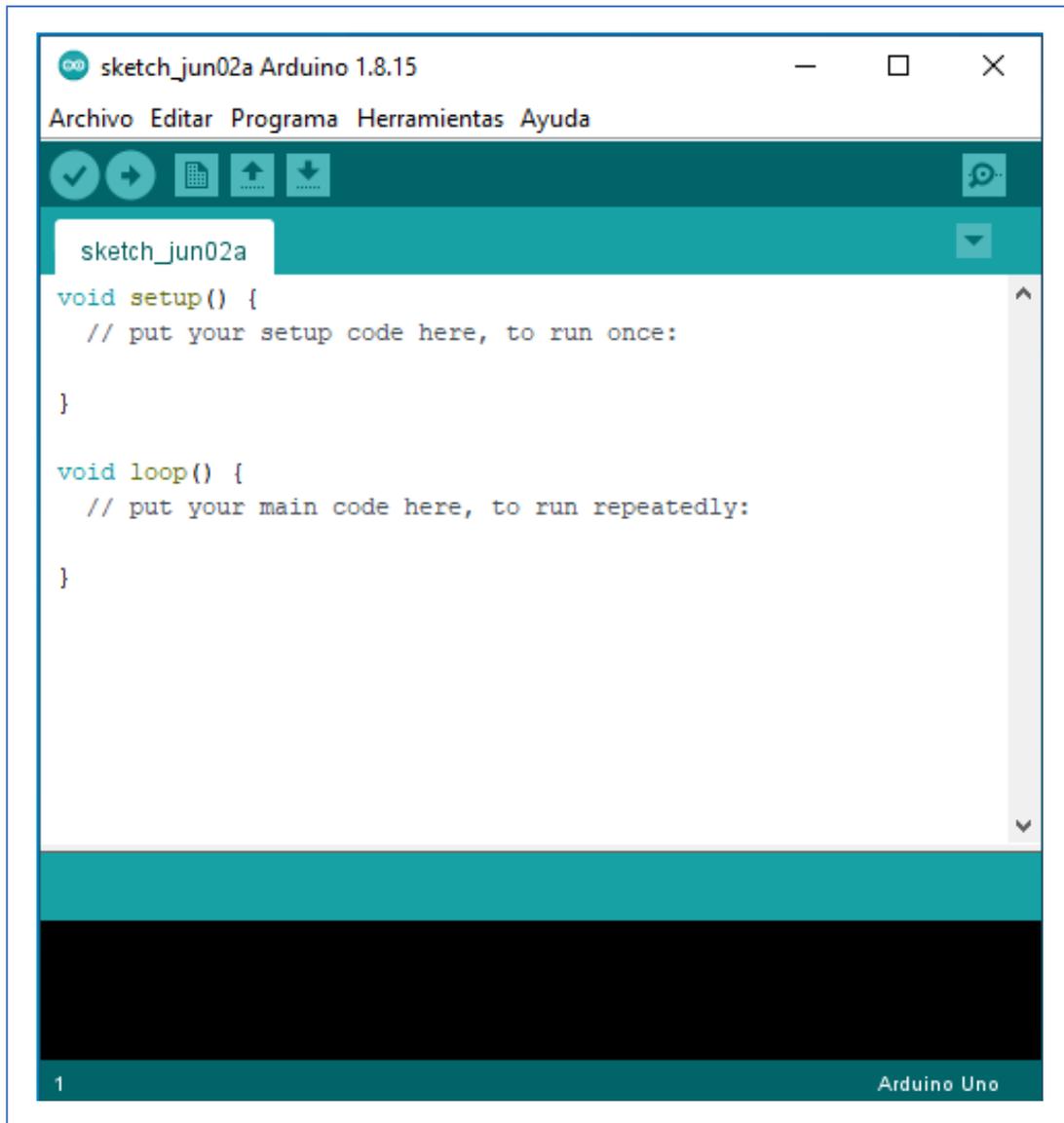


Fig. 13 Arduino IDE

Fuente: Arduino (2020)

El entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino es una aplicación multiplataforma que puede ser utilizada en Windows, Mac y Linux, está escrito en el lenguaje de programación Java (ARDUINO, 2020).

### 1.10.2 SOFTWARE DE DISEÑO KICAD

Según (Medrano & Serra, 2017), KiCad es un entorno de software gratuito usado para el diseño de circuitos eléctricos, muy flexible y adaptable, en el que se pueden crear y editar un gran número de componentes, además permite el diseño de circuitos impresos modernos de forma sencilla.

El software KiCad se basa en el uso varias aplicaciones entre las que se puede mencionar las siguientes:

- a) **Herramienta para Diseño de Circuitos Impresos (eschema):** es una aplicación de *KiCad* que permite la edición de ficheros esquemáticos (**eeschema, 2021**).
- b) **Herramienta para Diseño de Circuitos Impresos (CvPcb):** es una aplicación de *KiCad* que permite asignarle las huellas impresas a cada uno de los componentes especificados en el diseño esquemático (**cvpcb, 2021**).
- c) **Herramienta para Diseño de Circuitos Impresos (Pcbnew):** es una aplicación de *KiCad* que permite cargar reglas de diseño y rutinas de verificación para comprobar la consistencia entre el circuito esquemático y el impreso (**pcbnew, 2021**).
- d) **Herramienta para visualizar ficheros de fabricación (Gerbview):** Una vez finalizado el circuito, es necesario exportar el diseño en un estándar Gerber, estos ficheros vectorizados son los que requieren las fábricas de circuitos para producirlos en serie, (Gerbv) es una aplicación para visualizar estos archivos, no es parte del proyecto KiCad, pero es comúnmente utilizada luego de completar el proceso de diseño (**gerbview, 2021**).
- e) **Miniaplicaciones KiCad:** Se puede crear cálculos básicos de divisores, atenuadores, códigos de colores de resistencias, capacidad de corriente a través de un conductor, además de la generación de logotipos a partir de imágenes de mapa de bits (**plugins, 2020**).

El flujo de trabajo de KiCad se compone de dos tareas principales: el dibujo del esquema y la disposición de la placa. Para estas dos tareas se necesita una biblioteca de componentes esquemáticos y una biblioteca de huellas de PCB por sus siglas en inglés Printed Circuit Board (KiCad Getting Started in KiCad, 2020). KiCad incluye muchos componentes y huellas, y también dispone de herramientas para crear otros nuevos.

En la figura 14, se ve un diagrama de flujo que representa el flujo de trabajo de KiCad. El diagrama de flujo explica qué pasos hay que dar, y en qué orden.

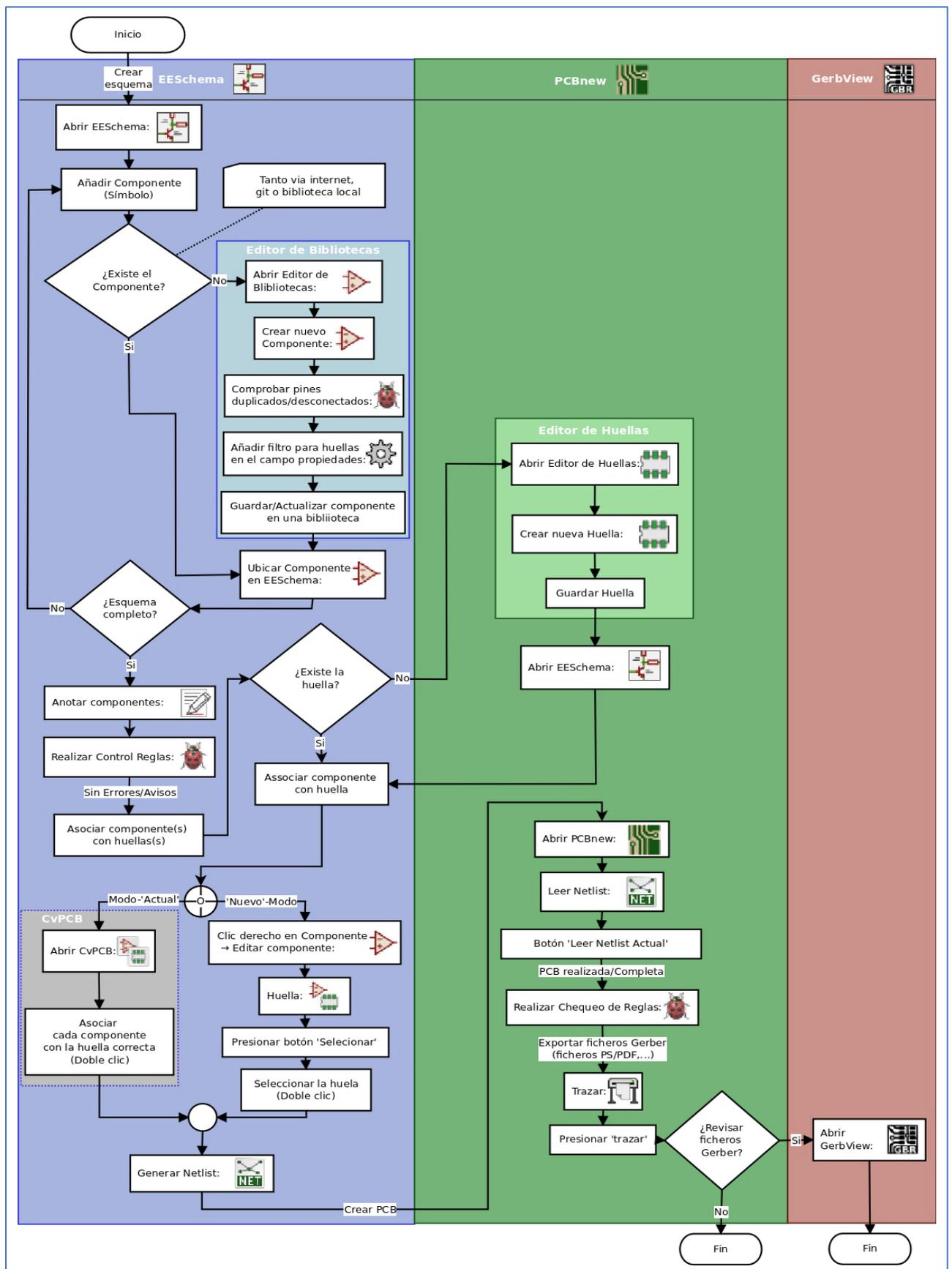


Fig. 14 Diagrama de flujo de trabajo en kicad

Fuente: docs.kicad.org (2021)

En resumen, El constante crecimiento de la demanda de energía eléctrica nos lleva a buscar soluciones en eficiencia. Entonces al concentrarse el mayor consumo de energía en cargas residenciales, cabe destacar la búsqueda de soluciones de ahorro de energía con el método intrusivo de bajo costo, integrando tecnologías de identificación de cargas y transmisión de datos por el cableado eléctrico.

En la búsqueda y selección de componentes e instrumentos, en este primer capítulo se ha especificado los métodos necesarios para el diseño y construcción del prototipo de desagregación de cargas intrusivo . Por consiguiente, da las pautas de parámetros técnicos de métodos e implementos para el control y transmisión de la información por el cableado eléctrico a voltajes residenciales de 120V/240V.

# **CAPÍTULO II**

## **DESARROLLO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Determinar los procedimientos necesarios para desarrollar el proyecto de investigación propuesto, aplicando los requerimientos y conocimientos técnicos y científicos, necesarios que conlleven al cumplimiento de los objetivos planteados.

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

La implementación de un prototipo, aplicando el método intrusivo de identificación y control de cargas eléctricas, conectadas en una red de baja tensión y complementado con el diseño de un sistema electrónico de comunicación “Power Line Communication”; involucra aplicar conocimientos técnicos y metodológicos en áreas referentes a la electrónica y control, manejo y conocimiento de software, tanto para el desarrollo de placas PCB (KICAD), como para el desarrollo de código de programación (Arduino IDE), así mismo tener claro los fundamentos del método intrusivo de medición de cargas y sistemas de comunicación “Power line”.

El prototipo tiene como función, controlar y visualizar parámetros eléctricos de un circuito comprendido por tres cargas eléctricas que funcionan a 120-240 voltios. Todo esto por medio de módulos electrónicos que serán los encargados de enviar y recibir información entre ellos, mediante un sistema de comunicación denominado “Power Line Communication”.

### **2.2 ANÁLISIS DEL OBJETIVO**

Al implementar un prototipo con un sistema de comunicación “Power Line Communication” y un método intrusivo de control e identificación de cargas eléctricas, se desarrollará destrezas y conocimientos técnicos en el área de electrónica y control. Mediante el diseño de circuitos electrónicos para placas PCB y la creación de códigos de programación para microcontroladores. Además, de promover nuevas tecnologías en aplicaciones de sistemas por comunicación “Power Line”.

### **2.3 UBICACIÓN FÍSICA**

El prototipo para desarrollar es un módulo demostrativo, que está conformado por dispositivos de control y conectores externos para la conexión de la alimentación y de las cargas eléctricas, las cuales serán utilizadas para realizar pruebas de funcionamiento. El

prototipo será diseñado para la elaboración de prácticas de laboratorio por parte de los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica del Norte.

## **2.4 DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL**

Permite visualizar el proceso que se lleva a cabo para envío y recepción de datos binarios mediante el uso de la red eléctrica. Para realizar esto, se cuenta con un microcontrolador maestro (microcontrolador ESP8266), el cual transmite los datos proporcionados de una interfaz gráfica hacia los esclavos (microcontrolador Pro Mini) por medio de la red eléctrica.

Los esclavos controlan un relé que se utiliza como un interruptor para el encendido y apagado de una carga a 120-240V en AC de hasta 1000 watts.

A continuación, en la figura 15, se presenta el diagrama de flujo del prototipo PLC, el cual consta de dos placas diferentes:

- La primera el maestro: está conformada por una parte denominada placa PLC, esta está conformada por una fuente de AC – DC, una interfaz de protección (78250MC) y el circuito integrado TDA5051, además de contener el sistema embebido ESP8266 como microcontrolador.
- La segunda el esclavo: se compone de la misma placa PLC del maestro con la diferencia de funcionar con el microcontrolador arduino pro mini y tener tres secciones iguales dado que el prototipo cuenta con tres cargas a controlar.

El diagrama facilita la comprensión y la explicación de cada sección del prototipo dando una accesibilidad a el estudio y desarrollo de futuras investigaciones, modificaciones entre otros cambios que se puedan desarrollar con este prototipo.

## ● ● DIAGRAMA DE FLUJO DE DESAGREGACIÓN DE CARGAS POR IDENTIFICACIÓN “POWER LINE COMMUNICATION” ● ●

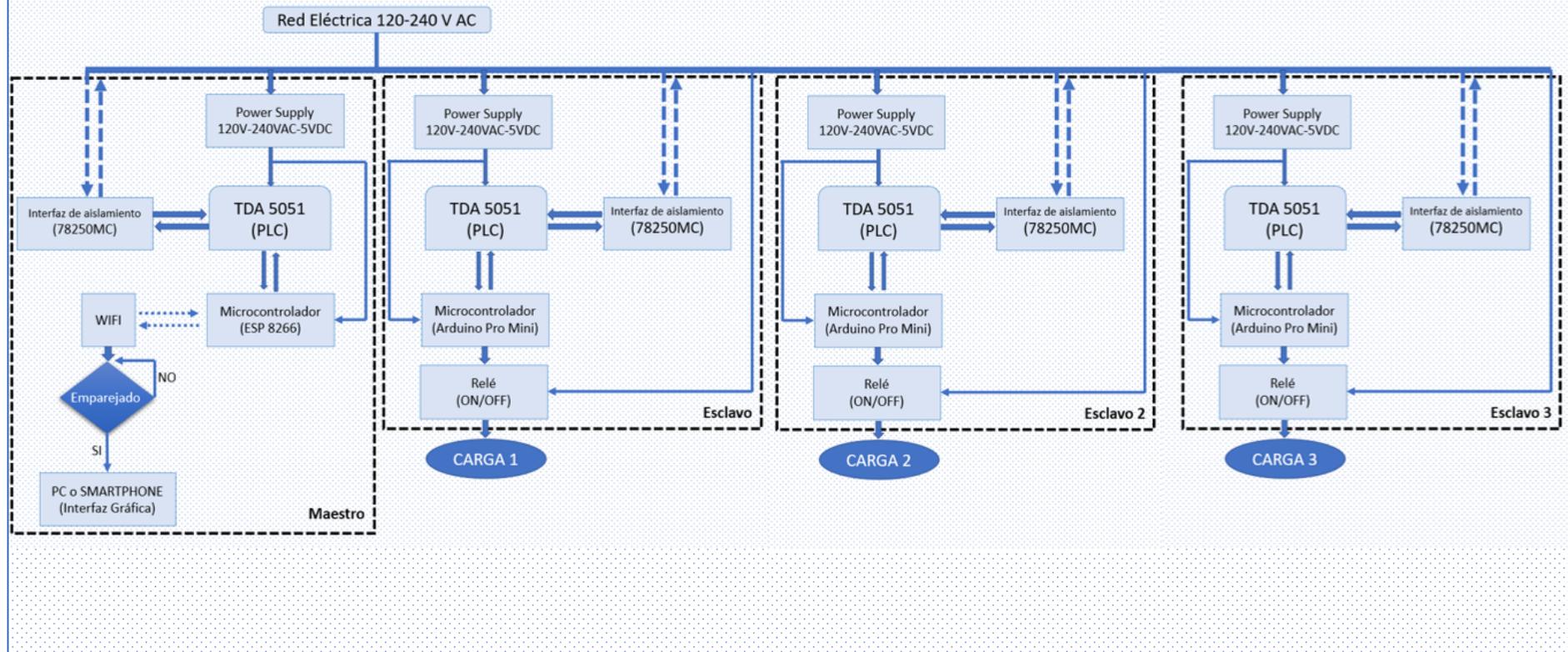


Fig. 15 Diagrama de flujo del prototipo

Fuente: Autor

## 2.5 PLACA DEL DISPOSITIVO PLC

En la búsqueda y selección de componentes para la transmisión de datos por los cables de corriente alterna entre 120 a 240 V usado en residencias en La República Ecuador se optó por usar el chip TDA5051 por ser capaz de enviar y recibir la información (bidireccional) con una sola conexión a los cables eléctricos.

El circuito integrado TDA5051 siendo el principal componente en la placa PLC, los demás componentes constan de un aislamiento de la línea eléctrica (Interfaz de aislamiento 78250MC), componentes que mejoran la sensibilidad de los datos obtenidos en la red.

El TDA5051 requiere de una alimentación de 5V en DC, para esto se diseña una fuente de transformación (Power Supply 120-240VAC-5VDC)

En la figura 16, se indica la sección del diagrama de flujo del prototipo, señalando los componentes de la placa PLC del maestro y el esclavo acoplados a la red de corriente alterna de 120-240V.

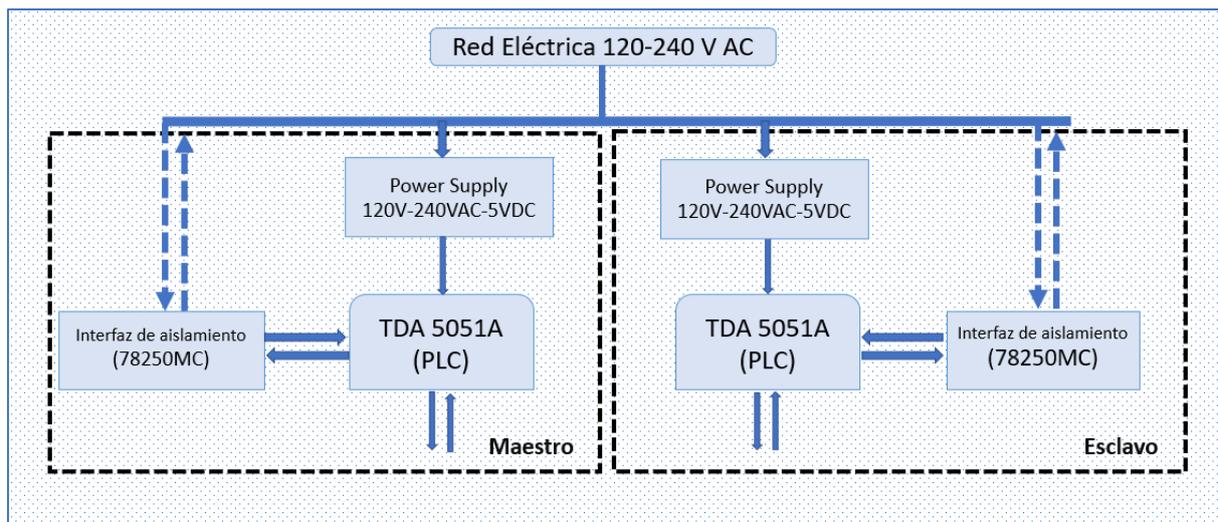


Fig. 16 Diagrama de flujo de los componentes PLC

Fuente: Autor

La configuración del dispositivo PLC para el maestro y los tres esclavos es la misma por las características de bidireccionalidad del chip TDA5051, se puede ampliar esta información en el **anexo A**.

### 2.5.1 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA PLACA PLC

La selección de materiales se lo hizo en función a las características técnicas mencionadas en el capítulo 1 en virtud de lo cual, se escoge componentes que se acoplen y conformen una placa PLC, a dicha placa se le puede conectar cualquier microcontrolador

atreves de cables conectores, se diseña esta primera placa con el propósito de evaluar la transmisión de datos por el cableado de 120V AC. en la Tabla 1, se presenta la lista de componentes electrónicos, que conforman el dispositivo “Power line Communication”. Los materiales y características principales de los dispositivos utilizados para la placa PLC.

N°	ELEMENTO	DATOS TÉCNICOS	CARACTERÍSTICA	GRÁFICO
1	Chip TDA5051	85V-264V AC / 100V-400V DC 200mA / -25°C – 85°C	Circuito integrado PLC	
2	Aislamiento 78250MC	Aislamiento de 1.5KVrms	Protección de puerto	
3	Fuente AC-DC PBK-5	4.75V-5.25V DC / 68mA / -50°C – 100°C / 12Mhz	Fuente de transformación AC-DC	
4	Oscilador de Cristal	7.3728 MHz	Genera la frecuencia de reloj	
5	Capacitores cerámicos y electrolíticos	Desde 27pF asta 47nF 250V AC	Almacenan energía mecánica latente	
6	Diodo	1N4006	Limita la circulación de corriente a un sentido	
7	Bornera	2 y 3 enbones / 250V MAX	Facilita la interconexión eléctrica	
8	Fusible	T 630mA / 250V / -55°C – +125°C	Protección contra sobre intensidades de corriente a la electrónica	
9	Resistencias	1/4W – 1/2W	Determina la relación porcentual entre la corriente y la tensión	
10	Inductor	470uH – 1mH / - 40°C - +85°C	Se auto induce y almacena energía	
11	Transistor	BC550 / -65°C - +150°C	Cumple la función de amplificador	
12	Varistor	250V AC – -55°C - +85°C	Supresor de picos de tensión transitoria	

**Tabla 1 Lista de materiales utilizados para el diseño y construcción de la placa PLC**

Fuente: Autor

A continuación, se diseña una placa con pines de conexión entre el microcontrolador y la placa PLC, esto facilita el acceso a la programación del microcontrolador desde cualquier computador con el software Arduino, por otra parte, facilita la manipulación como prototipo enfocado a la investigación.

