



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Desarrollo y diseño de una interfaz para una red de PLC's basada en internet de las cosas

TESIS

Para obtener el grado de
MAESTRO EN MECATRÓNICA

PRESENTA

Angel Amisadai Ba Villarreal

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Freddy Ignacio Chan Puc

ASESORES

Dr. Homero Toral Cruz

Dr. Jorge Ovidio Aguilar Aguilar

Dr. Guillermo Becerra Núñez

Dr. Víctor Manuel Sánchez Huerta





UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN MECATRÓNICA

COMITÉ DE TESIS

Director:

DR. FREDDY IGNACIO C. JANPUC

Asesor:

DR. HOMERO TORAL CRUZ

Asesor:

DR. JORGE OVIDIO AGUILAR AGUILAR

Asesor:

DR. GUILLERMO BECERRA NUÑEZ

Asesor:

DR. VÍCTOR MANUEL SÁNCHEZ HUERTA



Chetumal, Quintana Roo, México, noviembre de 2021

DEDICATORIA

A mi madre por apoyarme en todo este proceso y apoyarme sin importar la distancia, también a mi padre que no se encuentra con nosotros en vida, pero sin ellos yo no podría haber llegado hasta aquí.

A mis compañeros y amigos que me ayudaron directa e indirectamente para poder finalizar el posgrado.

A mis profesores que me dieron las herramientas necesarias para poder realizar y cumplir con la maestría.

A Digna Vázquez Rosas que es un claro ejemplo de una persona que, a pesar de los obstáculos de la vida, siempre pudo salir adelante.

Dedico este trabajo de investigación a todos los involucrados sin importar el orden mencionado.

Agradecimientos

Al CONACYT por proporcionar los medios para realizar el posgrado y a mi familia que siempre me apoyo en todo este tiempo.

Resumen

Se presenta el diseño de un acondicionador universal de señales (AUS) que permita incorporar a cualquier controlador lógico programable (PLC) a una red WIFI independientemente de su voltaje de operación tanto para sus entradas y salidas. El AUS se incorpora a un microcontrolador NodeMCU ESP8266 optimizado para la tecnología de internet de las cosas (IOT). Se presente el análisis y la simulación, así como las pruebas experimentales para el acondicionador de señales y la implementación de un primer prototipo con 8 AUS para cualquier tipo de PLC.

Palabras Clave: PLC, Automatización, Internet de las cosas.

Abstract

The design of a universal signal conditioner (AUS) is presented, which allows any programmable logic controller (PLC) to be incorporated into a WIFI network regardless of its operating voltage for both its inputs and outputs. The AUS is built on a NodeMCU ESP8266 microcontroller optimized for Internet of Things (IoT) technology. The analysis and simulation are presented, and the experimental test for the signal conditioner and the implementation of a prototype with 8 AUS for any PLC.

Keywords: PLC, automation, IoT.

Contenido	
Contenido	5
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Identificación del Problema	2
1.2 Justificación del Problema	3
1.3 Objetivo General	3
1.4 Objetivos Específicos	3
1.5 Alcances y Limitaciones	3
Capítulo 2. Estado del arte	4
2.1 Historia de la domótica/inmótica	4
2.2 Domótica	5
2.3 Inmótica	7
2.3.1 Características de la inmótica	8
2.3.2 Pilares de la inmótica	9
2.3.3 Topología de red	10
2.3.4 Tipos de Arquitectura	13
2.3.5 Medios de transmisión	16
2.3.6 Protocolos de comunicación	16
2.3.7 Velocidad de transmisión	19
2.3.8 Comunicaciones inalámbricas	19
2.3.8.1 Wi-Fi	20
2.3.8.2 Bluetooth	21
2.3.8.3 Protocolo IEEE 802.15.4	23
2.3.8.4 ZigBee	23
2.3.9 Componentes básicos de un sistema inmótico	24
2.3.10 Pilares de la inmótica	27
2.3.11 Inmótica para edificios existentes	28
2.4 PLC y su historia	28
2.4.1 PLC	29
2.4.2 Clasificación del PLC	32
2.4.3 Estructura de un PLC	32
2.4.4 Programación del PLC	38
2.4.4.1 Norma IEC 1131-3	38
2.4.4.2 Tipos de lenguajes de programación de PLC	39
2.4.4.2.1 Lenguaje ladder	39
2.4.4.2.2 Lenguaje Booleano (Lista de instrucciones)	41
2.4.4.2.3 Lenguaje de funciones (FDB)	41

2.4.4.2.4 Diagrama de funciones secuenciales (Sequential function chart, SFC).....	41
2.5 Microcontroladores.....	42
2.5.1 NodeMCU ESP8266.....	43
2.5.2 LUA	45
2.5.3 MCU.....	45
2.5.4 SRAM y ROM Interna.	46
2.6 Internet de las cosas (Iot).....	46
2.6.1 Blynk	46
2.7 Diodo zener	47
2.8 Fuente de alimentación estabilizada con diodo zener.....	50
Capítulo 3. Metodología	53
3.1 Etapa del diseño del circuito acondicionador.....	54
3.2 PCB del circuito acondicionador.....	64
3.3 Programación del ESP8266.....	65
3.4 Programación en Blynk.....	67
3.5 Implementación del sistema acondicionador para una red de PLC.....	68
3.6 Implementación de la red de PLC en BLYNK.....	70
Capítulo 4. Resultados experimentales	72
4.1 Conclusión	75
Referencias	77

Capítulo 1. Introducción

Con el constante avance tecnológico de los últimos años ha posibilitado la aparición y el desarrollo progresivo de sistemas automáticos de todo tipo. La automatización permite transferir tareas o actividades requeridas para llevar a cabo un proceso mediante un conjunto de elementos tecnológicos, los cuales interactúan entre sí, a través de un dispositivo programable que monitorea y procesa las variables de proceso, entregando a su vez señales de comando a los dispositivos actuadores [1][2].

El origen de las casas inteligentes provino de la demanda de los edificios inteligentes en los inicios de la década de los 80 con el auge del mercado que deseaba integrar a los edificios de nuevos sistemas de control, computadoras y de las telecomunicaciones. El sector de la vivienda es uno de los sectores donde se han mantenidos constantes a las incorporaciones de las nuevas tecnologías. Y es hasta la década de los 90 cuando se consolida el desarrollo de los edificios automatizados donde se buscaba proveer el máximo confort al usuario como tarea principal [3].

Es aquí cuando la automatización en las viviendas y edificios comienza a ser considerada como un elemento diferenciador de aquellos edificios que cuidan con especial detalle de la comodidad de los usuarios, basándose de elementos innovadores de la época, de manera que progresivamente a la vivienda se le fue incorporando elementos como sensores de movimiento, sensores de inundación, termostatos con múltiples funciones, automatización de persianas, sistemas de alarmas conectados a la policía, etc. Con todo lo incorporado se inicia una manera de valoración monetaria de las nuevas edificaciones con las tradicionales restándoles valor económico y remarcar su desfase de tiempo [3].

Hoy en día todos los edificios son diseñados y construidos con propósitos específicos y por lo tanto el diseño de algunos está dirigido para un mercado en particular, en su mayor parte los dispositivos de control ahora están al alcance económico para uso en la vivienda y edificios más pequeños; permitiendo que nuevos términos como la domótica, término nacido en Francia que proviene de *domus*, que en latín significa “casa” y *tica* de automática, que juntos hacen referencia a la aplicación del edificio inteligente en la casa habitación [8] [9].

Con el surgimiento de esta tecnología se ha logrado una nueva evolución muy notable dando lugar al concepto de la inmótica, que posee características usadas para la creación de edificios inteligentes. La inmótica, un concepto fundamental en el desarrollo de este presente trabajo de investigación; surge de la unión de los términos “inmueble” y “automatismo” y se refiere a la automatización de los edificios de usos terciarios y tiene como objetivos muy similares a la domótica (automatización de las viviendas) que son el reducir el consumo energético, aumentar el confort y seguridad tanto del mismo edificio, así como de los usuarios por medio de la utilización conjunta de la electrónica, electricidad, robótica, informática y de las telecomunicaciones [10]

Los orígenes de la inmótica en el mundo se pueden situar alrededor del año 1970, fecha en que se comienzan a llevar a cabo las primeras iniciativas e investigaciones relacionados a los

edificios inteligentes. Paralelamente a esto, también el rápido desarrollo de las telecomunicaciones provocó que los procesadores fueron empleados en una variedad de tareas que el ser humano realizaba en la industria y cotidianamente. Esta tendencia evolutiva de los dispositivos electrónicos da como resultado el surgimiento de los primeros dispositivos para la automatización utilizados en máquinas que facilitaban tareas repetitivas o difíciles de hacer a gran escala [10].

El Controlador Lógico Programable o PLC como se le conoce normalmente se diseñó en los años 1963 con el fin de eliminar los grandes tables de control en los que se encontraban relevadores de control, temporizadores y contadores. Estos dispositivos contaban con un cableado que era demasiado complejo por lo que, al momento de buscar fallas, o modificar los procesos era necesario invertir un tiempo significativo para reparar o modificar el funcionamiento de la máquina, tiempo que detenía la producción de la empresa y que significaban pérdidas a sus ingresos. No fue que hasta el año de 1977 cuando se logra la integración de los PLC compactos; que fueron basados en comandos simples como: set (poner) y reset (restablecer), que además utilizaban configuraciones jerárquicas como parte de un sistema integrado de manufactura.

Con la llegada del PLC se logra la integración en procesos de utilidad en las casas, o de usos terciarios para que puedan funcionar en tareas específicas o controlar cualquier tipo de procesos dentro de estos, de manera que pueda activar una gran cantidad de salidas a actuadores. Y en años recientes el auge de las telecomunicaciones y el internet de las cosas han ocasionado un sinnúmero de aplicaciones para la inmótica.

1.1 Identificación del Problema

Debido al constante crecimiento y expansión de edificios de usos terciarios, surge la necesidad de expandir los sistemas de control y monitoreo, iluminación, aire acondicionado, rendimiento energético, etc. Todo esto antes mencionado es posible gracias al uso de los controladores lógicos programables, pero a pesar de ser muy utilizados también existen ciertos problemas que se presentan como los siguientes:

- Debido a la antigüedad del PLC que pueden ser discontinuados y por ende no se pudieran contar con la misma versión de PLC del Fabricante.
- Existen problemas de conexión en el protocolo de comunicación o incompatibilidad de software con los nuevos PLC incluso siendo del mismo fabricante.
- Querer utilizar un PLC más económico de diferente fabricante.

Entre los problemas antes mencionados y otros que pudieran ocurrir; como consecuencia; ocasionarían la creación de nuevas islas de PLC con otros protocolos de comunicación para poder realizar las nuevas tareas, con ello otros softwares de monitoreo y control, otros sistemas para la alimentación energética de estos equipos, etc. Y para el usuario traería un costo extra a contemplarse.

Para ello se plantea el desarrollo y diseño de un acondicionador universal que pueda proveer la interconexión en una red de PLC sin importar los voltajes de operación en un rango de 12V en corriente continua mínima hasta 110 V en corriente alterna como máximo, para cualquier marca

de PLC de manera que se asegura el funcionamiento de estos para aplicaciones de monitorización en una sola plataforma de fácil manejo para el usuario.

1.2 Justificación del Problema

La propuesta de este trabajo de investigación pretende desarrollar una interfaz electrónica capaz de proveer conectividad entre los diferentes PLC nuevos y/o existentes sin importar el fabricante y rango de voltaje de operación de estos; ya sea con corriente continua o corriente alterna para aplicaciones de monitoreo en la inmótica, debido a que estos sistemas son muy populares en la actualidad por la inclusión de las nuevas tendencias de telecomunicaciones en dispositivos móviles y también como objeto de investigación de referencia porque en nuestro país no se conoce mucho el uso de microcontroladores para estos sistemas y más aún la falta de conocimiento de las edificaciones que incorporan estas tecnologías. La aplicación de la interfaz de conexión electrónica tiene otras aplicaciones en la industria y no está limitado solamente a la inmótica. Con las nuevas innovaciones que trae el constante desarrollo de las telecomunicaciones y los sistemas de control, las aplicaciones donde pueda ser utilizado quedan a disposición del tema de investigación y/o para futuros diseños de optimización.

1.3 Objetivo General

Desarrollar e implementar una interfaz universal para controladores lógicos programables (PLC) que proporcione conectividad y tenga como base la utilización la tecnología iot.

1.4 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de las tecnologías existentes para redes de controladores lógicos programables.
- Desarrollar un acondicionador de señales que permita conectar cualquier tipo de Controlador lógico programable a un sistema embebido.
- Desarrollar la interfaz universal para proveer conectividad remota al controlador lógico programable basado en internet de las cosas.
- Desarrollar una plataforma de visualización y control remoto, de los estados de la red del controlador lógico programable, basado en internet de las cosas.

1.5 Alcances y Limitaciones

Los alcances contemplados en esta propuesta son los siguientes:

- Se contemplará el diseño del hardware para el acondicionamiento de señales que permita ser interconectado a un amplio rango de señales de funcionamiento de los diferentes autómatas.
- El diseño de una interfaz gráfica que permita el monitoreo de los estados de los controladores lógicos programables (PLC).

Capítulo 2. Estado del arte

Desde que el ser humano hace uso de la razón siempre ha tenido la gran necesidad de buscar cobijo en cuevas o en cuatro paredes a las cuales llamó hogar; un recinto o lugar donde se pueda sentir resguardado de la intemperie y que también pueda albergar a sus seres queridos junto con sus bienes; a lo largo de la nuestra historia dichos recintos han ido evolucionando y modernizándose según la tecnología disponible de la época y sobre todo de acuerdo con las necesidades de los usuarios. Es por estas razones que el sector de la construcción se encuentra en constante evolución debido al rápido avance tecnológico y motivado por el deseo del ser humano a facilitar tareas de la vida cotidiana, es de esta manera que en nuestros días las viviendas y las edificaciones son planeados y construidos para cierta finalidad, como dar confort y seguridad de los usuarios, lo cual son metas cada vez más posibles de realizar con la llegada de la automatización industrial y del avance de la domótica e inmótica.

2.1 Historia de la domótica/inmótica

La automatización o el automatismo como tal nace en el siglo XIX con el desarrollo industrial, el cual por primera vez no permitía establecer y controlar los procesos productivos a tal punto que muchas industrias comenzaron a confiar en gran parte de sus fases de producción a las tareas de automatización y temporizadas [11].

De manera que debido a esto, es imposible precisar una fecha concreta para el nacimiento de la domótica y de la inmótica ya que no se trata de un hecho puntual sino de toda una evolución que comenzó con el control de los llamados edificios inteligentes y con el tiempo se ha ido adaptando a las necesidades propias de las viviendas, pero se estima que fue en los Estados Unidos a finales de la década de los setenta y principio de los ochenta debido a la crisis energética mundial de dicha fecha y por la necesidad del ahorro de energía, lo cual obligó a un consumo de la energía lo más racional posible, de esta manera requiriendo una mayor precisión en los equipos de control [12].

Otros autores dicen que la domótica tiene sus inicios por los años 1976 aproximadamente en un lugar llamado Glenrothes, una población escocesa donde la empresa pico Electronics Ltd desarrolló el primer lenguaje para que ciertos dispositivos electrónicos pudieran comunicarse pero sobre todo a entenderse entre sí; y a toda esta investigación le pusieron por nombre como “protocolo X10” y es debido a que los encargados de este protocolo fueron 10 personas, pero el proyecto en su totalidad fue considerado muy rustico en ese momento y no logró una popularidad que se esperaba [17].

Posteriormente a esto, a inicios de la década de los 80, es cuando existe un gran desarrollo en los medios físicos para la comunicación. Fue durante estos años cuando surgieron los protocolos como el EIB que fue desarrollado por la empresa siemens y el batibus por la empresa francesa Schneider Electric [18].

Si bien cómo podemos constatar ha sido de manera gradual y esto es que en las primeras experiencias con dichas tecnologías (domótica e inmótica) fueron cambiando poco a poco con la llegada de los nuevos sistemas de calefacción y climatización orientados al ahorro de energía, los primeros sistemas se controlaban mediante el envío de señales a través de las redes eléctricas, pero gracias al desarrollo de la electrónica de bajo costo vino a beneficiar a la rápida expansión de estos sistemas orillándolos a evolucionar de manera que se les incorporo emisores y receptores más avanzados para que reciban las señales de control y las transformen en una acción determinada, es de esta manera que se va despertando el interés de la rama de construcción por la búsqueda del “edificio/casa ideal”.

A inicios de los años noventa en España, se hacen los primeros ensayos con electrodomésticos automatizados, mismos que junto con el desarrollo de los ordenadores y de los sistemas de cableado dieron con una estructura para iniciar pruebas en aplicaciones de control, seguridad y comunicaciones que actualmente son las condiciones fundamentales que rigen a las tecnologías de la domótica e de la inmótica [12].

Con el nacimiento de la domótica en España y junto con una oferta francesa, se lleva a cabo una iniciativa innovadora a la cual se le denomino “Eureka” y dentro de este programa nace el proyecto conocido como “Proyecto IHS (Integrated Home System), el cual se desarrolló por los años 1987 y el año 1988 dando lugar al ESPRT (European Scientific Programmed for Research and Development in Information Technology) cuyo objetivo fue la de emitir una norma de integración de sistemas electrónicos domóticos y analizar los campos de futuras aplicaciones de los sistemas, posteriormente en Francia se denomina con el nombre de “domotique” al concepto de vivienda que integra a todos los procesos de automatización; como seguridad, gestión de la energía, comunicaciones y confort [12].

2.2 Domótica

El término Domótica se deriva del francés “domotique” que es la contracción del latín “domus” que significa “casa” y la palabra “automatique” que significa “automatica”; por lo tanto, la domótica se refiere a una casa automática o inteligente. La domótica es un concepto muy amplio porque consiste en integrar diversos sistemas y se refiere a la integración de distintas tecnologías en las viviendas mediante el uso simultaneo de las telecomunicaciones, la electrónica, la informática y la electricidad para tareas de automatización, monitoreo y control con acceso remoto a los dispositivos electrodomésticos y/o sistemas eléctricos en la vivienda [8]; y su objetivo es poner a disposición del usuario un sistema que sea capaz de albergar un conjunto de sistemas para mayor comodidad y versatilidad de control. La idea principal de la integración es que en conjunto estos elementos interactúen entre sí para conseguir en muchos casos un fin en común.

La domótica puede entenderse también como un sistema inteligente que consta una red de comunicación configurada de tal manera que exista interconexión de una serie de dispositivos que permitan obtener información acerca del entorno arquitectónico de la vivienda con el fin de realizar tareas automáticas y tomar las decisiones para satisfacer necesidades básicas de seguridad, comunicación, gestión energética, confort del usuario y de su entorno. Hoy en día también se puede asociar sobre todo en ámbitos de telecomunicaciones por la interconexión de

los aparatos a los sistemas digitales. Con el desarrollo y proliferación del internet se ha incrementado exponencialmente la capacidad de los nuevos sistemas domóticos para recopilar la información para posteriormente almacenarla, transmitirla, recibirla y procesarla desde otros medios, por lo que su capacidad de aplicaciones está siendo llevado a otras ramas como lo es la inmótica [5].



Figura 2.1. Esquema general de una vivienda domótica

La información que se recopila por los distintos sensores en la vivienda puede ser utilizado en alguna interfaz donde el usuario puede interactuar directamente y podrá visualizar mediante indicadores lo siguiente:

- Estados de puertas y ventanas (abiertos o cerrados).
- Humedad relativa (Interior y exterior).
- Humedad de áreas verdes (sí existen áreas).
- Nivel de iluminación de distintas áreas de la vivienda, etc.
- Temperatura.

Todo este dependerá de que tan complejo quisiera tener su sistema y que acciones podría tomar el usuario a través de la programación del sistema como, por ejemplo: Cerrar determinada persiana, accionar el sistema de riego de algún área verde o apagar luminarias de cierta habitación todo esto remotamente. Otra manera sería automatizar las acciones con cierta programación; que bajo el cumplimiento de ciertos parámetros el sistema pueda ejecutar acciones determinadas como contraer toldos si el viento es demasiado fuerte, apagar luminarias si no existe personas la habitación o área, accionar alguna bomba de agua si el nivel de agua es inferior, etc.

2.3 Inmótica

La inmótica es la extensión de la Domótica, pero aplicado a las grandes instalaciones, por ejemplo: Un aeropuerto, estaciones de transporte, hoteles, centros comerciales y edificaciones terciarias en general. Como se ha mencionado en textos anteriores de este documento de investigación la domótica y la inmótica están estrechamente ligados una con otra tanto que incluso comparten significados, donde la única diferencia de estos radica en sus aplicaciones. Ya que la domótica se dedica a la automatización de las viviendas en donde su principal objetivo es la búsqueda de la calidad de vida en el hogar, y la inmótica por su parte a pesar de que es un término poco conocido hace referencia a la automatización de edificios en general en donde su objetivo principal es la búsqueda de la calidad en el trabajo [12].

En mucho tiempo la construcción de las edificaciones solo eran construcciones sin ninguna finalidad más que la de crear un entorno agradable para vivir o para trabajar, pero en los últimos años este concepto ha ido cambiando con el desarrollo de la inmótica y es por ello que ahora se da un mayor énfasis a la etapa de planeación de la edificaciones para que posteriormente a su construcción se puedan incorporar todos los elementos necesarios para conseguir un ambiente productivo y posteriormente llegar al concepto de “Edificio Inteligente” en toda la envergadura de su significado.



Figura 2.2. Esquema general de un edificio inmótico.

La inmótica tiene un sin número de aplicaciones; las cuales pueden llegar a ser fáciles o incluso complejos, según como el usuario final lo requiera, y esto se puede traducir en el encendido o apagado de luces o en el subir o bajar persianas, regulación de la calefacción, etc. Pero cuando se habla de estas tecnologías hay que pensar en el concepto de control integrado de los dispositivos electrónicos y eléctricos de los recintos ya sea de forma presencial o de forma remota. En los sistemas inmóticos se debe tomar en cuenta el tipo de construcción de la edificación terciaria,

por ejemplo, las necesidades de un aeropuerto no son las mismas que la de un centro comercial y tampoco son las mismas necesidades que de una oficina.

2.3.1 Características de la inmótica

Un sistema inmótico es caracterizado por la integración de varios elementos y servicios en un mismo sistema, a este conjunto de sistemas tienden a compartir un único sistema de comunicación definiendo un protocolo común; un protocolo es una serie de normas a nivel de los distintos componentes que rigen el intercambio de información que permita un diseño compatible. Es entonces que un sistema inmótico tiene las principales características [11]:

- **Integral.** Debe ser integral; debe existir una comunicación entre los subsistemas existentes dentro de la edificación para el intercambio constante de información.
- **Flexible.** Debe ser desarrollado de manera que cuando el sistema aumente en tareas dependiendo de las necesidades a satisfacer, también debe permitir la integración de nuevos dispositivos sin que represente un gasto elevado ni el doble de esfuerzo que en un principio se planificó.
- **Simple.** Debe ser simple y fácil de utilizar; sí posee una interfaz de mando, esta debe ser sencilla e intuitiva para que los usuarios puedan manejarlo sin ningún inconveniente.
- **Modular.** Para que pueda permitir la fácil ampliación de nuevos servicios dentro de la edificación cuando este lo requiera, con esta característica se pueden evitar fallos que afecten en su totalidad al edificio.

Las características antes mencionadas son consideradas como importantes, pero también generales de un sistema inmótico, porque existen otras características más específicas para el diseño del sistema inmótico desde el punto de vista del usuario y desde el punto de vista técnico.

Desde el punto de vista del usuario.

Dependiendo del tipo y finalidad que el usuario tenga para la edificación, las características que podrías considerarse son los siguientes:

- Facilidad de ampliación e incorporación de nuevas funciones.
- Posibilidad de preinstalación del sistema inmótico en la fase de construcción.
- Facilidad y simplicidad de uso.
- Que el sistema inmótico tenga variedad de elementos de control.
- Control remoto a distancia y dentro de la edificación.

Desde el punto de vista técnico.

Desde el punto de vista del diseñador se deben tener las siguientes características.

- Topología de red de comunicación.
- Tipo de arquitectura.
- Medios de transmisión.
- Protocolos de comunicación.
- Velocidad de transmisión.

2.3.2 Pilares de la inmótica

Un sistema inmótico gestiona los siguientes servicios principalmente:

- **Ahorro energético.** Cuando se habla del control de la energía realmente se refiere al ahorro energético el cual se encarga de gestionar y administrar la energía eléctrica con el uso d temporizadores, relojes programados, termostatos entre otros dispositivos más utilizados, además de hacer referencia:
 - Uso racional de la carga.
 - Programación automática de la temperatura de los aires acondicionados.
 - Zona de control de la iluminación con el encendido y apagado de las luces interiores y exteriores dependiendo del grado de luminosidad del ambiente, detección de presencia, etc.
 - Desconexión de los equipos eléctricos de uso no prioritario en función del consumo eléctrico en un momento dado.
 - El uso correcto de las tarifas, designando el funcionamiento solo de ciertos dispositivos eléctricos en un momento dado.
 - Detección de apertura de ventanas y puertas.
 - Supervisión y monitorización de bombas de agua, depósitos de agua, cuadros eléctricos, etc.

- **Confort.** El apagado general de todas las luces de a vivienda y automatización de encendido/apagado de cada punto de iluminación, etc.
 - Regulación de la luminosidad de los puntos de luz según el nivel de luminosidad del ambiente.
 - Integración del portero electrónico al teléfono, o el videoportero a la TV.
 - Accionamiento automático de persianas y toldos, además del control de sistemas de riego de las zonas verdes.
 - Supervisión automatizada de todos los dispositivos electrónicos y eléctricos dentro del edificio.
 - Control del sistema de Aire Acondicionado.
 - Activación de tareas rutinarias mediante control horario.
 - Monitoreo y gestión de forma local y remota.

- **Seguridad.** La seguridad es uno de los factores más importantes dentro de un edificio, abarcando sistemas que previene la intrusión como alarmas técnicas que corresponden a peligros derivados del mal funcionamiento de alguno de los sistemas de una edificación.
 - Gestión del control de accesos con identificación de los usuarios.
 - Control de presencia y detección de intrusos con su respectiva persuasión además de sistemas de alertas telefónicas, por correo, etc.
 - Detección de ruptura de cristales o forzado de puertas.
 - Video vigilancia a través de cámaras, grabación y almacenamiento de imágenes en circuito cerrado.
 - Alarmas técnicas (agua, gas, fuego, humo, etc.).

- **Comunicaciones.** Se encarga de captar, transportar, almacenar, procesar y difundir datos de información, permite el acceso al sistema para realizar comprobaciones de su funcionamiento, darle ordenes de actuación o para recibir avisos de eventos.

- Control y monitorización remota de la instalación inmótica y comprobar su estado utilizando el teléfono, internet, etc.
- Transmisión de alarmas a centrales de alarmas, llamadas telefónicas, SMS/alertas, mensajes de voz, etc.
- Intercomunicación interior de todos los servicios electrónicos del edificio.

