

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**Diseño e implementación de una red WiFi mallada  
que soporte protocolo MODBUS para  
equipos de control industrial.**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Adrian Vazquez  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista.

Caracas, Abril de 2020

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**Diseño e implementación de una red WiFi mallada  
que soporte protocolo MODBUS para  
equipos de control industrial.**

TUTOR ACADÉMICO: Profesor José Alonso

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. nombres y apellidos para optar  
al título de Ingeniero Electricista.

Caracas, Abril de 2020



*A quien desees dedicar este trabajo*

## RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

**Adrian Vazquez**

**Diseño e implementación de una red WiFi mallada  
que soporte protocolo MODBUS para  
equipos de control industrial.**

**Tutor Académico: José Alonso. Tesis. Caracas, Universidad Central  
de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica.  
Mención Electrónica. Año 2020, xvii, 144 pp.**

**Palabras Claves:** Palabras clave.

**Resumen.-** Escribe acá tu resumen

# ÍNDICE GENERAL

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE GENERAL	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XI
LISTA DE ACRÓNIMOS	XII
INTRODUCCIÓN	1
MARCO HISTÓRICO	4
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Fundamentos de las redes WiFi malladas . . . . .	6
2.2. La Referencia del Modelo OSI . . . . .	9
2.2.1. La capa Física . . . . .	10
2.2.2. La capa de vínculo de datos . . . . .	10
2.2.3. La capa de red . . . . .	11
2.2.4. La capa de transporte . . . . .	11
2.2.5. ? . . . . .	12
MARCO METODOLÓGICO	13
3.1. Documentar el funcionamiento de las redes WiFi malladas . . . . .	13
3.2. Diseño de una red mallada basada en el microcontrolador ESP32 . . . . .	13

3.3. Implementar el módulo del programa para el manejo del protocolo Modbus en el bus RS-485. . . . .	14
3.4. Implementar el programa de la red diseñada que soporte la transmisión del protocolo Modbus . . . . .	16
3.5. Diseñar el circuito de un nodo para una red WiFi mallada basada en el microcontrolador ESP32 . . . . .	16
3.6. Implementar la red mallada diseñada. . . . .	17
3.7. Analizar el rendimiento de la red de acuerdo a variaciones en los parámetros de transmisión de datos . . . . .	17
<b>DESCRIPCIÓN DEL MODELO</b>	<b>18</b>
<b>PRUEBAS EXPERIMENTALES</b>	<b>19</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>20</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>21</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>22</b>
<b>TÍTULO DEL ANEXO</b>	<b>23</b>
<b>TÍTULO DEL ANEXO</b>	<b>24</b>
<b>TÍTULO DEL ANEXO</b>	<b>25</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>26</b>



## LISTA DE FIGURAS

2.1. Topología Mallada . . . . .	7
2.2. El propósito de la capa MAC es administrar el medio . . . . .	8

## LISTA DE TABLAS

## LISTA DE ACRÓNIMOS

# INTRODUCCIÓN

En el área de la ingeniería eléctrica, las comunicaciones se pueden clasificar en dos grupos: las alámbricas y las inalámbricas. En el primer caso el medio es tangible estando, generalmente, compuesto por varios conductores metálicos o fibra óptica y en el segundo no hay medio físico. Las comunicaciones inalámbricas se clasifican básicamente según la banda de frecuencia o el estándar que satisface, así las tecnologías IEEE 802.15.1 (bluetooth), IEEE 802.11 (WiFi) y GSM (telefonía celular).

Las tecnologías basadas en el estandar IEEE 802.11, también conocidas como WiFi, han ganado popularidad en el mundo de las comunicaciones proveyendo interconectividad entre clientes (PC, laptops, smartphones) y puntos de acceso. Las redes que usan dicha tecnología se clasifican (según la topología) en centralizadas o descentralizadas dependiendo si la conectividad entre clientes posee como intermediario o no un punto de acceso Sharma y Singh (2016).