## 2.5.2 DISEÑO DE LA PLACA PLC

Para realizar el diseño de la placa PLC de comunicación entre el TDA5051 y la red eléctrica, se utilizó el software KiCad. Este software de código abierto permite la creación de esquemas electrónicos y placa de circuito impreso, que conforman el prototipo. En la figura 17, se muestra el esquema electrónico de la placa para la comunicación entre TDA5051 y la red eléctrica en KiCad.

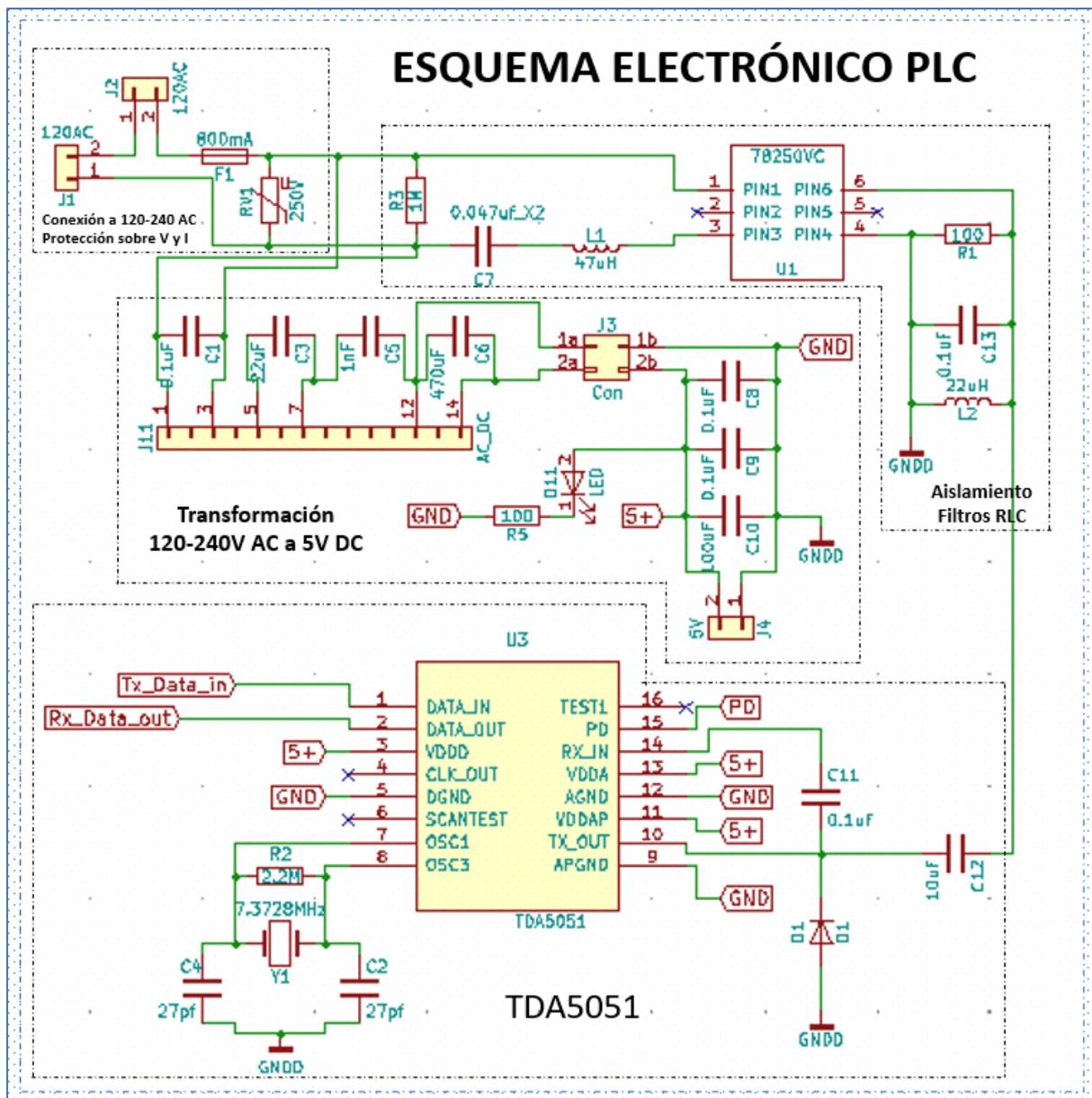


Fig. 17 Diagrama de conexiones de la placa PLC

Fuente: Autor

El TDA5051 tiene distintas configuraciones en sus conexiones y componentes, para la placa PLC se diseña la configuración con aislamiento. La configuración de las conexiones del diagrama y del filtro RLC se localizan en el **anexo A**.

El diagrama de conexiones de la placa PLC, está conformado por el circuito de conexión y protección de corriente alterna, la fuente de conversión de voltaje AC-DC, el aislamiento y filtro RLC, por último, el circuito integrado TDA5051. Todo esto con la finalidad de tener una sola placa para cada uno de los microcontroladores (maestro-esclavos).

En consecuencia, se realiza el diseño de la placa de circuito impreso, dando paso a la impresión, perforación y soldadura de los componentes en una sola placa, a continuación, en la figura 18, se presenta la placa de circuito impreso PLC desarrollado en KiCad.

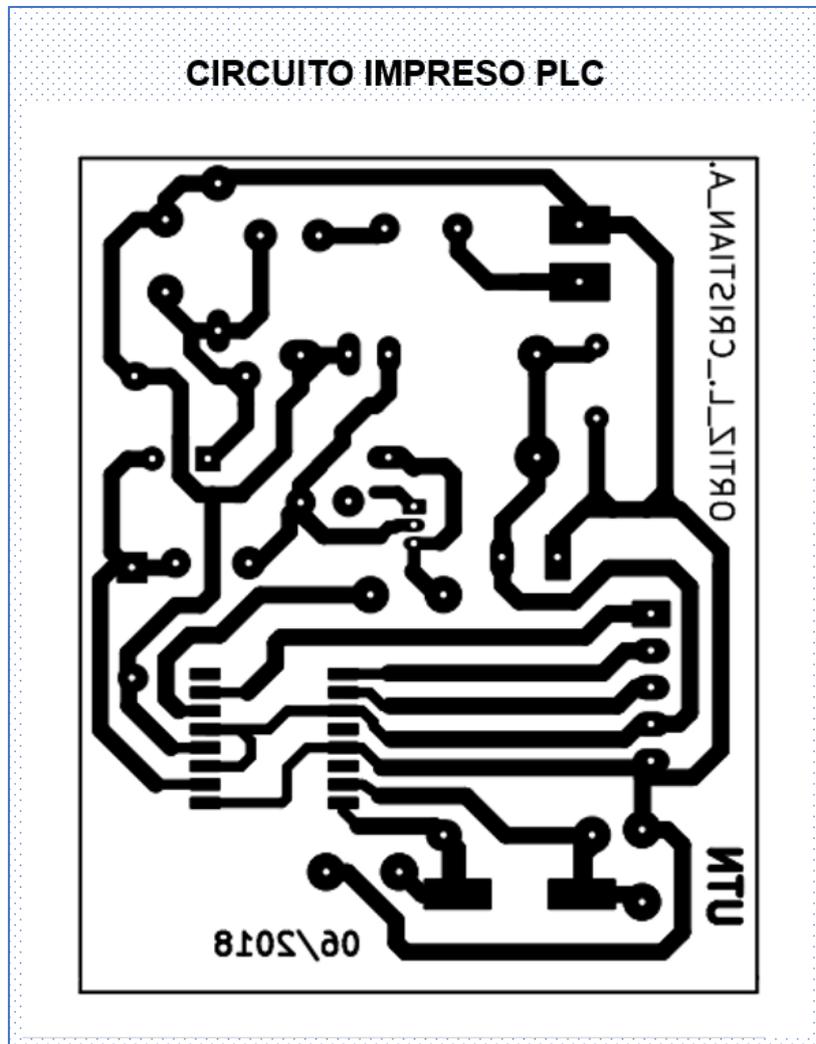
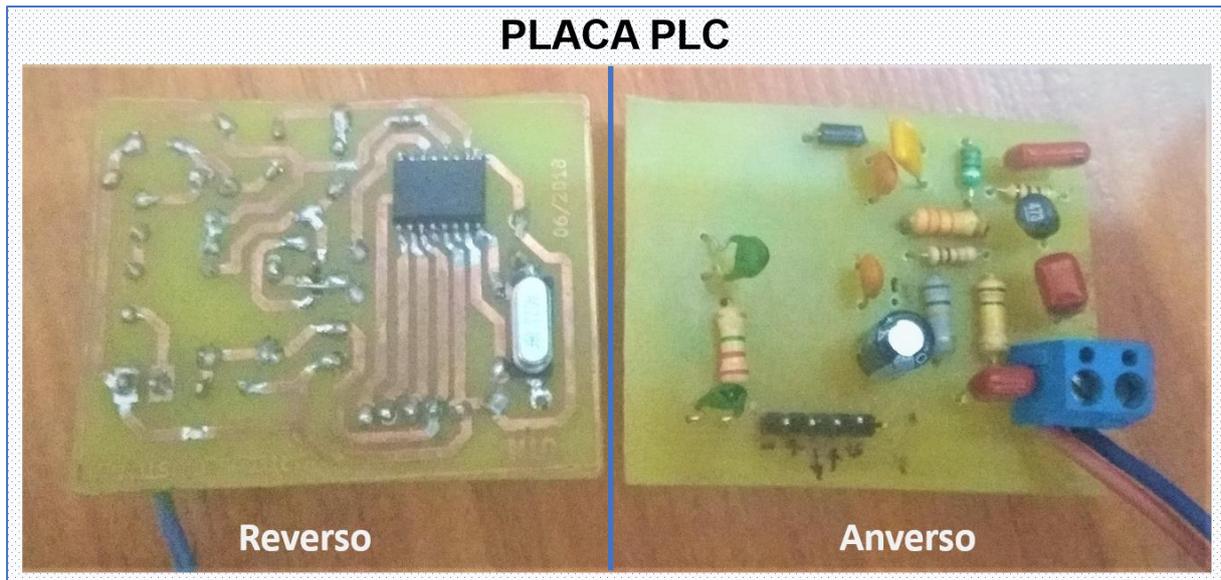


Fig. 18 Placa de circuito impreso PLC

Fuente: Autor

La placa está diseñada a una sola capa, a pesar, de tener componentes de montaje superficial y componentes de agujero pasante.

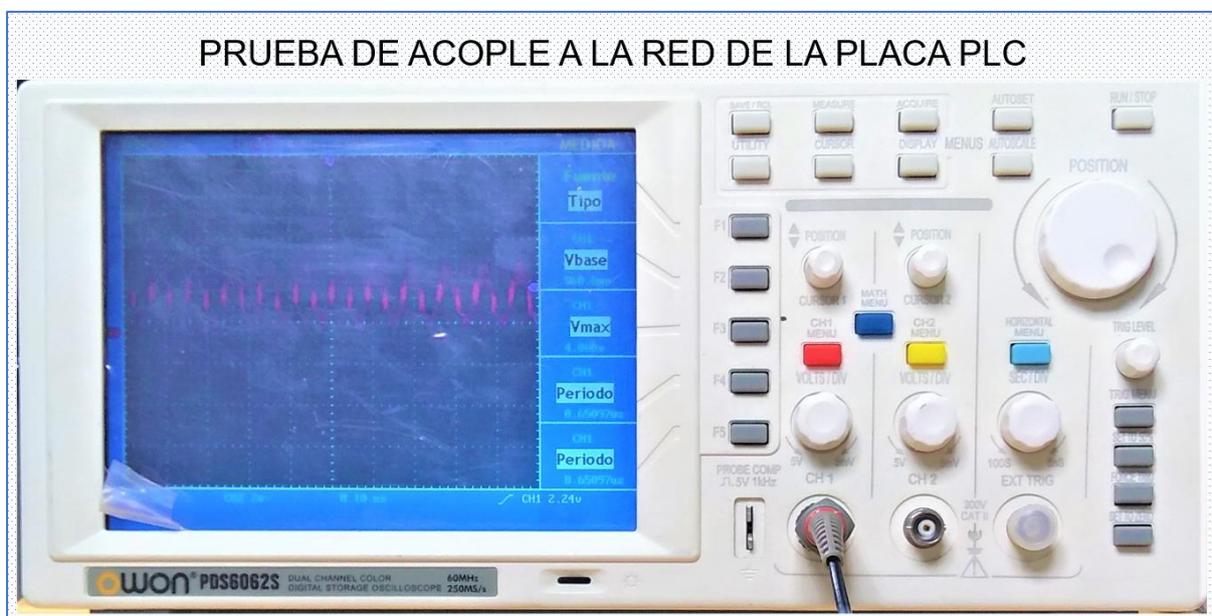
Finalmente, se realiza el montaje de los dispositivos en la placa PCB. Para ello se aplicó una serie de procedimientos como: primero, la impresión del circuito en papel satinado o couché, segundo, el planchado del circuito en una lámina de cobre, tercero, oxidación del cobre sobrante de dicha lámina con ácido, cuarto, perforación de orificios para los componentes que requieren de estos, por último, el montaje y soldada de todos los componentes a la placa. En la figura 19, se presenta el resultado final de la placa PCB correspondiente a la placa electrónica para la comunicación entre TDA5051 y la red eléctrica.



**Fig. 19** Placa electrónica PLC de acople la red eléctrica

Fuente: Autor

Mediante el uso de un osciloscopio se verifica el correcto funcionamiento de la placa PCB conectada a 120V AC, obteniendo resultados positivos, indicados en la figura 20. Debido a estos resultados, se diseña una placa PLC para el microcontrolador maestro y otra para el esclavo.



**Fig. 20** Prueba de acople a la red de la placa PLC

Fuente: Autor

## 2.6 PLACA DEL DISPOSITIVO ESCLAVO

La placa del dispositivo esclavo está compuesta por tres placas idénticas PLC y tres microcontroladores esclavos idénticos, además de tener cada placa incorpora un relé para el control de las CED. En la figura 21 se indica la sección del diagrama de flujo del prototipo, señalando los componentes de las placas PLC en conjunto con los microcontroladores de los tres esclavos acoplados a la red de corriente alterna de 120-240V.

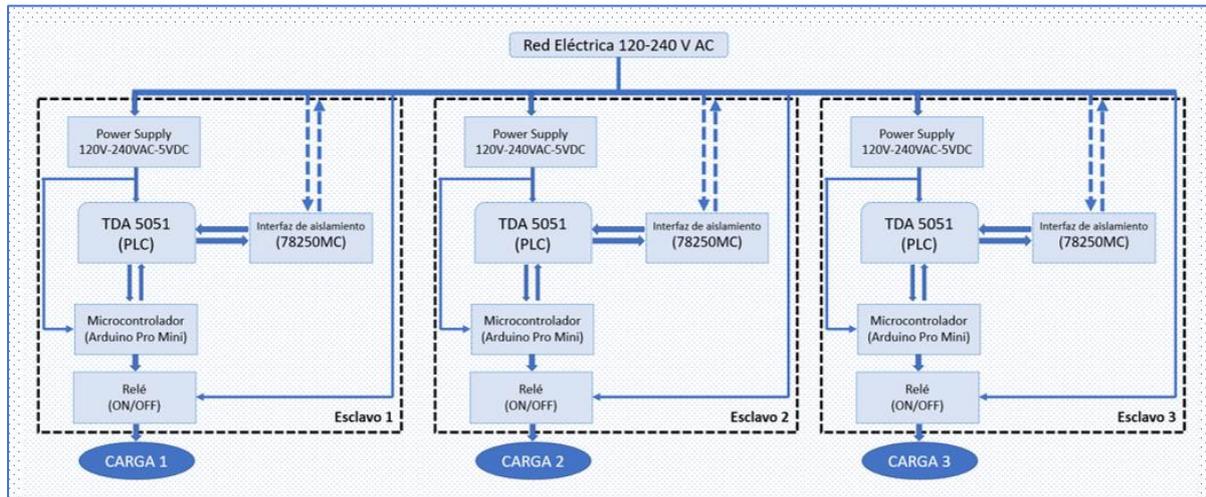


Fig. 21 Diagrama de flujo de tres esclavos

Fuente: Autor

### 2.6.1 SELECCIÓN DE MATERIALES DE LA PLACA ESCLAVO

Para la placa esclavo se utiliza los mismos componentes de la placa PLC, adicionales a estos se utiliza los componentes de la tabla 2 expuestas a continuación.

N°	ELEMENTO	DATOS TÉCNICOS	CARACTERÍSTICA	GRÁFICO
1	Arduino Pro Mini	5V - 12V DC in / Memoria Flash 32KB / 16 MHz	Placa de desarrollo	
2	Relé	5V DC / NO - NC / 10A 250V AC / 10 A 125V AC	Protección de puerto	
3	Transistor	2N3904	Fuente de transformación AC-DC	
4	Led	LED - 5mm	Diodo lumínico color verde, rojo	
5	Bornera de 3 espacios	3 enbones / 250V MAX	Facilita la interconexión eléctrica	
6	Espiga pin hembra	2X12 / 1X6	Conector hembra/macho	

Tabla 2 Lista de materiales utilizados para el diseño y construcción de la placa esclavo

Fuente: Autor

En la clasificación e identificación de componentes para el dispositivo esclavo, cabe destacar que existen múltiples microcontroladores que pueden cumplir este trabajo, las principales características que se tomó en cuenta para la selección del microcontrolador fueron; el reducido tamaño, espacio para futuro código de programación, stock en el mercado, fácil configuración de los parámetros de programación, programable bajo código de programación aprendido previamente, bajo costo, por consiguiente se selecciona la placa de desarrollo arduino pro mini.

## 2.6.2 DISEÑO DE LA PLACA ESCLAVO

La placa esclavo se diseña sobre la base de la placa PLC, de modo que el microcontrolador esclavo compuesto por la placa de desarrollo Arduino Pro Mini conforme un solo componente, con fácil sistema de acople y desacople, facilitando la evaluación del microcontrolador y la placa PLC por separado. A continuación, se presenta en la figura 22, el diagrama electrónico de conexión al Arduino, mismo que se utiliza para el control del encendido y apagado de una carga eléctrica de bajo voltaje (120-240 V).

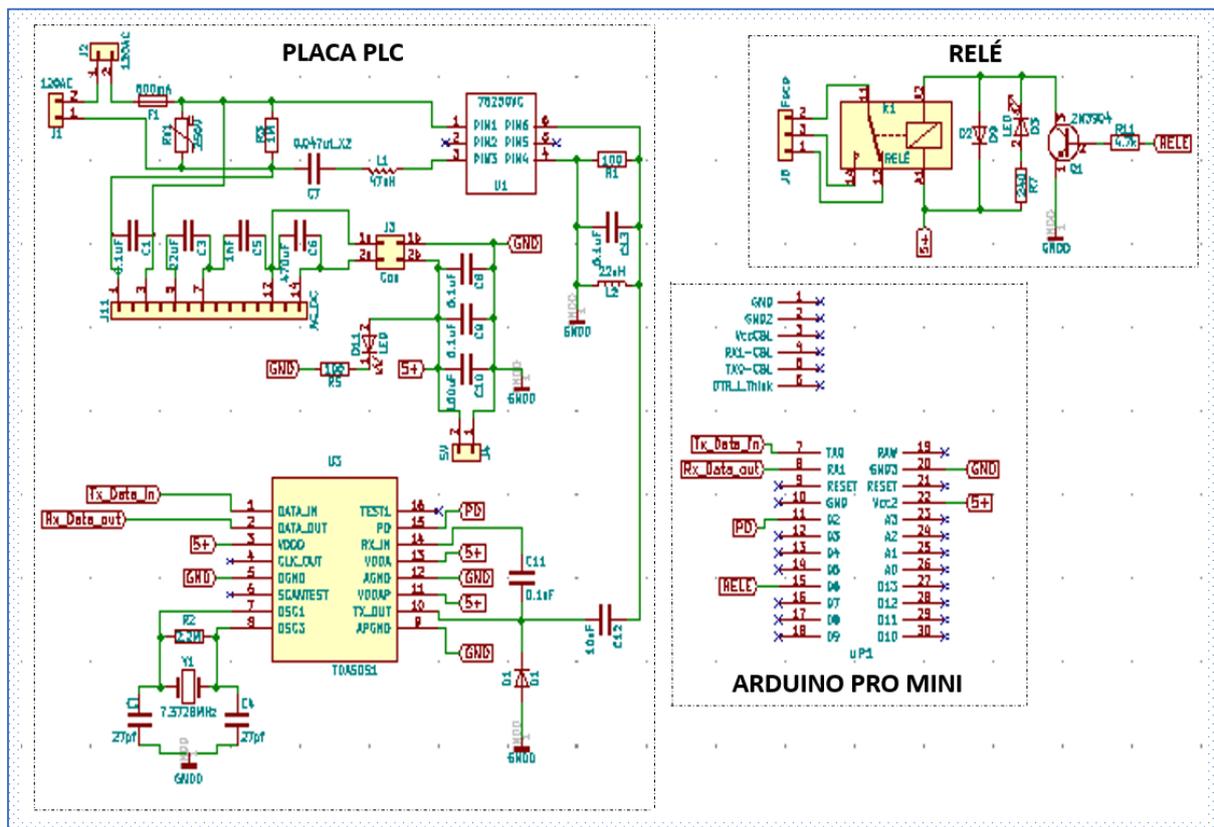


Fig. 22 Diagrama de conexiones de la placa esclavo

Fuente: Autor

Adicionalmente, se diseña un relé acoplado a la placa esclavo. El relé es un dispositivo electromagnético o de estado sólido, utilizado como un interruptor; controlado por una señal

de voltaje DC de 5V suministrado a través del pin D4 del microcontrolador Arduino permitiendo abrir o cerrar el circuito eléctrico, adicionalmente el relé cuenta con conexiones normalmente abierta (NO) y normalmente cerrada (NC), a un máximo de 10 Amperios. En la figura 23 se muestra el diagrama electrónico del relé controlado con arduino.

