



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA PARA SER  
IMPLEMENTADA EN UN SISTEMA DE GUIADO PARA  
PARQUEADEROS VEHICULARES**

**Carlos Andrés Osorio Soto**

**Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones  
Medellín, Colombia  
2019**



## Contenido

Resumen.....	6
Introducción .....	7
1. Objetivos.....	8
1.1. Objetivo General .....	8
1.2. Objetivos Específicos .....	8
2. Marco Teórico.....	9
2.1. Redes según su cobertura.....	9
2.1.1. Redes LAN (Local Area Network) .....	9
2.1.2. Redes WLAN (Wireless Local Area Network) .....	9
2.1.3. Redes MAN (Metropolitan Area Network) .....	10
2.1.4. Redes WAN (Wide Area Network).....	10
2.2. Redes según su topología. ....	10
2.2.1. Anillo. ....	10
2.2.2. Estrella.....	11
2.2.3. Árbol. ....	11
2.2.4. Malla completa y parcial.....	11
2.3. Redes WIFI .....	12
2.4. Topologías de redes inalámbricas.....	13
2.5. Enrutamiento de redes Mesh .....	13
2.5.1. OLSR .....	15
2.5.2. B.A.T.M.A.N .....	15
2.5.3. AODV .....	15
2.5.4. HWMP.....	16
2.6. Espectro radioeléctrico usado para redes WiFi .....	16
2.6.1. Interferencia en canales WiFi .....	18
2.7. Disponibilidad para redes WiFi.....	19
2.8. Potencia de transmisión WiFi.....	19
2.9. Raspberry Pi en redes Mesh.....	20
3. Metodología .....	22

3.1. Escanear el espectro.....	22
3.1.1. WiFi Analyzer.....	23
3.1.2. InSSIDer.....	25
3.1.3. Selección de Wifi Analyzer.....	25
3.2. Wireshark.....	26
3.3. Simuladores de red.....	27
3.4. Revisión de la red actual en el sistema de guiado.....	29
4. Resultados y análisis.....	32
4.1. WiFi Analyzer como herramienta para visualizar el comportamiento del espectro.....	32
4.1. Captura del tráfico con Wireshark.....	34
4.2. Propuesta de diseño.....	35
4.3. Simulación.....	38
4.4. Análisis de costos.....	42
5. Conclusiones.....	43
6. Referencias Bibliográficas.....	45
Anexos.....	49
Anexo 1.....	49
Anexo 2.....	51
Anexo 3.....	52



# Lista de Figuras

Figura 2-1 Clasificación de las redes segun su topología.....	12
Figura 2-2 Canales de WiFi en la banda 2,4 GHz.....	18
Figura 3-1 Ocupación de canales .....	23
Figura 3-2 Información de la red .....	24
Figura 3-3 Puntuación & comportamiento en el tiempo de los canales .....	24
Figura 3-4 Interfaz de inSSIDer .....	25
Figura 3-5 Parqueadero a medir disponibilidad. ....	26
Figura 3-6 Arquitectura del sistema de guiado.....	30
Figura 4-1 Muestra x1, x2, x3 .....	32
Figura 4-2 Muestra x4, x5, x6 .....	33
Figura 4-3 Muestra x7, x8, x9 .....	34
Figura 4-4 Diseño de la red inalámbrica .....	37
Figura 4-5 Ubicación de la Raspberry a medir la señal irradiada .....	38
Figura 4-6 Proceso de medición de la señal irradiada por la raspberry .....	39
Figura 4-7 Simulación del área de cobertura de dos nodos .....	40
Figura 4-8 Simulación del área de cobertura de todos nodos.....	41
Figura 4-9 Porción de logs de la simulación .....	41
Figura 4-10 Tabla de enrutamiento Raspberry 10.....	42

# Lista de Tablas

Tabla 2-1 Comparativo de algunos protocolos de enrutamiento para redes Mesh .. 15

Tabla 2-2 Canales Estándar IEEE 802,11 ..... 17

Tabla 3-1 Características simuladores ..... 28

Tabla 4-1 Medición con Wireshark ..... 35

Tabla 4-2 Número de cámaras por raspberry ..... 38

Tabla 4-3 Potencia de Tx de la raspberry en diferentes puntos ..... 39

Tabla 4-4 Precios Raspberry y BeagleBoard ..... 42



## Resumen

El presente trabajo propuso un diseño de red inalámbrica, con el fin de generar una nueva opción para la implementación de las comunicaciones entre dispositivos de red que emplea la empresa Controles Inteligentes SAS, en su actividad económica de automatización de parqueaderos. Los esfuerzos se centraron en uno de los productos; el Sistema de guiado.

Inicialmente se empezó con la revisión de documentación que permitió hacer un balance y comparación de las diferentes topologías de red, de igual forma comparar los diferentes protocolos de enrutamiento que podían ser utilizados en el diseño. También se incursionó en revisar las experiencias que han tenido otros proyectos en el uso de la Raspberry como nodo en redes inalámbricas mesh ya que este dispositivo satisface los requerimientos técnicos del sistema de guiado y del cual se tiene inventario en Controles Inteligentes SAS.

Con el objetivo de obtener una aproximación del comportamiento del canal empleado por las redes mesh, se estudia cómo está conformado este recurso y cuáles son sus principales características con el fin de usar herramientas para extraerlas. Para conocer algunas propiedades del canal en un parqueadero (escenario de operación del sistema de guiado) se realiza la elección de la herramienta WiFi Analyzer, aplicación gratuita diseñada para trabajar en dispositivos móviles, a través de la cual se midió el nivel de ocupación de los canales para redes WiFi en la banda de 2,4 GHz. Otro punto importante era revisar el consumo de recursos de las redes actualmente empleadas por medios físicos y para ello se elige Wireshark, herramienta de uso libre que permite capturar el tráfico de paquetes sobre la red.

Una vez se obtuvieron los datos de las características del sistema de guiado, se realizó la selección de una herramienta de diseño y simulación de redes Omnet++ de uso libre. En la etapa de diseño y simulación se hace la parametrización del escenario con la información que se midió para satisfacer las demandas de recursos que tiene el sistema de guiado en la actualidad por medios físicos.

Por último se realizó un comparativo de costos de implementación una tecnología inalámbrica Vs la tecnología actual por medios físicos.

## Introducción

En la actualidad las redes de comunicación toman cada vez más importancia para la sociedad. En consecuencia, se ha visto un avance muy acelerado en la evolución de estas [1]. Teniendo factores significativos de desarrollo en las redes de computadores especialmente, los anchos de banda y los medios de transmisión de datos, siendo los medios de transmisión una de las características de mayor importancia al momento de hablar sobre la movilidad de servicios y la reducción en infraestructura física, dando así gran protagonismo a las redes inalámbricas.

Controles Inteligentes SAS es una empresa dedicada al desarrollo de tecnología orientada a la automatización de parqueaderos. Debido a esta actividad económica, se hace un uso cotidiano de las redes de computadores para la comunicación de los diferentes dispositivos que se emplean en los productos que provee la empresa, todas estas redes implementadas actualmente trabajan bajo tecnologías que usan medios físicos. Razón que motiva a proponer una solución inalámbrica para uno de los productos en particular, al proponer una alternativa que minimice los tiempos de despliegue y genere un ahorro económico respecto al recurso de inversión requerido para esta.

El sistema de guiado, producto de interés, es una solución que pretende orientar a los usuarios en la búsqueda de las celdas de estacionamiento que se encuentran libres al momento de ingresar al parqueadero. Adicionalmente genera un monitoreo durante la permanencia del vehículo en el parqueadero mediante un sistema de captura de video en cada una de las células de parqueo. En la actualidad este sistema cuenta con una infraestructura cableada muy robusta, incluso compartiendo canastillas para la alimentación eléctrica de los dispositivos del sistema y los cables de la comunicación de datos. Con una red inalámbrica se superaría esta dificultad y tendríamos menor infraestructura instalada a la cual hacer mantenimientos.

En el momento hay algunos sistemas de guiado para parqueaderos que son inalámbricos [2], pero a diferencia del de Controles Inteligentes SAS, estos hacen el reconocimiento del vehículo por medio de sensores ultrasonido lo que reduce en gran medida la tasa de transmisión respecto a la propia, que mediante video y procesamiento digital de imágenes identifica la placa del vehículo. Dicha variable es de suma importancia, pues es este el parámetro para cambiar el estado de la celda mediante su asociación a la placa en una posible búsqueda gracias al software. Para lograr una comunicación por medio del espectro, se incursionó en el estudio de las redes de área local inalámbricas WLAN (Wireless local area network por sus siglas en inglés) y sus diferentes topologías de modo que se pueda construir un diseño preliminar que coexista con la infraestructura principal actual del sistema de guiado.

# 1. Objetivos

## 1.1. Objetivo General

Diseñar una red inalámbrica usando bandas no licenciadas, para reducir los costos y tiempos de implementación de una red cableada en el servicio de automatización de parqueaderos del sistema de guiado de la empresa Controles Inteligentes SAS.

## 1.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de las diferentes topologías de red inalámbricas y dispositivos para el despliegue de las mismas que se encuentran en el mercado.
- Definir las características principales del canal en un parqueadero (escenario real del sistema de guiado), tales como disponibilidad, interferencias, potencia de señal.
- Proponer el diseño de una red que satisfaga las necesidades del sistema de guiado.
- Evaluar por medio de simulación el comportamiento del diseño de la red bajo los requerimientos del sistema guiado.
- Realizar un análisis comparativo de los costos de la solución actual y los costos de la solución propuesta para las comunicaciones del sistema de guiado.

## **2. Marco Teórico**

Las redes de computadores se componen de dos o más nodos conectados entre sí para intercambiar información, estas redes se caracterizan por muchos factores, la cobertura, el medio de transmisión que usan, la topología, entre otros [3].

### **2.1. Redes según su cobertura.**

La cantidad de territorio que pueden abarcar las redes es un parámetro que define su naturaleza, por ello es que podemos tener redes LAN, MAN, WAN principalmente [3], las definiciones de redes PAN (redes de área personal) no se toman en cuenta debido a que su área de cobertura es muy pequeña.

#### **2.1.1. Redes LAN (Local Area Network)**

Las redes de área local LAN (Local Area Network) son las más comunes ya que son las que se crean para ser usadas en extensiones pequeñas. Son redes privadas usadas para conectar equipos de cómputo o estaciones de trabajo con el fin de compartir recursos e intercambiar información. Los recursos que pueden ser compartidos por los nodos de la red son impresoras, servidores y acceso a internet mediante el uso de un mismo recurso acceder al servicio de internet por medio de la misma conexión. En las redes de área local la distancia entre máquinas no suele ser muy grande. Por debajo de los 100 metros es lo normal. Sin embargo, con configuraciones especiales, pueden existir redes LAN con computadoras a 5 km de distancia entre sí [3].

#### **2.1.2. Redes WLAN (Wireless Local Area Network)**

Estas redes se comportan de la misma forma que las LAN, lo único que varía en las WLAN es el canal, que para este caso es el espectro y son conocidas como redes de área local inalámbricas. Con una WLAN se tiene la ventaja que ya no son necesarios los tendidos de cable que se usaban en la LAN, logrando así una red de escalabilidad más dinámica que las anteriores. Una desventaja que salta a la luz en estas redes es que son menos seguras que las cableadas, la señal podría ser interceptada y descifrada por individuos externos a la red [3]. Aunque para mitigar este tipo de intrusos se cuenta con protocolos como WPA2 que ayuda a combatir las vulnerabilidades de las redes inalámbricas [4].

### **2.1.3. Redes MAN (Metropolitan Area Network)**

Una red de área metropolitana es de un tamaño mayor a una red LAN, funcionan de forma similar a una red de área local, pero bajo estándares de acceso a la red diferentes, debido a que las distancias mayores generan problemas de latencia y deterioro de la señal. Las redes MAN usan un doble bus, ida y vuelta para interconectar varias redes de área local [3]. Por tener una estabilidad mayor y una baja latencia son ideales para ofrecer servicios de multimedia.

También se puede encontrar una versión de este tipo de redes inalámbrica que se conoce como WMAN (Wireless Metropolitan Area Network). Que usa tecnologías como LTE y WiMax [3].

### **2.1.4. Redes WAN (Wide Area Network)**

Las redes de área amplia WAN, son redes informáticas LAN y MAN interconectadas entre sí. Las áreas que se abarcan con este tipo de redes pueden ser del tamaño de continentes enteros. Los nodos de estas redes no necesariamente se interconectan por medios físicos, hacen uso del espectro radioeléctrico usando señales microondas y satelitales [3].

Las emplean con frecuencia empresas que cuentan con sedes en un territorio muy extenso. Su versión inalámbrica es denominada WWAN. Esta interconecta al resto de los nodos mediante el uso de redes de telefonía celular con tecnología LTE, WiMax, GSM, CDMA2000, UMTS, entre otras [3].

## **2.2. Redes según su topología.**

Las redes informáticas se pueden clasificar según su topología en: estrella, árbol, anillo, malla completa y malla parcial, en el documento académico de la Universidad de Valencia [5], realizan una clasificación de las siguientes topologías de red.

