



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN SOBRE UNA RED
MANET

AUTOR

Diego Fernando Montenegro Coello

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN SOBRE UNA RED
MANET

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los
requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniero en
redes y telecomunicaciones”

Profesor Guía

MSc. José Julio Freire Cabrera

Autor

Diego Fernando Montenegro Coello

Año

2020

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido este trabajo, Optimización de un sistema de comunicación sobre una red MANET, a través de reuniones periódicas con el estudiante Diego Fernando Montenegro Coello, en el semestre 202020, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



José Julio Freire Cabrera

Máster en Gerencia Empresarial

C.I. 170973145-7

DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Optimización de un sistema de comunicación sobre una red MANET, de Diego Fernando Montenegro Coello, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los trabajos de Titulación".

A handwritten signature in blue ink, reading "Carlos Enrique Carrión Betancourt", is positioned above a horizontal line. The signature is fluid and cursive.

Carlos Enrique Carrión Betancourt

Máster en Telecomunicaciones y Telemática

CI.1103730870-4

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”



Diego Fernando Montenegro
Coello
CI. 172407705-0

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi padre Tony, por haberme brindado la fortaleza y apoyo necesario para iniciar y culminar toda mi carrera, Además, a mi madre, Lilian, mi hermano Saul y Benji, mis amigos, María y Camila.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mi padre, madre y hermano, quienes ha luchado incansablemente por verme crecer como profesional y como persona. Y a mis amigos que me regalaron hermosos momentos que nunca olvidaré.

RESUMEN

El proyecto contempla la optimización de un sistema de comunicación sobre una red MANET acoplado a drones. El resultado está enfocado en la mejora del modelo, ya que dentro de este se muestra retrasos dentro de la transmisión, por diferentes factores existentes en el diseño.

Para poder ejecutar la optimización del modelo base, se consideró como primera instancia levantar una línea base del escenario actual y se definió la problemática. A causa de ciertas deficiencias dentro del diseño, se opta por diseñar un modelo optimizado, que pueda cumplir de forma integral los parámetros de eficacia, escalabilidad, rendimiento.

Conforme al proyecto, se explica conceptos en cuanto a comunicación inalámbrica, protocolos de comunicación en redes, uso de dispositivos hardware y software que permitan realizar funciones de ruteo y transmisión de video.

Fundamentado en lo antes mencionado, este proyecto está destinado a aumentar resultados en base a transmisión de video, alcance, estabilidad de enlace y mejoras en consumo. Lo que hace de este un sistema escalable en el futuro.

ABSTRACT

The project contemplates the optimization of a communication system over a MANET network coupled to drones. The result is focused on the improvement of the model, since within this it shows delays within the transmission, due to different factors existing in the design.

To carry out the optimization of the design, an analysis of the current scenario was considered, and the problem was defined. Due to certain deficiencies within the design, it is decided to make an optimized model that meets requirements in terms of efficiency, scalability, and performance.

According to the project, concepts regarding wireless communication, network communication protocols, use of hardware and software devices that allow routing functions and video transmission are explained.

Based on the aforementioned, this project complies with parameters that will allow it to increase results based on video transmission, range, link stability and improvements in consumption. What makes this a scalable system in the future.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 CAPITULO I. MARCO TEÓRICO	3
1.1 Introducción	3
1.2 Sistemas de radiocomunicación en las redes MANET	3
1.3 Introducción	3
1.2.2.Elementos de la radiocomunicación.....	4
1.3. Onda electromagnética.....	5
1.3.1.Introducción.....	5
1.3.2.Propiedades de las ondas electromagnéticas.....	6
1.3.3.Espectro electromagnético.....	6
1.4. Antenas	9
1.4.1.Introducción	9
1.4.2.Tipos de Antenas	10
1.4.3.Características de las antenas.....	10
1.5. Redes inalámbricas.....	16
1.5.1.Introducción.....	16
1.5.2.Tipos de redes según su infraestructura.....	17
1.5.3. Redes de tipo malla (MESH).....	18
1.5.4.Redes Ad Hoc.....	18
1.5.5.Características de las redes Ad Hoc.....	19
1.5.6.Protocolos para redes de malla (Mesh) y MANET.....	20
1.5.7.Clasificación de protocolos.....	20
1.5.8.Clasificación de los protocolos basada en roles.....	21
1.5.9.Ejemplos de protocolos.....	22
1.5.10. OLSR (Optimized Link-State Routing Protocol).....	24
1.5.11. Métricas de rendimiento.....	26
1.6. Seguridad en las redes MANET.....	28

1.6.1. Prevención.....	28
1.6.2. Detección y reacción.....	29
1.6.3. La criptografía y sus tipos	29
1.7. Tipos de códecs.....	30
1.7.1. Historia MPEG	31
1.7.2. MPEG-1	31
1.7.3. MPEG-2	31
1.7.4. MPEG-4	31
1.7.5. Advanced Video Encoding (AVC/H.264).....	32
1.7.6. HEVC/ H.265	34
2. CAPITULO II. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	41
2.1. Descripción del prototipo.	41
2.2. La red MANET	42
2.2.1. Funcionamiento de la red MANET.	42
2.2.2. Raspberry Pi 3 B.....	43
2.2.3. Cámara Raspberry Pi.....	49
2.2.4. Memoria microSD	50
2.3. Sistema de comunicación.	53
2.3.1. Funcionamiento de las antenas.	54
2.3.2. Mejora en el funcionamiento de antenas.	54
2.4. Sistema de recepción.	57
2.4.1. Funcionamiento del sistema de recepción	57
2.4.2. Mejora en el sistema de recepción.	58
2.5. Sistema de alimentación.	58
2.5.1. Funcionamiento del sistema de alimentación.	58
2.5.2. Fuente de alimentación.....	59
2.5.3. Mejora del sistema de alimentación.....	60
3. CAPITULO III. PROPUESTA DE OPTIMIZACION DE	

DISEÑO DE SOFTWARE Y CONFIGURACIÓN.....	60
3.1. Descripción del capítulo.....	60
3.2. La red MANET.....	61
3.2.1. Tipos de SO para placas de procesamiento	64
3.2.2. Raspbian.....	64
3.2.3. Ubuntu	65
3.2.4. Armbian.....	65
3.2.5. Propuesta de sistema operativo.....	66
3.3. Sistema de comunicación.....	67
3.3.1. Propuesta de protocolo de comunicación.....	67
3.4. Sistema de recepción.....	69
3.4.1. Reproductores de video.....	69
3.4.2. Sistema operativo de la base.....	72
3.4.3. Propuesta de mejora a la base receptora	73
3.5. Sistema de alimentación.....	74
3.5.1. CPULimit.....	75
4. CAPITULO IV. PROPUESTA PARA ELEMENTOS	
 HARDWARE	76
4.1. Descripción del capítulo.....	76
4.2. Dispositivos de la red MANET.....	76
4.2.1. Optimización de procesador.....	77
4.2.2. Optimización de memoria RAM.....	78
4.2.3. Propuesta final de dispositivo para la red MANET.....	82
4.3. Dispositivos de comunicación.....	84
4.3.1. Descripción del capítulo.....	84
4.3.2. Propuesta final dispositivos de comunicación.....	86
4.4. Dispositivos de alimentación.....	87
5. CAPITULO V. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS. ..	90

5.1. Descripción del capítulo.....	90
5.2. Configuración red MANET.....	91
5.2.1.Habilitar las interfaces necesarias	91
5.2.2.Configurar las interfaces.....	92
5.2.3.Instalación de BATMAN-ADV.....	94
5.2.4.Pruebas de protocolo en la RED MANET.....	95
5.3. Streaming	97
5.3.1.Instalación de Motion.....	98
5.3.2.Configuraciones adicionales de optimización.....	100
5.3.3.Validación de streaming.....	103
5.4. Validación del sistema completo.....	104
5.4.1.Montado del sistema.....	104
5.4.2.Pruebas ambientes cerrado.....	106
5.4.3.Pruebas en ambientes abiertos.....	113
6. CONCLUSIONES	131
7. RECOMENDACIONES.....	138
REFERENCIAS.....	141
ANEXOS	156

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema básico de comunicaciones.	3
Figura 2 Elementos atenuantes de señal.	4
Figura 3 Unión del campo eléctrico y campo magnético.	6
Figura 4 Servicios por banda de frecuencia en el espectro electromagnético.	7
Figura 5 Representación de antenas.	9
Figura 6 Directividad de la antena.	12
Figura 7 Diagrama de radiación no ideal.	13
Figura 8 Partes del diagrama de radiación.	14
Figura 9 Tipos de polarizaciones.	14
Figura 10 Impedancia.	15
Figura 11 Red con infraestructura vs Red sin infraestructura.	17
Figura 12 Red de Malla.	18
Figura 13 Desplazamiento y cálculo de la velocidad de nodos.	23
Figura 14 Flujo de transmisión completo.	28
Figura 15 Diagrama de técnicas y gestión de reputación.	29
Figura 16 Flujo de codificación y decodificación.	33
Figura 17 División de la imagen en los diferentes tipos de bloques.	35
Figura 18 Flujo de codificación H.265.	36
Figura 19 Movimientos bruscos que afectan la continuidad del video.	37
Figura 20 Consumo de ancho de banda en los diferentes códecs.	37
Figura 21 Métricas de medición.	38
Figura 22 Medida SSIM.	40
Figura 23 Valores variantes de SSIM.	41
Figura 24 Diagrama de bloques modelo base.	42
Figura 25 Diagrama de bloques modelo base.	43
Figura 26 Raspberry Pi 3.	44
Figura 27 Diagrama de bloques modelo base.	45
Figura 28 Cámara de Raspberry Pi V1.3.	49
Figura 29 Diagrama de Red MANET modelo base.	53
Figura 30 Diagrama de elementos SW en la base.	54
Figura 31 Diagrama de flujo del funcionamiento de OLSR.	56
Figura 32 Estación base de recepción.	58
Figura 33 Consumo de modelos Raspberry Pi.	59
Figura 34 Banco de poder.	60
Figura 35 Consumo energético de los diferentes colores en base a mA.	63
Figura 36 Sistema operativo Raspbian de Raspberry.	65
Figura 37 Logo Armbian.	66

Figura 38 Comparación de protocolos. OLSR vs BATMAN L2 vs BATMAN L3.....	69
Figura 39 John Von Neumann.....	77
Figura 40 Gráfica sobre el ancho de banda vs años 2010 a 2015	79
Figura 41 Comparación de las memorias tipo LPDDRx.	79
Figura 42 Diferencia entre modelo base y modelo optimizado.....	90
Figura 43 Configuraciones archivo start-batman-adv.sh	92
Figura 44 Creación de interfaces.	92
Figura 45 Configuraciones interfaz bat0.....	93
Figura 46 Configuraciones interfaz WLAN.	94
Figura 47 Instalación complemento BATMAN-ADV.	94
Figura 48 Validación de creación red Ad-hoc.....	95
Figura 49 Nodos conectados a la interfaz.	96
Figura 50 Validación de saltos sobre la red MANET.	97
Figura 51 Instalación de Motion	98
Figura 52 Validación de dispositivos conectados.....	98
Figura 53 Puesta en marcha del demonio de motion.....	99
Figura 54 Desactivación del parámetro stream_localhost.	99
Figura 55 Encendido interfaz de control.....	100
Figura 56 Archivo motion.....	100
Figura 57 Optimización de tamaño y cuadros por segundo.	101
Figura 58 Calidad de transmisión.....	101
Figura 59 Velocidad de fotogramas en transmisión.	102
Figura 60 Reinicio de servicio motion.....	103
Figura 61 Activación de servicio motion	103
Figura 62 Activación de servicio Motion	104
Figura 63 Elementos de montaje del sistema.....	105
Figura 64 Peso optimizado.....	105
Figura 65 Peso total del sistema optimizado.	106
Figura 66 Distancia de medida antena externa.	107
Figura 67 Red Adhocrpi validación con Wifi Analyzer	107
Figura 68 Red Adhocrpi validación con Wifi Analyzer	108
Figura 69 Relación antena de largo alcance vs embebida.....	108
Figura 70 Latencia 1 segundo.	109
Figura 71 Tabla de red Adhoc relación dBm vs Canal.	109
Figura 72 Latencia 2.2 segundos.	110
Figura 73 Intensidad de señal -88 dBm.....	110
Figura 74 Distancia máxima de la red a -85 dBm.....	112
Figura 75 Vecinos conectados al nodo.	113
Figura 76 Velocidad del viento en Quito.....	114
Figura 77 Datos semanales del clima.	115
Figura 78 Primer escenario de pruebas.	115

Figura 79 Sistema completo en ambientes abiertos.....	116
Figura 80 Primer escenario de pruebas distancia máxima 94.8 metros.....	117
Figura 81 Primer escenario de pruebas.	118
Figura 82 Validación de nodos en base.	119
Figura 83 Elección mejor vecino.	120
Figura 84 Montaje en dron para validación del mejor vecino. Ver anexo A.....	121
Figura 85 Validación de saltos en ambientes abiertos.	122
Figura 86 Prueba de carga y saltos en movimiento.	122
Figura 87 Saltos en posición inicial.	123
Figura 88 Conexión de vecinos a la red.	124
Figura 89 Movimiento 8 Km/h.....	124
Figura 90 Saltos final de movimiento.	125
Figura 91 Conexión directa sin saltos.	126
Figura 92 Conexión con salto nodo sur.....	126
Figura 93 Salto de perimetral a nodo sur.	127
Figura 94 Conexión directa de todos los nodos hacia la base.	128
Figura 95 Salto de nodo sur por nodo perimetral.	128
Figura 96 Conexión con móvil Android VNC	129
Figura 97 Salto de nodo sur por nodo perimetral.	130

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Asignación de espectro según su uso.	7
Tabla 2 Toma de datos modelo base.	42
Tabla 3 Características de Raspberry Pi 3.	44
Tabla 4 Características de las memorias SD.	51
Tabla 5 Velocidad de acuerdo con la clase de memoria.	52
Tabla 6 Velocidad UHS II y II	52
Tabla 7 Diferencias entre CLI y GUI.	62
Tabla 8 Características de la red MANET.	67
Tabla 9 Comparativa LPDDR3 vs LPDDR4.	80
Tabla 10 Dispositivos de procesamiento disponibles	81
Tabla 11 Comparación de las memorias tipo LPDDR4 vs DDR4.	83
Tabla 12 Modelos de antenas USB.	84
Tabla 13 Modelos de batería.	88
Tabla 14 Relación entre distancia y latencia de video.	110
Tabla 15 Toma de datos del sistema base.	112
Tabla 16 Niveles de potencia modelo base vs distancia.	119
Tabla 17 Niveles de potencia modelo actual vs distancia.	119

INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico que se ha venido presentando durante las últimas décadas ha sido verdaderamente fascinante, asegurando por muchos expertos que este es el siglo en donde la modernización tecnológica ha logrado avanzar a pasos gigantes a comparación de las antecesoras. Este desarrollo sobre las tecnologías de computación móvil ha sido exponencial, y se espera que la implementación de éstas siga creciendo, debido a los requerimientos de movilidad que exige el usuario a gran y corta escala.

Por lo que, las redes MANET se ha centrado en poder solventar los problemas de flexibilidad que presentaban las redes alámbricas. Esto con el uso de nuevos protocolos que permitan ofrecer servicios multimedia con gran calidad de servicio en múltiples escenarios móviles.

Una red MANET o Ad-hoc móvil, es la agrupación de múltiples nodos que tienen la capacidad de comunicarse entre sí, sin la necesidad de una infraestructura, esto quiere decir que los enlaces entre estos son de forma inalámbrica, estos nodos trabajan de forma comunitaria, teniendo la capacidad de enrutar el tráfico proveniente de cada uno de ellos hasta el destino. Este proceso de encaminamiento se realiza en cada nodo y consiste en el descubrimiento de las rutas, selección de la ruta óptima y la actualización de estado que sufre cada nodo debido, a que la red es dinámica. Debido a esta característica de las redes MANET, para poder llegar a su destino, recolectan información de los nodos vecinos y se utilizan métricas que permitan definir cuál es el mejor camino hacia el destino. La forma en que estos nodos logran solventar los problemas de encaminamiento depende de forma directa del nivel de procesamiento que este tenga sobre los algoritmos aplicados, tales como el vector distancia y el estado de enlace. Debido a este tipo de requerimientos las redes MANET, se basan en dispositivos móviles y se limitan a la capacidad que tienen estos. Dentro de los siguientes capítulos se podrá realizar un análisis de los problemas existentes en las redes MANET, con el fin de optimizar los problemas del sistema actual titulado "Diseño de un sistema de comunicación acoplado en drones utilizando

dispositivos RASPBERRY PI” perteneciente a la carrera de telecomunicaciones de la UDLA.

Como primer paso para realizar la optimización del sistema se necesita levantar una línea base del sistema actual en funcionamiento, logrando a identificar los problemas que este tiene.

El segundo punto se ejecuta realizando un análisis de los elementos hardware utilizados, con el fin de poder dar a cabo una nueva propuesta hardware, que mejore el rendimiento de los procesos realizados para la comunicación existente entre los nodos.

El tercer punto se lleva a cabo implementando una solución de software que, permita analizar los datos que sufre la MANET y adicional el software necesario que se implementa para la optimización del sistema.

El cuarto punto es la implementación, pruebas y presentación de datos del nuevo sistema optimizado, basado en las propuestas que se definen en los capítulos anteriores.

1 CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

Dentro del capítulo de marco teórico se podrá realizar una breve reseña de los temas que involucran los sistemas de radiocomunicación orientado a redes MANETS.

1.2 Sistemas de radiocomunicación en las redes MANET

1.3 Introducción

Se denomina sistema de comunicaciones aquel que está conformado como mínimo por un transmisor, canal y un receptor. Este sistema está descrito en la figura 1.

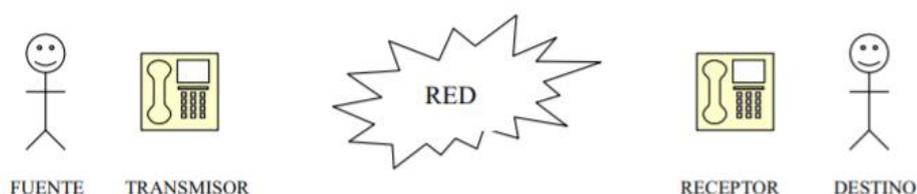


Figura 1. Sistema básico de comunicaciones.

Tomado de: (Montenegro, 2004).

Dentro de las redes MANET, la comunicación que existe entre los nodos se realiza por medio del espacio libre, utilizando los canales de radio frecuencia (RF), uno de los problemas que se tiene que enfrentar por el uso de la radiofrecuencia, es la atenuación existente sobre la señal que se emite, ya que al viajar por estos canales la onda se encontrará con obstáculos, tales como paredes o elementos metálicos que harán dispersar la misma, estos elementos que degradan la señal se los conoce como dispersores. Se puede apreciar dentro de la figura 2 que los elementos dispersores que existen en un departamento en una red de corto alcance. (Gómez, 2019).



Figura 2. Elementos atenuantes de señal.

Tomado de: (TIGO, s.f.).

1.2.2. Elementos de la radiocomunicación.

1.2.2.1. Transmisor y receptor

Dentro de las radiocomunicaciones los transmisores y receptores son representados por antenas y su función modificar la información generada por una fuente y adecuarla, para que esta pueda ser transmitida en forma de señales. Finalmente, el receptor convierte la señal receptada para poder reversar la señal a su forma original, pasando a ser procesada para que el usuario pueda entenderla.

Para realizar el proceso de envío de datos existen parámetros que necesitan ser configurados, conociendo que la información viaja por medio de pulsos electrónicos sobre una frecuencia determinada, es necesario saber en qué rango de éstas frecuencias la antena funciona de manera óptima. Como lo menciona Ramon Ramírez Luz en su libro “Gestión del desarrollo de sistemas de telecomunicación e informáticos” Se determina el uso de la frecuencia dependiendo del tipo de servicios y alcance que se necesite, por lo que el uso óptimo de los canales se basa en el consumo de ancho de banda. La potencia es otro parámetro importante que debe ser controlado, esto con el fin de que la señal enviada no llegue con interferencia al receptor. (Ramírez, 2005).

1.2.2.2. Medio de transporte

El medio de transporte es de varios tipos como: el vacío, el aire, un cable, el agua u otro medio que tenga la capacidad de conducir. La mayoría de las comunicaciones que son creadas en base a ondas electromagnéticas viajan por medio del aire, cables metálicos o la fibra óptica. (Amézquita, 2016).

Las propagaciones de ondas electromagnéticas se refieren a como se propagan por el espacio libre, se conoce como propagación por el espacio libre a la cual viaja por la atmósfera terrestre. La diferencia entre viajar en el espacio libre y viajar por el vacío es que la tierra produce pérdidas que no se tienen en el vacío. (Catarina UDLAP).

1.2.2.3. Interferencia

Se la puede definir como la contaminación de ondas similares existente en la señal original, se ha podido comprobar que se genera de manera artificial. Un ejemplo claro de esto es al momento realizar emisiones por medio de radio, donde se pueden captar por el receptor dos señales simultáneas. (UDEP, 2017).

1.3. Onda electromagnética.

1.3.1. Introducción.

Para poder entender una onda electromagnética es importante conocer el concepto de propagación, esta es una manera de poder transportar energía en el espacio, en un medio determinado.

Las ondas electromagnéticas en específico son la unión del campo magnético con el campo eléctrico esto se puede visualizar en la figura 3, una de las características de es que no necesitan un medio material para propagarse. (Tezanos, 2016).

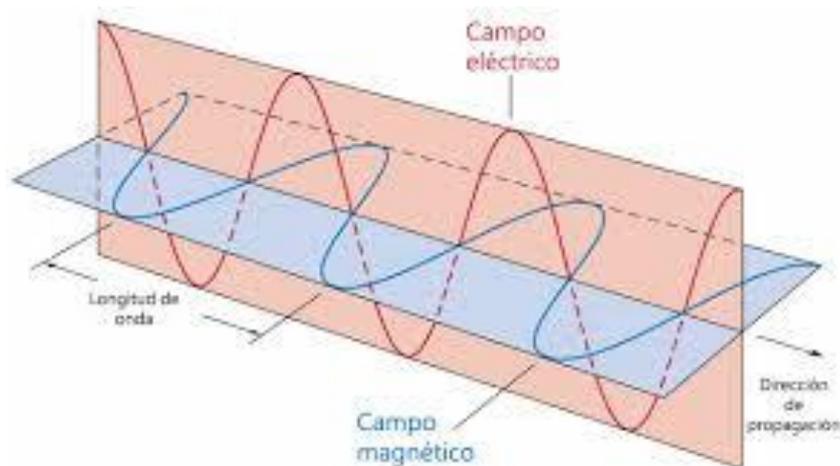


Figura 3. Unión del campo eléctrico y campo magnético.

Tomado de: (Tezanos, 2016).

1.3.2. Propiedades de las ondas electromagnéticas.

- Su característica principal es que no necesitan un medio específico para poder ser emitidas, pueden viajar en el vacío o en cualquier otro medio. (Muñoz).
- Son tridimensionales esto quiere decir que se propagan en las tres direcciones del espacio. (Muñoz).

1.3.3. Espectro electromagnético.

La distribución energética de todas las ondas electromagnéticas en grupo, se denomina espectro electromagnético. (Freznel, 2003).

Esta distribución ayuda a que se puedan prestar diferentes servicios, logrando transmitirlos simultáneamente sin verse afectados el uno del otro. Estos servicios se distribuyen en diferentes bandas de frecuencia (Hz), Por ejemplo, dentro de las telecomunicaciones solo se utiliza el rango que va desde 1kHz hasta 300 GHz, se puede destacar que esta banda de frecuencia trae consigo múltiples problemas al momento de la transmisión de información, ya que se encuentra congestionada por los diferentes tipos de elementos electrónicos cotidianos, como se pueden observar en la figura 4 en la sección de banda de frecuencia.

1.3.3.1. Bandas de frecuencia

Las bandas de frecuencia se dividen por intervalos, estos intervalos son utilizados para diferentes usos dentro de las radiocomunicaciones” (Barcia C. F., 2005).

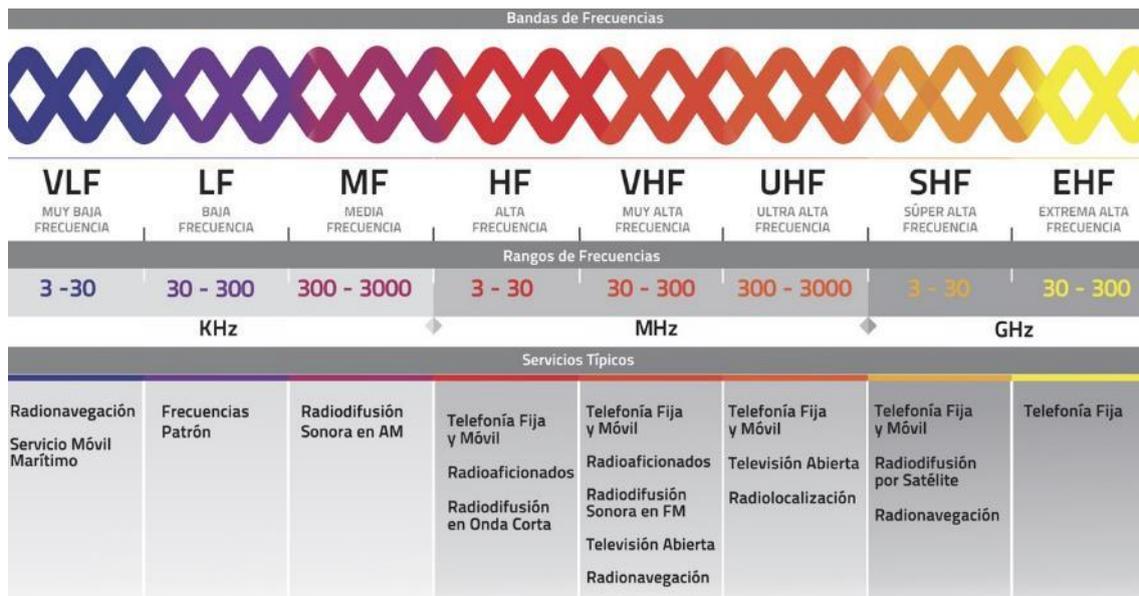


Figura 4. Servicios por banda de frecuencia en el espectro electromagnético. Tomado de: (CONATEL, 2014).

En la siguiente tabla 1 se detalla la asignación del espectro según el alcance y uso que se da.

Tabla 1.

Asignación de espectro según su uso.

Sigla	Denominación	Longitud de Onda	Frecuencia	Uso y distancia relativa

VLF	Frecuencias muy bajas	30.000 m- 10.000 m	10 KHz - 30 KHz	Enlaces a larga distancia
LF	Frecuencias Bajas	10.000 m - 1.000 m	30 KHz - 300 KHz	Enlaces a gran distancia
MF	Frecuencias Medias	1.000m - 100m	300 KHz - 3 MHz	Radiodifusión
HF	Frecuencias Altas	100 m - 1 m	3 MHz - 30 MHz	Enlaces a media y larga distancia
VHF	Frecuencias Muy Altas	10 m - 1 m	30 MHz - 300 MHz	Enlaces a corta distancia
UHF	Frecuencias Ultra Altas	1 m - 10 cm	300 MHz - 3 GHz	Enlaces de radio
SHF	Frecuencias Super-Altas	10 cm - 1 cm	3 Ghz - 30 GHz	Enlaces de radio
EHF	Frecuencias Extra-Altas	1 cm - 1 mm	30 GHz - 300 GHz	Enlaces de radio

Adaptado de: (Prieto, 2016).

1.3.3.2. Uso de la banda 2.4 GHz.

Esta banda es una de las más utilizadas dentro de las redes inalámbricas, ya que tiene como característica especial que se muestra tolerante ante obstáculos, eso quiere decir que la atenuación de la señal es menor brindando mayor alcance en el entorno. Esta banda tiene varios estándares como por ejemplo 802.11b/g/n. (Ryohnosuke, 2010).

1.3.3.3. Problemas de la banda 2.4 GHz

Esta banda muestra consigo un problema que afecta a la transmisión de la información, se conoce como interferencia co-canal, según Anchondo, es el problema más común que se relaciona con las redes inalámbricas, este problema viene dado por la conexión existente entre dos puntos de acceso que interfieren entre sí. (Anchondo, 2016).

Otro de los problemas existentes que hay dentro del entorno es la interferencia no WI-FI, ya que estas tienen un rango de funcionamiento en el espectro de 2.4 GHz, uno de los ejemplos más comunes de este tipo de interferencia se encuentra en: Bluetooth, teléfonos móviles, microondas, etc. (Canarias, 2015)..