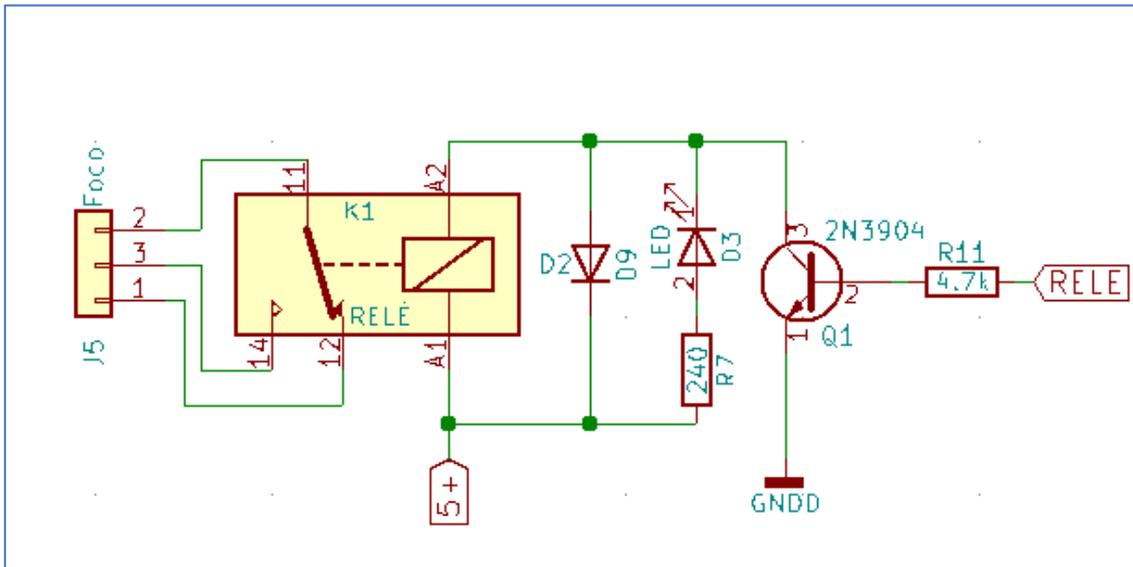


Fig. 23 Diagrama electrónico del relé a 5VDC

Fuente: Autor

Por último, se hace la impresión y montaje de componentes en la placa PCB esclavo, en la figura 24 se puede observar la placa terminada.



Fig. 24 Placa electrónica esclavo y PLC de acople a la red eléctrica

Fuente: Autor

Esta placa se la triplica para cada una de las cargas eléctricas diversas del prototipo.

### 2.6.3 CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE LA PLACA ESCLAVO

A continuación, en la figura 25, se presenta el diagrama de flujo correspondiente al código de programación del microcontrolador (PRO Mini) esclavo.

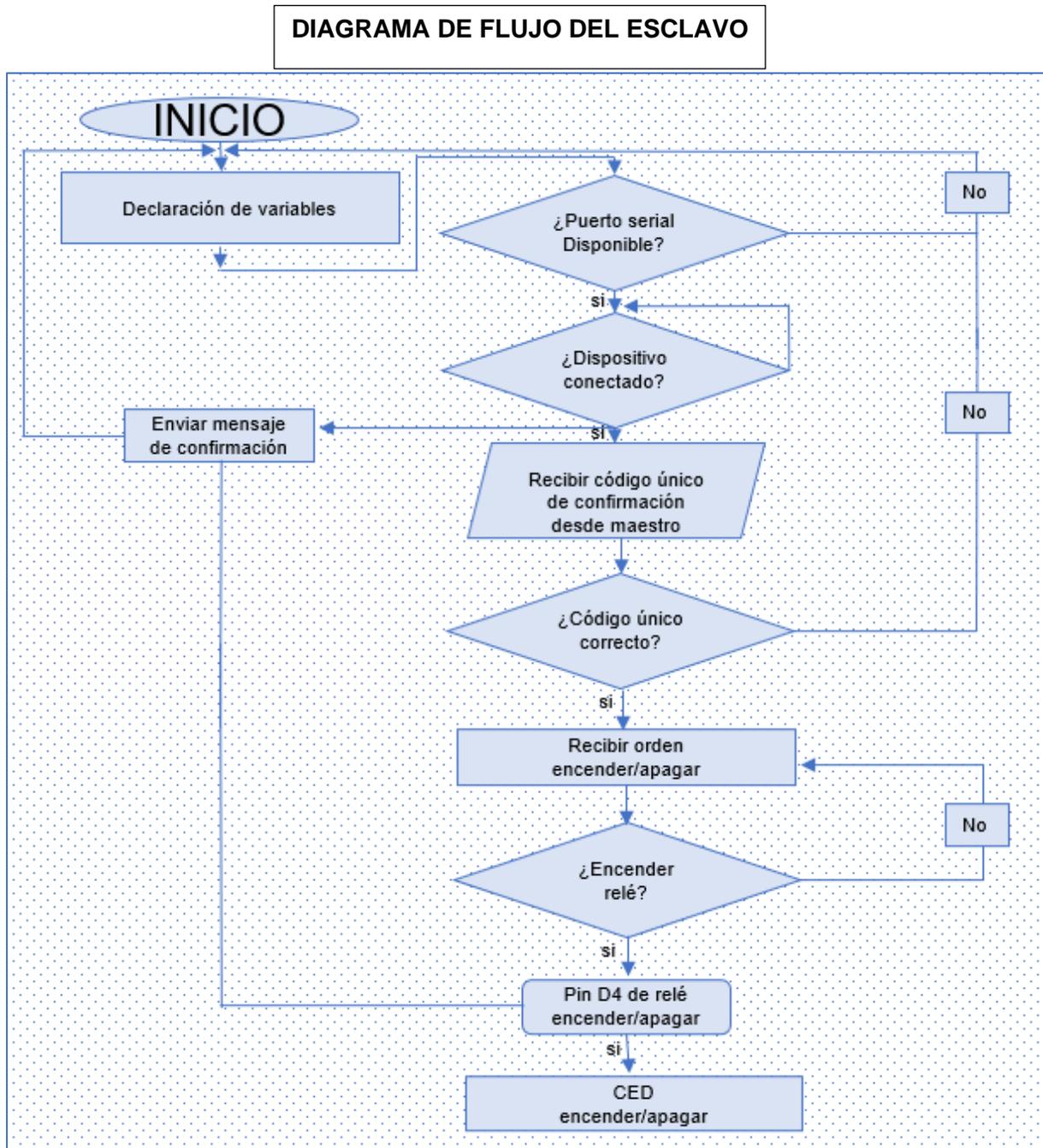


Fig. 25 Diagrama de flujo del código de programación de los esclavos

Fuente: Autor

El prototipo permite realizar el control de tres dispositivos micro controlados (PRO Mini) esclavos y por consiguiente tres tipos de cargas eléctricas de bajo voltaje, desde el

microcontrolador (ESP8266) maestro. Para esto se utiliza un sistema de identificación por medio de un número o clave de asignación; donde el maestro será el encargado de identificar a cada uno de los esclavos de acuerdo con el número que se le asignó.

Este proceso de identificación permite que la orden enviada desde el maestro únicamente sea cumplida por el esclavo al cual se le ordenó realizar la acción. Además, el esclavo enviará al maestro un mensaje de aceptación o cancelación, asegurándose así que dicha orden se realizó satisfactoriamente. En el **anexo B** se amplía a detalle el código de programación cargado en el microcontrolador.

## 2.7 PLACA DEL DISPOSITIVO MAESTRO

El dispositivo maestro compuesto por la placa de desarrollo NodeMCU ESP8266, se selecciona por sus bondades en la fácil programación en código abierto, usa el mismo programa y lenguaje de programación que el arduino, brinda soporte para redes wifi, permite alojar aplicaciones a manera de servidor que pueden tener conexión entre el Internet y el microcontrolador, conexión a través de micro USB e incluye adaptador serial, bajo costo, en definitiva cumple con las expectativas como prototipo de investigación.

En la figura 26 se muestra la sección del diagrama de flujo del prototipo, señalando la placa del dispositivo maestro acoplado a la red eléctrica 120V.

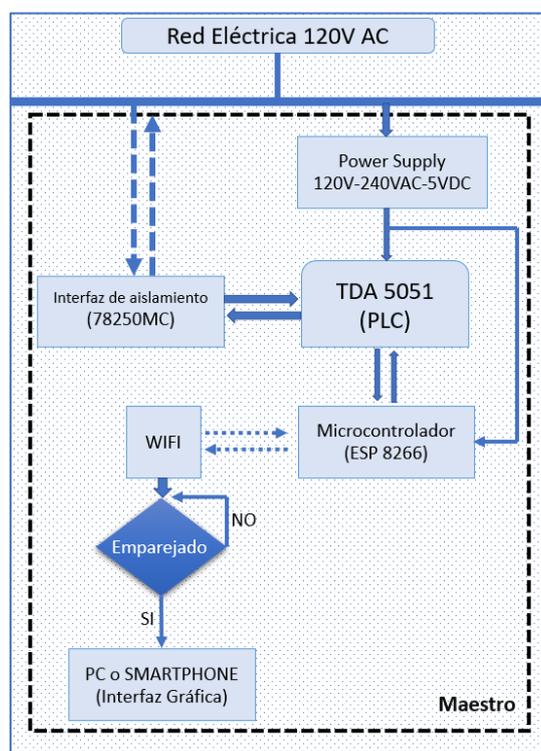


Fig. 26 Diagrama de flujo del maestro

Fuente: Autor

## 2.7.1 SELECCIÓN DE MATERIALES DE LA PLACA MAESTRO

En la tabla 3 se indica los materiales empleados en la placa del maestro, cabe destacar que para el desarrollo de esta placa se usan los mismos materiales de la placa PLC.

N°	ELEMENTO	DATOS TÉCNICOS	CARACTERÍSTICA	GRÁFICO
1	NodeMCU ESP8266	5V - 12V DC in / Memoria Flash 32KB / 16 MHz	Placa de desarrollo	
4	Led	LED - 5mm	Diodo lumínico color rojo	
5	Interruptor inipolar	10 Amperios	Enciende / apaga la placa	
6	Espiga pin hembra	2X15	Conector hembra/macho	

Tabla 3 Lista de materiales utilizados para el diseño y construcción de la placa esclavo

Fuente: Autor

## 2.7.2 DISEÑO DE LA PLACA MAESTRO

En la figura 27 se indica el diagrama electrónico de conexión al NodeMCU ESP8266, siendo esta placa la que cumple la función de maestro, por otra parte, la placa PLC cuenta con pines para embonar la placa de desarrollo maestro, facilitando la inspección o manejo de dicha placa, cumpliendo con el propósito de prototipo de laboratorio.

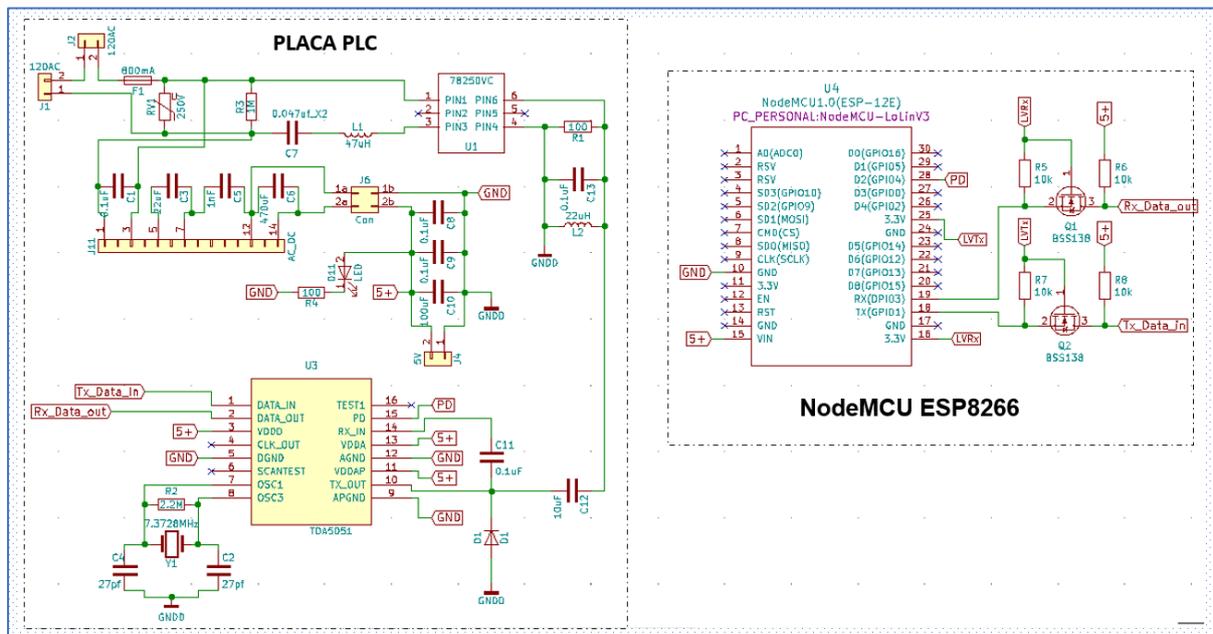


Fig. 27 Diagrama de conexiones de la placa maestro

Fuente: Autor

El resultado final de la placa maestro se indica en la figura 28, la unión de las placas PLC y la unidad de microcontrolador de nodo ESP8266 formando una única placa compacta.

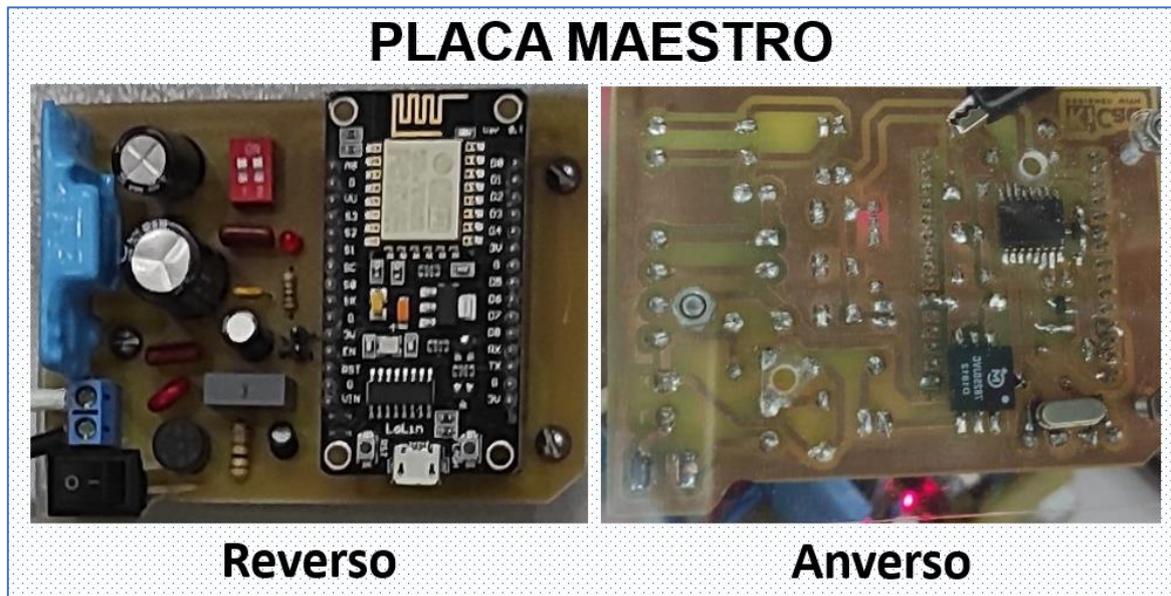


Fig. 28 Placa electrónica maestro y PLC de acople a la red eléctrica

Fuente: Autor

El microcontrolador ESP8266 al contar con características como conexión wifi, una memoria interna de 4 MB y SRAM de 64 KB, es suficiente para establecer una interfaz de conexión y control desde un navegador web.

### 2.7.3 CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE LA PLACA MAESTRO

El código de programación que lleva el microcontrolador (ESP8266) controlará al sistema “Power Line Communication”. Ya que transmite información a los esclavos mediante las instrucciones que recibe desde la interfaz gráfica. El código de programación escrito en el IDE de arduino indicado en el **anexo C**.

Además, el código de arduino incluye los códigos de programación en Java Script y código HTML el cual se encuentra en el anexo D y E respectivamente. Estos corresponden al diseño de la interfaz gráfica, tanto para el control de los botones (Encendido/Apagado), como para la recepción de la información (Conectado/Desconectado), proveniente de los esclavos, así también su código único de identificación.

A continuación, en la figura 29, se muestra el diagrama de flujo correspondiente al código de programación de la placa maestro (ESP8266).

## DIAGRAMA DE FLUJO DEL MAESTRO

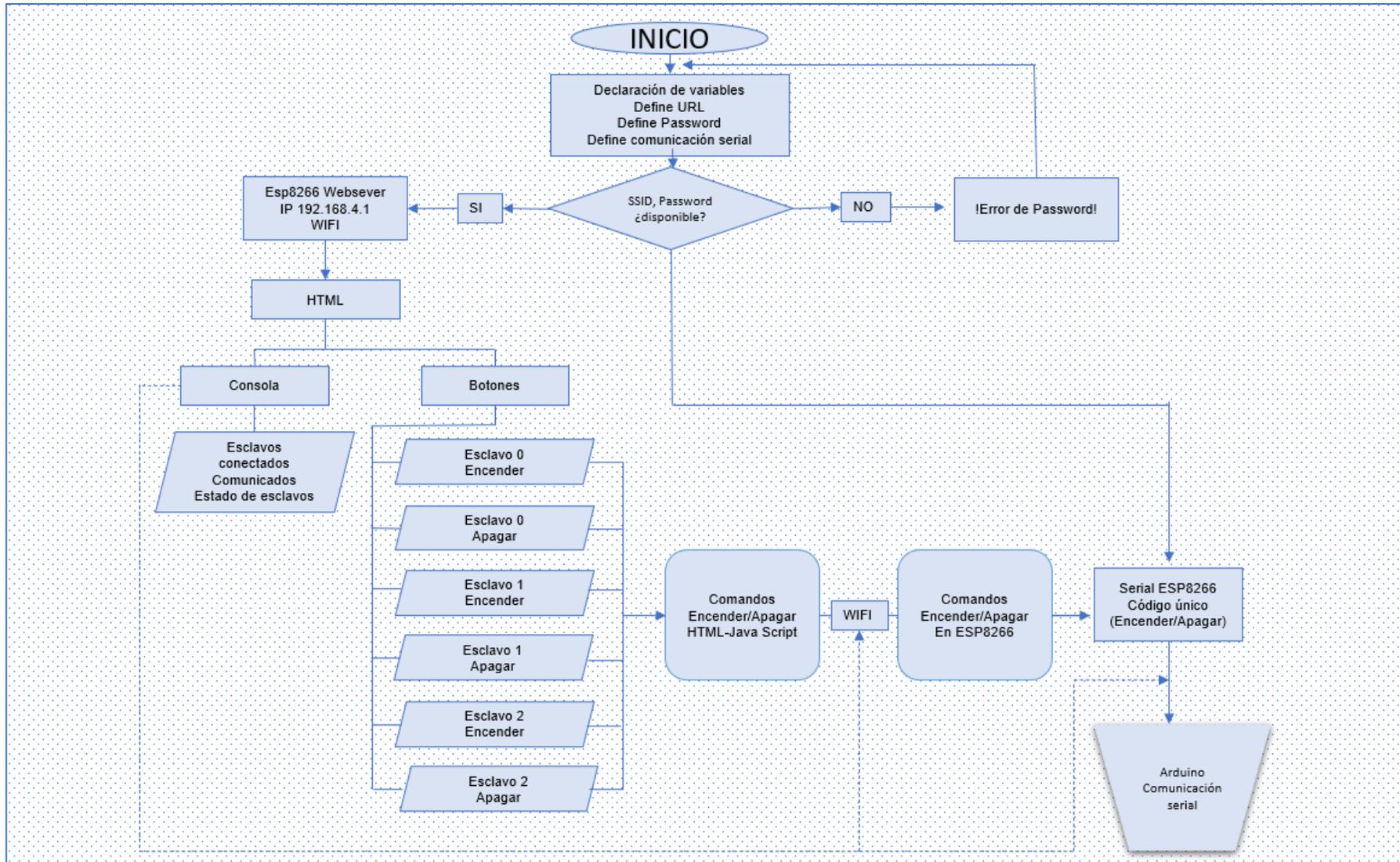


Fig. 29 Diagrama de flujo del código de programación del maestro

Fuente: Autor

El código de programación, realizado en Java Script indicado en el anexo D, incluye un sistema de seguridad el cual impide que la dirección IP de la página web de la interfaz gráfica sea visible en el navegador web, con instrucciones incluidas en el código de programación. Otro punto importante que tomar en cuenta en este código, es la fácil adaptabilidad para incluir un número indeterminado de esclavos al sistema, dependiendo de los requerimientos de futuros ensayos de laboratorio.

#### **2.7.4 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO**

Es un programa informático que actúa de interfaz de usuario, utiliza un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles en la interfaz desarrollada. Su principal uso consiste en proporcionar un entorno visual sencillo para permitir la comunicación entre un dispositivo inteligente (PC o smartphone) con un dispositivo o proceso a ser controlado (microcontrolador).

La interfaz gráfica creada para este prototipo se desarrolló mediante el lenguaje Java y código HTML almacenado en la memoria del microcontrolador maestro (ESP8266). Esta interfaz cuenta con: un título general, una ventana donde se encuentran los botones que envían un comando específico de encendido y apagado correspondiente a cada uno de los esclavos. Este comando específico será leído por la página de HTML, y enviado al microcontrolador maestro mediante wifi, como un código indicador.

El código indicador estará conformado por dos partes; la primera, indicará el pulsador que fue presionado y la segunda el esclavo al que pertenece dicho pulsador.

El microcontrolador maestro es el encargado de leer el código HTML, el cual trae el código indicador. Una vez realizado esto, se envía el código indicador por medio de la red hacia los esclavos y solo responderá el esclavo al cual se le envió la información.

En la figura 30 se presenta la ventana de la interfaz gráfica de usuario visualizada desde un navegador de dispositivo móvil, no obstante, no existe diferencia alguna al visualizar desde una computadora.

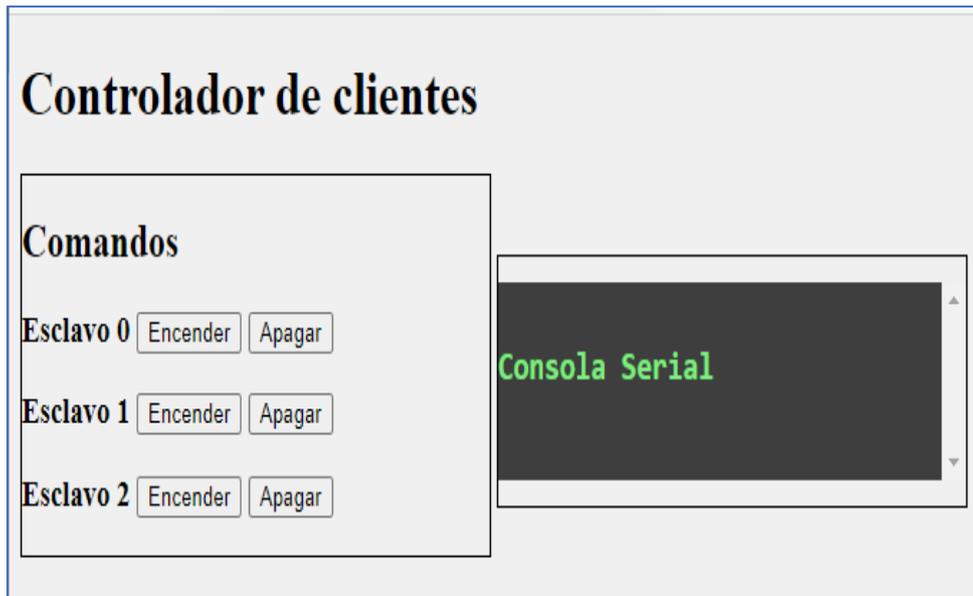


Fig. 30 Interfaz gráfica de usuario

Fuente: Autor

## 2.8 PROTOTIPO

El prototipo cuenta con dos secciones importantes, la primera consta de 3 CED que funcionan a 120 V, la segunda parte se compone de cuatro placas electrónicas que funcionan con una única alimentación a 120V. Tienen su propia fuente de transformación AC DC de 120 v a 5 V. En la figura 31, se presenta la estructura final del prototipo con las placas de los tres esclavos y la placa maestro, además de las tres cargas controladas por comunicación PLC y wifi.