### **2.2.1. Anillo.**

Se conectan los nodos en serie alrededor de un anillo. Los mensajes se transmiten en una sola dirección, pasando por todos los nodos necesarios para llegar al destino final. No hay un nodo central y el control de la red se distribuye en todos los nodos

de la misma. Si se presentara un fallo en algún nodo de la red esta quedaría interrumpida [5]. Esta topología en la actualidad no tiene mucho campo de acción debido a que presenta varias desventajas tales como:

- Retardos en las transmisiones debido a la que los paquetes pasan por todos los nodos que se encuentran antes del nodo destino [5].
- Sensible a fallos porque si se interrumpe en un solo punto toda la red queda por fuera [5].
- Difícil instalación aunque presenta una facilidad al momento de variar el número de nodos [5].

### **2.2.2. Estrella.**

Cada nodo se conecta a un nodo central encargado del control de acceso a la red por el resto de nodos (colisiones, errores, etc.). Para esta topología el nodo central se convierte en el elemento más importante de la red ya que se encarga de controlar toda la comunicación, si esta falla la red también pierde toda la comunicación con el resto de los nodos [3]. Se convierte en una opción viable cuando los nodos no se encuentran muy distanciados del nodo central, puesto que a distancias mayores requiere el despliegue una mayor cantidad de cable lo que se deriva en un aumento de costos.

### **2.2.3. Árbol.**

La topología en árbol es una variante de la estrella. Igual que en la topología estrella, los nodos del árbol están conectados a un nodo central que controla el tráfico de la red. Pero no todos los nodos se conectan directamente al nodo central. Casi todos los nodos van conectados a nodos secundarios [25]. Como no todos los nodos van conectados directamente al nodo central se puede tener una mayor cobertura al retransmitir los mensajes por medio de los otros nodos que conforman la red, pero cuenta con una desventaja significativa y consiste en que si un nodo de una rama falla se puede interrumpir la comunicación en toda.

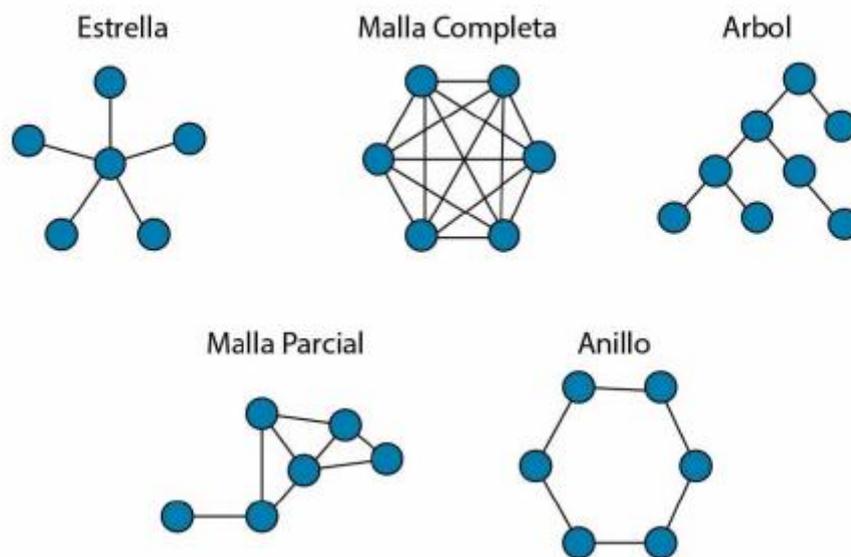
### **2.2.4. Malla completa y parcial.**

Este tipo de conexión brinda varios enlaces físicos entre los nodos que conforman la red, creando múltiples caminos de interconexión entre dos nodos, La malla es completa cuando todos los nodos están conectados de forma directa entre ellos, existiendo siempre un enlace punto a punto para su comunicación. La malla es

parcial cuando no todos los nodos se pueden conectar mediante un enlace punto a punto con cualquier otro nodo de la red [5]. Esta topología cuenta con una grandes ventajas tales como:

- Se pueden generar varios caminos para enrutar los paquetes [5].
- Si un nodo falla el resto de la red no se ve afectada gracias a las otras rutas existentes [5].

Pero también se puede encontrar una desventaja y consiste que si la red desplegada es cableada los costos de instalación son muy elevados.



**Figura 2-1 Clasificación de las redes según su topología. Tomado de [6]**

### **2.3. Redes WIFI**

Es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite conectar dispositivos informáticos en una determinada red por medio del espectro electromagnético para la transmisión de información. Wifi se conoce con el estándar IEEE 802.11 del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica [7].

WiFi es una solución informática que comprende un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11, lo cual asegura la compatibilidad e interoperabilidad en los equipos certificados bajo esta

denominación. Existen diversos tipos de WiFi, basado cada uno de ellos en una estándar IEEE 802.11 aprobado [7]. Son los siguientes:

- Los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n disfrutan de una aceptación internacional debido a que la banda de 2,4 GHz está disponible casi universalmente, con una velocidad de hasta 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s, respectivamente [7].
- En la actualidad ya se maneja también el estándar IEEE 802.11ac, conocido como WIFI 5, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios. La banda de 5 GHz ha sido recientemente habilitada y, además, no existen otras tecnologías (Bluetooth, microondas, ZigBee, WUSB) que la estén utilizando, por lo tanto, existen muy pocas interferencias. Su alcance es algo menor que el de los estándares que trabajan a 2,4 GHz (aproximadamente un 10 %), debido a que la frecuencia es mayor (a mayor frecuencia, menor alcance) [2].

## **2.4. Topologías de redes inalámbricas.**

Las redes inalámbricas se clasifican de igual forma que las redes cableadas dependiendo de su cobertura: WPAN, WLAN, WMAN, WWAN.

Para su operación las redes inalámbricas pueden adoptar diferentes tipos de operación, redes en modo infraestructura y redes en modo Ad-hoc [6]. La combinación de dos de los modos de operación mencionados da lugar a las redes malla inalámbrica (Red Mesh), estas redes usan una porción de modo infraestructura que se compone de un nodo central quien se encarga de la coordinación del tráfico y el resto de la red se configura en modo Ad-hoc [6], que no necesitan de una administración central, porque los nodos en este modo de operación realizan funciones de encaminamiento mediante el reenvío de datos hacia otros nodos sumado a las tareas de envío y recepción de información.

Con las redes Mesh se tiene una red con un topología tipo malla parcial que unido al modo de operación Ad-hoc [6], se convierte en una ventaja grande en temas de expansión de la red.

## **2.5. Enrutamiento de redes Mesh**

Para el tema de los protocolos de enrutamiento cabe resaltar que se conforman por dos tipos:

- Enrutamiento estático: se compone de la creación de las rutas de forma manual, la gran ventaja de este tipo de protocolos es el bajo consumo de procesamiento [8].
- Enrutamiento Dinámico: Trazan las rutas de forma automática tratando de generar la ruta más óptima usando para ello ciertos criterios llamados métricas que varían dependiendo del protocolo de enrutamiento dinámico. Para determinar que es la mejor ruta con respecto a la métrica por la cual se rija el protocolo se usan unos algoritmos: Vector distancia, Estado de enlace, Vector camino [6].

Los protocolos de enrutamiento para las redes ad-hoc son dinámicos y se dividen en tres categorías que son: proactivo, reactivo e híbrido [6].

- Protocolos de tipo proactivo: La red se mantiene en constante actualización por lo cual se tiene una exigencia de respuesta rápida. Este tipo de protocolo utiliza algoritmos de vector distancia. La desventaja que tienen se debe a la sobrecarga del canal por el constante envío de mensajes de señalización [8].
- Protocolos de tipo reactivo: Este tipo de protocolo es conocido como de baja demanda ya que no depende del intercambio constante de información de rutas, solo envía información cuando es necesario así optimizando recursos y evitando sobrecarga de la red. Cuando se va a realizar el envío de información lo que se realiza es difundir la ruta por la red y esperar respuesta de conectividad antes de enviar el paquete hacia al receptor. Menor carga de control pero mayor retardo hasta encontrar una ruta [8].
- Protocolos híbridos: Estos protocolos combinan las mejores características de los protocolos proactivos y reactivos. En el siguiente cuadro se puede ver algunas características de protocolos que son empleados en redes ad-hoc y redes mesh [8].

CARACTERISTICAS DE LOS PROTOCOLOS APLICABLES A REDES MESH						
Protocolo	OLSR	B.A.T.M.A.N	AODV	DSR	HWMP	ZRP
Tipo	Proactivo	Proactivo	Reactivo	Reactivo	Hibrido	Hibrido
Información de estado	Estado de enlace	Vector Distancia	Vector Distancia	Vector Distancia	Vector Distancia	VD/EE
Modo de transmisión	Broadcast	Broadcast	Broadcast/ Unicast	Broadcast/ Unicast	Broadcast/ Unicast	Broadcast/ Unicast
Actualización	Periódica	Periódica	Eventos	Eventos	Eventos	Periódica/ Eventos
Troughtput	Disminuye por la movilidad					
Implementación	Linux, Android, NS-3	Linux, Android, NS-3	Linux, Matlab, C++	Linux NS-3	Linux	NS-2, Linux

**Tabla 2-1 Comparativo de algunos protocolos de enrutamiento para redes Mesh tomado de [8].**

**2.5.1. OLSR:** Es un protocolo de enrutamiento proactivo, tiene como criterio de decisión el estado de enlace entre los nodos de una red, para poder generar sus tablas de enrutamiento envía de forma periódica mensajes de "Hello" y mantenerlas actualizadas. Este proceso consume muchos recursos de red pero reduce los tiempos de inicio de la comunicación gracias a la renovación constante de las tablas de enrutamiento. Para mitigar un poco la desventaja de los mensajes de "Hello" OLSR usa lo que se conoce como relevos multipunto o MPR (Multipoints Relays) permitiendo disminuir la sobrecarga de tráfico de control en la red, los nodos seleccionados como MPR son los únicos encargados de retransmitir los mensajes de control y los demás nodos reciben y procesan pero no retransmiten [6].

**2.5.2. B.A.T.M.A.N:** También hace parte de los protocolos proactivos, en su aparición BATMAN tuvo una gran aceptación en las redes inalámbricas ad-hoc y redes mesh debido a que forma parte del kernel de linux permitiendo una operación rápida. Este protocolo tiene dos versiones una que se diseñó para la capa 2 (capa de enlace) y capa 3 (capa de red), una motivación para la creación de BATMAN era reemplazar OLSR que como se enunció anteriormente inunda el tráfico de la red con mensajes de control, BATMAN solo conoce el vecino del siguiente salto por medio de mensajes que se denominan Originator Messages (OGMs). La versión de BATMAN de capa 2 es conocida como BATMAN Advanced y la que opera en capa 3 BATMAN Daemon [6].

**2.5.3. AODV:** El protocolo AODV (Ad hoc On demand Distance Vector) es un protocolo de enrutamiento reactivo para redes Ad-Hoc, establece las rutas bajo demanda o cuando se necesita establecer comunicación entre dos nodos, sólo

mantiene información de la ruta que los comunica, este es un protocolo de vector distancia porque su métrica está basada en el número de saltos. Este protocolo es simple y liviano, busca las rutas cuando existe una solicitud, y escoge la ruta que responda primero, ya que asume que la respuesta se transmitió por la ruta más corta. Además los mensajes de enrutamiento sólo tienen información sobre el origen y el destino y no de la ruta completa, por lo que tienen un tamaño fijo y usan un número de secuencia de destino con el que se puede verificar si la ruta es actual, también se usa para evitar bucles en la red [9].

Es importante mencionar que no siempre el mensaje que llega primero fue el que usó la ruta más corta, por lo que para reducir el ancho de banda utilizado las rutas se mantienen activas hasta que no se necesiten o falle algún enlace [9].

**2.5.4. HWMP:** Es un protocolo que es implementado por el estándar IEEE 802.11s para redes Mesh que es aprobado en el 2011, este es un protocolo híbrido ya que combina dos tipos de enrutamiento, modo reactivo y modo proactivo adaptados en la capa de enlace del modelo OSI (capa 2) esto se convierte en una ventaja haciéndolo parecer como un sistema LAN (802.x) para protocolos de capas superiores, adicionalmente al enrutamiento determina aspectos de acceso al medio, sincronización o seguridad. Este protocolo para el enrutamiento reactivo usa procesos similares a AODV que es un protocolo netamente reactivo y para el encaminamiento proactivo emplea estructura de árbol donde se establece un nodo central que se encarga de emitir mensajes de solicitud de camino ( Path Request PREQ) para alcanzar los demás nodos de la red. Una de las grandes ventajas de este protocolo es el consumo reducido de recursos y la reducción en los tiempos de inicio de la comunicación gracias a la renovación constante de las tablas de enrutamiento[6].

## **2.6. Espectro radioeléctrico usado para redes WiFi**

Para implementar una red Wi-Fi se puede hacer uso de dos bandas del espectro que son la banda de los 2,4 GHz y la banda de los 5 GHz. Para este caso vamos a centrar el análisis en la banda de los 2,4 GHz, porque como es una banda de una frecuencia más baja, el área de cobertura es más generosa que la brindada por la banda de 5 GHz [10].