1.4. Antenas

1.4.1. Introducción

Las antenas son dispositivos pasivos para transmitir y recibir energía con propiedades direccionales y de polarización. Su función principal es convertir la energía electromagnética de un cable, e irradiarla por el espacio libre en forma de potencia electromagnética, tal como se muestra en la figura 5. (Huidobro, 2013).

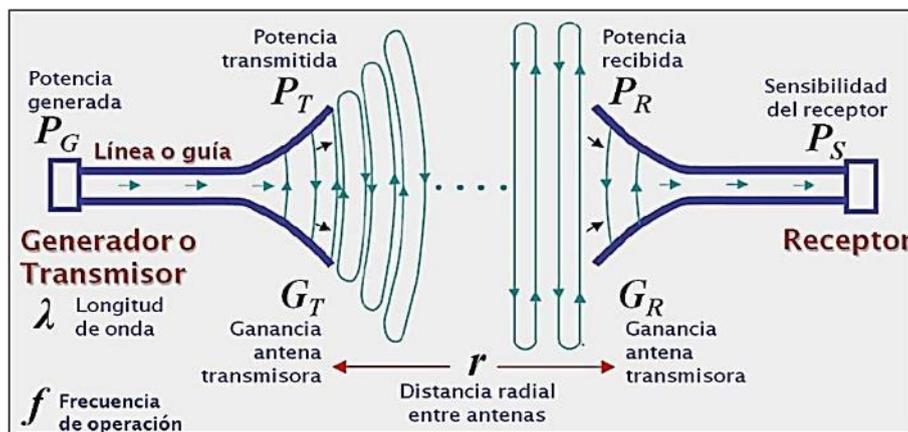


Figura 5. Representación de antenas.

Tomado de: (Anguera, 2008).

1.4.2. Tipos de Antenas

Se puede afirmar que cada una se utiliza en diferentes tipos de aplicaciones ya que se diseñan para poder vencer los problemas del ambiente y las necesidades del negocio. (Prieto Carrasco, 2016).

1.4.2.1. Antena direccional

Enfocan la energía en una sola dirección, otorgando al sistema de una distancia más amplia, pero con menos ancho de banda. (Vega, s.f.).

1.4.2.2. Antena isotrópica

La característica es que emita la misma intensidad de energía en todas las direcciones, siendo su foco el plano horizontal y solo una cierta porción dentro del plano vertical. (Vega, s.f.).

1.4.2.3. Antena omnidireccional

Su diagrama de radiación tiene forma de una esfera aplastada en los polos. Emitiendo energía de manera uniforme en todas las direcciones, son utilizadas ampliamente en las antenas de WI-FI. (Prieto Carrasco, 2016).

1.4.3. Características de las antenas

1.4.3.1. Ganancia

Se puede definir como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección del espacio, a una distancia definida, sobre la densidad de potencia que se tendría, si la potencia entregada a la antena fuera radiada de forma ideal o de manera isotrópica (Valero, s.f.).

Esta ganancia se calcula con la siguiente ecuación:

$$G(\theta, \phi) = \frac{\mathcal{P}(\theta, \phi)}{P_{entregada} / 4\pi r^2} = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} \cdot \frac{\mathcal{P}(\theta, \phi)}{P_{radiada} / 4\pi r^2} = \eta_i \cdot D(\theta, \phi)$$

(Ecuación 1)

Lo que se indica es que toda la potencia suministrada, no se radia por la antena,

de lo contrario una porción es disipada en forma de calor, causando que el diagrama de radiación no sea homogéneo.

Se puede afirmar que si se hacen medidas ideales la antena no tiene pérdidas óhmicas “pérdidas en forma de calor” y la ganancia coincide con la directividad. (Casado, 1995).

1.4.3.2. Directividad

Las antenas tienen esta característica y se conoce como la habilidad para direccionar la energía radiada en una dirección específica esto se puede observar en la figura 6, solo que, dentro de esta, se muestra el diagrama ideal de una antena, se dice que una antena es directiva cuando su diagrama de radiación apunta hacia un solo lado en forma de un óvalo alargado. (WNI MÉXICO S.A., s.f.).

Esta se define como la relación existente entre la densidad de potencia radiada en un sentido y la distancia, sobre la densidad de potencia de una antena isotrópica a la misma distancia con la misma cantidad de potencia. (Universidad Politécnica de Valencia, s.f.).

La ecuación con la que se puede definir la ganancia es:

$$D(\theta, \phi) = \frac{K(\theta, \phi)}{P_t/4\pi}$$

(Ecuación 2)

- **Ventajas de directividad alta:**

Mayor ganancia en ese ángulo.

Rechaza reflexiones e interferencias de otras direcciones.

- **Inconvenientes:**

Orientación más difícil.

Solo nos sirve para casos con un solo centro emisor

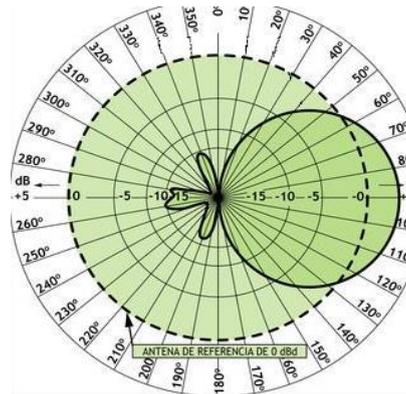


Figura 6. Directividad de la antena.

Tomada de: (Ippolito, 2017).

1.4.3.3. Diagrama de radiación

El patrón de radiación se puede decir que es la forma generada por la potencia que radia una antena. Una de las características de la antena sin hacer referencia a las ideales, es que tiene la capacidad de orientar la energía radiada en determinadas direcciones según el diseño de la antena.

Dentro de la figura 7 se puede apreciar el patrón de radiación haciendo referencia a cómo es el direccionamiento de la energía, estos parámetros se tienen que ir configurando en base a la frecuencia que tengamos, ancho de banda, etc. Ya que esto ayudan a que se pueda tener mejor alcance y menos pérdidas, el arreglo de antenas define cómo se va a emitir la señal, por lo que existen diferentes tipos de antenas con diagramas de radiación variantes.

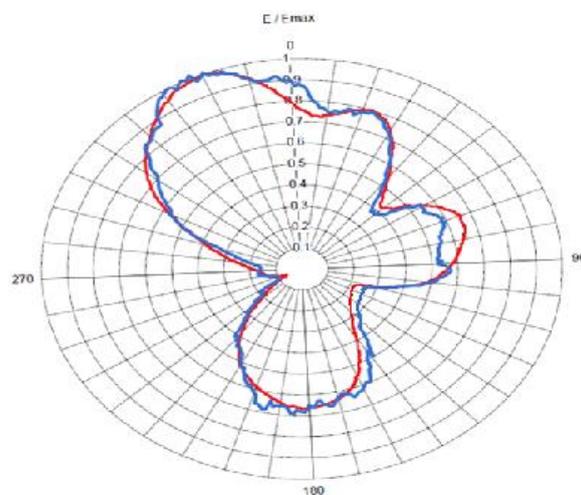


Figura 7. Diagrama de radiación no ideal.

Tomada de: (Ippolito, 2017).

1.4.3.4. Dirección de apuntamiento:

Dentro de la figura 7 se puede ver el lóbulo primario, y se valida que dentro de este se encuentra la máxima radiación de la antena, este se basa en el campo eléctrico para dar la dirección. Funciona conjuntamente la ganancia y la directividad para poder dar un apuntamiento de la señal, obviamente este va a depender del tipo de antena que se tenga y del diagrama de radiación que emite. (Ippolito, 2017).

1.4.3.5. Lóbulo principal:

Contiene la dirección de máxima radiación. Y es el opuesto al lóbulo posterior teniendo una relación entre el máximo de cada uno tal como se puede observar en la figura 8.

1.4.3.6. Lóbulos secundarios:

Son el resto de los máximos relativos, de valor inferior al principal.

1.4.3.7. Lóbulo lateral:

Aquellos adyacentes al lóbulo principal.

1.4.3.8. Lóbulo posterior (trasero):

Aquel en dirección opuesta al principal.

1.4.3.9. Relación de lóbulo principal a secundario (SLL):

Es un cociente medido en dB, que se obtiene entre el valor máximo del lóbulo primario sobre el máximo del secundario. (Ippolito, 2017).

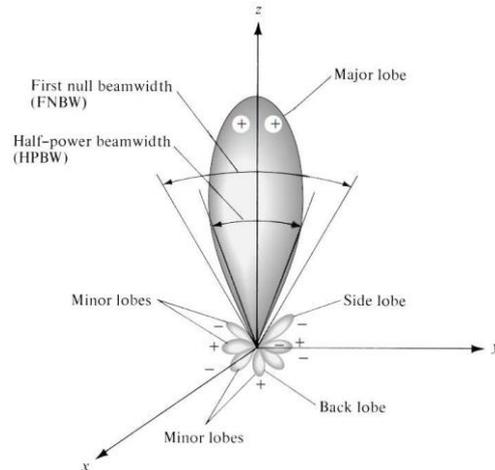


Figura 8. Partes del diagrama de radiación

Tomada de: (Ippolito, 2017).

1.4.3.8. Polarización

Utilizado para medir la velocidad de las ondas electromagnéticas, se define como la dirección que toma el vector del campo eléctrico. Se dice que una antena puede polarizarse en forma: Vertical, horizontal y elíptica tal como se puede ver en la figura 9, para que una antena se encuentre en su máximo rendimiento es necesario que la polarización de Tx y Rx tiene que ser las mismas. (Pérez, 2008).

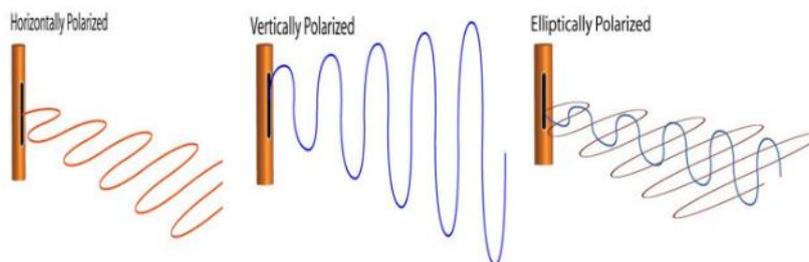


Figura 9. Tipos de polarizaciones.

Tomado de: (Pérez, 2008).

1.4.3.9. Coeficiente de reflexión

Un coeficiente de reflexión describe la amplitud de una onda reflejada esta respecto a la onda incidente. El coeficiente de reflexión se puede obtener por medio de la ecuación: (Oviedo, 2019).

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0}$$

(Ecuación 3)

1.4.3.10. Impedancia (Resistencia aparente o impedancia de entrada o impedancia de antena)

Es la relación que la antena presenta al circuito de alimentación, debido a la tensión aplicada en voltios y corriente, es decir es la resistencia al flujo de corriente alterna. En la figura 10 se puede apreciar la impedancia y como se aplica la tensión en un diagrama de circuito eléctrico.

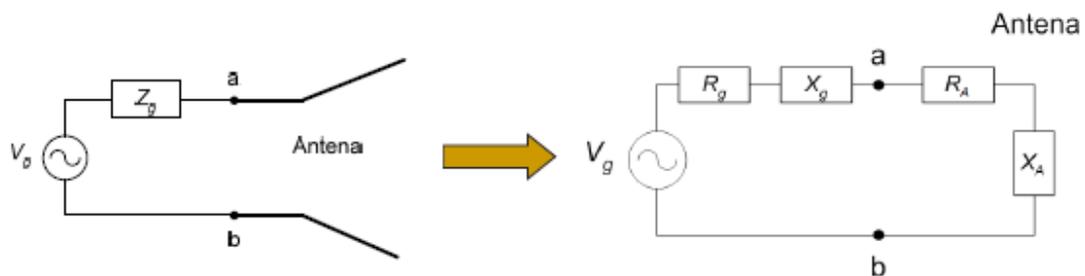


Figura 10. Impedancia.

Tomada de: (HAYT, 1993).

1.4.3.11. Ruido

En cualquier sistema de comunicaciones, se producen fluctuaciones de corriente externas a las señales que maneja propias del sistema. Estas suelen aparecer aleatoriamente y pueden tener diversos orígenes, el problema de esto es que al agregarse a las señales de envío alteran el QOS de la comunicación.

Tipos de ruido

- Ruido natural se dice que es natural ya que es causado, por los circuitos eléctricos, tales como conductores y semiconductores.
- Existe el ruido cósmico que vienen del universo que nos rodea, el sol, algunas estrellas, etc.

- El ruido atmosférico producido por la atmósfera también es fuente de ruido eléctrico, en especial los rayos. (Ramirez, 2015).

1.4.4. Capa física en las redes MANET

Al tratarse de la capa física en las redes MANET se necesita abarcar temas referentes a modulación y codificación, definidos por los estándares 802.11n/g/b. Es necesario que se tome en cuenta las especificaciones del estándar 802.11b, ya que este cambio de estándar juega un papel muy importante, afectando a nivel de capa 3 las velocidades de enlace y la estabilidad de estos, logrando tener así una red robusta. (Cortés, 2004).

Los nodos dentro de las MANET pueden ser placas de procesamiento con chips basados en el estándar 802.11 b/g/n, definiendo dos formas de trabajo, el modo Infraestructura y el modo Ad-hoc.

1.4.4.1. Funcionamiento de la capa física en redes MANET

Para el funcionamiento de las redes MANET, los estándares se han encargado de crear algoritmos ortogonales, que puedan diferenciar los patrones de saltos y organizarlos de tal manera que no existan dos transmisiones utilizando el mismo sub-canal y que su patrón de saltos no se repita.

1.5. Redes inalámbricas.

1.5.1. Introducción.

Son un conjunto de elementos, electrónicos que cumplen la función de ordenadores y permiten la comunicación con otros tipos de aparatos con las mismas características, con el fin de poder realizar comunicación sin la necesidad de cables, estas logran transmitir la información por medio del aire a través de ondas electromagnéticas. Este tipo de redes se han ido popularizando con el pasar del tiempo ya que los costos han ido reduciendo y ahora es fácil implementar en hogares y no solo en empresas.

Este tipo de redes tiene como características su rápida instalación, ya que no se

necesita tender cable para su funcionamiento. Dentro del rango de recepción de la señal este tipo de redes otorgan movilidad.

Como desventajas este tipo de redes muestra interferencia por cambios atmosféricos e interferencias externas de otros emisores de microondas, este tipo de redes tiene un costo inicial más elevado que las cableadas. (Andreu, 2016).

Se abordarán dentro del capítulo los tipos de redes que se han ido formando y haciendo un enfoque a las redes conocidas como Ad Hoc o sin infraestructura.

1.5.2. Tipos de redes según su infraestructura.

Existen múltiples tipos de redes inalámbricas, simplificando estas se puede decir que solo son dos simples grupos:

- Redes con infraestructura.
- Redes sin infraestructura (Ad Hoc).

Se puede observar dentro de la figura 11. la diferencia que existe entre cada una de ellas. Siendo esta la infraestructura propuesta como backbone un ejemplo de este es el cableado que comunica a los equipos de telecomunicaciones o por ejemplo las redes Ad Hoc el aire cómo medio de transporte.

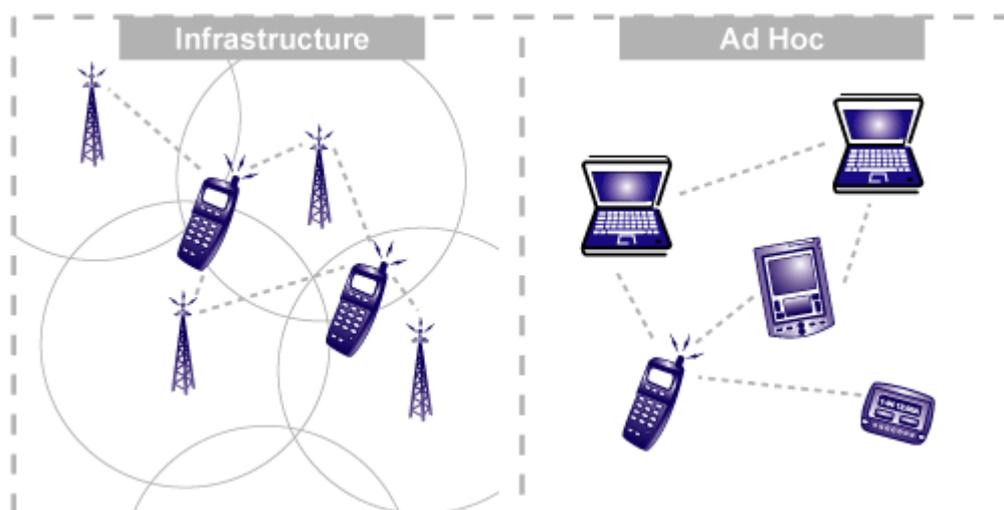


Figura 11. Red con infraestructura vs Red sin infraestructura.

Tomado de: (SparkFun Electronics ®, 2015).

1.5.3. Redes de tipo malla (MESH)

Es una topología que se conecta de manera integral, esto quiere decir que todos los nodos están comunicados con los otros. Dados n nodos, cada nodo tiene una conexión hacia los otros nodos (Mehdi Bezahaf, s.f). De esta manera el número de enlaces viene dado por la siguiente ecuación.

$$NE = \frac{n - 1}{2}$$

(Ecuación 4)

Este tipo de redes tiene como inconveniente, la creación de muchos enlaces, los cuales son desperdiciados, cómo se puede ver en la figura 12, este tipo de redes se tornan útil al momento de requerir alta redundancia, pero también esto la vuelve una red de alto costo.

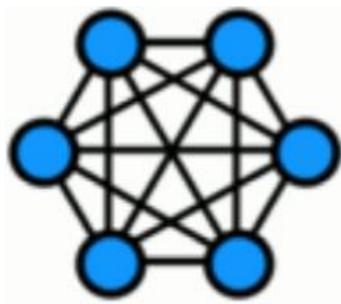


Figura 12. Red de Malla.

Tomada de: (IST La Recoleta, 2014).

1.5.4. Redes Ad Hoc

1.5.4.1. Introducción

Se conoce que una red Ad-hoc es una agrupación de nodos que se comunican sin la necesidad de cableado, y de manera descentralizada. por la movilidad que presenta esta red, uno de los retos que enfrentan es elegir un protocolo adecuado que pueda adaptarse a los cambios repentinos que enfrentan las redes Ad Hoc. Su funcionamiento está basado, en el cual la información se propaga por medio de saltos, creados por un algoritmo que calcula el camino más corto. (Aguilera, 2013).

Las redes MANET, son una agrupación de nodos que realizan sus propias tareas de comunicación sin la necesidad de un router para poder comunicar entre los nodos vecinos, que no poseen dispositivos que realicen las gestiones de tareas de comunicación, adicional a esto, estas pueden o no tener una infraestructura existente.

Estos equipos se consideran independientes, ya que cada uno se encarga de las tareas de ruteo. Realizando algoritmos que permitan contabilizar la distancia que existe entre cada nodo de comunicación. (Aguilera, 2013).

1.5.4.2. Aplicaciones de las redes Ad Hoc

Las redes Ad Hoc son ampliamente utilizadas en redes, empresariales, de emergencia, de vehículos, IoT y comunitarias.

Es de gran ayuda la movilidad que muestran este tipo de redes ya que permiten que los usuarios tengan acceso a lugares remotos, creando alcances mayores por medio de los protocolos de enrutamiento existentes.

1.5.5. Características de las redes Ad Hoc

- **Operación distribuida**

Es una de las grandes características de esta red, que no necesita estar ligada a los nodos de una red estática, ya que su direccionamiento de tráfico lo hace de manera independiente, para que esto suceda, se tiene que implementar ciertos protocolos de enrutamiento dinámico.

- **Topología dinámica**

Se refiere a la capacidad de que los dispositivos se conecten y desconecten aleatoriamente, cambiando su posición dentro de la red.

- **Bajo consumo energético**

El bajo consumo energético de la red se da gracias a que por el uso de dispositivos que tiene tecnología CMOS o de bajo consumo, se las puede

implementar de manera móvil haciendo el correcto uso de elementos que provean energía como baterías o celdas solares. Como característica de la red ayuda a que los dispositivos limiten el uso de CPU, RAM, Caché, etc. Por medio de los protocolos que tiene un diseño que optimiza la energía de los dispositivos. (Aguilera Irazabal, 2013, pp 12).

1.5.6. Protocolos para redes de malla (Mesh) y MANET.

Dentro de las redes ad-hoc, existe un tipo especial llamado MANET esta es la unión de una red de infraestructura y ad-hoc.

Una de las grandes diferencias que hay que tener en cuenta en las redes de malla es que además de los nodos ad-hoc básicos, encargados de enrutar el tráfico y de actualizar la tabla de direcciones, tienen el rol de ser Access Point (AP),

Las redes MANET se conoce que son un conjunto de nodos ad-hoc, los cuales se mueven de manera autónoma sobre vehículos autónomos.

Estas diferencias entre cada uno de estos llevan a que se utilicen diferentes tipos de protocolos para su interconexión, por lo que se puede definir los protocolos en tres diferentes familias las cuales son los proactivos, reactivos e híbridos.

1.5.7. Clasificación de protocolos.

1.5.7.1. Proactivos.

La característica de esta red es que se encuentra en constante actualización, por lo que la información que sirve para direccionar el tráfico es actualizada por intervalos, otorgando la capacidad de que, en cada petición de enrutamiento, siempre tenga direccionamiento disponible. (Proteon, 1994).

Estos protocolos permiten que no se creen conteos infinitos ya que por la secuencia realizada esta toma la información más reciente según el número.

Una de las desventajas que presenta este tipo de protocolos es la cantidad de información generada, puede llegar a realizar procesos lentos el sistema cuando se producen fallos e. intenta actualizar la nueva información para reintegrar el sistema.

1.5.7.2. Reactivos.

Este protocolo invoca a la función para determinar el direccionamiento solo cuando se transmite el paquete, como desventaja es que los tiempos de entrega en los paquetes se aumentan ya que se realiza un procesamiento previo. (Proteon, 1994).

1.5.7.3. Híbrido.

Este protocolo se caracteriza por unir las ventajas del protocolo reactivo y el proactivo, tiene una limitante, la aplicación de algoritmos proactivos a los nodos contiguos en la red.

Un ejemplo que se puede utilizar para ver este tipo de protocolo es el de enrutamiento de zona. Intentando unir las ventajas que tiene cada uno de los protocolos. Por ejemplo, al implementar esta solución híbrida los nodos funcionan de manera proactiva con sus adyacentes, esto limita a una cierta distancia siendo esta las rutas que se tienen dentro de la tabla. Al momento de que se recibe un paquete de búsqueda de ruta, se realiza una búsqueda de manera reactiva. Esta búsqueda es optimizada por la capacidad que tienen los nodos de saber si una ruta está dentro de su alcance. (Cisco, 2012).

1.5.8. Clasificación de los protocolos basada en roles.

1.5.8.1. Protocolo de enrutamiento uniforme.

En un protocolo de enrutamiento uniforme, define que todos los nodos son iguales en rol, importancia y funcionalidad. Estos por lo general se presentan dentro de una red plana. Algunos ejemplos de este protocolo son: WRP, DSR, AODV y DSDV. (Sarkar, 2014).

1.5.8.2. Protocolo de enrutamiento no uniforme.

En un protocolo de enrutamiento no uniforme, en protocolos de enrutamiento no uniformes para redes MANET, ciertos nodos tienen una función distinta en gestión o enrutamiento esto ayuda para la organización de la red. (Sarkar, 2014).

1.5.9. Ejemplos de protocolos.

1.5.9.1. BATMAN-ADV

BATMAN-advanced es mejora del protocolo básico BATMAN, implementado como un módulo de kernel basado en Linux que funciona en capa 2. El fin de crear BATMAN, fue corregir los errores que mostró OLSR, por lo que, en múltiples publicaciones, se ha podido constatar que las métricas de rendimiento superan a las de OLSR, pero tampoco de forma extravagante. (Coya, 2014).

1.5.9.1.1. Funcionamiento de BATMAN-ADV

Batman-adv funciona completamente en la capa 2 del modelo OSI, encapsula y todo el tráfico se reenvía con hasta el destino requerido, emulando así un conmutador de red virtual de todos los nodos que participan. Enviando información de enrutamiento y tráfico de datos por medios de tramas Ethernet sin formato, todo esto controlado por Batman-adv. (Open-Mesh, 2009).

1.5.9.1.2. Características de BATMAN-ADV

Una de las varias características interesantes de Batman-adv es que los nodos pueden participar en una malla sin tener una IP y la implementación del mismo ayuda a la optimización del flujo de datos a través de la malla. (Open-Mesh, 2009).

La mayoría de las otras implementaciones de protocolos de enrutamiento inalámbrico como la versión anterior de Batman Daemon en capa 3, intercambian información de enrutamiento enviando paquetes UDP, causando que la tabla de enrutamiento del núcleo sea manipulada por los procesos de ruteo. (Open-Mesh, 2009).

Dentro de los archivos informativos de Batman se indica que se tiene una herramienta útil para configurar y depurar el módulo del kernel batman-adv, esta es batctl. Se tiene una GUI para configuraciones del módulo, y adicional muestra la información del estado de enlace. (Open-Mesh, 2009).

1.5.9.2. AODV (Ad Hoc On-Demand Vector)

Pertenece a la familia de protocolos de enrutamiento reactivo, basado en el vector distancia. Se crea un número secuencial, que viene siendo el número de destino como se puede apreciar en la figura 13, la creación de este número es un proceso que se realiza antes de proporcionar la información del direccionamiento.

La importancia de utilizar este protocolo es que evita la formación de lazos, por medio de una evaluación de cuanto se ha actualizado un determinado recorrido. (Rocabado, 2013).

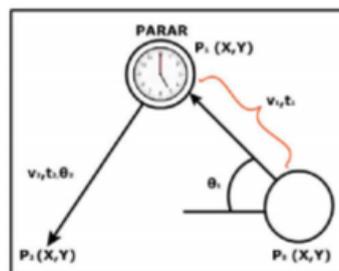


Figura 13. Desplazamiento y cálculo de la velocidad de nodos.

Tomado de: (Sánchez, 2012).

Comparado con el sistema base, el protocolo de enrutamiento de AODV se han mostrado en diferentes publicaciones, que muestra cierta mejora a nivel de: retardo extremo a extremo, paquetes perdidos y sobrecarga de enrutamiento a diferencia de OLSR debido a la naturaleza reactiva del protocolo. Esto se pudo constatar en ambientes simulados tal como indica (Goldman, s.f.)

1.5.9.3. DSR (Dynamic Source Routing)

Pertenece a la familia de protocolos de enrutamiento reactivo, utiliza Source Routing y el conocido mecanismo On-Demand, con el fin de que todos los nodos fuente tengan en conocimiento el paso a paso del camino que debe efectuar para llegar al destinatario, haciendo uso de la memoria caché recordando todos los caminos ya conocidos.

Si la conexión se llegara a perder, se tiene que notificar a todos los nodos, esto mediante mensajes RERR, actualizando la Route Caché, llegando a evitar bucles infinitos. (Universidad Politécnica De Valencia, 2014)

El protocolo solo activa las rutas entre los nodos que necesitan comunicarse, reduciendo de esta manera la sobrecarga a diferencia de AODV y de OLSR.

El uso de caché se puede utilizar para no tener que realizar futuros descubiertos de las rutas

Se necesita evitar colisiones y esto se logra forzando a un nodo a no escuchar un RREQ si escucha otro con la ruta más corta.

1.5.9.4. TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm) .

Pertenece a la familia de protocolos de enrutamiento reactivo y se caracteriza por proporcionar un nodo remitente, llegando a disponer de varias rutas para llegar al destinatario.

Este protocolo se basa en IMETP (Internet MANET Encapsulation Protocol) para descubrir nodos vecinos. (Navarro, s.f.).

1.5.9.5. Fisheye State Routing (FSR).

Este utiliza flooding con el fin de actualizar la tabla de rutas de la red y se basa en el número de secuencia para indicar que tan actual es la información similar a lo que hace DSDV, en FSR se intercambian solo con nodos vecinos ya que todos tienen la tabla de topología.

Este protocolo puede llegar a ser impreciso, ya que los nodos que se encuentran más alejados tienen una información menos actualizada sobre el estado de la red. (Pinto, 2012).

1.5.10. OLSR (Optimized Link-State Routing Protocol)

Pertenece a la familia de protocolos de enrutamiento proactivo, diseñado para las MANET, realiza el proceso de envío de paquetes broadcast durante el proceso de flooding. Por medio de estaciones definidas como MPR (multipoint

relays), Los mensajes de control son enviados de forma periódica con el fin de tener una comunicación entre los dispositivos que se encuentran dentro de la MANET. OLSR reenvía paquetes per-node, en otras palabras, cada nodo toma la información más reciente que fue almacenada para poder enrutar el tráfico. (Pastor,2008).