Dentro de las redes descentralizadas tenemos a las redes de topología mallada, donde los clientes están en capacidad de ser, simultáneamente, puntos de acceso brindando servicio a otros clientes y servir de puente a otros nodos. Además, las redes WiFi malladas difieren de las convencionales en que no es obligatorio que todos los nodos estén conectados al nodo central, en su lugar, cada nodo se puede conectar a el nodo vecino. Esto abre la posibilidad de ampliar la cobertura manteniendo la interconectividad de la red .

Las redes WiFi brindan la posibilidad de que la adquisición de información pueda estar presentes en virtualmente cualquier cosa de manera inalámbrica, poseyendo potencialidad en el monitoreo y control de procesos. No obstante, los

inconvenientes de ruido, seguridad y distancia han hecho que se hayan desarrollado arquitecturas que vayan superando estas limitaciones .

Aunque el estándar IEEE 802.11s establece las normas generales de la comunicación WiFi mallada Hiertz y cols. (2010), todavía es un terreno actualmente se encuentra en exploración, especialmente en los entornos electromagnéticamente ruidosos o congestionados. En el mismo orden de ideas, existen reservas respecto al manejo de datos críticos o sensibles en un proceso industrial, debido a la confiabilidad y seguridad de los datos Cheng, Yang, y Huachun (2018).

Modbus es el protocolo de comunicación industrial estándar de facto desde 1979 Modbus Organization (2017). Al emplear un protocolo Modbus se establece un sistema de comunicación de tipo maestro/esclavo. En este tipo de sistemas un nodo principal o maestro envía una solicitud específica a un esclavo y este genera la respuesta. Los esclavos no transmiten datos sin una instrucción previa y no se comunican con ningún otro esclavo. En la capa física del sistema de comunicación, el protocolo Modbus puede emplear diversas interfaces físicas, entre las que se encuentran la RS-485 y RS-232, en la cual la interfaz TIA/EIA-485 (RS-485) de dos cables es la más común .

En el ámbito industrial la reducción de costos es siempre una meta y las redes inalámbricas podrían ser una alternativa frente a las alámbricas, en las que las grandes distancias cubiertas por conductores representan un costo relativamente elevado Cheng y cols. (2018). Así mismo, los conductores instalados son vulnerables a hurtos, lo que se traduce en pérdidas económicas para las industrias.

Tomando en cuenta lo anterior, se propone el diseño de una red inalámbrica WiFi mallada con una comunicación basada en el protocolo Modbus orientada a la implementación a un entorno industrial, cuyos nodos estarán constituidos por microcontroladores ESP32. Este trabajo tiene por finalidad presentar la metodología

para el diseño e implementación de la red , además se presentan los detalles del planteamiento del problema y la factibilidad de proyecto así como el cronograma para la ejecución de actividades para lograr los objetivos planteados .

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar e implementar una red WiFi mallada que soporte protocolo Modbus usando microcontroladores ESP32 para equipos de control industrial.

### **Objetivos específicos**

1. Documentar el funcionamiento de las redes WiFi malladas.
2. Diseñar una red mallada basada en el microcontrolador ESP32.
3. Implementar el módulo del programa para el manejo del protocolo Modbus en el bus RS-485.
4. Implementar el programa de la red diseñada que soporte la transmisión del protocolo Modbus.
5. Diseñar el circuito de un nodo para una red WiFi mallada basada en el microcontrolador ESP32.
6. Implementar la red mallada diseñada.
7. Analizar el rendimiento de la red de acuerdo a variaciones en los parámetros de transmisión de datos.

# CAPÍTULO I

## MARCO HISTÓRICO

### **Planteamiento del problema**

La creciente popularidad de las redes inalámbricas en casi todos los sectores ha hecho que las infraestructuras asociadas, dispositivos y protocolos se vean en la necesidad de mejorar constantemente para manejar la creciente cantidad de usuarios de manera segura y eficiente. Así mismo, las redes WiFi centralizadas están limitadas por la capacidad del punto de acceso, en el ámbito de cobertura y cantidad de clientes, restricciones que se pudiesen superar con las redes WiFi malladas.