Debido a que esta banda es no licenciada, es propicia para el despliegue de otras tecnologías que hacen uso del mismo recurso provocando un deterioro de la señal si de manera simultánea emplean un canal que tenga la misma frecuencia de operación. Dentro de las tecnologías que operan en la banda de los 2,4 GHz se encuentra Bluetooth que usa la porción del espectro desde 2,4 GHz a 2,4835 GHz,

dividiéndolo en 79 canales de 1 MHz de ancho de banda, zigbee es otra de las tecnologías que tiene su banda de operación en los 2,4 GHz y cuenta con 16 canales de un ancho de banda de 2 MHz con una separación entre canales de 5 MHz, también se tienen teléfonos inalámbricos y microondas que trabajan en la frecuencia de 2,4 GHz [11] [10].

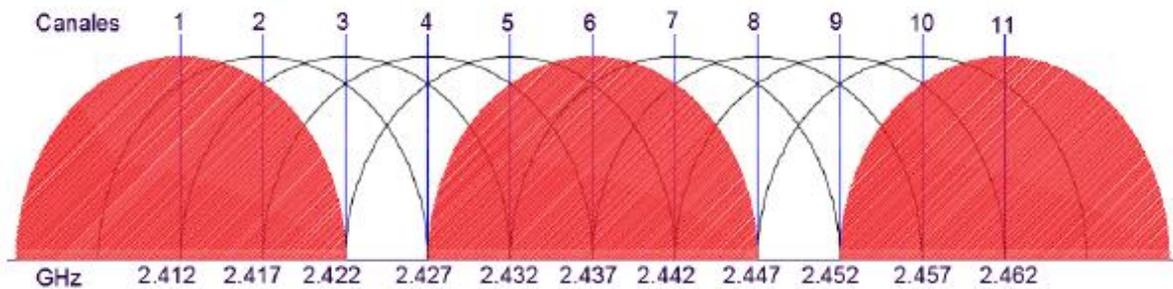
El estándar IEEE 802,11 [7], es el que describe las características de redes de área local inalámbrica WLAN por sus siglas en inglés (Wireless Local Area Network). Este estándar define el espectro reservado para su operación en la banda de 2,4 GHz el cual está dividido en 14 canales con un ancho de banda de 22 MHz cada uno como se especifica en la siguiente tabla:

<b>Espectro reservado redes WLAN 2,4 GHz</b>	
<b>Canal</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>1</b>	2,412 GHz
<b>2</b>	2,417 GHz
<b>3</b>	2,422 GHz
<b>4</b>	2,427 GHz
<b>5</b>	2,432 GHz
<b>6</b>	2,437 GHz
<b>7</b>	2,442 GHz
<b>8</b>	2,447 GHz
<b>9</b>	2,452 GHz
<b>10</b>	2,457 GHz
<b>11</b>	2,462 GHz
<b>12</b>	2,467 GHz
<b>13</b>	2,472 GHz
<b>14</b>	2,484 GHz

**Tabla 2-2 Canales Estándar IEEE 802,11**

Para el caso de Colombia el estándar sigue todas las recomendaciones dadas por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en la asignación de la banda de 2,4 GHz y hace uso del canal 1 al canal 11. Debido a que la separación de cada canal es menor al ancho de banda de la señal, se genera una interferencia inter-

canal (solapamiento de canales) siendo necesario tener una separación de cinco canales para evitar el deterioro de la señal antes mencionado, por tanto se recomienda usar los canales 1,6 y 11 para tener una comunicación libre de interferencia por canales adyacentes [11] [10].



**Figura 2-2 Canales de WiFi en la banda 2,4 GHz. Tomado de [8]**

### 2.6.1. Interferencia en canales WiFi

En el diseño de redes WiFi una de las técnicas usadas para mitigar los problemas de interferencia en canales, se basa en la selección apropiada de la ubicación espacial de los equipos de radiación y su correspondiente configuración en canales de transmisión distanciados 5 o 6 canales y así evitar que se solapen entre sí.

**Interferencia co-canal:** Se presenta cuando dos puntos de acceso usan la misma frecuencia afectando la tasa de transmisión de cada uno de los usuarios que están usando los recursos de los APs (Punto de Acceso) que comparten canal [12].

**Interferencia Inter-Canal:** Este tipo de interferencia se presenta cuando se transmite por dos o más APs en canales adyacentes generando un deterioro de transmisión de las redes WLAN [13].

**Interferencia por otras tecnologías:** Como se mencionó inicialmente WiFi no se encuentra como única tecnología que opera en la banda de 2,4 GHz lo que genera interferencia disminuyendo la efectividad de la transmisión.

**Interferencia por obstáculos:** La interacción de las ondas electromagnéticas con los materiales del ambiente donde se propagan las señales de las redes WLAN genera incidencia sobre la comunicación, ya que estos materiales absorben o reflejan parte de la señal provocando su degradación o bloqueo para que llegue a los usuarios. Un buen ejemplo para lo mencionado, se presenta cuando estas ondas electromagnéticas interactúan con materiales densos como el concreto, ladrillos o bloques dificultan la propagación de la señal por el espectro electromagnético, existen otro tipo de materiales que pueden generar un reflexión de la señal

provocando un fenómeno indeseado como el multipath (multitrayectoria) tales como vidrios, metales, agua entre otros, estos fenómenos constituyen interferencias [11].

## 2.7. Disponibilidad para redes WiFi.

Para hablar de la disponibilidad que se tiene en las redes Wifi se debe tener clara la distribución para la banda de 2,4 GHz, que para el caso Colombiano cuenta con 11 canales de los 14 definidos en el estándar IEEE 802,11 en la banda de interés. Los 11 canales se pueden emplear de forma libre ya que la banda de frecuencia ISM 2,4 GHz (Industrial, Scientific and Medical frequency band), no cuenta con normativa alguna que sesgue la utilización de algunos de los canales y dejan a los usuarios autonomía en esta banda de uso no comercial [14]. Debido a la autonomía mencionada en esta banda del espectro, se deberá realizar una lectura previa del mismo a través de herramientas que puedan hacer un barrido en esta porción del espectro radioeléctrico donde se puedan determinar los canales con mayor disponibilidad y así minimizar deterioro de las señales por la interferencia co-canal y la interferencia inter-canal.

Una de las herramientas para evitar el solapamiento de las señales y tener un mejor uso del espectro se denomina técnicas de espectro ensanchado:

**FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum):** Espectro extendido con salto de frecuencia en el cual las frecuencias cambian alrededor de 1600 veces por segundo; esto proporciona una probabilidad mínima de interferencia con otros canales de radiofrecuencia [11].

**DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum):** Espectro ensanchado por secuencia directa en el cual se genera un patrón de bits redundante para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea este patrón de bits, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias [11].

## 2.8. Potencia de transmisión WiFi.

La potencia de transmisión en un canal WiFi debe estar ajustada a los límites de potencia definidos por Unión Internacional de Telecomunicaciones dentro del artículo 5 de las Regulaciones de Radio [11].

Para definir la cobertura de una red se tiene como parámetro la potencia con la que emite la señal el dispositivo de red inalámbrico, Dicho parámetro tiene una

gran dependencia de la ganancia que tenga la antena utilizada por el dispositivo radioeléctrico. Para nuestro caso la potencia de transmisión y en ese mismo sentido el área de cobertura será determinada por la W-Nic BCM43143 de la Raspberry Pi 3 Modelo B, el cual será nuestro equipo de red inalámbrica.

## 2.9. Raspberry Pi en redes Mesh.

- En el proyecto de maestría titulado **“Un modelo para reducir la brecha digital en zonas rurales de El Salvador, creando conectividad a través de redes Mesh, implementadas desde una perspectiva de aprendizaje Edupunk”** tienen una experiencia bastante positiva en el uso de raspberry pi 2 como terminales de usuario y como nodos mesh que cumplen funciones de enrutamiento. La implementación de estos equipos en el proyecto estuvo acompañada de una antena para acceso a la red inalámbrica, en vista que se trató de un proyecto educativo los encargados de configurar cada nodo mesh fueron las familias a través de video tutoriales realizados. Esto refleja que trabajar con un entorno Linux por medio de raspberry pi 2 es una actividad que se puede tornar muy amigable, el sistema operativo usado fue Ubuntu 15.04 Mate que lo proporcionaron por medio de la imagen del mismo que contenía de forma predeterminada el protocolo en enrutamiento OLSR y herramientas de usuario para hacer efectivo el aprovechamiento de los recursos de red.

Cabe resaltar que la motivación para este proyecto fue la de descentralizar el servicio de internet de las escuelas que se encuentran en la zonas rurales de El Salvador ya que consideraron que este servicio estaba siendo aprovechado no de la mejor manera porque para acceder a servicios de red estaban limitados a los horarios en los que la escuela estuviese abierta, con la creación de estas redes Mesh se proporcionó una herramienta educativa y de entretenimiento para las familias de las zonas rurales Salvadoreñas.

- Dentro del proyecto **“Diseño de una red Mesh de UAVs para proporcionar servicios de comunicaciones”** que busca generar una red de acceso a servicios de comunicaciones a los dispositivos que se encuentren en su área de cobertura. Para lograr este propósito proponen implementar en los UAVs (unidades aéreas no tripuladas) raspberry pi 3 modelo B como nodo mesh que satisfaga necesidades tanto de enrutamiento como de punto de acceso para los dispositivos que están en tierra y los otros UAVs que conforman la red de acceso. Para el uso de conexiones inalámbricas usan un

modulo oficial de la Raspberry Pi, es compatible con los estándares IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b; con una capacidad de operar a las siguientes velocidades de transmisión:

- 11b: 1/2/5.5/11Mbps.
- 11g: 6/9/12/18/24/36/48/54 Mbps.
- 11n: up to 150 Mbps.

En cuanto al software implementado es el Open Wrt que es una distribución GNU/Linux, como referencia para escoger este sistema operativo tienen el proyecto más grande de redes wifi libres llamado LibreMesh que es una cooperación de varios países para el despliegue de redes de este tipo.

- **“Aplicación de redes mesh en el área de videovigilancia y ampliación de zonas Wi-Fi en el municipio de San José las Flores, Chalatenango”** es un proyecto grado desarrollado por estudiantes de la Universidad de El Salvador, que ven en la implementación de redes inalámbricas la posibilidad de abordar de forma simultánea el uso de cámaras de videovigilancia y la creación de puntos de acceso a internet por medio de redes mesh. El hardware elegido para la materialización del proyecto también ha sido Raspberry pi 2 modelo B, la determinación de este dispositivo de placa base tuvo que pasar por una elección frente a otros dos equipos de similares como el Arduino UNO y el Odroid C1. El arduino frente a los otros dos era el que menos se ajustaba a las necesidades, por parte del Odroid se perfilaba como el más adecuado debido a que cuenta con un mejor procesador que la Raspberry y las otras características son idénticas, la razón de peso para decantarse por el hardware elegido es la basta documentación que se puede encontrar en proyectos similares caso contrario con la placa Odroid que la documentación es limitada.

Con la Raspberry lo que hicieron fue adaptar dos tarjetas de red inalámbrica que conformaban las dos redes necesarias, una para la transmisión de video y otra para la expansión de red de internet. En cuanto al software elegido es un sistema operativo que no se encuentra en la página de Raspberry pero es soportado por ella que es el OpenWRT que es una distribución de Linux diseñada para trabajar con comunicaciones y ampliamente usado para las redes Mesh.

### **3. Metodología**

Buscando satisfacer los objetivos planteados en el presente trabajo, se dio inicio con el estudio de topologías de red inalámbrica, protocolos de enrutamiento y del empleo de la Raspberry en estas redes. La Raspberry desde el principio se convirtió en la principal opción de elemento de red ya que desde el diseño y la implementación en varios productos desarrollados por la empresa Controles Inteligentes SAS se consideró muy apropiada, debido a su buen desempeño para procesar las diferentes tareas asignadas, tener una tarjeta de red inalámbrica incorporada también entra a formar parte de las razones de su elección, su bajo costo promueve hacer investigaciones en el uso de la Raspberry las redes de interés. Con las herramientas ya expuestas en el ejercicio de investigación se empieza a perfilar la mejor opción para suplir las necesidades que tiene el sistema de guiado actual, el cual cuenta con una BeagleBoard como sistema embebido para el procesamiento de la información. Cada BeagleBoard puede albergar un máximo de ocho cámaras que son el sensor de cada una de las celdas de estacionamiento.

Conociendo un poco de la experiencia de otros proyectos en el empleo de la Raspberry en redes mesh, la cual se consideró como la mejor topología de red para proponer el nuevo diseño.

La topología mesh se convirtió en la más apropiada porque no es necesario un nodo central y se generan varias rutas para el transporte de la información creando una red dinámica que proporciona un respaldo en el eventual fallo de un nodo y conservar comunicación con el resto de los nodos, la versatilidad al momento de expandir una red mesh se convierte en otra ventaja que se tuvo en cuenta para elegir esta topología.