1.5.10.1. Funcionamiento del protocolo OLSR

Se dice que este es un protocolo basado en un solo núcleo de funcionalidad, basado en ciertas funciones auxiliares que son definidas por el escenario en donde se esté realizando la prueba.

La función auxiliar se usa en situaciones específicas, por ejemplo, cuando un nodo está proporcionando conectividad y también lo hace a otro protocolo de enrutamiento. En escenarios móviles y escenarios de pérdida donde se establece el MPR, se puede observar que este cambia con frecuencia, una fracción significativa de los nodos son o fueron MPR. (Medina, 2010).

1.5.10.2. Funcionamiento del núcleo

El núcleo se compone de dos componentes tales como: Formato de paquete y reenvío, Detección de enlace, Detección del vecino, selección y señalización MPR, difusión de los mensajes de control, y los cálculos de ruta. Es necesario analizar el núcleo ya que este protocolo en su mayoría se basa en los mensajes universales que se transmiten por la red. (Medina, 2010).

1.5.10.3. Estimación de movilidad de enlaces

OLSR muestra que los enlaces deben mantenerse estables y de ser posible con menos movilidad para que pueda funcionar de mejor manera, ya que con esto se evita que las conexiones pierdan datos y que no existan tantos cambios abruptos en las rutas, lo que ocasiona que este tenga un nivel mayor de procesamiento. (Rosado, 2016).

Una de las características principales de este es que utiliza la conexión con las rutas que son más cortas para llegar al destino. Actualmente con los nuevos estándares las tarjetas de Wi-Fi pueden enviar datos de potencia, lo que ayuda

a saber que tan buena es la calidad del enlace entre nodos. No siempre se tiene disponible este nivel de señal por lo que OLSR toma como referencia la cantidad de mensajes de control perdidos. (Rosado, 2016).

1.5.11. Métricas de rendimiento.

1.5.11.1. NRL (Normalized routing Overhead)

Si se obtiene este valor se puede mostrar el rendimiento del protocolo, se obtiene esta métrica relacionando la cantidad de paquetes de control que se propagan por todos los nodos y la cantidad de paquetes de datos que se reciben por los destinatarios. (Shyaa, 2019).

1.5.11.2. PDF (Packet delivery Fraction)

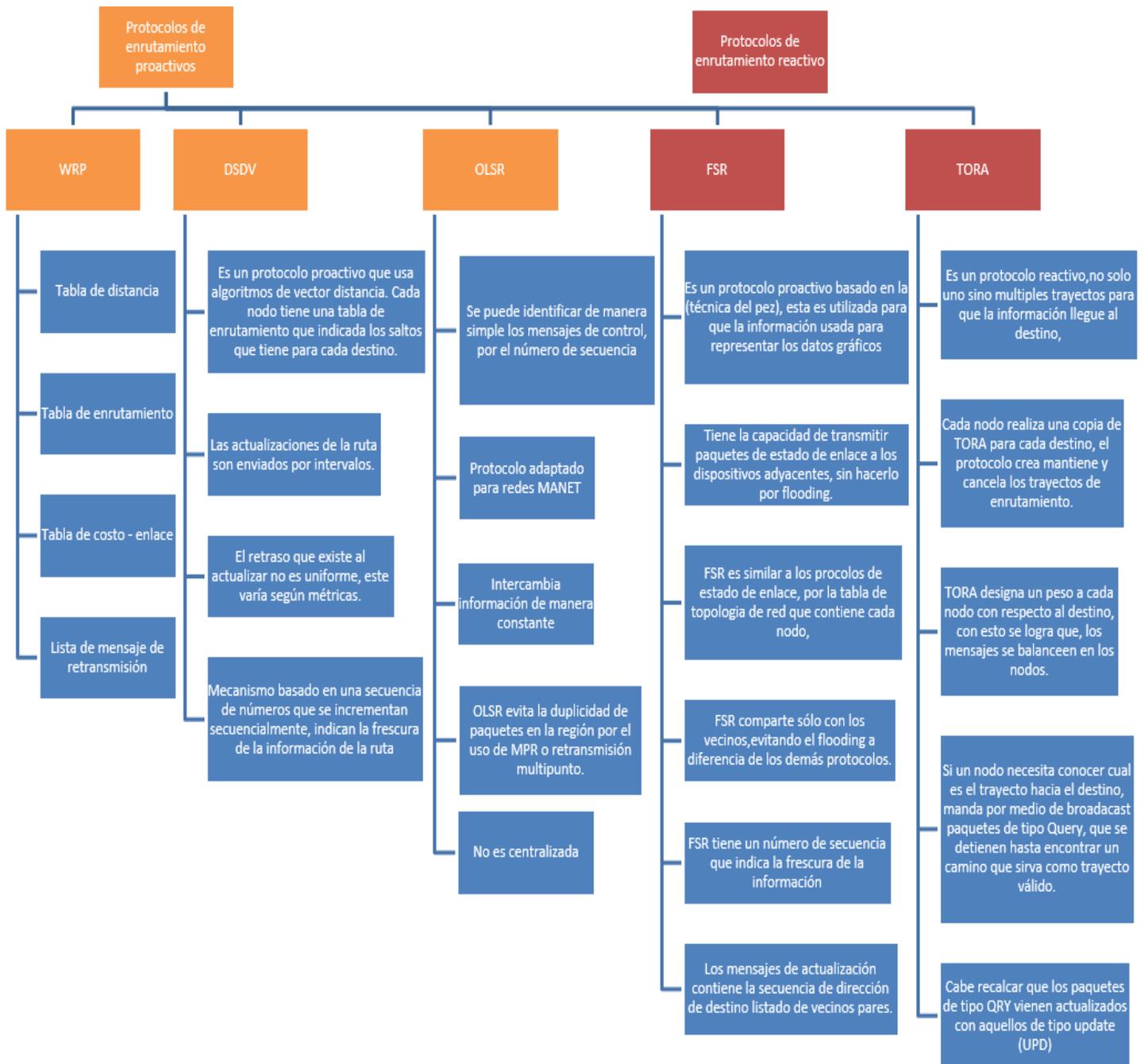
Es la relación existente entre la cantidad acumulada de paquetes de datos entregados, sobre la cantidad acumulada de paquetes de datos transmitidos por los nodos de la red, la métrica se basa, no en el rendimiento, sino en la calidad con la que llegan los paquetes. (Shyaa, 2019).

1.5.11.3. AVG (Average End-to-end delay)

Este es el retardo medio de los paquetes, este se obtiene a partir de la diferencia entre el tiempo en que fue transmitido el primer paquete desde la fuente, sobre el tiempo del primer paquete que llegó al destinatario. (Shyaa, 2019).

Se tiene que tomar en cuenta los retrasos que se causan por el almacenamiento en buffer mientras se descubren las rutas disponibles. (Shyaa, 2019).

1.5.12. Mapa de los protocolos de enrutamiento.



1.6. Seguridad en las redes MANET

Las redes inalámbricas tienen características muy similares a las de una LAN en capacidad y velocidades, sin utilizar cableado y logrando tener conexión en todo momento. (Mayol, 2013).

La desventaja de las redes del tipo inalámbrica es la seguridad. Ya que todos los datos transitan libremente desde los dispositivos de enrutamiento hasta los hosts. Estas vulnerabilidades permiten que el uso de programas como la suite de Aircrack o Aircrack-ng o Alfa Awus036h, permita realizar un ataque y capturar el tráfico de datos o inyectar datos. (Mayol, 2013).

Este proceso de encriptamiento y desencriptamiento se puede observar en la figura 14, después de realizar la codificación necesaria de la información. (Mayol, 2013).

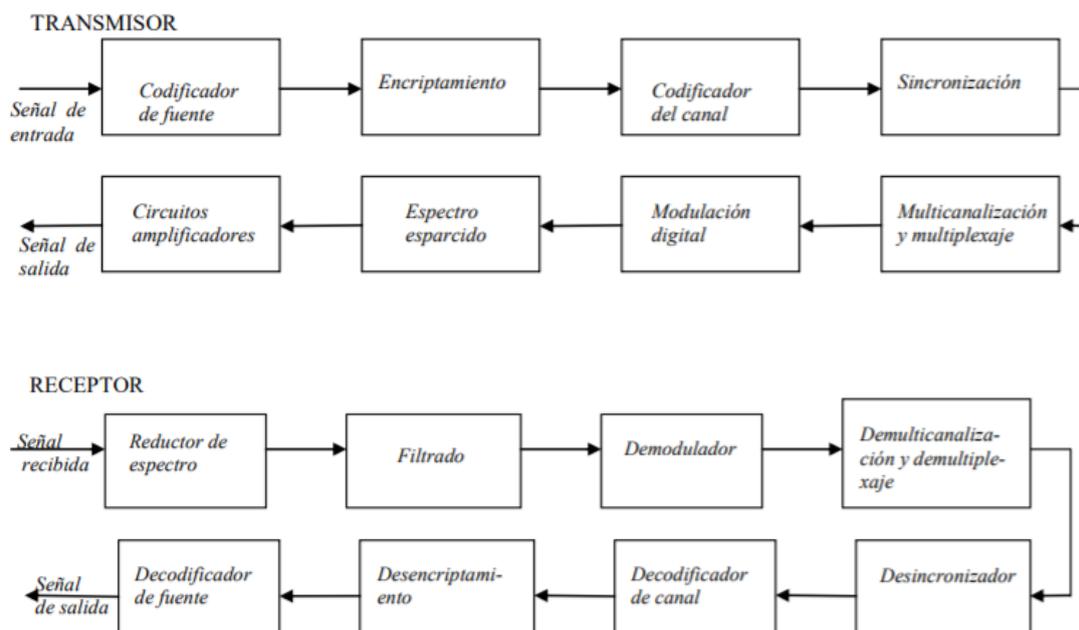


Figura 14. Flujo de transmisión completo.

Tomado de: (CETI, 2015).

1.6.1. Prevención.

Este tipo de soluciones se crean con el fin de imposibilitar que los nodos maliciosos ataquen a los nodos y se propaguen por la red.

Estas soluciones son basadas en la autenticación de los nodos, la protección de

los datos sobre el encaminamiento y adicional la confidencialidad de los datos que viajan sobre los medios.

Es importante nunca descuidar el canal por el que viaja la información ya que cómo antes mencionado los ataques en este tipo de redes inalámbricas suceden por la falta de seguridad en el canal abierto debido a que viaja sobre el aire.

1.6.2. Detección y reacción.

La detección está orientada para el control y la monitorización de los nodos que constituyen la red, como se puede ver en la figura 15.

De lo contrario los mecanismos de reacción definen, como se debe gestionar la difusión sobre las intrusiones detectadas diseñando modelos de reputación, con el fin de poder tomar decisiones basados en un antecedente.

Las técnicas de reputación, el uso de este modelo trae consigo problemas que se puede mitigar con la ayuda de protocolos no uniformes que permitan auxiliar a la red como nodos centrales y poder realizar la gestión de seguridad. (Mayol, 2013)..

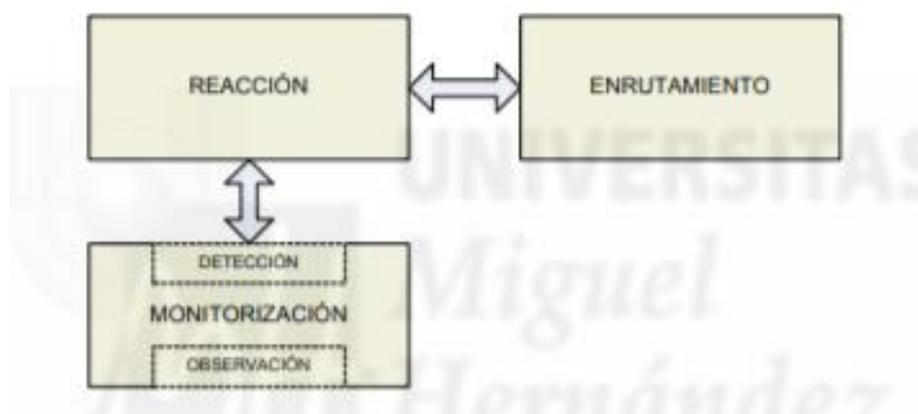


Figura 15. Diagrama de técnicas y gestión de reputación.

Tomada de: (Mayol, 2013).

1.6.3. La criptografía y sus tipos

Se utilizan para avalar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los recursos de un sistema. (Paredes, 2015).

1.6.3.1. La criptografía de clave simétrica

Es basada en el uso de una misma clave para cifrar y descifrar el mensaje de datos. En este tipo de criptografía queda la posibilidad de que alguien no permitido pueda visualizar los datos, consiga la clave secreta. Es un algoritmo eficiente y de bajo costo, pero la gestión es complicada. (Mendoza, s.f.).

1.6.3.2. La criptografía de clave asimétrica

Basado en el uso de dos claves diferentes, una para cifrar y otra para descifrar. Las claves generadas se asocian matemáticamente, siempre basado en la premisa de que una clave no puede descifrar lo que cifra. Al momento de implementar este tipo de criptografía el procesamiento aumenta, a costa de implementar una gestión de claves asequible. (Mendoza, s.f.).

1.6.3.3. Criptografía de cadenas hash

Son muy rápidas y ligeras, pero por sí solas no pueden ofrecer todos los servicios de seguridad requeridos y se tienen que complementar con mecanismos basados en clave pública o privada. (Mendoza, s.f.).

1.7. Tipos de códecs.

Es necesario topar este tema, ya que el término es muy conocido, pero no siempre se tiene claro cuál es la función, por tanto, un códec codifica y comprime los datos de un archivo vídeo o audio con el fin de aumentar la velocidad de transferencia o reducir su tamaño para que ocupe un menor espacio en las unidades de almacenamiento masivo. Cuando reproducimos estos archivos se descomprimen. Por lo tanto, este es un doble proceso, comprimir y descomprimir. Comprime para que el archivo sea más portable y descomprime para proporcionar todos los datos del archivo.

La decisión de usar un códec u otro para la transmisión de video y audio dependerá de los resultados que se necesitan y obviamente de la capacidad de los elementos que realicen las funciones de compresión y descompresión. Ya

que en ciertos momentos se necesita portabilidad de los archivos y fluidez, en otros casos los videos necesitan transmitirse a la mejor calidad posible tomando todos los valores de pixeles.

1.7.1. Historia MPEG

El subcomité de la ISO/IEC, forma una asociación la cual se la denomina MPEG, este se enfoca en estandarizar internacionalmente el desarrollo de la compresión, descompresión para poder captar audio y video.

Estos se conforman por fases las cuales son numeradas en base a las mejoras que se realizan.

La estandarización de MPEG se caracteriza por que el codificador no está estandarizado, pero si la forma que un decodificador interpreta la cadena de bits (Mitchel et al., 2000).

1.7.2. MPEG-1

Es uno de los primeros códecs en implementar la predicción inter-imágenes. El decodificador tiene la capacidad de compensar el movimiento.

1.7.3. MPEG-2

El estándar se elabora con el fin de la codificación estandarizada de imágenes en movimiento y sonido asociado para diversas aplicaciones, como: medios de almacenamiento digital, radiodifusión, es un formato usado para videos con velocidad de 40 Mbps (UIT-T, febrero 2000).

1.7.4. MPEG-4

El estándar se elabora con el fin de codificación genérica de imágenes en movimiento y sonido asociado para diversas aplicaciones, es orientado para poder conseguir una tasa de bit baja, la misma que funciona con gran eficacia en ambientes de gran movimiento y se utiliza en teleconferencias. (UIT-T, febrero 2000).

1.7.5. Advanced Video Encoding (AVC/H.264)

El uso inicial del AVC se enfoca en su principio para la transmisión de videoconferencia, pero en baja calidad, este formato con el tiempo se ha ido mejorando ya que con la tasa de muestreo de bits de este no se obtiene una calidad de video profesional, se necesita una tasa de 8 bits/muestra para la mezcla de escenas, poder representar algunas partes de video sin pérdidas y utilizar el sistema de color por componentes RGB. (UIT-T, mayo 2003).

Es conocido como un formato que codifica y decodifica audio y video con calidad (Full HD 1080), siendo este el ancho de la pantalla que se visualiza.

1.7.5.1. Características

- Se puede utilizar en infraestructuras nuevas o ya existentes, es realizado para poder visualizar video a grandes distancias.
- Se muestra 15% más eficiente al momento de codificar, con relación a otros estándares.
- Su uso está basado para la televisión HD, DVD-HD, Blue-Ray, videoconferencias.

1.7.5.2. Funcionamiento

Este funciona en base a predicciones, transformación y codificación de bits. Al momento de recibir una imagen o serie de estas realiza de codificación, transformación inversa y reconstrucción, con el fin de crear un video codificado. La reconstrucción es la réplica de más bits ayudando al procesamiento y a la calidad del video. En la figura 16 se puede ver el flujo completo por el que pasa los bits de video para que estos se puedan transmitir. Para el funcionamiento en H.265 se puede visualizar la figura 22

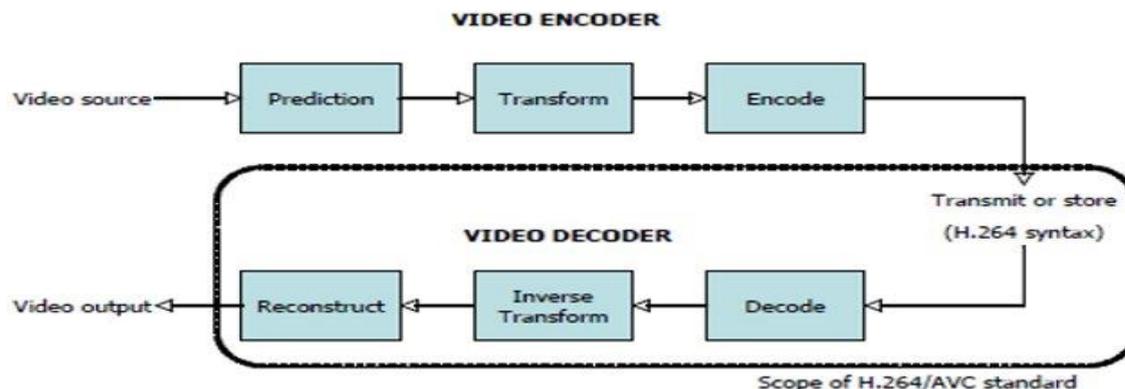


Figura 16. Flujo de codificación y decodificación.

Tomado de: (Vcodex, 2013).

1.7.5.3. Predicción

El fin de la predicción es encontrar un bloque similar basado en un fotograma de referencia que fue procesado anteriormente, al momento de realizar la variación de predicciones generadas a partir del macrobloque, y la búsqueda logra ser exitosa, se corrige el bloque por el bloque de referencia en base a la posición y valores de luminancia y crominancia en H.265. (Pastor F. S., 2016).

1.7.5.4. Transformación

Cada macrobloque es transformado a unidades de 4x4 u 8x8 y un máximo de 16x16, esta transformación genera un conjunto de coeficientes, formando un patrón estándar. Al unir estos patrones se recrea en sí al macrobloque principal. En el códec de HEVC este valor llega un máximo de 64 x 64 píxeles. (Pastor F. S., 2016).

1.7.5.5. Codificación

El fin de realizar este paso es generar un flujo de bits que se encuentre comprimido unos y ceros, haciendo posible que esto se pueda almacenar y transmitir por medio de una infraestructura. En el códec de H.264 se toman píxeles de 8x8 para transformarlos, en HEVC es un flujo variable. (Kannangara, 2013).

1.7.5.6. Decodificación

Obtiene la información necesaria, para que se pueda reconstruir la secuencia del video, basado en el flujo de bits recibido. (Pastor F. S., 2016).

1.7.5.7. Transformación inversa

Se usan los patrones estándar y los coeficientes redimensionados para que se puedan recrear cada bloque, para poder llegar al punto en que se combinan y forman el macrobloque. (Pastor F. S., 2016).

1.7.5.8. Reconstrucción

Une los macrobloques decodificados, esto con el fin de que se puedan mostrar como parte del video.

1.7.6. HEVC/ H.265

El estándar HEVC ha llegado a tener tanto alcance que se presume ser hasta dos veces más eficaz que la tecnología de AVC. Permitiendo este estándar mantener el nivel de calidad sobre la imagen captada. (Kannangara, 2013).

A comparación de H.264/AVC en donde los macrobloques tenían como umbral 16×16 píxeles, HEVC introduce el término Coding Tree Unit (CTU) el cual sustituye a lo que en AVC se conocía como macrobloque y que puede alcanzar dimensiones más grandes llegando a un máximo de 64 × 64 píxeles. (Pastor F. , 2016). Dentro de la figura 17 se puede observar la distribución de macrobloques que se da en HEVC. (Lee, 2018).

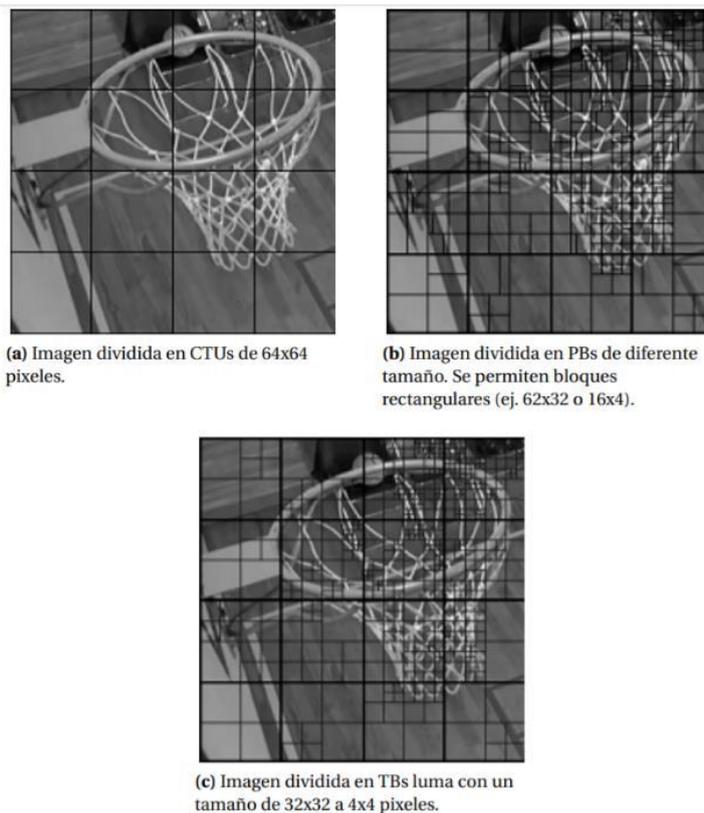


Figura 17. División de la imagen en los diferentes tipos de bloques.

Tomado de: (Lee, 2018).

Dentro de la diferencia que existe entre el estándar de H.264 vs H.265 es la capacidad de “Angular Intra Prediction”, esta tiene un grupo de 33 predictores direccionales, a diferencia de los 9 que muestra el predecesor H.264, este rango de predicciones se nota efectivo a compresión de H.264 al tratar de comprimir grandes cantidades de píxeles debido al movimiento. Dentro de la figura 18 se puede apreciar que el proceso de “Angular Intra Prediction”, es previo al bit streaming o envío de video. (Moinard, 2014).

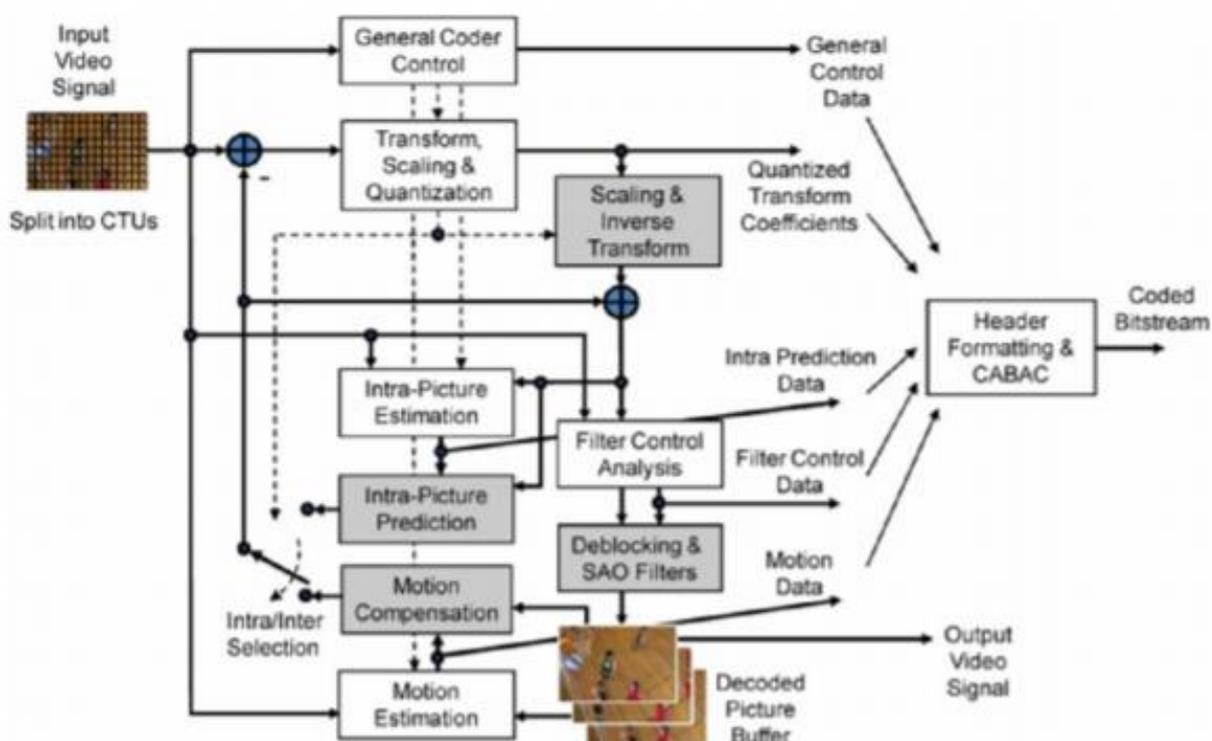


Figura 18. Flujo de codificación H.265.

Tomado de: (Moinard, 2014).

Dentro de códec. Se sabe que la fluidez del video depende de la cantidad de ancho de banda en función de los cuadros por segundo, dentro de la figura 19 se puede ver cómo una codificación de 12 frames por segundo afecta a los movimientos bruscos en el video, esto se considerada como un cambio de plano por la discontinuidad introducida. El consumo del ancho de banda depende los frames por segundo y por el bitrate que se tiene, el códec H.265 ayuda a que por medio de la compresión el ancho de banda se reduzca. En la figura 20 se puede observar la mejora de los protocolos en uso de ancho de banda. (Moinard, 2014).

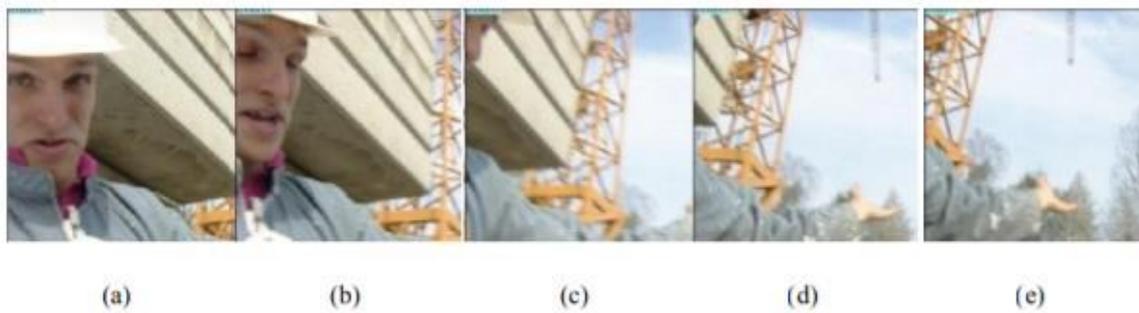


Figura 19. Movimientos bruscos que afectan la continuidad del video.

Tomado de: (TECTEL, 2018).

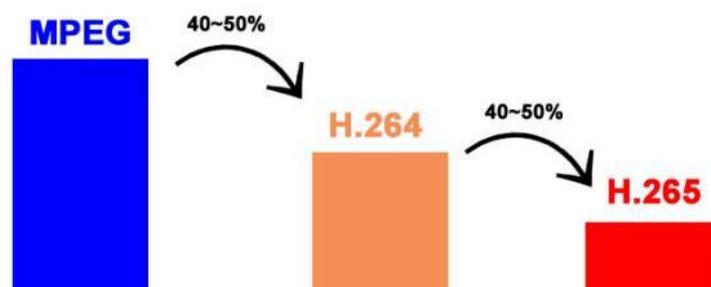


Figura 20. Consumo de ancho de banda en los diferentes códecs.

Tomado de: (TECTEL, 2018).