Actualmente la redes malladas están en una etapa de desarrollo, por lo que no existe un estándar sólido para la implementación de toda la red, lo que causa reservas en las industrias, especialmente debido a la vulnerabilidad de los datos, la confiabilidad en ambientes electromagnéticamente ruidosos y el rendimiento. Es por eso que una red mallada WiFi con comunicación basada en el protocolo Modbus podría representar una solución a este problema.

### **Justificación**

Se plantea una red WiFi lo cual representaría una reducción de costos en la implementación de un sistema de control y adquisición de datos, dado que se necesitan menos conductores. Además, se explorará el campo popular hoy en día

de las redes WiFi y su rendimiento como red mallada. Dicha red representa una alternativa a superar la limitaciones de número de clientes y área de cobertura presentes en las redes WiFi centralizadas, y más aún, supone una solución a llegar a lugares lejanos de un nodo central sin la necesidad de agregar puntos de acceso adicionales.

La constitución de la red mallada se elaborará basados en comunicación WiFi a través de microcontroladores ESP32, que poseen características de tamaño, potencia y costos aunado a las ventajas principales de las redes mallada de cobertura y conectividad. También se sustentará la transmisión de información en el protocolo Modbus debido a su confiabilidad todos los sectores aplicables, especialmente el industrial.

### **Alcance y limitaciones**

La red se compondrá de al menos cuatro nodos, donde cada nodo tendrá conexión con al menos otro nodo usando red WiFi y estarán constituidos por microcontroladores ESP32 con módulo WiFi integrado y el programa asociado a la red. Los nodos deben estar apropiadamente alimentados, cuyo diseño no forma parte del proyecto.

El programa se diseñará para que se logre transportar la información bajo el protocolo Modbus por la red inalámbrica, considerando que solo en un nodo está conectado el maestro. Así mismo, algunos de los nodos restantes poseerán esclavos. Cabe resaltar que las unidades que generan los datos del protocolo Modbus (maestro y esclavos) no forman parte de la red a diseñar, ya que se asume que se recibe información en los nodos sin tener en cuenta mayor detalle de su origen.



## CAPÍTULO II

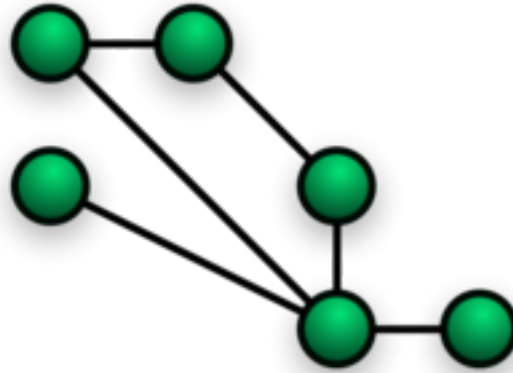
### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se tratarán los fundamentos del funcionamiento de las redes WiFi malladas, protocolo Modbus y características de software y hardware del microcontrolador ESP32.

#### 2.1. Fundamentos de las redes WiFi malladas

Las redes WiFi malladas (WMN) se pueden definir básicamente como una red que permite la comunicación entre nodos a través de saltos múltiples en una topología mallada Bahr (2016). Los nodos intermedios pueden reenviar los datos al destino. Las WMN consisten usualmente de clientes, enrutadores y puertas de enlace. Los clientes son dispositivos electrónicos, sistemas embebidos, y sensores que pueden comunicarse con otros en una red. El enrutador es un dispositivo electrónico que sirve como un intermediario entre dos o más redes para transportar los datos de una red a otra. Y las compuertas de enlace es un dispositivo electrónico que conecta la red con el Internet.

Cuando un nodo no puede operar, el resto de los nodos en la WMN aun pueden comunicarse con los otros, bien sea directa o indirectamente a través de uno o más nodos intermediarios. (Rifki Muhendra, 2016).