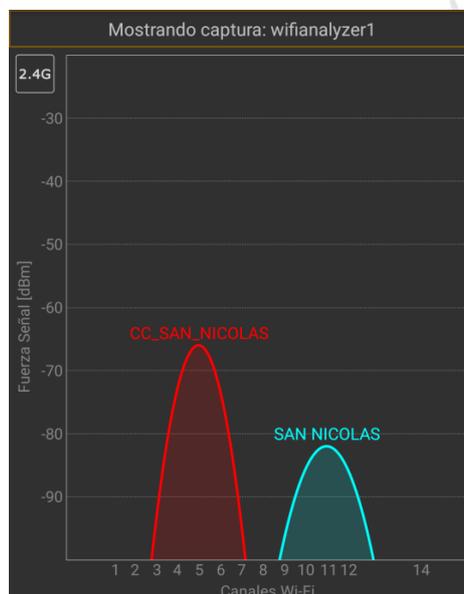
Una vez definidas las características de red y el dispositivo que se empleó en la búsqueda de un diseño que proporcione los recursos necesarios para el despliegue de un sistema de guiado usando una red inalámbrica, se hizo necesario el estudio de cómo se comporta el espectro radioeléctrico como recurso para las redes WiFi en los escenarios donde se despliega este producto.

#### **3.1. Escanear el espectro.**

Para conocer algunas características del espectro radioeléctrico es necesario emplear herramientas que puedan acceder al mismo, es entonces donde se

recurre a los dispositivos móviles. Ya que en la actualidad cuentan con herramientas de altas prestaciones, como las expuestas a continuación.

**3.1.1. WiFi Analyzer:** herramienta compatible con dispositivos móviles que cuenten con sistema operativo android. Su funcionalidad consiste en escanear todo el espectro de la banda de 2,4 GHz reservado para WiFi, proporcionando gráficamente la forma como están ocupados los canales (ver Figura 3-1). Con esta información se pueden determinar la disponibilidad de la red, la potencia con la que se puede acceder a la misma y los posibles problemas de interferencia presentes.



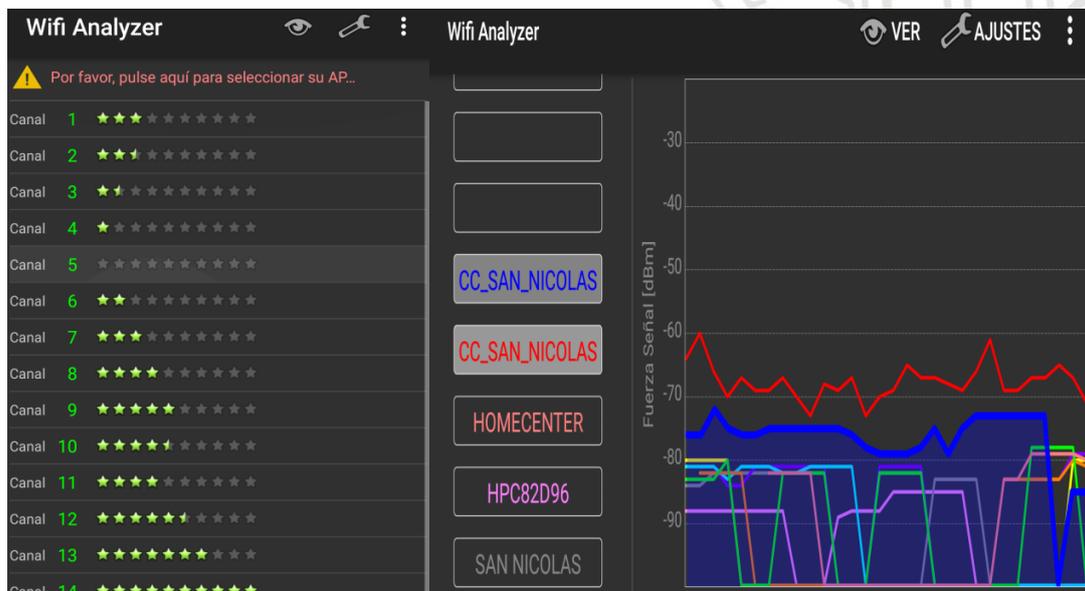
**Figura 3-1 Ocupación de canales, captura tomada con Wifi Analyzer**

Además del formato de visualización expuesto en la Figura 3-1, la herramienta contiene otras ventanas de visualización. Un ejemplo de ello es la ventana de visualización de potencia expresada en dBm, también en datos planos como la dirección Mac de la fuente que está irradiando dicha señal (por lo general los puntos de acceso), el tipo de encriptación como se observa en la Figura 3-2.



**Figura 3-2 Información de la red, tomado de Wifi Analyzer**

Por otro lado la aplicación también presta la opción de calificar los canales según su ocupación y otra de las virtudes de la herramienta es poder analizar el comportamiento del canal en el tiempo, Figura 3-3.



**Figura 3-3 Puntuación & comportamiento en el tiempo de los canales, tomado de Wifi Analyzer**

**3.1.2. InSSIDer:** Por el lado de aplicaciones idénticas se encuentra InSSIDer que es un software para ser usado en sistemas operativos como Windows, InSSIDer proporciona herramientas iguales a las de Wifi Analyzer pero capturadas a partir de las características de la tarjeta de red inalámbrica del equipo donde se ejecute el programa. En la Figura 3-4 se observa la ambientación que proporciona su interfaz gráfica y los datos que se pueden extraer.

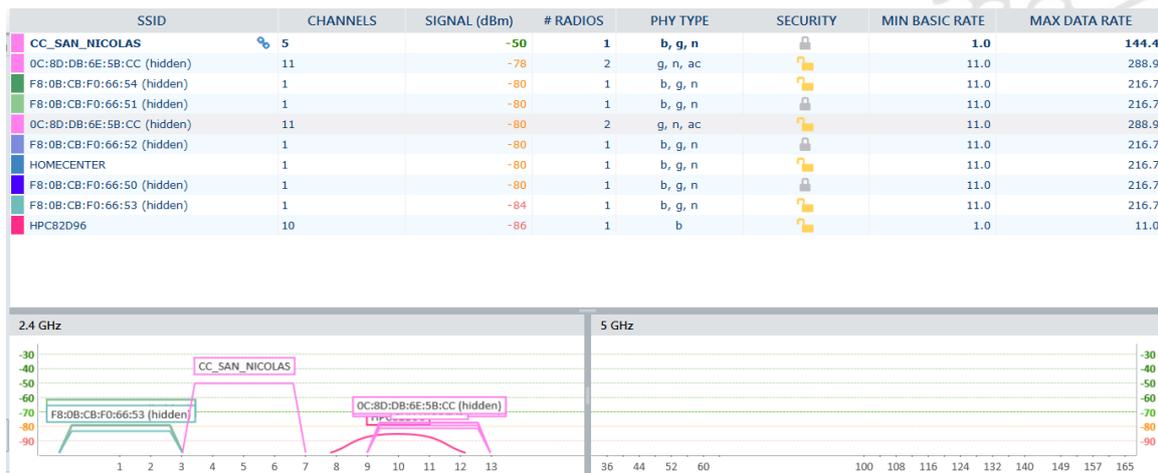


Figura 3-4 Interfaz de inSSIDer

### 3.1.3. Selección de Wifi Analyzer

El sistema de guiado como se conoce nuestro producto de interés, es una solución que pretende orientar a los usuarios en la búsqueda de las celdas de estacionamiento que se encuentran libres al momento de ingresar al parqueadero, generando a su vez un monitoreo el uso de captura de video a cada una de las celdas de parqueo. Es entonces en un parqueadero donde se hace un escaneo del comportamiento de los canales de las redes WLAN en la banda de 2,4 GHz.

Revisadas dos herramientas para escanear el comportamiento del espectro en el lugar de interés, se toma la decisión de emplear WiFi Analyzer, porque las siguientes razones:

- se ejecuta en dispositivos móviles de libre acceso, la facilidad para tomar muestras del espectro a lo largo del parqueadero.
- es una herramienta fácil e intuitiva para usar.
- herramienta que emplea una antena embebida similar a la que posee la raspberry con el fin de trabajar con elementos de bajo consumo al momento detectar el comportamiento espectral.

Para la toma de estas muestras se elige una porción del parqueadero del centro comercial San Nicolás. En el área donde se evaluó la disponibilidad se cuentan con 111 celdas de parqueo como se muestra en la Figura 3-5.



**Figura 3-5 Parqueadero a medir disponibilidad.**

### **3.2. Wireshark**

Para tener una idea de cómo es el comportamiento del canal con lo que respecta al tráfico de datos en una red que tiene implementado el sistema de guiado se realizó el análisis de la capacidad del canal que se requiere por medio de la herramienta que nos permite analizar el tráfico de red en tiempo real Wireshark.

Wireshark es un analizador de protocolos de libre acceso desarrollado por Gerald Combs mediante el cual se puede adquirir fácilmente en plataformas web. Inicialmente se lanzó como Ethereal, el cual es una herramienta muy útil para el estudio de las comunicaciones, ya que permite con su información proporcionar soluciones y detectar eventuales problemas que se presenten en la red [15].

Wireshark dentro de sus funcionalidades permite la configuración de una gran variedad de filtros que facilitan la definición de criterios de búsqueda para más de 1100 protocolos. Esta herramienta cuenta con una interfaz gráfica intuitiva lo cual facilita desglosar de forma efectiva el tipo de tráfico que queremos interceptar[15].

### 3.3. Simuladores de red.

Para el despliegue de nuevas redes es de gran importancia la planificación del mismo. Por ello en la presente etapa que toma relevancia el uso de simuladores, herramientas con las cuales se validaron los diseños y las tecnologías propuestas a implementar. A continuación se hará una breve descripción de simuladores de redes de uso libre.

**NS-2:** Es un simulador de eventos discretos, este simulador usa lenguaje de código abierto desarrollado en C++ y provee una interfaz de simulación a través de OTCL (Object oriented extension of TCL), una variante orientada a Objetos de TCL. Se generan las topologías de red usando scripts OTCL, de esta forma NS-2 simula la red con la parametrización descrita en el script [16].

NS-2 puede ser usado en varias plataformas como Windows, OS X, Linux y Solaris. Este simulador se caracteriza por su versatilidad en la simulación de escenarios para redes MANET (Mobile Ad hoc Network) [16].

Debido a su bajo nivel de la interfaz gráfica y la imposibilidad de graficar resultados pierde atracción frente a otras herramientas similares [17].

**NS-3:** Simulador de redes que se basa en eventos discretos, no es compatible con su versión anterior NS-2. NS-3 es un simulador que en su mayor parte se desarrolla en el lenguaje de programación C++ sin embargo hay aportes en lenguaje Python [17] [18].

Ns-3 genera archivos .pcap, los cuales se pueden leer por varios programas de capturas de paquetes incluyendo uno de los más empleados para esta tarea Wireshark [17].

Tiene una gran acogida para el desarrollo de simulaciones de redes inalámbricas y redes tipo ad-hoc ya que contiene en sus librerías protocolos de enrutamiento para este tipo de redes lo que facilita el desarrollo de dichas simulaciones. Otro de los factores que lo posicionan como uno de los más empleados es que es un software totalmente gratuito, es compatible con sistemas operativos como Windows, Mac, Unix y Linux [17].

**Omnet++:** Es un simulador de eventos discretos por módulos orientado a objetos. Los modelos en OMNeT++ consisten en bloques clasificados por jerarquías, que se comunican entre ellos por medio de mensajes. Puede ser usado en plataformas Unix y Windows con todas las herramientas que este contiene [19].

Omnet++ emplea lenguaje NED, que se basa en C++ para la creación de las topologías de red. Las redes creadas con OMNET++ debido a su estructura modular se pueden parametrizar cada módulo con sus estructuras [19].

Como instrumento facilitador en el desarrollo de los proyectos cuenta con una herramienta grafica para editar el código NED, llamado GNED. Empleando el código GNED se puede configurar y simular la red [19].

**GNS3:** Es un simulador gráfico de redes empleado generalmente en entornos educativos para diseñar, emular, configurar, probar y buscar posibles soluciones a redes virtuales o reales. Uno de los usos más frecuentes es la emulación de Cisco IOS por medio de Dynamips, por tanto se comporta como una buena herramienta para la adquisición de los conocimientos a través del desarrollo de prácticas y lograr las certificaciones cisco [17] [20].

GNS3 es un software libre que es compatible con los sistemas operativos Windows, Unix y Mac [17].

En la tabla 1 se puede observar el comparativo de algunas características de cada uno de los simuladores antes mencionados.

Característica	OMNET++	NS-2	NS-3	GNS3
Tipo de licencia	Libre	Libre	Libre	Libre / Comercial
Uso investigativo	Alto	Alto	Alto	Bajo
Grafica de resultados	Aceptable	No tiene	Alto	Limitado
Sistema operativo	Windows, Unix	Windows, Unix, Mac	Windows, Unix, Mac, Linux	Windows, Unix, Mac
Interfaz Grafica	Medio	Bajo	Medio	Alto
Trafico que permite modelar	Alto	Medio	Alto	Bajo
Estándar 802.11	Medio	Bueno	Alto	Nulo

**Tabla 3-1 Características simuladores, tomado de [14]**

### 3.4. Revisión de la red actual en el sistema de guiado.

Para realizar una propuesta de nuevo diseño es necesario reconocer el despliegue actual de la red empleada para el sistema de guiado. En esta etapa del proyecto se han tenido acercamientos con el sistema de guiado actual que nos permite dar una descripción de este, la siguiente información fue proporcionada por la empresa.