Fig. 31 Imagen del prototipo

Fuente: Autor

Los parámetros técnicos del prototipo de desagregación de cargas se determinan en base a las características eléctricas de los componentes de las placas maestro y esclavo dando como resultado lo expuesto en la tabla 4.

SÍMBOLO	PARÁMETROS	MIN	TIP	MAX	UNIDAD
V	Voltaje de operación	100V	120V	250V	Voltio
I	Corriente de operación		8A	10A	Amperio
F	Frecuencia de operación		50Hz–60Hz		Hertz
T°	Temperatura de operación	0C°		80C°	Centígrados
P	Potencia		1000W	1200W	Vatios

**Tabla 4 Parámetros eléctricos del prototipo PLC**

**Fuente: Autor**

En resumen, la desagregación de cargas es un método fiable, el cual posee un alcance escalable por su adaptabilidad al número de cargar según la necesidad. Además, en este prototipo inicial se evalúan y controlan tres cargas sin inconvenientes en el control de encendido o apagado, en la transmisión de datos no de evidencia perdidas de información. Por otra parte, el método de forma intrusiva se lo puede realizar en un reducido tamaño y a un bajo costo debido a la cantidad de componentes.

# CAPÍTULO III

## RESULTADOS

En el presente capítulo se expone la configuración para realizar las pruebas de funcionamiento, además de los resultados obtenidos en cada una de las placas que conforman el prototipo

### 3.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

Con la implementación del prototipo de identificación y control de cargas usando la red eléctrica como medio de transmisión de datos, se realiza las pruebas para comprobar la correcta transmisión de información a través de conductores energizados a 120 V AC.

#### 3.1.1 CONFIGURACIÓN DE USO DEL PROTOTIPO

Para la puesta en marcha del prototipo se requiere de un smartphone o computadora con conexión Wi-fi, iniciando la conexión con el nombre de SERIAL110 y su contraseña SERIAL110. En cualquier navegador inicializamos la dirección IP configurada (<http://192.168.4.1/>), esto nos llevará a la ventana indicada en la figura 32.



Fig. 32 Ventana de interfaz grafica

Fuente: Autor

La consola serial indica al usuario, los comandos codificados en la programación dado por un caracter seguido de cuatro números por cada instrucción (Conectado/Desconectado)

de cada uno de los relés controladores conectados a las cargas instaladas en cada esclavo. A continuación, se presenta en la figura 33. Los códigos.....

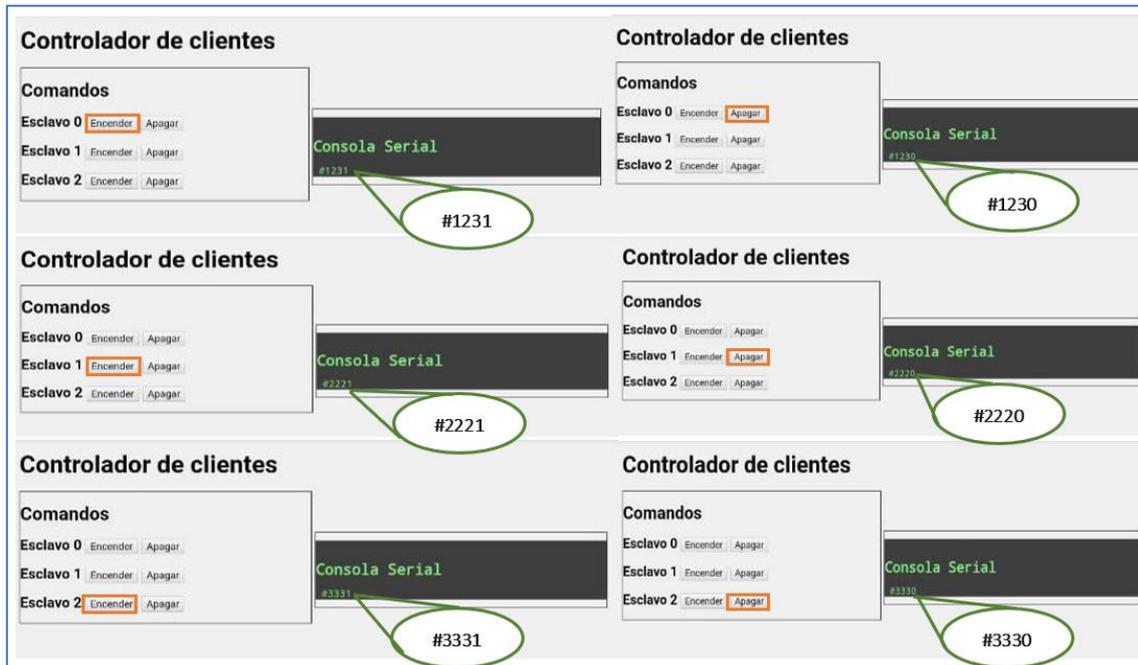


Fig. 33 Ventana de interfaz gráfica y códigos de identificación e instrucción

Fuente: Autor

Los códigos de identificación se los visualiza con el propósito de determinar el estado de cada uno de los esclavos (encendido/apagado). Además, la consola indica un historial de los comandos anteriormente ejecutados, indicado en la figura 34.



Fig. 34 Ventana de la consola serial con el historial de instrucciones

Fuente: Autor

### 3.2 PARTES DEL DISPOSITIVO MAESTRO

En la figura 35 se muestra la placa del dispositivo maestro cuenta con componentes de protección una fuente de 120-240 VAC a 5 VDC alimentando la placa ESP8266 y al TDA5051. Al estar todos los componentes en una sola placa requiere únicamente una conexión directa a 120-240VAC.

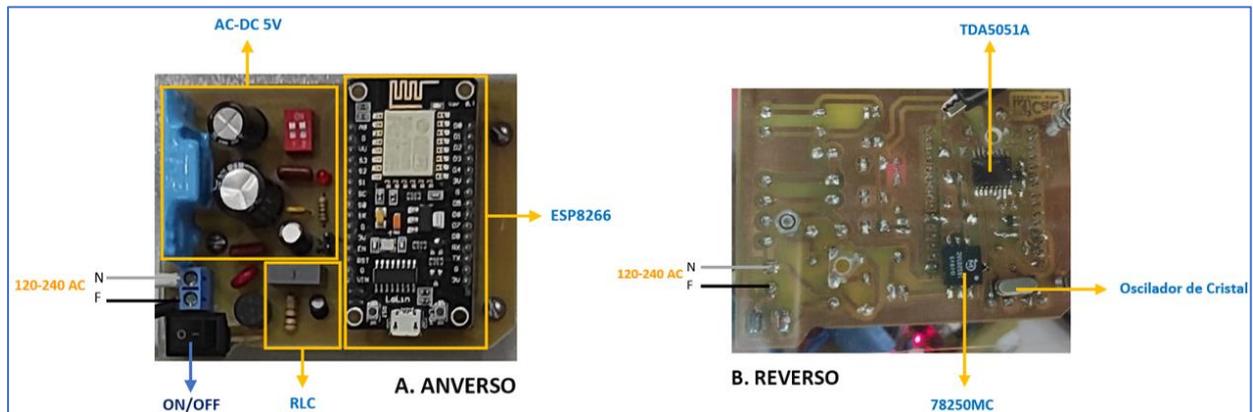


Fig. 35 Partes constructivas del dispositivo maestro

Fuente: Autor

#### 3.2.1 PRUEBAS EN EL MAESTRO

Para evidenciar el envío de datos del circuito integrado TDA5051 a la red eléctrica de 120V se conectan las puntas de prueba del osciloscopio configuradas X10 en los pines Txout y Rxin antes de los filtros RLC que acoplan a la red eléctrica de 120V, además se configuró el envío de datos constante del microcontrolador. En la figura 36 se puede observar el envío de datos viajando como una perturbación a un bajo voltaje y una elevada frecuencia a comparación de la red de suministro eléctrico (120V, 60 Hz).

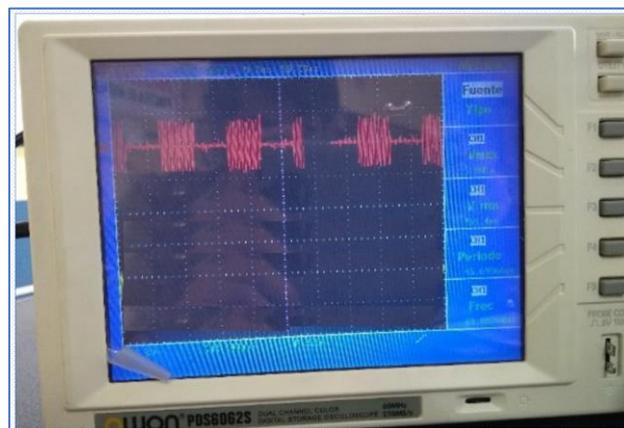


Fig. 36 Señal de salida del TDA5051 hacia la red eléctrica

Fuente: Autor

### 3.3 PARTES DEL DISPOSITIVO ESCLAVO

Los componentes y su configuración de la placa esclavo, se puede observar en la figura 37, a diferencia de la placa del maestro en esta placa tenemos un relé SRD-05VDC-SL-C a 10 amperios limitándonos a conectar cargas que no superen la potencia de 1000 Watts. El microcontrolador es otro de los componentes únicos para el esclavo siendo un ATmega328. Los componentes como el convertidor AC-DC y el TDA5051 comparten la misma configuración del dispositivo maestro.

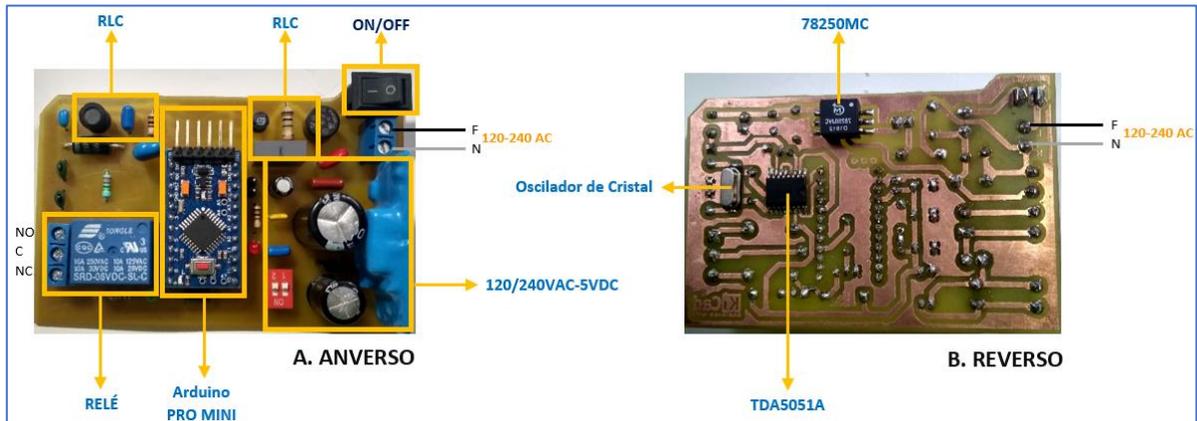


Fig. 37 Partes constructivas del dispositivo esclavo  
Fuente: Autor

#### 3.3.1 PRUEBAS EN EL ESCLAVO

Se conectó las puntas de prueba del osciloscopio a la alimentación de la placa, por lo que se obtuvo como resultado la visualización de la onda del suministro eléctrico (amarillo) a 120V, 60 Hz y la onda de transmisión de datos (rojo) la cual envía los datos a un voltaje de 2.7 Vrms y a una frecuencia de 150 KHz, como se muestra en la figura 38.

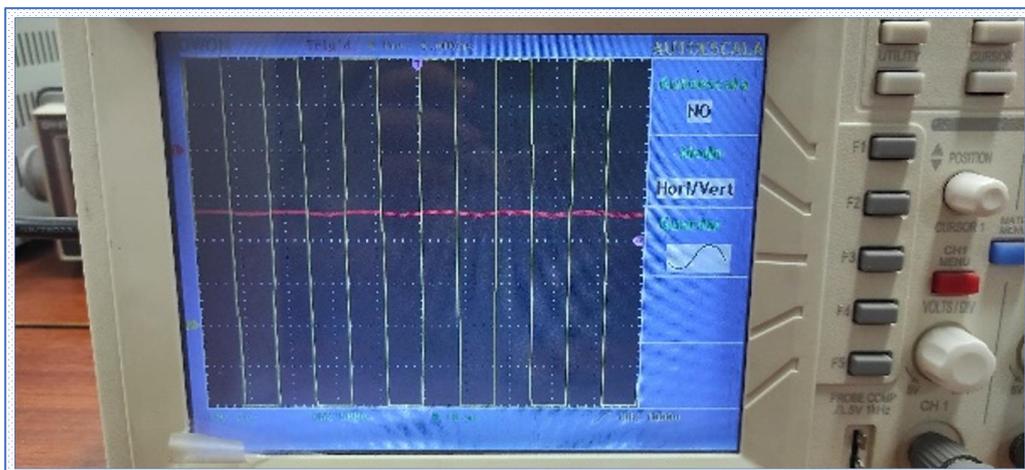


Fig. 38 Señal de comunicación y de energía a 120V  
Fuente: Autor

Un acercamiento al cruce por cero de la onda sinusoidal de 120V 60Hz (suministro eléctrico) de color amarillo, a su vez, se puede observar la señal de transmisión de datos generada por el integrado TDA5051 de color rojo como se indica en la figura 39.

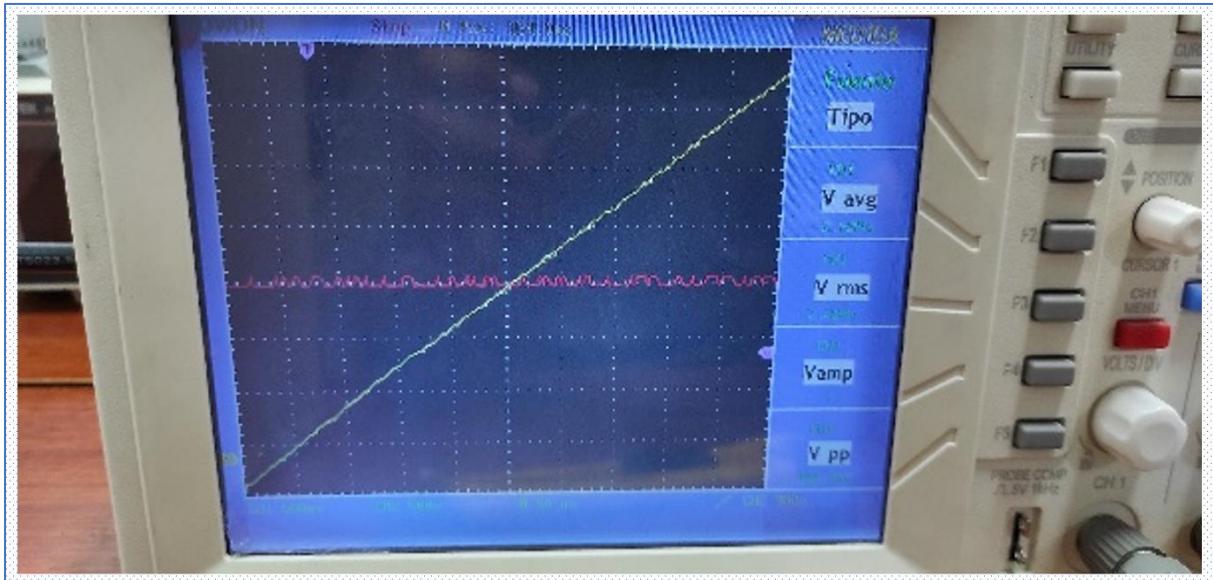


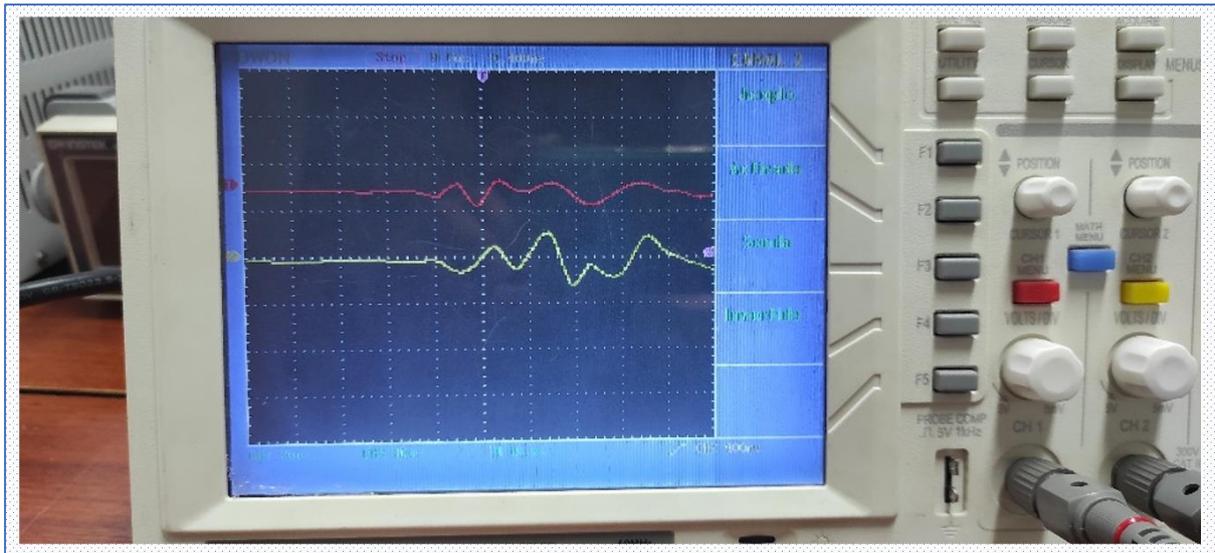
Fig. 39 Señal de comunicación y de energía a 120V con aumento

Fuente: Autor

En estas pruebas no se evidenció cambios entre las placas del maestro y esclavo, ya que la configuración constructiva para el circuito integrado TDA5051 se usa los mismos componentes.

### 3.4 PRUEBAS DE DATOS EN LOS CONDUCTORES DE 120 AC

La comprobación del funcionamiento más evidente de conexión del maestro y los esclavos a la misma red eléctrica de 120V y verificando que la orden ejecutada en el maestro sea en el esclavo específico, se verifica el envío y recepción de los datos a través de los conductores de 120 VAC, para ello se conectan las puntas de prueba del osciloscopio en la única alimentación de la placa maestro y del esclavo dando como resultado las señales indicadas en la figura 40. La señal del maestro ESP8266 de color rojo se puede ver que, al enviar un paquete de datos, estos viajan como una onda sinusoidal emitida por el TDA5051, por otro lado, el esclavo recibe una onda semejante de color amarillo, la cual es decodificada por el TDA5051 y enviada al arduino pro mini, el cual recibe los mismos datos enviados.



**Fig. 40** Señal de datos del emisor y receptor a través de conductores a 120V

**Fuente:** Autor

Los datos recolectados en esta prueba se realizaron en una red eléctrica de laboratorio a 120 Voltios y 60 Hertz, en la que se encontraban funcionando diferentes instrumentos como: generadores de onda, osciloscopios, fuentes de poder de diferentes potencias, computadoras, cautines, focos, sistema de seguridad, sistema de calefacción entre otros electrodomésticos, dando resultados favorables sin pérdida de información por interferencia.

### 3.5 CONCLUSIONES

- En este trabajo se implementó un prototipo con método intrusivo de identificación y control de cargas eléctricas conectadas en una red de baja tensión, por consiguiente, al crear este prototipo con reducidos componentes electrónicos además diseñado con un sistema de comunicación “power line communication” que facilita la implementación de este prototipo a cualquier red eléctrica de baja tensión existente. Lo más importante para tener en cuenta es el número de cargas que controla para un solo maestro porque de este dimensionamiento depende la redacción del código en el microcontrolador maestro.
- La identificación de los componentes necesarios para el desarrollo de selección y control de cargas se realizó empleando componentes de reducido tamaño con especificaciones que satisfacen la fácil programación, diseño, construcción e implementación en una red eléctrica de baja tensión domestica a 120-240 VAC.
- El diseño de los circuitos electrónicos impresos del prototipo de identificación y control de cargas eléctricas se realizó con la ayuda de software libre reduciendo costos de licencias, además en la construcción se empleó métodos manuales para la impresión de las pistas en baquelita, al igual que la perforación de orificios y soldadura de los componentes. En futuras investigaciones se puede escalar este prototipo a una edificación o sector en el que se puede añadir internet de las cosas, inteligencia artificial, redes inteligentes en baja tensión, tomando en cuenta una producción de placas electrónicas a gran escala.