**Figura 2.1:** Topología Mallada

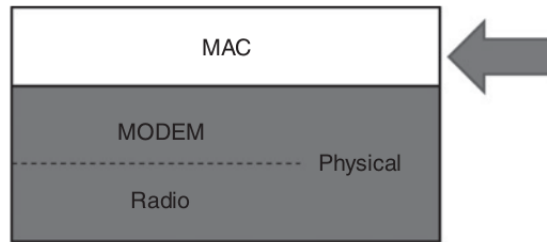
Una red WiFi mallada es establecida en la banda para comunicación WiFi (sea 2,4 GHz o 5GHz), donde hay estaciones que soportan comunicación de múltiples saltos (multi-hop) para transferir información en la red. Así mismo se tiene que, el enrutamiento y la capacidades de reenvíos de datos residen en la capa de Control de Acceso al Medio (MAC) Hiertz y cols. (2010).

### **La capa de Control de Acceso al Medio (MAC)**

La capa MAC administra el acceso al medio compartido, proveyendo sincronización entre diferentes nodos para permitir la transmisión inalámbrica. Dicha sincronización se convierte cada vez más importante tanto el método de acceso es más complejo. Como un ejemplo, sincronización puede ser necesaria entre nodos de un sistema que emplee el un espectro abierto. Como otro ejemplo, nodos individuales pudiesen necesitar permiso de un controlador en una red inalámbrica para transmitir en un canal dado. La capa MAC administra las negociaciones con un nodo de control para el acceso.

Las funciones específicas que están encapsuladas en la capa MAC, varían de un protocolo a otro. Estas funciones incluyen, pero no están limitadas a, técnicas de

acceso múltiple, sincronización un medio abierto, y corrección de errores. Chew (2018)



**Figura 2.2:** El propósito de la capa MAC es administrar el medio

### Dirección MAC

En una red de computadoras, la dirección Mac es un valor único asociado a un adaptador de red. La dirección MAC también es conocida como dirección de hardware o dirección física. La dirección MAC trabaja en la segunda capa del modelo OSI, siendo identificada como com en la capa de vínculo.

Las direcciones MAC se componen de 12 número hexadecimales (48 bits de longitud). Por convención las direcciones MAC son escritas en una de los dos formatos siguientes:

$$MM : MM : MM : SS : SS : SS \quad o \quad MM - MM - MM - SS - SS - SS \quad (2.1)$$

La primera mitad de la dirección MAC contiene el número identificador del fabricante del adaptador(i.e 00:A0:C9:14:C8:29). Dichos identificadores por un estadar de Internet. La segunda parte de la dirección MAC representa el número de serial asignado al adaptador por el fabricante. La suplantación de MAC es equivalente a hacerce cargo de los controladores de interfaz de red (NIC). La unicidad de la dirección MAC es esencial en todas la fases de la comunicación de red porque mapea todos los identificadores de las capas superiores Al-Husainy

(2013).

## 2.2. La Referencia del Modelo OSI

El modelo del sistema de interconexión abierta (OSI) está basado en una propuesta de la Organización Internacional de estándares (ISO) para la estandarización de pilas de protocolos. El modelo consiste en siete (7) capas.

1. Una capa debe existir para cada nivel de abstracción.
2. Cada capa debe ejecutar una función bien definida.
3. La función de cada capa debe formar parte de un estándar internacional.
4. Los límites de cada capa deben minimizar el flujo de información a través de las interfaces.
5. El número de capas debe ser suficientemente grande para no forzar múltiples funciones en una sola capa, pero lo suficientemente pequeña para que la arquitectura no sea incómoda,

Las siete capas del modelo OSI, juntas, son solo un modelo de referencia, y no son una arquitectura de red. Los estándares de la ISO existen para varios niveles, y no son parte de este modelo. Las capas son:

1. La capa de aplicación,
2. La capa de presentación,
3. La capa de sesión,
4. La capa de transporte,

5. La capa de red,
6. La capa de vínculo de datos y,
7. La capa física.

Para entender las funcionalidades y la interrelación entre estas capas, es beneficioso estudiarlas desde la capa física hacia arriba.

### **2.2.1. La capa Física**

A la capa física le concierne la transmisión de los bits de data cruda sobre el canal de comunicación. Es responsable por asegurarse de la integridad de dichos bits tanto por la entrega como por la interpretación. Los detalles específicos de cuantos Volts representan el "0" lógico y cuantos representan el "1", la duración de la señal, el mecanismo de conexión y la desconexión, etc., son dependientes de los medios físicos y los dispositivos empleados.