2.3.3 Topología de red

Es la distribución física o conexión de todos los elementos (unidades de control, sensores y actuadores) que se encuentran en un sistema inmótico respecto al medio de comunicación (cable) y es la característica principal para elaborar un diseño que posibilite la conexión de los componentes dentro de la edificación, las topologías de red más comunes son (ver figura 2.3) [25]:

- a) **Topología estrella.** Cada dispositivo tiene solamente un enlace “punto a multipunto” conectado a todos los nodos del sistema con el controlador central (HUB), habitualmente llamado concentrador y es este control central el que realiza las funciones de supervisión y de control. En un sistema en estrella, para comunicarse dos nodos cualesquiera estos deben de estar unidos al control central (ver figura 2.3). Las principales ventajas de la topología en estrella es que en un error o fallo en un nodo (cualquiera menos el control central) no afecta el resto de la instalación, además de que es muy fácil añadir nuevos nodos a la red. Por otro lado, los primeros inconvenientes de esta topología es que un error o fallo en el controlador central afectara a toda la instalación además que le cableado de la instalación es muy extenso, dado que todos los nodos se unen al control central.

Topología Estrella

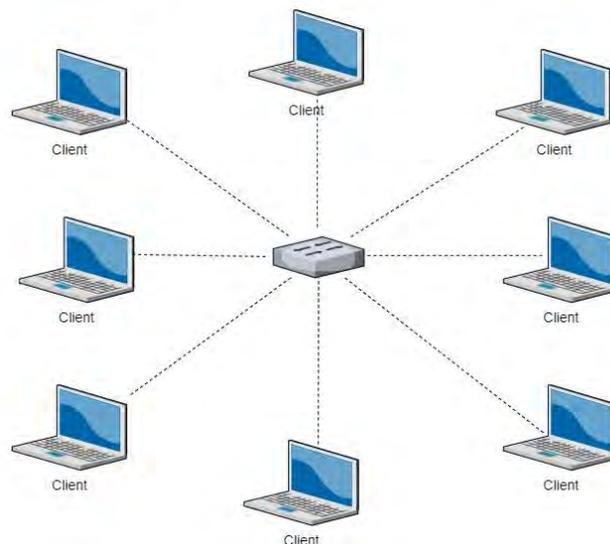


Figura 2.3. Topología estrella.

Las computadoras del gráfico representan cualquier tipo de dispositivo que soporte el tipo de topología.

- b) **Topología Anillo.** Cada dispositivo tiene una línea de conexión “punto a punto” con los dos dispositivos que están a su lado, en un sistema en anillo, todos los nodos están conectados en serie por lo que el principio y el final están unidos formando un camino cerrado o bucle. De esta manera la información se transmite desde el emisor hasta el receptor pasando por todos los demás, circulando la información solamente en una sola dirección. Este sistema es muy utilizado en las redes de gestión de seguridad por su control sencillo y mínimo cableado (ver figura 2.4).

Los principales inconvenientes de este sistema es que como se puede suponer, añadir nuevos nodos al sistema es más complicado ya que se ha de interrumpir el funcionamiento de la red, por otra parte, si hay un corte en el cable se inutiliza toda la red, además si hay nodos que envían constantemente información a otros nodos, se puede producir la saturación de información del bus.

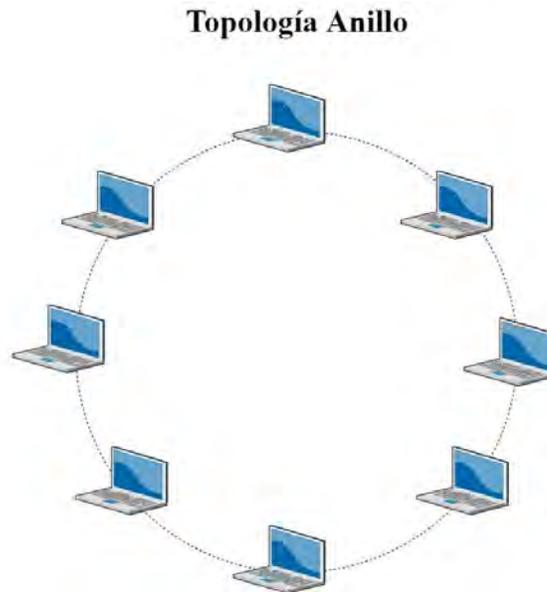


Figura 2.4. Topología en anillo.

- c) **Topología Bus.** Se trata de un cable largo que hace las veces de red troncal en el cual se conectarán todos los dispositivos del sistema, en esta clase de topología la red será compartida por todos y cada uno de los nodos del sistema ya que todos transmitirán sus respectivas señales a través del bus ya que cada uno de los elementos estará identificado por una dirección única, es una red multipunto (ver figura 2.5).

Como ventajas cabe mencionar la facilidad en cuanto a añadir y quitar elementos al bus, no necesita un controlador principal, un error en un elemento no afecta al resto, su velocidad de transmisión es elevada y su cableado es mínimo con respecto a las otras configuraciones, por otra parte, su principal inconveniente es que los elementos deben tener un cierto grado de inteligencia y necesita mecanismos de control para evitar que varios mecanismos accedan al bus al mismo tiempo.

Topología Bus

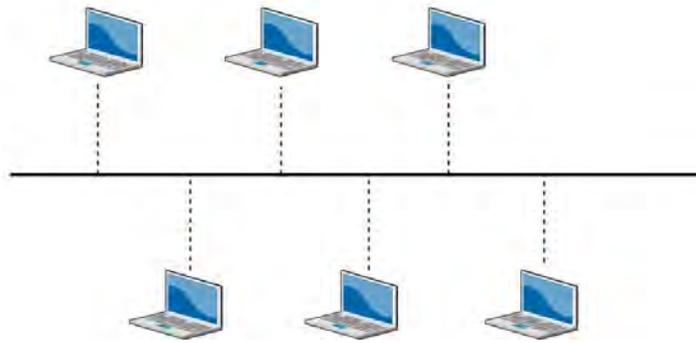


Figura 2.5. Topología de bus.

- d) **Topología Árbol.** La topología en árbol es una mezcla de las topologías en bus y estrella, los nodos del árbol están conectados aun concentrador central que controla el tráfico de la red. Sin embargo, no todos los dispositivos se conectan directamente al concentrador central estableciendo de esta manera una jerarquía entre los elementos de la red. La mayoría de los dispositivos se conectan a un concentrador secundario que, a su vez se conecta al concentrador central. Las ventajas e inconvenientes van a depender de la configuración final (ver figura 2.6).

Topología Árbol

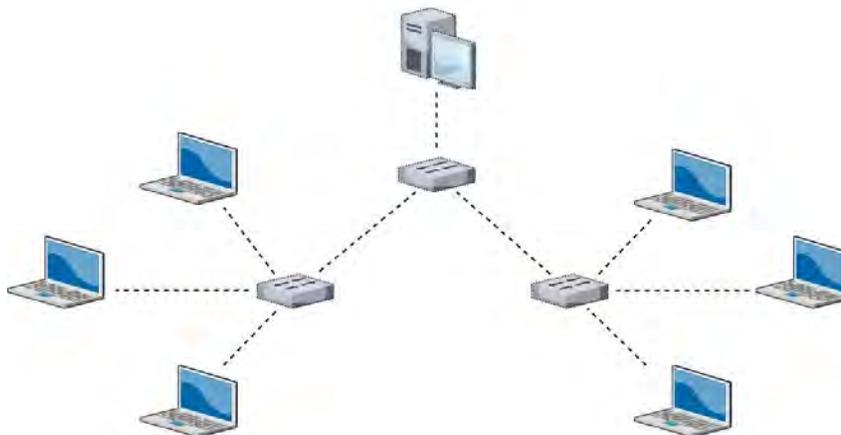


Figura 2.6. Topología de árbol.

- e) **Topología Malla.** Los dispositivos incluidos en esta red se conectan punto a punto con cualquier dispositivo, así este tiene comunicación directa con el que equipo que se encuentre establecida la conexión (ver figura 2.7).

Topología Malla

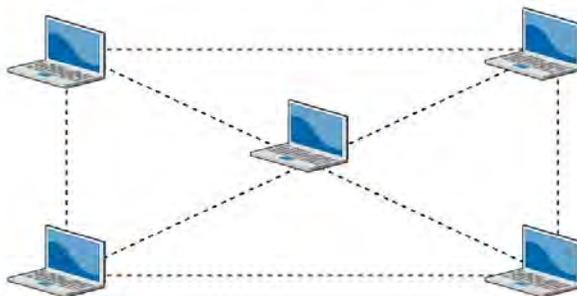


Figura 2.7. Topologías malla.

En la siguiente tabla 2.1 se muestra una comparativa de las topologías con diferentes tecnologías.

Tabla 2.1. Comparación de las topologías de conexión [27].

	LONWORKS	BACNET	KNX	X-10	MY HOME	LUTRON	THUNDER	MODBUS
Estrella	X		X			X	X	X
Anillo	X							
Bus	X		X	X	X			X
Árbol	X		X					X
Mixta	X		X					X
Punto a punto	X	X						
Maestro/Esclavo	X	X						
Libre	X							

2.3.4 Tipos de Arquitectura

Se refiere a cómo debe ir conectado cada dispositivo dentro de la edificación.

- **Sistema de arquitectura centralizada.** Sistema inmótico en el cual un controlador centralizado, envía la información a los actuadores e interfaces según el programa, la configuración y la información que recibe de los sensores, sistemas interconectados y usuarios (ver figura 2.8).

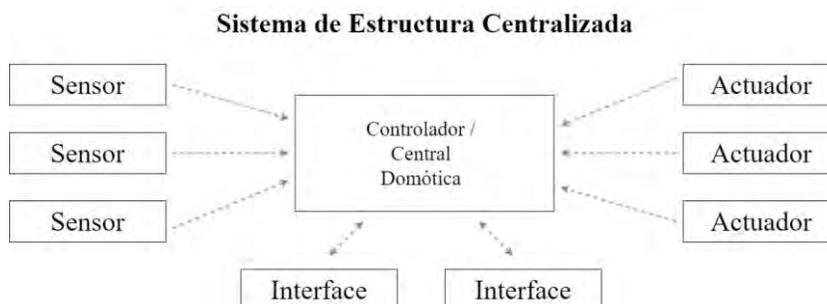


Figura 2.8. Arquitectura inmotico centralizado.

- **Sistema de arquitectura descentralizada.** Sistema inmótico en el cual varios controladores interconectados por un bus, que envía información entre ellos y a los actuadores e interfaces conectados a los controladores, según el programa, la configuración y la información que recibe de los sensores, sistemas interconectados y usuarios (ver figura 2.9).

Sistema de Estructura Descentralizada

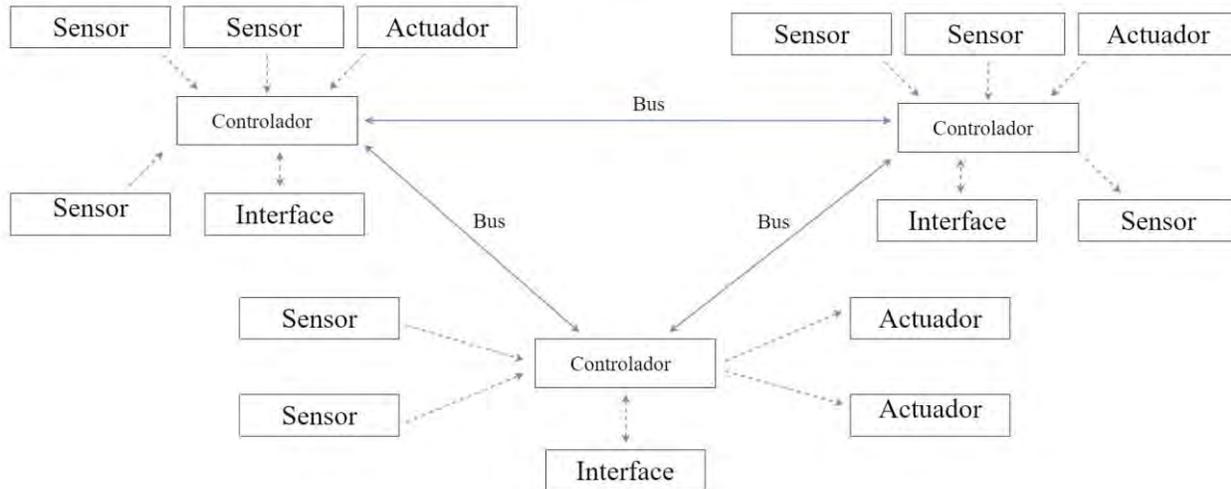


Figura 2.9. Arquitectura inmótico descentralizado.

- **Arquitectura distribuida.** Sistema inmótico en el cual cada sensor y actuador es también un controlador capaz de actuar y enviar información al sistema según el programa; la configuración, la información que capta por sí mismo y la que recibe de otros dispositivos del sistema (ver figura 2.10).

Sistema de Estructura Distribuida

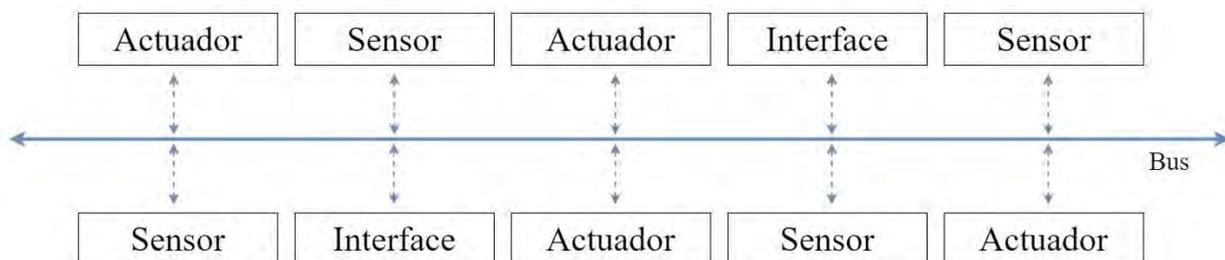


Figura 2.10. Arquitectura inmótico distribuido.

- **Arquitectura Híbrida.** Sistema inmótico en el cual se combinan las arquitecturas centralizadas, descentralizadas y distribuidas. A la vez que puede disponer de un controlador central o varios controladores descentralizados. Los dispositivos de interfaces, sensores y actuadores pueden también ser controlados (como en un sistema

distribuido) y procesar la información, la información que capta para sí mismo, y tanto actuar como enviarla a otros dispositivos de la red, sin que necesariamente pase por otro controlador (ver figura 2.11).

Sistema de Estructura Híbrido

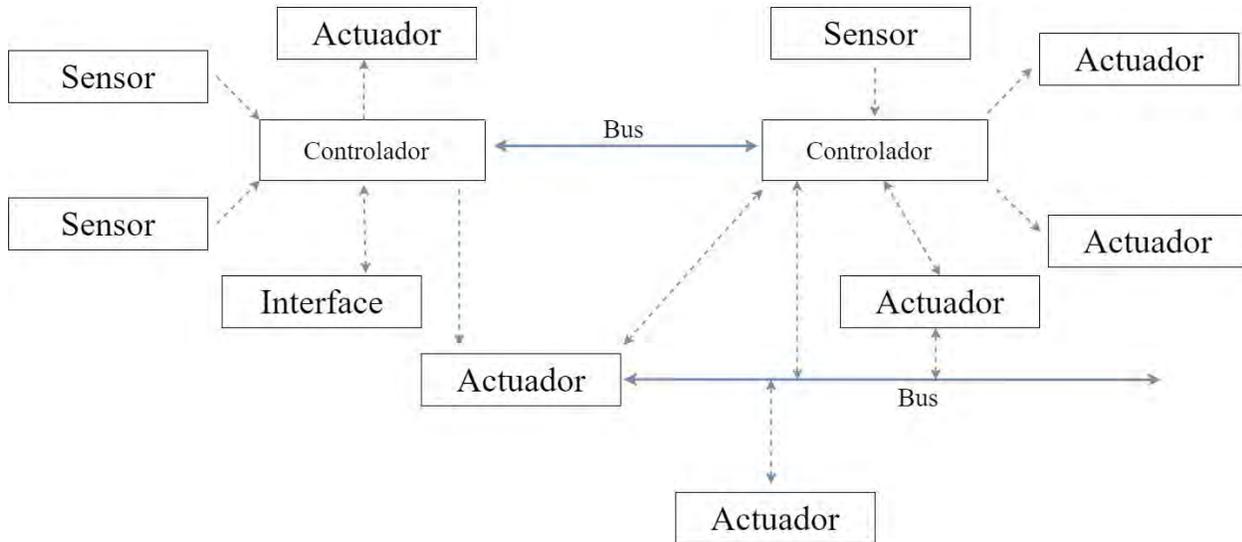


Figura 2.11. Arquitectura inmótico híbrido.

2.3.5 Medios de transmisión

Los medios de transmisión son los dispositivos de un sistema que deben intercambiar información las cuales se realizan por medio de un soporte físico conocido como un medio de transmisión, este medio de transmisión puede ser cableado o inalámbrico [19].

- Los medios de transmisión por cable. Estos medios se utilizan para aquellos casos en que las necesidades del sistema no sean muy exigentes en cuanto a la velocidad de transmisión de datos y solo sea suficiente con línea de distribución como soporte de dicha transmisión.
- Son los que utilizan físicamente cables para enviar o recibir datos y estos puede ser:
 - Líneas de distribución de energía eléctrica (corriente portadora).
 - Soportes metálicos.
 - Par metálico.
 - Coaxial.
 - Fibra óptica.
- Los medios de transmisión sin cable o sin hilo.
 - Tecnología mediante Infrarrojo.
 - Tecnología mediante Radiofrecuencias.
 - Módulo ZigBee

2.3.6 Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación son parte fundamental dentro de un sistema informático, mediante estos se comunican los diferentes dispositivos, pues son la vía o el medio por el cual se interconectan dos o más dispositivos controladores para generar información dentro de un establecimiento, es decir, se ocupa de recibir o enviar información de un lugar a otro y existen dos tipos: la estándar y los propietarios fuente [14].

1. Los protocolos estándar. Este protocolo, es aquel en cual el público en general tiene libre acceso, debido a que el software es desarrollado por empresas que auspician su producto; este tipo de protocolo sirve para crear dispositivos de control compatibles con varias empresas y así implementar un sistema informático con variedad de dispositivos (sensores, actuadores), siendo el mayor beneficiario el usuario porque tiene la disponibilidad del abaratamiento en costos y tener una gama de dispositivos más amplio para elegir, ver la figura 2.12 [7].

Entre los protocolos estándar más destacados en el sector de automatización de edificios, se tienen los siguientes:

- a) **LonWorks.** La tecnología de este protocolo es abierta en el sentido de que no es necesario utilizar ningún software propietario para controlar, mantener o monitorizar la red. También ofrece una solución con arquitectura distribuida y descentralizada, que permite distribuir la inteligencia entre los sensores y los actuadores.
- b) **BACnet.** Se basa en una arquitectura cliente-servidor, los mensajes enviados son llamados servicios, las clases de aplicación de los servicios son alarmas y eventos,

accesos a los datos, etc. Las opciones existentes para la red BACnet son: Ethernet, ARNET, Echelon`s, LonTalk, entre otros; una gran ventaja de este protocolo es la implementación sobre redes IP (Internet Protocolo).

- c) **KNX/EIB.** Normalizado en el continente Europe. Nace de los estándares EIB, EHS y BatBus, aunque su base principal es EIB, posee dispositivos de gran adaptación y con herramientas de programación únicas. Con este estándar se pretende competir en precios y calidad con los sistemas norteamericanos de automatización de viviendas y oficinas.
- d) **X-10.** Es uno de los protocolos más antiguos y la más utilizada en sistemas de control doméstico. Es flexible y de fácil manejo, su instalación emplea la red eléctrica por lo tanto no es necesario tender de nuevos cables, estas cualidades hacen que sea la mejor solución para instalaciones pequeñas y no muy complejas [15].
- e) **ZigBee.** Protocolo de comunicaciones inalámbrico recogido en el IEEE 802.15.4, OSGi (Open services Gateway Initiative). Especificaciones abiertas de software que permite diseñar plataformas compatibles que pueden proporcionar múltiples servicios. Ha sido pensada para su compatibilidad con Jini o UPnP [16*].
- f) **Universal plug and play (UPnP).** Arquitectura de software abierta y distribuida que permite el intercambio de información y datos entre los dispositivos conectados a una red.

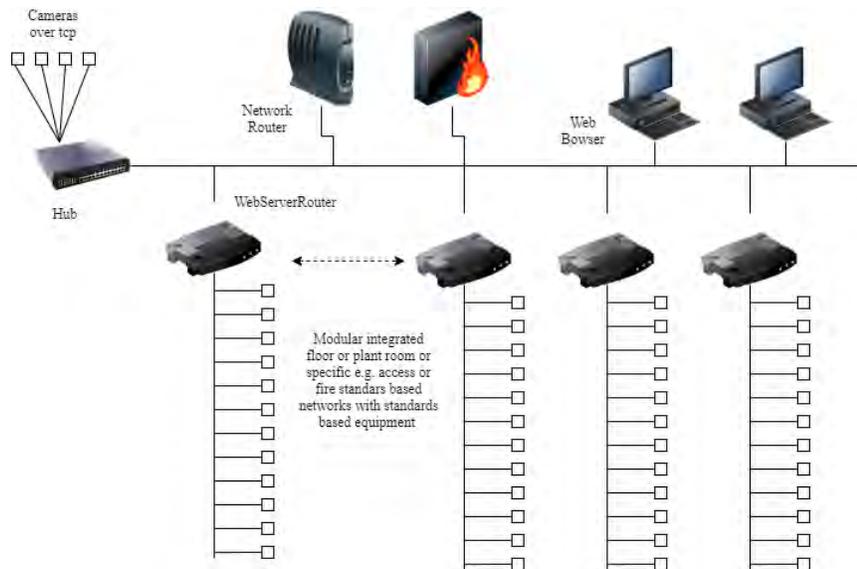


Figura 2.12. Protocolo estándar.

2. **Los protocolos propietarios.** Son los protocolos desarrollados por una empresa la cual tiene su propia marca de productos, protocolos y codificaciones propios del fabricante, a diferencia de los anteriormente descritos; no se pueden comunicar con otros dispositivos de otras marcas, por lo tanto no son accesibles para el público en general, son más económicos que los protocolos estándar, pero con la gran desventaja que si por alguna razón la empresa desarrolladora de este dispositivo desaparece, también desaparece todos

los sistemas que cuenta con estos elementos por falta de repuestos o productos, en la figura 2.13 se muestra el esquema general [14].

- a) **My home.** Tanto para el sector residencial como el terciario, BTcino aporta soluciones de integración de los sistemas. Permite gestionar la climatización reglando indistintamente la temperatura de todas las zonas, administradas de forma independiente, también el consumo eléctrico está siempre bajo control.
- b) **Lutron.** Destinado al manejo inteligente de la iluminación en todos sus aspectos, tanto para la industria como para el hogar, dentro de los sistemas más representativos se encuentran: la línea HomeWorks, y su apoyo para aplicaciones industriales Grafik.
- c) **Thunder.** Puede ser tan simple como controlar una lámpara o tan sofisticado como controlar vía voz o vía internet a toda una casa o comercio integrando equipos de vigilancia de circuito cerrado de televisión (CCTV). Los diferentes comandos inteligentes se integran modularmente, es decir, se puede comenzar con una aplicación básica y posteriormente añadir otros de acuerdo a las necesidades futuras.
- d) **ModBus.** Proporciona comunicaciones cliente-servidor entre recursos inteligentes. Se utiliza en dispositivos como PLC, HMI, drivers, sensores o actuadores remotos. Define una estructura de mensajes, reconocida por los diferentes dispositivos independientemente del tipo de red de comunicaciones utilizada, describe el proceso para acceder a la información de un dispositivo; como debe responder y como se notifican las situaciones de error [15].

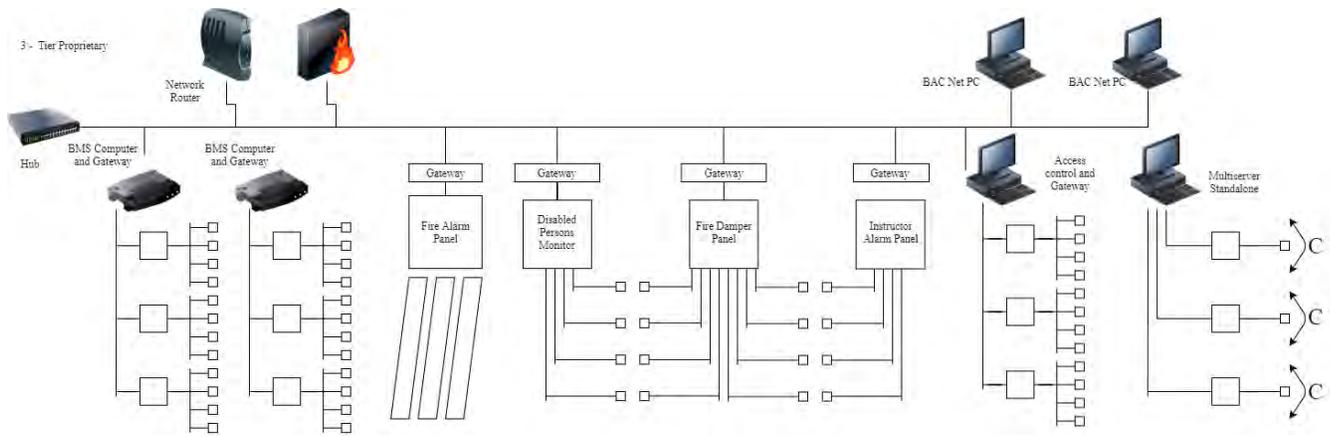


Figura 2.13. Protocolo propietario.

2.3.7 Velocidad de transmisión

Se refiere a la velocidad con que la información (como se representa en la figura 2.14) es transmitida de un dispositivo a otro dentro de una red, los principales factores que afectan a la velocidad de transmisión son el medio por el cual se transmite y el protocolo con el que se comunica.

Los sistemas inmóticos se pueden diseñar para utilizar un único protocolo de comunicación con diferentes medios de transmisión, teniendo en cuenta que la velocidad de transmisión está dada por medio de transmisión, más no por el protocolo por el cual se está comunicando [14].

DISEÑO DE UNA RED PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS

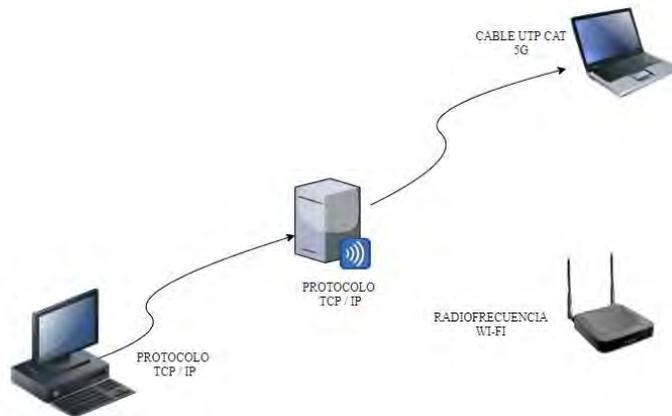


Figura 2.14. Diseño de una red para la transmisión de datos

2.3.8 Comunicaciones inalámbricas

La transmisión inalámbrica de datos entre equipos electrónicos se aplica cada vez más en la actualidad. Las tecnologías que tenemos el día de hoy permiten realizar diseños cada vez más eficientes sin necesidad de un amplio conocimiento en telecomunicaciones y con un número reducido de componentes externos. Las tecnologías que surgieron en un inicio utilizaban módulos de radiofrecuencia con componentes discretos unidireccionales, posteriormente

aparecieron circuitos transmisores integrados que unificaron las funciones de emisor y receptor a través del uso de bandas de frecuencia que se fueron estandarizando en diferentes zonas como Europa y USA. Hoy en día tiene muchas aplicaciones: En la industrial, comercial y biomédico, un ejemplo muy popular fueron el control remoto, transmisión de datos entre sensores, sistemas de adquisición de datos, monitorización biomédica, etc. Las tecnologías inalámbricas más utilizadas actualmente son el Wi-Fi, Bluetooth y el estándar IEEE 802.15.4 dependiendo de la aplicación se elige alguna de estas; en la siguiente tabla 2.2 se hace una breve comparación de las tecnologías mencionadas.