#### **“Topología de red actual.**

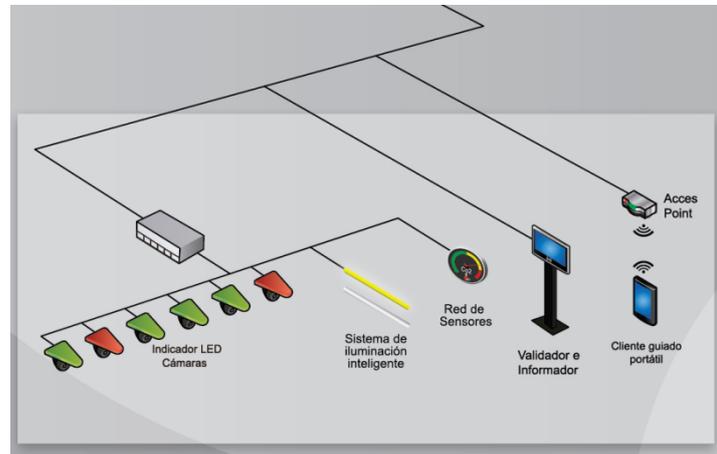
*El sistema de guiado está diseñado con el objetivo de operar como un sistema distribuido basado en tarjetas BeagleBoard, donde cada una de estas realiza el procesamiento de hasta ocho celdas de parqueo, cada celda contiene las imágenes y la detección de ocupación para procesar mientras que la recopilación de información, grabación de imágenes y generación de reportes se realiza a través de un servidor central. A diferencia del sistema de guiado elaborado por medio de sensores de ultrasonido, el sistema de guiado con cámaras permite una grabación continua de video que genera una herramienta de respuesta frente a reclamaciones y obtiene un registro acerca del estado del parqueadero. Además, la combinación de las imágenes con algoritmos de reconocimiento de caracteres (OCR), permite extraer información acerca de la placa del vehículo, lo cual permite, además de asociar el registro de video con el número de la matrícula, obtener información estadística que puede ser de utilidad para la operación dentro del parqueadero.*

*La arquitectura general del sistema de guiado se muestra en la figura 3-6. Cada bahía de parqueo está monitoreada por una cámara y una luz que indica el estado del parqueadero según el siguiente código de colores:*

- *Rojo: Indica estado de ocupación.*
- *Verde: Indica estado de disponibilidad.*
- *Azul: Indica estado de disponibilidad, exclusivo para las personas discapacitadas.*

*Cada cámara se conecta a una tarjeta controladora, la cual contiene un sistema embebido que realiza el procesamiento de imágenes y detecta la ocupación de la zona. Cada tarjeta controladora tiene la capacidad de manejar 8 cámaras, y establece comunicación por medio del servidor central a través de TCP/IP. Dentro de los paquetes de información se encuentra el estado de la bahía del parqueadero, los videos en tiempo real del estado de las bahías, comandos de operación e imágenes de aprendizaje. Los requerimientos*

eléctricos para la operación de la tarjeta controladora, junto con las cámaras y las luces se mencionan a continuación:



**Figura 3-6 Arquitectura del sistema de guiado (imagen proporcionada por Controles inteligentes)**

- Voltaje nominal: 12 Voltios
- Corriente Máxima: 1 Amperio
- Cantidad de cámaras soportadas: 8
- Cantidad de luces soportadas: 8
- Conexiones: RJ45.

Debido a que el sistema de guiado con cámaras se basa en algoritmos de procesamiento de imágenes se requiere que, para su correcto funcionamiento, el parqueadero cuente con buena iluminación. Además, el estado de las placas sobre la cual el sistema ingresa, además de la posición de parqueo de los vehículos, puede llegar a afectar el proceso de detección de placas. Se estima que el tráfico generado por cámara es de alrededor de 5KB/s.

La información del estado del parqueadero así como la recopilación de videos es recopilada y almacenada por el servidor central. Éste componente es el encargado de alimentar la información de las pantallas de conteo de espacios, los validadores e informadores, y los clientes de monitoreo en sus versiones de escritorio y portátiles. Para evitar el acceso no autorizado a información personal, los validadores e informadores solo muestran la información de posición a través de la tarjeta inteligente entregada durante el ingreso al parqueadero.

La topología de red empleada por controles inteligentes en el sistema de guiado corresponde a una topología de árbol, donde las cámaras van a la beagleboard, las placas con sus cámaras van a unos switches intermedios y estos switches van conectados a la red de transporte que lleva todo el tráfico hacia el servidor central para el almacenamiento de la información.

## **REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN**

- *Direcciones IP y red: Se requiere tener una dirección IP asignada para cada tarjeta controladora, el servidor central, los puntos de validación y los clientes de monitoreo. Se recomienda que el sistema de guiado cuente con una red independiente para su funcionamiento, pero en caso de compartirse red con otros dispositivos, se debe garantizar que no existan conflictos de direcciones ni problemas de saturación de red.*
- *Tensión de alimentación: El sistema de guiado cuenta con fuentes de tensión que convierten la línea de alimentación de 110 Voltios a una tensión continua de 12 Voltios la cual es utilizada para alimentar a todo el sistema. Para garantizar el correcto funcionamiento y la integridad de los equipos, se recomienda que la línea de alimentación sea regulada.*
- *Monitoreo: El sistema permite la conexión de computadores de monitoreo que permiten la generación del reportes y el monitoreo del parqueadero. Aunque el sistema permite realizar conexiones de forma remota, se sugiere que las estaciones de monitoreo se encuentren conectadas dentro de la misma red local.*
- *Puntos de validación: Los sistemas de validación permiten emitir módulos de publicidad durante los periodos en que los usuarios no se encuentren realizando consultas sobre la posición de sus vehículos. Para realizar la programación de la campaña publicitaria, se deben brindar con anticipación los videos para que el personal técnico se encargue de realizar los cambios sobre el sistema."*

## 4. Resultados y análisis

Con el desarrollo de cada una de las etapas planteadas para la ejecución del proyecto, se logró una aproximación importante del comportamiento de una probable arquitectura de red inalámbrica para el sistema de guiado, dando respuesta de la problemática abordada inicialmente.

### 4.1. WiFi Analyzer como herramienta para visualizar el comportamiento del espectro

En el área que se mostró en la figura 3-5, se tomaron nueve muestras del comportamiento espectral del canal de Wifi usando WiFi Analyzer, las capturas de disponibilidad de canales se hicieron en toda la extensión del parqueadero y así tener un análisis espectral del área de interés.

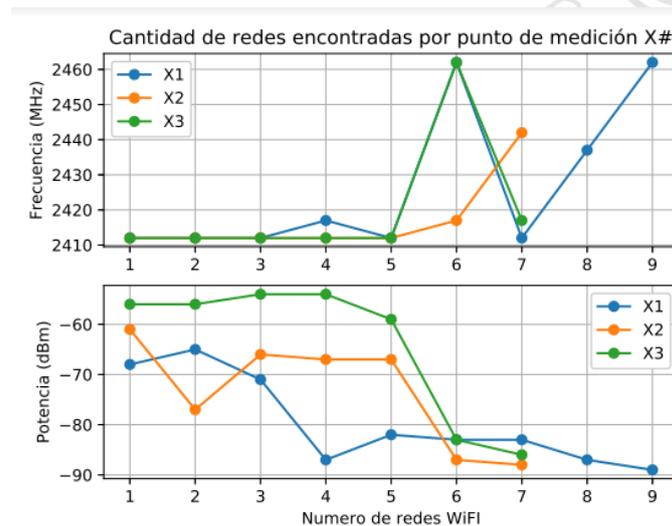
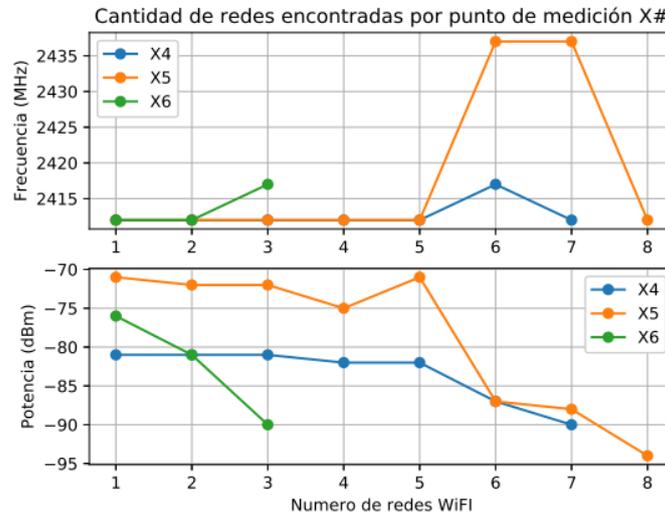


Figura 4-1 Muestra  $[x_1, x_2, x_3]$

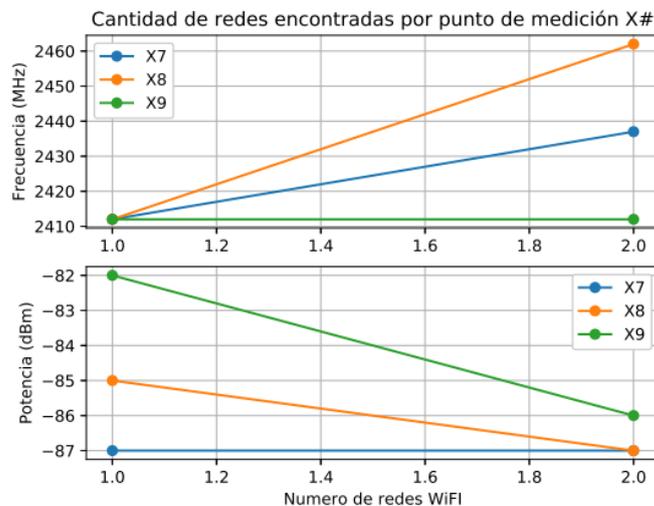
En la Figura 4-1 se observa la utilización de los canales en la primera fila  $[x_1, x_2, x_3]$  de las muestras tomadas en el parqueadero, donde se evidencia que los canales que más demanda tienen son los que cuya separación espectral evita que se solapen entre sí (canal 1, 6 y 11). En la captura  $x_2$  se presenta mayor presencia de usuarios en toda la banda y siendo el canal 1 el de mayor demanda. Cabe resaltar que algunas de las redes que aparecen en estas muestras son redes generadas por dispositivos móviles, por tanto no hacen uso todo el tiempo del recurso. Aunque en algunos sectores de esta fila se puede observar la presencia de varias redes

ocupando el mismo canal y canales adyacentes que se solapan, estos no generan una congestión lo suficientemente significativa para saturar el canal.



**Figura 4-2 Muestra  $[x_4, x_5, x_6]$**

En la siguiente fila  $[x_4, x_5, x_6]$  de las muestras tomadas como se aprecia en la Figura 4-2, en este sector del parqueadero se empieza a evidenciar que la presencia de redes Wifi es menor, siguen siendo los canales los que cuya separación no se solapa con los canales adyacentes los que más se emplean por las redes activas en esta parte del parqueadero. Para estas dos primeras filas se observa que las muestras tomadas de la parte central del parqueadero son las que tienen un mayor número de redes en los 11 canales empleados en la banda de 2,4 GHz, sin embargo se puede considerar que los canales no se encuentran saturados y por tal argumento no se presenten problemas en cuanto a interferencias co-canal.



**Figura 4-3 Muestra [x<sub>7</sub>, x<sub>8</sub>, x<sub>9</sub>]**

Para este segmento es clara la poca presencia de redes Wifi en el espectro, lo que genera un buen escenario para el despliegue de tecnologías que aprovechen esta banda de frecuencias. Algo que fue constante en las muestras adquiridas y en especial la de los dos últimos segmentos, es la intensidad de señal sensada que es baja en las redes captadas en el ejercicio.

Dadas las condiciones evidenciadas en la evaluación del espectro realizada se puede definir que para este caso en particular no se presentarían problemas graves asociados a interferencias, relacionadas a la saturación del recurso. Aunque hay otras redes en esta área y probablemente se deban usar en algunos canales compartidos o que se solapen con otros, debido a que no es una dificultad grande se puede mitigar por medio de las técnicas de modulación y las técnicas de espectro ensanchado que se pueden emplear en la red.

#### 4.1. Captura del tráfico con Wireshark

En el proceso de medición se pudo observar como el protocolo de transporte empleado en la red evaluada corresponde a TCP, el punto de interés en estas mediciones es el consumo de ancho de banda que se genera por medio del sistema de guiado. Para la toma de estos datos se emplearon dos filtros diferentes. Uno de los filtros correspondía a capturar todo el tráfico que se genera en la red donde está desplegado el sistema de guiado, que para este caso se tomó uno que cuenta con 240 celdas vehiculares operando, donde cada celda transmite el video generado por una cámara con una resolución de 160 pixeles x 120 pixeles a 2

cuadros por segundo en un formato JPEG, las cuales van conectadas en una controladora que soporta un máximo de 8 cámaras y en la cual se hace tanto procesamiento, como compresión de las imágenes. El otro filtro que se realizó fue medir el tráfico en que se generaba desde una de las controladoras.

En la siguiente tabla se observan los resultados tomados de las capturas realizadas con Wireshark.