### **2.2.2. La capa de vínculo de datos**

La capa de vínculo de datos provee la primera capa de abstracción en la pila. Esta protege la capa de red de detalles de nivel bajo y errores de la capa física. Esto es logrado agrupando los bits crudos en una unidad de nivel más alta llamada trama de datos, la cual puede ser usada en la capa de red.

La trama de datos consiste en unos cuantos cientos o miles de bytes. Patrones especiales de bits delimitan la carga, para que la trama de datos sea reconocida. Esto significa que especial cuidado se debe poseer para asegurar que estos patrones especiales no ocurren dentro de la carga, en cuyo caso la trama se perdería. Un mecanismo apropiado debe existir para notificar que la fuente retransmite la trama.

Otra característica en esta capa es la inclusión del control de flujo y los agradecimientos. Redes broadcast están basadas en un canal compartido. Una subcapa ha sido introducida en la capa de de vínculo de datos para manejar con el control de acceso a canales compartidos, con el nombre de subcapa de control de acceso al medio.

### **2.2.3. La capa de red**

La capa de red es la responsable por controlar la operación de la subred. La carga de la trama de datos, en esta capa, es llamada paquete. Esta capa determina como mover el paquete desde la fuente al destino usando las rutas apropiadas. La determinación de dichas rutas puede ser estático o dinámico. La capa de red también maneja la congestión de la red.

La capa de red tiene que lidiar con problemas relacionados con las diferentes arquitecturas de red, diferentes direccionamientos, y diferentes condiciones de operación y restricciones, tanto en los sistemas de origen como en los de destino. La heterogeneidad de red es tomada en cuenta en esta capa.

### **2.2.4. La capa de transporte**

La función básica de la capa de transporte es aceptar datos de una capa más alta, descomponerla en unidades más pequeñas, si es necesario, para pasarlas a la capa de red, y asegurarse que estas piezas lleguen correctamente al destino. Para propósitos de eficiencia, la capa de transporte puede multiplexar varias conexiones de transporte en una sola conexión.

La capa de transporte es la primera capa fin-a-fin de la pila. En las capas más bajas, la interacción real no necesitaba estar entre los sistemas de fuente y destino. Enrutadores o sistemas intermedios podían ser parte de la transacción.

La interacción en esta capa, sin embargo, es siempre entre puntos finales.

El control de flujo juega un rol importante en la capa de transporte (Así como en las otras capas).

#### **2.2.5. ?**

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Documentar el funcionamiento de las redes WiFi malladas

#### 3.2. Diseño de una red mallada basada en el microcontrolador ESP32

La red mallada se diseño para una sola red Modbus, por lo que, solo puede existir un maestro y una cantidad de XXX esclavos (Citacion required). Teniendo en consideración lo anterior, se definió la topología de la red mallada; las rutas de comunicación se determinan según el esclavo que el maestro Modbus esté interrogando. Así, aunque las rutas sean estáticas, el enrutamiento de cada nodo variaría según una tabla de enrutamiento determinada.

Por otro lado, existen otras características de comunicación, como lo es el estándar del bus serial y la características del mismo. Ya que se usa el estándar RS-485, quedaba por definir la tasa de transmisión. Por lo que el nodo es configurable y compatible para las tasas de Baudios siguientes: XX, XX;

Entonces, quedando diferenciadas las dos etapas (la inalambrica y la serial) y además, se consideraron los dos sentidos de la información (desde y hacia el esclavo), para establecer una lógica para el funcionamiento del nodo.

Cada nodo contemplaron dos casos básicos, el primero es si se le introduce la información por el bus serial entonces esta debe transmitirse inalámbricamente;



y si recibe información inalámbricamente entonces debe pasarla a su bus serial o bien debe transmitirla a otro nodo.