### 3.6 RECOMENDACIONES

- Al trabajar con circuitos integrados que se acoplan a la red eléctrica con voltajes de 120-240V en corriente alterna se corre el riesgo de sufrir descargas eléctricas al contacto por lo que se recomienda usar las medidas precautelares, al realizar las conexiones comprobar que los interruptores estén apagados además de usar implementos de seguridad personal como guantes, gafas de seguridad entre otros, además, usar herramientas aisladas a sobretensiones de preferencia con clasificación de seguridad CAT IV 300V o superior.
- Al conectar el tomacorriente del prototipo verificar la polaridad de la red eléctrica coincida con la polaridad del conector, esto para evitar fallos en la fuente de transformación AC-DC diseñada en la placa, a pesar de que la fuente cuenta con las protecciones necesarias en caso de una polarización inversa.
- Para modificar o aumentar la escalabilidad del prototipo se debe estudiar el código de programación grabado en los microcontroladores dependiendo de su función, sea esta como maestro o como un **N** número de esclavos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aprendiendo Arduino. (11 de 12 de 2016). *IDE Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/ide-arduino/>
- ARCONELE. (03 de 09 de 2019). *Demanda Eléctrica en Ecuador*. Obtenido de <https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/09/3-Capi%CC%81tulo-3-Estudio-de-la-Demanda.pdf>
- Arduino. (2019). Recuperado el 6 de febrero de 2019, de <https://www.arduino.cc/>
- ARDUINO. (2020). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Ayan, O., & Turkay, B. (2018). Domestic Electrical Load Management in Smart Grids and Classification of Residential Loads.
- Balaguera, R. (2017). Filters Design Method Based on Networks of Transmission Lines for a Single-Phase Topology with BPL Technology. 247-261.
- Basu, K., Debusschere, V., Bacha, S., & Maulik, U. (2014). Non Intrusive Load Monitoring: A Temporal Multi-Label Classification Approach. *IEEE Trans Ind. Inform*, 262-270.
- Batra, N., Kelly, J., & Parson, O. (s.f.). *Non-Intrusive Load Monitoring Toolkit (NILMTK)*. Obtenido de <https://nilmtk.github.io/>
- Bhavaya, K., Gangrade, N., & Kumar, N. (2018). *Simplified Integration of Power Line and Visible Light Communication*. Obtenido de ISBN:978-1-5386-4765-3
- Bilal, M., Song, G., Rizwan Ali, N., Muhammad Babar, R., Junjie, H., & Ateeq Ur, R. (2020). *Measurements and channel modeling of low and medium voltage NB-PLC networks for smart metering*. Obtenido de IET Generation, Transmission & Distribution: DOI: 10.1049/gtd.1.2023
- BLOG Educación IT. (4 de Abril de 2019). *Dirección IP*. Obtenido de <https://blog.educacionit.com/2019/04/04/que-es-una-direccion-ip-puede-revelar-tu-ubicacion/>
- Bonilla, C., & Ramos, S. (2016). *Implementación de un prototipo de una red híbrida WIFI - BPL - LTE*. Ecuador.
- Borle, P., Saswadkar, A., Hiwarkar, D., & Kad, R. (2013). *AUTOMATIC METER READING FOR ELECTRICITY USING POWER LINE COMMUNICATION*. Obtenido de International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering: <http://www.ijareeie.com/>
- BricoGeek. (2018). Obtenido de <https://tienda.bricogeek.com/wifi/1033-nodemcu-v3-esp8266.html>
- Centro de Innovación para el Desarrollo y la Capacitación en Materiales Educativos. (2016). *Control de Acceso al Medio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de [http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/42\\_control\\_de\\_acceso\\_a\\_l\\_medio.html](http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/42_control_de_acceso_a_l_medio.html)
- Cordero, J. (2018). *Implementación de algoritmos de programación y de protocolos de comunicación inalámbrica para la operatividad de un robot sumo autónomo y RC*. Universidad Católica Santiago de Guayaquil. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10224/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-274.pdf>

- cvpcb, k. (2021). *docs.kicad.org*. Obtenido de <https://docs.kicad.org/5.1/en/cvpcb/cvpcb.pdf>
- Dash, S., & Panda, A. (2016). Interpretation of different channel configurations and modulation techniques over power line communication. *2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7754170>
- docs.kicad.org*. (2021). *docs.kicad.org*. Obtenido de [https://docs.kicad.org/5.1/es/getting\\_started\\_in\\_kicad/getting\\_started\\_in\\_kicad.html](https://docs.kicad.org/5.1/es/getting_started_in_kicad/getting_started_in_kicad.html)
- Du, L., He, D., Harley, R., & Ha, T. (2016). *ieeexplore.ieee.org*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7130652/authors#authors>
- eeschema, k. (2021). *docs.kicad.org*. Obtenido de <https://docs.kicad.org/5.1/en/eeschema/eeschema.pdf>
- Electro Industria. (10 de febrero de 2019). *Power Line Communication*. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=912&edi=49>
- Estrada, V., López, J., Rangel, H., & Gallego, A. (junio de 2007). Transmisión de Datos por la Red Eléctrica. *Concienc. Tecnológica*, 33, 64-70. Recuperado el 3 de enero de 2019
- Estrada, V., Lopez, J., Rangel, H., & Gallegos. (2007). Transmisión de Datos por la Red Eléctrica. *Conciencia Tecnológica*, 64-70.
- Ferreira, M. (15 de 04 de 2017). *Powerline Communications (PLC)*. Obtenido de <https://silو.tips/download/powerline-communications-plc>
- gerbview, k. (2021). *docs.kicad.org*. Obtenido de <https://docs.kicad.org/5.1/en/gerbview/gerbview.pdf>
- Gibilisco, S. (1994). *ELECTRÓNICA Diccionario Enciclopédico 2*. México: McGRAW-HILL.
- Gibilisco, S. (1994). *ELECTRÓNICA Diccionario Enciclopédico 3*. MÉXICO: McGraw-Hill.
- González, O., Pavas, A., & Sánchez, S. (Mayo de 2017). Obtenido de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/5747/7074>
- Hall, E. (2016). El Manejo de la Energía, más que una Alternativa, una Prioridad para la Gerencia de las Industrias de Hoy. *Prisma Tecnológico*, 2(1), 28-30. Obtenido de <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/532/html>
- HBK COMPANY. (Rescatado el 20 de Octubre de 2020). *Analizador de datos de máquinas eléctricas en minutos*. Obtenido de <https://www.hbm.com/es/8945/analizador-de-potencia-y-sistema-daq-para-motores-electr/>
- HETPRO Herramientas Tecnológicas Profesionales. (2019). *Arduino Pro-mini compatible 3.3V-8MHTZ*. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de <https://hetpro-store.com/arduino-pro-mini-compatible-33/>
- IEEE Guide for Evaluating and Testing the Electrical Performance of Energy Saving Devices*. (2018). Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8633035>
- Jadhav, P., Rao, R., & Vhatkar, S. (s.f.). A comprehensive study of the techniques used in non-intrusive load disaggregation.
- jpralves.net*. (2016). Recuperado el 7 de febrero de 2019, de <https://jpralves.net/post/2016/11/15/arduino.html>

- Juwono, F., Reine, R., Liu, J., & Pamungkasari, P. D. (2019). *BITFCM-OFDM Scheme for Power-Line Communication Systems*. Obtenido de AEU - International Journal of Electronics and Communications: <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2019.04.009>
- Kabalci, E., & Kabalci, Y. (2019). *Chapter 4 - Power line communication technologies in smart grids*. Obtenido de From Smart Grid to Internet of Energy: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819710-3.00004-1>
- KiCad Getting Started in KiCad. (15 de Mayo de 2020). *kicad EDA*. Obtenido de kicad docs: <http://docs.kicad-pcb.org>
- Kong, S., Kim, Y., Ko, R., & Joo, S.-K. (2015). Home appliance load disaggregation using cepstrum-smoothing-based method. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 61(1), 24-30. Obtenido de <https://koreauniv.pure.elsevier.com/en/publications/home-appliance-load-disaggregation-using-cepstrum-smoothing-based>
- Kwok Tai Chui. (1 de Octubre de 2018). *Non-intrusive load monitoring (NILM)-general architecture*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/Non-intrusive-load-monitoring-NILM-general-architecture-Electricity-suppliers\\_fig1\\_328481137](https://www.researchgate.net/figure/Non-intrusive-load-monitoring-NILM-general-architecture-Electricity-suppliers_fig1_328481137)
- Li, D., Sawyer, K., & Dick, S. (2015). Disaggregating household loads via semi-supervised multi-label classification. *Redmon, WA, USA*, 21-30.
- Liu, Y., Wang, X., & You, W. (2018). Non-Intrusive Load Monitoring by Voltage–Current Trajectory Enabled Transfer Learning.
- López, J. (2016). *Diseño y Desarrollo de Prácticas de Laboratorio para Sistemas Digitales de Comunicación*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- LUMIDIM. (Rescatado el 14 de Octubre de 2020). *Sistema capaz de medir los consumos de maquinaria, sucursales, oficinas o tiendas*. Obtenido de <http://lumidim.com/es/monitoreo-de-consumo-de-energia/>
- Machlev, R., Tolkachov, D., Levron, Y., & Beck, Y. (2020). Dimension reduction for NILM classification based on principle component analysis. *Electric Power Systems Research*.
- MAE. (2016). *Ecuador promueve la Eficiencia Energética a nivel nacional*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-promueve-la-eficiencia-energetica-a-nivel-nacional/>
- Martial, G., & Mohamed Tariq, E. K. (2019). *Broad band opto-capacitive power line communication coupler for DC nanogrids*. Obtenido de sciencedirect.com: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.02.001>
- Masood, B., & Baig, S. (2016). *Standardization and deployment scenario of next generation NB-PLC technologies*. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/rse](http://www.elsevier.com/locate/rse)
- Medrano, A., & Serra, Á. (2017). KiCad, Herramienta de Software Libre de Modelado de Circuitos Impresos para el Desarrollo de Hardware. *Ciencia e Ingeniería*, 9.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable . (2017). *Plan Maestro de Electricidad 2016-2025*. Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/images/PME%202016-2025.pdf>
- Mlynek, P. , Misurec, J., Kolka, Z., Slacik, J., & Fujdi, R. (2015). *Narrowband Power Line Communication for Smart Metering and Street Lighting Control*. Obtenido de sciencedirect: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

- Morales, M. (2007). *Estudio de los sistemas domóticos y diseño de una aplicación*. E.U.E.T.I.B – U.P.C. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11715/Memoria%20T%C3%A9cnica.pdf>
- Moya, J., & Escobar, F. (2015). *Desarrollo para Encriptar Información en la Transmisión de Datos en un Aplicativo de Mensajería Web*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8335/Disertacion\\_MoyaCazaJohannaBeatriz\\_EscobarErazoFranklinAndres.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8335/Disertacion_MoyaCazaJohannaBeatriz_EscobarErazoFranklinAndres.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- National Instrument. (2019). *¿Qué es Adquisición de Datos?* Recuperado el 7 de febrero de 2019, de <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- Onur, E., & Hossam, G. (2018). PERSPECTIVES OF DEMAND-SIDE MANAGEMENT UNDER SMART GRID CONCEPT. En E. Onur, & G. Hossam, *Energy Conservation in Residential, Commercial, and Industrial Facilities*, (pág. 241). Oshawa, Canada.
- Orbea, M., & Chacha, M. (16 de diciembre de 2015). *Diseño e Implementación de un Prototipo de Red de Datos con Tecnología PLC (Power Line Communication para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 4 de enero de 2019, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10110/1/AC-ESPEL-ENI-0353.pdf>
- Padilla, R. & R.-R. (2015). Monitoreo y localización de personas extraviadas utilizando Arduino y GSM/GPS. *Industrial Data*, 18(1), 128-134. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=81642256015>
- Pavón, J., & Pando, H. (2018). Messages Authentication Code For Evaluating Data Quality in Vulnerable Data Sources. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de <http://www.informaticahabana.cu/sites/default/files/ponencias2018/SEG13.pdf>.
- pcbnew, k. (2021). *docs.kicad.org*. Obtenido de <https://docs.kicad.org/5.1/en/pcbnew/pcbnew.pdf>
- plugins, k. (2020). *docs.kicad.org*. Obtenido de <https://docs.kicad.org/5.1/en/plugins/plugins.pdf>
- Rajashree, S., Soman, K., & Shah, P. G. (2018). *Security with IP Address Assignment and Spoofing for Smart IOT Devices*. International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI).
- Registro Oficial Suplemento 449 de 19-mar.-2019. (2019). *www.geoenergia.gob.ec*. Obtenido de [https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/01/15\\_ley\\_organica\\_eficiencia\\_energetica\\_diciembre\\_2019.pdf](https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/01/15_ley_organica_eficiencia_energetica_diciembre_2019.pdf)
- Revuelta Herrero, J., Lozano Murciego, A., López Barriuso, A., Hernández de la Iglesia, D., Villarrubia González, G., Corchado Rodríguez, J., & Carreira, R. (2018). *Non Intrusive Load Monitoring (NILM): A State of the Art*. Obtenido de [https://bisite.usal.es/archivos/non\\_intrusive\\_load\\_monitoring\\_nilmm.pdf](https://bisite.usal.es/archivos/non_intrusive_load_monitoring_nilmm.pdf)
- Ridi, A. (2014). A Survey on Intrusive Load Monitoring for Appliance Recognition. *22nd International Conference on Pattern Recognition. IEEE*, 9.
- Riffo, A. (2009). *Tecnología PLC: propuesta de conexión en Banda Ancha para un sector Rural*. Universidad Austral de Chile. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcir564t/doc/bmfcir564t.pdf>
- Rojas, A., & Rousan, T. (2017). POWER & ENERGY. *IEEE*.

- Rouissi, F., Han Vinck, A. J., Gassara, H., & Ghazel, A. (2019). *Improved Impulse Noise Modeling for Indoor Narrow-Band Power Line Communication*. Obtenido de AEUE 52685: <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2019.02.019>
- Rubio, M., Gómez, S., Molina, E., San Juan, R., & Chaos, D. (2017). *Introducción a la Informática Básica*. Madrid: Universidad de Educación a Distancia. Recuperado el 6 de febrero de 2019, de [https://books.google.com.ec/books?id=iYc9DwAAQBAJ&pg=PA371&lpg=PA371&dq=Direcci%C3%B3n+MAC+\(Media+Access+Control+o+control+de+acceso+al+medio,+por+sus+siglas+en+ingl%C3%A9s\).+En+redes+inform%C3%A1ticas&source=bl&ots=IUHvgrvMr\\_&sig=ACfU3U0SADSfUr9f2-edOEgZ](https://books.google.com.ec/books?id=iYc9DwAAQBAJ&pg=PA371&lpg=PA371&dq=Direcci%C3%B3n+MAC+(Media+Access+Control+o+control+de+acceso+al+medio,+por+sus+siglas+en+ingl%C3%A9s).+En+redes+inform%C3%A1ticas&source=bl&ots=IUHvgrvMr_&sig=ACfU3U0SADSfUr9f2-edOEgZ)
- Russo, S., & Hinson, S. (2019). *Enabling technologies and technical solutions for the Energy Internet: lessons learned and case studies from Pecan Street Inc*. Obtenido de The Energy Internet An Open Energy Platform to Transform Legacy Power Systems into Open Innovation and Global Economic Engines: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102207-8.00009-6>
- Salazar, J. (2018). *Redes Inalámbricas*. TechPedia. Recuperado el 7 de febrero de 2019, de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01\\_R\\_ES.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf)
- Salazar, L., Guzmán, V., & Bueno, A. (2018). Análisis de medidas de ahorro de energía en una empresa de producción. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(19). doi:<https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.04>
- Santos, C. A. (14 de 10 de 2019). *Tecnologías de monitorización en*. Obtenido de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/17069/Tesis.pdf?sequence=3>
- Seongbae, K., Youngwook, K., Rakkyung, K., & Joo, S.-K. (2015). Home Appliance Load Disaggregation Using Cepstrum-Smoothing-Based Method. *IEEE Trans Consum Electron*, 24-30.
- Schematics.com. (2013). *NXP Semiconductor*. Obtenido de NXP Semiconductor: <http://www.schematics.com/component/5546/>
- SOLAREEDGE. (Rescatado el 20 de Octubre de 2020). *Cambio energético*. Obtenido de <https://www.cambioenergetico.com/blog/la-solucion-fotovoltaica-de-solareedge/>
- Systems, E. (2020). <http://www.espressif.com/>. Obtenido de [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf)
- Tabatabaei, S., Dick, S., & Xu, W. (2016). Toward Non-Intrusive Load Monitoring via Multi-label classification. *IEEE Trans Smart Grid*, 26-40.
- TDT Profesional. (14 de 11 de 2019). *PLC-Ventajas vs Inconvenientes*. Obtenido de <https://www.tdtprofesional.com/blog/plc-ventajas-e-inconvenientes/>
- Tecnología al instante. (Rescatado el 20 de octubre de 2020). *Power Line Communications*. Obtenido de [http://www.tecnologiahechapalabra.com/tecnologia/glosario\\_tecnico/articulo.asp?i=9131](http://www.tecnologiahechapalabra.com/tecnologia/glosario_tecnico/articulo.asp?i=9131)
- Thiruvaran, T., Phung, T., & Ambikairajah, E. (2013). Automatic detection and identification of electric loads at the event of switching-on that load. *IEEE*.
- Tillera, M. (11 de 2016). *Modulación PSK*. Obtenido de file:///D:/CD-7465.pdf

- UNESCO. (30 de de Septiembre de 2017). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP)*. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-19-energy-needs/>
- Valverde, G. (2019). *InformeFinal\_Desagregación\_firmas\_eléctricas*. Costa Rica: Escuela de Ingeniería Eléctrica.
- Vasquez, E. (2015). *Diseño, Construcción y Desarrollo de un Sistema de Monitoreo Eléctrico con interfaz web*. Mexico D.F.
- Vázquez, E. (2015). *Diseño, Construcción y Desarrollo de un Sistema de Monitoreo Eléctrico con interfaz web*. Instituto Politécnico Nacional, D.F. México.
- Velasco, C. (22 de Julio de 2019). *Cargas inductivas, capacitivas y resistivas*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/maquinaselectricascarlos/clients/--cargas-inductivas-capacitivas-y-resistivas>
- Velasco-Ramírez, E., Ángeles-Camacho, C., & García-Martínez, M. (marzo de 2013). Redes de transmisión inteligente. Beneficios y riesgos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(1). Recuperado el 7 de febrero de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432013000100008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432013000100008)
- Wichokool, W., Zachary, R., Uzoma, A., & Leeb, S. (2014). Smart Matering of Variable Power Loads. *IEEE Trans Smart Grid*, 189-198.

# ANEXOS

## Anexo A.- Datasheet TDA5051

**INTEGRATED CIRCUITS**

# DATA SHEET

## **TDA5051**

### Home automation modem

Product specification  
Supersedes data of 1997 Mar 11  
File under Integrated Circuits, IC11

1997 Sep 19

Philips  
Semiconductors



**PHILIPS**

## Home automation modem

## TDA5051

## FEATURES

- Full digital carrier generation and shaping
- Modulation/demodulation frequency set by clock adjustment, from microcontroller or on-chip oscillator
- High clock rate of 6 bits D/A (Digital-to-Analog) converter for rejection of aliasing components
- Fully integrated output power stage with overload protection
- Automatic gain control at receiver input
- 8-bit A/D and narrow digital filtering
- Digital demodulation delivering baseband data
- Easy compliance with EN50065-1 with simple coupling network
- Few external components for low cost applications
- SO16 plastic package.

## APPLICATIONS

- Home appliance control (air conditioning, shutters, lighting, alarms and so on)
- Energy/heating control
- ASK (Amplitude Shift Keying) data transmission using the home power network.

## GENERAL DESCRIPTION

The TDA5051 is a modem IC, specifically dedicated to ASK transmission by means of the home power supply network, at 600 or 1200 baud data rate. It operates from a single 5 V supply.

## QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{DD}$	supply voltage		4.75	5.0	5.25	V
$I_{DD(tot)}$	total supply current	$f_{osc} = 8.48$ MHz				
	reception mode		–	28	38	mA
	transmission mode ( $\overline{DATA_{IN}} = 0$ )	$Z_L = 30 \Omega$	–	47	68	mA
	power down mode		–	19	25	mA
$T_{amb}$	operating ambient temperature		0	–	70	°C
$f_{cr}$	carrier frequency	note 1	95	132.5	148.5	kHz
$f_{osc}$	oscillator frequency		6.08	8.48	9.504	MHz
$V_{o(rms)}$	output carrier signal on CISPR16 load (RMS value)		120	–	122	dB $\mu$ V
$V_{i(rms)}$	input signal (RMS value)		66	–	122	dB $\mu$ V
THD	total harmonic distortion on CISPR16 load with coupling network		–	–55	–	dB
$Z_L$	load impedance		1	30	–	$\Omega$
BR	baud rate		–	600	1200	bits/s

## Note

1. Frequency range corresponding to the EN50065-1 band. However the modem can operate at any lower oscillator frequency.

## ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
TDA5051T	SO16	plastic small outline package: 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1

Home automation modem

TDA5051

BLOCK DIAGRAM

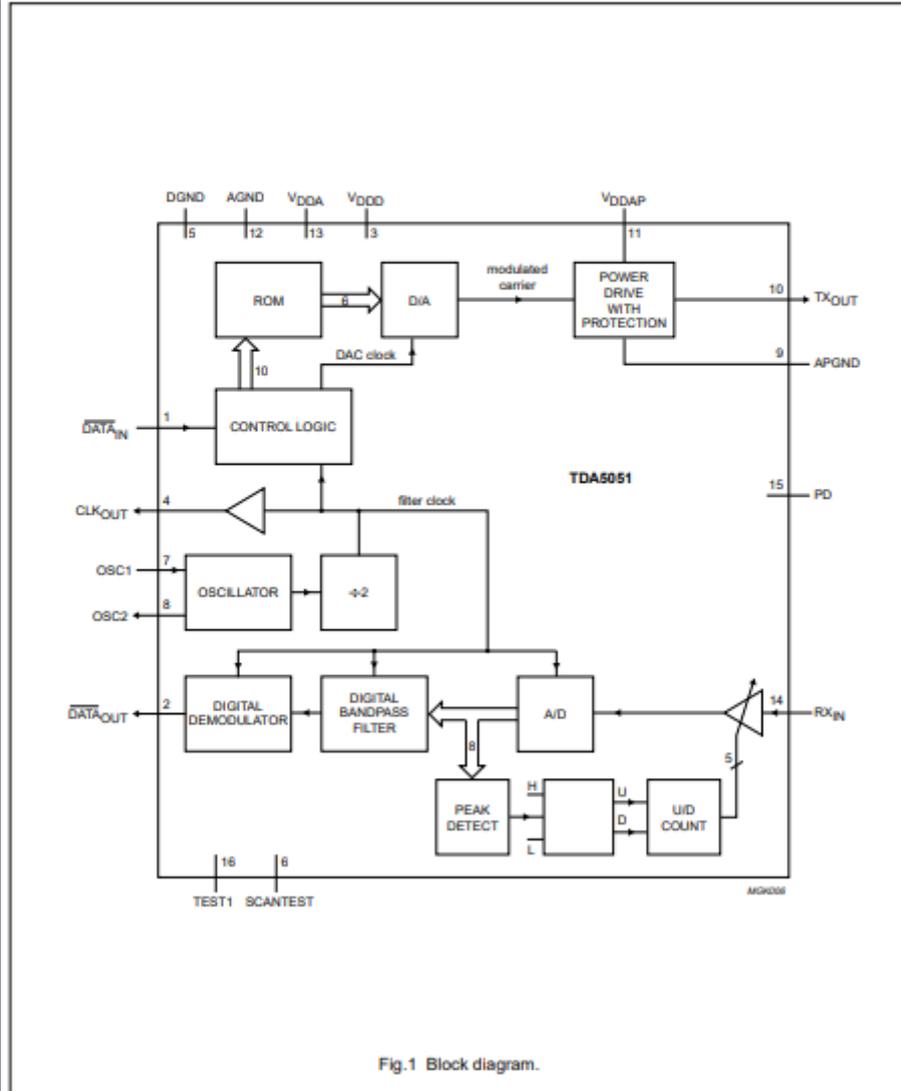


Fig.1 Block diagram.

## Home automation modem

TDA5051

## PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
$\overline{\text{DATA}}_{\text{IN}}$	1	digital data input (active LOW)
$\overline{\text{DATA}}_{\text{OUT}}$	2	digital data output (active LOW)
$V_{\text{DD}}$	3	digital supply voltage
$\text{CLK}_{\text{OUT}}$	4	clock output
DGND	5	digital ground
SCANTEST	6	test input (LOW in application)
OSC1	7	oscillator input
OSC2	8	oscillator output
APGND	9	analog ground for power amplifier
$\text{TX}_{\text{OUT}}$	10	analog signal output
$V_{\text{DDAP}}$	11	analog supply voltage for power amplifier
AGND	12	analog ground
$V_{\text{DDA}}$	13	analog supply voltage
$\text{RX}_{\text{IN}}$	14	analog signal input
PD	15	power-down input (active HIGH)
TEST1	16	test input (HIGH in application)

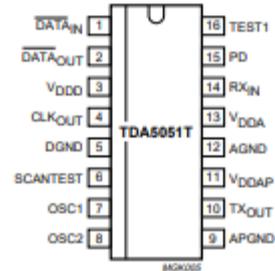


Fig.2 Pin configuration.