1.7.6.1. Métricas de calidad objetivas H.265/HEVC

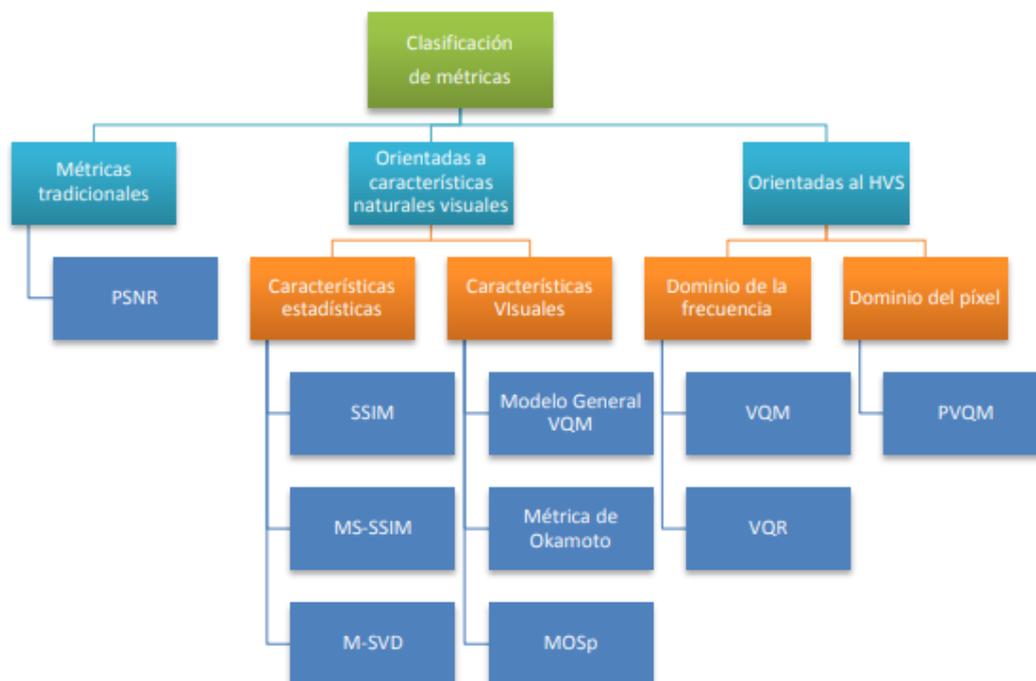


Figura 21. Métricas de medición.

Tomado de: (Morales, Estudio comparativo de los códecs H.264 y H.265, 2017).

1.7.6.2. Medidas Full Reference

Estas métricas son del tipo FR, ya que requieren de la referencia completa para poder ser calculadas. Estas medidas de calidad de video se basan en la diferencia que existe entre la imagen base y la imagen después de ser aplicada algún tipo de códec, para obtener esta diferencia se realiza de píxel a píxel, otro tipo de medida Full Reference es cómo se ha receptado la imagen y como es después de la reconstrucción de bits. (Joskowicz, 2011).

1.7.6.3. Métrica de error cuadrático medio (MSE - Mean Square Error)

MSE representa el error al cuadrado acumulado entre los valores estimados (compresión) y los reales, mientras que PSNR representa una medida del error máximo. El valor del MSE se obtiene por medio de la ecuación:

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

(Ecuación 5)

Para obtener el valor de RMSE se toma el valor acumulado de MSE y se elevan al cuadrado, se cumple también que mientras el MSE sea menor, el error también lo será. (Deepak Dembla, 2013).

1.7.6.4. Proporción Máxima de Señal a Ruido (PSNR Peak Signal to Noise Ratio)

El bloque PSNR calcula la relación pico de señal sobre ruido, lo que se intenta mostrar es la relación que existe entre la máxima energía de la señal, y el ruido que la afecta, esta se mide en decibelios, los valores típicos de PSNR en una compresión con pérdidas de imagen y video oscilan entre 30 y 50 dB, entre dos imágenes. Cuanto mayor sea el PSNR, mejor será la calidad, el fin de este algoritmo es observar la medida de calidad entre el original y la aplicada el códec. (Deepak Dembla, 2013).

1.7.6.5. El SSIM (Structural Similarity Index)

Es una medida de calidad objetiva para el ojo humano, fue creada en el año de 2004, la finalidad de este es poder tener un parámetro de calidad objetivo, siendo este lo más acercado a lo que puede visualizar el humano. (Izquierdo, 2017)

Se basa en que los humanos tienden a reconocer y visualizar formas y contornos de manera precisa. El ojo humano realiza esto obteniendo información estructural del campo de visión. La pérdida de la información estructural que se logra percibir se considera el degrado de la imagen. Esto se puede observar en detalle en la figura 22 la cual muestra cómo se toman los componentes de la ecuación, para después unirlos en las ecuaciones de las figuras 23 y 24. (Izquierdo, 2017).

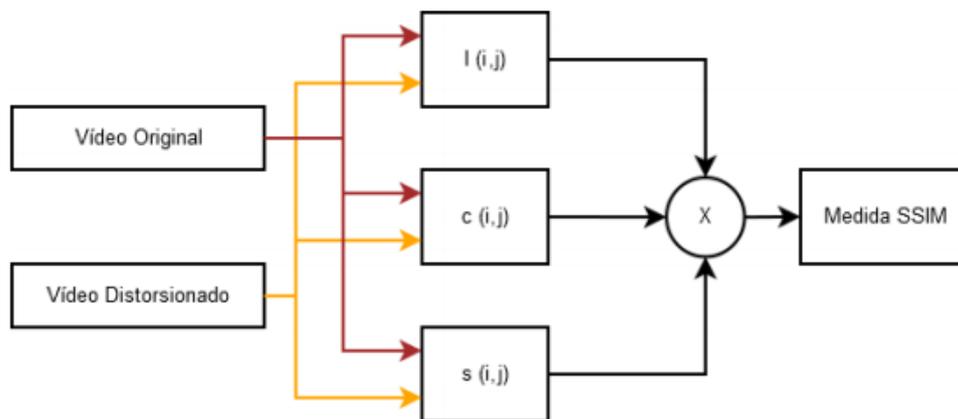


Figura 22. Medida SSIM.

Tomado de: (Izquierdo, 2017).

Por medio de la siguiente ecuación se obtiene el valor de SSIM:

$$SSMI(i, j,) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}$$

(Ecuación 6)

Los valores de los componentes vienen dados por las siguientes ecuaciones:

$$l(i, j,) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)}$$

$$c(i, j,) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}$$

(Ecuación 7)

SSMI tiene un rango de 0 a 1. Mientras el valor sea más cercano a 1 menos distorsión estructural habrá entre las dos imágenes, se pudiera llegar a obtener el valor de uno siempre y cuando las dos imágenes sean exactamente iguales. Dentro de la figura 23 se puede observar en el tercer escenario un valor no ideal que tiende a 1. (Izquierdo, 2017).

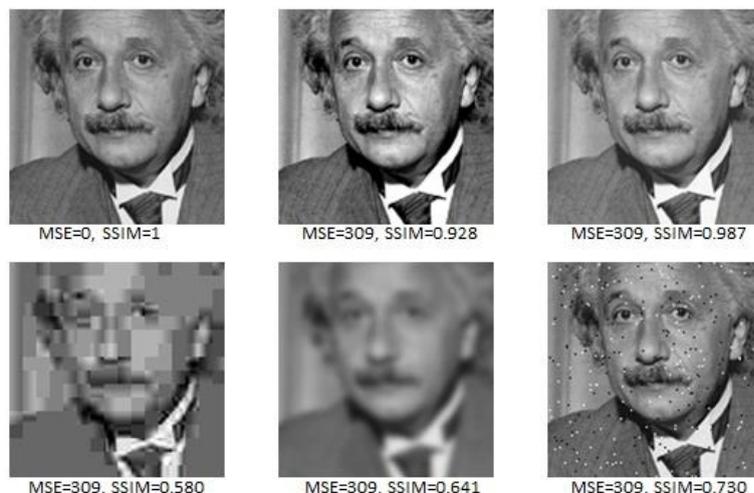


Figura 23. Valores variantes de SSIM.

Tomado de: (YaqiLYU, 2018).

2. CAPITULO II. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Este capítulo se centra en realizar un análisis de la topología de la red actual, con el fin de identificar la problemática actual que tiene el proyecto del “Diseño de un sistema de comunicación acoplado en drones utilizando dispositivos RASPBERRY PI” perteneciente a la carrera de telecomunicaciones. Con los datos que se obtengan de este apartado se podrá proponer una solución técnica para realizar la optimización del proyecto. Con base a estos problemas se podrán desarrollar alternativas basados en objetivos reales, llegando a obtener resultados más efectivos y con una mayor tasa de éxito.

2.1. Descripción del prototipo.

La solución previa consiste en el sistema de comunicación acoplado a dispositivos no tripulados, haciendo uso de dispositivos Raspberry Pi 3 B. Existen 3 placas de procesamiento (unidades móviles) y una unidad base de recepción (fija) que conforman la MANET, esto se puede observar en la figura 24. Cada dispositivo muestra una configuración con protocolo de comunicación OLSR por medio de la aplicación HSMM-PI el cual permite direccionar el tráfico entre ellas, hasta poder ser transmitido a la estación base que pertenece a una computadora con sistema operativo Windows 7.

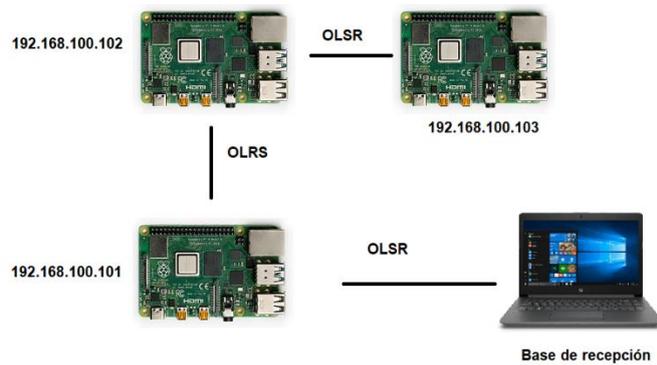


Figura 24. Diagrama de bloques modelo base.

Tomado de: (Duque, 2017).

Para el desarrollo del capítulo este se dividirá en cuatro secciones: La red MANET, nodos de la red MANET, sistema de transmisión y recepción y se adicionan los sistemas de alimentación.

Los datos que definen la problemática actual y los que necesitan ser mejorados se muestran en la tabla 2. La optimización se podrá ver reflejada en base a estos valores en función de su nivel de potencia y latencia de video.

Tabla 2.

Toma de datos modelo base.

DISTANCIA	NIVEL	VIDEO (Latencia)
0	-30	REAL
10	-57	REAL
20	-70	REAL
30	-74	REAL
40	-77	MEDIO
50	-79	MEDIO
60	-80	MEDIO
70	-82	MALO

Adaptado de: (Duque, 2017)

2.2. La red MANET

2.2.1. Funcionamiento de la red MANET.

Esta está compuesta por 3 dispositivos Raspberry Pi 3 B, esta tiene precargado

un sistema operativo NOOBS en una tarjeta SD, dentro del sistema operativo se define una dirección IP estática para el funcionamiento de la red-, dentro de la figura 25 se puede observar las direcciones 192.168.10.101/102/103 respectivamente para cada dispositivos que hará los procesos de ruteo de información, la red MANET logra tener conexión entre cada uno de los nodos y la base, por medio del protocolo de comunicación OLSR, este se implementa en la red por medio del aplicativo HSMMI-PI, permitiendo que el protocolo genere tablas, en la cuales pueda medir los saltos y calidad de señal que existe entre cada uno de los nodos y lo pueda mostrar en una interfaz web en la base de la red, en la que se puede validar la transmisión de video que se generan a través de las cámaras conectadas a los dispositivos Raspberry Pi 3b esto con ayuda del aplicativo Mplayer instalado la base.

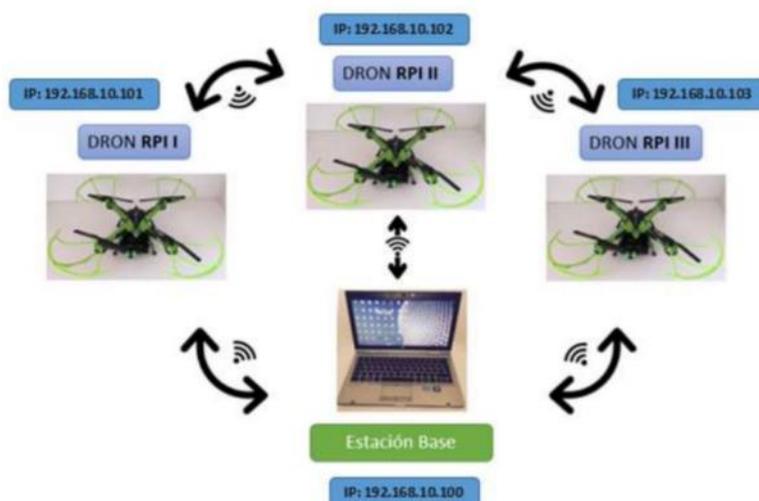


Figura 25. Diagrama de bloques modelo base.

Tomado de: (Duque, 2017).

2.2.2. Raspberry Pi 3 B

Este elemento de procesamiento es utilizado en el diseño de la red, ya que contiene ciertas características que permiten realizar procesos de transmisión de video y ruteo de información, logrando cumplir los objetivos del proyecto.

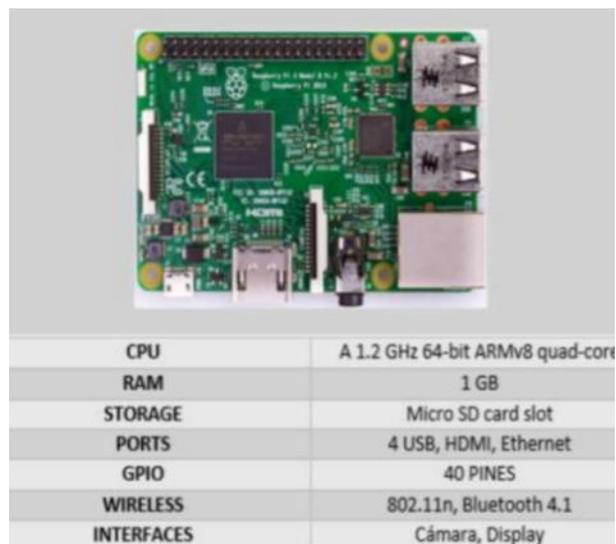


Figura 26. Raspberry Pi 3.

Tomado de: (Pi Supply, 2017).

Las características que publica el proveedor de estos dispositivos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.

Características de Raspberry Pi 3.

Procesador	Memoria RAM	Memoria Caché	Multimedia:	Alimentación	HDMI	Wi-Fi	Precio
Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU	1 GB LPDDR2	32kB a nivel 1 y 512kB a nivel 2	H.265 / H.264 / OpenGL ES, gráficos 3.0	MicroUSB	HDMI	2,4 BCM43438 wireless LAN	€ 33.95 / \$ 65.00

Adaptado de: (Pi Supply, 2017).

2.2.2.1. Mejoras en la placa base.

El proyecto basado en la transmisión de video por medio de la red MANET, necesita de equipos que puedan hacer las veces de ruteador y de la misma

manera de cliente, para realizar estas actividades estos equipos necesitan tener características de hardware mínimas como por ejemplo su procesador, memoria RAM y su estándar de conectividad. (Sergio Barrachina Mir, 2016).

Es importante recalcar que Raspberry Pi es un minicomputador, el cual su funcionamiento se basa en pequeñas variaciones, del modelo de Von Neumann, este se puede observar en la figura 27, este define el funcionamiento de un ordenador de la siguiente manera: Procesador, memoria y dispositivos de entrada y salida los cuales son los que interactúan con el usuario final. (Sergio Barrachina Mir, 2016).

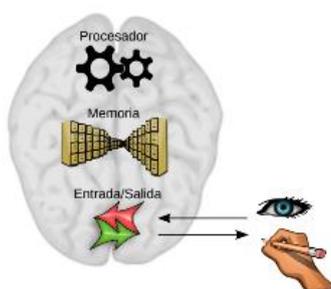


Figura 27. Diagrama de bloques modelo base.

Tomado de: (Sergio Barrachina Mir, 2016).

2.2.2.1.1. Procesador.

El procesador se considera como el corazón de cualquier tipo de equipo informático. El rendimiento global del equipo va a depender directamente del procesador, ya que se encarga de llevar a cabo el procesamiento general todas las tareas y de alimentar otros componentes. (Beekman, 2005).

Es esencial entender que el procesador trabaja en conjunto RAM, lo que realiza esta RAM, es que en un momento determinado almacena datos e instrucciones de los programas en ejecución. (Pedruelo, 2011).

El muy conocido performance de un procesador depende directamente de varios factores de forma simultánea. Por lo que se torna complicado definir el uso de uno de estos, para satisfacer los requerimientos de ciertas tareas concretas.

Uno de los valores que se tiene al escoger un procesador es la frecuencia, este valor es una medida de velocidad, para entender este valor se da un ejemplo:

Se dice que se tiene un procesador de 1,6 GHz, sabiendo que 1 GHz es igual a 1.000.000.000 ciclos por segundo, en consecuencia, se tendrá el reloj interno oscilando a 1.600.000.000 veces por segundo. Las operaciones que se realizan en el procesador son sincronizadas con este reloj, por lo que se puede afirmar que la velocidad máxima de las placas de procesamiento viene definida por el ritmo al que oscila este reloj. (Beekman, 2005).

La arquitectura y el tamaño de los registros internos del procesador. Marca el tamaño máximo de los datos que se puede manejar en una sola operación.

A pesar de verificar estas características para el procesamiento, existen procesadores que mantiene la misma cantidad de GHz y el mismo número de registro, para esto desde ya hace muchos años atrás se ha venido implementando el multi procesamiento, un ejemplo de esto es el uso de entre 2 y 4 aplicaciones de manera concurrente, como usuario final se tiene la sensación de estar ejecutando estas aplicaciones de manera concurrente, cuando la realidad es diferente, esto sucede cuando se utiliza un procesador mono núcleo, las operaciones empiezan ser encoladas con diferentes métodos, con el fin dar turnos y en cada uno de estos limitar el número de instrucciones. Este proceso se realiza a una velocidad tan alta que se vuelve imperceptible para el usuario. Pero si se toma de ejemplo un procesador con dos núcleos, tiene la capacidad de ejecutar dos instrucciones simultáneamente de dos programas diferentes, sin tener que aplicar métodos de encolamiento de tareas. (Beekman, 2005).

Si en un momento se ejecuta un programa muy exigente por ejemplo juegos o se está realizando el proceso de convertir una película a otro formato, el uso de múltiples núcleos permite balancear la carga, se dedica solo uno de ellos para la tarea más saturada y el otro queda libre para usar el ordenador, evitando los problemas de lentitud. (Beekman, 2005).

Se identifica que dentro del proyecto base se tiene un procesador del tipo Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit, Este es el chip Broadcom utilizado en la Raspberry Pi 3, este procesador se utiliza en su antecesor la Raspberry Pi 2, existe una diferencia en base al procesador y esta es que se logró reemplazar el clúster de cuatro núcleos ARMv7 con un clúster ARM Cortex A53 (ARMv8) de cuatro núcleos.

Los núcleos ARM funcionan a 1.2GHz, haciendo que el dispositivo sea aproximadamente un 50% más rápido que el Raspberry Pi 2. El VideoCore IV funciona a 400MHz.

Analizando las características de este dispositivo se plantea realizar mejoras ya que, al pasar del tiempo, en la familia de Raspberry Pi y otras como Orange Pi, Nvidia, Odroid, etc. Estas han ido aumentando la potencia de sus procesadores, con el fin de competir ante las necesidades de los clientes y de los nuevos servicios que se van creando. Así en próximos capítulos se podrá apreciar los nuevos procesadores ofertados por los proveedores en sus placas de procesamiento de los programas en ejecución, con la condición de que este almacenamiento sea temporal. (Pedruelo, 2011)..

Las memorias actuales son de tipo SDRAM (synchronous dynamic random access memory). Es una memoria que basa su funcionamiento sincronizándose con el reloj interno, para realizar operaciones de write y read (lectura y escritura). Existen diferentes variantes de las memorias RAM y esto viene dado por la capacidad de lectura de datos simultáneos 1 (SDRAM), 2 (DDR), 4 (DDR2) ,8 (DDR3) o16 (DDR4), es una ley que mientras más datos lea a la vez, más rápida será la memoria. (Pedruelo, 2011).

Dentro del proyecto previo se tiene implementado una memoria RAM de 1 GB DDR2. Analizando las características de este dispositivo se plantea realizar mejoras ya que, al momento de cambiar el procesador, también es necesario cambiar la memoria RAM, si esto no se hace, el procesador sin importar su capacidad no podrá guardar sus datos de manera temporal y esto limitaría el rendimiento del sistema. Adicional a esto se tiene que tomar en cuenta la cantidad de memoria caché (Pedruelo, 2011).

2.2.2.1.2. Memoria caché

La memoria caché se diseña para poder solventar el problema llamado embotellamiento de Von Neumann, ya que al tener por separado la memoria RAM y el procesador, el procesador solo puede ejecutar instrucciones a la misma velocidad que corre la memoria RAM. Su funcionamiento se basa en almacenar fragmentos del programa, logrando que este pueda acceder de manera

premeditada a la instrucción siguiente. (Fernández, 2015).

Existen dos tipos de memoria caché la denominada nivel 1 “L1” y nivel 2 “L2”. La memoria L1 es utilizada para acceder a datos importantes y de uso frecuente, un ejemplo de esto es las pulsaciones del teclado. Esta memoria es la más costosa que se tiene dentro del equipo, esto debido a la velocidad con la que procesa los datos. (Fernández, 2015).

El caché L2 o caché secundaria, se diseña para almacenar información que se visitó recientemente, reduciendo el tiempo para acceder a los datos ya utilizados. Es de vital importancia analizar este elemento, ya que al momento de realizar transmisión de video esta memoria caché tomará los datos en tiempo real para lograr transmitirlos sin retraso, mientras más memoria caché, el sistema podrá utilizar el buffer de una manera más efectiva. Se identifica que dentro del dispositivo en el proyecto se utilizó una memoria caché de 32kB a nivel 1 y 512kB a nivel 2. (Fernández, 2015).

2.2.2.1.3. Dispositivos I/O

El dispositivo que se usa actualmente dispone de entradas y salidas, las cuales se utilizarán para el ingreso de periféricos que permitan interactuar con los clientes, por ejemplo, Raspberry pi 3 contiene 4 periféricos USB 2.0, el cual permite la entrada de dispositivos como un teclado, un ratón, una cámara usb, etc. Adicional a esto contiene salidas de tipo bus para la Raspicam, dotando de una conexión más estable y con mayor velocidad. La salida de video para el Raspberry pi 3 se basa en H.264, MPEG-4 decodificador (1080p30); H.264 codificador (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics, esta decodificación de video permite apreciar imágenes que son captadas en 1080p30. (Raspberry Pi, 2016).

Dentro de este punto se puede realizar mejoras a nivel de software en la interacción entre el programa y los dispositivos. El único dispositivo I/O que se utiliza es la cámara, la cual es escogida de manera óptima, esto se fundamenta en que el dispositivo se acopla a la Raspberry mediante uno de los sockets

embebidos en la placa, utiliza la interfaz, haciendo uso de la interfaz CSI, el bus CSI transmite a muy altas velocidades, y solo transmite datos de pixeles, siendo esto una manera óptima de hacer uso de la interfaz CSI. (Raspberry Pi, 2016)

Este dispositivo no se plantea cambiar ya que, si se hace esto se podrá obtener mayor cantidad de pixeles en una cámara, pero esto no será de mucha ayuda ya que el dispositivo no tiene la capacidad de codificar el tipo de imagen receptada. La cantidad de pixeles lo que logrará es mejorar la calidad, pero consumirá más ancho de banda. No es un cambio justificable. (Raspberry Pi, 2016).

2.2.3. Cámara Raspberry Pi.

El modelo utilizado, que se puede encontrar en el mercado es el P5v04C de Raspberry con la versión 1.3. tiene un bus de cables el cual se encuentra conectada directamente a la CSI del Raspberry PI3, tiene capacidad de captar 5MP y con una grabación de 1080 p a 30fps, cuenta también con un módulo de enfoque fijo, gracias a su bus de transferencia esta puede transmitir a velocidades altas. En la figura 28 se puede observar a la cámara hecha específicamente para RaspberryPi.



COMPATIBILIDAD	Raspberry Modelo A y B
MODULO	5MP Omnivisión 5647
IMAGEN	2592 x 1944
VIDEO	1080p @ 30fps 720p @ 60fps 640 x 480p 60/90
TAMAÑO	20 x 25 x 9 mm
PESO	3 gr.

Figura 28. Cámara de Raspberry Pi V1.3.

Tomado de: (Sergio Barrachina Mir, 2016).

El uso de la cámara en la placa de Raspberry Pi 3 B, tiene la función de capturar las imágenes o video, para después ser procesada y lograr ser transmitida por la

red. Esta cámara que se utiliza en el proyecto es de 5MP conectada por medio de un cable de bus. (Sergio Barrachina Mir, 2016).

Como se había indicado antes, la capacidad de la cámara es de 1080P a 30 FPS, dotando al sistema de una gran calidad de video, esta calidad de video va a depender del códec en el que se realice la transmisión. Dentro de este proyecto se codifica por medio de H.264, siendo el códec más adaptado, ya que el ancho de banda consumido por la cámara no será muy alto debido a los píxeles de esta, pero siempre es importante aplicar el códec ya que si no se lo hace se puede llegar a tener un consumo de ancho de banda triplicado a comparación del video codificado. (Sergio Barrachina Mir, 2016).

2.2.4. Memoria microSD

Las placas Raspberry Pi puede funcionar con cualquier tarjeta que tenga como mínimo capacidad de 8gb, dentro del proyecto base, se utiliza una memoria SD de una capacidad de 8gb, la clase de la memoria es de clase 8, esta se utiliza ya que viene con el kit. (Raspberry Pi, 2016).

2.2.4.1. Mejoras en la memoria SD.

Como el Raspberry Pi depende completamente de la tarjeta de memoria para funcionar, si esta es de clase baja el sistema tardará mucho en arrancar y correr las aplicaciones, otro problema es que es muy lento a la hora de escribir datos en la propia memoria. El uso de una memoria de baja clase y mala calidad pone en riesgo la información, ya que, al tener conectado por un largo periodo de tiempo un sistema que hace veces de servidor, este puede fallar y perder la información almacenada. (SanDisk®, s.f.).

Para poder realizar una mejora es importante entender todas las clases de memoria que existen en el mercado, y cuáles son sus beneficios al utilizarlas.

Hay tres grupos principales de tarjetas de memoria SD. estos son SD, SD High Capacity (SDHC [™]) y SD Extended Capacity (SDXC [™]). Estas tarjetas dependiendo de ciertas características como su clase y su velocidad USH definen el rendimiento de estas. Dentro de la tabla 4 se puede observar la comparación que existe entre cada una de ellas, y como diferenciar en base a

su logo el tipo de memoria. (SanDisk®, s.f.)

Tabla 4.

Características de las memorias SD.

SD	SD High Capacity (SDHC™)	SD Extended Capacity (SDXC™).
		
128MB a 2GB	4GB a 32GB	64GB a 2TB
FAT16	FAT32	exFAT
Todos los dispositivos compatibles con SD, SDHC, o SDXC	No es compatible con dispositivos que soportan sólo tarjetas SD (128MB-2GB).	Las tarjetas SDXC funcionarán en lectores compatibles con SDHC y SDXC.
	La mayoría de los lectores y dispositivos construidos después del año 2008 son compatibles con SDHC	Los lectores internos de tarjetas en portátiles del 2008 y anteriores por lo general no admite tarjetas SDXC.

Adaptado de: (SanDisk®, 2019).

Dentro de los de 2011 se introdujo un término, el conocido UHS, esta es una mejora sobre la interfaz ante las SD originales. (Silva Rodriguez, 2011)

La variación existente para el año del 2019 es la UHS-II, dentro del estándar se aceptan velocidades teóricas de 156MB/s y 312MB/s sobre arquitecturas de bus. (Silva Rodriguez, 2011).

2.2.3.1. Clase y velocidad UHS

La clase que define el proveedor de la memoria, garantizada, la velocidad mínima de tarjetas SDHC y SDXC. Esta clase se elige en base al requerimiento, cantidad de datos de flujo continuo es directamente proporcional a la resolución y a la calidad de códec implementado, Se necesita por lo mínimo una memoria SD clase, con un flujo de datos de 6MB/s. Para transmitir un video sin cortes. Dentro de la tabla 5 y de la tabla 6 se puede observar el tipo de memoria de clase media a diferencia de las de alto flujo como las UHS, llegando a tener velocidades de 10MB/s (SanDisk®, 2019).

Tabla 5.

Velocidad de acuerdo con la clase de memoria.