Filtro	Numero de cámaras	Tiempo de captura	Tasa de transmisión	Tasa promedio por cámara
Red completa	240	5 minutos	1002 Kbyte/seg	4,175 Kbyte/seg
Red completa	240	10 minutos	1000 Kbyte/seg	4,166 Kbyte/seg
Red completa	240	15 minutos	998 Kbyte/seg	4,158 Kbyte/seg
Tráfico Controladora	8	5 minutos	30 Kbyte/seg	3,75 Kbyte/seg
Tráfico Controladora	8	10 minutos	30 Kbyte/seg	3,75 Kbyte/seg
Tráfico Controladora	8	15 minutos	30 Kbyte/seg	3,75 Kbyte/seg

**Tabla 4-1 Medición con Wireshark**

Con la información que nutre la tabla 4-1 se puede establecer un umbral mínimo de recursos necesarios para satisfacer las necesidades del despliegue de una red del sistema de guiado en cuanto a los anchos de banda. Se evidencian que los anchos de banda empleados por la red se pueden considerar constantes, teniendo en cuenta que las variaciones que se presentan en las capturas tomadas no son muy significativas y que además este se aproxima mucho al tráfico que la empresa describe por cámara tampoco se aleja a las medidas obtenidas con wireshark.

## 4.2. Propuesta de diseño

Dentro de la propuesta de nuevo diseño de red a parte de garantizar los requerimientos de red, se debe tener muy presente que la disposición de elementos que conforman el sistema de guiado no se puede modificar como lo son las ubicaciones de las cámaras. En el escenario descrito. Se propone cambiar los sistemas embebidos descentralizados, pasando de ser Beadgleboard para ser

Raspberry Pi 3 asumiendo en esta todas las funciones que venía desarrollando la Beadglboard. La Raspberry cuenta con tarjeta de red inalámbrica embebida que permita la posterior construcción de la red mesh propuesta.

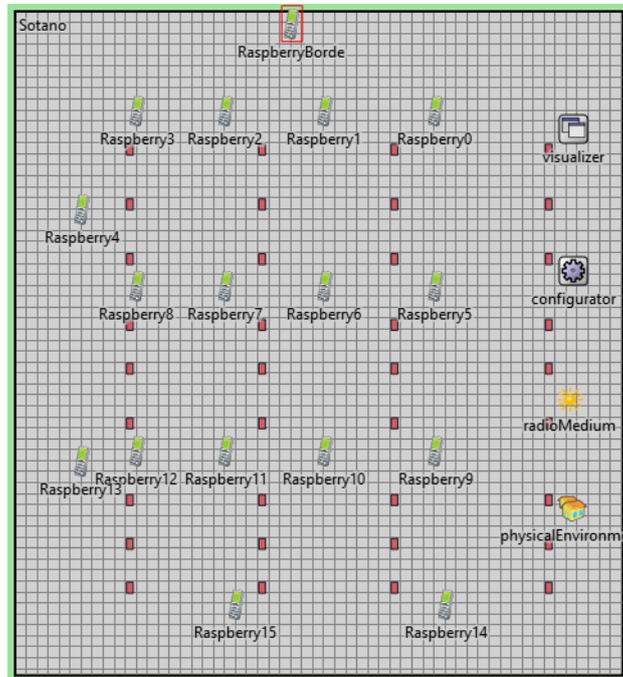
Con la Raspberry ya se puede pensar en protocolos de enrutamiento que se puede implementar en un eventual despliegue de red inalámbrica, en esta parte se propone AODV (Ad hoc On Demnded Distance Vector), protocolo reactivo para redes Ad-Hoc que establece las rutas bajo demanda o cuando necesita generar comunicación con otros nodos que usa como métrica para ello, el vector distancia, es decir el menor número de saltos [9]. Este protocolo proporciona la posibilidad de actualizar las tablas de enrutamiento cuando se generan cambios por fallos en uno o más nodos, evitando congestionar la red con mensajes de anuncios de router que actualicen dichas tablas, una ventaja adicional es que se puede implementar en Linux [8], sistema operativo instalado en la Raspberry para todos los desarrollos de la compañía.

Una vez la raspberry cumpla las funciones de red no es necesario emplear switches para el transporte de la información. Los tableros que informan el número de celdas disponibles a lo largo del parqueadero proponemos, vayan conectados por medio de Ethernet a la raspberry más cercana. En la figura 4-4 se puede observar el diseño realizado en Omnet++ de la red inalámbrica que hemos propuesto a partir de los resultados obtenidos.

Cabe resaltar que tanto el diseño como la simulación se empleó un framework para Omnet++ llamado INET [26], para ello se utilizaron varios módulos para representar y configurar los elementos que componen la red:

- **physicalEnvironment: PhysicalEnvironment** : módulo con que se recrearon las columnas del parqueadero.
- **configurator: IPv4NetworkConfigurator**: módulo encargado del direccionamiento ip, se empleó para determinar el segmento de red empleado y mascara de sub-red.
- **visualizer: IntegratedVisualizer**: con este módulo se configuro las animaciones que permiten ver el área de radiación de cada nodo, los mensajes del protocolo de enrutamiento, la configuración de las interfaces de cada nodo.
- **AODVRouter**: debido a que el protocolo de enrutamiento seleccionado AODV, tomamos del framework el moóulo que lo tiene configurado para cada simular cada una de las Raspberrys.

Las configuraciones de cada uno de estos módulos se pueden observar en los anexos de este documento.



**Figura 4-4 Diseño de la red inalámbrica**

En la figura 4-4 se puede observar cómo se distribuyen los nodos en la nueva propuesta de red, para el caso puntual se tienen 17 raspberrys distribuidas a lo largo del parqueadero de la figura 3-5, donde 16 de ellas son las encargadas de recibir la información capturada de las 111 cámaras que componen el mismo número de celdas de parqueo. Por otra parte, la raspberry restante es la encargada de enrutar la información que recibe de las otras hacia el servidor. También se observan unos cuadros color rosa, los cuales representan las columnas que están en la locación de interés y que permitirán dentro del simulador recrear de una manera más real el ambiente donde se propagaran las señales de cada uno de los nodos. En la tabla 4-2 se tiene la cantidad de cámaras que alberga cada una de las raspberrys a partir de la distribución que se realizó.

Raspberry	Número de Cámaras
Raspberry de borde	0
Raspberry 0	6
Raspberry 1	6
Raspberry 2	7
Raspberry 3	6

Raspberry 4	8
Raspberry 5	6
Raspberry 6	6
Raspberry 7	8
Raspberry 8	8
Raspberry 9	6
Raspberry 10	6
Raspberry 11	8
Raspberry 12	8
Raspberry 13	8
Raspberry 14	7
Raspberry 15	7

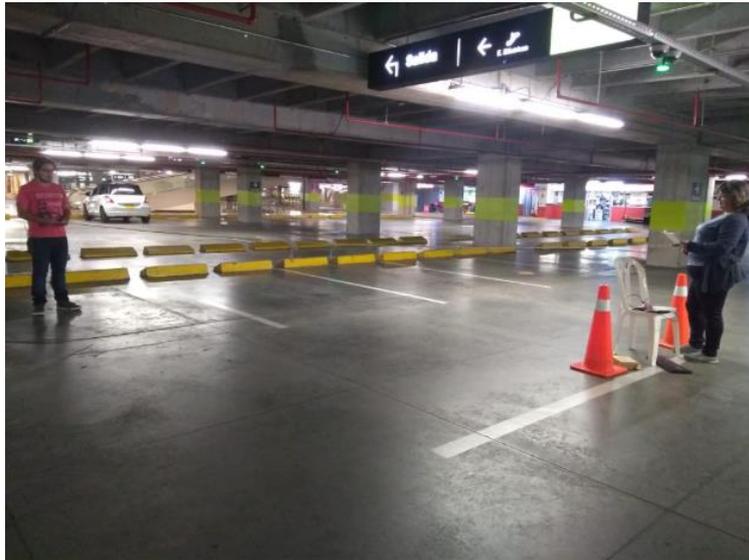
**Tabla 4-2 Número de cámaras por raspberry**

### 4.3. Simulación

Buscando acercarnos a un escenario de simulación más aterrizado, se plantea retomar la herramienta WiFi Analyzer y realizar un barrido horizontal alrededor de unas de las Raspberrys a usar, pues se deberá garantizar que la región de cobertura o radiación de cada uno de los componentes de la malla, satisfaga los umbrales de trabajo que se exponen en la hoja de datos de la misma. En la figura 4-5 se observa el montaje realizado para medir la potencia de la señal irradiada y en la figura 4-6 se puede observar el proceso de medición.



**Figura 4-5 Ubicación de la Raspberry a medir la señal irradiada**



**Figura 4-6 Proceso de medición de la señal irradiada por la raspberry**

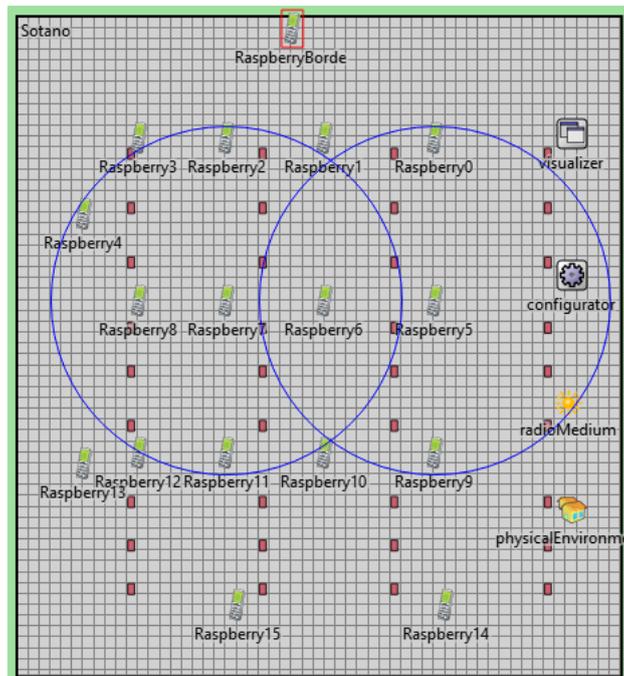
Los resultados obtenidos de este ejercicio se pueden apreciar en la tabla 4-3, donde se tiene las potencias en dBm a diferentes distancias y direcciones en el eje horizontal respecto a la ubicación de la raspberry.

Distancia metros	Potencia 0°	Potencia 45°	Potencia 90°	Potencia 135°	Potencia 180°	Potencia 225°	Potencia 270°	Potencia 315°
1	-49 dBm	-52 dBm	-50 dBm	-46 dBm	-55 dBm	-57 dBm	-53 dBm	-52 dBm
4	-57 dBm	-45 dBm	-58 dBm	-50 dBm	-48 dBm	-56 dBm	-57 dBm	-57 dBm
6	-60 dBm	-60 dBm	-55 dBm	-59 dBm	-75 dBm	-61 dBm	-64 dBm	-65 dBm
8	-66 dBm	-58 dBm	-61 dBm	-63 dBm	-64 dBm	-65 dBm	-65 dBm	-73 dBm
16	-72 dBm		-61 dBm		-62 dBm		-70 dBm	

**Tabla 4-3 Potencia de Tx de la raspberry en diferentes puntos**

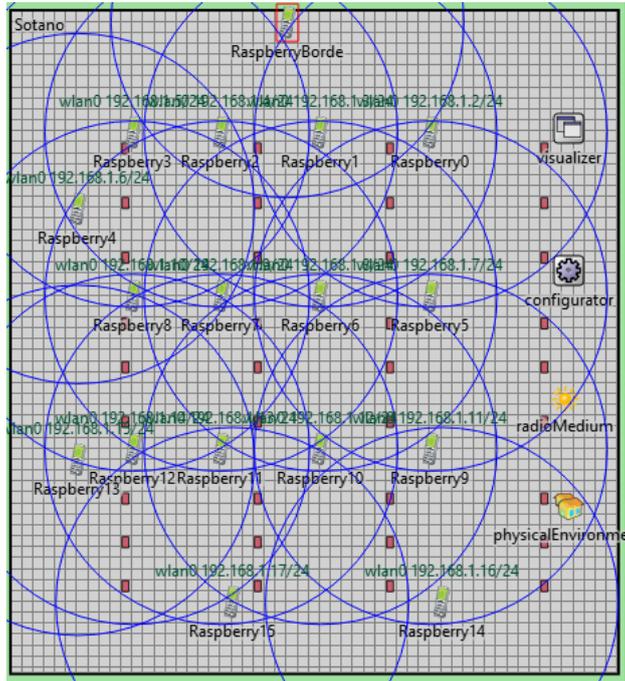
Con esta información recolectada se pudo recrear un área de cobertura aproximada de cada uno de los nodos de la red mesh propuesta. Con la descripción técnica registrada en el datasheet de la tarjeta de red inalámbrica con la que cuenta la raspberry, se tiene que la sensibilidad de recepción típica en -88 dBm para una tasa de transmisión máxima de 12 Mbps con una modulación OFDM [21]. Basados en los datos adquiridos podemos garantizar los requerimientos de ancho de banda de la red respecto a las mediciones que se muestran en la tabla 4-1 y a los requerimientos descritos en la sección 3.5. También se logra suplir las necesidades para el escenario que estamos abordando, el cual tiene un total de 111 celdas que generaría un tráfico aproximado de 555 Kbps. En la figura 4-7 se observan dos nodos centrales que tienen un área de cobertura con un radio de 16

metros, lo que garantiza que cada Raspberry tiene vecinos dentro de su área irradiada ya que la separación máxima aproximada entre estas es de 15 metros, para poder generar enlaces directos.