Cada nodo debe ser configurable respecto a su identificador, tabla de enrutamiento y tasa de baudios de la interfaz serial, para así adaptarlos a los entornos de comunicación industriales. Sabiendo que se transmite el protocolo Modbus entonces se consideró conveniente a los nodos como esclavos en el sistema. ; Y se reservaron identificadores para ellos, lo que deja menos cantidad de identificadores de esclavos disponibles para la red en la que se implemente la red mallada.

La comunicación entre los nodos es unicast para así aprovechar las ventajas que esto implica como lo son encriptación, respuesta de agradecimiento y ahorro de (sobrecarga) envío de tramas innecesarias. Para tener mayor cobertura, los esclavos pueden estar a mas de un nodo intermedio del nodo que posee el maestro y la red se diseño para poseyera la capacidad de ser configurado para reenviar dicha información según sea necesario.

Definidas estas características de funcionamiento, se investigaron las librerías que el microcontrolador ESP32 poseía para hacer tales funciones. Se encontraron dos tipos de redes WiFi descritos por Espressif: mesh y espnow. Para elegir cual usar se tomó en cuenta la flexibilidad, descentralización, seguridad y alcance; pues bien son las cualidades que entraban en concordancia para la elaboración de la arquitectura de red anteriormente descrita.

### **3.3. Implementar el módulo del programa para el manejo del protocolo Modbus en el bus RS-485.**

Como se trabajó en el microcontrolador ESP32, los programas elaborados son administrados por un sistema operativo en tiempo real (RTOS). Al mismo tiempo, el diseño de los programas contempló todas las características que un

RTOS implica. Esto se traduce en un paradigma de programación basado en tareas, eventos, colas, etc.

Para manejar el protocolo Modbus en el bus RS-485 se creó una tarea específicamente para la recepción de los datos provenientes del UART conectado al chip MAX485. Para contemplar los casos en los que los datos pudiesen estar corrompidos u otra falla en la comunicación serial, la recepción se baso en eventos. Por otro lado se agrego una cola para controlar el estado de la tarea del uart, para que no este activa mientras el bus serial esta ocioso, evitando así que consuma recursos innecesariamente.

Si los datos son recibidos bien se debe evaluar si la trama es una respuesta, una trama para el nodo en cuestión o si se debe enviar a otro nodo. Es por eso que se agrega un *case* del lenguaje C para ello. La evaluación se baso en la tabla de enrutamiento, pues de allí deriva la lógica asociada a la acción.

Si la trama recibida serialmente se debe enviar a otro nodo inalámbricamente entonces los datos recibidos son escritos en una cola que se comunica con la tarea asociada a la transmisión WiFi.

En la dirección opuesta, es decir, cuando la información es transmitida desde el uart, entonces este proceso es realizado desde una instrucción específica en las tareas que esto sea requerido. Por ejemplo, cuando la información recibida mediante WiFi sea para un nodo que este conectado a mi bus serial, en cuyo caso en la misma tarea de recepción inalámbrica es llamada la instrucción de escritura hacia el uart.

Otro aspecto que se consideró fue que la tasa de baudios fuese configurable. Para lograr esto, en la función de configuración del uart se deja como parámetro un valor que está asociado a la tasa de baudios. Si se recibe la orden para cambiar

la velocidad del uart, dicha función de configuración del uart es llamada dándole como parámetro el valor asociado a la nueva tasa de baudios.

### **3.4. Implementar el programa de la red diseñada que soporte la transmisión del protocolo Modbus**

Para la implementación del programa se diseñó una estructura basada en el diseño de la red. Esto quiere decir, que basadas en tareas que se ejecutan secuencialmente según la información es introducida al nodo. Así para soportar la transmisión del protocolo Modbus basta enviar en la sección de carga la trama correspondiente. Para lograr esto se debe tener en cuenta que la librería usada requiere que se cubran ciertos parámetros.

La dirección MAC del nodo destino, el buffer de datos y la longitud de la trama son los campos obligatorios. Sin embargo, para la comunicación unicast se necesita que adicionalmente el punto destino esté registrado.

Cumplidos estos requisitos el protocolo Modbus es exitosamente soportado a nivel inalámbrico, sin más limitaciones que las definidas por la distancia entre los nodos.