Clase	Velocidad Mínima
2	2MB/s
6	6MB/s
10	10MB/s

Adaptado de: (SanDisk®, 2019).

Tabla 6.

Velocidad UHS II y II.

Clase	Velocidad
UHS	Mínima
1	10MB/s
2	30MB/s

Adaptado de: (SanDisk®, 2019).

2.3. Sistema de comunicación.

El sistema de comunicación del sistema base, se compone por las antenas que llevan montadas las placas Raspberry Pi 3, entonces, las placas que se encuentran transmitiendo video, sería la fuente del sistema, esta información se transmite por medio de las antenas, esta del tipo BCM43438 wireless LAN, configurada para trabajar a 2.4GHz, disponible CON el estándar IEEE 802.11.b/g/n, dentro de los parámetros de envío se ha se la logrado transmitir con un ancho de banda de 21.2 Mbps. Los dispositivos cumplen con la capacidad de poder realizar una red Ad-Hoc, para poder utilizar los protocolos de encaminamiento como es el OLSR.

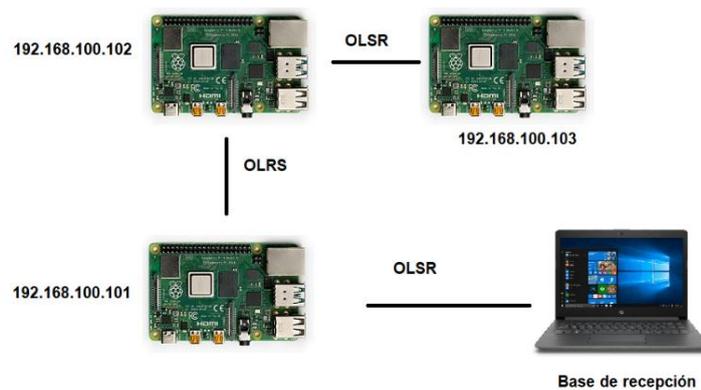


Figura 29. Diagrama de Red MANET modelo base.

Tomado de: (Duque, 2017).



Figura 30. Diagrama de elementos SW en la base.

Tomado de: (Duque, 2017).

2.3.1. Funcionamiento de las antenas.

El funcionamiento de este sistema se basa en la transmisión y recepción de ondas que viajan por el aire, logrando captar la transmisión de video que genera cada uno de los nodos integrantes de la MANET, el funcionamiento de la red se genera por medio de la Cypress CYW43438 es una solución de un solo chip creado especialmente para dispositivos portátiles. Ya que una de las características de este es que utiliza técnicas de diseño avanzadas y tecnología de procesamiento para reducir la potencia activa e inactiva, consumo mínimo de energía y un tamaño compacto. (Cypress, 2020).

El chip incluye una WLAN 2.4 GHz IEEE 802.11 b/g/n/MAC/banda base/radio, Soporte Bluetooth 4.1 y un receptor FM. Para lograr integrar una potencia de salida mejorada, esta integra un amplificador de potencia (PA). (Cypress, 2020)

La interfaz de host WLAN admite los modos GSPI y SDIO v2.0, otorgando una velocidad teórica de transferencia de datos sin procesar, de hasta 200 Mbps cuando se opera en modo de 4 bits a una frecuencia de bus de 50 MHz. (Raspberry Pi, 2016).

Después de haber logrado crear los nodos de la red, se tiene la necesidad de que se aplique el protocolo de comunicación, dentro del proyecto se implementó OLSR, con ayuda de la herramienta HSSM-PI la misma que ayuda administrar desde una interfaz web la configuración de los nodos.

2.3.2. Mejora en el funcionamiento de antenas.

Se decide mejorar el sistema de antenas, ya que, al momento de utilizar las

antenas incorporadas dentro del dispositivos, no se puede lograr tener un amplio alcance, por la potencia y sensibilidad de las antenas es necesario que para mejorar este punto los dispositivos deben ser compatibles con los estándares de redes inalámbricas, adicional a esto, si los dispositivos no cuentan con capacidad de poder generar nodos Ad-hoc estas tampoco serán útiles, otro aspecto muy importante es la compatibilidad de drivers con las placas de procesamiento, ya que si estas no pueden ser reconocidas por el dispositivo las antenas funcionarán parcialmente, solo brindando ciertos servicios. Al momento de realizar la mejora en este punto, se podrá aumentar el ancho de banda de transmisión, alcance, estabilidad. Las desventajas de utilizar un dispositivo externo recaen sobre el consumo energético y el peso de estos dispositivos sobre el sistema.

2.3.3. Funcionamiento protocolo de comunicación.

OLSR es un protocolo proactivo que se basa en el estado de los enlaces. Es desarrollado para trabajar por separado de otros protocolos. El protocolo minimiza la sobrecarga por inundación de control de tráfico usando nodos con el rol de MPRs (Multipoint Relays), Para evitar que el flooding se realice a todos los integrantes de la red, el MPRs tiene la tarea de la retransmisión de los mensajes de control, tomando en cuenta que OLSR solo requiere información parcial del estado de enlace para inundar la red. (Hidalgo, 2008).

Este protocolo es el encargado de gestionar la comunicación y transmisión del tráfico entre nodos, que se utiliza para la interconexión dentro de la red MANET, este protocolo ayuda a comunicar a todos los equipos que se encuentran dentro del rango de la red y con un rango de dirección IP perteneciente a esta. El descubrimiento de los nodos se hace por medio de los procedimientos *HELLO* y *TOPOLOGY CONTROL*, tal como se explica en la figura 31, este protocolo se utiliza para conocer el camino más corto para llegar al destino, esto se logra por medio de la información parcial del estado que se tiene de cada nodo. (Hidalgo, 2008).

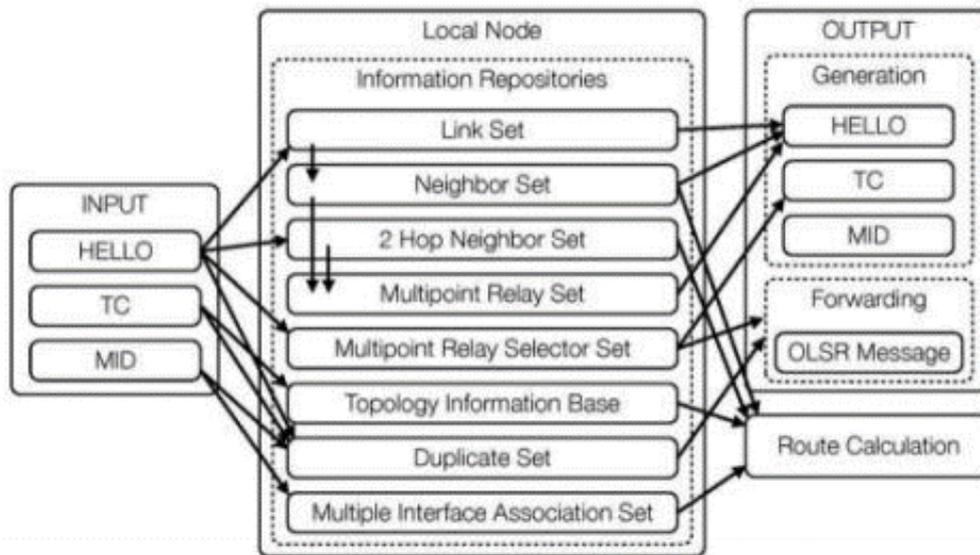


Figura 31. Diagrama de flujo del funcionamiento de OLSR.

Tomado de: (Duque, 2017).

2.3.4. Mejora en protocolo de comunicación.

Para explicar la motivación inicial en lo que es la mejora en el protocolo de la red con pérdida, se mencionan ciertos aspectos que son desventajas del protocolo implementado.

El protocolo OLSR como se especifica en RFC 3626 no era completamente funcional en escenarios prácticos. Las pruebas realizadas en 2004 en la conferencia Wizards of OS mostraron varios problemas, como las tablas de enrutamiento que demoraron mucho tiempo en acumularse logrando así crear bucles.

Todas las decisiones de enrutamiento se basan en el hecho de que cada nodo tiene (principalmente) la misma información en un momento dado. Cuanto más difiera esa información entre los nodos en una red, aumenta la probabilidad de cosas como los bucles de enrutamiento, bastante difícil mantener dicha información sincronizada en entornos con pérdida como las redes de malla inalámbricas. (Open-Mesh, 2009).

Se decide mejorar el protocolo por estas razones, ya que actualmente existen nuevas soluciones que permiten migrar del protocolo de OLSR a protocolos optimizados que trabajan en diferentes capas del modelo OSI como es la capa de datos, esta simulación logra mejorar lo máximo la velocidad de conexión de manera inteligente. (Open-Mesh, 2009).

Para tratar de implementar nuevos protocolos es necesario tener en cuenta el número de nodos que se va a tener, ya que existen casos que en ciertas condiciones reaccionan mejor ante el retraso, OLSR no es uno de los casos, ya que este reacciona mejor ante una cantidad de nodos bastante alta como se ha realizado en pruebas de simuladores como lo indica en el documento de (Trimiño, 2015).

2.4. Sistema de recepción.

2.4.1. Funcionamiento del sistema de recepción

Dentro del sistema base, el sistema de recepción, se utilizó para realizar múltiples acciones. El sistema se utilizó para poder configurar los parámetros de los nodos por medio del aplicativo HSSM-PI, por vía web PHP, logrando realizar la comunicación con el protocolo y poder realizar ciertas validaciones en los enlaces de la red mallada.

Dentro del dispositivo de recepción, se instala NETCAT, este con el fin de poder enviar los comandos de transmisión al equipo, y adicional el transmisor de video, en este caso MPLAYER, este reproductor lo que nos permite es decodificar el video para poder visualizarlo.

Se logrará tener acceso a los nodos por medio del primer nodo, conectándonos a la red MANET. Esto se hará por medio de direccionamiento estático dentro de la computadora.

El sistema operativo en la cual corre todos estos programas y configuraciones se realizan sobre Windows 7, este sistema operativo para el presente año ha dejado de tener soporte y actualizaciones, lo que lo vuelve obsoleto. Esto no quiere decir que no tenga buenas características para las redes MANET, de hecho, se indica en la página oficial de Windows que es el único sistema que por predeterminado muestra la configuración de redes Ad-hoc sin mostrar problemas

de configuración al levantar la red, esto con la limitante de que el chip de la antena debe tener el estándar adecuado.



Figura 32. Estación base de recepción.

Tomado de: (Duque, 2017).

2.4.2. Mejora en el sistema de recepción.

Dentro de la mejora, se propone estandarizar la infraestructura, esto haciendo referencia a que todos los SO dentro del sistema sean de software libre, esto hará posible la implementación del protocolo directamente en las configuraciones sin tener que descargar la herramienta de HSSM-PI en Windows, formando parte de la red este nodo.

El uso de la plataforma HSSM-PI, puede cambiar, ya que, al momento de implementar otro protocolo, este ya no será útil.

Otra de las mejoras posibles de realizar en el sistema es la implementación de una nueva herramienta de reproducción de video ya que como se indica en el proyecto anterior se utiliza una versión del año 2016 de Mplayer (Duque, 2017), dejándolo ya obsoleto, ya que al presente año se han venido implementado nuevos códecs de video como son el VP9 y HEVC (H.265).

2.5. Sistema de alimentación.

2.5.1. Funcionamiento del sistema de alimentación.

Las palcas de Raspberry Pi dentro del proyecto previo son alimentadas por

bancos de batería, ya que, por motivos de conexión y que la batería del drone está específicamente diseñada para su consumo, se podrían dañar elementos del drone por la baja alimentación de este, otro de los problemas es que si la conexión a batería llega a fallar o los requerimientos en un momento en el que el ambiente cambie bruscamente y se tenga corrientes de viento, los motores tendrán que consumir más energía y debido a la conexión del Raspberry Pi esto no se podrá otorgar de manera efectiva, por lo que hará colisionar a este dañando un nodo o todos los nodos del sistema.

	Zero	Zero W	A+	A	B+	B	Pi2B	Pi3B
	/mA	/mA	/mA	/mA	/mA	/mA	/mA	/mA
Idling	100	120	100	140	200	360	230	230
Loading LXDE	140	160	130	190	230	400	310	310
Watch 1080p Video	140	170	140	200	240	420	290	290
Shoot 1080p Video	240	230	230	320	330	480	350	350

Figura 33. Consumo de modelos Raspberry Pi.

Tomado de: (Computerhoy, 2017).

2.5.2. Fuente de alimentación.

La fuente de alimentación es un banco de poder, el cual tiene capacidad de 12000 mAh, esto según las pruebas del modelo base, este puede tener una continuidad de uso de 5 horas, por lo que esto no es óptimo al momento de montar el sistema, ya que este se encuentra acoplado a drones los cuales tienen un tiempo de vuelo de 20 minutos y un tiempo de carga estimado de 2 horas, por lo que colocar una fuente de poder de 5 horas de autonomía es algo poco útil.

Lo que si dota a este sistema es la capacidad de poder acoplarse a otros dispositivos móviles. Y seguir funcionando, mientras el drone se carga.

El banco de poder utilizado en el sistema tiene las siguientes características:



Figura 34. Banco de poder.

Tomado de: (Duque, 2017).

2.5.3. Mejora del sistema de alimentación.

Dentro de la mejora de este sistema, se encuentra la reducción del tamaño del banco de poder, eso también en su capacidad ya que este será reducido a la mitad en capacidad en mAh para poder tener menos tiempo de uso del sistema, pero este ayudará a que nuestro vehículo no tripulado a que tenga mayor autonomía. Realizando de esta manera un balance en lo que es el peso, el consumo y el esfuerzo que realiza el dron al tener la carga de este.

Una de las mejoras importantes que se pueden hacer dentro del sistema es la adición de baterías del tipo Li-Po las cuales pueden ayudar a reducir el tamaño y otorgando la cantidad necesaria de energía para el sistema en funcionamiento.

3. CAPITULO III. PROPUESTA DE OPTIMIZACION DE DISEÑO DE SOFTWARE Y CONFIGURACIÓN

3.1. Descripción del capítulo

Dentro de este capítulo, se abordan los temas que necesitan ser optimizados a nivel de software y configuraciones, este capítulo trata de solventar las desventajas que se han presentado en el modelo dentro de los elementos de software se realiza un análisis del sistema operativo instalado, reproductor de video, codificación de video, protocolo instalado

Dentro del capítulo se hará énfasis en la instalación y configuración del sistema operativo, configuración del protocolo, uso de los parámetros a nivel de video y configuraciones de aplicaciones para el consumo de CPU, el fin de realizar estos ajustes es para que el sistema en base a las configuraciones nuevas logre ser óptimo. Estas configuraciones están basadas en el estudio previo en donde se identificaron problemas de retraso sobre el sistema, estos causados por varios factores como son los protocolos implementados, configuraciones sobre el video, y falta de control sobre las configuraciones aplicaciones en segundo plano y elementos no utilizados.

Este capítulo es primordial para poder llegar a la optimización de hardware, ya que basados en el consumo de procesamiento y consumo energético de este se puede dar opción a los elementos necesarios para poder suplir las necesidades que se necesitan para realizar la optimización.

3.2. La red MANET.

Para la red MANET primero se necesita definir con que sistema operativo se va a implementar la solución, ya que, dependiendo de las placas de procesamiento, se necesitan llevar un sistema operativo acorde a esta, y que pueda solventar los requerimientos del sistema. Dentro de la red actual se utilizó el asistente de instalación para Raspbian (NOOBS) para poder implementar el sistema operativo de Raspbian, en base a la investigación, el uso del asistente de instalación, no es lo más eficiente al momento de empezar con Raspberry, ya que este no es un sistema operativo en sí, selector del sistema operativo, el problema de este es que al realizar estos procesos sin un debido control, este instala complementos que no son necesarios al momento de empezar el sistema, por lo que se propone obviar el uso del selector de sistema operativo y pasar directamente a la instalación, sólo por el uso de comandos, logrando evitar el consumo de espacio de almacenamiento.

Es importante que, para el uso e instalación de este sistema, no se utilicen interfaces gráficas, basados en los conceptos de Samsung, se indica que para reducir el consumo de energía dentro de los sistemas móviles se necesita, reducir la resolución de la pantalla y el brillo, deshabilitar aplicaciones que corren

en segundo plano, desconexión de redes inalámbricas que no se utilizan y limitar la velocidad del CPU. (Samsung, s.f.).

Tabla 7.

Diferencias entre CLI y GUI.

GUI	CLI
Permite al usuario interactuar con dispositivos electrónicos con la ayuda de iconos gráficos e indicadores visuales. Llegando a tener mayor consumo debido a los periféricos utilizados.	Permite al usuario dar un comando para interactuar con un dispositivo electrónico, por medio de un solo periférico.
La interfaz gráfica de usuario es visualmente intuitiva logrando ser más fácil para principiantes.	Debido a la necesidad de recordar comandos, es difícil de manejar y requiere experiencia.
Requiere más memoria ya que consta de muchos recursos gráficos.	Requiere menos memoria en comparación con la GUI.
Más flexible que CLI	Menos flexible que la GUI

Teclado y ratón	Teclado
Alto en comparación con el CLI debido a que siempre está corriendo procesos en segundo plano para presentar la GUI,	Consumo de energía bajo, esto se debe a los bajos recursos que utiliza.

Adaptado de: (*Geeksforgeeks, s.f.*).

Dentro de la figura 35 se puede observar la diferencia que existe al usar los colores de la gama RGB contra el color negro, que este viene siendo la ausencia de estos tres colores.

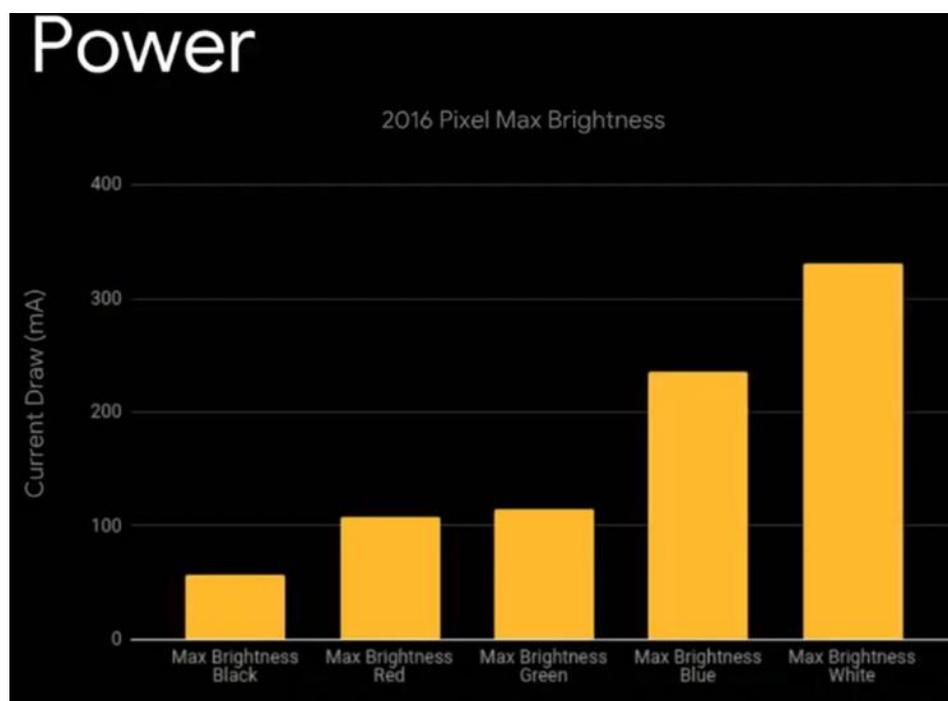


Figura 35. Consumo energético de los diferentes colores en base a mA.

Tomado de: (*Sergio Barrachina Mir, 2016*).

3.2.1. Tipos de SO para placas de procesamiento

Es importante saber que, para el uso de las placas de procesamiento, los sistemas preferidos a instalar son los que viene de la familia de Linux; Debian, Ubuntu, Fedora, Archlinux, Kali Linux, Android etc. Se escoge esta familia de sistemas libres, ya que existe una gran variedad de dispositivos que se adaptan a este. A continuación, se detallan los sistemas más utilizados en las placas de procesamiento para la video transmisión sobre la red MANET.

3.2.2. Raspbian

Es útil para trabajar con placas Raspberry, como uso de este sistema, se han derivado familias alternas que pueden ser orientados a una actividad en específico. Y eso es lo importante de este sistema, la flexibilidad. Se puede decir que este es el SO oficial de Raspberry PI, dentro de sus características es que está tiene instalada con gran variedad de librerías, para poder dar uso a uno de estos dispositivos es necesario un nivel de programación intermedio, por ejemplo: Python, Scratch, Sonic Pi, Java, Mathematica, etc. (Raspberrypi, s.f.).

Dentro de estas librerías se encuentra el uso de la herramienta HSSMI, específicamente diseñada para Raspberry Pi, esta característica hace que, para la implementación de protocolo en redes malladas, se torne más sencillo, a diferencia de las demás distribuciones Linux. (Raspberrypi, s.f.).

El uso de Raspbian es una opción bastante acertada, ya que Raspberry ha venido ganando campo en estos últimos años, por lo que los recursos para investigación, solventar problemas, configuraciones, etc. Son bastante amplios y se puede realizar una investigación de manera más eficiente y verás.

Por el precio que tienen estos dispositivos, la comunidad ha ido creciendo hasta poder crear foros en donde se pueden observar proyectos previos en donde basarse.

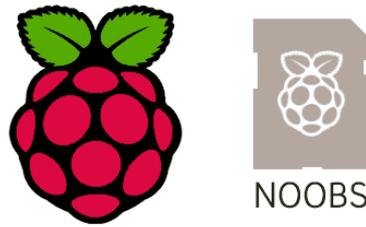


Figura 36. Sistema operativo Raspbian de Raspberry.

Tomado de: (Raspberrypi, s.f.).

3.2.3. Ubuntu

Es el sistema operativo que se utiliza para escritorio Linux, es uno de los más conocidos y esta versión también dispone de varios tipos, como, por ejemplo: Ubuntu para Raspberry pi, también existe Ubuntu Mate para Raspberry pi, uno de los grandes sistemas próximos a ser usados en IoT es el de Ubuntu Snappy Core. (López, 2020).

El uso de Ubuntu tiene ventajas y desventajas, Ubuntu en sus versiones de escritorio es una plataforma abierta bastante completa, pero si nos vamos a las versiones en las que se instalan en las placas de procesamiento, este empieza a tener bastantes limitantes, Ubuntu en la versión 18.04, se implementa en placas de procesamiento de alto costo, lo que dificulta la capacidad de poder realizar investigación, o poder solventar dudas. Este sistema operativo para placas de procesamiento se ha ido puliendo para los sistemas de IA, que están tomando fuerza en la época actual. Los dispositivos en los que se instala este sistema operativo rondan los \$120. (López, 2020).

Uno de los grandes avances que tiene Ubuntu en su versión 18.04, es que contiene un manejo de energía, el cual funciona para la autonomía de dispositivos, este se puede reducir hasta 5 w. (Nvidia, 2020).

3.2.4. Armbian

Armbian es una plataforma de sistema operativo base, para computadoras de placa única. El logo de la distribución está presente en la figura 37.

Es un tipo de distribución lite basada en Debian o Ubuntu, se diseña

específicamente para las placas del proveedor Orange Pi con procesadores ARM. (Armbian, 2018).

Es un sistema operativo el cual tiene consigo muchas prestaciones, pero el problema es el uso de las placas Orange Pi, estas placas de procesamiento tiene problemas con el uso de librerías e instalación de drivers, además en las versiones Zero, las opciones se limitan a niveles sin interfaz gráfica, lo que torna complicado al momento de poder visualizar las implementaciones necesarias. (Armbian, 2018).



Figura 37. Logo Armbian.

Tomado de: (Armbian, 2018).

3.2.5. Propuesta de sistema operativo

Una de las razones por las que se opta por el uso de un sistema operativo de la familia Raspbian es por la gran comunidad que tiene al momento de buscar soluciones óptimas y que se han implementado en varios entornos. Adicional que el uso del sistema operativo Raspbian no tiene tantas limitantes a nivel de bibliotecas. Un ejemplo de esto son las bibliotecas que se encuentran colgadas en Github para usar la cámara, editar fotos y video. Estas pueden ser invocadas desde comandos ingresados por CLI o por scripts diseñados en Python.

Se toma este sistema operativo, porque es un sistema hecho para realizar actividades que no son de usuario. Cómo por ejemplo la escritura de documentos o la navegación WEB. Este sistema es específico para actividades de IoT, domótica, y en sus nuevas versiones con librerías para IA. El sistema de Raspbian también existe para otras distribuciones de placas.

El sistema de Raspbian no va a tener problemas con drivers ya que la placa Raspberry Pi viene adaptada para una gran cantidad de periféricos, las marcas que acepta Raspberry Pi para periféricos son las de TP-LINK, Logitech, Vivitar, Alfa, etc. Esto es una gran característica ya que para realizar mejoras en el

alcance del sistema se necesita de mejoras en el arreglo de antenas.

El uso de la placa define el sistema operativo, pero no siempre el sistema operativo define la placa.

3.3. Sistema de comunicación.

El sistema de comunicación es la parte fundamental, en donde se define cómo el dispositivo podrá lograr la conexión dentro de la MANET.

Dentro de este apartado se indican las mejoras a nivel de protocolo. Ya que, por esta configuración dentro de los dispositivos, el procesamiento que toma realizarlos consume varios recursos, pero la propuesta del dispositivo de procesamiento se verá en capítulos posteriores, revisando los componentes HW de este que puedan solventar los requerimientos de este procesamiento.

Tabla 8.

Características de la red MANET.

Dispositivo	Nombre	Dirección IP del nodo	Puerto de recepción	Protocolo de comunicación
Raspberry Pi 3b	Raspberry Pi 1	192.162.10.101	5001	OLSR
Raspberry Pi 3b	Raspberry Pi 2	192.162.10.102	5001	OLSR
Raspberry Pi 3b	Raspberry Pi 3	192.162.10.103	5001	OLSR

Tomado de: (Duque, 2017).

3.3.1. Propuesta de protocolo de comunicación.

El protocolo que se utilizaba anteriormente es el OLSR, pero este presenta ciertos inconvenientes en redes de corto alcance pudiendo crear bucles, estos problemas se pueden identificar en el capítulo dos. Para solventar este problema se decide utilizar un protocolo diferente, este se ha decidido por el uso de

B.A.T.M.A.N. o BATMAN “Better Approach To Mobile Adhoc”.

B.A.T.M.A.N. está destinado a suplir al enrutamiento actual OLSR, mejora en que no permite que un solo nodo tenga todos los datos. Llegando a ser una red de inteligencia colectiva ya que elimina la necesidad de difundir información relativa a los cambios de red, obligando a los nodos guardar información sobre la "dirección" solo si hubo recibido datos de ésta.

El módulo kernel batman-adv solo se puede usar para enrutar los paquetes dentro de una red de malla, este tiene la característica de que solo simula la capa 2 de OSI más conocida como la capa de enlace de datos. Esta simulación logra sacar lo máximo en velocidad de manera inteligente lo denota cómo un interruptor según (Open-Mesh, 2009).

Se decide utilizar este protocolo ya que estudios cómo por ejemplo los de Elis Kullaa y Masahiro Hiyamaa , muestran que el protocolo de BATMAN tiene un 15% mejor performance que OLSR, este tiene un intervalo de saludo de, la razón es que el protocolo tiene 2 segundos y un intervalo de 5 segundos para el intercambio de topología, BATMAN por su parte transmite un mensaje completamente diferente, conocido OGM cada 1 segundo, lo que a diferencia de los mensajes de saludo de OLSR este se reduce a la mitad. Este fenómeno ocurre al momento de utilizar BATMAN en capa 2. (Sharma, 2013), se han realizado pruebas sobre como es el funcionamiento de BATMAN y este tiene una mejora de estabilidad a diferencia de sus competidores, tal como se indica en el estudio de (M. Abolhasan, s.f.).

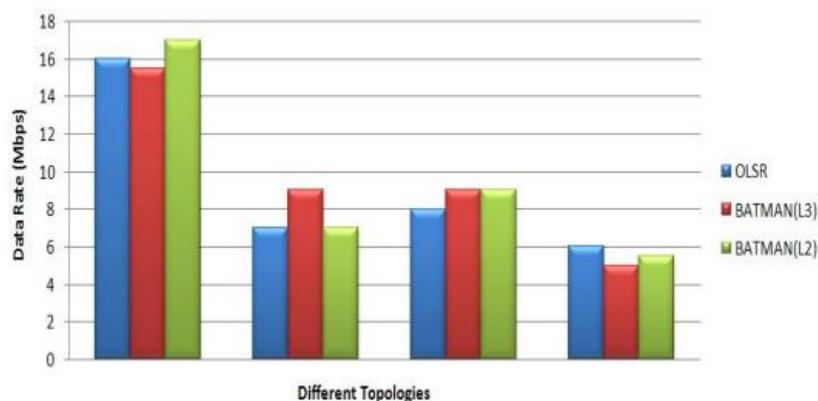


Figura 38. Comparación de protocolos OLSR vs BATMAN L2 vs BATMAN L3. Tomado: (Rajagopalan, 2013).