**Figura 4-7 Simulación del área de cobertura de dos nodos**

Ahora en la figura 4-8 se hace una simulación del área de cobertura de todas las Raspberys donde se tiene un resultado un poco saturado por la simulación del área irradiada pero se logra identificar que se garantiza la condición de tener al menos un nodo vecino en el área de cobertura.



**Figura 4-8 Simulación del área de cobertura de todos nodos**

En cuanto al protocolo de enrutamiento se realizó una prueba transmitiendo paquetes de datos UDP desde la Raspberry de borde hasta la Raspberry 14. En la simulación se visualizan mensajes de AODV para el reconocimiento de vecinos y así construir las tablas de enrutamiento. En la figura 4-9 se tiene una porción del procesamiento de uno de los paquetes desde el origen y destino descritos cuando el paquete pasa por la Raspberry 10. De este pequeño apartado de los eventos durante la simulación se puede conocer la dirección ip origen y destino de los paquetes, también se hace relevante el número de saltos que hay desde este punto hacia dónde va direccionado el paquete y la interfaz por donde se realiza la comunicación.

```

** Event #307141 t=18.878100080808 Sotano.Raspberry10.networkLayer.ip (IPv4, id=399) on UDPData-1525 (inet::IPv4Datagram, id=579156)
INFO (IPv4)Sotano.Raspberry10.networkLayer.ip: Received (inet::IPv4Datagram)UDPData-1525 from network.
DETAIL (IPv4)Sotano.Raspberry10.networkLayer.ip: Received datagram 'UDPData-1525' with dest=192.168.1.16
INFO (AODVRouting)Sotano.Raspberry10.aodv: Sotano.Raspberry10.aodv: Finding route for source 192.168.1.1 with destination 192.168.1.16
INFO (AODVRouting)Sotano.Raspberry10.aodv: Sotano.Raspberry10.aodv: Active route found: destination = 192.168.1.16, prefixLength = 32, nextHop = 192.168.1.11, metric = 2, interface = wlan0
DETAIL (AODVRouting)Sotano.Raspberry10.aodv: Sotano.Raspberry10.aodv: Updating destination = 192.168.1.16, prefixLength = 32, nextHop = 192.168.1.11, metric = 2, interface = wlan0 lifetime
DETAIL (AODVRouting)Sotano.Raspberry10.aodv: Sotano.Raspberry10.aodv: Updating destination = 192.168.1.11, prefixLength = 32, nextHop = 192.168.1.11, metric = 1, interface = wlan0 lifetime
INFO (AODVRouting)Sotano.Raspberry10.aodv: Sotano.Raspberry10.aodv: Routing (inet::IPv4Datagram)UDPData-1525 with destination = 192.168.1.16,
DETAIL (AODVRouting)Sotano.Raspberry10.aodv: Sotano.Raspberry10.aodv: Updating destination = 192.168.1.11, prefixLength = 32, nextHop = 192.168.1.8, metric = 3, interface = wlan0 lifetime to
DETAIL (AODVRouting)Sotano.Raspberry10.aodv: Sotano.Raspberry10.aodv: Updating destination = 192.168.1.16, prefixLength = 32, nextHop = 192.168.1.11, metric = 2, interface = wlan0 lifetime
DETAIL (AODVRouting)Sotano.Raspberry10.aodv: Sotano.Raspberry10.aodv: Updating destination = 192.168.1.11, prefixLength = 32, nextHop = 192.168.1.11, metric = 1, interface = wlan0 lifetime
DETAIL (AODVRouting)Sotano.Raspberry10.aodv: Sotano.Raspberry10.aodv: Updating destination = 192.168.1.8, prefixLength = 32, nextHop = 192.168.1.8, metric = 1, interface = wlan0 lifetime to
INFO (AODVRouting)Sotano.Raspberry10.aodv: Sotano.Raspberry10.aodv: We can't forward datagram because we have no active route for 192.168.1.16
INFO (IPv4)Sotano.Raspberry10.networkLayer.ip: output interface = wlan0, next hop address = 192.168.1.11
INFO (IPv4)Sotano.Raspberry10.networkLayer.ip: Sending (inet::IPv4Datagram)UDPData-1525 to output interface = wlan0.

```

**Figura 4-9 Porción de logs de la simulación**

```

Sotano.Raspberry10.routingTable.routes (vector<IPv4Route ^>) size=6
elements[6] (inet::IPv4Route *)
[0] dest:192.168.1.1 gw:192.168.1.8 mask:255.255.255.255 metric:3 if:wlan0(192.168.1.12) REMOTE AODV isActive = 1, hasValidDestNum = 1, destNum = 3, lifetime = 27.989267697049
[1] dest:192.168.1.8 gw:192.168.1.8 mask:255.255.255.255 metric:1 if:wlan0(192.168.1.12) REMOTE AODV isActive = 1, hasValidDestNum = 0, destNum = 3, lifetime = 27.989267697049
[2] dest:192.168.1.11 gw:192.168.1.11 mask:255.255.255.255 metric:1 if:wlan0(192.168.1.12) REMOTE AODV isActive = 1, hasValidDestNum = 0, destNum = 3, lifetime = 27.989267697049, precursor list: 192.168.1.8
[3] dest:192.168.1.16 gw:192.168.1.11 mask:255.255.255.255 metric:2 if:wlan0(192.168.1.12) REMOTE AODV isActive = 1, hasValidDestNum = 1, destNum = 0, lifetime = 27.989267697049, precursor list: 192.168.1.8
[4] dest:192.168.1.0 gw:* mask:255.255.255.0 metric:40 if:wlan0(192.168.1.12) DIRECT IFACENETMASK
[5] dest:127.0.0.0 gw:* mask:255.0.0.0 metric:1 if:lo(127.0.0.1) DIRECT IFACENETMASK

```

**Figura 4-10** Tabla de enrutamiento Raspberry 10

Por su parte en la figura 4-10 se tiene información que complementa la entregada por los logs de la figura 4-9.

#### 4.4. Análisis de costos

Debido a que en la propuesta solo se propone el reemplazo de un equipo y la no implementación de otro es fácil determinar el ahorro. Sin embargo es importante revisar el costo de la BeagleBoard y el de la Raspberry que son los equipos cambiados siendo esta última quien reemplace la otra que se expresan en la tabla 4-5. Se puede ver que con el cambio de dispositivo se tiene un ahorro del 27.75% en lo que respecta a este.

Equipo	Precio
Raspberry	\$ 190.000
BeagleBoard	\$ 263.000

**Tabla 4-4** Precios Raspberry y BeagleBoard, tomado de <https://www.didacticaselectronicas.com/>

Ahora bien, es claro que ya la Raspberry tendrá que desarrollar las funciones de la BeagleBoard y también las funciones de red que son un poco más complejas y no tan triviales como las que desarrollaban los switches. Cabe resaltar que la no existencia de una red cableada, el uso de cable se ve suprimido generando un ahorro adicional en el despliegue de la red, lo que implica menos mano de obra y se reduce en gran medida el mantenimiento y supervisión del estado de estas conexiones.

## 5. Conclusiones

- Incursionar en el estudio de topologías de red inalámbricas y protocolos de enrutamiento empleado en estas, proporcionó un panorama más amplio de cómo abordar la problemática que se tenía inicialmente, direccionando los esfuerzos a dar mejor uso de los dispositivos que usados en la empresa como el caso de la Raspberry.
- Las redes mesh como redes inalámbricas descentralizadas proporcionan varias ventajas pueden ser aprovechadas por el sistema de guiado, tales como:
  - son redes que están sujetas al escalamiento y dinámicas.
  - hacen uso del espectro electromagnético de forma optimia, ya que se pueden desplegar sobre un solo canal y combatir los problemas de interferencia que se dan con frecuencia en los canales WiFi.
  - Los protocolos de enrutamiento empleados en estas redes como AODV solo actualiza sus tablas de enrutamiento cuando la red cambia o hay un nodo que ha dejado de estar en la red.
- Hacer un acercamiento a la congestión que se puede experimentar por la presencia de muchas redes en la banda 2.4 GHz empleada para wifi, solidifica el seguir pensando en redes mesh para el diseño, ya que se pudo observar que en los parqueaderos no se irradian muchas señales que generen problemas de interferencias.
- Las limitantes al momento de transmitir datos a través de redes inalámbricas radican en el ancho de banda requerido para tener éxito en las mismas. Por otra parte, revisar el consumo de recursos de red del sistema de guiado se hace muy importante ya que orienta la viabilidad de emplear Raspberrys como nodos mesh. En las mediciones de tráfico empleando la herramienta Wireshark se tiene como resultado con demandas de tráfico muy bajo y el dispositivo seleccionado logra transmitir esas tasas de datos.
- La elección de Omnet++ como herramienta de diseño y simulación se basó en que es un software libre y tiene características que permiten la simulación de redes inalámbricas aunque no cuente con una interfaz gráfica muy amigable y los resultados gráficos son aceptables. Omnet++ se consideró una herramienta muy apropiada debido a la necesidad de representar redes mesh las cuales usan el estándar 802.11 y esta cuenta con soporte para recrear escenarios que requieran emplear dicho estándar.

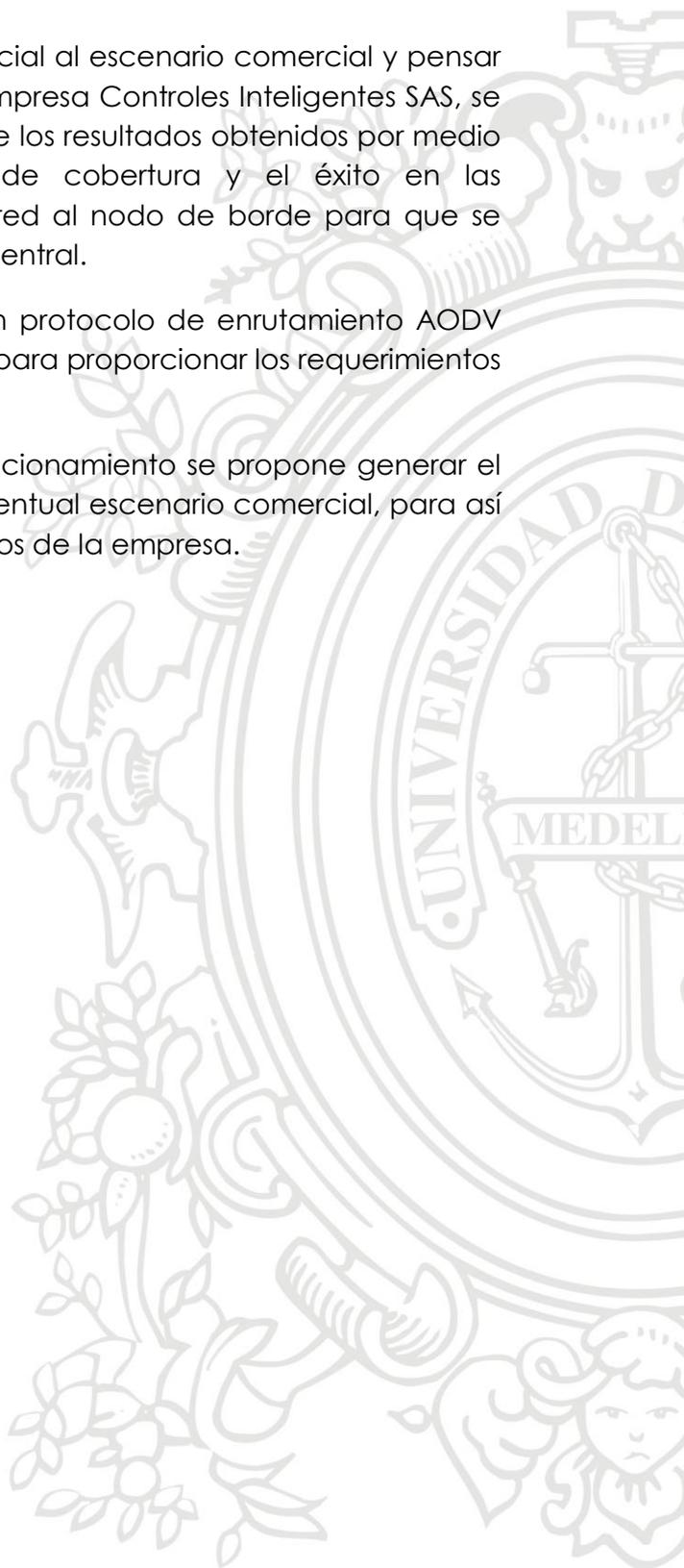
- Se tuvieron problemas al momento de simular la antena a partir de las características del datasheet de la tarjeta de red inalámbrica que tiene la raspberry obteniendo resultados muy alejados de la realidad tales como área de cobertura con un radio por encima de los 350 metros. Por tanto se decide hacer una serie de mediciones experimentales para poder definir un aproximado del área que logra irradiar esta tarjeta de red.
- Dadas las disposiciones de las celdas vehiculares se ubicaron los nodos de la red mesh para que logren albergar el mayor número de cámaras sin superar su capacidad máxima. Teniendo en cuenta esto y los 16 metros de radio que se midieron para determinar el área de cobertura de la raspberry, se tiene que por lo menos cada nodo cuenta como mínimo con un vecino dentro del área de cobertura para generar un enlace directo, generando una ruta por donde encaminar los paquetes y garantizar que todos puedan llegar al nodo de borde. Dicha afirmación se validó haciendo simulación del escenario de prueba en Omnet++ mediante el envío de paquetes UDP.
- Con este proyecto se presenta a la empresa Controles Inteligentes SAS que se obtiene una aproximación de una red inalámbrica para el sistema de guiado, logrando satisfacer las necesidades del producto y generando unos ahorros significativos a lo largo de su despliegue, algo muy importante es que se logra construir una red que en temas de escalabilidad no presenta grandes traumatismos vs a contemplar un crecimiento de una red cableada.