Tabla 2.2. Tabla comparativa de tecnologías de comunicación inalámbrica [20].

Tecnología	Ancho de Banda	Consumo de potencia	Alcance	Aplicaciones
Wi-Fi [20]	54 – 400 Mbps	400 mA transmitiendo 20 A en reposo	Hasta 100 m	Conexión inalámbrica a internet Redes Transferencia de ficheros
Bluetooth [21]	1 a 3 Mbps	40 mA transmitiendo 0.2 mA en reposo	2 – 10 m	Auriculares Inalámbricos Móviles Informática casera
ZigBee [34]	20 a 250 Kbps	30mA transmitiendo 3mA en reposo	10 – 100 m	Redes Inalámbricas de sensores Control remoto Productos dependientes de una batería Juguetería

2.3.8.1 Wi-Fi

Wi-Fi es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11, se creó para ser utilizada en redes locales inalámbricas, pero actualmente es utilizado para acceder a internet (ver figura 2.15). El Wi-Fi es una marca de la Wi-Fi Alliance (antes la Wireless Ethernet Compability Alliance), que es la organización comercial que prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares IEEE 802.11x. Los estándares IEEE 802.11b y g, gozan de aceptación internacional debido a que la banda de 2.4 GHz está disponible casi universalmente y con una velocidad que va en los intervalos de 11 Mbps y 54 Mbps. También existe una variante, el estándar IEEE 802.11n y opera a 2.4 GHz con una velocidad de hasta 108 Mbps [21].



Figura 2.15. Logo compañía Wi-Fi [21].

Fuente: (EH Contribuitor, 2016)

2.3.8.2 Bluetooth

La tecnología Bluetooth está orientada para la transmisión serie de información punto a punto entre dispositivos que dispongan de transceptores con esta tecnología (Ver la figura 2.16). La velocidad de transmisión de esta tecnología varía entre 1Mb/s y 24 Mb/s. El Bluetooth permite la creación de pequeñas redes de hasta siete elementos, donde existe un coordinador o maestro de red y una serie de dispositivos asociados, y se le conoce como piconet. Existe también la posibilidad de enlazar piconets entre sí por medio de gateways o dispositivos que actúan de enlace, y a estos se le conocen como Scatternet [21][22].



Figura 2.16. Logo de la compañía Bluetooth [22].

El alcance máximo es determinado por la potencia de transmisión, en concreto se especifican tres potencias para transeptores Bluetooth:

- 1mW, con un alcance de 1 metro.
- 10mW, con un alcance de 10 metros.
- 100mW, con un alcance de 100 metros.

La topología de la red puede estar conformado de diversas configuraciones como se muestra en la siguiente figura 2.17 [24].

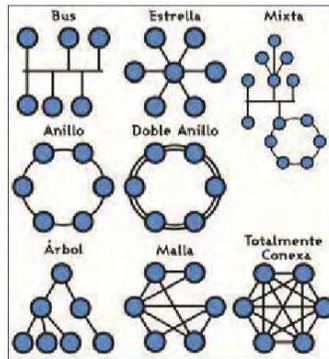


Figura 2.17. Topologías Bluetooth [24].

En la figura 2.17, muestra los diferentes tipos de topologías que se podría utilizar, pero al formar la red, se tiene siempre un dispositivo maestro, permitiendo a los demás interesados en formar parte de la red y/o convertirse en esclavos. Los roles de los elementos pueden cambiar dinámicamente por lo que un esclavo puede convertirse en maestro para realizar alguna tarea en específico.

La tecnología bluetooth permite varios modos de sueños para dispositivos dentro de una misma piconet, todo estos son controlados por el maestro de la red, entre los más utilizados son:

- Hold mode: Cuando permanece un largo de tiempo sin enviar información.
- Sniff mode: Cuando permanece en modo escucha, permanece activo en modo de bajo consumo.
- Park mode: Cuando un dispositivo se excluye de la transmisión de datos dentro de la red, pasando a un modo de sueño cíclico.

También hay que mencionar que la transmisión de datos está basada en tramas o paquetes de datos con el siguiente formato:

- Código de acceso: 72 Bytes que identifican la piconet y al dispositivo dentro de la misma.
- Cabecera de control: 54 Bytes.
- Datos: hasta 5 Kb.

Dentro de la red, los paquetes se direccionan usando direcciones de 48 bits, aunque generalmente se emplean alias para los dispositivos.

2.3.8.3 Protocolo IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 se define como el protocolo para la interconexión de módulos de bajo consumo de energía, tasa de transferencia bajas y facilidad de instalación de los dispositivos. Entre las principales características que posee son [25]:

- Una tasa de transferencia de datos variable entre 20kbps hasta 250kbps.
- Topología punto a punto (point to point) o estrella (multipunto).
- Asignación de direcciones cortas de 16 bits (para redes de hasta 65536 (dispositivos) o extendidas de 64 bits (para usar direcciones IEEE MAC).
- Indicador de la calidad de enlace, para conocer la misma de forma visual.
- Prioriza el bajo consumo de energía para poder operar con baterías.

2.3.8.4 ZigBee

ZigBee es una alianza sin lucro de 25 empresas que en su mayoría son fabricantes de semiconductores y tenían el objetivo de auspiciar el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica de bajo costo. Los miembros de esta alianza justifican el desarrollo de este estándar para cubrir el vacío que se produce por debajo del Bluetooth, también es conocido por “HomeRF Lite”, que es una tecnología inalámbrica de baja velocidad y bajo consumo, con velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 205 kB/s y rangos de 10 m a 75m y también puede usar bandas libres ISM de 2,4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EUA). Por lo tanto, una red ZigBee puede estar formado hasta por 255 nodos los cuales tienen la mayor parte del tiempo de transceiver ZigBee dormido con el objeto de consumir menos que otras tecnologías.

ZigBee también es una especificación que define un protocolo de comunicación de alto nivel que usan las radios digitales de baja potencia que implementan el estándar IEEE 802.15.4. La idea principal detrás de ZigBee es ofrecer una infraestructura para las redes de Área personales sin hilos (Wireless Personal Area Network o WPAN) que son altamente adaptativas, más sencillas, más baratas y que consumen muy poca potencia que otras WPAN [35] [38].

Existen tres diferentes tipos: ZigBee, ZigBee PRO y ZigBe RF4CE; las diferencias entre las distintas tecnologías se pueden definir utilizando una combinación entre las topologías de red, la seguridad empleada y el método de direccionamiento de Red. En la siguiente tabla 2.3 se muestran las diferencias de estas tres ZigBee.

Tabla 2.3. Versiones básicas de ZigBee y sus prestaciones [35][38].

	ZigBee	ZigBee PRO	ZigBee RF4CE
Topología	Estrella/Árbol	Malla	Árbol
Seguridad	Normal	Alta	Normal
Direccionamiento de la Red	Distribuido	Estocástico	Emparejamiento

Cada red ZigBee se compone esencialmente de un coordinador, un router y un dispositivo final. Todo aquello pueden ser dispositivos plenamente operativos con una función intrínseca, pero también llevan a cabo una funcionalidad ZigBee.

En este protocolo el coordinador forma y gestiona la red; el router puede “enrutar” los mensajes, así como permitir que otros dispositivos se unan al router PAN. Uno de los puntos más fuertes del ZigBee PRO es su topología de red en malla, lo que permite que las redes se pueden extender sobre áreas geográficas considerables, tales como grandes edificios o incluso en canalizaciones industriales. También dispone de un mecanismo de “autocorrección”, lo que significa que si uno de los componentes de una ruta con un multisalto, de un dispositivo a otro, abandona la red por alguna razón, se identificará e implementará a una red alternativa que utilice dispositivos adyacentes alternativos.

Un dispositivo ZigBee está constituido de una plataforma compatible con ZigBee (con una parte radio y una parte ZigBee), con la configuración adecuada de aplicación en el nivel superior. LA parte radio está basada en el estándar 802.15.4 (y comprende las capas PHY y MAC) y la pila “ZigBee” en el nivel superior.

2.3.9 Componentes básicos de un sistema inmótico

Los sistemas inmóticos son sistemas de control que tratan de unificar los subsistemas existentes o que se requieren implementar dentro de las edificaciones. Para esto existen componentes básicos dentro de la infraestructura los cuales son conformados por:

- a) **Sensores.** Son dispositivos capaces de enviar señales al sistema inmótico, se trata de equipos especiales que monitorizan el entorno con la finalidad de transformar estímulos y señales eléctricas para ser procesadas por un ordenador, estas señales eléctricas en la mayoría de los cables deben ser acondicionadas o adaptadas al controlador del sistema, para ello se utilizan los acondicionadores de señales, como se muestra en la figura 2.17. Los sensores pueden actuar sobre los interruptores, sobre la detección de humos, gases, sobre la detección de presencia de personas u objetos extraños al entorno habitual, sobre medida de la velocidad del viento o sobre el cambio de una temperatura que no es la programada [16] [19].



Figura 2.18. Sensores para un sistema inmótico.

Fuente: Iniciación a la Domótica, 2009, pág. 6. [16].

- **Iluminación:** Sensores encargados de detectar el nivel de luz dentro de un ambiente y pasarlo a una señal eléctrica mediante un transductor fotoeléctrico.
 - Detector de luz
 - Sensor de luminosidad
 - Sensor Crepuscular
 - **Climatización.** Sensores encargados de determinar los cambios en el ambiente como temperatura y humedad.
 - Termistores
 - Termopares
 - Sonda de humedad
 - **Seguridad.** Sensores que detectan presencia indeseada, sensores que determinan humo o altas temperaturas en el ambiente, sensores que detectan agua o gas.
 - Sensores de presencia
 - Sensores fotoeléctricos
 - Sensores Termovelocimétricos
 - Sensor de inundación
 - Detector de Fuga de gas
 - Detector de Rotura de vidrios
 - Contactos Magnéticos
- b) **Controlador.** Gestiona el sistema según la programación e información que reciba, en otras palabras, es el cerebro del sistema, y es el que toma las decisiones para realizar alguna tarea como se muestra en la figura 2.19. También son conocidos como los nodos del sistema [19].



Figura 2.19. Controlador de un sistema inmótico [19].

Fuente: COBOS, María, LOAYZA, Andrea y GARAY, Francisco. 2006, pág. 153. [28]

- **PLC (Controlador lógico programable).** Es un equipo electrónico diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Está compuesto por una unidad central de procesamiento (incluye varios microprocesadores y unidades de memoria), interfaces de entradas y salidas, y uno o varios puertos de comunicación.
- **Microcontroladores.**
 - ZigBee

- Arduino
- Nodemcu
- Raspberry Pi
- **Módulos domóticos/inmóticos.** Son dispositivos electrónicos basados en microcontroladores, que integran sistema de detección y control, su programación es bastante simple y presenta una interfaz amigable con el usuario.

c) **Actuadores.** Es el dispositivo encargado de recibir las señales provenientes de los controladores para luego ejecutar una acción determinada (en la figura 2.20), en función de las señales que recibe del entorno por medio de los sensores [19].



Figura 2.20. Actuadores para un sistema inmótico.

Fuente: Iniciación a la Domótica, 2009, pág. 6. [16].

- **Motores eléctricos.** Convierten la energía eléctrica en energía mecánica mediante campos electromagnéticos, para producir movimientos lineales o circulares mediante acoples. Los motores más utilizados son: el motor AC, el motor DC y el motor a pasos y sus principales utilidades en la inmótica son las siguientes:
 - Movimiento de persianas
 - Movimiento de ventiladores
 - Movimiento de Puertas Automáticas
 - **Sirenas.** Permiten alertar a los usuarios cuando se activa una alarma debido a un incendio, inundación o intrusión.
 - **Electroválvulas.** Permiten abrir, cerrar o limitar el suministro de fluidos, como gas y agua mediante una señal eléctrica que ingresa al electroimán.
 - **Climatizadores.** Actuadores que nos permiten aumentar o disminuir la temperatura y la humedad del ambiente. También son utilizados para el calentamiento de agua.
 - Resistencias térmicas
 - Calentadores
 - Aire acondicionado
 - **Cerraduras magnéticas.** Son utilizadas principalmente para el cierre y apertura de puertas de acceso a diferentes áreas.
- d) **Interface.** Se refiere a los dispositivos (pantalla, móvil, internet, conectores) y los formatos (binario, audio) en que se muestra la información del sistema para los usuarios (u otros sistemas) y donde los mismos pueden interactuar con el sistema.

- **HMI.** Es un interfaz humano – máquina implementada mediante software en una pantalla de visualización, que permite al usuario interactuar con el sistema inmótico de una manera muy amigable.
- **Dispositivos físicos.** Este tipo de interfaz permite interactuar físicamente con determinadas partes del sistema inmótico, como el caso del subsistema de control de acceso. Entre estos se tiene:
 - Lectores de tarjeta
 - Teclado para activado y desactivado de alarmas
 - Identificadores biométricos (Retina, dactilar, vocal)
 - Controles Remotos (Iluminación, Agua, Equipos electrónicos integrados)

2.3.10 Pilares de la inmótica

La inmótica tiene ciertos servicios importantes a gestionar y estos serán principalmente:

1. **Ahorro energético.** Dentro de la gestión del control de energía se habla principalmente de lo que es el ahorro energético el cual tiene como función principal gestionar y administrar la energía eléctrica con el uso de temporizadores, relojes programados, termostatos entre otros dispositivos electrónicos/eléctricos, además de hacer referencia al:
 - El uso racional de la carga de la edificación.
 - La programación y zonificación de la climatización.
 - Uso de zonas de control de iluminación con encendido y apagado de luces interiores y exteriores dependiendo del grado de luminosidad, detección de presencia, etc.
 - La desconexión de equipos de uso no prioritario en función del consumo eléctrico por horarios.
 - El uso de una tarifa específica designando el funcionamiento de ciertos aparatos a horas de tarifa con menor costo de producción.
 - La detección de apertura de ventanas y puertas.
 - La supervisión y la monitorización de calderas, bombas, motores, depósitos de agua, cuadros de carga eléctrico, etc.
2. **Confort.** En general es el apagado de todas las luminarias y la automatización del ON/OFF de cada punto de luz.
 - La regulación de la luminosidad de los puntos de luz según el nivel de luminosidad del ambiente.
 - La integración del portero electrónico al teléfono o la TV.
 - El accionamiento automático de persianas en ventanas y toldos, además del control de sistemas de riego para las áreas verdes.
 - La supervisión automatizada de todos los dispositivos electrónicos de una vivienda.
 - El control del sistema de aire acondicionado y/o calefacción (HVAC).
 - La activación de tareas rutinarias mediante horarios establecidos.
 - El monitoreo y la gestión en forma local y remota.
3. **Seguridad.**
 - La gestión del control de accesos con identificación de los usuarios regulares del edificio.

- El control de presencia y la detección de intrusos con aviso mediante mensajes SMS al celular.
- Videovigilancia a través de cámaras, grabación y almacenamiento de imágenes en CCTV.
- La teleasistencia y telemedicina a personas mayores, enfermas o con discapacidades.
- La detección de averías en las entradas o ascensores.
- Alarmas técnicas (Agua, gas, humo, fuego, etc.)

4. Comunicaciones.

- El control y la monitorización remota de la instalación inmótica mediante Wi-Fi o líneas telefónicas, etc.
- La transmisión de alarmas a centrales de alarmas, llamadas telefónicas, SMS/alertas, mensajes de voz, etc.
- Intercomunicación interior de todos los servicios electrónicos del hogar.

2.3.11 Inmótica para edificios existentes

Aplicar el concepto de la inmótica en los edificios existentes es igual como aplicar los conceptos antes mencionados, pero para los nuevos edificios son planificados para la inmótica. Sin embargo, es de importancia tener en cuenta una serie de particularidades al momento de tomar la decisión, debido a que la implementación dependerá del usuario, así como del edificio. La aplicación de la inmótica en una edificación construida es más cara por varios motivos que se mencionan a continuación:

El usuario no aprovecha las compras en mayoreo de los dispositivos a utilizar, la difícil tarea de integrar los nuevos dispositivos con el resto de la instalación del edificio, las redes de interconexión de los distintos dispositivos tienen que ser tendida sobre la estructura del edificio, el usuario no suele contar con la experiencia necesaria en el diseño e instalación de sistemas inmóticos y debe adquirir los servicios de otros expertos en el tema, etc.

2.4 PLC y su historia

Los inicios de los Controladores Lógicos Programables (PLC, figura 2.21) se remontan al año de 1963, cuando la fábrica de autos General Motors pide a sus ingenieros la implementación de nuevos equipos de control más económicos de utilizar para los procesos que pudieran necesitar; de manera que pretendían evitar la construcción de diferentes máquinas cada que necesitarán de hacer algún nuevo proceso. Muchas de las máquinas solo se utilizaban para un solo propósito y posteriormente eran desechados por lo que los costos de producción se elevaban considerablemente.

En el año 1969 es cuando se construyen los primeros PLC que en realidad era relevadores electrónicos que se podían reprogramar para no desecharse después de la tarea que tenía que realizar. En 1971 se inicia una nueva era en que los PLC son utilizados en la industria automotriz. En 1973 aparecen los primeros controladores programables inteligentes que podían realizar operaciones aritméticas, tenían la capacidad de almacenar datos, transferir información, operaciones con matrices y podían interconectarse a las terminales de video.

Para el año 1975 se logra la integración de funciones analógicas por medio de los operadores matemáticos P.I.D, los cuales hacen posible el acceso de mandos como acopladores térmicos sensores de presión y todas aquellas señales que no son de tipo digital, sino que se establecen parámetros comparativos para lograr que esa señal analógica sea detectada por el equipo y que comience o termine su proceso, dependiendo del tipo de señal que envíe el mando.

En el año 1976 se emplean por primera vez los controladores programables en configuraciones jerárquicas como parte de un sistema integrado de manufactura. En el año de 1977 se logra la integración de los controladores programables compactos basados en la lógica en Set y Reset.



Figura 2.21. Controladores Lógicos Programables.

2.4.1 PLC

Controlador Lógico Programable o PLC (por sus siglas en Ingles *Programmable Logic Controller*). Es una maquina industrial susceptible a ser programada al estar basada en un sistema de microprocesador dotado de un hardware estándar independiente del proceso a controlar. Se adapta a cualquier proceso a controlar mediante un programa dependiendo del fabricante (un software específico), escrito en algún lenguaje de programación y que contiene la secuencia de operaciones a realizar. Este programa, es realizado y depurado en una unidad de programación propia o ajena al PLC; se incorpora a la memoria del programa del mismo para su posterior ejecución por la Unidad Central de Proceso (CPU) del autómeta. La secuencia de operaciones del programa se realiza sobre señales de entrada y salida del proceso, llevadas al bus interno del autómeta a través de las correspondientes interfaces de entrada y salidas (E/S). El autómeta gobierna las señales de salida según el programa de control previamente almacenado en su memoria de programa, a partir del estado de las señales de entrada. Los tipos de interfaces de E/S son muy diversos según las características de las señales procedentes del proceso o las que se van a aplicar al mismo (señales analógicas, de tensión o corriente, pulso de 0/5 V, 0/24 V, tensiones alternas 110 V, 220 V, tensiones continuas 12/24/48 V, etc). En la mayoría de los PLC, el número (dependiendo la capacidad permitida por la CPU), tipo y ubicación de las interfaces lo define el usuario, adaptando de esta forma al autómeta, junto con su programa, a las necesidades del proceso mismo.

Dentro de las señales de entrada son los procedente de los elementos digitales, como interruptores, finales de carrera y detectores de proximidad o analógicos, como tensiones de dinamos tacométricas, tensiones de termopares, etc. Ejemplos de señales de salida son las ordenes digitales todo o nada o analógicas en tensión o corriente, que se envían a los elementos indicadores y actuadores del proceso, tales como lámparas, contactores, válvulas, etc.

La configuración interna del PLC, llamada arquitectura interna, como en todo sistema microprocesador, incluye fundamentalmente los siguientes cuatro bloques básicos: Una CPU o Unidad Central de Proceso, una memoria interna de trabajo (RAM), una memoria de programa (RAM, EPROM, EEPROM), y las interfaces de entradas y salidas conectadas al bus interno. A su vez, tanto la CPU como la memoria de programa están conectadas a dicho bus interno. Las instrucciones de un programa de usuario almacenado en la memoria del PLC son ejecutadas correlativamente generando unas órdenes o señales de control a partir de las señales de entrada leídas de la planta. Cuando se detectan cambios en las señales, el PLC reacciona de acuerdo con el programa hasta que se obtienen las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente con el fin de conseguir el control actualizado del proceso. Además de ejecutar las instrucciones del programa, el PLC realiza un conjunto de acciones que aseguran su funcionamiento correcto: test de CPU y memoria, comprobación del reloj de guarda, etc. La secuencia o ciclo de operación consta básicamente de las siguientes etapas:

- Test del sistema.
- Lectura de señales desde la interface de entrada.
- Escritura de señales en la interface de salida.
- Procesado del programa a fin de obtener las señales de control.

El PLC para reducir el tiempo de acceso a las interfaces de E/S, la lectura y escritura de las entradas y salidas involucradas se realiza a la vez, guardando las entradas leídas en una memoria temporal o imagen de entradas a la que accede la CPU mientras ejecuta el programa, en tanto que los resultados o señales de control se van guardando en otra memoria temporal o imagen de salidas a medida que se van obteniendo. Al terminar la ejecución del programa los resultados se colocan de una vez en la interface de salida. A parte de las cuatro etapas descritas anteriormente, el PLC eventualmente puede establecer comunicación con periféricos exteriores, por ejemplo, para sacar datos por impresora, comunicación con otros autómatas u ordenadores. Conexión con la unidad de programación, etc. Las anteriores acciones, repitiéndose periódicamente, definen un ciclo de operación que requiere un cierto tiempo (esto dependerá del número de entradas y salidas, también de la longitud del programa) para ser ejecutado, de manera que el PLC no puede responder en tiempo real a sucesos que ocurren en el sistema exterior. El tiempo que transcurre será determinante cuando con el autómata se pretenda controlar procesos rápidos con señales de muy corta duración a alta frecuencia de conmutación.

Los retardos aportados por entradas y salidas son debido, respectivamente al filtrado de señal que incorporan (filtros pasa baja), y a los tiempos de respuesta del interruptor (relé, transistor, etc.) o convertidor digital / analógico. Para las entradas, los retardos típicos oscilan entre 10 ms a 100 ms, aunque existen PLC's que permiten ajustes del tiempo del filtro de menores. Para los tiempos típicos, la frecuencia máxima de señal de entrada queda limitada entre 100 Hz y 10 Hz,

de forma que cualquier señal de frecuencia superior. O de periodo T menor que el tiempo de filtro, no podrá ser leída desde las entradas estándar del PLC.

Las problemáticas antes mencionadas debido a los retardos se pueden reducir de las siguientes maneras:

- Para las entradas, con elementos de entrada de proceso rápido: Filtrado débil asociado a programa de ejecución rápida, entradas detectoras de flancos o entradas de contador rápido.
- Para el tiempo de procesamiento del programa: Escribiendo subprogramas rápidos contenidos en el principal asociado a algún elemento de proceso rápido y activados periódicamente.
- Para las salidas: Utilizando elementos semiconductores en sustitución de relés electromecánicos.

De manera general se puede entender que un PLC es capaz de controlar en tiempo real un proceso, cuando sus tiempos de respuesta o retardos son muy pequeños comparados con los tiempos de reacción de este. De manera que la configuración del PLC es la estructura que tiene su sistema físico (hardware), fundamentalmente la unidad de control, el sistema E/S y la memoria, de modo que pueda adaptarse a las características particulares de la tarea que se requiera realizar.

Otra parte fundamental del PLC es la unidad de control y puede configurarse de las siguientes maneras:

- Unidad de control compacta (control centralizado). En este caso es cuando una única CPU gestiona tanto el programa como las entradas y salidas asociadas, agrupadas en módulos que contienen exclusivamente interfaces E / S Esta configuración se usa en aplicaciones de complejidad dando lugar a los llamados microautómatas y miniautómatas.
- Unidad de control modular (control distribuido). En aplicaciones de mayor complejidad en lugar de tener una sola CPU, existen varios módulos con tarjetas o unidades de proceso propias e incluso con sus interfaces de E/S. Es lo que denomina estructura de multiprocesadores o con control distribuido. Cada procesador trabaja sobre subprogramas (partes del programa del usuario) específicamente sobre otras aplicaciones concretas (regulación, posicionamiento, etc.) con su propio programa de tratamiento. En la estructura de multiprocesadores las unidades de proceso están conectadas a una unidad central (CPU maestra o principal) que gestiona el sistema en conjunto y permite el intercambio de datos entre el resto de las unidades e interfaces. En algunas aplicaciones es interesante duplicar la CPU o algún otro elemento del PLC, configuración de seguridad, de modo que esta redundancia permite un funcionamiento ininterrumpido aún en caso de avería, por conmutación al elemento de reserva.

El sistema de entradas – salidas de un PLC es el conjunto de interfaces E / S que hacen posible la conexión de la CPU con la planta y la identificación de las señales de ésta mediante una table de direcciones. Dada la modularidad característica de los PLC, en casi todos se puede emplear el número de E / S mediante la conexión a la CPU de módulos de expansión con interfaces de E / S adicionales. En cuanto al sistema de entradas / salidas, las configuraciones pueden ser:

- Sistema de E/ S centralizado: Es aquel en que las interfaces de E / S se comunican con el autómata de manera directa a través de su bus interno sin mediar procesadores de comunicación.
- Sistema de E / S distribuido: Estos procesadores de enlace son los encargados de amplificar, serializar y transmitir las informaciones entre las expansiones y la CPU del PLC base, mediante una línea común. En función de las distancias de conexión y de las prestaciones del enlace distribuido, este puede ser local o remoto.

2.4.2 Clasificación del PLC

Actualmente existen una gran variedad de tipos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en su aspecto o medio de trabajo, etc. De manera que es posible clasificar los distintos tipos de PLC en las siguientes categorías:

- **PLC tipo nano.** El PLC tipo nano (fuente, CPU, entradas y salidas integradas), este puede manejar un número reducido de entradas y salidas, generalmente en un número inferior a 100. Permite manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.
- **PLC tipo compactos.** Estos PLC tienen incorporado la fuente de alimentación, la CPU y módulos de entradas y salidas en un solo módulo principal y permiten manejar desde algunas entradas y salidas hasta varios de cientos (alrededor de 500 entradas y salidas), su tamaño es más grande que los PLC nano y estos soportan gran variedad de módulos especiales, como: entradas y salidas análogas, módulos contactores rápidos, módulos de comunicación e interfaces de operador, expansiones de entradas y salidas.
- **PLC tipo modular.** Estos PLC están conformados por un conjunto de elementos que forman el controlador final, y estos son: Rack, fuente de alimentación, CPU y módulos de entradas y salidas.