## Home automation modem

## TDA5051

**FUNCTIONAL DESCRIPTION**

Both transmission and reception stages are controlled either by the master clock of the microcontroller, or by the on-chip reference oscillator connected to a crystal. This holds for the accuracy of the transmission carrier and the exact trimming of the digital filter, thus making the performance totally independent of application disturbances such as component spread, temperature, supply drift and so on.

The interface with the power network is made by means of a LC network (see Fig.18). The device includes a power output stage able to feed a 120 dB $\mu$ V (RMS) signal on a typical 30  $\Omega$  load.

To reduce power consumption, the IC is disabled by a power-down input (pin PD): in this mode, the on-chip oscillator remains active and the clock continues to be supplied at pin CLK<sub>OUT</sub>. For low-power operation in reception mode, this pin can be dynamically controlled by the microcontroller (see Section "Power-down mode").

When the circuit is connected to an external clock generator (see Fig.6), the clock signal must be applied at pin OSC1 (pin 7); OSC2 (pin 8) must be left open. Use of the on-chip clock circuitry is shown in Fig.7.

All logic inputs and outputs are compatible with TTL/CMOS levels, providing an easy connection to a standard microcontroller I/O port.

The digital part of the IC is fully scan-testable. Two digital inputs, SCANTEST and TEST1, are used for production test: these pins must be left open in functional mode (correct levels are internally defined by pull-up/down resistors).

**Transmission mode**

The carrier frequency is generated by the scanning of a ROM memory under the control of the microcontroller clock or the reference frequency provided by the on-chip oscillator, thus providing strict stability with respect to environmental conditions. High frequency clocking rejects the aliasing components to such an extent that they are filtered by the coupling LC network and do not cause any significant disturbance. The data modulation is applied through pin DATA<sub>IN</sub> and smoothly applied by specific digital circuitry to the carrier (shaping). Harmonic components are limited in this process, thus avoiding unacceptable disturbance of the transmission channel (according to CISPR16 and EN50065-1 recommendations). A -55 dB total harmonic distortion is reached when using the typical LC coupling network (or an equivalent filter).

The D/A converter and the power stage are set in order to provide a maximum signal level of 122 dB $\mu$ V (RMS) at the output.

The output of the power stage (TX<sub>OUT</sub>) **always** has to be connected to a decoupling capacitor, because of a DC level of 0.5V<sub>DD</sub> at this pin, present even when the device is not transmitting. This pin also has to be **protected against overvoltage and negative transient signals**. The DC level of TX<sub>OUT</sub> can be used to bias an unipolar transient suppressor, as shown in the application diagram (see Fig.18).

Direct connection to the mains is done through a LC network for low-cost applications. However, a HF signal transformer could be used when power-line insulation has to be performed.

**CAUTION**

In transmission mode, the receiving part of the circuit is **not disabled** and the detection of the transmitted signal is normally performed. In this mode, the gain chosen before the beginning of the transmission is stored, and the **AGC is internally set to -6 dB** as long as DATA<sub>IN</sub> is LOW. Then, the old gain setting is **automatically restored**.

**Receiving mode**

The input signal received by the modem is applied to a wide range input amplifier with Automatic Gain Control (AGC) (-6 to +30 dB). This is basically for noise performance improvement and signal level adjustment that ensures a maximum sensitivity of the A/D converter. Then an 8 bit A/D conversion is performed, followed by digital bandpass filtering, in order to meet the CISPR normalization and to comply with some additional limitations encountered in current applications. After digital demodulation, the baseband data signal is made available after pulse shaping.

The signal pin (RX<sub>IN</sub>) is a high-impedance input, which has to be protected and DC decoupled for the same reasons as with pin TX<sub>OUT</sub>. The high sensitivity (66 dB $\mu$ V) of this input requires an efficient 50 Hz rejection filter (realized by the LC coupling network) also used as an anti-aliasing filter for the internal digital processing (see Fig.18).

## Home automation modem

TDA5051

**Data format****TRANSMISSION MODE**

The data input ( $\overline{\text{DATA}}_{\text{IN}}$ ) is active LOW: this means that a burst is generated on the line (pin  $\text{TX}_{\text{OUT}}$ ) when pin  $\overline{\text{DATA}}_{\text{IN}}$  is LOW.

Pin  $\text{TX}_{\text{OUT}}$  is in high-impedance state as long as the device is not transmitting. Successive logic 1s are treated in a NRZ mode (see pulse shape description in Figs 8 and 9).

**RECEIVING MODE**

The data output (pin  $\overline{\text{DATA}}_{\text{OUT}}$ ) is active LOW; this means that the data output is LOW when a burst is received. Pin  $\overline{\text{DATA}}_{\text{OUT}}$  remains LOW as long as a burst is received.

**Power-down mode**

Power-down input (pin PD) is active HIGH; this means that the power consumption is minimal when pin PD is HIGH. All functions, except clock generation, are disabled then.

**LIMITING VALUES**

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{\text{DD}}$	supply voltage	4.5	5.5	V
$f_{\text{osc}}$	oscillator frequency	–	12	MHz
$T_{\text{stg}}$	storage temperature	–50	+150	°C
$T_{\text{amb}}$	operating ambient temperature	–10	+80	°C
$T_{\text{j}}$	junction temperature	–	125	°C

**HANDLING**

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharge in normal handling. However, to be totally safe, it is desirable to take normal precautions appropriate to handling MOS devices.

## Home automation modem

TDA5051

**CHARACTERISTICS** $V_{DD} = V_{DDA} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ;  $T_{amb} = 0\text{ to }70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $V_{DD}$  connected to  $V_{DDA}$ ; DGND connected to AGND.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>Supply</b>						
$V_{DD}$	supply voltage		4.75	5	5.25	V
$I_{DD(RX/TX)(bst)}$	total analog + digital supply current; TX or RX mode	$V_{DD} = 5\text{ V} \pm 5\%$	–	28	38	mA
$I_{DD(PD)(bst)}$	total analog + digital supply current; power-down mode	$V_{DD} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ; PD = HIGH	–	19	25	mA
$I_{DD(PAMP)}$	power amplifier supply current in transmission mode	$V_{DD} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ; $Z_L = 30\ \Omega$ ; $\overline{DATA}_{IN} = \text{LOW}$	–	19	30	mA
$I_{DD(PAMP)(max)}$	maximum power amplifier supply current in transmission mode	$V_{DD} = 5\text{ V} \pm 5\%$ ; $Z_L = 1\ \Omega$ ; $\overline{DATA}_{IN} = \text{LOW}$	–	76	–	mA
<b><math>\overline{DATA}_{IN}</math> input, PD input: <math>\overline{DATA}_{OUT}</math> output, <math>CLK_{OUT}</math> output</b>						
$V_{IH}$	HIGH-level input voltage		$0.2V_{DD} + 0.9$	–	$V_{DD} + 0.5$	V
$V_{IL}$	LOW-level input voltage		–0.5	–	$0.2V_{DD} - 0.1$	V
$V_{OH}$	HIGH-level output voltage	$I_{OH} = -1.6\text{ mA}$	2.4	–	–	V
$V_{OL}$	LOW-level output voltage	$I_{OL} = 1.6\text{ mA}$	–	–	0.45	V
<b>OSC1 input and OSC2 output (OSC2 only used for driving external quartz crystal; must be left open when using an external clock generator)</b>						
$V_{IH}$	HIGH-level input voltage		$0.7V_{DD}$	–	$V_{DD} + 0.5$	V
$V_{IL}$	LOW-level input voltage		–0.5	–	$0.2V_{DD} - 0.1$	V
$V_{OH}$	HIGH-level output voltage	$I_{OH} = -1.6\text{ mA}$	2.4	–	–	V
$V_{OL}$	LOW-level output voltage	$I_{OL} = 1.6\text{ mA}$	–	–	0.45	V
<b>Clock</b>						
$f_{osc}$	oscillator frequency		6.080	–	9.504	MHz
$\frac{f_{osc}}{f_{cr}}$	ratio between oscillator and carrier frequency		–	64	–	
$\frac{f_{osc}}{f_{CLKOUT}}$	ratio between oscillator and clock output frequency		–	2	–	

## Home automation modem

TDA5051

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>Transmission mode</b>						
$f_{cr}$	carrier frequency	$f_{osc} = 8.48 \text{ MHz}$	–	132.5	–	kHz
$t_{su}$	set-up time of the shaped burst	$f_{osc} = 8.48 \text{ MHz}$ ; see Fig. 8	–	170	–	$\mu\text{s}$
$t_h$	hold time of the shaped burst	$f_{osc} = 8.48 \text{ MHz}$ ; see Fig. 8	–	170	–	$\mu\text{s}$
$t_{W(DI)(min)}$	minimum pulse width of $\text{DATA}_{IN}$ signal	$f_{osc} = 8.48 \text{ MHz}$ ; see Fig. 8	–	190	–	$\mu\text{s}$
$V_{o(rms)}$	output carrier signal (RMS value)	$Z_L = \text{CISPR16}$ $\text{DATA}_{IN} = \text{LOW}$	120	–	122	$\text{dB}\mu\text{V}$
$I_{o(max)}$	power amplifier maximum output current (peak value)	$Z_L = 1 \Omega$ ; $\text{DATA}_{IN} = \text{LOW}$	–	160	–	mA
$Z_o$	output impedance of the power amplifier		–	5	–	$\Omega$
$V_D$	output DC level at $\text{TX}_{OUT}$		–	2.5	–	V
THD	total harmonic distortion on CISPR16 load with the coupling network (measured on the first ten harmonics)	$V_{o(rms)} = 121 \text{ dB}\mu\text{V}$ V on CISPR16 load; $f_{osc} = 8.48 \text{ MHz}$ ; $\text{DATA}_{IN} = \text{LOW}$ (no modulation); see Figs 3 and 16	–	–55	–	dB
$B_{-20dB}$	bandwidth of the shaped output signal (at –20 dB) on CISPR16 load with the coupling network	$V_{o(rms)} = 121 \text{ dB}\mu\text{V}$ V on CISPR16 load; $f_{osc} = 8.48 \text{ MHz}$ ; $\text{DATA}_{IN} = 300 \text{ Hz}$ ; duty factor = 50%; see Fig. 4	–	3000	–	Hz
<b>Reception mode</b>						
$V_{i(rms)}$	analog input signal (RMS value)		68	–	122	$\text{dB}\mu\text{V}$
$V_I$	DC level at pin $\text{RX}_{IN}$		–	2.5	–	V
$Z_i$	$\text{RX}_{IN}$ input impedance		–	50	–	$\text{k}\Omega$
$R_{AGC}$	automatic gain control range		–	36	–	dB
$t_{c(AGC)}$	automatic gain control time constant	$f_{osc} = 8.48 \text{ MHz}$ ; see Fig. 5	–	296	–	$\mu\text{s}$
$t_{d(dem)(su)}$	demodulation delay set-up time	$f_{osc} = 8.48 \text{ MHz}$ ; see Fig. 15	–	410	460	$\mu\text{s}$
$t_{d(dem)(h)}$	demodulation delay hold time	$f_{osc} = 8.48 \text{ MHz}$ ; see Fig. 15	–	330	380	$\mu\text{s}$
$B_{det}$	detection bandwidth	$f_{osc} = 8.48 \text{ MHz}$	–	3	–	kHz

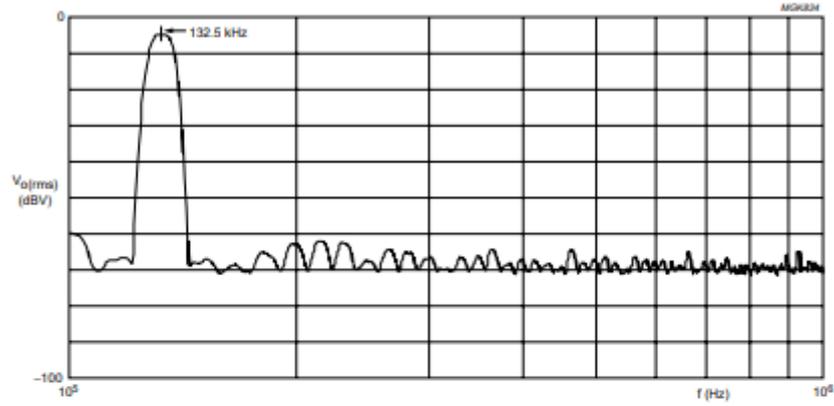
## Home automation modem

TDA5051

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
BER	bit error rate	$f_{osc} = 8.48$ MHz; 600 baud; S/N = 35 dB; signal 76 dB $\mu$ V; see Fig. 17	–	1	–	$1 \times 10^{-4}$
<b>Power-up timing</b>						
$t_{d(pu)(TX)}$	delay between power-up and $\overline{DATA}_{IN}$ in transmission mode	XTAL = 8.48 MHz; C1 = C2 = 27 pF; $R_p = 2.2$ M $\Omega$ ; see Fig. 10	–	1	–	$\mu$ s
$t_{d(pu)(RX)}$	delay between power-up and $\overline{DATA}_{OUT}$ in reception mode	XTAL = 8.48 MHz; C1 = C2 = 27 pF; $R_p = 2.2$ M $\Omega$ ; $f_{RXIN} = 132.5$ kHz; 120 dB $\mu$ V sinewave; see Fig. 11	–	1	–	$\mu$ s
<b>Power-down timing</b>						
$t_{d(pd)(TX)}$	delay between PD = 0 and $\overline{DATA}_{IN}$ in transmission mode	$f_{osc} = 8.48$ MHz; see Fig. 12	–	10	–	$\mu$ s
$t_{d(pd)(RX)}$	delay between PD = 0 and $\overline{DATA}_{OUT}$ in reception mode	$f_{osc} = 8.48$ MHz; $f_{RXIN} = 132.5$ kHz; 120 dB $\mu$ V sinewave; see Fig. 13	–	500	–	$\mu$ s
$t_{active(min)}$	minimum active time with T = 10 ms power-down period in reception mode	$f_{osc} = 8.48$ MHz; $f_{RXIN} = 132.5$ kHz; 120 dB $\mu$ V sinewave; see Fig. 14	–	1	–	$\mu$ s

Home automation modem

TDA5051

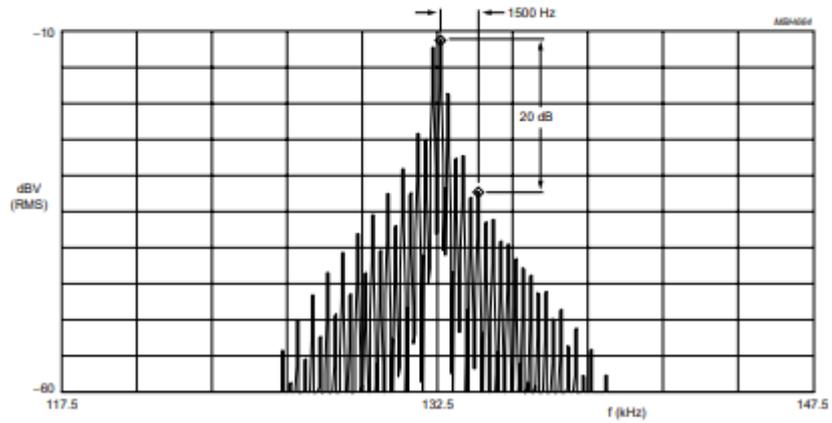


Resolution bandwidth = 9 kHz; top: 0 dBV (RMS) = 120 dB $\mu$ V (RMS); marker at -5 dBV (RMS) = 115 dB $\mu$ V (RMS); the CISPR16 network provides an attenuation of 6 dB, so the signal amplitude is 121 dB $\mu$ V (RMS).

Fig.3 Carrier spectrum.

Home automation modem

TDA5051



Resolution bandwidth = 100 Hz; B<sub>20dB</sub> = 3000 Hz (2 × 1500 Hz).

Fig.4 Shaped signal spectrum.

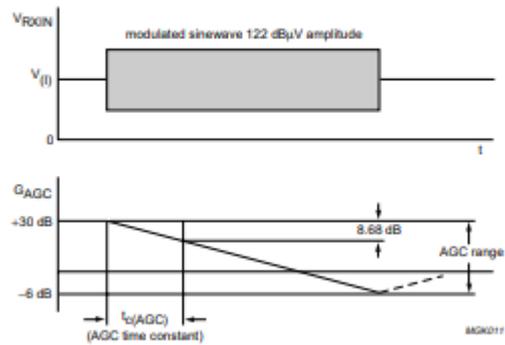


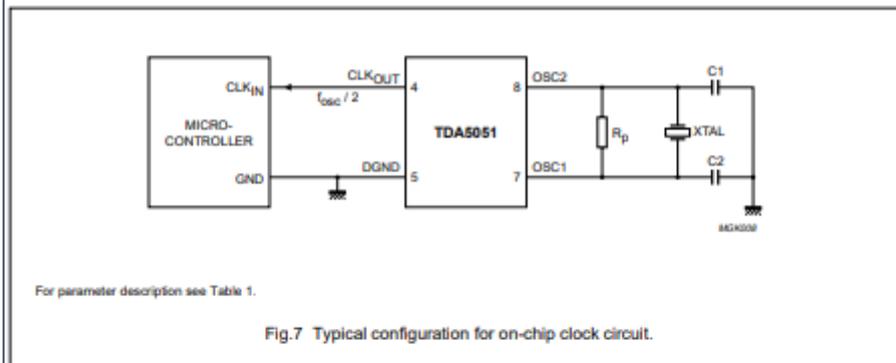
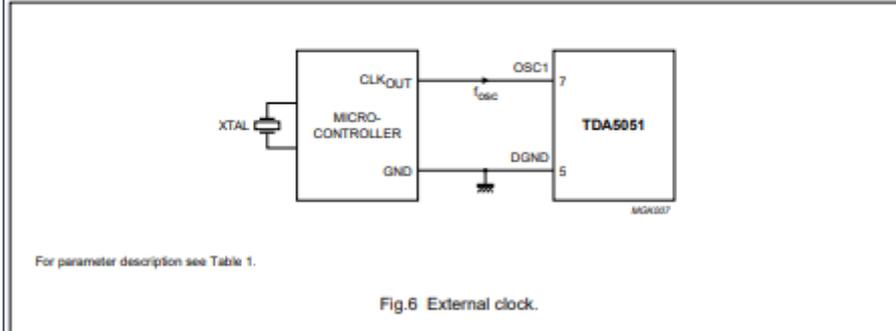
Fig.5 AGC time constant definition (not to scale).

Home automation modem

TDA5051

**TIMING**

**Configurations for clock**



**Table 1** Clock oscillator parameters

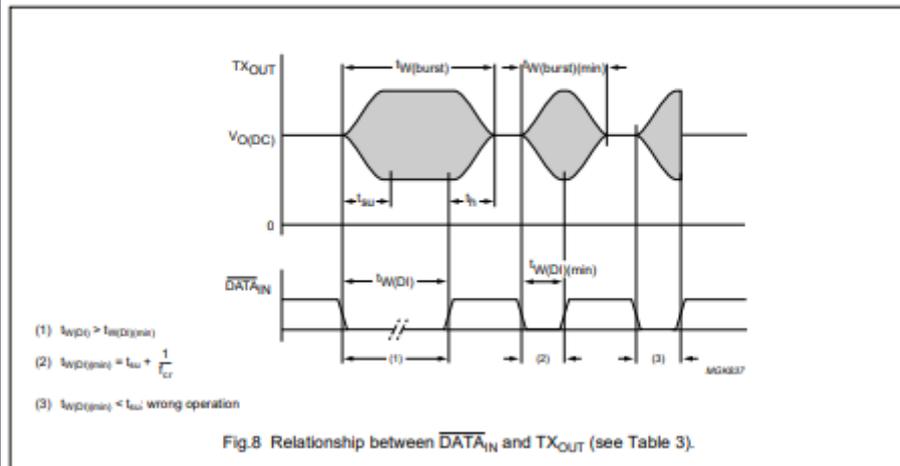
$f_{osc}$ OSCILLATOR FREQUENCY	$f_{cr}$ CARRIER FREQUENCY	$\frac{1}{2}f_{osc}$ CLOCK OUTPUT FREQUENCY	EXTERNAL COMPONENTS
6.080 to 9.504 MHz	95 to 148.5 kHz	3.040 to 4.752 MHz	C1 = C2 = 27 to 47 pF; R <sub>p</sub> = 2.2 to 4.7 MΩ; XTAL = standard quartz crystal

## Home automation modem

TDA5051

**Table 2** Calculation of parameters depending of the clock frequency

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	UNIT
$f_{osc}$	oscillator frequency	with on-chip oscillator: frequency of the crystal quartz; with external clock: frequency of the signal applied at OSC1	Hz
$f_{CLKOUT}$	clock output frequency	$\frac{1}{2}f_{osc}$	Hz
$f_{cr}$	carrier frequency/digital filter tuning frequency	$\frac{1}{64}f_{osc}$	Hz
$t_{su}$	set-up time of the shaped burst	$\frac{23}{f_{cr}}$ or $\frac{1472}{f_{osc}}$	s
$t_h$	hold time of the shaped burst	$\frac{23}{f_{cr}}$ or $\frac{1472}{f_{osc}}$	s
$t_{W(DI)(min)}$	minimum pulse width of $\overline{DATA}_{IN}$ signal	$t_{su} + \frac{1}{f_{cr}}$	s
$t_{W(burst)(min)}$	minimum burst time of $V_{O(DC)}$ signal	$t_{W(DI)(min)} + t_h$	s
$t_{c(AGC)}$	AGC time constant	$\frac{2514}{f_{osc}}$	s
$t_{su(demod)}$	demodulation set-up time	$\frac{3700}{f_{osc}}$ (=max.)	s
$t_h(demod)$	demodulation hold time	$\frac{3050}{f_{osc}}$ (=max.)	s



Home automation modem

TDA5051

**Table 3** Relationship between  $\overline{\text{DATA}}_{\text{IN}}$  and  $\text{TX}_{\text{OUT}}$

PD	$\overline{\text{DATA}}_{\text{IN}}$	$\text{TX}_{\text{OUT}}$
1	X <sup>(1)</sup>	high impedance
0	1	high impedance (after $t_n$ )
0	0	active with DC offset

**Note**

1. X = don't care.

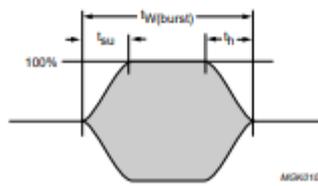
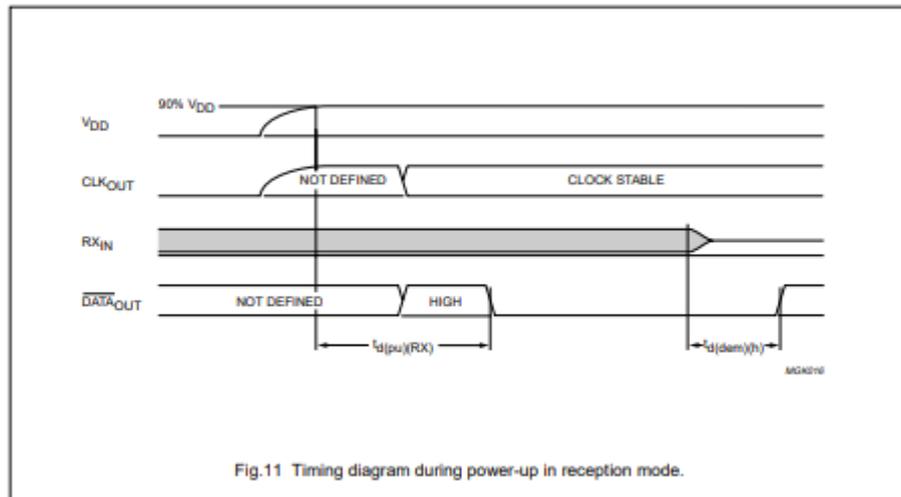
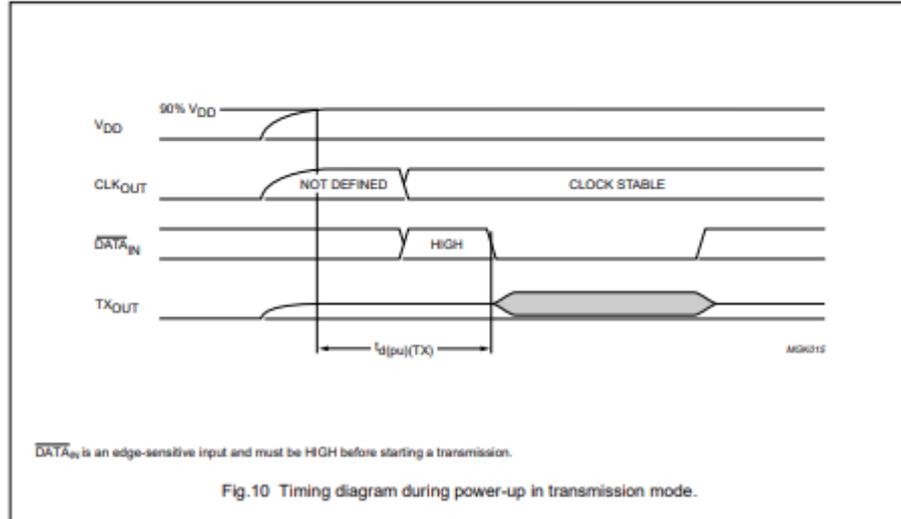


Fig.9 Pulse shape characteristics.