### **3.5. Diseñar el circuito de un nodo para una red WiFi mallada basada en el microcontrolador ESP32**

El microcontrolador ESP32 no posee periférico de comunicación RS-485 por lo que se le agregó al circuito el chip MAX3485 para obtener dicha capacidad usando el uart. Adicionalmente se colocó una resistencia de pull-up en el receptor del uart ya que cuando se está transmitiendo el R0 del MAX3485 se coloca en alta impedancia, dejando el receptor del uart en un comportamiento indeterminado (si no tuviese el pull-up). Cabe recordar que el transmisor del uart en estado ocioso

posee nivel lógico alto.

Por su puesto el microcontrolador en su encapsulado WROM-32, la cual se tomó por disponibilidad. Así mismo, se agregaron pin header en los pines necesarios para la programación del microcontralador por los son el GPIO 0, el enable y los I/O del UART0.

Considerando que en un ámbito industrial es común tener presente la tensión de 24VDC, entonces se uso para la alimentación un convertidor DC/DC. Con la salida regulada permite que se pueda alimentar desde 24 v a 5 V. En caso de que este disponible solo la tensión de la red, se podría usar una fuente de 120VAC/5VDC muy comunes en el mercado.

Para diseñar la topología se tomó en cuenta que disposición física de los elementos del circuito en el circuito impreso fuese el más optimo; aprovechando las dos capas y la dispocision de la fuente en la capa posterior al MCU.

La capa 1 posee el MCU y el chip MAX485 y, la capa 2 los bloques terminales para la alimentación, la entrada de datos del bus RS-485, los pin header de programación y los de la colocación del chip DC/DC. De esta manera se logra la menor interferencia sobre el areá de antena del MCU.

Para el trazado de las pistas y vias no se tuvieron más limitación mas que las de área prohibida de lejanía de la antena y las propias de diseño de circuitos impresos.

### **3.6. Implementar la red mallada diseñada.**

### **3.7. Analizar el rendimiento de la red de acuerdo a variaciones en los parámetros de transmisión de datos**

## **CAPÍTULO IV**

### **DESCRIPCIÓN DEL MODELO**

## **CAPÍTULO V**

### **PRUEBAS EXPERIMENTALES**

## **CAPÍTULO VI**

### **RESULTADOS**

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES



## **CAPÍTULO VIII**

### **RECOMENDACIONES**

## Apéndice I

### TÍTULO DEL ANEXO

## Apéndice II

### TÍTULO DEL ANEXO

## Apéndice III

### TÍTULO DEL ANEXO

## REFERENCIAS

- Al-Husainy, M. (2013, 11). Mac address as a key for data encryption. , 1.
- Bahr, M. (2016, 10). Update on the hybrid wireless mesh protocol of ieee 802.11s. *Siemens Corporate Technology, Information and Communications*, 1.
- Cheng, Y., Yang, D., y Huachun, Z. (2018, 02). Det-lb: A load balancing approach in 802.11 wireless networks for industrial soft real-time applications. *IEEE Access, PP*, 1-1. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2802541
- Chew, D. (2018, 10). Mac layer. En (p. 139-171). doi: 10.1002/9781119260608.ch5
- Hiertz, G., Denteneer, T., Max, S., Taori, R., Cardona, J., Berlemann, L., y Walke, B. (2010, 03). Ieee 802.11s: the wlan mesh standard. *Wireless Communications, IEEE, 17*, 104 - 111. doi: 10.1109/MWC.2010.5416357
- Modbus Organization, I. (2017, Abril). *Modbus application protocol specification*. ([Internet; accedido el 25 de Octubre del 2019] Disponible en: [http://modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b3.pdf](http://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf))
- Rifki Muhendra, M. B., Aditya Rinaldi. (2016). Development of wifi mesh infrastructure for internet of things applications. *Engineering Physics International Conference, EPIC 2016*, 331.
- Sharma, P., y Singh, G. (2016, 10). Comparison of wi-fi ieee 802.11 standards relating to media access control protocols. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 14, 856-862.