Para esta clasificación también están los denominados los MicroPLC que soportan una gran cantidad de entradas y salidas.

2.4.3 Estructura de un PLC

Un PLC tiene una estructura muy similar a una computadora que utilizamos en nuestra vida diaria, debido a que tienen los mismos fines; como es la de adquirir información, procesarla y entregar resultados al usuario o usuarios que lo requieran. Por lo tanto, la arquitectura del PLC es el diseño que integran al PLC y estas son las partes principales que conforman al equipo y la función que realizan (ver la siguiente figura 2.22). Se pueden distinguir los siguientes:

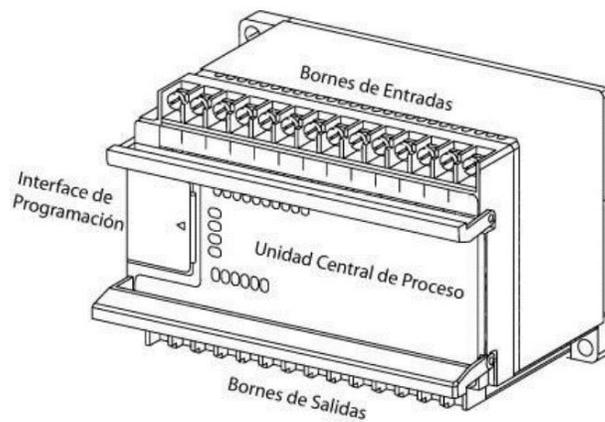


Figura 2.22. Elementos esenciales de un autómata programable.

- Sección de entradas inputs.** Es la parte en la que se conectan todos los mandos componentes del sistema de control y pueden ser: Interruptores, sensores, etc., la mayoría de los equipos tienen una fuente de alimentación propia para la conexión de estos mandos. El PLC en su mayoría tiene una fuente de alimentación de 24 VDC y en otros casos se requiere una fuente de alimentación externa. Esta fuente es necesaria porque los optoacopladores tienen un voltaje de operación diferente y su conexión puede ser la siguiente como se muestra en la siguiente figura 2.23:

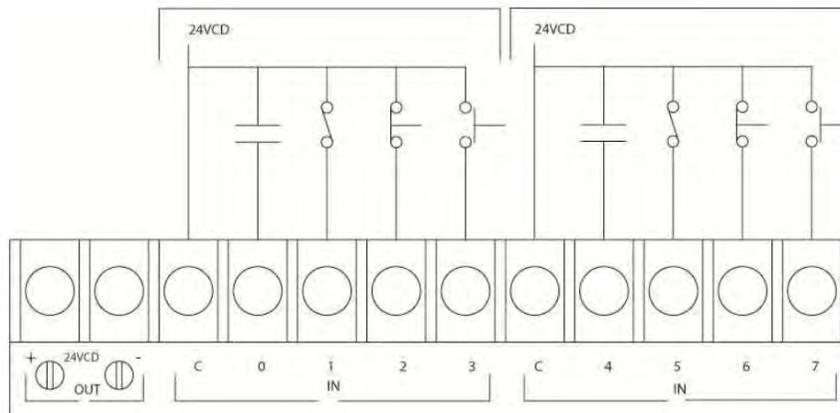


Figura 2.23 Ejemplo de conexiones de entradas físicas al PLC.

Cuando el PLC tiene su propia fuente de rectificación, el optoacoplador tiene un borne común, que en esta caso particular es un borne de 0 V, el cual es de signo negativo (-) conectado al borne S0, mientras que en los mandos se conectan al borne de 24 V es que de signo positivo (+) de esta manera el botón cerrado está enviando una señal directamente al optoacoplador, el fototransistor está cerrando el circuito y conectado al CPU para que cuando se cierre el botón abierto este envíe una señal al optoacoplador, y ponga en continuidad al fototransistor y complemente el mando hacia el CPU y este, en combinación con las memorias respectivas realicen una función determinada de acuerdo a como se haya programado previamente. Todos los mandos envían una señal 0 o una señal de 1 al microprocesador. Cuando algún mando envía una señal analógica se debe conectar una tarjeta de acoplamiento que convierte la señal analógica en digital.

Las señales analógicas son aquellas que se envían con un valor determinado como son temperaturas, tensiones o corrientes y en la que esos valores varían con el tiempo y que pueden partir de 0 y alcanzar un valor alto y decrecer con el tiempo, por esta razón es que se colocan tarjetas que determinan en que valor de la señal analógica es 0, y en qué momento es 1, en la figura 2.24 se muestran algunos ejemplos.

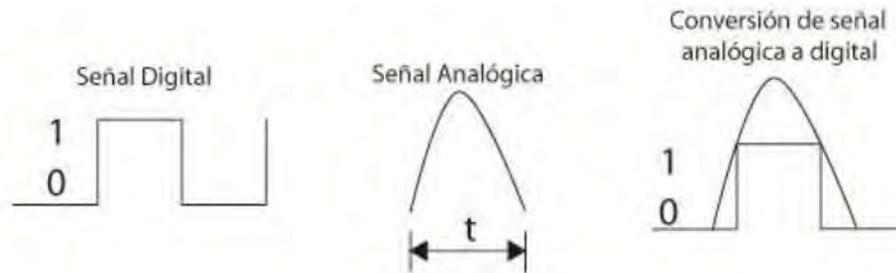


Figura 2.24. Tipos de señales que acepta un PLC.

- **Optoacoplador.** Se emplea para evitar algún error en la conexión de entrada o en la salida y que pueda dañar al CPU, está compuesto por un led y un fototransistor, de manera que cuando se detecta una señal de entrada, en el módulo respectivo, el led se enciende y ponen en conductividad al fototransistor, esta señal esta transmitida hacia el CPU evitando que la señal de entrada pase físicamente de forma directa al CPU (ver figura 2.25 y la figura 2.26).

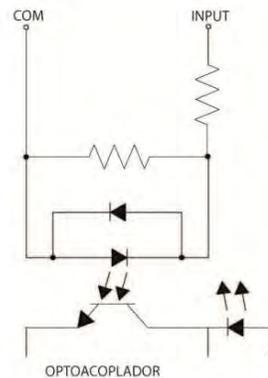


Figura 2.25. Optoacoplador.

En la gran mayoría de los nuevos equipos se colocan dos leds por cada optoacoplador para emplear cualquier polaridad, con lo que facilita la conexión de los sensores ya sean tipo PNP o del tipo NPN.

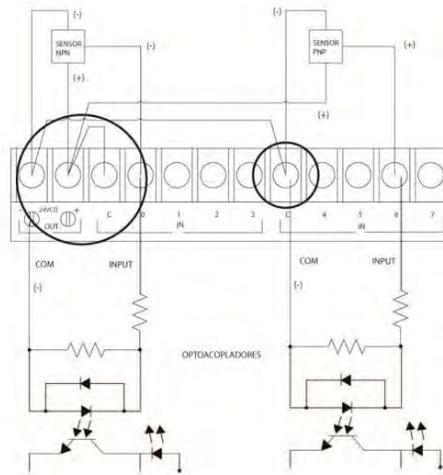


Figura 2.26. Conexión de los sensores de tipo PNP o NPN a un LC con salida a optoacoplador.

- Sección de salidas u outputs.** Es la parte en la que se conectan los actuadores componentes del sistema como: contactores, arrancadores, electroválvulas, luces, etc. En este módulo se pueden conectar hasta tres tipos de tensión distinta, dependiendo de la tensión de operación de las cargas, de la marca y del modelo del equipo, sus bornes de alimentación son independientes del optoacoplador y sus contactos pueden ser activados por relevador seco, por transistor o por TRIAC; en la siguiente figura 2.27 y 2.28, se muestra cómo se pueden conectar las salidas ya sean de transistor o de relé.

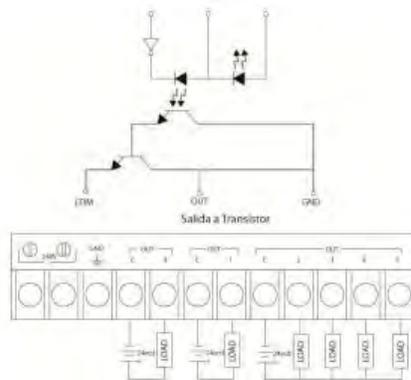


Fig. 1.10 PLC con salida a transistor.

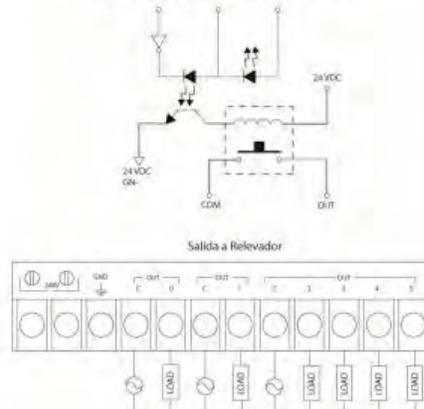


Figura 2.27. PLC con salida a relevador.

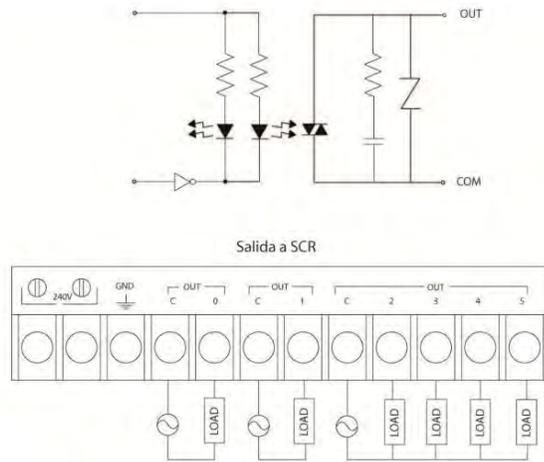


Figura 2.28. PLC con salida a rectificador controlado de Silicio.

- Unidad de control de procesos (CPU).** Es la parte más importante de todo el equipo; es la parte que procesa toda la información que se recibe de acuerdo a un programa previamente guardado en su memoria y envía las señales de salida al módulo correspondiente para poner a funcionar a una máquina. Adicionalmente al CPU existen varios tipos de memoria que son los que se encargan de almacenar varios tipos de datos, tanto de ejecución como de la programación, ver figura 2.29.

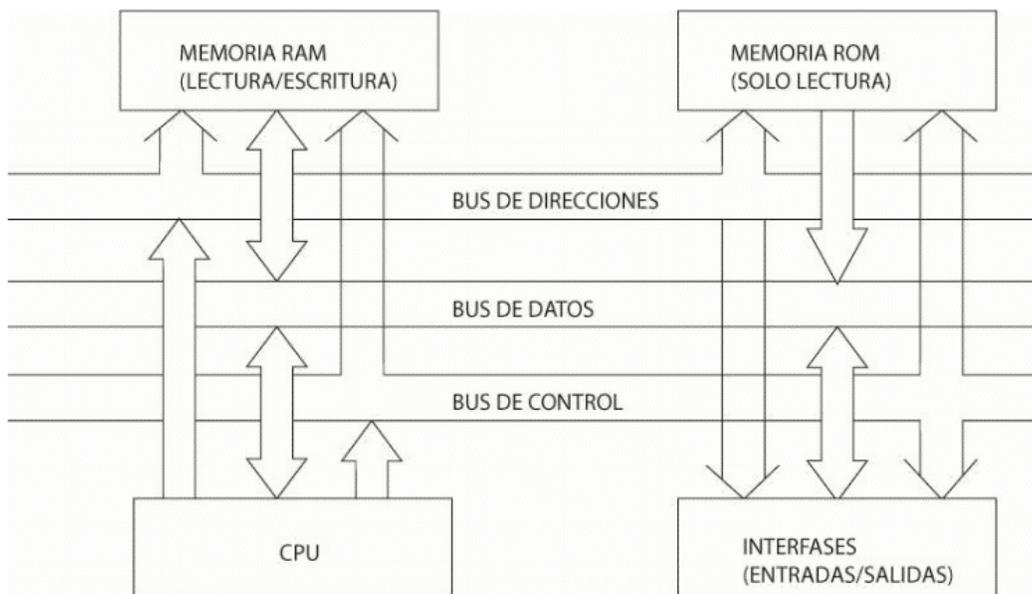


Figura 2.29. Arquitectura de la Unidad Central de Proceso.

La comunicación que existe entre el CPU, las diferentes memorias, los módulos de entradas, salidas y las interfaces de comunicación se da a través de buses, las cuales enlazan estos elementos a través de hilos o pistas intercambiando datos u órdenes. En el equipo se pueden almacenar una gran cantidad de datos a través de bits con valor de “0” y “1” que combinados constituyen en lenguaje binario, la capacidad de procesamiento de

un CPU está dada por el modelo de este, se le conoce como velocidad de procesamiento. En memorias adicionales se pueden almacenar datos de fábrica y datos de programación, cada una de las cuales juegan un papel en el proceso de programación y ejecución de los datos. Estos datos se introducen en el equipo a través de datos codificados en valores binarios “0” y “1” conocidos en bits.

Un bit es la unidad de información más pequeña con valores cero y uno, estos valores los proporciona básicamente el módulo de entrada de los sensores o mandos quienes solamente pueden guardar dos estados; cerrado (1) y abierto (0).

De la misma forma el CPU puede entregar, como resultado del proceso, dos valores en sus salidas Outputs; salida activa (1) y salida inactiva (0).

O internamente puede procesar con estos dos valores de salidas de los relevadores de control, conocidos como banderas.

Un grupo de 8 bits forma un byte, el que sirve para agrupar varias señales de información binaria. Por ejemplo, los direccionamientos, en la mayoría de los equipos, cuando son de entradas o de salidas, lo mismo que relevadores internos pueden ser agrupados por medio de bytes. Una palabra es la unidad de información compuesta por varios bits, esta palabra sirve para el proceso de información más compleja, en la que se manejan varios valores mayores al bit, por ejemplo, tiempos, conteo de eventos, cálculos matemáticos, comparación de valores, etc. El CPU es el encargado de ejecutar el programa que se diseña y se introduce previamente además de ordenar las transferencias de información en el sistema de entradas y salidas, también establece la comunicación con otros periféricos externos como pueden ser tarjetas adicionales u otros equipos PLC. Junto con el CPU se integran memorias que almacenan los datos que se introducen por medio de un programador, las memorias más comunes que se emplean son:

ROM (Read only memory). Memoria de solo lectura, esta memoria se graba desde su fabricación y está destinada a cumplir una tarea general. En esta memoria no afecta la falta de señal eléctrica, es decir se conserva independientemente de que este o no energizada el equipo.

RAM (Random access memory). Es la memoria de acceso en la cual se puede escribir pudiendo modificarse el programa cuantas veces se desee, que es una de las ventajas principales de los PLC sobre las tarjetas electrónicas. Esta memoria es del tipo volátil, es decir que debe ser respaldada por una pila interna que la proteja de cualquier falla de alimentación de la red eléctrica para evitar la pérdida de la memoria del programa. En muchos casos las pilas o capacitores que respaldan a esta memoria llegan a fallar, por lo que muchos fabricantes han recorrido a la memoria tipo EEPROM.

EPROM (Erasable programmable only memory). Es una memoria que puede ser borrada o modificada por luz ultravioleta y que se conserva su memoria aún cuando exista una falta de alimentación de la red, pero el proceso de modificación tarda entre 15 y 45 minutos, además de que se requiere de un equipo de reprogramación.

EEPROM (Erasable electrical random access memory). La memoria no volátil es una de las mejores para guardar datos sin necesidad de energía de respaldo, y solamente se

puede programar y borrar por medio de una señal eléctrica, de ahí su nombre traducido al inglés Memoria de Lectura, escritura programable y borrrable eléctricamente. Esta memoria se ejecuta a través de un software y una PC o a través de un programador manual. Esta memoria es la ideal para los equipos de PLC.

NVRAM (Non volatile RAM). Es una memoria de lectura y escritura no volátil-

- **Programador o software.** El PLC debe disponer de alguna forma de programación la cual se suele realizar empleando alguno de los siguientes elementos.

Unidad de Programación. Por lo general suele ser en forma de calculadora. Es la forma más simple de programar, y suele reservarse para pequeñas modificaciones del programa o lectura de datos.

Consola de programación. Es una terminal a modo de ordenador, que proporciona una forma más cómoda de realizar el programa del usuario y se puede observar los parámetros internos del PLC.

PC. Es el modo más potente y empleado en la actualidad. Permite programar desde un ordenador personal estándar, con todo lo que ello supone: Herramientas más potentes, posibilidad de almacenamiento de soporte magnético, impresión, transferencia de datos, monitorización mediante software SCADA, etc.

Para cada caso de PLC el fabricante proporciona lo necesario, el equipo o el software (cables de conexión).

2.4.4 Programación del PLC

Se puede definir un programa como un conjunto de instrucciones, órdenes y símbolos reconocibles por el PLC, a través de su unidad de programación, que le permiten ejecutar una secuencia de control deseada. El lenguaje de programación permite al usuario ingresar un programa de control de la memoria del PLC, usando una sintaxis establecida. Al igual que los PLC se han desarrollado y expandido, los lenguajes de programación también se han desarrollado con ellos. Los lenguajes de hoy en día tienen nuevas y más versátiles instrucciones. Como resultado de estas nuevas y expandidas instrucciones, los programas de control pueden ahora utilizar más datos fácilmente, reduciendo tiempo y esfuerzo al momento de crear la programación.

2.4.4.1 Norma IEC 1131-3

La comisión Electronica Internacional (IEC) desarrolló el estándar IEC 1131, en un esfuerzo para estandarizar los controladores Programables. Y uno de los objetivos del comité fue crear un conjunto común de instrucciones que podría ser utilizado en todos los PLC. Aunque el estándar 1131 alcanzó el estado de estándar internacional en agosto de 1992, el esfuerzo para crear un PLC estandarizado global ha sido una tarea muy complicada debido a que la diversidad de fabricantes de PLC y sus respectivos problemas de incompatibilidad de software entre marcas.

2.4.4.2 Tipos de lenguajes de programación de PLC

Actualmente cada fabricante diseña su propio software de programación, lo que significa que existe una gran variedad comparable con la cantidad de PLC que existe en el mercado actual. Además, esto también ha sido un nuevo nicho de mercado debido que independientemente del costo del PLC hay otro gasto, y es la de utilizar un software de programación específico. Hasta el momento existen cuatro tipos de lenguajes de programación de PLC siendo estos los más difundidos a nivel global:

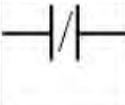
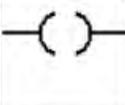
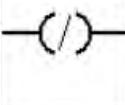
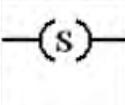
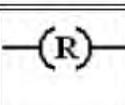
- Lenguaje de contactos o LADDER.
- Lenguaje Booleano (Lista de instrucciones)
- Diagrama de funciones (FDB)
- Diagrama de funciones Secuenciales (Secuential function chart, SFC)

2.4.4.2.1 Lenguaje ladder

El lenguaje LADDER, también denominado lenguaje de contactos o de escalera; es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los Controladores Lógicos Programables, esto se debe a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos. De esta manera, con los conocimientos necesarios que todo técnico electricista posee, puede programar de manera fácil y adaptarse a la programación de este tipo de lenguaje. La principal ventaja de este lenguaje es que los símbolos básicos que utiliza están normalizados según las normas NEMA (National Electrical Manufacturers Association) y son empleados por todos los fabricantes.

Para programar un PLC con el lenguaje LADDER debe estar familiarizado con las reglas de los circuitos de conmutación, es necesario conocer cada uno de los elementos de que consta este lenguaje. En la siguiente tabla 2.4, se puede observar los símbolos de los elementos básicos junto con sus respectivas descripciones.

Tabla 2.4. Elementos básicos del lenguaje LADDER.

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico.
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) es un uno lógico.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) es un cero lógico.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET.
	Bob. RESET.	Permite desactivar una bobina SET previamente activada.

El orden de ejecución de la programación generalmente es de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, primero los contactos luego las bobinas, de manera que al llegar a estas ya se conoce el valor de los contactos para posteriormente activarse o desactivarse (ver la figura 2.30).

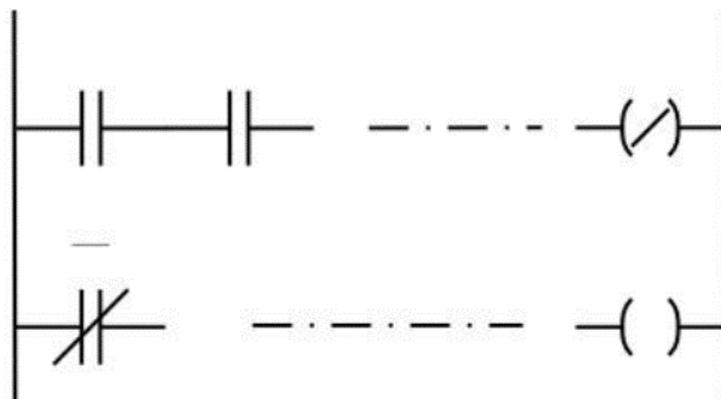


Figura 2.30. Formato de programación lenguaje LADDER.

2.4.4.2.2 Lenguaje Booleano (Lista de instrucciones)

El lenguaje Booleano, utiliza la sintaxis del Álgebra de Boole para ingresar y explicar la lógica de control. Consiste en elaborar una lista de instrucciones o nemónicos, haciendo uso de operadores Booleanos AND, OR, NOT, etc., y otras instrucciones nemónicas para implementar el circuito de control. En lenguaje “Lista de instrucciones” de la norma IEC 1131-3, es una forma de lenguaje Booleano. En la figura 2.31, se muestra un ejemplo de programación Booleano.

A	I	2.3
A	I	4.1
O	I	3.2
=	Q	1.6

Figura 2.31. Programa en lenguaje Booleano.

2.4.4.2.3 Lenguaje de funciones (FDB)

Es un lenguaje gráfico que permite al usuario programar elementos (bloques de funciones del PLC) de tal forma que ellos aparecen interconectados al igual que un circuito eléctrico. Generalmente se utilizan símbolos lógicos para representar al bloque de función. Adicionalmente a las funciones estándares y especificaciones del vendedor, el lenguaje FBD de la norma IEC 1131-3 permite al usuario construir sus propios bloques de funciones, de acuerdo a los requerimientos de control. En la siguiente figura 2.32, se muestra un ejemplo de programación mediante diagramas a funciones.

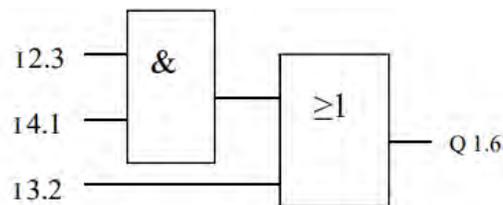


Figura 2.32. Ejemplo de programación en lenguaje FBD.

2.4.4.2.4 Diagrama de funciones secuenciales (Sequential function chart, SFC)

Es un lenguaje de programación gráfico que provee una representación diagramática de secuencias de control en un programa. Básicamente el lenguaje SFC es similar a un diagrama de flujo, en el que se puede organizar los subprogramas o subrutinas que forman el programa de control. SFC es particularmente útil para operaciones de control secuencial, donde un programa fluye de un punto a otro una vez que una condición ha sido cumplida satisfactoriamente. El programa irá activando cada una de las etapas y desactivando la anterior conforme se vayan cumpliendo cada una de las condiciones. Las acciones se realizan en función de la etapa activa a la que están asociadas. En la figura 2.33 se muestra un ejemplo de programación SFC.

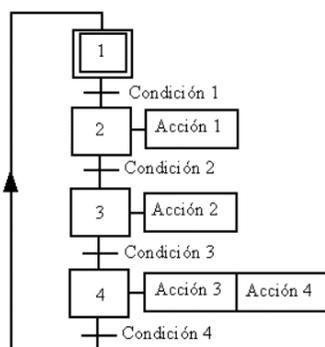


Figura 2.33. Ejemplo de programación en Lenguaje SFC.

2.5 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado programable y está formado por un conjunto de componentes conectados de una forma compacta (como se muestra en la figura 2.34); siendo capaz de ejecutar una serie de instrucciones que han sido definidas con anterioridad; y está conformado por los siguientes bloques:

- **CPU (Unidad central de proceso).** Este se encarga de procesar las señales recibidas ejecutando cada instrucción definida previamente por el usuario y de controlar que la ejecución sea la correcta, dando lugar a unos datos de salida.
- **Memoria.** Aquí se almacenan todos los datos necesarios y las distintas instrucciones. Existen dos tipos de memorias.
 - **Memoria volátil.** La información almacenada en este tipo de memorias se pierde al desconectar la fuente de alimentación.
 - **Memoria persistente.** La información almacenada permanece incluso si se desconecta la fuente de alimentación.
- **Patillas de Entradas / Salidas.** Estas patillas o pines son las que permite la comunicación con el microcontrolador con la parte física del sistema, En las patillas de entrada se conectan los sensores y en las de salida los actuadores. Hay que destacar que muchas patillas, pueden ser empleadas como entradas o salidas indistintamente.

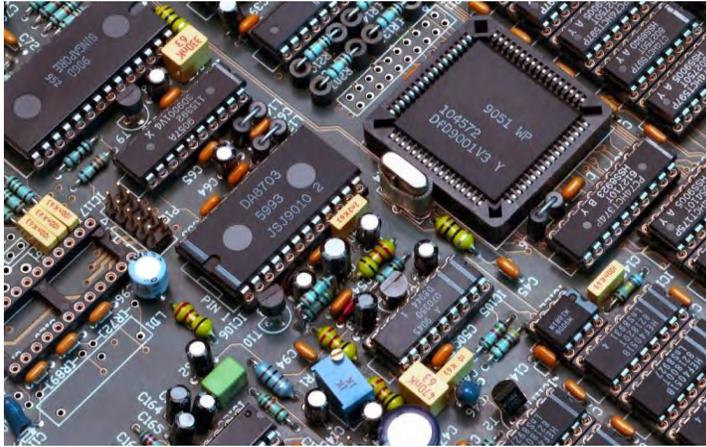


Figura 2.34. Microcontroladores.

Fuente: <https://siticed.com.mx/2020/02/12/microcontroladores/>

2.5.1 NodeMCU ESP8266

El NodeMCU ESP8266 es un dispositivo que permite la conexión a Internet por medio de Wi-Fi, y es muy parecida a la plataforma Arduino y se esté también se puede programar en lenguaje Arduino por medio de la interfaz Arduino IDE. En los últimos años han aparecido un sin número de nuevos dispositivos y placas de desarrollo muy similares a Arduino con otras capacidades como Wi-Fi o Bluetooth integrados. Y también existe una nueva línea de mercado en software de código abierto denominada NodeMCU. Existen dispositivos de diferentes modelos en el mercado que basan su tecnología en el ESP8266 (ver figura 2.35), variando solamente los numero de pines entradas y salidas, y la cantidad de memoria interna. Para el NodeMCU, el dispositivo fue diseñado para programarse mediante LUA, sin embargo, es compatible con median Microphyton o con Arduino [29] [31][32].