## 6. Trabajo Futuro

Con el objetivo de llevar este planteamiento inicial al escenario comercial y pensar en el uso de redes inalámbricas dentro de la empresa Controles Inteligentes SAS, se torna muy importante determinar la cercanía de los resultados obtenidos por medio de la simulación, medición de las áreas de cobertura y el éxito en las comunicaciones desde cualquier nodo de la red al nodo de borde para que se encargue de enrutar la información al servidor central.

Se propone implementar una red mesh con un protocolo de enrutamiento AODV sobre la Raspberry pi 3 y así ajustar lo necesario para proporcionar los requerimientos de red para tener éxito.

Una vez se tenga la red mesh con un buen funcionamiento se propone generar el tráfico de red al que estaría sometido en un eventual escenario comercial, para así evaluar la posibilidad de introducirlo a los servicios de la empresa.



## 7. Referencias Bibliográficas

- [1] E. Municio Hernández, "ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO DE REDES MALLADAS INALÁMBRICAS EN ENTORNOS RURALES," Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
- [2] Y. Liu, X. Zou, M. Shi, and G. Zhuang, "INTELLIGENT PARKING GUIDANCE SYSTEM BASED ON WIRELESS SENSOR NETWORKS," *Proc. IEEE CCIS2012*, pp. 1076–1078, 2012.
- [3] S. Limon de la Rosa, "Diseño de una red Mesh de UAVs para proporcionar servicios de comunicaciones," Universidad de Sevilla, 2017.
- [4] M. A. Abo-Soliman and M. A. Azer, "A study in WPA2 enterprise recent attacks," in *2017 13th International Computer Engineering Conference (ICENCO)*, 2017, pp. 323–330.
- [5] V. U.I, *Tema 2. Redes de comunicación: Topología y enlaces.*, Sistemas I. Valencia.
- [6] P. A. Alvear Sandoval and N. V. Tobar Pérez, "ANÁLISIS DE UNA RED MESH APLICADA A SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS," Universidad de las Americas, 2016.
- [7] F. O. R. Standardization and D. E. Normalisation, "Standard IEEE Std 802.11, 2003," vol. 1987, 2003.
- [8] J. D. Morales Ayala, "Un modelo para reducir la brecha digital en zonas rurales de El Salvador, creando conectividad a través de redes Mesh, implementadas desde una perspectiva de aprendizaje Edupunk," Universidad de educación a Distancia, 2015.
- [9] E. A. MONROY, "Comparación Del Desempeño De Los Protocolos De Enrutamiento Aodv Y Dsr Sobre Una Red Manet Experimental," Universidad Militar Nueva Granada, 2012.
- [10] X. A. Villacrés and L. S. Peñafiel, "ESTUDIO DE NIVELES DE INTERFERENCIA EN ESCENARIOS URBANO, SEMI-URBANO Y RESIDENCIAL PARA EL DESPLIEGUE DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS," ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL- Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, GUAYAQUIL-

ECUADOR, 2016.

- [11] B. . Chaparro, A. . SÁCHICA, and J. . Vargas, "Análisis de la Gestión y Seguridad de las redes WLAN en el Rango de Frecuencias Cercano a la Banda de 2,4GHz," *Ingenio Magno*, vol. 3, pp. 100–107, 2012.
- [12] N. H. Parra, "Smart Hierarchical WiFi Localization System for Indoors," UNIVERSIDAD DE ALCALÁ- Departamento de Electrónica, España, 2014.
- [13] M. F. S. Salgado, "ESTUDIO Y RECOMENACIONES PARA MITIGAR LA INTERFERENCIA EN REDES WIFI EN ZONAS NO CONTROLADAS," UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, Medellín- Colombia, 2016.
- [14] R. C. Guevara C. and É. Serna M., "Una propuesta de solución al problema de la interferencia entre redes WiFi por solapamiento de canales.," *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 23, no. 2, p. 7, 2015.
- [15] R. Carlos, Z. Martínez, M. Marco, L. Orellana, and I. Quito -Ecuador, "ANÁLISIS Y CAPTURA DE PAQUETES DE DATOS EN UNA RED MEDIANTE LA HERRAMIENTA WIRESHARK," Universidad Tecnológica de Israel, 2011.
- [16] H. Zárate-Ceballos and J. E. Ortiz-Triviño, "Simulación de redes inalámbricas en NS-2," *Respuestas*, vol. 20, no. 1, p. 38, 2017.
- [17] G. Rodriguez and A. Padilla, "Análisis y Simulación de protocolos de enrutamiento adecuados en diferentes escenarios para redes AdHoc, mediante la herramienta Ns-3," *Tesis*, pp. 1–151, 2015.
- [18] P. Ramos and D. Velandia, "SIMULACIÓN DE UNA RED DE ACELERÓMETROS PARA EL MONITOREO DEL ESTADO DE LA MALLA VIAL EN UN SECTOR DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UN ENFOQUE DE APLICACIÓN DE ITS E IOT," 2014.
- [19] A. M. Hernández and R. Limia Jurado, "Estudio del uso del simulador OMNeT++ para la evaluación de escenarios celulares y multisalto con WLAN.," Universidad Politecnica de Catalunya, 2011.
- [20] R. M. M. PAUL, "ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO OSPFV3 Y EIGRP PARA IPV6, UTILIZANDO LA HERRAMIENTA GNS3," 2017.

- [21] T. Cyw and M. A. C. Phy, "CYW43143 Single Chip IEEE 802 . 11 b / g / n MAC / PHY / Radio with USB / SDIO Host Interface IoT Resources." 2017.
- [22] M. C. B. Gragasin, M. P. A. Talplacido, and N. A. Macabale, "Throughput evaluation of Raspberry Pi devices on multihop and multiflow Wireless Sensor Network scenarios," Proc. - Int. Conf. Signals Syst. ICSigSys 2017, vol. 4, no. 1, pp. 256–260, 2017.
- [23] J. Daniel and R. L. Enrique, "Desarrollo de un sistema de comunicación silenciosa dual basado en habla subvocal y Raspberry Pi," Fac. Ing., vol. 25, no. 43, pp. 111–121, 2016.
- [24] J. I. Vega Luna, F. J. Sánchez-Rangel, G. Salgado-Guzmán, and M. A. Lagos-Acosta, "Sistema de acceso usando una tarjeta RFID y verificación de rostro," Ingenius, no. 20, pp. 108–118, 2018.
- [25] «Blog Informático.» [En línea]. Available: [http://moodle2.unid.edu.mx/dts\\_cursos\\_md/lic/TIC/IT/AM/03/Topologia.pdf](http://moodle2.unid.edu.mx/dts_cursos_md/lic/TIC/IT/AM/03/Topologia.pdf)
- [26] "INET framework", <https://inet.omnetpp.org/>

## Anexos

### Anexo 1

Código del diseño esquemático de la red .NED en Omnet++

```
package inet.tutorials.wireless;

import inet.common.figures.DelegateSignalConfigurator;
import inet.networklayer.configurator.ipv4.IPv4NetworkConfigurator;
import inet.node.inet.INetworkNode;
import inet.physicallayer.common.packetlevel.RadioMedium;
import inet.physicallayer.contract.packetlevel.IRadioMedium;
import inet.visualizer.contract.IIntegratedVisualizer;
import inet.physicallayer.ieee80211.packetlevel.Ieee80211ScalarRadioMedium;
import inet.node.aodv.AODVRouter;
import inet.node.inet.AdhocHost;
import inet.environment.common.PhysicalEnvironment;

network Sotano
{
    parameters:
        @display("bgb=54.9,60.390003;bgg=1,1,grey");
        @figure[title](type=label; pos=0,-1; anchor=sw; color=darkblue);

        string mediumType = default("IdealRadioMedium");

    submodules:
        visualizer: <default("IntegratedCanvasVisualizer")> like
        IIntegratedVisualizer if hasVisualizer() { //modulo para visualizar informacion de
        nodo, como nombre de interfaz diecciones, ip entre otros
            @display("p=50.54333,10.62");
        }

        physicalEnvironment: PhysicalEnvironment { // Modulo para implementar
        obstaculos
            @display("p=50.46,45.239998");
        }

        configurator: IPv4NetworkConfigurator { //Modulo donde se realizan
        configuraciones de direccionamiento ip
            @display("p=50.54333,23.6");
        }

        RaspberryBorde: AODVRouter {
            @display("p=25,1;is=s");
        }
        Raspberry0: AODVRouter {
            @display("p=38,11;is=s");
        }
        Raspberry1: AODVRouter {
            @display("p=28,11;is=s");
        }
    }
}
```

```
Raspberry2: AODVRouter {
    @display("p=19,11;is=s");
}
Raspberry3: AODVRouter {
    @display("p=11,11;is=s");
}
Raspberry4: AODVRouter {
    @display("p=6,18;is=s");
}
Raspberry5: AODVRouter {
    @display("p=38,26;is=s");
}
Raspberry6: AODVRouter {
    @display("p=28,26;is=s");
}
Raspberry7: AODVRouter {
    @display("p=19,26;is=s");
}
Raspberry8: AODVRouter {
    @display("p=11,26;is=s");
}
Raspberry9: AODVRouter {
    @display("p=38,40;is=s");
}
Raspberry10: AODVRouter {
    @display("p=28,40;is=s");
}
Raspberry11: AODVRouter {
    @display("p=19,40;is=s");
}
Raspberry12: AODVRouter {
    @display("p=11,40;is=s");
}
Raspberry13: AODVRouter {
    @display("p=6,41;is=s");
}

    Raspberry14: AODVRouter {
        @display("p=39,54;is=s");
    }

    Raspberry15: AODVRouter {
        @display("p=20,54;is=s");
    }

radioMedium: <mediumType> like IRadioMedium {
    @display("p=50.223335,35.38");
}
}
```



## Anexo 2

Código de las pruebas de simulación de la red .ini en Omnet++

```
[Config red1]
description = basico
network = Sotano
sim-time-limit = 25s

*.configurator.config =xmldoc("direcciones.xml")
*.configurator.optimizeRoutes = false
*.configurator.addStaticRoutes = false
*.physicalEnvironment.config = xmldoc("columnas.xml")

*.visualizer.routingTableVisualizer.displayRoutingTables = true
*.visualizer.routingTableVisualizer.labelFormat = ""
*.visualizer.routingTableVisualizer.lineShiftMode = "none"
*.visualizer.routingTableVisualizer.destinationFilter = "*"
*.visualizer.mediumVisualizer.displayCommunicationRanges = true

*.radioMedium.obstacleLossType = "IdealObstacleLoss"

*.Raspberry*.wlan[0].typename = "WirelessNic"
*.Raspberry*.wlan[0].radioType = "IdealRadio"
*.Raspberry*.wlan[0].macType = "CsmaCaMac"
*.Raspberry*.wlan[0].mac.ackTimeout = 300us
*.Raspberry*.**.bitrate = 50Mbps
*.Raspberry*.wlan[0].mac.useAck = false
*.Raspberry5.wlan[0].radio.displayCommunicationRange = true
*.Raspberry7.wlan[0].radio.displayCommunicationRange = true
*.Raspberry*.wlan[0].radio.transmitter.communicationRange = 16m
*.Raspberry*.wlan[0].radio.receiver.ignoreInterference = false

*.RaspberryBorde.numUdpApps = 1
*.RaspberryBorde.udpApp[0].typename = "UDPBasicApp"
*.RaspberryBorde.udpApp[0].destAddresses = "Raspberry14"
*.RaspberryBorde.udpApp[0].destPort = 5000
*.RaspberryBorde.udpApp[0].messageLength = 1000B
*.RaspberryBorde.udpApp[0].sendInterval = exponential(12ms)
*.RaspberryBorde.udpApp[0].packetName = "UDPData"

*.Raspberry14.numUdpApps = 1
*.Raspberry14.udpApp[0].typename = "UDPSink"
*.Raspberry14.udpApp[0].localPort = 5000
```

### Anexo 3

Código .xml del direccionamiento de las pruebas de simulación de la red en Omnet++

```
<config>  
  <interface hosts='**' address='192.168.1.x' netmask='255.255.255.0' />  
  <autoroute metric="errorRate" />  
</config>
```