Home automation modem

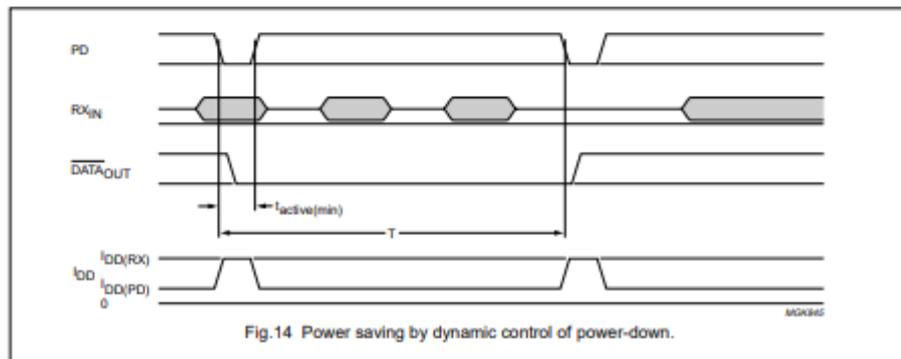
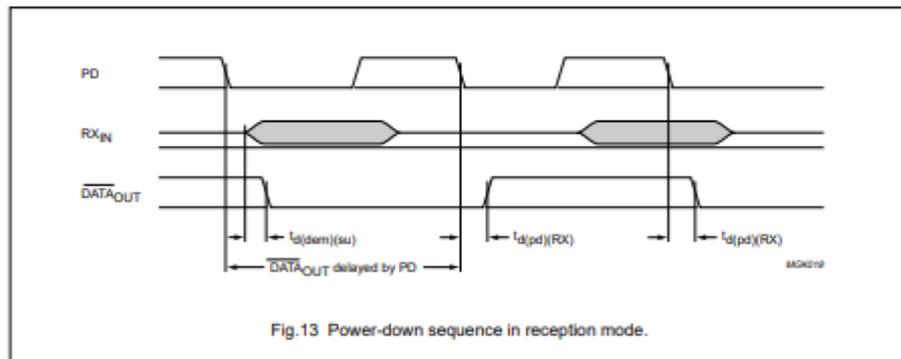
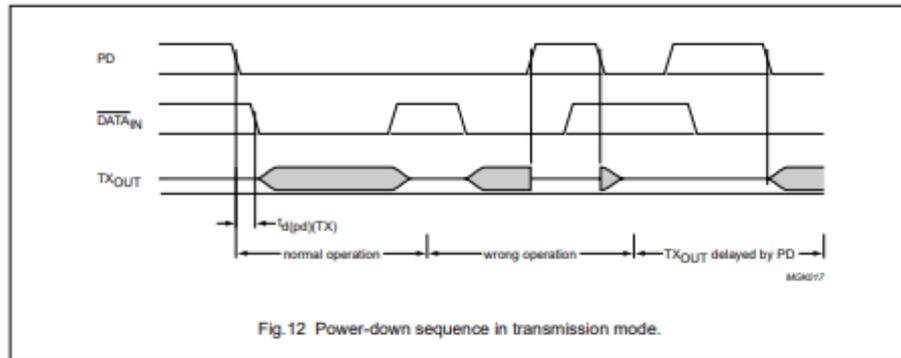
TDA5051

Timing diagrams



Home automation modem

TDA5051



Home automation modem

TDA5051

TEST INFORMATION

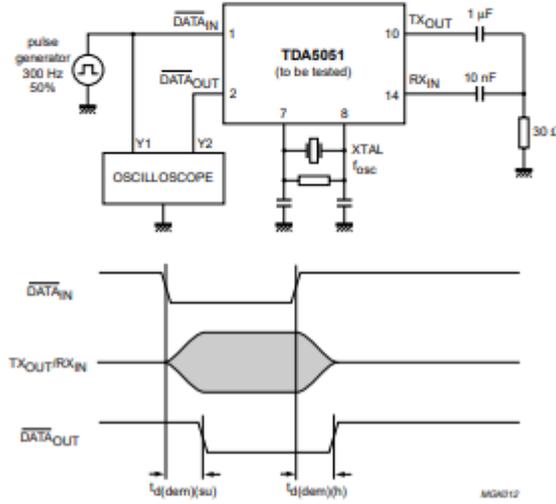
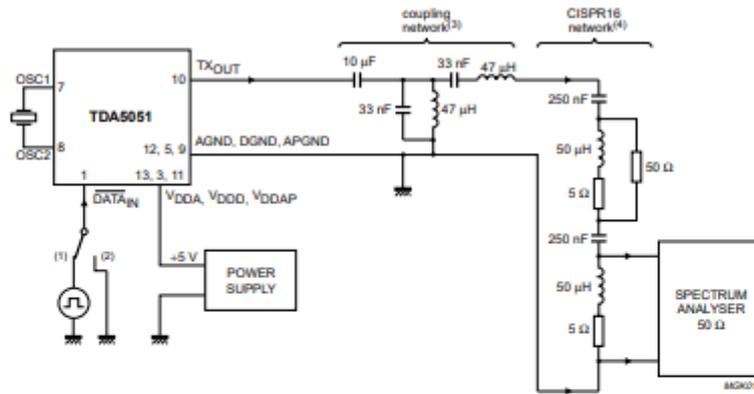


Fig.15 Test set-up for measuring demodulation delay.

Home automation modem

TDA5051

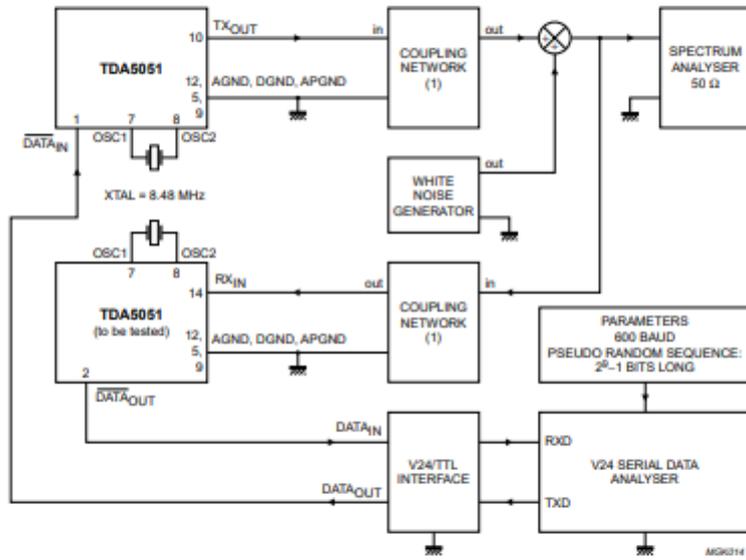


- (1) Square wave TTL signal 300 Hz, duty factor = 50% for measuring signal bandwidth (see spectrum Fig.3).
- (2) DATA<sub>IN</sub> = LOW for measuring total harmonic distortion (see spectrum Fig.3).
- (3) Tuned for  $f_c = 132.5$  kHz.
- (4) The CISPR16 network provides a -6 dB attenuation.

Fig.16 Test set-up for measuring THD and bandwidth of the TX<sub>OUT</sub> signal.

Home automation modem

TDA5051



(1) See Fig.16.

Fig.17 Test set-up for measuring bit error rate (BER).

Home automation modem

TDA5051

APPLICATION INFORMATION

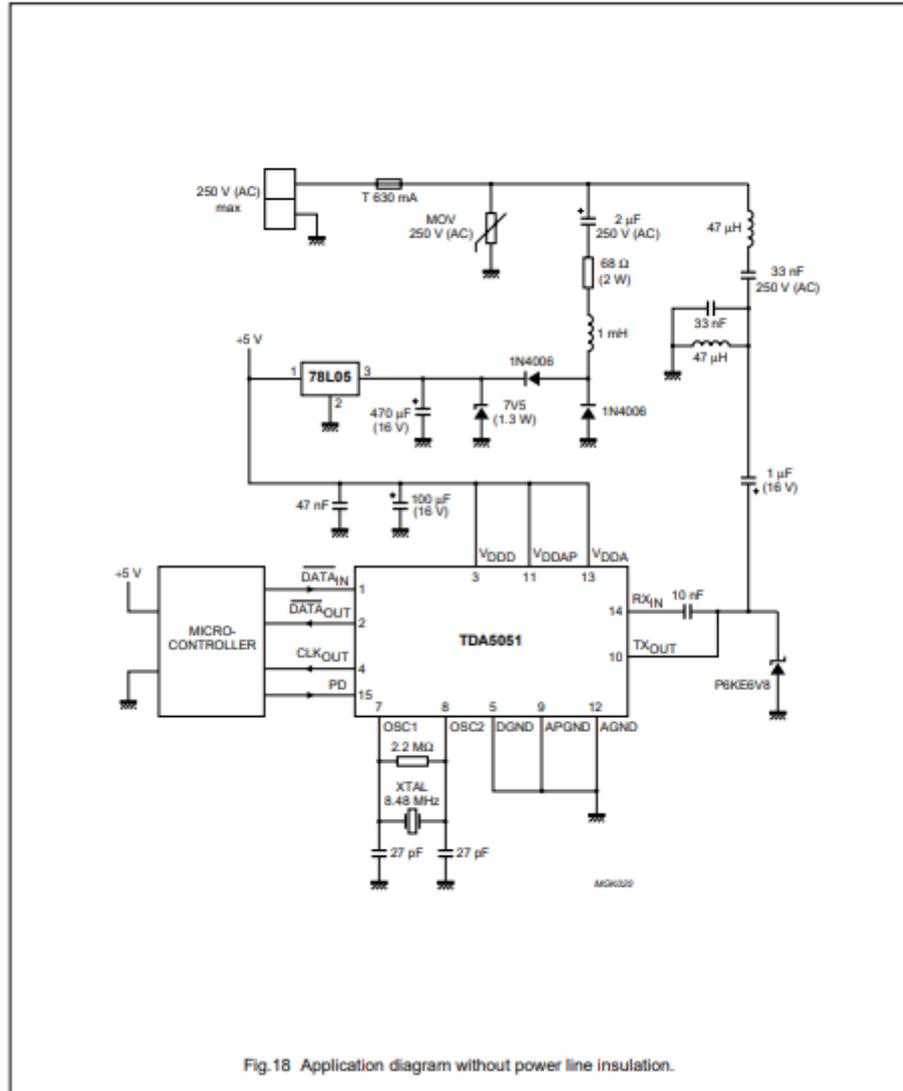
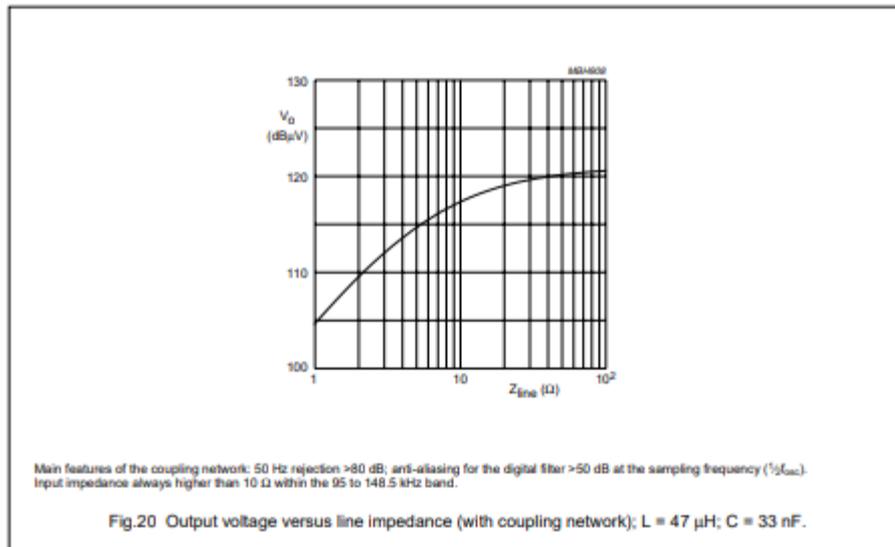
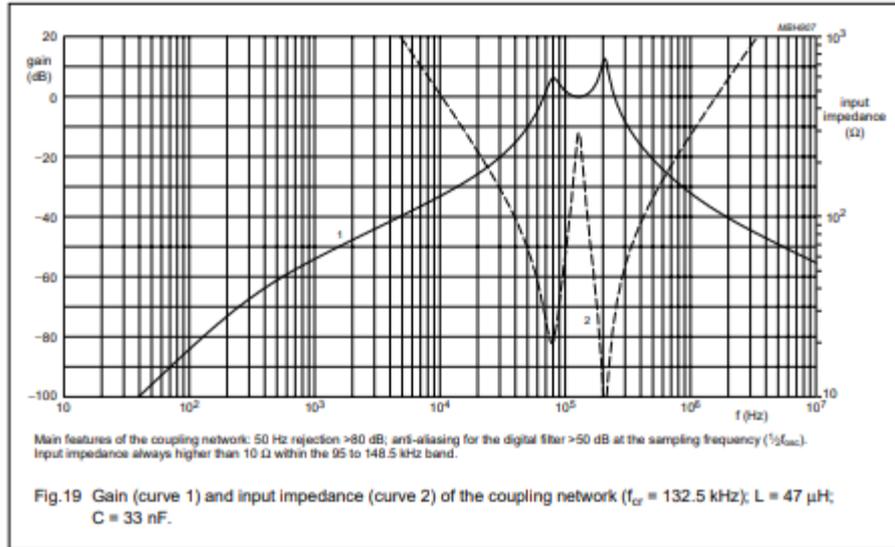


Fig.18 Application diagram without power line insulation.

Home automation modem

TDA5051



Home automation modem

TDA5051

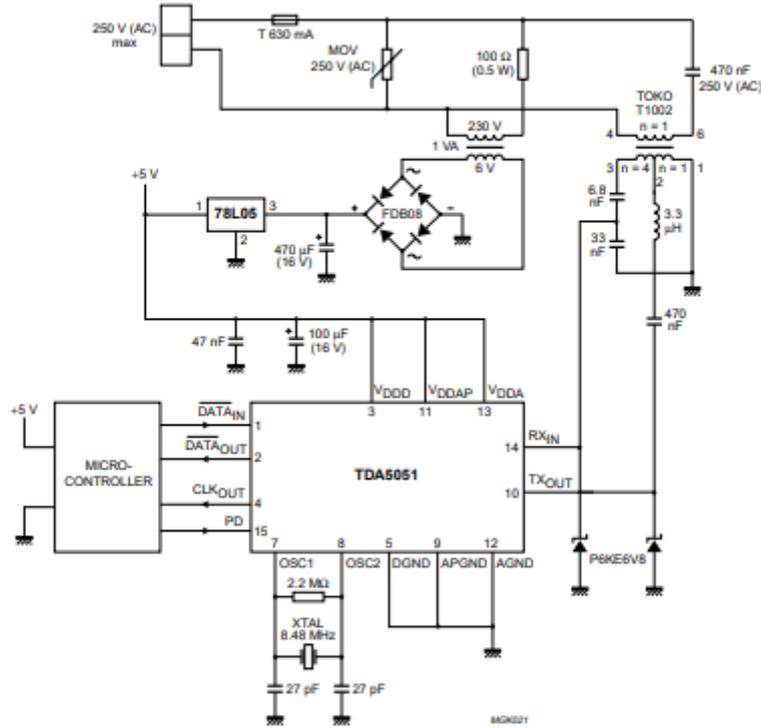


Fig.21 Application diagram with power line insulation.

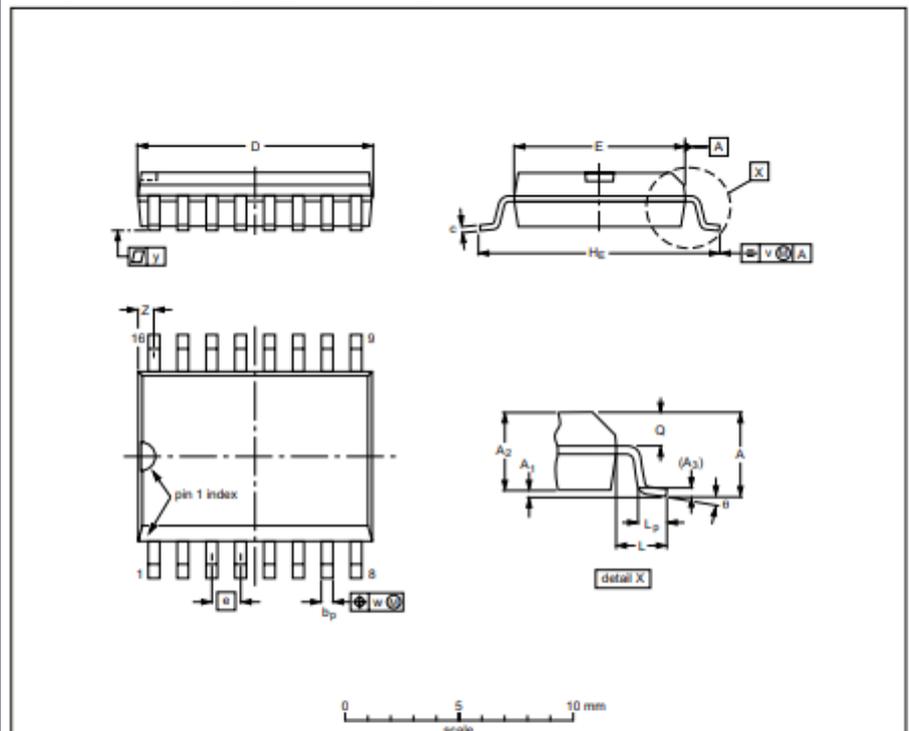
Home automation modem

TDA5051

PACKAGE OUTLINE

SO16: plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm

SOT162-1



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	b <sub>p</sub>	c	D <sup>(1)</sup>	E <sup>(1)</sup>	e	H <sub>E</sub>	L	L <sub>p</sub>	Q	v	w	y	z <sup>(1)</sup>	θ
mm	2.65	0.30 0.10	2.45 2.25	0.25	0.40 0.36	0.32 0.23	10.5 10.1	7.6 7.4	1.27	10.65 10.00	1.4	1.1 0.4	1.1 1.0	0.25	0.25	0.1	0.9 0.4	8° 0°
inches	0.10	0.012 0.004	0.096 0.089	0.01	0.019 0.014	0.013 0.009	0.41 0.40	0.30 0.29	0.050	0.419 0.394	0.055	0.043 0.016	0.043 0.039	0.01	0.01	0.004	0.035 0.016	

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT162-1	075E03	MS-013AA				95-01-04 97-05-22