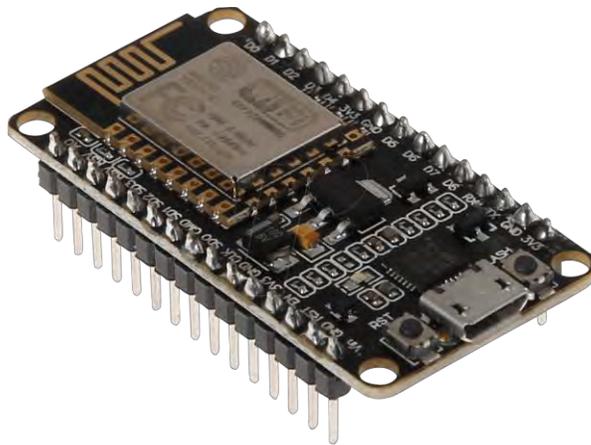


Figura 2.35. Placa de desarrollo NodeMCU.

Fuente: ESP8266, A. T. (2015). Instruction Set Version 3.0. Espressif Systems IOT Team
Copyright (c).

La plataforma de conectividad inteligente de Espressif Systems (ESCP) (ver figura 2.36) es considerado un conjunto de alto rendimiento y alta integración SOC inalámbricos, diseñados para diseñadores de plataformas en móviles y con ciertas limitaciones de espacio y energía. Esta plataforma proporciona la integración de capacidades de Wi-Fi dentro de otros sistemas, o para funcionar como un programa de aplicación independiente, con el mínimo costo y mínimo espacio de requisito [30].

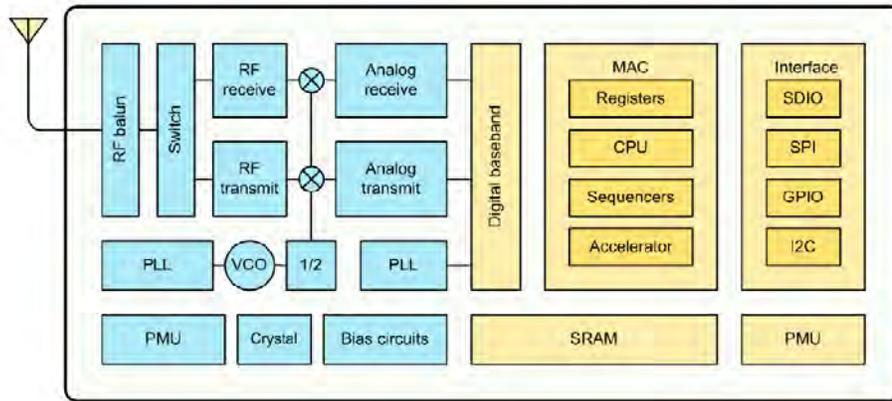


Figura 2.36 Diagrama a bloques del ESP8266.

Fuente: ESP8266, A. T. (2015). Instruction Set Version 3.0. Espressif Systems IOT Team Copyright (c).

ESP8266EX ofrece una solución de red Wi-Fi completa e independiente; se puede utilizar también para alojar la aplicación o para descargar funciones de red Wi-Fi de otro procesador de aplicaciones. Cuando ESP8266EX sube la aplicación, se inicia directamente desde un flash externo. Donde tiene integrado un caché para mejorar el rendimiento de sistema en dichas aplicaciones. De forma alternativa, sirve como un adaptador Wi-Fi, donde puede acceder de forma inalámbrica a Internet cualquier microcontrolador basado en diseño con conectividad simple (Interfaz SPI / SDIO o I2C / UART).

El ESP8266EX es uno de los chips Wi-Fi más integrados en la industria; integra la antena, interruptores, balun de RF, amplificador de potencia, amplificador de recepción de bajo ruido, filtros, módulos de administración de energía, requiere un circuito externo mínimo, y la solución completa, incluido el módulo frontal, está diseñada para ocupar el área mínima de PCB. ESP8266EX también integra una versión mejorada del procesador de 32bits de la serie L106 Diamond de Tensilica, con SRAM en chip, además de las funcionalidades WiFi. ESP8266EX a menudo se integra con dispositivos externos sensores y otros dispositivos específicos de aplicaciones a través de sus GPIO (ver la figura 2.37); códigos de muestra para tales aplicaciones se proporcionan en el kit de desarrollo de software (SDK) [30]. [32].

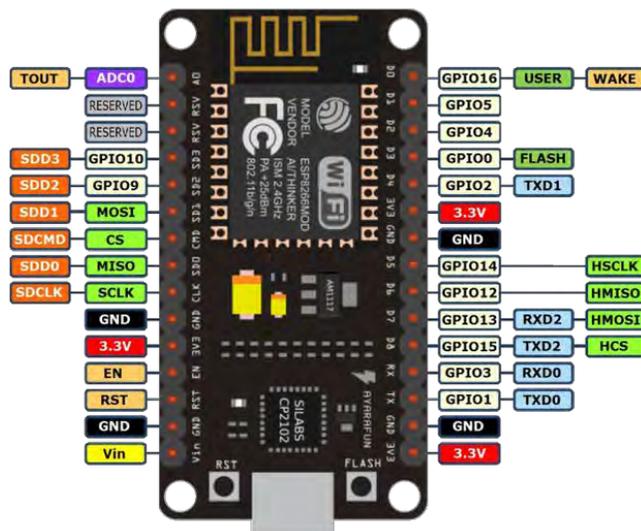


Figura 2.37. Configuración de pines del ESP8266.

Fuente: ESP8266, A. T. (2015). Instruction Set Version 3.0. Espressif Systems IOT Team Copyright (c).

2.5.2 LUA

LUA es un lenguaje de programación muy potente, eficiente, ligero e integrable. Es compatible con la programación procedimental y está orientada a objetos lo que lo hace funcional. Combina la sintaxis de procedimiento sencillo como poderosas construcción de descripción de datos basados en matrices asociativas y semánticas extensibles. Lua es escrito de forma dinámica, se ejecuta mediante la interpretación de código de bytes con una máquina virtual basada en registros, y tiene la gestión de memoria automática con la recolección de basura, lo que lo hace ideal para la configuración, scripting y prototipado rápido [39].

Es un lenguaje robusto que se ha utilizado incluso en aplicaciones industriales como Adobe Photoshop, Lightroom; también en los sistemas integrados como Ginda middleware, juegos como World of Warcraft y Agry Birds. Lua es portable, se distribuye en un pequeño paquete y funciona en todas las plataformas que tienen un compilador de C estándar. Lua se ejecuta en todas las versiones de Unix y Windows, en dispositivos móviles (Android, iOS, Brewm Symbian, Windows Phone) en microprocesadores embebidos como ARM y Rabbit. Es un software libre de código abierto, distribuido bajo una licencia del MIT y puede ser utilizado para cualquier propósito, incluyendo fines comerciales, sin ningún costo [40].

2.5.3 MCU

ESP8266EX está integrado con el microcontrolador Tensilica L106 de 32bits (MCU), y cuenta con un nivel muy bajo de consumo de energía y RISC de 16 bits. La velocidad de reloj de la CPU es de 80 MHz y también podría alcanzar valores máximos de 160 MHz. El sistema de operación en tiempo real (RTOS) está habilitado. A continuación, se muestran algunas interfaces que se pueden usar para conectarse a la MCU integrada:

- Interfaces RAM / ROM programables (iBus), que se pueden conectar con el controlador de memoria, y también se puede utilizar para visitar el flash externo.
- Interfaz de RAM de datos (dBus), que puede conectarse con el controlador de memoria.
- Interfaz AHB, y se puede utilizar para visitar el registro.

2.5.4 SRAM y ROM Interna.

ESP8266EX WiFi SoC está integrado con un controlador de memoria, que incluye SRAM y ROM. MCU puede también visitar las unidades de memoria a través de las interfaces iBus, dBus y AHB. Todas las unidades de memoria pueden visitarse por solicitudes, mientras que un árbitro de memoria decidirá la secuencia de ejecución de acuerdo con el tiempo cuando las solicitudes son recibidas por el procesador.

La versión actual de SDK provista, se asigna espacio SRAM que está disponible para los usuarios como:

- Tamaño de RAM < 36kB, cuando la ESP8266EX está trabajando bajo el modo de estación y es conectado al enrutador, el espacio programable accesible para el usuario en la sección de almacenamiento y datos es alrededor de 36kB.
- No hay ROM programables en el SoC, por lo tanto, el programa de usuario debe almacenarse en un flash SPI externo.

2.6 Internet de las cosas (Iot)

El internet de las cosas o the internet of things (iot) consiste en que diferentes objetos eléctricos tengan la capacidad de conectarse a internet en cualquier momento y en cualquier lugar. Hablando de manera más técnica consiste en la integración de los sensores en los dispositivos cotidianos que estén conectados a internet a través de redes fijas e inalámbricas. De esta manera, cualquier objeto al ser conectado a internet puede ser una fuente de información.

El internet de las cosas está presente en nuestro entorno, ya sea laboral, en la casa, en la escuela, el supermercado, etc. En definitiva, el objetivo ideal del iot sería la de lograr conectar cualquier objeto y se tenga interacción con él a través de internet.

2.6.1 Blynk

Blynk es una plataforma iot para aplicaciones móviles de iOS y Android para control microcontroladores como Arduino, Raspberry y NodeMCU via internet (figura 2.38 muestra el logotipo de la empresa Blynk). La aplicación es utilizada para crear interfaces gráficas o HMI (Human Machine Interface por sus siglas en inglés) compilando y proporcionando la dirección apropiada en los widgets disponibles. Blynk fue diseñado para aplicaciones de Internet de las cosas; donde la aplicación puede controlar el hardware de forma remota, puede mostrar datos de sensores, puede almacenar datos, visualizarlos, etc [42]. La plataforma tiene tres componentes principales:

1. Aplicación Blynk: Permite al usuario crear interfaces para proyectos utilizando varios widgets que se proporcionan dentro de la aplicación.
2. Servidor Blynk: Es el responsable de todas las comunicaciones entre el dispositivo móvil (teléfono, tableta) y hardware. También se puede utilizar Blynk Cloud o ejecutar su

servidor Blynk privado localmente. Es de código abierto y podría soportar miles de dispositivos en el servidor.

3. Biblioteca Blynk: Permite la comunicación, para las plataformas de hardware populares, con el servidor y procesar todos los comandos entrantes y salientes.



Figura 2.38. Logotipo de la empresa Blynk [43].

Fuente: <https://docs.blynk.cc/>

La plataforma inicia su proceso cuando se presiona un botón en la aplicación, los datos se mueven a Blynk Cloud y de acuerdo con los protocolos de comunicación encuentran su camino hacia el hardware establecido en la aplicación, como se muestra en la siguiente figura 2.39.

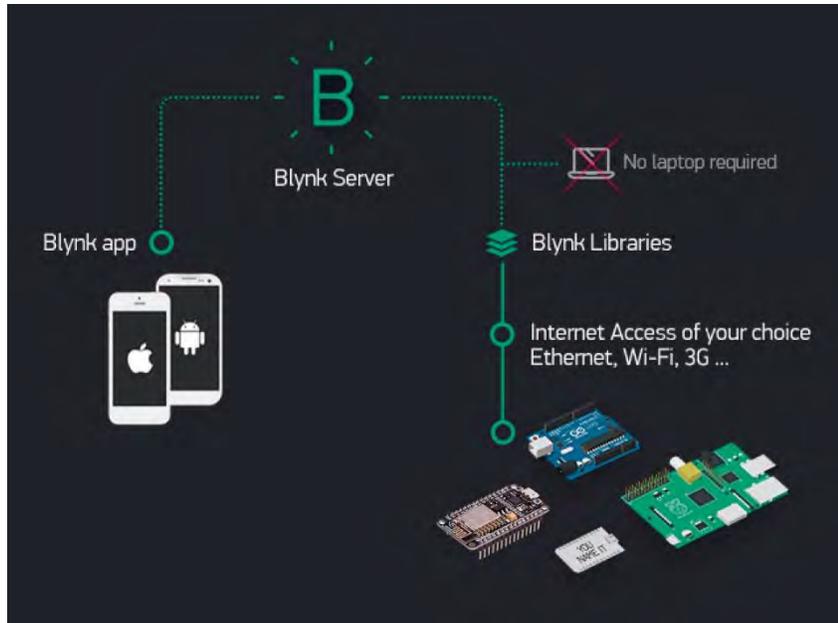


Figura 2.39. Protocolo de comunicación de Blynk.

2.7 Diodo zener

El diodo zener es un dispositivo electrónico semiconductor de dos terminales que tiene la propiedad de mantener la caída de potencial a través de él y se dispara en la zona de ruptura, punto exacto que lo hace conducir. De manera que al aumentar gradualmente la tensión inversa a

través del diodo, se llega a un punto en el que la corriente inversa comienza a aumentar rápidamente. De manera, que si a un Zener se le aplica -20 V la corriente inversa puede ser de $-5\mu\text{A}$, pero si a -20.1 V la corriente inversa llegara a ser -2mA . Entonces a este aumento brusco puede deberse a dos mecanismos, también puede verse en la figura 2.26 para una mejor comprensión [42]:

- La ruptura del zener, es un fenómeno por el cual un aumento de voltaje suficiente hace que el campo eléctrico aproximado a la unión se vuelva tan fuerte que provoca que los electrones sean desplazados bruscamente de los enlaces covalentes cuando se llega al V_{bd} (Barrera de voltaje de diodo).
- La ruptura por avalancha, este fenómeno se debe a un efecto en emisión secundaria. Donde los portadores minoritarios que son producidos por la ruptura en los enlaces covalentes son acelerados a través de la unión causada por la polarización inversa. Cuando el voltaje alcanza un valor crítico, los portadores minoritarios alcanzan una velocidad suficiente para romper los enlaces covalentes de los átomos con los que chocan, lo que su vez produce una ruptura de otros enlaces, y así sucesivamente. De esta forma se produce un abrupto aumento en el número de portadores de corriente, lo que da lugar a que el diodo parezca tener una resistencia baja.

El termino diodo zener, que es así como se le conoce comercialmente, se refiere a un diodo de silicio que trabaja en su región de ruptura. Independiente de que la ruptura sea del tipo zener o por avalancha, el diodo recibe también nombre de elemento de referencia de voltaje, en la siguiente figura 2.40 se muestra lo antes mencionado.

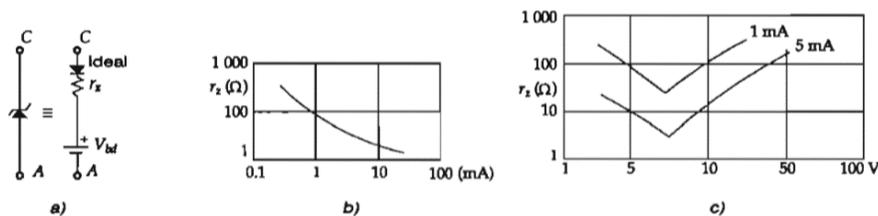


Figura 2.40. a) símbolo del diodo Zener y su equivalencia simbólica. b) la r_s disminuye al aumentar al corriente. c) La impedancia dinámica Zener es función tanto de la tensión de ruptura como de la corriente estática [42].

Al diodo zener se le acostumbra a darle una corriente mínima de 2 a 5 mA por debajo del codo Zener, lugar donde el diodo comienza a conducir que viene siendo un aproximado del 10% de la corriente máxima de carga ($I_{L_{máx}}$), la más común de las cuales es de 5 mA.

A continuación, se muestra un circuito regulador de voltaje básico o circuito de referencia de voltaje, en el que la R_s es una resistencia limitadora de corriente que, junto con el zener forman un divisor voltaje. Aquí hay tener en cuenta que la caída de potencial a través del zener debe ser mucho mayor que la del propio diodo zener, de lo contrario estaría entrando en conducción o no, lo que ocasionaría inestabilidad en la regulación. Esto quiere decir que, independientemente del valor de la carga (R_L) o de la corriente que por ella circula, el voltaje a través del zener se mantiene “constante”, y si existiera alguna variación, este sería de décimas o centésimas de volts,

a continuación, se muestra en la figura 2.41 la curva característica típica de comportamiento del zener.

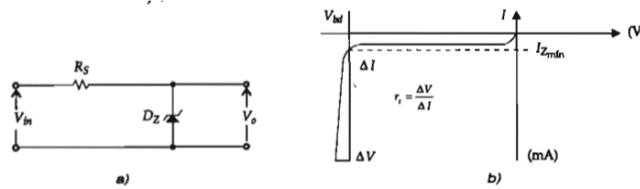


Figura 2.41. a) Circuito regulador de voltaje básico. b) Curva característica típica del zener.

Donde el voltaje a través de la resistencia limitadora es:

$$VR_S = V - V_Z = V - V_o \quad (\text{Ec. 1})$$

$$I_Z = I_S - I_L$$

Como está polarizado inversamente, el diodo zener presenta una resistencia muy grande, así que comparada con R_L impera esta última y queda como un divisor de voltaje.

$$V_Z = \frac{RL_{min} * V}{RL_{min} + R_S} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde RL_{min} es el valor mínimo que debe tener la carga para que el diodo entre en funcionamiento.

$$\text{A una } RL_{min} \text{ le corresponde una } IL_{m\acute{a}x} = \frac{V_Z}{RL_{min}}$$

$$\text{A una } RL_{m\acute{a}x} \text{ le corresponde una } IL_{min} = \frac{V_Z}{RL_{m\acute{a}x}}$$

$$\text{Para un } Vin_{min} = R_S(I_Z_{m\acute{a}x} + IL_{m\acute{a}x}) + V_Z \quad (\text{Ec. 3})$$

$$\text{Para un } Vin_{m\acute{a}x} = R_S(I_Z_{m\acute{a}x} + IL_{min}) + V_Z \quad (\text{Ec. 4})$$

La ecuación 1 (ec. 1) se utiliza para el peor de los casos (cuando V es mínimo), debido a que el voltaje a través del diodo zener deber ser mayor al recomendado por el fabricante para que este pueda entrar en conducción inversa y así pueda regular la tensión. Debe tomarse en cuenta también en cuenta la diferencia de potencial a través de R_S .

Se considere la parte lineal de la curva característica en conducción del diodo zener, se utiliza la siguiente regla equivalente a una corriente de 2 o 5 mA para que el zener se dispare:

$$I_{Zmin} = 0.1I_{Zm\acute{a}x}$$

Donde sí despejamos R_S de la ecuación 3 y de la ecuación 4 e igualando ambas, nos queda como se muestra continuación:

$$I_{Zm\acute{a}x} = \frac{I_{Lmin}(V_Z - Vin_{min}) + I_{Lm\acute{a}x}(Vin_{m\acute{a}x} - V_Z) - I_{Zmin}(Vin_{m\acute{a}x} - V_Z)}{Vin_{min} - V_Z}$$

Despreciando el tercer término del numerador y haciendo que $V_Z = 0.9V_Z - 0.1V_{in_{m\acute{a}x}}$ se tiene lo siguiente:

$$I_{Zm\acute{a}x} = \frac{I_{Lmin}(V_Z - V_{in_{min}}) + I_{Lm\acute{a}x}(V_{in_{m\acute{a}x}} - V_Z)}{V_{in_{min}} - 0.9V_Z - 0.1V_{in_{m\acute{a}x}}} \quad (\text{Ec. 5})$$

La $I_{Zm\acute{a}x}$ de la ecuación 5 no debe exceder lo que nos marca el fabricante en la hoja de datos, de lo contrario el diodo se destruye.

También se puede calcular el valor del capacitor que lleva antes del regulador y este se da por $V_{in_{m\acute{a}x}} - R_s I_s + V_Z$ y queda como sigue:

$$C = \frac{V_{in_{m\acute{a}x}} - V_Z}{\Delta V \cdot f_p \cdot R_s} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde ΔV es igual a la diferencia de voltajes de entrada al regulador (máximo menos mínimo) y f_p frecuencia para rectificación de medio onda u onda completa (60 a 120 Hz).

2.8 Fuente de alimentación estabilizada con diodo zener.

Los reguladores de tensión son circuitos capaces de proporcionar tensiones y corrientes muy estables aún con resistencias de carga muy bajas. Habitualmente están basados en elementos de referencia de tensión que proporcionan precisión y estabilidad, junto con otros elementos de amplificación de potencia que los habilitan para transferirla a las cargas.

Aunque las características intrínsecas de la tecnología semiconductor son poco apropiadas para diseñar elementos con valores absolutos en su salida, existen un conjunto de configuraciones diseñadas de forma inteligente y habitualmente basadas en técnicas de compensación, que proporcionan tensiones y corrientes con valores bien definidos y prácticamente insensibles a los cambios de la temperatura y de otros factores de influencia ambiental.

El diodo zener es un nombre genérico que representa a los diodos bipolares que presentan una abrupta ruptura en su región de polarización inversa. Cuando a un diodo de silicio se le aplica una tensión directa (en el sentido de conducción), circulará por él una corriente exponencial y producirá una caída de tensión entre los bornes del diodo que resultará prácticamente constante. Cuando la tensión que se aplica es inversa, la corriente inversa se mantiene en valores extremadamente bajos hasta la ruptura; en este punto, la corriente crece drásticamente para pequeños incrementos de tensión inversa. A partir de la tensión de ruptura, el diodo resulta útil como fuente de referencia, ya que la tensión entre los bornes permanece relativamente constante para un amplio rango de corrientes, con una resistencia dinámica r_z muy baja (típicamente del orden de las decenas de ohmios) como se muestra en la figura 2.42.

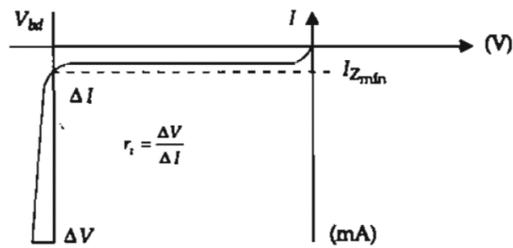


Figura 2.42. Gráfica del comportamiento del diodo [42].

Dos fenómenos físicos son responsables de la ruptura del diodo: el efecto avalancha y el efecto Zener. El efecto avalancha ocurre en los diodos cuya tensión de ruptura excede aproximadamente los 5 V. Por debajo de esos 5 V, el efecto zener es el que determina las características de ruptura. Que predomine uno u otro es función del diseño del dispositivo, especialmente en el dopaje. A su vez, el coeficiente de temperatura de las referencias de tensión depende del efecto responsable de la ruptura. La ruptura por avalancha tiene un coeficiente de temperatura positivo, debido a que el camino libre medio disminuye con la temperatura. La ruptura zener, en cambio, tiene un coeficiente de temperatura negativo ya que el ancho de la zona prohibida disminuye con la temperatura. Estos dos efectos tienden a cancelarse en diodos con tensiones de referencia en el rango de 6 V. En la figura 2.43 se muestra lo antes mencionado en este párrafo.

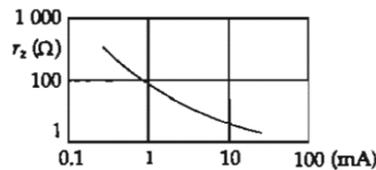


Figura 2.43 Gráfica del comportamiento del voltaje de ruptura del diodo.

Sin embargo, la cancelación total ocurre sobre un rango muy estrecho de corriente. Normalmente en la práctica, no se hace distinción del efecto que tiene preponderancia en el diodo de tensión de referencia y se los designa a todos como diodos zener.

La deriva térmica de un circuito de referencia de tensión basado en diodo zener, depende fundamentalmente de las características del diodo. Los fabricantes suelen proporcionar unas curvas que muestran la dependencia del coeficiente de variación de la tensión del zener con la temperatura.

Por lo tanto, un circuito de referencia de tensión en un diodo zener consiste en un zener polarizado para que opere en su zona de ruptura. La polarización se realiza utilizando una fuente rectificadora y una resistencia R1. Un circuito equivalente para un diodo de referencia de tensión en la zona de ruptura es un simple circuito con derivación como se muestra en la figura 2.44.

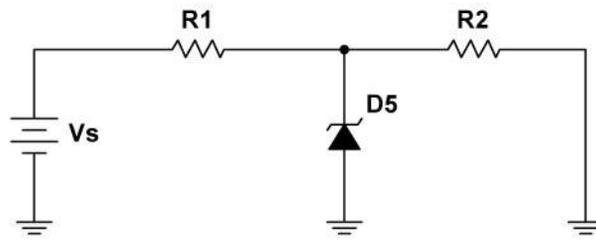


Figura 2.44. Circuito equivalente del circuito de tensión con referencia en un diodo zener.

Capítulo 3. Metodología

En este capítulo se describe la metodología y partes del sistema inmótico que se desarrolla en este documento de investigación. Primero se diseña del circuito acondicionador y los cálculos realizados para su dimensionamiento, posteriormente la programación del microcontrolador ESP8266 para la recolección de datos mediante sus pines GPIO, también se explica la programación que se realiza en la plataforma del ESP8266 mediante el IDE de Arduino y el funcionamiento de la base de datos de la plataforma Blynk para el alojamiento de los datos recopilados en tiempo real del sistema.

Los datos que son procesados por el ESP8266 y el servidor Blynk son usados como indicadores que muestran dos estados (encendido o apagado) en una interfaz gráfica creada en la aplicación Blynk para dispositivos Android, según la indicación de los datos en el momento que son leídos por el microcontrolador a las entradas y salidas del Controlados Lógico Programable (PLC); en la siguiente figura 3.1 se muestra un diagrama de flujo para explicar el funcionamiento del sistema y para su mejor comprensión.

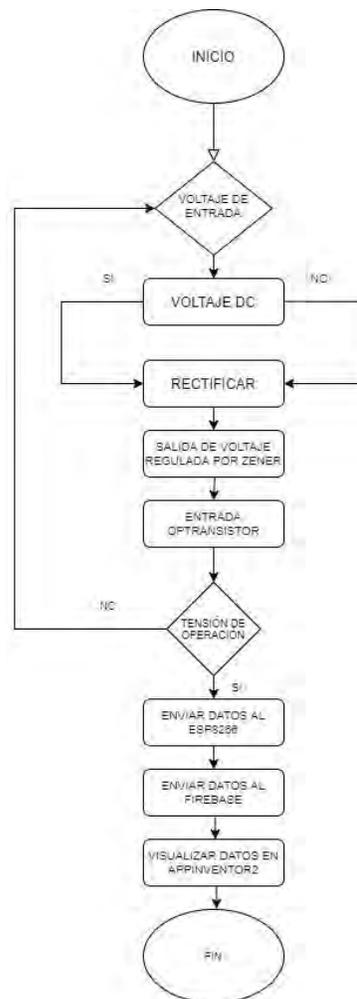


Figura 3.1. Diagrama de flujo del sistema inmótico.

3.1 Etapa del diseño del circuito acondicionador

Para el diseño de la fuente reguladora de tensión no-interrumpida se propone el circuito de la figura 3.2, que consta de cuatro diodos para la rectificación en onda completa para voltajes en corriente alterna, un condensador, resistencias, un diodo Zener, un optotransistor y fuentes de voltaje.