3.4. Sistema de recepción.

El sistema de recepción es el sistema que va a permitir recibir el video, este tendrá que seguir un flujo antes de poder ser visualizado, por lo que primero se tiene que generar esta información por medio de la cámara en el nodo. Dentro del proyecto base se utilizó MPlayer para la reproducción de video, este corriendo sobre un sistema operativo Windows 7, este apartado revisa los diferentes productos existentes en el mercado para lo que es la reproducción de video y después se analiza la posibilidad de realizar mejoras en el sistema operativo en el cual corren los reproductores multimedia. Estos se detallan y se analizarán para poder dar una opción óptima para el sistema operativo de la base receptora.

3.4.1. Reproductores de video.

Estos son los encargados de decodificar el video receptado por los nodos y poder presentar al usuario final, que se encuentra receptando desde la base. Existen varios tipos de reproductores, los cuales se pueden instalar en dispositivos móviles y de escritorio.

Se detallan los reproductores, más exitosos en base a sus características y evolución a las necesidades.

3.4.1.1. Mplayer

Es conocido por ser un reproductor de video adaptable a los diferentes sistemas operativos del mercado, reproduce la mayoría de los archivos VOB, MPEG-1,2,3,4, AVI, WMV e incluso H.264. Otra gran característica de MPlayer es la amplia gama de controladores de salida compatibles. La mayoría de ellos son compatible con gran cantidad de software o hardware, otorgando la capacidad de disfrutar imágenes adaptadas al tamaño de la pantalla. Una de las características importantes de MPlayer es que tiene una visualización en pantalla para información de estado (Mplayer, 2019).

3.4.1.2. KMPlayer

La función principal para la que se ha rediseñado este reproductor es la de brindar al usuario una calidad de video muy alta como 4K, 8K, UHD, 60FPS con más fluidez que sus competidores directos. Eso lo resalta el proveedor de (KMplayer, 2019). El reproductor como sus otros competidores goza de la capacidad de reproducir video en los últimos códecs de alta calidad como HEVC (h.265), h.264 y VP9, lo que hace especial a este reproductor su capacidad de aceleración de hardware, por lo que la ocupación de la CPU es muy baja esto dota de la capacidad de reproducir video de alta calidad sin problemas incluso en una PC de baja gama o en un entorno multitarea, la limitante de está es que necesita compartir la memoria con la GPU para poder realizar estas mejoras.

3.4.1.3. VLC Media Player

VLC es un reproductor multimedia multiplataforma de código abierto. Disponible para la mayoría de sistemas operativos del mercado, es capaz de reproducir casi cualquier formato de video como por ejemplo: MPEG-1/2, DivX (1/2/3/4/5/6), MPEG-4 ASP, XviD, 3ivX D4, H.261, H.263 / H.263i, H.264 / MPEG-4 AVC, Cinepak, Theora, Dirac / VC-2, MJPEG (A/B), WMV 1/2, WMV 3 / WMV-9 / VC-1, Sorenson 1/3, DV, On2 VP3/VP5/VP6, Indeo Video v3 (IV32), Real Video (1/2/3/4). Sin necesidad de instalar códecs externos, parte de las capacidades que tiene a diferencia de los otros reproductores, es que, puede reproducir videos en formatos en alta definición o incluso en ultra alta definición o 4K. Como novedades al año 2019 VLC anuncia protocolo Bonjour, complemento Firefox,

complemento ActiveX, menús SVCD, localización, CD-Text, información CDDDB CD, IGMPv3, IPv6, MLDv2, aceleración de CPU. (VideoLAN, 2019).

3.4.1.4. MPV

MPV es un reproductor multimedia gratuito basado MPlayer y Mplayer2 y disponible con línea de comandos. La capacidad de poder controlar este reproductor de video por medio de comandos es lo que dota a este, de una capacidad de poder hacer cualquier cosa, como la escala de video con algoritmos populares de alta calidad, administración de color, sincronización de cuadros, interpolación, HDR y corrección de colores y más, todo esto se puede encontrar en la página de GitHub en los recursos de MPV. Otro de los aspectos que se han venido llevando es la capacidad de funcionar con una amplia variedad de formatos de archivos multimedia, códecs de audio y video. MPV se ha diseñado en una API de C lo que permite que MPV pueda ser usada como librería y facilitar la integración con diferentes plataformas, Esto como puede ser una ventaja también puede ser una deficiencia en la plataforma, pero se ha diseñado un controlador básico en la parte superior del video. La decodificación de hardware se puede habilitar en tiempo de ejecución bajo demanda. Uno de los problemas que tiene MPV es que se encuentra en desarrollo activo, lo que lo hace inestable en ciertas opciones que se han implementado, centrándose en la refactorización y limpieza de código. (MPV, 2020).

3.4.1.5. MPC-HC

Es un reproductor diseñado específicamente para Windows, es reconocido por ser extremadamente ligero y con grandes capacidades. Es compatible con todos los formatos comunes de video y audio disponibles para la reproducción. Lamentablemente este proyecto ha llegado a su final y ya no existe soporte para este. En la página se muestra que se puede retomar el proyecto si se tiene conocimientos sobre la base de este programa que es C/C++. Revisando la base de datos conocida del reproductor se puede encontrar que sufre de varios problemas al momento de la transmisión de video. El fuerte de este reproductor es que se puede utilizar con equipos antiguos y puede reproducirlos con poca cantidad de recursos.

3.4.1.6. SMPlayer

SMPlayer es un reproductor de video y audio gratuito para Windows y Linux que le permite reproducir casi todos los archivos multimedia sin tener que instalar códecs adicionales. Esto quiere decir que no necesita ningún códec externo. Los nuevos cambios que se han venido incorporando a nivel de usuario es la capacidad de los guardar ficheros, esto con el fin de que si se detiene la película o video este podrá continuar desde el mismo lugar donde se dejó. SMPlayer se define como un interfaz gráfico (GUI) que se diseña para Mplayer, solo que este adiciona la posibilidad de reproducir vídeos de YouTube o descargar subtítulos.

3.4.2. Sistema operativo de la base.

El análisis del sistema operativo se realiza basados en la premisa de que Windows 7 ya no tiene soporte al presente año como lo indica la página oficial de Microsoft (Microsoft, 2020), pues esto al momento de seguridad y de actualizaciones limitará al sistema en la escalabilidad, por lo que se propone utilizar un sistema operativo de Windows actual. Esto brindará la opción de nuevos parches de seguridad y nuevas funcionalidades al momento de utilizar los nuevos códec, las nuevas computadoras que utilizan procesadores gráficos ahora son soportados solo por versiones nuevas de Windows. Otra de las opciones que se puede dar es la de estandarizar toda la infraestructura a una de código libre, ya que al momento de revisar los reproductores de video estos son multiplataforma lo que no propone un reto al momento de implementar el servicio de recepción.

3.4.2.1. Windows 8.1 y Windows 10.

La mejora dentro de los dispositivos se tiene que realizar alienados al fin del proyecto que es la transmisión por la red MANET, por lo que Windows en sus versiones mayores a la 7, muestra problemas en las redes ad-hoc, este problema se produce debido a un cambio de diseño en Windows 8.1. Ya no se admiten las redes ad hoc. Las soluciones que propone el proveedor son utilizar un enrutador inalámbrico u otro punto de acceso. Windows 10 pierde la capacidad de

configurar la función de red ad hoc gráficamente, pero a la vez tiene la función de conexión compartida a Internet que permite que la conexión de los dispositivos que ingresen a la red compartida, en la cual el direccionamiento será variable para los dispositivos que ingresen a la red. (Kirtchayan, 2015).

3.4.2.2. Ubuntu.

Este sistema es una gran opción al momento de estandarizar la infraestructura y se podrá utilizar las mismas configuraciones de los nodos dentro de la base para poder tener una conexión basada en el protocolo de comunicación sin incluir una plataforma de instalación como es el HSMM-PI, aunque esta se vuelve innecesaria al momento de la configuración con BATMAN, propuesta en capítulos anteriores (Ubuntu, 2020).

Los problemas que puede mostrar Ubuntu son a la compatibilidad de los drivers o de programas que se puede instalar, pero dentro de los anteriores capítulos hemos revisado los distintos programas del sistema los cuales se han caracterizado por ser multi plataforma. (Ubuntu, 2020).

Pero al presente año la instalación del sistema operativo Ubuntu 20.04 LTS fue el 23 de abril de 2020. El mismo día, Canonical agregó soporte completo para Ubuntu Server 20.04 en todos los Raspberry Pi's. Los usuarios pueden actualizar 20.04 a su Raspberry Pi sabiendo que Canonical garantiza que funcionará sin problemas y puede aprovechar al máximo todas las nuevas características agregadas con 20.04. (Ubuntu, 2020).

3.4.3. Propuesta de mejora a la base receptora

Al analizar el sistema de recepción, se llega a concluir que Mplayer es una de las mejores opciones para poder reproducir video, para realizar la mejora se tomará en cuenta SMPlayer, ya que este trabaja en la misma plataforma, pero permite realizar de manera más sencilla la configuración de recepción en la base, este al ser un computador se decide utilizar una interfaz gráfica ya que no tiene limitantes de recursos. SMPlayer y Mplayer son dos módulos independientes que trabajan en conjunto. Por lo tanto, MPlayer es el motor de reproducción y SMPlayer es la (GUI). La razón de esto es que Mplayer no ha sido amigable para

los usuarios finales, requiriendo implementar mejoras cómo el motor de reproducción SMplayer. (SMPlayer, 2020).

La plataforma de recepción se sabe que el sistema operativo puede ser cualquiera de los dos Windows o Linux, se propone el uso de Linux con SO de Ubuntu 20.04 ya que, con la certificación de Raspberry Pi, asegura la funcionalidad de y seguridad del sistema. (SMPlayer, 2020).

Otra propuesta importante es la de ingresar al servidor de video por medio de un explorador, esto ayuda a optimizar recursos de CPU y consumo energético a comparación de SMplayer. Las dos son opciones muy útiles pero cada una de ellas se tendrá que utilizar de manera distinta, ya que dentro de la nueva red se pretende implementar el uso de un teléfono móvil el cual pueda ingresar a la base para realizar tareas de monitoreo en los nodos.

La ventaja de utilizar el acceso a los nodos de video por medio de un explorador es aumentar la escalabilidad del sistema, ya que cualquier equipo que se una a la base por medio de RDP podrá revisar los nodos.

3.5. Sistema de alimentación.

Dentro del sistema de alimentación se puede optimizar de dos maneras, una es realizando un cambio a nivel de HW y capacidad de los componentes haciendo referencia a las baterías que se utilizan en los sistemas MANET, y otra es por parte del control sobre el consumo del sistema, el cual se logra identificar que por medio de comandos se puede reducir, esto con el control adecuado del CPU, memoria RAM, control de periféricos y procesos en segundo plano.

Linux dependiendo, de su familia, puede tener opciones por default de consumo de energía, un ejemplo de esto es la versión de Ubuntu 18.04. No todas las distribuciones gozan de esto, pero las soluciones a esto se han llevado gracias a un comando que es el *"cpulimit --"*, CPULimit está disponible en la mayoría de los repositorios predeterminados de las distribuciones tipo Unix.

3.5.1. CPULimit

CPULimit es un programa simple que intenta limitar el uso de CPU de un proceso (expresado en porcentaje, no en tiempo de CPU). Esto es útil para controlar trabajos por lotes, cuando se desea que el consumo de CPU no sea excesivo.

El funcionamiento de este aplicativo se realiza todo en el espacio de usuario, por lo que no interfiere con el planificador de Linux, afectando el uso real de la CPU. Además, puede adaptarse a la carga general del sistema, de forma dinámica y rápida. El funcionamiento de los procesos se basa en enviar señales, las cuales son del tipo SIGSTOP y SIGCONT, estas se controlan por CPULimit en los momentos apropiados, de acuerdo con el límite especificado por el usuario y las estadísticas del proceso (CPULimit, 2012).

Es importante tomar en cuenta que para el uso del aplicativo se necesita conocer el número de procesadores que tiene nuestro pc ya que se puede limitar el porcentaje de 0% a 100%, lo que significa que, si establece, por ejemplo, 50%, su proceso no puede usar más de 500 ms de tiempo de CPU por segundo. Pero la máquina tiene cuatro procesadores, el porcentaje puede variar de 0% a 400%, por lo que establecer el límite en 200% significa no usar más de la mitad de la potencia disponible. (CPULimit, 2012).

Cpulimit funciona de manera óptima cuando el usuario que usa el proceso lo ejecuta el mismo. Pero es mucho mejor si ejecuta Cpulimit como root, para tener una mayor prioridad y un control más preciso, limitando también a los hijos del proceso especificado. (CPULimit, 2012).

4. CAPITULO IV. PROPUESTA PARA ELEMENTOS HARDWARE

4.1. Descripción del capítulo.

La mejora dentro de la red MANET, viene dado por la actualización de los dispositivos de procesamiento, estos dispositivos serán reemplazados por una nueva generación existente en el presente año. Al momento de realizar esta mejora, se toman en cuenta los puntos mencionados en el capítulo 2, como es el procesador, la memoria RAM, memoria caché y procesamiento multimedia.

Tomando en cuenta estos parámetros se podrá definir los dispositivos que permitan la comunicación del sistema, mejorando los problemas de retraso en la transmisión y consumo de energía sobre este, como se indica en el capítulo 1, la mejora sobre los procesadores es vital, ya que mientras más capacidad de procesamiento se tenga el sistema podrá desenvolver mejor las actividades, o designar todo el procesamiento a una sola tarea dependiendo de los requerimientos. Con el pasar de los años se han diseñado procesadores para las placas de procesamiento, más potentes que solventan y se han adaptado a las nuevas necesidades del mundo contemporáneo.

Basados en la ley de Moore, Moore hizo una extrapolación de la cuidadosa observación de una tendencia emergente según la cual la computación aumentaría de manera radical en términos de potencia y disminuiría en términos de costo relativo, a un ritmo exponencial. Este concepto, denominado "Ley de Moore", se convirtió en la regla de oro de la industria de la electrónica y en un trampolín para la innovación (Interl LA, 2010).

La ley de Moore plantea que cada dos años se duplica el número de transistores en un microprocesador, esto con vigencia al año de 2023 en donde las leyes físicas ya no permitirán reducir el tamaño de estas.

4.2. Dispositivos de la red MANET.

Los dispositivos de la red MANET para sufrir una mejora sustancial, necesita ser mejorada a nivel de HW, el modelo de John Von Neumann, divide el sistema en tres partes, por lo que por inicio toma el procesador, pasando a la memoria RAM y finalmente a los dispositivos de I/O esto se puede apreciar dentro de la figura

38, dentro de este capítulo se desarrolla con la misma temática, se indica en primera instancia la mejora existente en el procesador, tratando de adaptarse a la necesidad de los dispositivos móviles, esta acompañadas de la cantidad de memoria RAM y tecnología implementada, finalmente se podrá explicar los dispositivos de I/O que se tendrán para la transmisión los cuales se utilizan para controlar los dispositivos o bien para el arreglo de antenas del sistema, cámaras USB, etc.

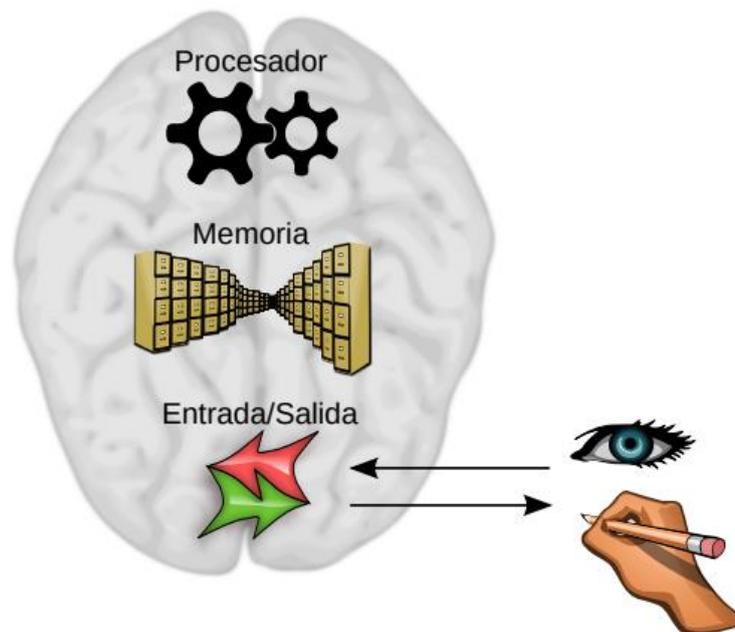


Figura 39. Modelo de John Von Neumann.
Tomado de: (Sergio Barrachina Mir, 2016).

4.2.1. Optimización de procesador.

El proyecto base dispone de un procesador ARM Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU, pero al año de 2019 se tienen procesadores al mismo precio con un rendimiento mucho mayor, se propone utilizar el conocido ARM BCM2711 con El procesador Cortex-A72 es un procesador de alto rendimiento y baja potencia que implementa el ARMv8-A arquitectura. Tiene de uno a cuatro núcleos en un dispositivo de procesador único con subsistemas de caché 32 KB data + 48 KB Instrucciones L1 y 1MB L2 cache, este utilizado por las distribuciones de Raspberry pi 4.

Es una mejora considerable en comparación con la utilizada por los por los modelos anteriores. Continúa con el diseño de CPU de cuatro núcleos del BCM2837, pero utiliza el núcleo ARM A72 más potente. Tiene un conjunto de características de GPU mejorado con I/O mucho más veloces, debido los enlaces PCIe logrando conectar los puertos USB 2 y USB 3.

Los núcleos ARM son capaces de funcionar a hasta 1.5 GHz, haciendo que el Pi 4 sea aproximadamente un 50% más rápido que el Raspberry Pi 3B +. La nueva unidad 3D VideoCore VI ahora funciona a hasta 500 MHz. Los núcleos ARM son de 64 bits, y mientras que VideoCore es de 32 bits, hay una nueva unidad de administración de memoria, lo que significa que puede acceder a más memoria que las versiones anteriores.

El chip BCM2711 continúa utilizando a tecnología de dispersión de calor iniciada con el BCM2837B0, que proporciona una mejor gestión térmica.

4.2.2. Optimización de memoria RAM.

La rapidez de un ordenador depende de muchos factores, siendo uno de los que más peso tiene el procesador la razón es que este realiza diferentes procesos en cada microsegundo del funcionamiento. Este funciona junto con la memoria RAM, por lo que aumentando este elemento se consigue trabajar con más información de forma simultánea y facilita que el procesador acceda a la información de manera más eficaz y rápida.

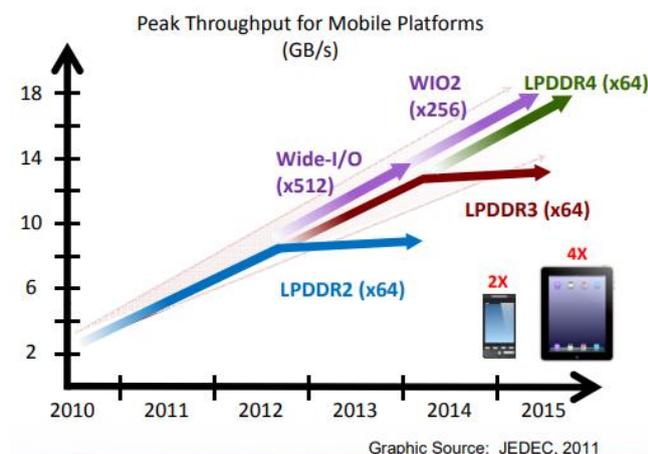


Figura 40. Gráfica sobre el ancho de banda vs años 2010 a 2015.

Tomado de: (Hung Vuong, 2013).

Dentro del proyecto se tiene una memoria RAM del tipo LPDDR2 esta con un funcionamiento de reloj a 100 - 533 MHz trabajando a 1.2v, estas memorias se empezaron a utilizar desde el año 2007, por lo que han venido sufriendo cambios, al presente año se muestra que los tipos de memoria RAM han evolucionado a las del tipo LPDDR4 que fueron implementadas en el año del 2015 y están diseñadas especialmente para dispositivos móviles, las mismas que tiene un mejor funcionamiento y un consumo energético menor a diferencia de sus predecesoras. Las memorias LPDDR4 tiene un rango de funcionamiento que corre en las frecuencias de 1.6GHz a 1.1. v y con un mínimo de 0.6 v en las versiones LPDDR4x.

El porcentaje de uso se ha aumentado en los últimos años, conduciendo un aumento en ancho de banda y velocidad de datos de hasta 4266 Mbps cómo se puede ver en la figura 40. (Hung Vuong, 2013).

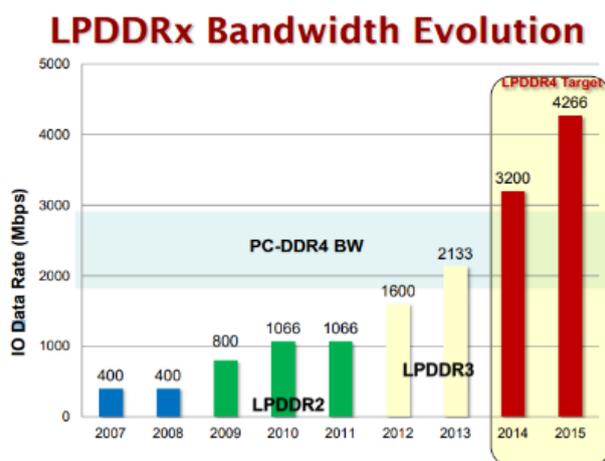


Figura 41. Comparación de las memorias tipo LPDDR_x.

Tomado de: (Hung Vuong, 2013).

Para realizar la optimización, basados en la nueva tecnología de la memoria RAM se realiza una tabla comparativa de los aspectos más importantes de cada tipo de memoria RAM.

Se logra identificar que la mejora en la memoria del tipo LPDDR4 es superior a la LPDDR3, esta mejora que se hace en el sistema ayudará a que la información generada en los nodos, pueda ser codificada y decodificada de manera más eficiente sin afectar a los procesos de enrutamiento que se generan en la red MANET, ya que se propone aumentar la capacidad de estos elementos para poder tener holgura dentro del sistema al tratarse de procesamiento, ya que este al ser utilizado en una red móvil esta se ve afectada directamente por el movimiento de los nodos, generando mayor procesamiento en el encaminamiento y métricas.

Tabla 9.

Comparativa LPDDR3 vs LPDDR4.

LPDDR3	LPDDR4
1 canal	2 canales
8	8 por canal 16 en total
4gb-32gb	4Gb-32Gb
Tamaño de página: 4Kbyte	Tamaño de página: 12Kbyte
BW: 6,4Gb/s, 8,5Gb/s overclocking	BW: 12,8 GB/s - 17 GB/s overclocking

Velocidad máxima de I/O: 2133Mbps	Velocidad máxima de I/O: 4266 MBps
--	---

Tomado de: (Hung Vuong, 2013).

Dentro de la tabla 10 se puede observar un listado de productos de procesamiento, que serán designados para la solución del proyecto. Existen más distribuciones, pero dentro de esta tabla se colocan las más utilizadas.

Tabla 10.

Dispositivos de procesamiento disponibles.

Raspberry pi 3B	Raspberry pi 4 B	Orange pi Zero	Jetson NANO	Banana PI
RAM: 1GB DDR2.	2GB or 4GB LPDDR4-	512MB DDR3 SDRAM	4 GB 64-bit LPDDR4	Onboard1 GB DDR4 (option 2 GB)
CPU: Quad- Core Cortex A7 a 900MHZ.	Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 1.5GHz	H2 Quad- core Cortex- A7	Quad-core Arm A57 a 1,43 GHz	Realtek RTD1395 ARM Cortex-A53 Quad-Core 64 Bit
GPU: VideoCore IV de doble núcleo.	OpenGL ES 3.0 graphics	Mali400MP2 GPU @600MHz	GPU Maxwell de 128 núcleos	Mali 470 MP4 GPU OpenGL ES 1.1/2.0

2.8 W - 6 W	3,4 W - 7,6 W	0.6 W - 1.19 W	5W - 10W	5W - 8W
\$74	\$99	\$45	\$160	\$110
Decodificación H.264	Decodificación H.264 H.265	Decodificación H.264 H.265	Decodificación H.264 H.265	H264 1080p30 encode / H.264
Codificación de H.264	Codificación de H.264	Codificación de H.264	Codificación de H.264 H.265	H.265,2K4K decode
40 pin GPIO header	40 pin GPIO header	26 Pins Header, 13 Pins	1x SDIO / 2x SPI / 4x I2C / 2x I2S / GPIOs -> I2C, I2S	GPIO (x28) / Power (+5V, +3.3V and GND) / UART, I2C, SPI or PWM
2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE	2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11ac wireless, Bluetooth 5.0, BLE	XR819, IEEE 802.11 b/g/n	No dispone	10/100 Mbit/s Ethernet / Wi-Fi 802.11 b/g/n/AC

Tomado de: (Pi Supply, 2017).

4.2.3. Propuesta final de dispositivo para la red MANET.

Después de realizar un análisis de las mejoras del sistema, y basados en la tabla de productos que se encuentran en el mercado, se puede observar que la placa de la familia Raspberry Pi en su modelo 4 b es la ganadora, este cumple con los requerimientos necesarios para suplir las necesidades del sistema, siendo de la lista productos la que tiene el mejor procesador en relación costo beneficio, este

viene integrado en la nueva versión de Raspberry Pi 4.

Al momento de escoger un modelo acorde a la memoria RAM se tiene ciertas restricciones ya que, muchas de las placas de procesamiento ya vienen definidos una cantidad de RAM, esto por ejemplo en el caso de JETSON nano y de Orange Pi en su versión H2+ con 512MB, Banana Pi muestra dos opciones de memoria que va de 1 a 2 GB, la diferencia de este es que el tipo de memoria que lleva en una DDR4 a diferencia de las LPDDR4, la diferencia entre LPDDR4 y DDR4 se puede observar en la tabla 11. Raspberry Pi por su parte tiene tres opciones de memoria RAM con tecnología LPDDR4 que van desde 1 Gb hasta 4 Gb, dando flexibilidad al momento de utilizar las placas sin tener desperdicio de recursos. Se decide tomar la opción de 2gb, logrando tener un equilibrio entre procesador y memoria RAM.

Tabla 11.

Comparación de las memorias tipo LPDDR4 vs DDR4.

Valoración	Dispositivos Laptop, PC, móviles Server	
10 Spec.	350mV LVSTL	POD 12
DLL en Dram	no	si
C/A	6pin SDI CA bus	22pins
Max. Frecuencia	3.2Gbps/4.2Gbps	3.2Gbps
Opera a baja frecuencia.	SI	Si DDL < 125MHz
Consumo	1.1 v a 1 V	1.2 V

Tomado de: (Hung Vuong, 2013).

Al momento de decidir de cuál es la placa de procesamiento con más capacidad

de procesamiento gráfico la Jetson Nano, muestra una alta superioridad a comparación de las demás placas del mercado ya que esta goza de 128 núcleos para el procesamiento de tareas de IA, por parte de Raspberry Pi 4 este tiene el procesador gráfico Video Core 6 dotado con 4 núcleos, a diferencia del su predecesor el Pi 3 b, este tiene el doble de núcleos. La diferencia tan grande que existente con la Jetson Nano es que este está creado específicamente para el procesamiento de IA utilizando el reconocimiento de gráficos, patrones, etc. El fin de este proyecto no es este así que si se utilizara un dispositivo tan potente se va a desperdiciar su capacidad para cubrir con los objetivos.

4.3. Dispositivos de comunicación.

4.3.1. Descripción del capítulo.

Los dispositivos de comunicación dentro del sistema son de vital importancia, ya que estos permitan se supere los problemas que existe en la transmisión del espacio libre, llegando a obtener mayor alcance y menor pérdida de información. El uso de estos dispositivos es tan importante, que sin estos no se pudieran realizar la creación de la red Ad-hoc, los dispositivos de RX/TX se utilizan en base a estándares, los cuales se definen para que las infraestructuras se puedan comunicar sin importar el fabricante.

Los dispositivos utilizados en el proyecto anterior fueron los que vienen integrados en las placas de los dispositivos, los cuales cuentan con varias ventajas, pero a su vez estas han limitado al sistema en aspectos tales como alcance y velocidad en la tasa de transmisión. Una de las recomendaciones planteadas, es la mejora de este sistema de antenas, para mejorar los problemas de latencia en la transmisión.