## Anexo B.- Código de programación del dispositivo esclavo

A continuación, se presenta el código de programación para la tarjeta de Arduino Pro Mini con la función de esclavo.

```
//UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
//DESAGREGACION DE CARGAS POR POWER LINE COMMUNICATION
//DISPOSITIVO ESCLAVO ARDUINO PRO_MINI
//AUTOR Ortiz L. Cristian A.
//DIRECTOR MSc. Francisco Naranjo Cobo
//Abril 2018

/* Definimos la variable de código de identificación único acorde a la programación
en el maestro
[número de lugar en la matriz del maestro] = siempre antecedido del carácter #
{'#','n','n','n'...}
Esclavo 01    {'#','1','2','3'};
Esclavo 02    {'#','2','2','2'};
Esclavo 03    {'#','3','3','3'};
*/
char id_slave[4] = {'#', '3', '3', '3'}; // ESTA LÍNEA DE CÓDIGO REEMPLAZAMOS SEGÚN
SEA EL NUMERO DE ESCLAVO

unsigned long time_out; // Definimos esta variable para definir el tiempo de
recepción de cada carácter del código único de identificación
int time_out_char = 500; // Definimos 500 milisegundos como tiempo de espera en el
serial para recibir cada uno de los caracteres

void setup() {
    Serial.begin(1200); // Definimos la velocidad del serial

    pinMode( 6, OUTPUT); // Definimos el pin 6 como salida para el RELÉ
    digitalWrite( 6, LOW); // Iniciamos apagado el pin 6

    pinMode( 13, OUTPUT); // Definimos este pin como salida para el LED indicador en
la placa
    digitalWrite( 13, LOW); // Iniciamos apagado el LED indicador
}

/*Ejecuta la función serial_listen*/
void loop() {
    serial_listen();
}

void serial_listen() {
    if (Serial.available()) // Si se recibe datos en el serial se
ejecuta
    {
        digitalWrite( 13, HIGH); // Enciende el led indicador
        time_out = millis() + time_out_char; // Ejecutamos time_out= tomando los actuales
milisegundos y sumando los de la variable time_out_char tiempo de espera por un
nuevo carácter en el serial
        char inByte; // Definimos una variable inByte para
almacenar los caracteres recibidos
        int char_pos = 0; // Definimos esta variable para contar el
número de caracteres recibidos

        /* Si se cumple el time_out se ejecuta el ciclo while*/
        while (time_out > millis()) {

            if (Serial.available()) { // Definimos esta función para obtener
1 o 0 en el pin 6 del relé
                inByte = Serial.read(); // Se guarda el carácter recibido del
puesto serial en inByte
```

```

        time_out = millis() + time_out_char; // Aumentamos el tiempo en time_out
para cada carácter comparado

        if (char_pos < 4) { // Este ciclo if ayuda a identificar
el código de identificación
            if (inByte == id_slave[char_pos]) { // Compara la igualdad de caracteres
obtenidos en el serial con los almacenados en id_slave
                char_pos++; // Contador que define el fin del
ciclo if
            }
            else {
                /*Reinicia la lectura del puesto serial*/
                while (Serial.available()) {
                    inByte = Serial.read();
                }
                break; //deja de ejecutarse en caso de no cumplir inByte ==
id_slave[char_pos]
            }
        }

        else {

            if (char_pos == 4) { // Validamos el código de identificación único
                if (inByte == '0') { // Si el carácter después del código de
identificación es 0 = apagamos el relé
                    digitalWrite( 6, LOW); // Apagamos el relé
                }
                if (inByte == '1') { // Si el carácter después del código de
identificación es 1 = prendemos el relé
                    digitalWrite( 6, HIGH); // Prendemos el relé
                }

                /*Reinicia la lectura del puesto serial*/
                while (Serial.available()) {
                    inByte = Serial.read();
                }
                break; //Deja de ejecutarse en caso de no cumplir char_pos == 4
            }

            else {
                /*Reinicia la lectura del puesto serial*/
                while (Serial.available()) {
                    inByte = Serial.read();
                }
                break; //Volvemos a preguntar los datos obtenidos en el serial
            }
        }
    }
}
/*En caso de no recibir datos en el serial se apaga en LED*/
else {
    digitalWrite( 13, LOW);
}
}
end

```

## Anexo C.- Código de programación del dispositivo maestro

A continuación, se presenta el código de programación para la placa ESP8266 con la función de maestro.

```
//UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
//DESAGREGACION DE CARGAS POR POWER LINE COMMUNICATION
//DISPOSITIVO MAESTRO ESP8266
//AUTOR Ortiz L. Cristian A.
//DIRECTOR MSc. Francisco Naranjo Cobo
//Abril 2018

//Declaración de librerías
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ESP8266mDNS.h>
#include <EEPROM.h>

/*Declaramos las variables de conectividad wi-fi*/
struct {
  char ssid[20] = "SSID";
  char password[20] = "PASSWORD";
  char url_report[40] = "URL";
} data;

/*Definimos parámetros de conectividad wi-fi*/
#ifndef STASSID
#define STASSID "SERIAL110" //nombre del wi-fi
#define STAPSK "SERIAL110" //contraseña del wi-fi
#endif

/*Declaramos tipo de variable para el nombre y contraseña*/
const char* ssid = STASSID;
const char* password = STAPSK;

ESP8266WebServer server(80); //Definimos el puerto de la conexión wi-fi

/*Definimos la dirección IP y dirección de la máscara*/
IPAddress AP_IP(192, 168, 4, 1);
IPAddress gateway(192, 168, 4, 1);
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);

const int led = 4; //Declaramos el tipo de variable para el led indicador
de la placa del ESP8266

String comando_llego = ""; //Declaramos el tipo de variable para el comando que
enviamos del ESP8266 a los esclavos
String esclavo_num = ""; //Declaramos el tipo de variable para el comando que
recibimos del esclavo

int esclavos[3] = {123, 222, 333}; // Definimos el número total de esclavos [n] con
sus respectivos códigos de identificación únicos {1,2,3,n}

/*Función que contiene el código HTML (Interfaz gráfica)*/
void handleRoot() {
  digitalWrite(led, 1); // Se enciende el LED indicando el intercambio de
información por wi-fi

  /*Guardamos todo el código HTML en una variable String quedando de esta forma
almacenada en la memoria del ESP8266*/

  String html = "<!DOCTYPE html> <html lang=\"en\"> <head> <meta charset=\"utf-8\">
<title>ESP8266 ajax</title> <meta name=\"description\" content=\"ESP8266 ajax\">
</head> <style type=\"text/css\" media=\"screen\"> body,html { background-color:
#F0F0F0; } .cajasecc{ border: #000000 1px solid; width: 49%; display: inline-block;
```

```

} .consola{ max-height: 200px; overflow-y: scroll; background-color: #3e3e3e; color:
#7FED7F; } </style> <body> <h1>Controlador de clientes</h1> <div class="cajasecc">
<h2>Comandos</h2> <h3> Esclavo 0 <button type="button" onclick="comandos(1, 0);">
Encender </button> <button type="button" onclick="comandos(0, 0);"> Apagar
</button> </h3> <h3> Esclavo 1 <button type="button" onclick="comandos(1, 1);">
Encender </button> <button type="button" onclick="comandos(0, 1);"> Apagar
</button> </h3> <h3> Esclavo 2 <button type="button" onclick="comandos(1, 2);">
Encender </button> <button type="button" onclick="comandos(0, 2);"> Apagar
</button> </h3> </div> <div class="cajasecc" > <pre class="consola"
id="divrefresh"> <h2>Consola Serial</h2> </pre> </div> <script>
window.setInterval(function(){ var request = new XMLHttpRequest(); var elem =
document.getElementById('divrefresh'); request.onreadystatechange = function() { if
(this.readyState == 4 && this.status == 200) { if (this.responseText != null) {
elem.innerHTML = elem.innerHTML + this.responseText; elem.scrollTop =
elem.scrollHeight; } } }; request.open('GET', 'http://192.168.4.1/refresh', true);
request.send(null); }, 2000); function comandos(comando, esclavo_num) { var
server_comandos = 'http://192.168.4.1/comandos'; server_comandos = server_comandos +
'?comando=' + comando + '&esclavo_num=' + esclavo_num; var request_comando = new
XMLHttpRequest(); request_comando.onreadystatechange = function() { if
(this.readyState == 4 && this.status == 200) { if (this.responseText != null) {
console.log(this.responseText); } } }; request_comando.open('GET', server_comandos,
true); request_comando.send(null); } </script> </body> </html>";

```

```

server.send(200, "text/html", html);
digitalWrite(led, 0);
}

```

```

/*Función que actualiza los parámetros leídos en el puerto serial y los actualiza
en el interface gráfico sin necesidad de actualizar el navegador */

```

```

void handlerrefresh() {
    digitalWrite(led, 1); // Encendemos el led al ejecutar una
actualización
    String html = Serial.readString(); // Actualizamos los parámetros del puerto
serial
    server.send(200, "text/plain", html); // Actualizamos los parámetros en el
navegador después de 200 milisegundos
    digitalWrite(led, 0); // Apagamos el led al ejecutar una
actualización
}

```

```

/*Función que ayuda a decodificar los comandos obtenidos del interfaz gráfica y
enviarlos a los esclavos */

```

```

void handlecomandos() {
    digitalWrite(led, 1); // Encendemos el led
    String comando_serial = "#"; // Definimos el caracter # en la variable
comando_serial

    if (server.args()) {

        /* Ciclo for el cual nos ayuda a verificar la información del interfaz grafico
con los datos almacenados en el servidor*/
        for (uint8_t i = 0; i < server.args(); i++) {

            if (server.argName(i) == "comando") { // Se lee el comando 1 o 0 para
encender o apagar el relé del esclavo
                comando_llego = server.arg(i); // Guardamos la variable server.arg en
comando_llego
            }

            if (server.argName(i) == "esclavo_num") { // Se lee el código de
identificación único del esclavo
                esclavo_num = server.arg(i); // Guardamos la variable
server.arg en esclavo_num
            }
        }
        comando_serial += esclavos[esclavo_num.toInt()]; // Guardamos la variable
esclavos[esclavo_num.toInt()] en comando_serial
    }
}

```

```

    comando_serial += comando_llego;           // Guardamos la variable
comando_llego en comando_serial
    Serial.println(comando_serial);           // enviamos por el puerto
serial la variable comando_serial
}

String html = "comando: ";                   // Definimos la variable html
html += comando_serial;                       // Guardamos la variable comando_serial en
html
server.send(200, "text/plain", html); // Actualizamos los parámetros en el
navegador después de 200 milisegundos
digitalWrite(led, 0);                       // Apagamos el LED
}
/* Función que nos indica un mensaje en la interfaz gráfica en caso de existir un
error*/
void handleNotFound() {
    digitalWrite(led, 1);                   // Encendemos el LED
    String message = "File Not Found\n\n"; // Definimos el mensaje de error a
visualizar
    message += "URI: ";                     // Mensaje de error
en URI:
    message += server.uri();                 // Indicamos el
server.uri
    message += "\nMethod: ";                 // Mensaje de error
en \nMethod:
    message += (server.method() == HTTP_GET) ? "GET" : "POST"; // Indicamos el
server.method == HTTP_GET
    message += "\nArguments: ";             // Mensaje de error
en \nArguments:
    message += server.args();                 // Indicamos el
server.args
    message += "\n";                         // Espacio en el
mensaje

/*Ciclo que nos ayuda a una actualización de la interfaz gráfica */
for (uint8_t i = 0; i < server.args(); i++) {
    message += " " + server.argName(i) + ": " + server.arg(i) + "\n";
}
/* Se define la estructura del mensaje de error*/
server.send(404, "text/plain", message);
digitalWrite(led, 0);
}

void setup(void) {
    pinMode(led, OUTPUT); // Definimos el LED como salida
    digitalWrite(led, 0); // Iniciamos apagado el LED
    Serial.begin(1200); // Definimos la velocidad del serial
    Serial.println("esp"); // Se envía el mensaje "esp"
    WiFi.mode(WIFI_AP); // Iniciamos el wi-fi como punto de acceso

    if (WiFi.softAPConfig(AP_IP, gateway, subnet)) { //Se da inicio a los parámetros
configurados para el wi-fi
    }
    WiFi.softAP(ssid, password); // De da acceso a la conexión wi-fi con las
credenciales correctas

    if (MDNS.begin("serial")) { // Se da inicio al servidor previo a la correcta
conexión wi-fi
    }

    /* Se define las propiedades del servidor y se da inicio*/
    MDNS.addService("http", "tcp", 80); // Se define las propiedades del
servidor
servidor
    MDNS.update(); // Se envía las funciones del servidor
    server.on("/", handleRoot); // Se da inicio a la función handleRoot
    server.on("/index.html", handleRoot); // Se da inicio a la función handleRoot
como /index.html
}

```

```
    server.on("/refresh", handlerrefresh);    // Se da inicio a la función
handlerrefresh /refresh
    server.on("/comandos", handlecomandos); // Se da inicio a la función
handlecomandos /comandos
    server.onNotFound(handlerNotFound);      // Se da inicio a la función
handlerNotFound que nos indica errores en la comunicación
    server.begin();                          // Se indica que escuche las conexiones
entrantes
}

void loop(void) {
    server.handleClient(); //Se ejecuta la función handleClient
}
end
```

## Anexo D.- Código de programación Java script

```
//UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
//DESAGREGACION DE CARGAS POR POWER LINE COMMUNICATION
//DISPOSITIVO MAESTRO ESP8266
//AUTOR Ortiz L. Cristian A.
//DIRECTOR MSc. Francisco Naranjo Cobo
//Abril 2018
<script>

window.setInterval(function(){
varrequest=newXMLHttpRequest();
varelem=document.getElementById('divrefresh');
request.onreadystatechange=function(){
if(this.readyState==4&&this.status==200){

if(this.responseText!=null){
elem.innerHTML=elem.innerHTML+this.responseText;
elem.scrollTop=elem.scrollHeight;
}
}
};
request.open('GET','http://192.168.4.1/refresh',true);
request.send(null);
},2000);

functioncomandos(comando,esclavo_num){
varserver_comandos='http://192.168.4.1/comandos';
server_comandos=server_comandos+'?comando='+comando+'&esclavo_num='+esclavo_num;
varrequest_comando=newXMLHttpRequest();
request_comando.onreadystatechange=function(){
if(this.readyState==4&&this.status==200){
if(this.responseText!=null){
console.Log(this.responseText);
}
}
};
request_comando.open('GET',server_comandos,true);
request_comando.send(null);

}

</script>
</body>
</html>
```

## Anexo E.- Código HTML

```
//UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
//DESAGREGACION DE CARGAS POR POWER LINE COMMUNICATION
//DISPOSITIVO MAESTRO ESP8266
//AUTOR Ortiz L. Cristian A.
//DIRECTOR MSc. Francisco Naranjo Cobo
//Abril 2018
```

```
<!DOCTYPEhtml>
<htmllang="en">
<head>
<metacharset="utf-8">

<title>ESP8266ajax</title>
<metaname="description"content="ESP8266ajax">

</head>
<styletype="text/css"media="screen">
body,html

{
background-color:#F0F0F0;
}

.cajasecc{
border:#0000001pxsolid;
width:49%;
display:inline-block;
}

.consola{
max-height:200px;
overflow-y:scroll;
background-color:#3e3e3e;
color:#7FED7F;
}

</style>
<body>

<h1>Controladordeclientes</h1>

<divclass="cajasecc">
<h2>Comandos</h2>

<h3>
Esclavo0
<buttontype="button"onclick="comandos(1,0);">
Encender
</button>
<buttontype="button"onclick="comandos(0,0);">
Apagar
</button>
</h3>

<h3>
```

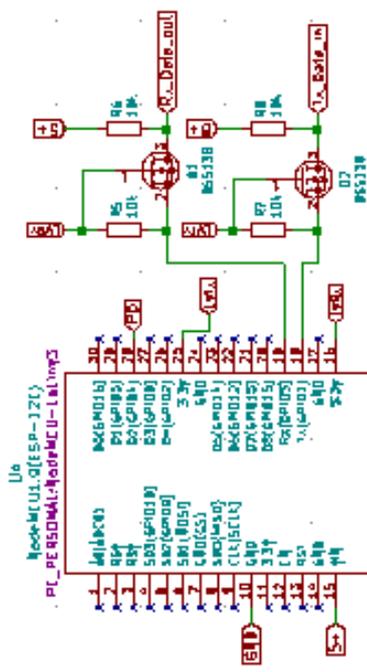
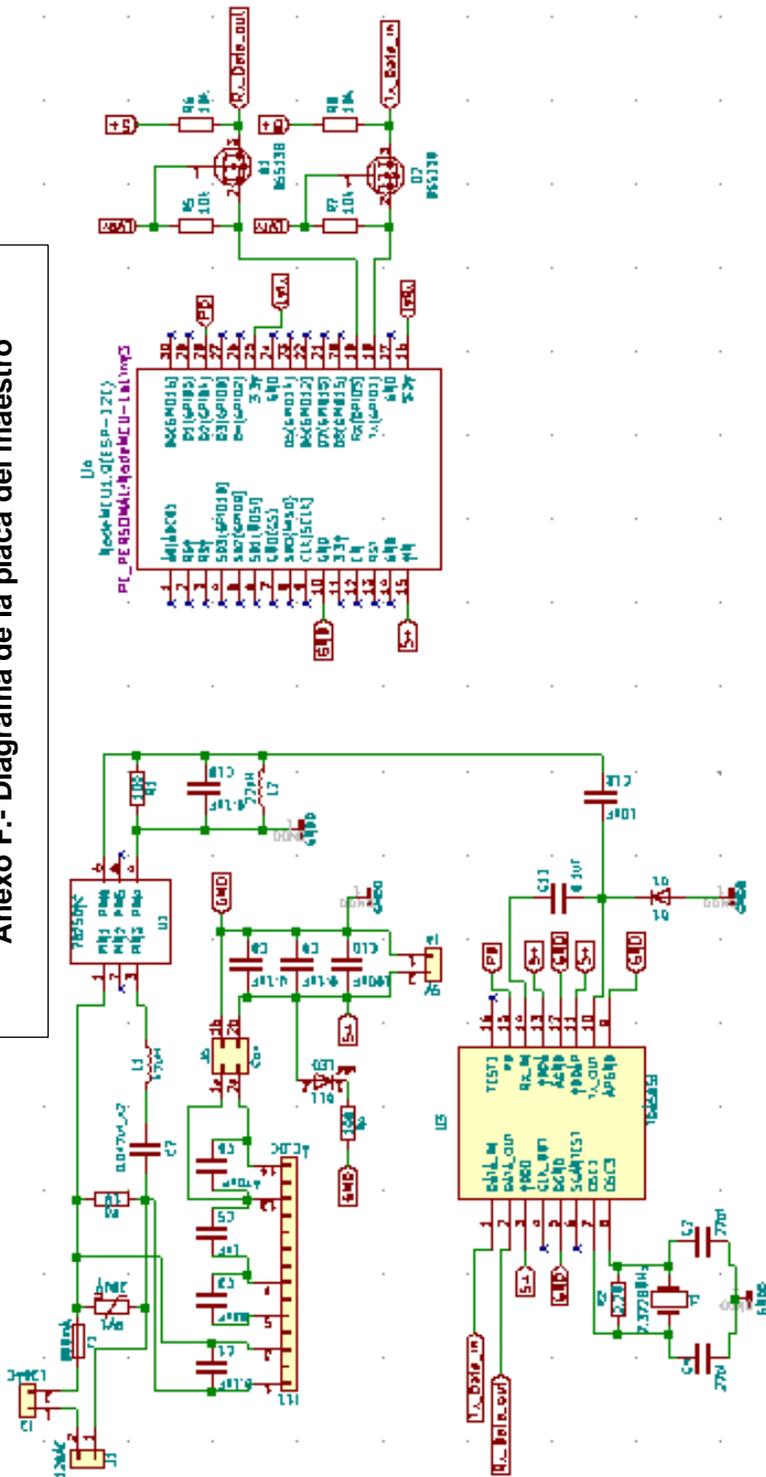
```
Esclavo1
<button type="button" onclick="comandos(1,1);">
Encender
</button>
<button type="button" onclick="comandos(0,1);">
Apagar
</button>
</h3>

<h3>
Esclavo2
<button type="button" onclick="comandos(1,2);">
Encender
</button>
<button type="button" onclick="comandos(0,2);">
Apagar
</button>
</h3>
</div>

<div class="cajasecc">
<pre class="consola" id="divrefresh">
<h2>ConsolaSerial</h2>
</pre>
</div>

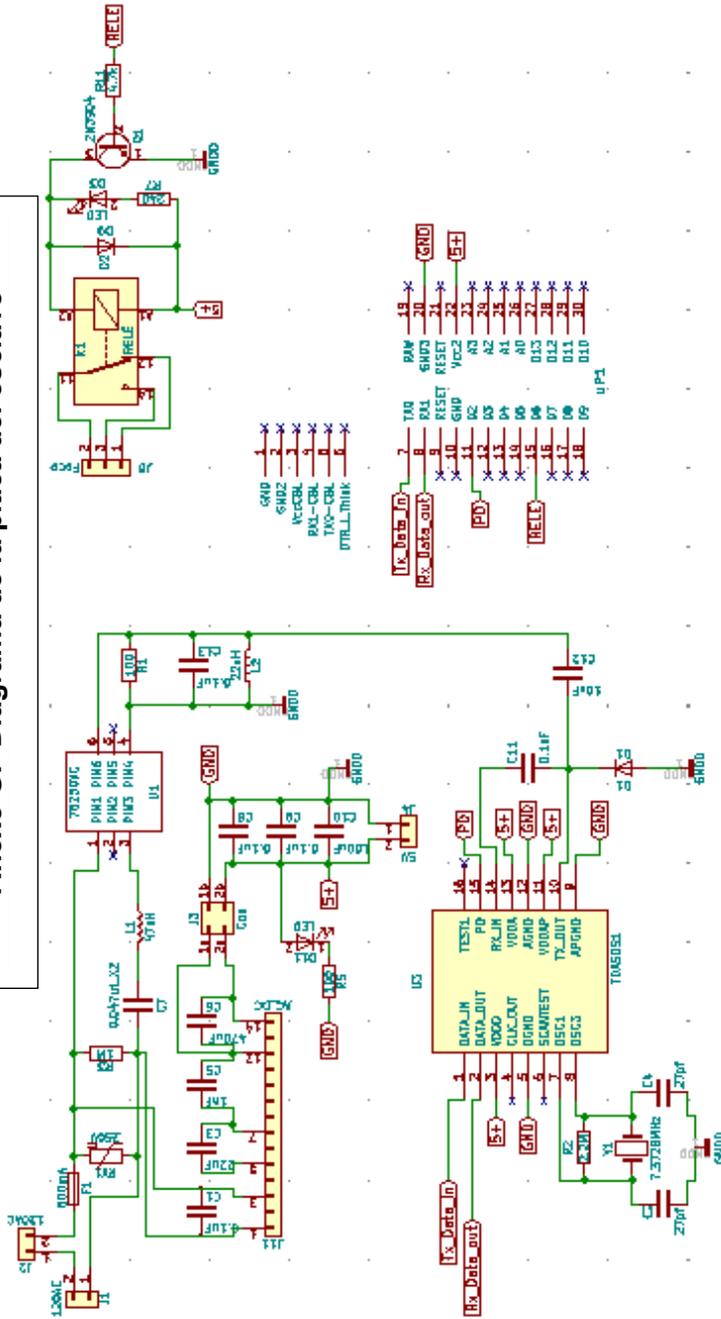
<script>
```

## Anexo F.- Diagrama de la placa del maestro



Autor: Christian Alberto Ortiz Loza  
 Director: Ph.D. José A. Realdeiro Z.  
 Almacén: Siles  
 Universidad Técnica Del Norte  
 Sheet: /  
 File: Placa\_T7.ash  
**Título: Diagrama de la placa del maestro**  
 Date: 2019-01-02  
 Date: 2019-01-02  
 Date: 2019-01-02  
 Date: 2019-01-02

## Anexo G.- Diagrama de la placa del esclavo



TX_Data_in	2	TAD	19	+
RX_Data_out	3	RAL	20	GRD
	4	GM03	21	+
	5	RESET	22	5+
	6	VCC2	23	+
	7	GM0	24	+
	8	A0	25	+
	9	A1	26	+
	10	A2	27	+
	11	A3	28	+
	12	A4	29	+
	13	A5	30	+
	14	AD	31	+
	15	AD	32	+
	16	AD	33	+
	17	AD	34	+
	18	AD	35	+
	19	AD	36	+
	20	AD	37	+
	21	AD	38	+
	22	AD	39	+
	23	AD	40	+

Aubr\_Cristian Alexis Ortiz Lara  
 Director PhD. José A. Restrepo Z.  
 Placa Slave  
 Universidad Técnica Del Norte  
 Sheet: /  
 File: Placa\_Tech  
**Título Desagregación de cargas por "Power Line Communication"**  
 Size: 44 Date: 2019-03-02 Rev: 1.15  
 Ricard E.O.A. Ricard (5-1-6)-1 Id: 1/1