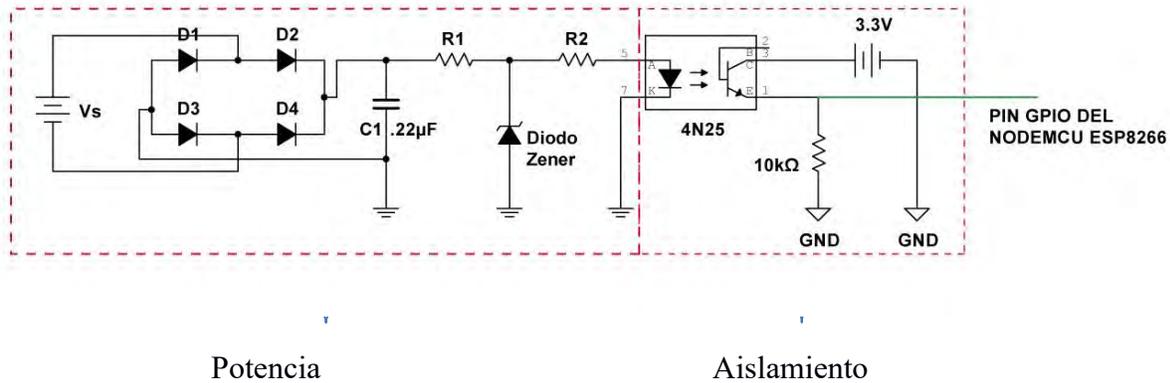


Figura 3.2. Esquema general del circuito acondicionador para AC y CD.

El circuito acondicionador puede dividirse en dos partes para su mejor comprensión y tiene un funcionamiento como se explica a continuación:

1. Potencia: Esta parte tiene como función realizar la rectificación de voltajes V_s ya sea en AC o DC. Estos voltajes pueden ser de 12/24/48 VCD y 110 VAC, posteriormente a la rectificación se regulan los voltajes a cierto voltaje de salida que proporciona el diodo Zener, reduciendo a un voltaje de operación para el optotransistor para un mejor manejo de tensión.
2. Aislamiento. Esta parte tiene como función principal aislar los voltajes rectificados de V_s por medio de un optotransistor 4N25 y una fuente de 3.3 V. Los voltajes de salida del optotransistor son regulados por una segunda fuente que, para fines de funcionamiento, es necesario un valor máximo de 3.3 V, este voltaje es el utilizado por los pines GPIO's del Microcontrolador NodeMCU ESP8266, por seguridad y protección de la circuitería interna del mismo.

Donde V_s representa los valores de $110V_{AC}$, $12V_{CD}$, $24V_{CD}$ y $48V_{CD}$.

Para el dimensionamiento del sistema acondicionador es necesario tratar el circuito por partes, esto debido a que tanto el diodo zener y el optotransistor necesitan cierto voltaje y corriente de operación para protegerse de alguna sobretensión o corto circuito, de manera que partiendo desde la primera parte de potencia, como se muestra en la figura 3.2, se realiza un circuito equivalente de la parte que está encerrado en rojo, para el cálculo de R_2 ; para este cálculo es necesario considerar al diodo zener, como una fuente de 5.1V que es el voltaje máximo que proporciona como regulador, quedando como como se muestra en la figura 3.3.

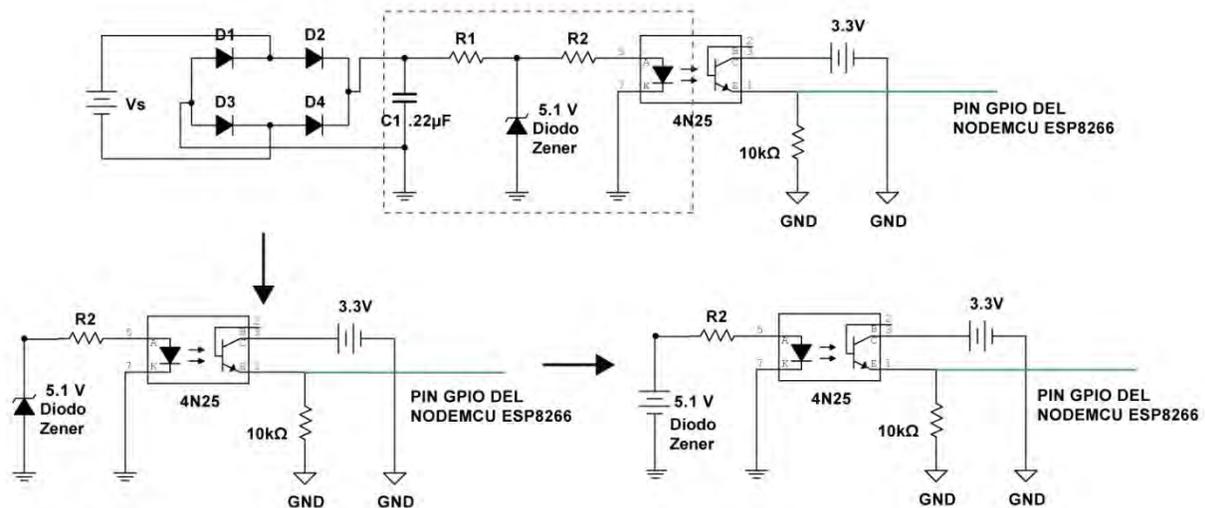


Figura 3.3. Circuito equivalente para calcular R2.

Para encontrar el valor de R2 se aplica la ley de ohm, considerando la corriente del 4N25 proporcionado en los datos del fabricante, puesto que se considera como una carga que se necesita mantener para asegurar el funcionamiento del led interno del mismo siempre que exista un voltaje en el proporcionado por el diodo zener.

$$I = \frac{V}{R} \text{ (Ec. 7) y despejando R tenemos: } R = \frac{V}{I} = \frac{5.1V}{30mA} = 170\Omega$$

Con este valor de R2 se asegura un flujo de corriente de 30mA para activar el led interno del 4N25, corriente necesaria para activar el transistor interno. Posteriormente al cálculo de R2 podemos calcular el valor de R1.

Para el cálculo de R1, se considera un caso especial para los reguladores con diodo zener y es cuando el voltaje de entrada es variable debido a que está haciendo el cálculo para los voltajes 110 VAC, 12 VCD, 24VCD y 48VCD; para esto es necesario realizar varias operaciones con las siguientes fórmulas y realizar un análisis para encontrar el valor óptimo que pueda proteger el circuito y también asegure un funcionamiento dentro del rango de voltajes antes mencionados.

Continuando; R1 es conocida como la resistencia de polarización o resistencia de protección, porque polariza o protege el diodo Zener de tal forma que lo hace conducir dentro de un rango de corrientes. Por lo tanto el zener ideal mantendrá el voltaje zener estable para cualquier valor de corriente pero también se considera el hecho de que poseer componentes en serie y paralelo a él hacen cambiar su comportamiento; para fines prácticos de estudio y tomando valores lo suficientemente cercano posible al real se utiliza su comportamiento más ideal, mismo voltaje para su rango de corriente y estos valores son proporcionados por el fabricante en la hoja de datos para cada componente, para el caso del diodo zener, como se muestra en la figura 3.4.

Type	Nominal Zener voltage ¹⁾ at I_{ZT} V_Z V	Test current I_{ZT} mA	Maximum Zener impedance ¹⁾		Typical temperature coefficient α_{VZ} %/K	Maximum reverse leakage current			Maximum regulator current ²⁾ I_{ZM} mA
			at I_{ZT} Z_{ZT} Ω	at $I_{ZK} = 0.25$ mA Z_{ZK} Ω		I_R μ A	Test voltage Suffix A V_R V	Suffix B V_R V	
1N5225	3.0	20	29	1600	-0.075	50	0.95	1.0	152
1N5226	3.3	20	28	1600	-0.070	25	0.95	1.0	138
1N5227	3.6	20	24	1700	-0.065	15	0.95	1.0	126
1N5228	3.9	20	23	1900	-0.060	10	0.95	1.0	115
1N5229	4.3	20	22	2000	-0.055	5	0.95	1.0	106
1N5230	4.7	20	19	1900	± 0.030	5	1.9	2.0	97
1N5231	5.1	20	17	1600	± 0.030	5	1.9	2.0	89
1N5232	5.6	20	11	1600	+0.038	5	2.9	3.0	81
1N5233	6.0	20	7	1600	+0.038	5	3.3	3.5	76
1N5234	6.2	20	7	1000	+0.045	5	3.8	4.0	73

Figura 3.4. Datos del fabricante del diodo zener.

Se asume que V_s es variable y la carga (corriente del 4N25) constante, esto es porque es necesario mantener una corriente de operación del led del 4N25 de 16mA aproximadamente hasta un máximo de 60mA (figura 3.5). Se hace mención que para este caso especial donde los voltajes son variables. Se toman los valores de los dos puntos críticos importantes que son el voltaje de entrada mínimo y el voltaje de entrada máximo, y, por lo tanto, se analiza el circuito dos veces.

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

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$

Figura 3.5. Hoja de datos del Optoacoplador 4N25.

Se realiza un circuito equivalente para encontrar R_1 como se muestra en la figura 3.6. Aquí se analiza los siguiente, dos casos:

- Cuando el voltaje de entrada es 12 V que es considerado como el voltaje mínimo de operación de entrada de un PLC para los sensores y actuadores, por lo tanto, este voltaje es el primero con que se realizan los cálculos matemáticos para R_1 como se muestra en la figura 3.6.
- Cuando el voltaje de entrada es 110 V en ac que es considerado como el voltaje máximo de operación de entrada de un PLC para los sensores y actuadores, por lo tanto, este voltaje es el segundo valor con que se realizan los cálculos matemáticos para R_1 , como se muestra en la figura 3.7.

Para ambos casos se busca que exista una corriente mínima y una máxima que pueda asegurar el funcionamiento, así como la protección del diodo Zener haciendo uso de la fórmula de la ecuación 8.

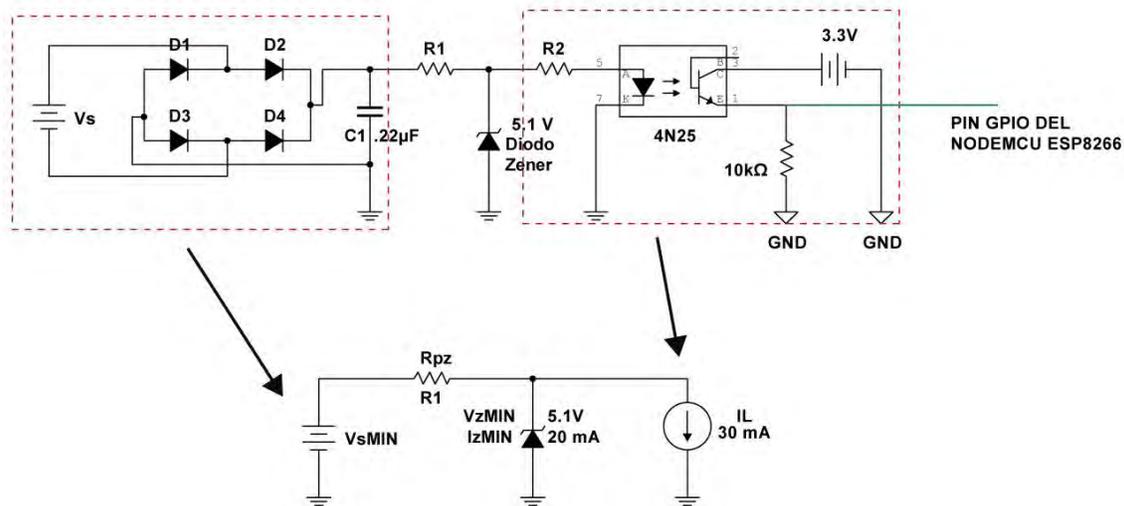


Figura 3.6. Circuito equivalente con un voltaje mínimo de entrada ($V_{S_{MIN}}$).

$$R_{pz} = \frac{V_{S_{MIN}} - V_Z}{(I_{Z_{MIN}} * 1.1) + I_L} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde $V_{S_{MIN}}$ es el voltaje mínimo de operación.

$V_{Z_{MIN}}$ es el voltaje de diodo Zener proporcionado por el fabricante en su hoja de datos.

$I_{Z_{MIN}}$ es la corriente mínima para hacer funcionar el diodo Zener proporcionado por el fabricante en su hoja de datos como *Test Current*.

1.1 es un margen de tolerancia.

I_L es la corriente de la carga

Calculando tenemos los siguientes valores:

$$R_{pz} = \frac{12V - 5.1V}{(20mA * 1.1) + 30mA} = 132.6923077\Omega$$

Donde 12V representa el valor mínimo de entrada para el primer caso.

También se podría calcular la potencia mínima del zener y de la resistencia de polarización, pero es mucho más importante calcularlos en el voltaje máximo porque será cuando más potencia disipará y estos valores de potencia pudieran hacer calcular nuevamente los valores de R_{pz} , ya que estos son parámetros de protección del sistema acondicionador.

Seguidamente se analiza el circuito equivalente de figura 3.7 cuando el voltaje de entrada es el máximo, y la corriente del zener máxima que pasará por él. La explicación es la siguiente: Imagina que se tiene un voltaje constante en la entrada y el voltaje en el diodo zener es constante; el voltaje tendrá una caída en la resistencia de polarización que también será constante, y como la resistencia de polarización no puede cambiar su valor la corriente que pasa por esa resistencia inequívocamente es constante; como la corriente que pasa por la resistencia

de polarización es igual a la suma entre la corriente del zener y la carga, dichas corrientes dependerán directamente del voltaje de entrada; sí el voltaje de entrada sube también subirá el voltaje en la resistencia de polarización, subirá la corriente que pasa por ella y como la corriente de la carga debe ser constante, la corriente que varía es únicamente la del zener y como la nueva corriente que entra al nodo es mayor a la anterior ese exceso de corriente pasará por el zener.

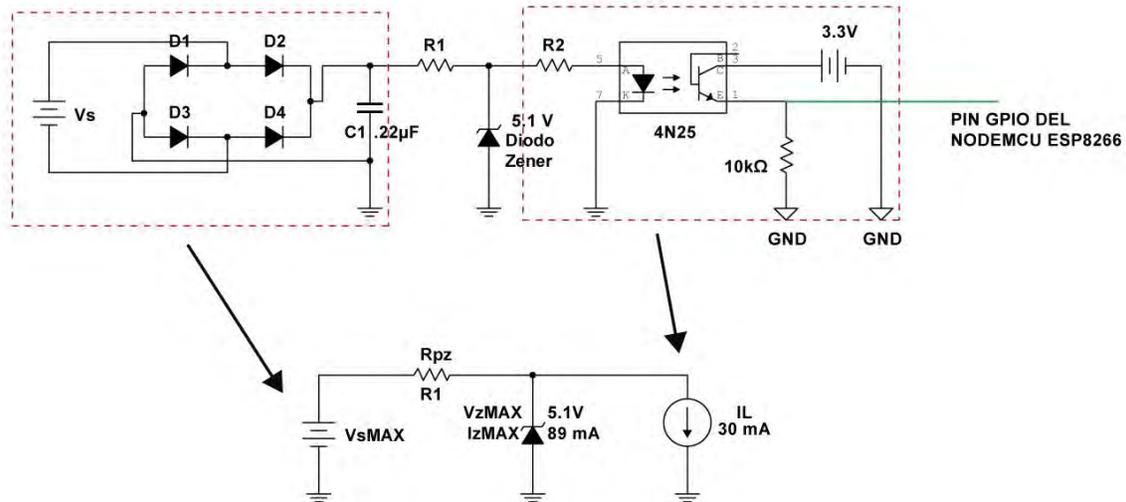


Figura 3.7. Circuito con voltaje máximo de entrada.

$$R_{pz} = \frac{V_{S_{MAX}} - V_z}{(I_{z_{MAX}} * 1.1) + I_L}$$

Donde $V_{S_{MAX}}$ es el voltaje máximo de operación.

V_z es el voltaje de diodo zener proporcionado por el fabricante en su hoja de datos.

$I_{z_{MAX}}$ es la corriente máxima que soporta el diodo zener proporcionado por el fabricante en su hoja de datos como *Test Current*.

1.1 es un margen de tolerancia.

I_L es la corriente de la carga

De acuerdo con la ecuación anterior podemos despejar $I_{z_{MAX}}$ para calcular el valor máximo de corriente y de esta manera saber si nuestro diodo Zener soportará la carga.

$$I_{z_{MAX}} = \frac{\frac{V_{S_{MAX}} - V_z}{R_{pz}} - I_L}{1.1}$$

Antes de utilizar la ecuación para calcular R_{pz} es necesario saber el voltaje rectificado, debido a que el voltaje máximo es 110 V en AC, por lo tanto, aplicamos las siguientes fórmulas de las ecuaciones 9 y 10:

$$V_p = 120\sqrt{2} = 169.7056V \quad (\text{Ec. 9})$$

$$V_{CD} = \frac{2V_p}{\pi} = \frac{2(155.56V)}{\pi} = 108.0379579V \quad (\text{Ec. 10})$$

Calculando tenemos los siguientes valores:

$$R_{pz} = \frac{108.0379V - 5.1V}{(89mA * 1.1) + 30mA} = 804.8311181\Omega$$

Y corroboramos los datos con los valores que calculamos para I_z , recordamos que este valor no debe exceder la corriente máxima proporcionado en la hoja de datos de la figura 3.4, que es de 89 mA.

$$I_{z_{MAX}} = \frac{\frac{108.0379V - 5.1V}{804.8311181\Omega} - 16mA}{1.1} = 88.99999999mA$$

En la pequeña tabla 3.1 que se muestra a continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Rpz (Voltaje mínimo)	132.6923077 Ω
Rpz (Voltaje máximo)	804.8311181 Ω
Iz máxima	88.99 mA

Con esos valores calculados teóricamente se asegura el funcionamiento y protección del diodo zener junto con la carga. Ahora, sabiendo los valores necesarios, se realiza una serie de simulaciones con los valores de las resistencias R1 y R2 antes calculas con el software Multisim para analizar el comportamiento del circuito acondicionador obteniendo los siguientes datos. En la siguiente figura 3.8, muestra la simulación del sistema acondicionador con un voltaje de entrada de 12V (mínimo de operación) arrojando los resultados siguientes mostrados en la tabla 3.2.

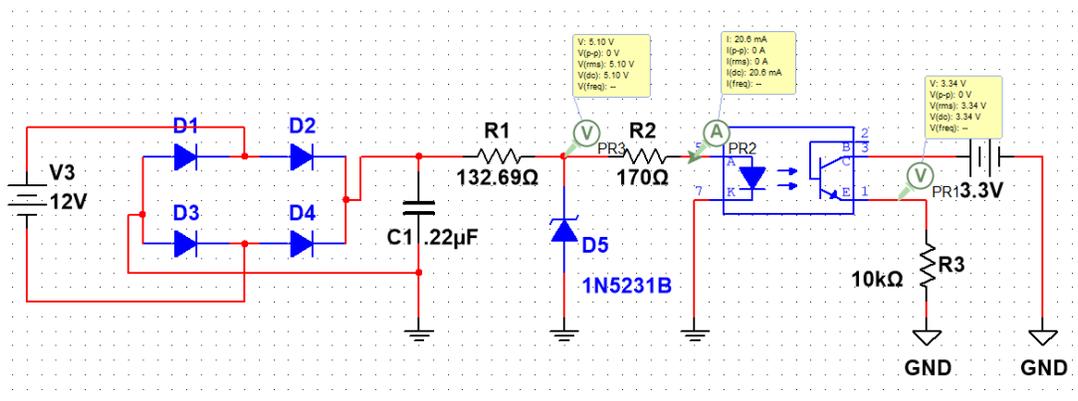


Figura 3.8. Simulación del sistema acondicionador con 12 V de entrada.

Tabla 3.2. Respuesta del sistema con 12V de entrada.

Voltaje de entrada (V)	Resistencia de polarización (Ω)	Voltaje en el diodo Zener (V)	Corriente de entrada del optoacoplador (mA)	Voltaje de Salida en el optoacoplador (V)
12	132.6923077	5.09	20.6	3.3

Como se puede apreciar en la tabla 3.2, con 12V de entrada, que es el valor mínimo de operación del sistema y con una resistencia de polarización de 132.6923077Ω da como resultado un voltaje de referencia en el diodo zener de 5.09 V muy cercano al que se proporciona en la hoja de datos del fabricante; así mismo nos brinda junto con la resistencia R2 un flujo de corriente de 20.6 mA hacia el optoacoplador, corriente suficiente para ser detectado por el transistor interno según nos indica la hoja de datos del fabricante; dando como resultado la conducción de voltaje a la salida digital de 3.3 V que entra en los pines del ESP8266 para su posterior uso.

En la siguiente figura 3.9 se presenta la simulación utilizando los valores máximos del sistema que son los 120 V en AC. Y dando como resultados los siguientes en la tabla 3.2

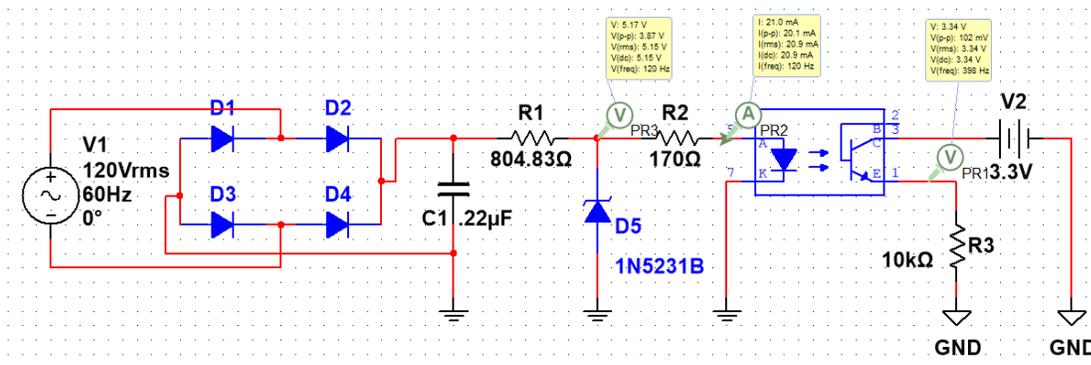


Figura 3.9. Simulación del sistema acondicionador con 120 V en AC de entrada.

Tabla 3.2. Respuesta del sistema con 120V en AC de entrada.

Voltaje de entrada (V)	Resistencia de polarización (Ω)	Voltaje en el diodo Zener (V)	Corriente de entrada del optoacoplador (mA)	Voltaje de Salida en el optoacoplador (V)
120 AC	804.8311181	5.17	21.0	3.3

Como se puede apreciar en la tabla 3.2 , con 120V en AC de entrada, que es el valor máximo de operación del sistema y utilizando una resistencia de polarización de 804.8311181Ω da como resultado un voltaje de referencia en el diodo Zener de 5.17 V, voltaje dentro del rango de operación del Zener que se proporciona en la hoja de datos del fabricante, así mismo nos brinda junto con la resistencia R2 un flujo de corriente de 21.0 mA hacia el optoacoplador, corriente necesario para un buen funcionamiento según nos indica la hoja de datos del fabricante.

De acuerdo con estos resultados de simulación se encuentra la potencia máxima de disipación y protección que soporta el diodo Zener; utilizando la fórmula de la ley de Watt.

$$P_Z = (V_Z)(I_{Z_{MAX}}) = (5.1)(89mA) = .4539W \text{ o } 453.9mW$$

Según los datos de nuestra hoja de datos del diodo Zener soporta una potencia máxima de 500mW, por lo tanto, es el adecuado para nuestro sistema acondicionador como se muestra en la figura 3.10.



Absolute Maximum Ratings

	Symbol	Value	Unit
Zener Current see Table "Characteristics"			
Power Dissipation at T _{amb} = 75 °C	P _{tot}	500 ¹⁾	mW
Junction Temperature	T _J	200	°C
Storage Temperature Range	T _S	-65 to +200	°C

¹⁾ Valid provided that leads at a distance of 10 mm from case are kept at ambient temperature

Figura 3.10. Potencia máxima de disipación del diodo Zener.

Seguidamente se calcula la potencia máxima de disipación de la resistencia de polarización R1 como se muestra en la siguiente fórmula:

$$P_{Rpz} = \frac{(V_{S_{MAX}} - V_Z)^2}{R_{pz}} = \frac{(108.0379V - 5.1)^2}{804.8311\Omega} = 13.16W$$

De acuerdo al resultado del cálculo anterior de la potencia de disipación de P_{Rpz} cuando opera en el voltaje máximo es de 13.16 W pero, las resistencias comerciales que se pretenden utilizar para este circuito solo soportan .5 W o 500 mW con 5% de tolerancia, por lo utilizando los datos calculados no podrías ser utilizando en el circuito real. Por lo tanto, es necesario encontrar un valor de R_{pz} que pueda soportar al menos una potencia de disipación de 400 mW esto es debido a que las resistencias convencionales o comerciales solo soportan entre 500mW de potencia de disipación con un 5% de tolerancia. De acuerdo con la ecuación anterior, se despeja R_{pz}:

Se tiene:

$$R_{pz} = \frac{(V_{S_{MAX}} - V_Z)^2}{P_{Rpz}} = \frac{(108.0379V - 5.1)^2}{1W} = 26,490.52814\Omega \text{ o } 26.491k\Omega$$

Corroborando una vez más con la fórmula de Ley de Watt nos cercioramos de que efectivamente el valor de R_{pz} puede soportar la potencia de disipación para el voltaje máximo.

$$P_{Rpz} = \frac{(V_{S_{MAX}} - V_Z)^2}{R_{pz}} = \frac{(108.0379V - 5.1)^2}{26490.52814\Omega} = 0.4W$$

Como último paso se realiza una serie de simulaciones en el software Multisim con los nuevos valores óptimos utilizando .400 mW como potencia de disipación. En las siguientes figuras 3.11,

3.12, 3.13 y 3.14 se muestran los resultados, así como de una simulación para un circuito con circuitos acondicionadores, como se pretenden hacer en la realidad.

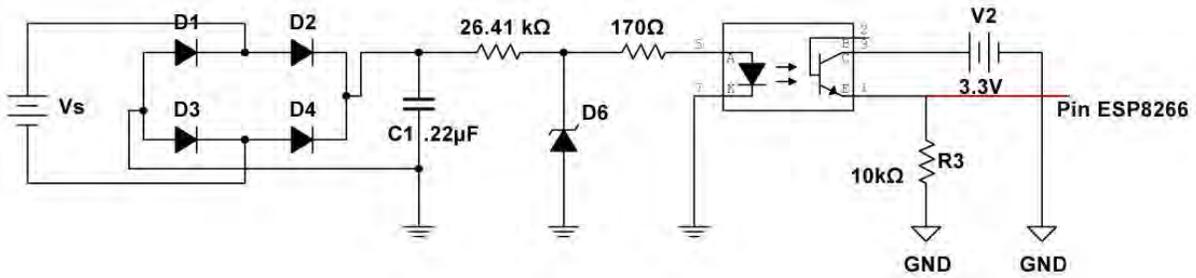


Figura 3.11. Sistema concionador con los valores óptimos.

En la siguiente figura 3.12, se muestra la simulación del sistema acondicionador con un voltaje de entrada de 12V (mínimo de operación) arrojando los resultados siguientes mostrados en la tabla 3.3.