Dentro de este apartado se describen los diferentes tipos de antenas externas que existen en el mercado las cuales cuentan con características de largo alcance.

Tabla 12.

Modelos de antenas USB.

Nombre	Modelo	Descripción HW	Funcionamiento USB	Ad hoc	Compatibilidad Raspberry Pi
Asus	USB-N10	Realtek RTL8188SU / USB: 0b05:1786 (Realtek Semiconductor Corp.) / Driver: r8712u	Si	Si	Con RPi2 funciona sin concentrador USB con alimentación (probado con 2A PSU)
Asus	USB- AC51	USB: 0b05:17d1 (ASUSTek Computer, Inc.)	5 V max. 0.5 A	No	No probado
Belkin	F5D8053 ver.6001 Wireless N Adapter	Realtek RTL8188SU	5V 800mA power with 6 overvolt	No	No probado
Belkin	F9L1001 V1 N150 Wireless USB Adapter	Realtek RTL8188SU / USB: 050d:945a / Driver: r8712u	Si	Si	Ad hoc probado en Raspberry Pi 2 Modelo B con Raspbian Jessie versión 8.0
Buffalo	AirStation N150 Wireless USB Adapter	Driver: rt2800usb	Si	Si	Probado sin hub en Raspberry Pi 2 Modelo B y Raspbian

	(WLI-UC- GNM)				2015-01-31
	PAU05				Probado sin hub en Raspberry Pi 2/3 con los últimos Raspbian Wheezy y Jessie.
Panda Wireless	/PAU06 / PAU07 / PAU08	Driver: rt2800usb	(2A 5V)	No	
	TL- WN722N / TL- WN722NC	Atheros ath9k_htc / USB: 0cf3:9271	2.5A 5V	Si	Admite punto de acceso o modo Ad hoc, no ambos juntos.

Tomado de: (Elinux.org, s.f.).

4.3.2. Propuesta final dispositivos de comunicación

Para la elección de estos equipos es importante validar la compatibilidad con el equipo de procesamiento, por lo que dentro de la tabla se exponen los aspectos más importantes al tratarse de la elección de uno de estos dispositivos, se ha realizado un análisis previo, y se toman las antenas de menor tamaño y las que tienen compatibilidad con el chip , ya que si estos dispositivos no tuvieran la compatibilidad de drivers no pudieran ser utilizados o a su vez, estos tendrían un funcionamiento incompleto.

Otro de los aspectos que se han podido validar dentro de la tabla es su funcionamiento por medio de la interfaz USB, ya que, dependiendo del dispositivo de procesamiento, este podrá enviar una cantidad de energía limitada a los periféricos, la cual definirá el correcto funcionamiento de los dispositivos.

La propuesta se hace en base a la tecnología IEEE 802.11n utilizando el modelo TL-WN722N de TP Link, dentro de los dispositivos externos, muestra

capacidades tales como alcance a largas distancias, debido a los -4dBi de sensibilidad a demás se muestra robusto ante los obstáculos, incluso a través de una pared de gypsum, acero y hormigón.

Uno de los inconvenientes no solo de este modelo sino de todos los periféricos, es que afectan al sistema con un mayor consumo, si el sistema no dota de la energía suficiente, esta se verá afectada en la calidad de señal de la red, afectando a la antena sin poder ofrecer su capacidad máxima de transmisión y recepción.

Al mejorar esta sección del proyecto, se logran solventar problemas de estabilidad de señal, alcance, mayor tasa de transmisión, ya que por el uso del estándar 802.11 n este tiene una velocidad máxima de 150 Mb a diferencia del sistema base con una velocidad de 33Mb, se decide arriesgar el consumo energético, ya que se solventan varios problemas gracias a la mejora del sistema de antenas.

4.4. Dispositivos de alimentación.

Dentro de este capítulo se podrá definir las mejoras sobre el sistema de alimentación, este sistema se ve compuesto por bancos de baterías, dotando de la energía suficiente para poner en marcha los elementos de procesamiento, al implementar esta sección del proyecto, es de gran importancia realizar un análisis del consumo que tendrá el equipo, por lo que se sabe que a pleno funcionamiento este tiene un consumo de 6 W en su versión base, con la propuesta de los dispositivos de procesamiento, se tiene datos de consumo de Raspberry pi 4 B de entre 3.4 W a 7.6 W por hora. Realizar la mejora dentro de este punto, ayudará a la autonomía del sistema, logrando tener un tiempo óptimo en la relación de vuelo de los drones y el funcionamiento del sistema.

Se propone realizar mejoras a nivel de tamaño, capacidad y tipo de batería, estas mejoras en la parte de la batería, analizando el capítulo anterior se logra definir que el sistema tiene una autonomía de 5 horas, lo cual en la relación que existe sobre tiempo de vuelo y funcionamiento de sistema, existe una variación bastante amplia la cual necesita ser ajustada.

A continuación, se podrá observar los tipos de batería existentes en el mercado,

los cuales pueden dar solución a los requerimientos del sistema, dotando de 7.6 W por hora.

Dentro de los dispositivos de almacenamiento en el mercado se tienen diferentes tipos de batería no solo por capacidad sino por el material del que están compuestas, se detallará a continuación los diferentes tipos de batería.

Tabla 13.

Modelos de batería.

Batería	Corriente	Voltaje de salida	Capacidad
Xiaomi Mi Power Bank Pro	2.4 A	5v	10000 mAh
Aukey PB-XN10	2.4 A	5v	10000 mAh
Anker PowerCore Slim	2.4 A / 2.6 A	5v	10000 mAh
Mod batería RaspberryPi pi	2.0 A	5v	3800 mAh
Pila Recargable Batería 18650	1.8 A	3.7 / 4.2 V	8800 mAh
Li-PO	2.4A	3.7 V	850 mAh

Tomado de: (Gearhungry, s.f.).

Se ha escogido entre todos los dispositivos al más pequeño ya que como este dispositivo se va a implementar sobre un drone, es necesario que la carga

adicional a este sea la mínima.

Se emplea para el proyecto un módulo de batería diseñado para Raspberry Pi, este modelo consta de una batería de 3.7 V a 3800 mAh, se puede identificar que Raspberry Pi, tiene un consumo de 5 V a 2 A, este valor se logra ya que el módulo de Raspberry Pi tiene un convertidor de impulso, logrando tener una batería de pequeñas dimensiones y la misma que podrá alimentar al sistema por máximo una hora, siendo este un tiempo acorde al tiempo de vuelo del dispositivo.

Adicional para el proyecto se implementa otro nodo con la una pila recargable, la misma que se utilizará para realizar pruebas de funcionamiento en próximos capítulos

4.5. Diferencias entre proyectos.

Los proyectos muestran diferencias a nivel de capacidad de procesamiento, ya que la propuesta nueva utiliza la misma familia de placas RaspberryPi, debido a los nuevos lanzamientos de sus placas en el año 2019, se opta por utilizar una placa del modelo Raspberry Pi 4B con 2 Gb de memoria RAM, las diferencias entre el modelo 3B y el 4B se muestran en el datasheet en la parte de anexos. Otra de las mejoras que existen en el nuevo sistema, es la implementación de antenas de largo alcance, La antena externa de alta ganancia de 4 dBi del se ajusta en diferentes direcciones para adaptarse a diversos entornos.

A nivel de configuraciones, se realizan cambios en el protocolo de comunicación, utilizando BATMAN, al ser el protocolo destinado al reemplazo de OLSR.

Otro de los puntos que difieren del sistema anterior, es que este contaba consigo con una laptop personal que hace las veces de base receptora, de la marca HP corriendo un sistema operativo Windows 7. Basados en la homogenización de la red se utiliza un dispositivo Raspberry Pi 3B de 1GB, conectado a un monitor de 17 pulgadas que recepta el video de los nodos mejorando el retraso existente por la diferencia de arquitecturas Windows. Otra de las grandes diferencias que existe sobre el sistema base, es la implementación de una nueva interfaz para que pueda tener salida a internet, brindado de una base de recepción móvil con sistema operativo Android. Se puede observar en la figura 42. La diferencia entre

las dos estructuras.

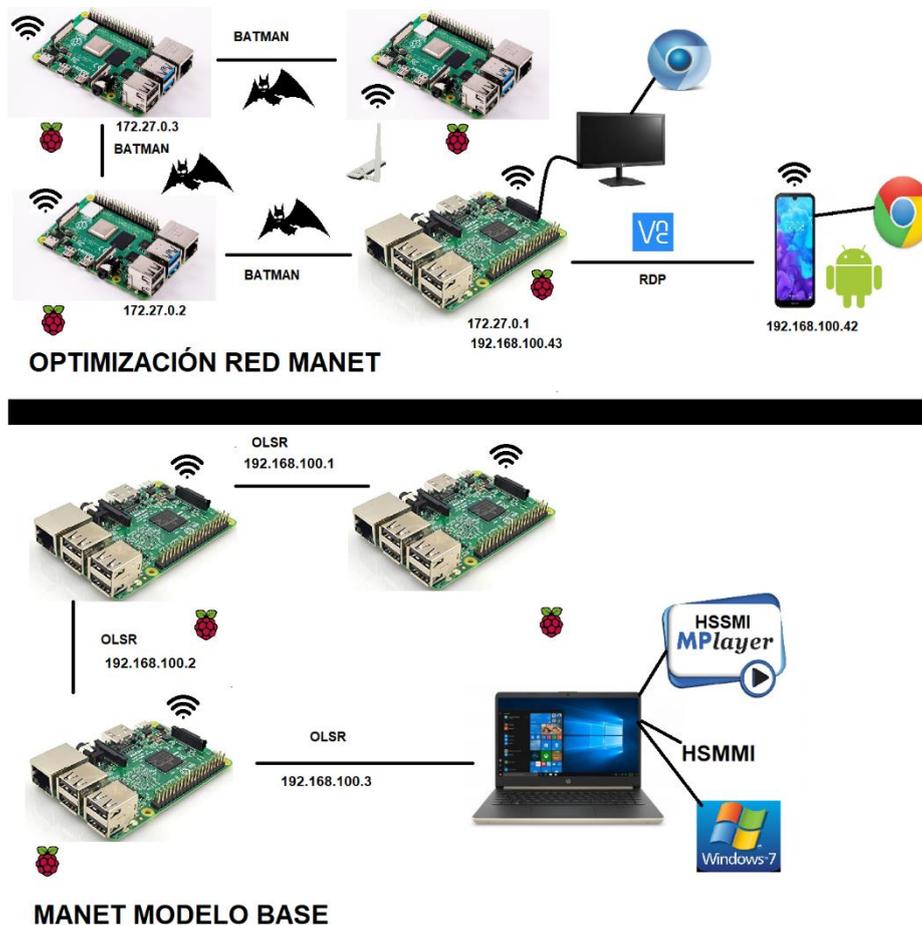


Figura 42. Diferencia entre modelo base y modelo optimizado.

5. CAPITULO V. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.

5.1. Descripción del capítulo.

Dentro de este apartado, se abarca la implementación del nuevo prototipo con las nuevas mejoras propuestas a nivel de red, de dispositivos de comunicación, alimentación y configuraciones sobre el sistema. El fin de este capítulo es poder validar las configuraciones y lograr la optimización en los aspectos de recepción y envío de video sobre la red MANET.

El capítulo se divide en la configuración del nuevo protocolo de comunicación sobre los dispositivos, validando las conexiones de las interfaces, esto se hará por medio de comandos que validen,

Para que esto funcione se hará uso de 3 dispositivos Raspberry Pi 4, cada uno

con sus dispositivos de alimentación necesarios, adicional se necesitará un adaptador USB inalámbrico de alta ganancia TP-Link de 150 Mbps.

5.2. Configuración red MANET.

Antes de empezar a realizar las configuraciones, dentro de los sistemas de Linux es de gran importancia ingresar los comandos de update y upgrade.

Apt-get update se utiliza con el fin de actualizar la lista de paquetes, pero no instala o actualiza ninguno de estos.

Apt-get upgrade Instalará las nuevas versiones descargadas por el comando de update, respetando la configuración del software.

Con estas configuraciones se obtienen las últimas librerías evitando tener conflictos al momento de la instalación de los complementos útiles para la red.

5.2.1. Habilitar las interfaces necesarias

Lo primero que se tiene que hacer para poder realizar la configuración de las interfaces BATMAN, es crear el archivo start-batman-adv.sh en el directorio personal guardado con extensión .sh, la razón de esto es que este archivo se usará para habilitar las interfaces en el arranque, este proceso es necesario ya que al apagar los dispositivos este no guarda las configuraciones, pero una forma de solucionar ese problema es utilizando el siguiente comando:

```
cd ~ && touch start-batman-adv.sh && chmod + x start-batman-adv.sh
```

El siguiente comando crea un archivo dentro de la raíz, se necesita adicionar las indicaciones que se usarán para poder utilizar las interfaces al momento de iniciar el sistema logrando evitar configuraciones recursivas.

```
#!/ bin / bash
```

```
sudo batctl if add wlan0
```

```
sudo ifconfig wlan0 up
```

```
sudo ifconfig bat0 up
```

Estos comandos se usarán para activar las interfaces necesarias para usar BATMAN-ADV, cada vez que el sistema se inicie, esto evita reprocesos al momento de encender el sistema si este sufriera un apagado imprevisto como se puede ver en la figura 43, dentro de este archivo es en donde se definirá la dirección ip para las interfaces.



```

pi@raspberrypi ~
File Edit Tabs Help
GNU nano 3.2 start-batman-adv.sh Modified
#!/bin/bash
# Tell batman-adv which interface to use
sudo batctl if add wlan0
# Activates the interfaces for batman-adv
sudo ifconfig wlan0 up
sudo ifconfig bat0 up # bat0 is created via the first command
sudo ifconfig bat0 172.27.0.4/16
  
```

Figura 43. Configuraciones archivo start-batman-adv.sh.

5.2.2. Configurar las interfaces.

En la dirección /etc/network/interfaces.d, se necesita crear dos archivos llamados bat0 y wlan0, la interfaz bat0 es lógica que será la utilizada por BATMAN con nomenclatura bat, es necesario para la configuración de esta, que se configure antes la interfaz Wlan, esta es la que ayuda a identificar la antena que se está utilizando para la transmisión, en el caso de este proyecto es necesario tener cuidado con esta configuración, tomando en cuenta que se está adicionando un dispositivo externo y antes se tiene que validar que nombre de Wlan se está utilizando de identificador, para validar esto, se puede utilizar el comando de iwconfig, este despliega los dispositivos atados a su identificador, por default la wlan0 pertenece al dispositivo embebido en la placa de procesamiento.

Al pasar esta configuración es necesario que se creen los archivos de arranque para las interfaces de bat0 y wlan0 tal como se observa en la figura 44, estas tienen que ser creadas en la dirección /etc/network/interfaces.d llamados bat0 y wlan0.



```

pi@raspberrypi:/etc/network/interfaces.d $ ls
bat0 wlan0
pi@raspberrypi:/etc/network/interfaces.d $ █
  
```

Figura 44. Creación de interfaces.

5.2.2.1. Archivo bat0

Este archivo define la creación de la interfaz BATMAN sobre la wlan0 para lograr la conexión de los dispositivos.

Esta configuración predefine la interfaz en la que se puede montar BATMAN, ya que al momento de ingresar dispositivos externos es necesario que se utilice el comando `lsusb` para su validación.

```
auto bat0
iface bat0 inet auto
pre-up /usr/sbin/batctl if add wlan0
```

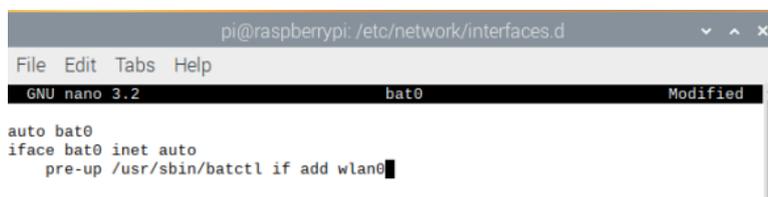


Figura 45. Configuraciones interfaz bat0.

5.2.2.2. Archivo wlan0

Sobre este archivo es necesario que se aumente el tamaño del paquete para tener en cuenta el encabezado batman-adv, este se controla por medio de los números MTU configurándolo en 1532, dentro de esta configuración se mostrará el nombre de la red MANET, dentro del proyecto se define que el nombre de "adhocrpi", aplicando el modo ad-hoc, esto en cada nodo de la red.

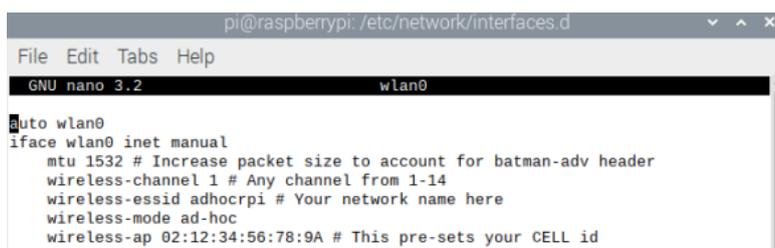
Para poder utilizar esta red se necesita un canal, por lo que se recomienda el uso de la herramienta NetworkAnalyzer, una aplicación para dispositivos móviles Android, la cual permite saber la cantidad de concurrencia que existe en los canales adyacentes, por lo que validando este se puede definir su canal en base a la necesidad. Al tratarse de una interfaz lógica, esta define por default un número de Wireless-AP, este debe ser el mismo valor que el de la MAC perteneciente a la interfaz física.

```
auto wlan0
iface wlan0 inet manual
```

```

mtu 1532
wireless-channel 1 – 14
wireless-essid adhocrpi
wireless-mode ad-hoc
wireless-ap 02:12:34:56:78:9A

```



```

pi@raspberrypi: /etc/network/interfaces.d
File Edit Tabs Help
GNU nano 3.2 wlan0
auto wlan0
iface wlan0 inet manual
    mtu 1532 # Increase packet size to account for batman-adv header
    wireless-channel 1 # Any channel from 1-14
    wireless-essid adhocrpi # Your network name here
    wireless-mode ad-hoc
    wireless-ap 02:12:34:56:78:9A # This pre-sets your CELL id

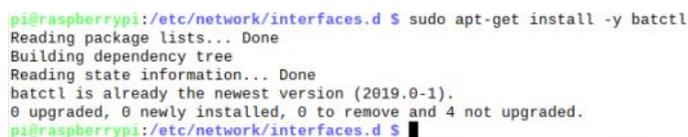
```

Figura 46. Configuraciones interfaz WLAN.

5.2.3. Instalación de BATMAN-ADV.

Para poder instalar el complemento de BATMAN-ADV, se tiene que ingresar los siguientes comandos, validando el enlace internet, para poder culminar la descarga del complemento.

```
sudo apt-get install -y batctl
```



```

pi@raspberrypi:/etc/network/interfaces.d $ sudo apt-get install -y batctl
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
batctl is already the newest version (2019.0-1).
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 4 not upgraded.
pi@raspberrypi:/etc/network/interfaces.d $

```

Figura 47. Instalación complemento BATMAN-ADV.

5.2.3.1. Configurar el inicio automático de Batman-adv.

Es necesario que BATMAN-ADV pueda correr su proceso al iniciar el sistema, ya que, si no se realiza esto, las configuraciones que se configuraron previamente para que el protocolo no podrá culminar de manera exitosa. esto se logra por medio del comando:

```
echo 'batman-adv' | sudo tee --append / etc / modules
```

5.2.3.2. DHCPD sobre la interfaz wlan0

Es necesario que se defina para que no se utilice DHCPD sobre la interfaz de wlan0, ya que esto no es óptimo al momento de tratarse de una red de corto alcance con pocos nodos.

El comando que evita que se otorgue direcciones DHCP es el siguiente:

```
echo 'denyinterfaces wlan0' | sudo tee --append /etc/dhcpd.conf
```

Esta solución tiene la capacidad de implementar una salida a internet por medio de un Gateway o adicionando interfaces de conexión lógicas o físicas.

5.2.3.3. Habilitar interfaces en el arranque.

La configuración evita que se tenga que realizar la configuración de interfaces y definición de IP cada vez que se enciende el dispositivo, el comando que se utiliza para que esto es:

```
echo "$ (pwd) /start-batman-adv.sh" >> ~ / .bashrc
```

5.2.4. Pruebas de protocolo en la RED MANET.

Dentro de las pruebas que se realizan en las redes son la validación de ping entre los nodos, validación de vecinos por las interfaces, validación de saltos y validación de mensajes.



Figura 48. Validación de creación red Ad-hoc.

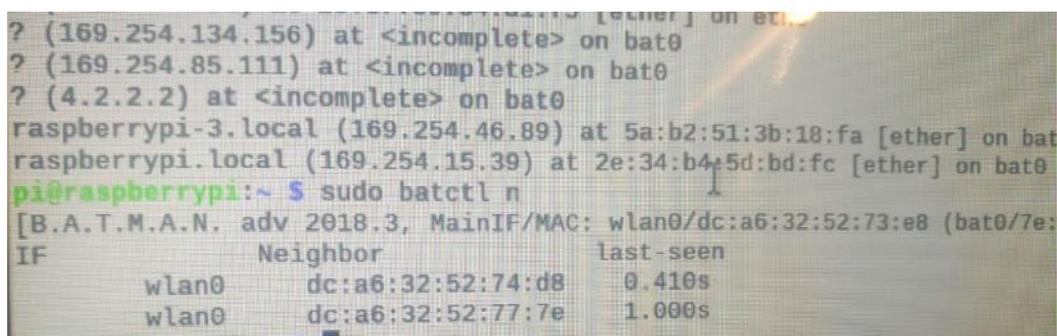
5.2.4.1. Comando batctl if

La validación con el comando batctl if, muestra que interfaz está activa dentro

del dispositivo, lo que muestra este comando es la wlan0 o la wlan1, dependiendo si se conectó un dispositivo USB. Al momento de que muestre wlan en estado activo ya se podrá tener acceso a la red MANET, realizando la misma configuración en todos los dispositivos.

5.2.4.2. Comando `batctl n`

El comando se utiliza para poder validar los saltos del próximo salto ya que cada nodo de BATMAN preserva una lista de todos los vecinos, la calidad del enlace define si un vecino, de un solo salto se dirige o no de forma directa al destino o pasa sobre otro. Parte del resultado de este comando es validar los mensajes OGM enviados por los vecinos cada segundo.



```

? (169.254.134.156) at <incomplete> on bat0
? (169.254.85.111) at <incomplete> on bat0
? (4.2.2.2) at <incomplete> on bat0
raspberrypi-3.local (169.254.46.89) at 5a:b2:51:3b:18:fa [ether] on bat0
raspberrypi.local (169.254.15.39) at 2e:34:b4:5d:bd:fc [ether] on bat0
pi@raspberrypi:~ $ sudo batctl n
[B.A.T.M.A.N. adv 2018.3, MainIF/MAC: wlan0/dc:a6:32:52:73:e8 (bat0/7e:
IF          Neighbor          last-seen
wlan0      dc:a6:32:52:74:d8      0.410s
wlan0      dc:a6:32:52:77:7e      1.000s

```

Figura 49. Nodos conectados a la interfaz.

5.2.4.3. Comando `batctl o`

Cada nodo de Batman preserva una lista de todos los demás integrantes de la red y recuerda en qué dirección enviar los paquetes si se deben transmitir datos. La dirección se manifiesta en la forma del mejor próximo vecino, que básicamente es el siguiente paso hacia el destino.

```

pi@raspberrypi:~$ sudo batctl n
[B.A.T.M.A.N. adv 2018.3, MainIF/MAC: wlan1/50:3e:aa:33:78:5b (bat0/82:64:8b:2b:f0:38 BATMAN_IV)]
IF      Neighbor      last-seen
 wlan1   dc:a6:32:52:73:e8  1.480s
pi@raspberrypi:~$ sudo batctl o
[B.A.T.M.A.N. adv 2018.3, MainIF/MAC: wlan1/50:3e:aa:33:78:5b (bat0/82:64:8b:2b:f0:38 BATMAN_IV)]
Originator      last-seen (#/255) Nexthop      [outgoingIF]
* dc:a6:32:52:73:e8  2.520s (200) dc:a6:32:52:73:e8 [ wlan1]
pi@raspberrypi:~$

```

Figura 50. Validación de saltos sobre la red MANET.

5.2.4.4. Optimización multienlace

Si se logra tener un enlace estable entre los vecinos, BATMAN-ADV tiene la capacidad de aumentar su rendimiento, aplicando el tipo de encolamiento Round Robin. Se aplica al sistema con ayuda del comando `batctl bonding enable`

5.2.4.5. Optimización para mensajes de los participantes con agregación.

BATMAN-ADV implementa la agregación desde su versión lanzada en el año 2012, funciona para reducir la sobrecarga que se crea para la búsqueda de todos los integrantes de la red.

Para lograr esto, recolecta y agrega los mensajes *Originator Message* (OGM) uno solo, en lugar de enviar muchos de pequeño tamaño. Se recomienda que esta función se desactive cuando el entorno es dinámico, con bruscos cambios de velocidad en los nodos, etc. Se arriesga el consumo de ancho de banda con el fin de aumentar la capacidad de respuesta ante a cambios bruscos. (Hernandez, 2013)

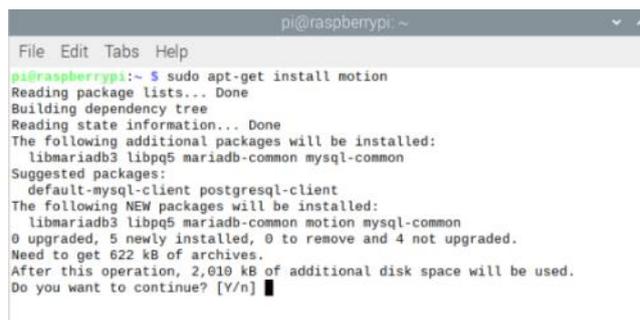
5.3. Streaming

Para la instalación de streaming, se escogió el uso de Motion, esto ya que viene prediseñado para el uso de Raspberry Pi, lo primero que se tiene que hacer es instalar el complemento de Motion, posteriormente se podrá configurar los parámetros de video.

5.3.1. Instalación de Motion.

El siguiente comando se utiliza para poder descargar los recursos necesarios para poder levantar un servidor de Motion. Se puede utilizar otros comandos que no sea el apt-get, dependiendo de la distribución y del usuario.

\$sudo apt-get install Motion



```

pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get install motion
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following additional packages will be installed:
  libmariadb3 libpq5 mariadb-common mysql-common
Suggested packages:
  default-mysql-client postgresql-client
The following NEW packages will be installed:
  libmariadb3 libpq5 mariadb-common motion mysql-common
0 upgraded, 5 newly installed, 0 to remove and 4 not upgraded.
Need to get 622 kB of archives.
After this operation, 2,010 kB of additional disk space will be used.
Do you want to continue? [Y/n] █

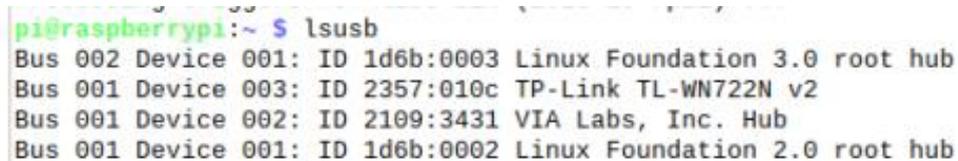
```

Figura 51. Instalación de Motion.

5.3.1.1. Validación de dispositivos.

Después de la instalación es necesario asegurarse de que la cámara se detecta correctamente, esto con el fin de que el dispositivo no tenga problemas de drivers, tal como se indica en la figura 52 por medio del comando `lsusb` se puede validar los dispositivos.

\$ sudo lsusb



```

pi@raspberrypi:~$ lsusb
Bus 002 Device 001: ID 1d6b:0003 Linux Foundation 3.0 root hub
Bus 001 Device 003: ID 2357:010c TP-Link TL-WN722N v2
Bus 001 Device 002: ID 2109:3431 VIA Labs, Inc. Hub
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub

```

Figura 52. Validación de dispositivos conectados.

5.3.1.2. Configuraciones en archivo Motion.conf.

Para realizar las configuraciones sobre el archivo de Motion.conf, lo primero que se tiene que hacer es ingresar a la raíz de `/etc/motion/motion.conf`, por medio de nano se editará el archivo para poder levantar el servidor de streaming con Motion.

```
$ sudo nano /etc/motion/motion.conf
```

Para encontrar las secciones a cambiar, se recomienda el uso de 'ctrl+w', este permite la búsqueda dentro del archivo de configuración, procedemos con la configuración que se muestra a continuación.

5.3.1.2.1. Daemon on

Para que el archivo pueda ser encontrado y pueda correr su proceso necesita cambiar de estado a encendido tal como se puede ver en la figura 53.



```
GNU nano 3.2 /etc/motion/motion.conf
daemon on
# File to store the process ID, also called pid file. (
```

Figura 53. Puesta en marcha del demonio de Motion.