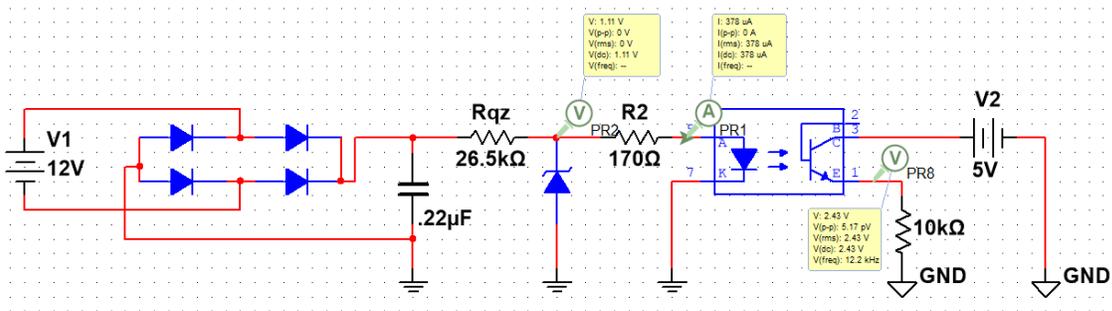


Figura 3.12. Resultado de la simulación con 12 V.

En la figura 3.13, se muestra la simulación del sistema acondicionador con un voltaje de entrada de 24 V, este pasó es extra, debido a que solo es necesario los voltajes mínimos y máximos, pero para conocer el comportamiento completo del sistema se hace la simulación.

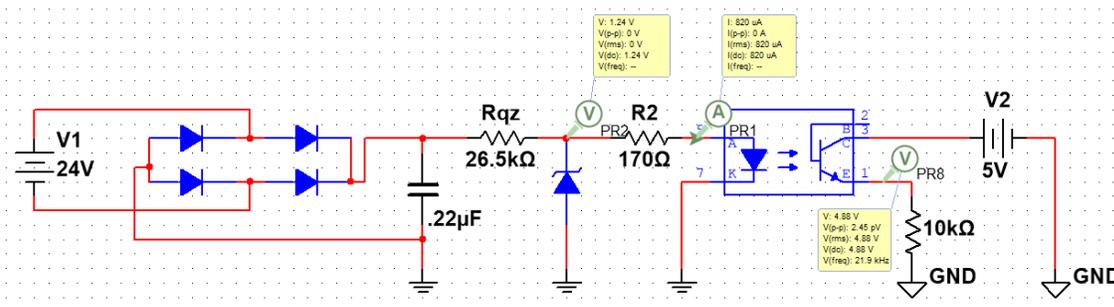


Figura 3.13. Resultado de la simulación con 24 V.

En la figura 3.14, se muestra la simulación del sistema acondicionador con un voltaje de entrada de 48 V, este pasó es extra, debido a que solo es necesario los voltajes mínimos y máximos, pero para conocer el comportamiento completo del sistema se hace la simulación.

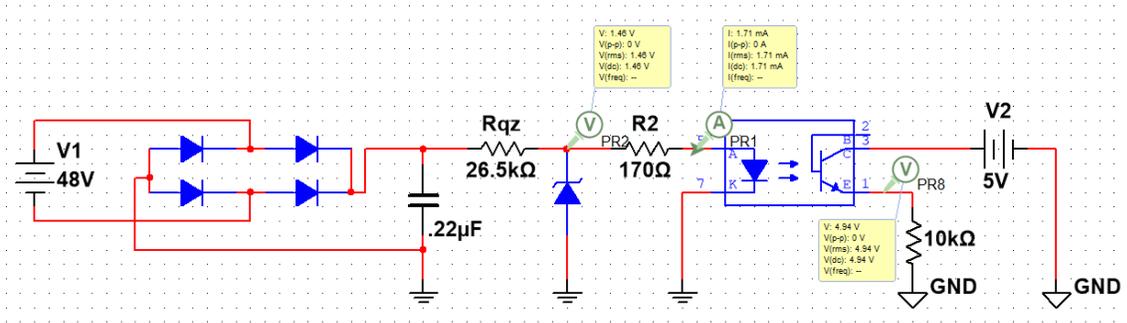


Figura 3.14. Resultado de la simulación con 48 V.

En la figura 3.15, se muestra la simulación del sistema acondicionador con un voltaje de entrada de 110 V, voltaje máximo de operación del sistema.

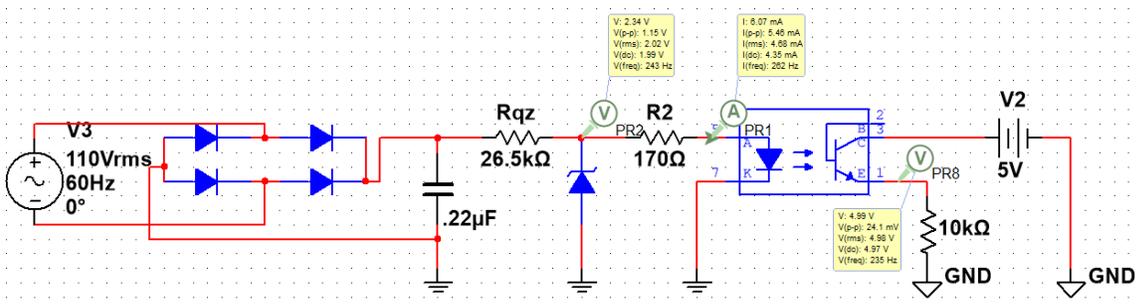


Figura 3.15. Resultado de la simulación con 110 AC.

De acuerdo con las simulaciones anteriores con el nuevo valor de R_{pz} tenemos como resultado los valores de la siguiente tabla 3.3:

Tabla 3.3. Resultados de las simulaciones con los nuevos valores antes calculados.

Voltaje de entrada (V)	Resistencia de polarización (Ω)	Voltaje en el diodo Zener (V)	Corriente de entrada del optocoplador (mA)	Voltaje de Salida en el optocoplador (V)
12	26490.52814	1.11	3.29	3.28
24	26490.52814	2.59	7.38	3.31
48	26490.52814	4.16	15.6	3.33
110 AC	26490.52814	5.06	20.4	3.34

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 3.3 se observa un comportamiento funcional, de manera que también se asegura que el sistema acondicionador estará protegido ante variaciones de tensión cuando se consideró utilizar un valor máximo en la potencia de disipación

de la resistencia R1 de 400 mW siendo 500mW el valor máximo considerando un 5% de tolerancia. En la figura 3.16 se realiza una simulación con ocho entradas para ser acondicionados.

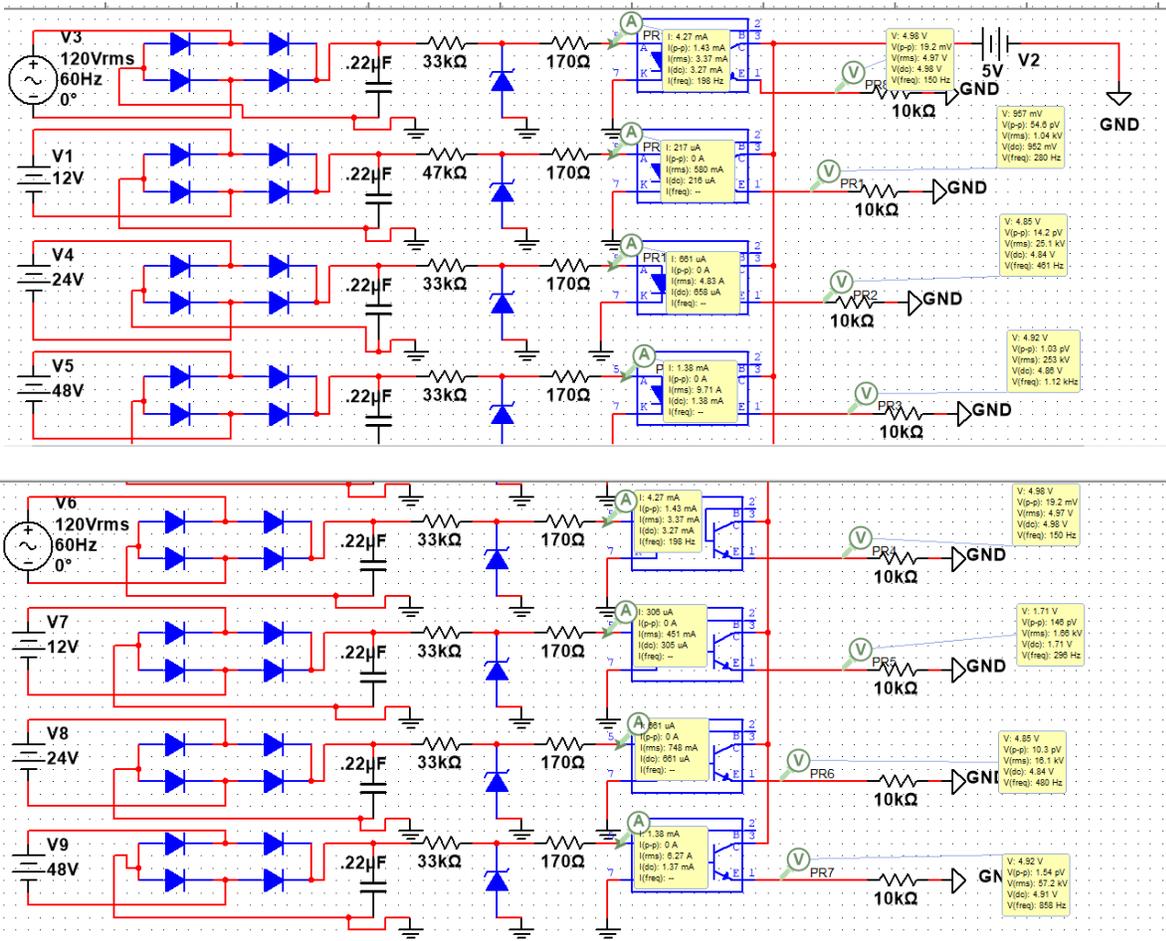


Figura 3.16. Resultado de la simulación del sistema con ocho entradas Vs.

Los resultados de la simulación del sistema acondicionador con ocho entradas para acondicionar con una sola fuente V2 que es la de 3.3 V que nos proporciona el NodeMCU en unos de sus pines, esto se considera de esta manera porque se pretende optimizar en espacio el sistema completo.

Una vez realizado los cálculos de los valores de R1 y R2, apoyado de las simulaciones pertinentes de los circuitos, podemos constatar que en la vida real el circuito funciona. A continuación, se muestran los PCB que se utilizarán para realizar el circuito.

3.2 PCB del circuito acondicionador.

De acuerdo con los resultados anteriores se realiza el PCB de la placa del circuito acondicionador contemplando cuatro entradas de monitoreo (Parte izquierda) y cuatro salidas de monitoreo (Parte derecha) conectados a los pines D8, D7, D6, D5, D4, D3, D2 y D1 del ESP8266 como se muestra en la figura 3.13, el PCB se realiza en el programa de EAGLE de AUTODESK. Posteriormente a la organización de conexión se realiza el PCB del circuito como se muestra en la figura 3.17 y 3.18.

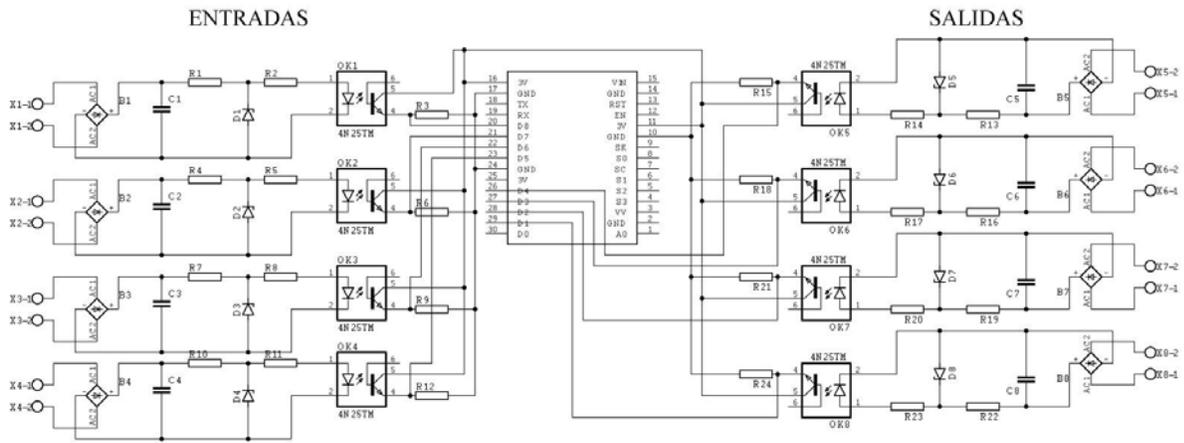


Figura 3.17. Esquemático del PCB.

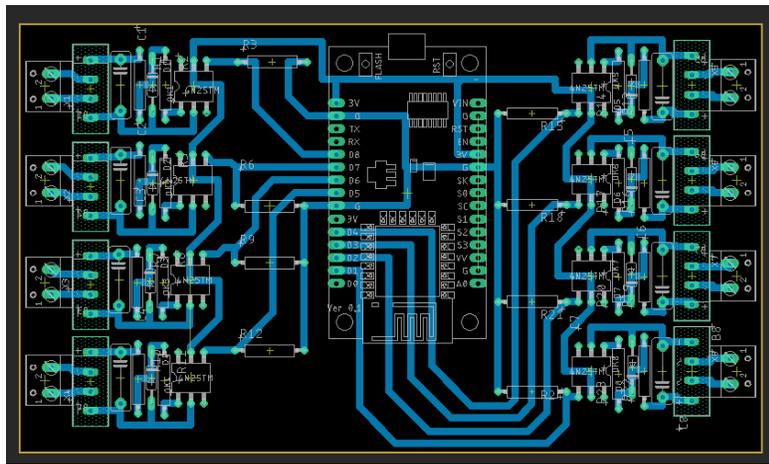


Figura 3.18. Esquema de pistas del PCB.

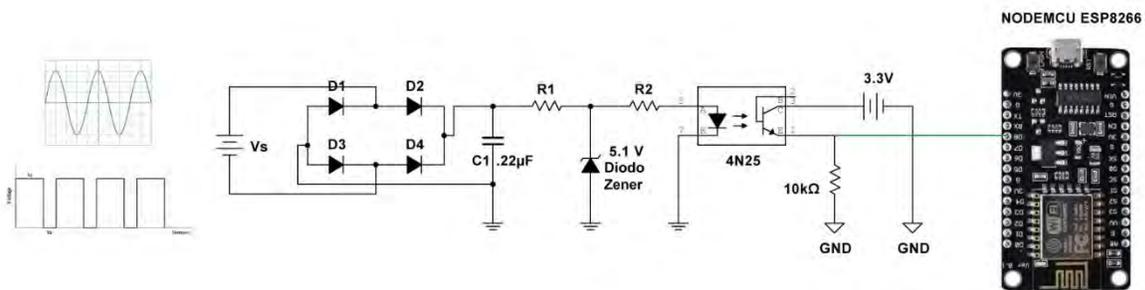


Figura 3.19. Esquema general de funcionamiento del sistema Inmótico.

3.3 Programación del ESP8266

En la figura 3.20 se puede observar un diagrama de flujo que describe la lógica del programa del microcontrolador para la detección de las lecturas digitales, lo cual permite el funcionamiento del sistema en general.

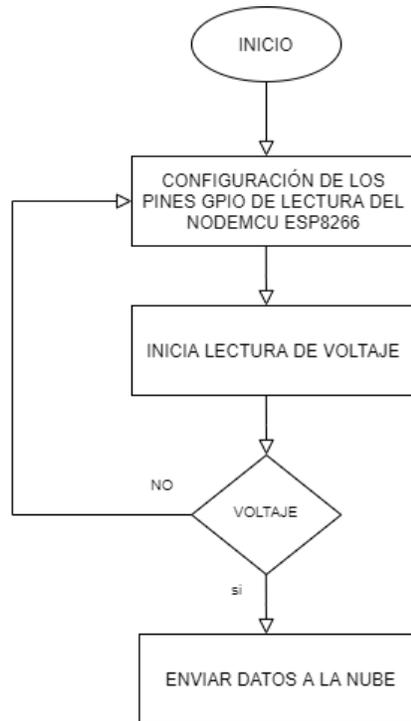


Figura 3.20. Diagrama de flujo del funcionamiento de la programación del ESP8266.

El diagrama de flujo anterior hace alusión a la lógica de la programación del NodeMCU ESP8266, cuando en las entradas GPIO (ver figura 3.20) se detecte alguna señal digital estos serán enviados a la nube por medio de BlynkServer, donde se aloja la información del censo en tiempo real y posteriormente se visualizan en una interfaz gráfica mediante una aplicación creada en Blynk app.

Para implementar lo antes mencionado en un algoritmo, fue necesario utilizar el programador ARDUINO IDE, el cual cuenta con las capacidades suficientes para poder llevar a cabo la tarea específica que necesitamos, que es la de recopilar datos analógicos, procesarlos y enviarlos a la nube. Estos valores son de vital importancia en la para el buen funcionamiento del sistema ya que el microcontrolador estará enviando las señales digitales correspondientes para activar o desactivar los indicadores en la interfaz gráfica creado en Blynk y reconfigurándose cada 50 milisegundos.

3.4 Programación en Blynk

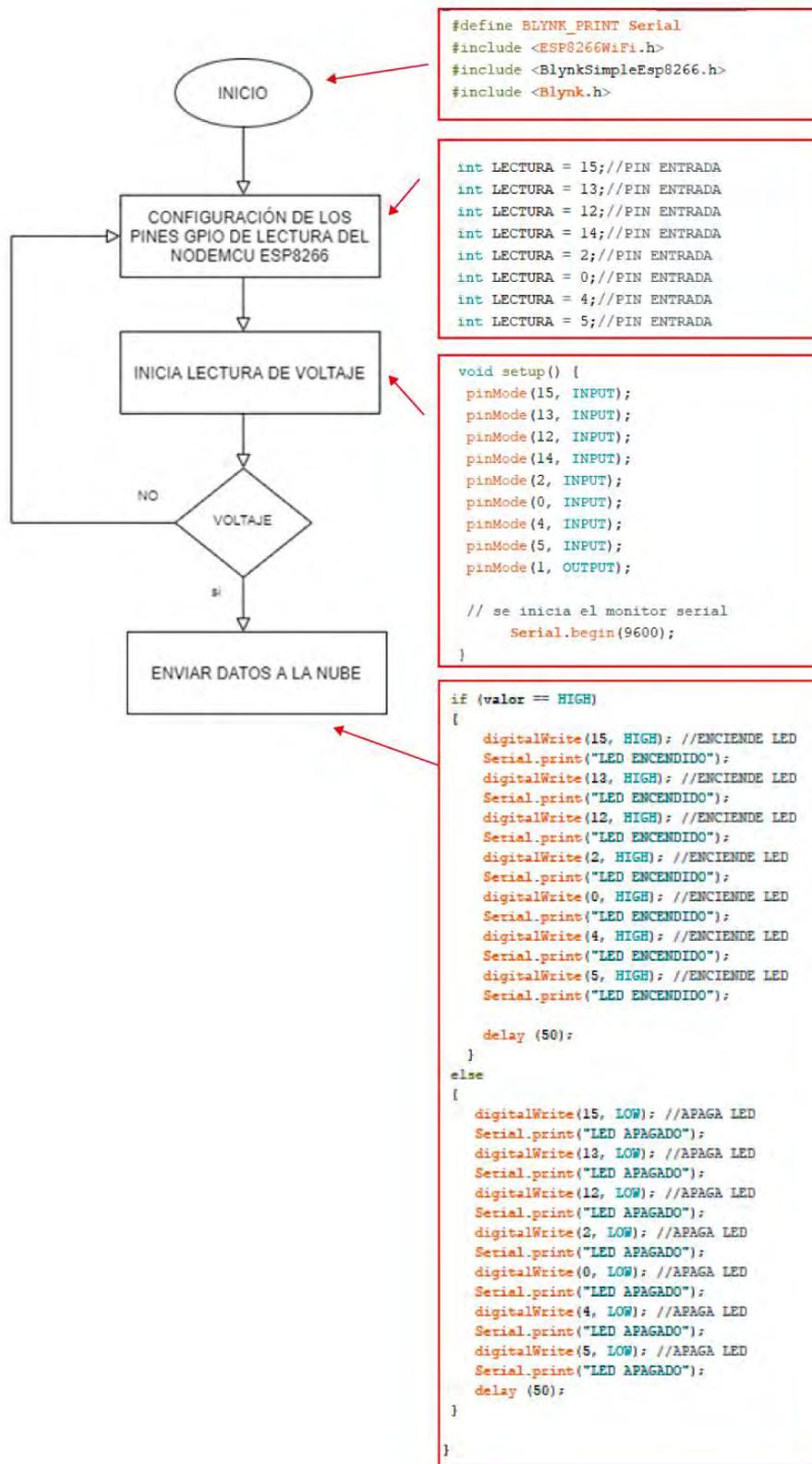


Figura 3.22. Implementación de la programación del NodeMCU ESP8266.

3.5 Implementación del sistema acondicionador para una red de PLC

Cada salida y entrada del PLC debe estar conectado al sistema acondicionador, y estos dependerán del número de sensores o actuadores que se desee monitorear. La idea es conectar el máximo número de dispositivos independientemente del fabricante del PLC con la finalidad de conformar una red de PLC como se representa en la siguiente figura 3.23; pudiendo extenderse más allá de la red local.

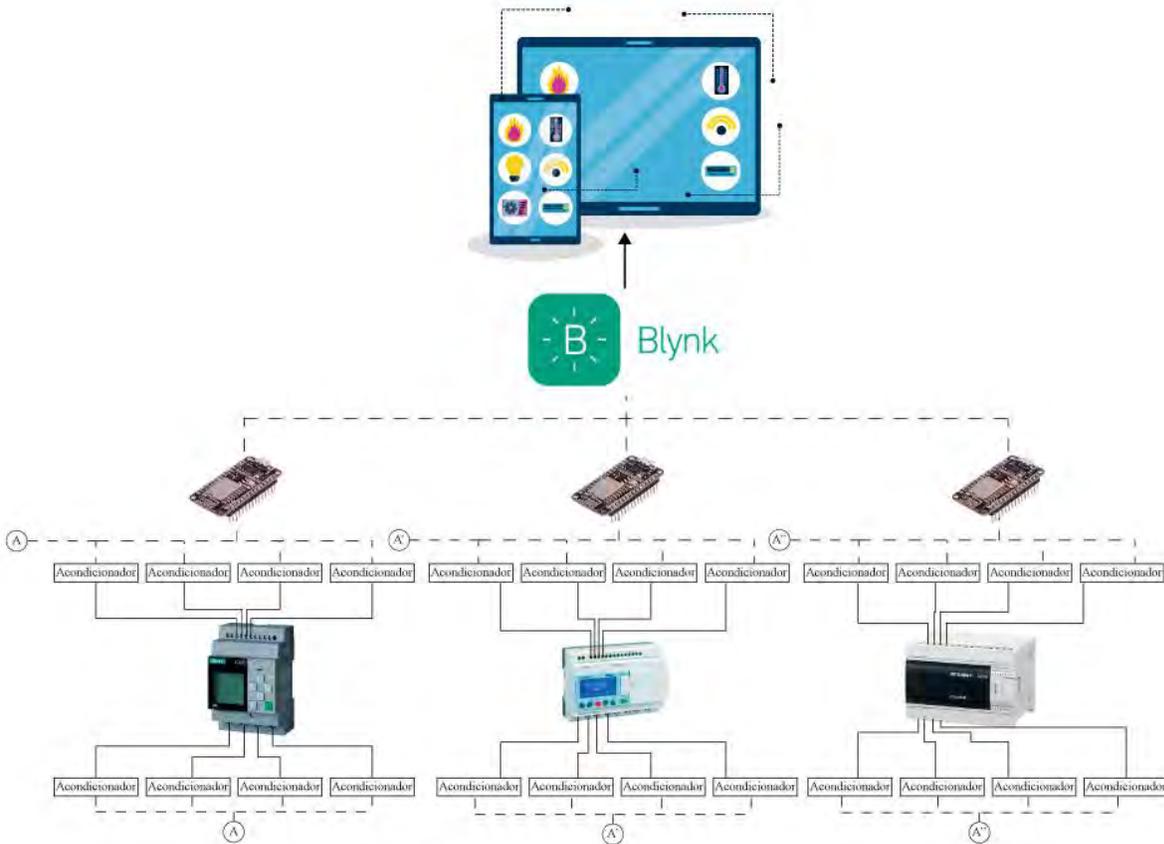


Figura 3.23. Representación de la implementación del sistema.

A continuación, se presenta en la figura 3.24 el prototipo funcional con cuatro entradas y cuatro salidas.

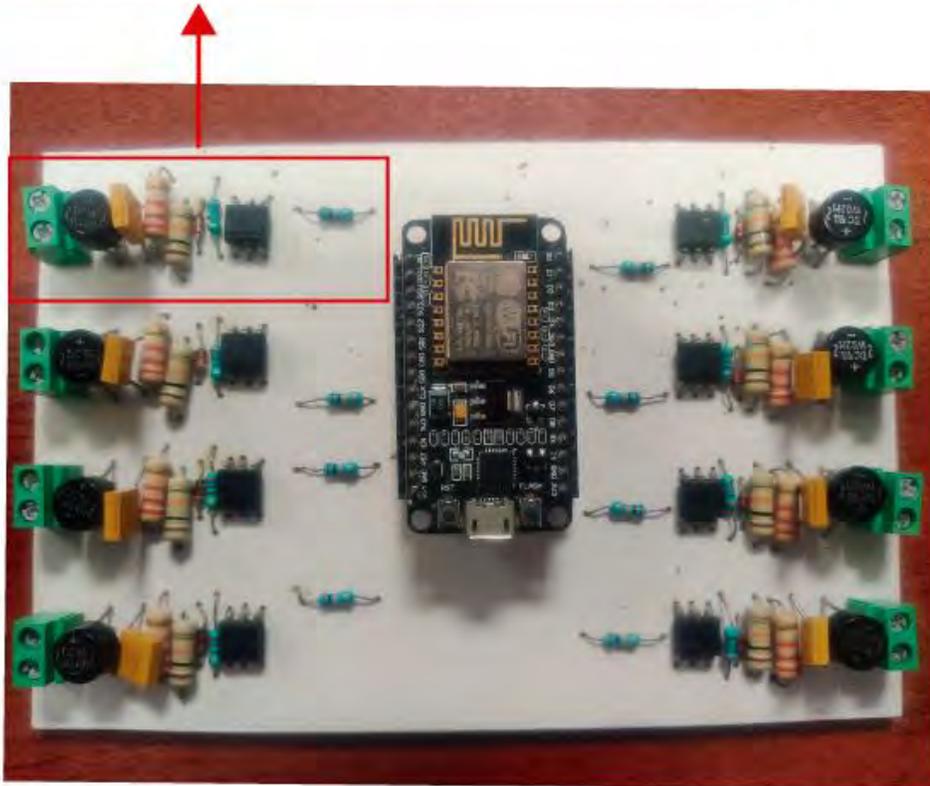
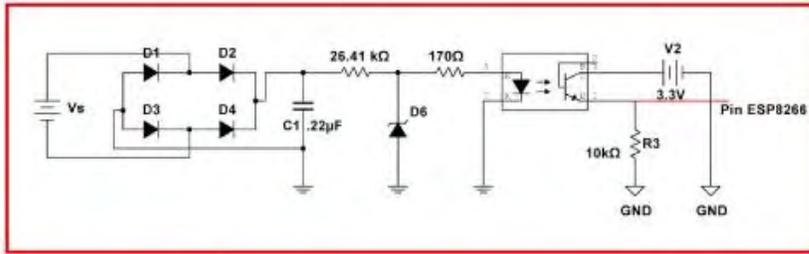


Figura 3.24 Prototipo del acondicionador universal.

3.6 Implementación de la red de PLC en Blynk

A continuación, se muestra los pasos a seguir para la creación de la interfaz en la aplicación BLYNK que puede ser descargada de manera gratuita en la PlayStore, como se muestran en las siguientes figuras.

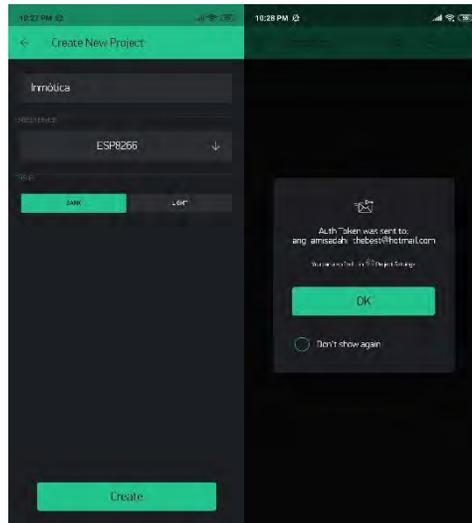


Figura 3.25. Creación de la interfaz en BLYNK.

Como se muestra en la imagen anterior, al momento de crear el proyecto es necesario contar con un correo electrónico, debido a cuestiones de seguridad se envía un código token que nos sirve también en la programación del ESP8266 para realizar la conexión vía wifi.

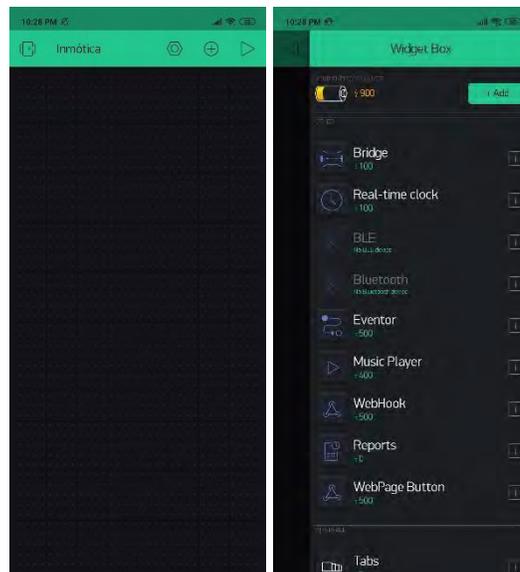


Figura 3.26. Panel principal de Blynk.

Posterior a la creación y envío del token, tenemos una interfaz donde se pueden arrastrar los widgets que vayamos a utilizar y estos se encuentran en el panel derecho como se muestra en la figura anterior 3.26.

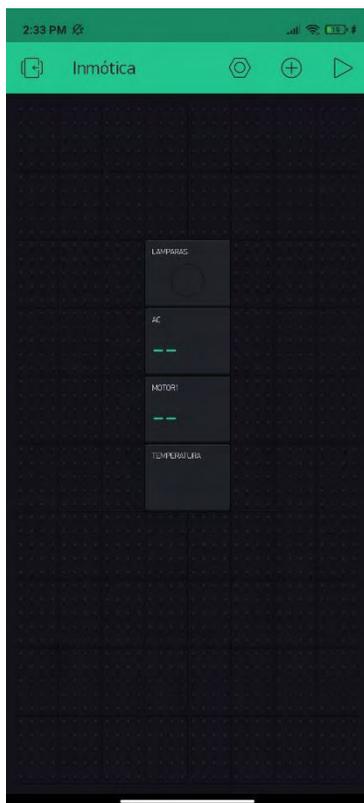


Figura 3.27. Widgets necesarios para aplicaciones inmóticos.

Como se muestra en la figura 3.27, ya se tienen los widgets necesarios para nuestra aplicación, estos pueden variar dependiendo de cuantos parámetros quisiéramos monitorear. La aplicación una vez ejecutada va a recibir información del ESP8266 en tiempo real, cambiando el estado de los widgets, cuando una lámpara o foco este siendo utilizado, el indicador de lámpara mostrará encendido y en el caso contrario cuando este apagado, de manera similar con los otros widgets, que incluso pueden mostrar la temperatura del lugar.

Capítulo 4. Resultados experimentales

En este capítulo se muestran las evidencias de las pruebas que se realizaron al momento de realizar la implementación del acondicionador de señales, en una primera instancia se hace la prueba con los elementos calculados como se muestra en el capítulo 3, el circuito se prueba con cuatro voltajes de operación por separado como se muestran en las figuras 4.1. Posteriormente se muestra el circuito completo para los voltajes de operación 12V, 24V, 48V y 110VAC trabajando simultáneamente y corresponden a cuatro entradas de lectura y cuatro salidas para los indicadores de la interfaz que posteriormente se habla en este capítulo.

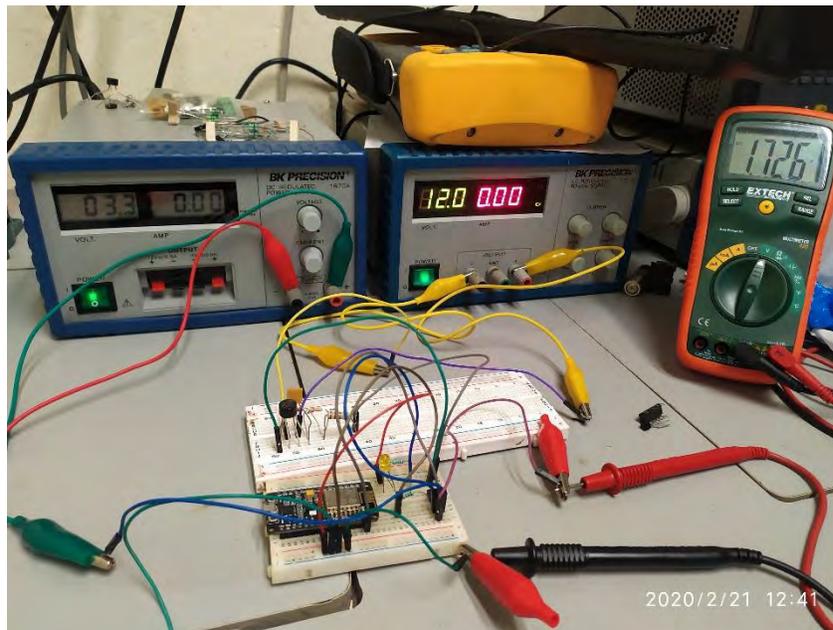


Figura 4.1. Resultado con 12V de alimentación y salida digital de 1.726 V.

En la figura 4.1 se muestra la implementación del acondicionador con un voltaje de operación de 12 V en DC, esto se debe a que es el máximo voltaje que puede proporcionar la fuente que se muestra en la figura 4.2, y del lado del optotransistor se alimenta el colector con la fuente de 3.3 V, simulando la fuente del microcontrolador, dando como resultado una señal digital de 1.726 V, esta señal es la que se envía en alguno de los pines del NodeMCU ES266.

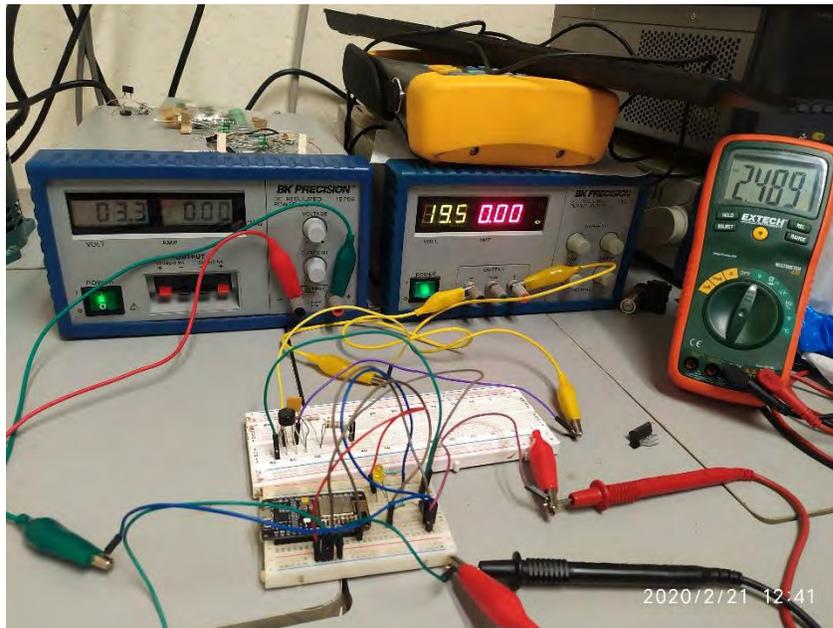


Figura 4.2. Resultado con 19.5V (Voltaje máximo de la fuente) y con una salida digital de 2.489V

En la figura 4.2 se muestra la implementación del acondicionador con un voltaje de operación de 19.5 V en DC, esto se debe a que es el máximo voltaje que puede proporcionar la fuente que se muestra en la figura 4.2, y del lado del optotransistor se alimenta el colector con la fuente de 3.3 V, simulando la fuente del microcontrolador, dando como resultado una señal digital de 2.489 V, esta señal es la que se envía en alguno de los pines del NodeMCU ES266.

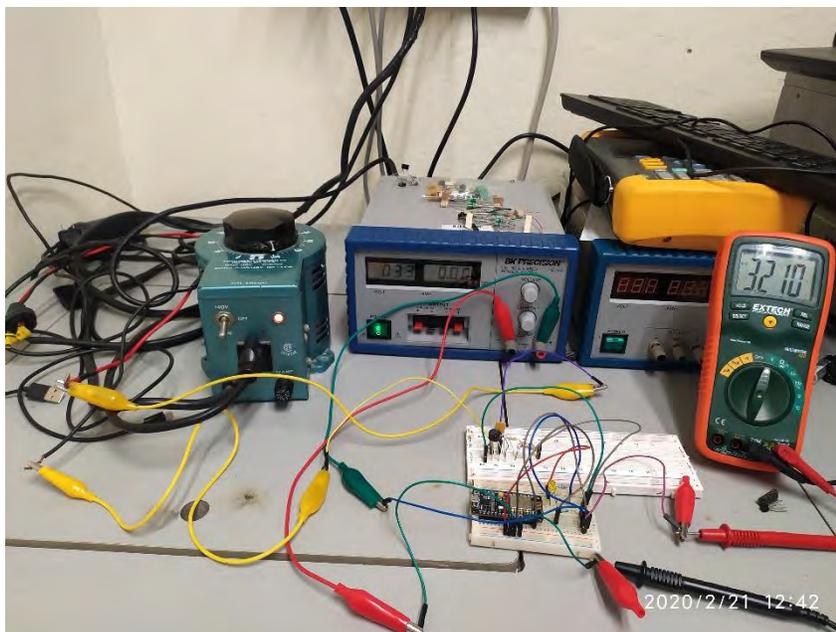


Figura 4.3. Resultado con 110 V (en AC) y con una salida digital de 3.210 V.

En la figura 4.3 y 4.4 se muestran la implementación del acondicionador con un voltaje de operación de 110 V en AC. Utilizando un variador de frecuencia, para tener un voltaje estable, sin disturbios de la red y del lado del optotransistor se alimenta el colector con la fuente de 3.3 V, simulando la fuente del microcontrolador, dando como resultado una señal digital de 3.210 V, esta señal es la que se envía en alguno de los pines del NodeMCU ES8266.

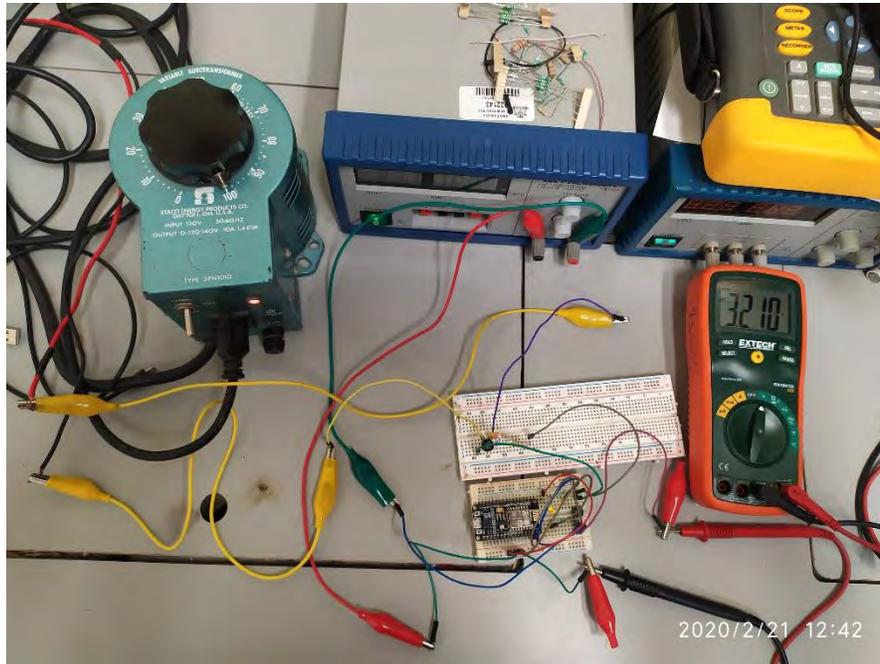


Figura 4.4. Resultado con 110 V (en AC con el variador de frecuencia) y con una salida digital de 3.210 V

Como se mostró en las figuras anteriores, el sistema bajo los voltajes de operación y con los elementos utilizados que previamente fueron calculados mediante fórmulas matemáticas en conjunto con la simulación en Software, queda claro que el circuito funciona y puede ser implementado para trabajar en un ambiente real.

A continuación, se muestra un primer prototipo de como seria el sistema acondicionador universal completo y con conexión al NodeMCU, en la figura 4.5.

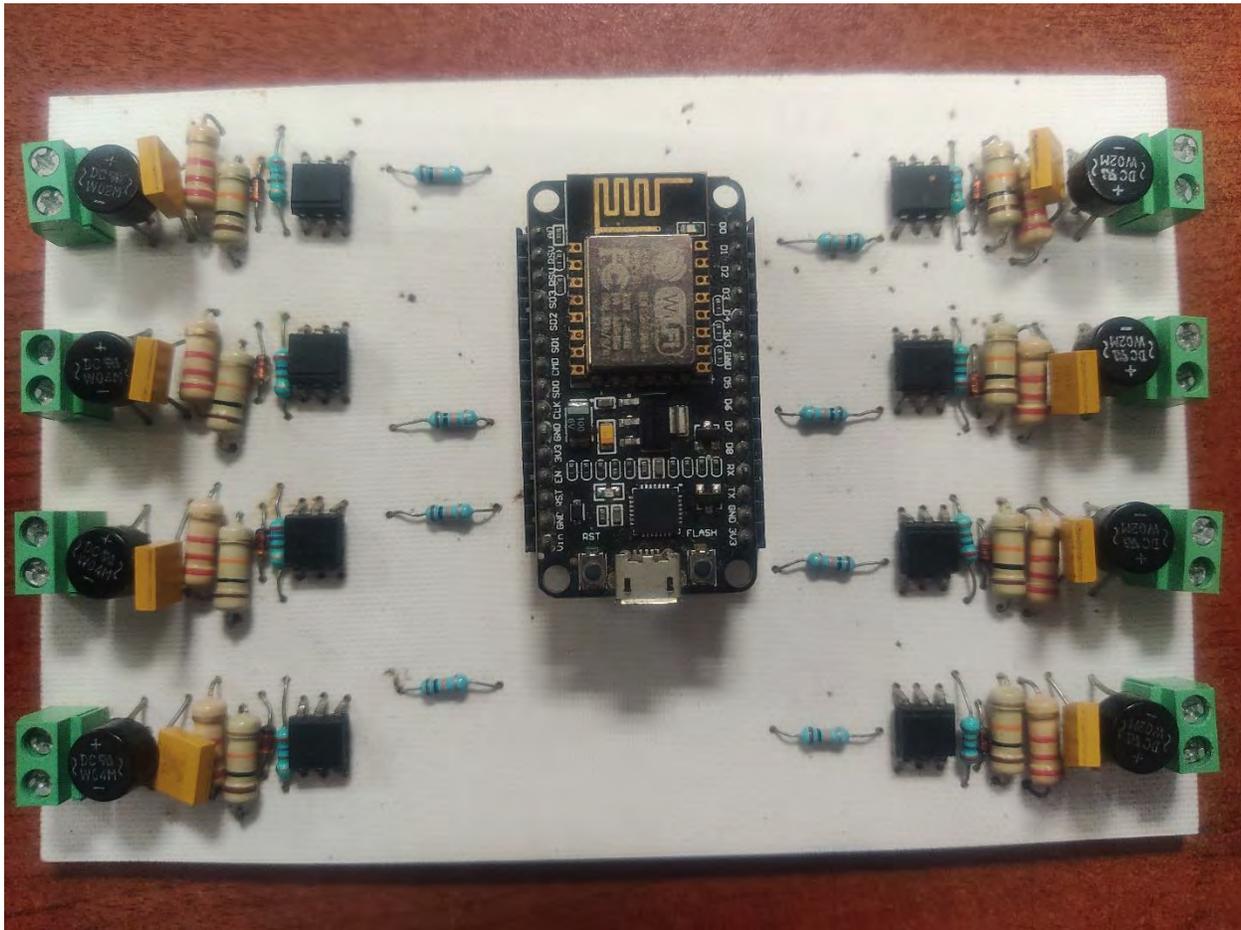


Figura 4.5. Acondicionador universal para PLC.

4.1 Conclusión

El presente proyecto de tesis ha servido para conocer como en nuestro país se ha ido acercando a tecnologías de vanguardia. La Universidad de Quintana Roo está incursionando cada vez más en las tecnologías de la automatización como es la inmótica ante la necesidad del rápido desarrollo tecnológico que tenemos hoy en día de obtener sistemas inteligentes que faciliten y mejoren la calidad de vida de las personas dentro de las instalaciones de trabajo y vivienda.

El costo de implementación del proyecto no fue alto por lo tanto puede ser replicado desde otro lugar sin mucha inversión, sin embargo, la inversión justifica de manera inmediata el objetivo de la tecnología Internet de las cosas junto con el desarrollo de las telecomunicaciones.

El bajo conocimiento que se tiene en cuanto a la inmótica hace que no haya empresas que lo apliquen para generar proyectos y por ende que las personas se conforman con tecnologías convencionales e incluso ya obsoletas para sus edificaciones.

Por último, la sumatoria de todos los capítulos, más preciso el tres y cuatro, dan respuesta a la pregunta del problema planteado en el inicio del documento, ya que se pudo realizar un convertidor universal para diferentes voltajes de operaciones de los controladores lógicos

programables que son los regulados actualmente, sin embargo, este proyecto puede ser mejorado con nuevos elementos o con mejores microcontroladores que existan en el mercado. Para esto es necesario el método de la investigación para contar con varias soluciones y de estas seleccionar la más sencilla sin que poner en riesgo la finalidad del proyecto.

Referencias

- [1] Domótica e Inmótica, Peña Laverde, calameo books, fecha de creación: 28/06/2014, fecha de consulta: 24/10/2019, disponible en: <http://es.calameo.com/read/0025797880923effb53cb>
- [2] Moreno, R. P. (2004). Ingeniería de la automatización industrial. Alfaomega.
- [3] Gallegos Molina, S. C., & Toscano Tipanguano, W. U. (2013). Diseño e implementación de un sistema domótico utilizando un PLC de bajo costo para las oficinas de μ CIRCUITS CIA. Ltda (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2013).
- [4] Domótica: La automatización del hogar, Bernardo Almonacid, fecha de creación: 02/08/199, fecha de consulta: 24/10/2019, disponible en: <http://www.coatja.com/articulo.asp?Nu=45&Or=8>
- [5] Domótica e inmótica, fecha de consulta: 25/10/2019, disponible en: <http://www.nebrija.com/~jmaestro/ATA018/Domotica.pdf>
- [6] Domótica: Edificios Inteligentes, José Manuel Huidrobo Moya, editorial Limusa, 2007.
- [7] Historia de la Domótica: pasado, presente y futuro, Domopara: domótica práctica paso a paso; fecha de creación: 11/21/2014; <http://www.domoprac.com/protocolos-de-comunicacion-y-sistemas-domoticos/historia-de-la-domotica-pasado-presente-y-futuro.html>
- [8] Ministerio de Industria y Energía España, Área de Energía de la fundación Privada Institut Ildenfans Cerda “La vivienda domotica: Ahorro, confort, seguridad y comunicaciones”. Barcelona, España, enero 2000.
- [9]. Casadomo, Grupo Tecma Red S.L. (1999-2015) Domotica. [Online]. [www. Casadomo.com](http://www.Casadomo.com)
- [10] Domotica e Inmotica, Peña Laverde, calameo books, fecha de creación: 28/06/2014, fecha de consulta: 24/10/2014, disponible en: <http://es.calameo.com/read/0025797880923effb53cb>
- [11] <http://ingenierovizcaino.com/ecci/aut1/corte1/articulos/Historia%20de%20la%20Automatizacion.pdf>
- [12] Nuñez, José. Instalaciones para la gestión de viviendas y de edificios inteligentes [en línea]. Universidad de Vigo. Indomotika 2010. Recuperado el 14 de noviembre de 2012.
Disponible en: http://tv.vigo.es/uploads/material/Video/4754/Presentacion_ISAD_0910.pdf
- [13] Aguirre, Stefania y Mogollon, edison. Diseño e implementación del sistema inmótico para el control de iluminación en el aeropuerto de Latacunga basado en la tecnología LONWORKS[en línea]. Trabajo de titulación de Ingeniero electrónico. Sangolquí, Ecuador. Escuela politécnica del ejército. 2011.219 p. Recuperado el 14 de noviembre de 2012.
Disponible en:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2747/1/T-ESPE-030458.pdf>

- [14] Diseño y Simulación del Sistema Inmótico del Hospital un Canto a la Vida, Carlos Fabara D. ACTUADOR
- [15] Tesis de Grado; Panorámica de los Sistemas Domóticos e Inmóticos, Ma Josefa Bouzas M.
- [16] Iniciación a la domotica [en línea. Editexebook. 2009. Recuperado el 16 de noviembre de 2012. Disponible en:
http://www.editexeboks.es/AdjuntosLibros/PCPI%20Instal_domoticas_Ud01.pdf
- [17] Domótica; la automatización de hogar, Bernardo Almonacid, fecha de creación: 02/08/1999, fecha de consulta: 27/10/2014, disponible en: <http://coaatja.com/articulo.asp?Nu=45&Or=8>
- [18] Domótica e inmótica, fecha de consulta: 10/03/2020, disponible en: <http://www.nebrija.es/-jmaestro/ATA018/Domotica.pdf>
- [19] CASADOMO. “Domótica: Introducción” [en línea], 2013 [citado 2013-01-20]. A consultar en World Web Wide: URL:<http://www.casadomo.com/noticiasDetalle.aspx?c=14>
- [20] José Suarez y Kimberlyn Rodríguez, Redes de Sensores Inalámbricos WSN 2012.
- [21] Metrologic Instruments, Inc. (2006). Estándares Inalámbricos. [Online]. http://www.metrologicmexico.com/contenido1/informacion_tecnica/estandares_inalambricos.php
- [22] Campus virtual de ORT Argentina (2008) Bluetooth. [Online]. <http://www.campus.almagro.ort.edu.ar/informatica/2008/bm5b/articulo/2563/grupo-1-bluetooth-por-maii->
- [23] Francisco Pérez Pellicena, Realización de sistema domótico con controladores de bajo coste (AVR) y módulos RF verificando el estándar 802.15.4. Zaragoza: Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial 2010.
- [24] Ender Alejandro Fragoso Quiñonez. (2011). Tipos de Red [Online]. <http://enderalejandro.blogspot.com/>
- [25] Ingeniería MCI. (2010) Manual del Xbee. [Online]. <http://www.olimex.cl>
- [26] <http://redeselie.blogspot.com/2010/05/tipos-de-topologias-topologia-o-forma.html>
- [27] Romero, Cristal; VÁZQUEZ, Francisco y DE CASTRO, Carlos. Domótica e Inmótica.
- [28] COBOS, María, LOAYZA, Andrea y GARAY, Francisco. Diseño inmótico para ahorro energético, seguridad y control de las instalaciones para el nuevo edificio de la FIEC [en línea]. Trabajo de titulación de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Guayaquil, Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2006. 269 pág. Recuperado el 14 de

noviembre del 2012. Disponible en: http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D35310.pdf

[29] Vivar Estrella, A. N. (2018). Desarrollo de interfaces gráficas en Matlab y Android para el control de sistemas domóticos utilizando el dispositivo de comunicación inalámbrica NodeMcu Esp8266.

[30] ESP8266, A. T. (2015). Instruction Set Version 3.0. Espressif Systems IOT Team Copyright (c).

[31] GONZÁLEZ, Daniel. Conociendo ESP8266 / NodeMcu. [En línea] 08 de Febrero de 2017. [Consulta: 13 de Septiembre de 2017.] Disponible en: <http://danielmartingonzalez.azurewebsites.net/conociendo-esp8266-nodemcu-el-modulo-wifipara-iot/>.

[32] [15]Luis Llamas. (2018). NodeMCU, la popular placa de desarrollo con ESP8266. [online] Disponible en: <https://www.luisllamas.es/esp8266-nodemcu/>.

[33] Google, «Google Charts,» Google , [En línea]. Available: <https://developers.google.com/chart/>. [Último acceso: 2018 08 27].

[34] Esplin, C. (2016). What is Firebase? Recuperado 6 de diciembre de 2017, a partir de <https://howtofirebase.com/what-is-firebase-fcb8614ba442>

[35] EH Contributor. (2016). Home Automation Protocols: A Round-Up. Recuperado 15 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.electronichouse.com/smarthome/home-automation-protocols-what-technology-is-right-for-you/>

[36] V. Soto. Enrique “Sistema Móvil enfocado a combatir la depresión y sus consecuencias a través de la implementación de un Bot y la representación de datos estadísticos” Firebase: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15210/TESIS.pdf?sequence=1>

[37] L. Avilés. Javier “Desarrollo de una aplicación web para combatir medio de transporte con Angular Js” Firebase: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4411/tfg396.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[38] Joe Lomako, “ZigBee Hoy y mañana”, Elektor en Español (Reino Unido), pp. 14-16, Octubre 2010.

[39] “The programming language Lua” [En línea]. Disponible en: <https://www.lua.org/about.html>

[40] Roberto Ierusalimschy, Luiz Henrique de Figueiredo y Waldemar Celes. “Manual de Referencia de Lua 5.1” [En línea]. Disponible en: <https://www.lua.org/manual/5.1/es/manual.html>.

[41] Google, «Google Charts,» Google , [En línea]. Available: <https://developers.google.com/chart/>. [Último acceso: 2018 08 27].

[42] Chapa, A. C. (1996). Electrónica: análisis de diseño con diodos y transistores. II. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

[43] Blynk. (2016). How Blynk Works. Obtenido de Blynk: <http://docs.blynk.cc/#license>