5.3.1.2.2. Stream_localhost off

Este parámetro necesita estar desactivado, ya que, si este se mantiene en activo, bloqueará las conexiones al servidor de streaming, sin poder tener conexión desde su propio nodo ni de los vecinos. Este parámetro y *Daemon* definen el correcto funcionamiento del sistema.



```
# Restrict stream connections to localhost only (default
stream_localhost off
```

Figura 54. Desactivación del parámetro stream_localhost.

5.3.1.2.3. Webcontrol_localhost off

Se necesita que este se defina en apagado, y se utiliza para poder tener acceso al menú de control de Motion desde otros computadores. Se puede o no activar, ya que se puede visualizar video por medio de este puerto de control o por el de *streaming* específicamente. El puerto y la configuración se puede observar en la figura 55. Es importante recordar que los cambios realizados se tienen que guardar antes de salir.

```

GNU nano 3.2 /etc/motion/motion.conf

# Have stream preview image start on a new line
# Default: no
; stream_preview_newline no

#####
# HTTP Based Control
#####

# TCP/IP port for the http server to listen on (default:
webcontrol_port 8080

# Restrict control connections to localhost only (default
webcontrol_localhost off

# Output for http server, select off to choose raw text ;
webcontrol_html_output on

```

Figura 55.. Encendido interfaz de control.

5.3.1.3. Configuraciones en archivo Motion.

Para realizar las configuraciones sobre el archivo de Motion, lo primero que se tiene que hacer es ingresar a la raíz de `/etc/default/motion`, por medio de nano se editará el archivo para poder levantar el servidor de streaming con Motion.

```
$ sudo nano /etc/default/motion
```

Para encontrar las secciones a cambiar, se recomienda el uso de 'ctrl+w', este permite la búsqueda dentro del archivo de configuración, procedemos con la configuración que se muestra a continuación.

```
start_motion_daemon=yes
```

Para que el demonio de Motion funcione se tiene que definir dentro del archivo Motion el valor de si para que trabaje en conjunto con los recursos ya definidos. Tal como se puede observar en la figura 56.

```

GNU nano 3.2 /etc/default/motion

set to 'yes' to enable the motion daemon
start_motion_daemon=yes

```

Figura 56. Archivo Motion.

5.3.2. Configuraciones adicionales de optimización.

Para encontrar las secciones a cambiar, se recomienda el uso de 'ctrl+w', este

permite la búsqueda dentro del archivo de configuración, procedemos con la configuración que se muestra a continuación.

5.3.2.1. Framerate 1000

El número de fotogramas que se capturarán de la cámara por segundo. Cuanto más rápido obtenga imágenes de la cámara, más carga de CPU y GPU se obtendrá y más imágenes se incluirán cuando se detecte Movimiento.

```
GNU nano 3.2 /etc/motion/motion.conf
# horizontal means top to bottom. Valid values: none, v a
flip_axis none

# Image width (pixels). Valid range: Camera dependent, de
width 720

# Image height (pixels). Valid range: Camera dependent, d
height 680
█
# Maximum number of frames to be captured per second.
# Valid range: 2-100. Default: 100 (almost no limit).
framerate 10000
```

Figura 57. Optimización de tamaño y cuadros por segundo.

5.3.2.2. Stream_quality 50

Este parámetro se puede ir cambiando, dependiendo de las condiciones y de la cámara, la reducción de este parámetro ofrece más fluidez al momento de transmitir el video, esto ya que no procesa la misma cantidad de pixeles.

```
GNU nano 3.2 /etc/motion/motion.conf
#####
# The mini-http server listens to this port for requests
stream_port 8082

# 50% scaled down substream (default: 0 = disabled)
# substream_port 8082

# Quality of the jpeg (in percent) images produced (defau
stream_quality 30█
```

Figura 58. Calidad de transmisión.

5.3.2.3. Stream_maxrate 100

Limite la velocidad de fotogramas de la transmisión en fotogramas por segundo. Establezca el valor en 100 para prácticamente ilimitado. No establezca este parámetro demasiado alto a menos que solo lo use en el host local o en una LAN interna.

```

GNU nano 3.2 /etc/motion/motion.conf Modif
#####
# The mini-http server listens to this port for requests (default: 0 = disa
stream_port 8082

# 50% scaled down substream (default: 0 = disabled)
# substream_port 8082

# Quality of the jpeg (in percent) images produced (default: 50)
stream_quality 30

# Output frames at 1 fps when no motion is detected and increase to the
# rate given by stream_maxrate when motion is detected (default: off)
stream_motion off

# Maximum framerate for stream streams (default: 1)
stream_maxrate 10000

# Restrict stream connections to localhost only (default: on)

```

Figura 59. Velocidad de fotogramas en transmisión.

5.3.2.4. Smart_mask_speed 5

Smartmask es una máscara dinámica de autoaprendizaje. El valor predeterminado es 0, en rango de valores 1 es lento y 10 es rápido. La característica que ofrece este parámetro es que desactivará la sensibilidad en áreas con movimiento frecuente como en la naturaleza. (Motion, 2020).

La sensibilidad se vuelve a activar después de un tiempo definido, sin movimiento en esta área. De esta manera, la máscara inteligente funciona de manera más confiable cuando ocurren movimientos repentinos en condiciones de viento. (Motion, 2020).

5.3.2.5. Bitrate de vídeo

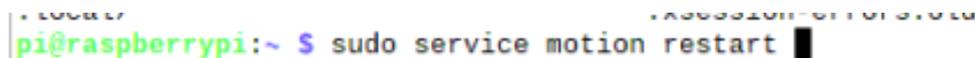
En la época actual en donde es importante la calidad para el usuario muchos codificadores ofertados dentro del mercado usan codificación de tasa de bits variable acompañado de un codificador de velocidad de bits variable, cuando establece una velocidad de bits.

Dependiendo del nivel de movimiento en su contenido de video y su intervalo de fotogramas la tasa de bits codificada real de la transmisión será más alta y más baja que el objetivo. Esta es una de las razones por las cuales es tan importante tener un espacio libre adecuado en su ancho de banda.

5.3.3. Validación de streaming.

En primer lugar, debe reiniciar el software de movimiento. Para poder realizar esto se necesita ingresar el comando.

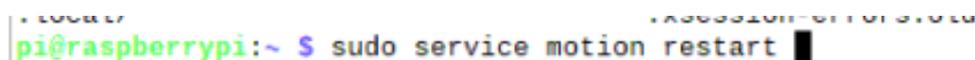
\$sudo service motion restart



```
pi@raspberrypi:~ $ sudo service motion restart
```

Figura 60. Reinicio de servicio motion.

\$sudo motion



```
pi@raspberrypi:~ $ sudo service motion restart
```

Figura 61. Activación de servicio motion.

5.3.3.1. Validación del servidor de streaming

En el navegador se tiene que ingresar a la dirección que se tiene IP de la Raspberry Pi, pero al tratarse del uso del protocolo BATMAN es necesario ingresar apuntando a las direcciones definidas en la interfaz bat0 y el número de puerto tal como se puede ver en la figura 62.

La dirección es colocada de acuerdo con la IP asignada a cada RPI, si se quisiera validar de manera directa al servidor de cada dispositivo, se tiene que apuntar a la dirección 192.168.100.XXX, en el caso de las interfaces con protocolo BATMAN la dirección 172.27.0.XXX, cabe recalcar que por medio de cualquier dispositivo de la red se puede apuntar a las interfaces bat0 y poder validar la transmisión con el uso del protocolo y gracias a la ayuda de las antenas integradas. Dentro de la figura 62 se puede observar que el sistema se valida por medio de la interfaz BATMAN. Dentro de esta es en donde el sistema muestra más latencia debido al ancho de banda.

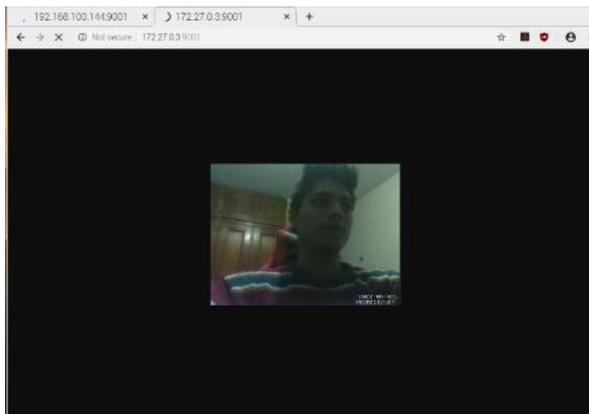


Figura 62. Activación de servicio Motion.

5.4. Validación del sistema completo.

5.4.1. Montado del sistema.

El montado del sistema se realiza de tal manera, que se utilice la menor cantidad de elementos, por ejemplo, el uso de coberturas plásticas, uso excesivo de batería o elementos de materiales pesados, como por ejemplo metal o madera. Dentro de este sistema se implementa un sistema de batería acompañado por un inversor de corriente el cual puede suplir al sistema de la cantidad necesaria para poder funcionar de manera óptima sin afectar a los dispositivos periféricos ni al comportamiento de la placa.

Un elemento que fue necesario analizar para montar en el sistema es la antena externa, ya que esta tiene un gran tamaño a diferencia de la que es embebida en la placa, pero al tratarse de una red ad-hoc, su fin es ser utilizado en ambientes abiertos y con movimiento, por lo que mantener la calidad del enlace es indispensable, y esto se ha podido lograr con ayuda de los dispositivos externos. Todos los elementos se pueden apreciar dentro de la figura 63.



Figura 63. Elementos de montaje del sistema.

El sistema que se compone de la placa de procesamiento, cámara tipo bus, baterías, circuito inversor y antena externa, será montado sobre un case plástico reduciendo su tamaño y su peso, logrando incluir en un solo chasis todos los elementos para el funcionamiento, por lo que se ha optado incluir la etapa de optimización, en base al tamaño de elementos hardware.

5.4.1.1. Optimización en el tamaño y uso de los elementos.

Para esta etapa se ha tomado en cuenta que el sistema anterior utilizaba un banco de poder de 120000 mAh, con un peso aproximado de 125 gr, este dato se obtiene de un banco de poder de las mismas características.

Se ha desmontado el banco de poder, utilizando su propio inversor para poder realizar un arreglo solo de 3 baterías en paralelo, reduciendo su cantidad de mAh, pero también su peso, esto otorgando al vehículo no tripulado más autonomía de vuelo. Dentro del banco de poder se ha podido identificar que este viene con 5 baterías, estas fueron reducidas a 3 logrando reducir 68 gramos en baterías y 50 gramos retirando el protector plástico de estas. El peso total de los elementos que se logran optimizar se puede observar en la figura 64.



Figura 64. Peso optimizado.

5.4.1.2. Prototipo final.

Después de realizar el armado incluyendo todo en un solo armazón se llega a

tener un peso neto de 247 gramos con batería y con los periféricos incluidos. Se puede ver una mejora sobre el otro sistema, ya que colocar baterías que duren más de 5 horas en un vehículo no tripulado que tiene de autonomía 20 minutos no es óptimo. En la figura 65 se indica el peso total en gramos para el sistema que será montado en el UHV



Figura 65. Peso total del sistema optimizado.

5.4.2. Pruebas ambientes cerrado.

5.4.2.1. Validación de cobertura.

Se realizan las pruebas en ambientes cerrados como se puede observar en la figura 66, el sistema puede tener una conexión estable con las antenas de largo alcance, la diferencia es sustancial a comparación de la antena embebida sobre la placa de procesamiento, es necesario que la energía que se induce al sistema sea la necesaria, ya que se realiza la prueba con una carga insuficiente, y se puede ver un retraso en los mensajes OGM, llegando a tener hasta 2 segundos de retraso.

La cobertura se puede medir con ayuda del aplicativo para Android Net Analyzer o Wifi Analyzer.



Figura 66. Distancia de medida antena externa.

Las pruebas se realizan en los peores escenarios dentro del ambiente cerrado, esto quiere decir que se cierran las puertas y la conexión se realiza desde el interior a más o menos 69 metros, incluyendo las interferencias.

Se van realizando tomas de la red con la ayuda de Wifi Analyzer, es importante saber que el uso de esta aplicación nos puede ayudar a definir configuraciones de canal dependiendo del lugar en donde se encuentre el sistema. En base a este aplicativo, en el ambiente se ha podido identificar que el canal con menos carga es el número 1, esto se puede apreciar en la figura 67, la cual muestra en color morado el canal de la red ad-hoc.

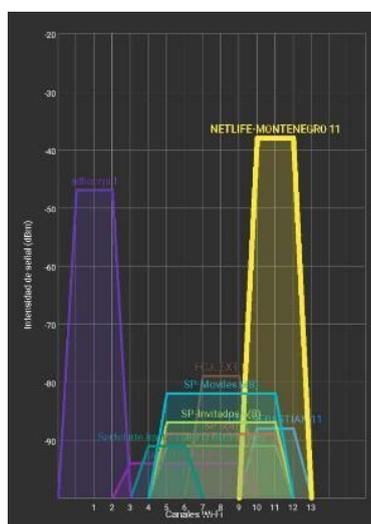


Figura 67. Red Adhocrpi validación con Wifi Analyzer.

Las validaciones de cobertura se realizan en movimiento, por lo que se van realizando tomas de la red para validar la calidad y alcance que puede tener el

sistema en un ambiente con alto nivel de interferencia.

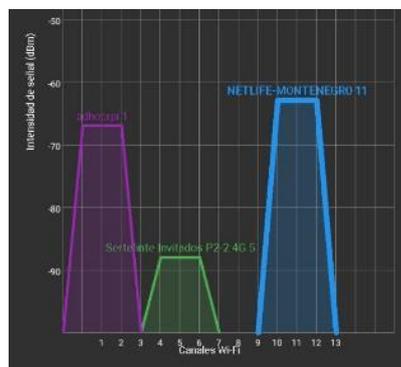


Figura 68. Red Adhocrpi validación con Wifi Analyzer.

Se puede validar que dentro de esta imagen el nodo al que se conecta es el que tiene definido la interfaz de la Wlan0, esta es la antena embebida sobre la placa. En las imágenes posteriores se podrá apreciar cual es el cambio que existe al momento de dirigirse al nodo con las antenas de alta ganancia.

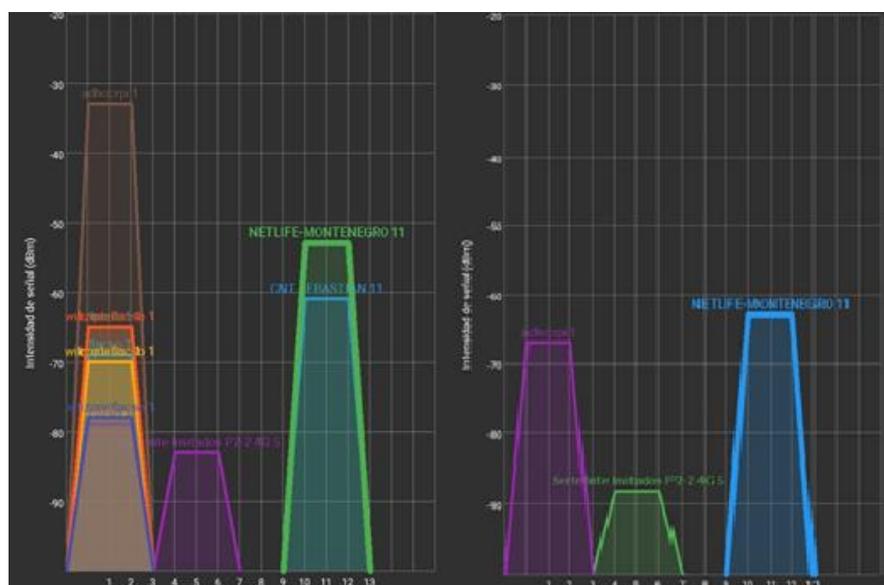


Figura 69. Relación antena de largo alcance vs embebida.

5.4.2.2. Validación retardo en video.

Las pruebas de retardo en el ambiente cerrado son exitosas, llegando a tener un alcance de 69 metros más o menos con un retraso de video de más o menos un

segundo y medio. La prueba se realiza con ayuda de un cronómetro y de una cámara de video, la cual se puede observar en la figura 70.

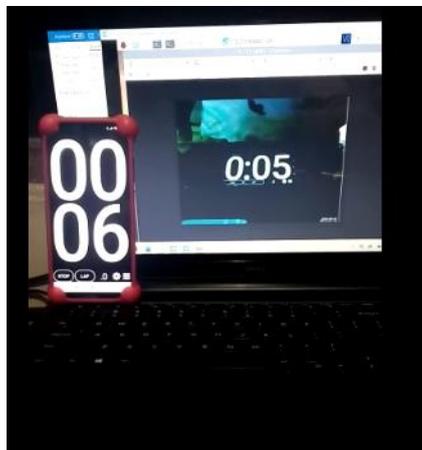


Figura 70. Latencia 1 segundo.

Las pruebas se realizan utilizando VNC Viewer, por lo que se logra identificar que este genera retraso en la transmisión, por lo que se decide utilizar un sistema directo, esto hace referencia a que se va a captar directamente el video por medio de un nodo estático, que será la base. Adicional a esto como se puede ver en la figura 71, la interferencia de las redes contiguas causa que esta señal se vea atenuada, aunque se ha definido que la red viaje por el canal uno ya que es la menos concurrente, aún existen redes que logran interferir con esta.

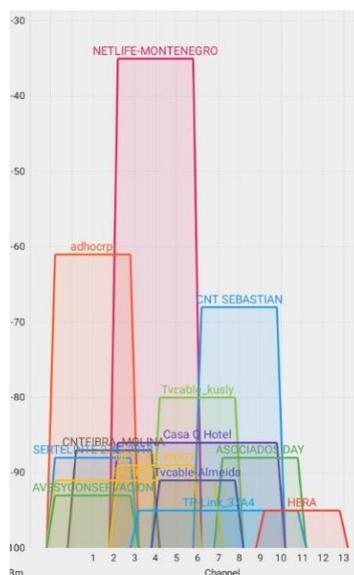


Figura 71. Tabla de red Adhoc relación dBm vs Canal.

Mientras más se aleja del nodo en las pruebas, se puede identificar que la latencia máxima antes de perder conexión es de 2.2 segundos, se recalca que sobre esta prueba aún se utiliza VNC viewer, por lo que este tiempo es variable.



Figura 72. Latencia 2.2 segundos.

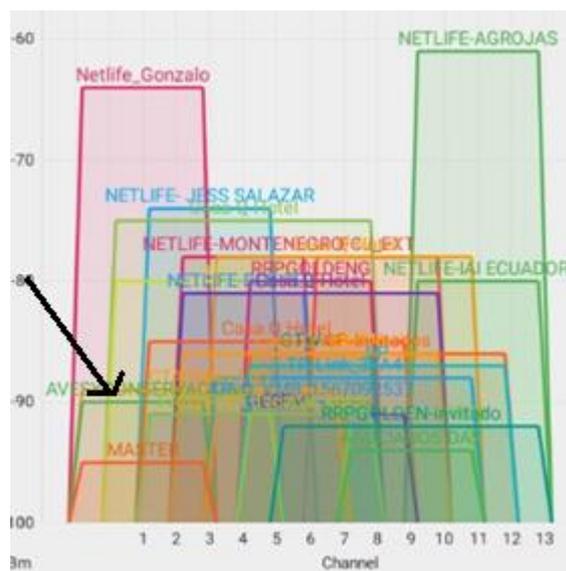


Figura 73. Intensidad de señal -88 dBm.

Obteniendo los datos previos, se puede realizar la tabla 13, en la cual se realiza la toma de datos perteneciente el nuevo sistema, la relación que muestra la tabla es la existente entre la intensidad de señal en potencia, versus la latencia que se tiene al recibir la transmisión de los nodos.

Tabla 14.

Relación entre distancia y latencia de video.

DISTANCIA (m)	NIVEL POTENCIA	VIDEO (Latencia)
0	-30	>0 segundos
20	-47	>0 segundos
28	-60	<1 segundo
40	-70	<1 segundo
50	-75	<1 segundo
60	-79	<1 segundo y medio
74	-84	<2.2 segundos
85	-90	Perdida de conexión

Dentro de la tabla 14 se pudo observar que existe una mejora en cuanto al sistema anterior mostrado en la tabla 15, esto gracias a las antenas de largo alcance, gracias a las antenas, el sistema se vuelve más estable, por lo que se puede obtener mejores resultados de fluidez de video, por lo que se mejora en más de 2 segundos el retraso del video.

Dentro de la figura 74 se puede observar la distancia máxima medida por el analizador de redes Wifi. Siendo esta la distancia máxima con la que se puede obtener video transmisión.



Figura 74. Distancia máxima de la red a -85 dBm.

Se realizan pruebas con las antenas embebidas, la diferencia de estas es que el alcance se reduce debido a que estas antenas no emiten la suficiente señal. El sistema mejora en el rendimiento en cuanto a latencia, gracias al protocolo optimizado y las mejoras sobre las configuraciones de video sin olvidar las mejoras sobre el HW.

Tabla 15.

Toma de datos del sistema base.

DISTANCIA (m)	NIVEL POTENCIA	VIDEO (Latencia)
0	-30	REAL
10	-57	REAL
20	-70	REAL
30	-74	REAL

40	-77	MEDIO
50	-79	MEDIO
60	-80	MEDIO
70	-82	MALO

5.4.2.3. Validación de comportamiento del protocolo

Cada nodo de Batman preserva un listado de todos los vecinos de salto único que detecta. El hecho de si un vecino de un solo salto se dirige o no directamente o a través de otro vecino de un solo salto se decide en función de la calidad del enlace.

`$ sudo batctl n`

```

pi@raspberrypi:~$ sudo batctl n
[B.A.T.M.A.N. adv 2018.3, MainIF/MAC: wlan0/dc:a6:32:52:73:e8 (bat0/96:05:96:8c:
de:c2 BATMAN_IV)]
IF      Neighbor      last-seen
wlan0   dc:a6:32:52:77:7e  0.740s
pi@raspberrypi:~$ sudo batctl n
[B.A.T.M.A.N. adv 2018.3, MainIF/MAC: wlan0/dc:a6:32:52:73:e8 (bat0/96:05:96:8c:
de:c2 BATMAN_IV)]
IF      Neighbor      last-seen
wlan0   dc:a6:32:52:77:7e  0.540s
pi@raspberrypi:~$ sudo batctl n
[B.A.T.M.A.N. adv 2018.3, MainIF/MAC: wlan0/dc:a6:32:52:73:e8 (bat0/96:05:96:8c:
de:c2 BATMAN_IV)]
IF      Neighbor      last-seen
wlan0   dc:a6:32:52:74:d8  1.030s
wlan0   dc:a6:32:52:77:7e  1.910s
pi@raspberrypi:~$

```

Figura 75. Vecinos conectados al nodo.

5.4.3. Pruebas en ambientes abiertos.

Para las pruebas en ambientes abiertos es necesario preparar los vehículos no tripulados con sus debidos elementos.

Parte del funcionamiento es cómo se debe montar el sistema sobre el dron o los dispositivos móviles utilizados para las pruebas, con el fin de que no sufra desvíos repentinos de ruta o daños, debido a la inestabilidad.

Para evitar posibles daños dentro del sistema es importante realizar validaciones previas del ambiente, ya que los drones tienden a realizar decesos bruscos por la velocidad del viento, lluvias, o elementos que se encuentren cercanos a este, se puede realizar la validación de estos datos por medio de internet en diferentes páginas, dentro de la figura 76 se puede observar la velocidad referencial con la que corre el viento dentro del área de Quito.

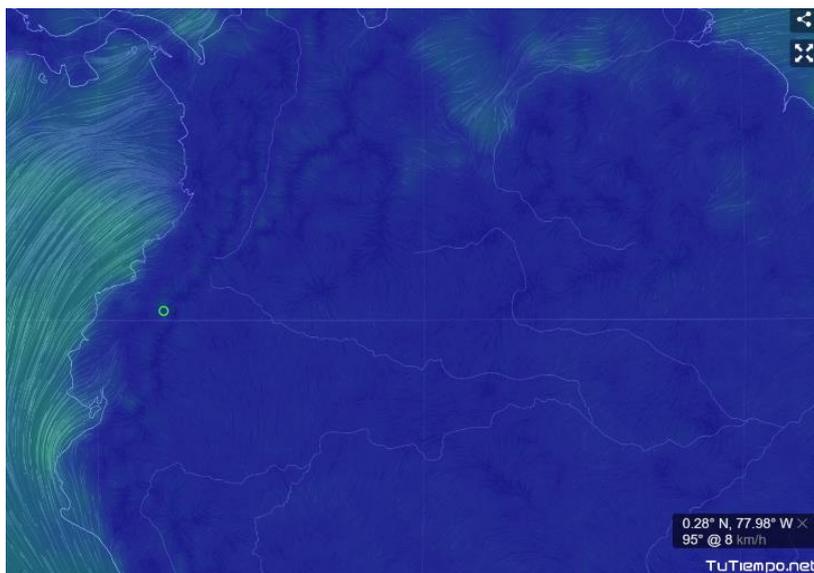


Figura 76. Velocidad del viento en Quito para realizar pruebas de vuelo seguras.

Tomado de: (MapaTuTiempo, s.f.).

Se puede observar dentro de la figura 78 a mayor detalle que, dentro de la ciudad de Quito, se tienen vientos de hasta 12 km/h esto se representan por las líneas de color verde, la zona que se necesita verificar es la sierra por lo que se define el punto en Quito, esta velocidad con la que corre el viento es suficiente para desviar al vehículo no tripulado.

El día de la prueba se toman datos de esta y la velocidad reduce a 8 km/h, siendo esta una velocidad más segura para realizar las pruebas. Dentro de la figura 77 se puede observar la velocidad del viento dentro de la ciudad de Quito, esta velocidad varía dependiendo del área y la altura, pero se toma una media de más o menos 10 km/h.

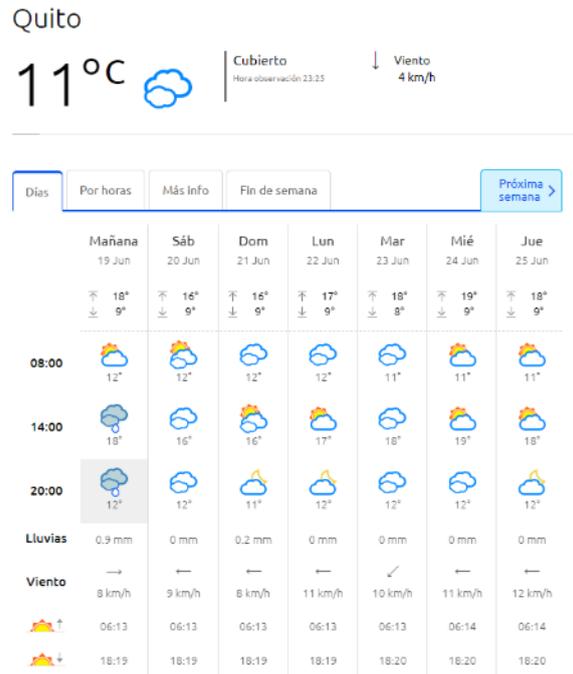


Figura 77. Datos semanales del clima.

Tomado de: (Clima.com, 2020).

5.4.3.1. Validación de cobertura ambientes externos.

El primer escenario que necesita ser validado es el alcance entre los nodos dentro de un ambiente abierto, el alcance tiene como referencia, un retardo menor a los 3 segundos, desde la base con una distancia de hasta 75 metros sin emisión de señal de video. Estos datos se obtienen del modelo base.

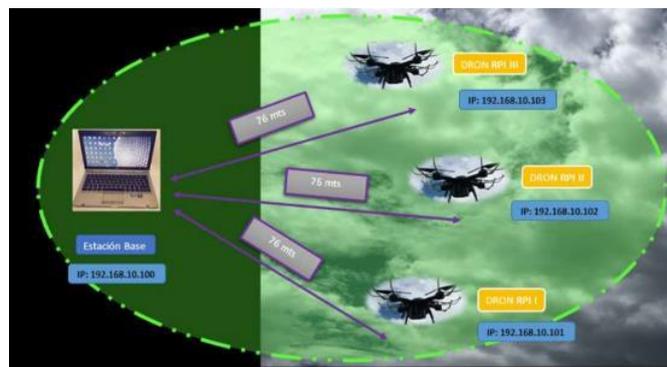


Figura 78. Primer escenario de pruebas.

Tomado de: (Duque, 2017).

Dentro del nuevo proyecto, la base que recepta es un Raspberry pi 3 b+, el cual fue utilizado en el proyecto base, este se conecta a un monitor, teclado y ratón. Con la ayuda de esto se puede validar los videos de los nodos y de la red.

Se realiza el primer escenario el cual involucra tener todos los nodos interconectados entre sí y que se puedan visualizar desde la base, esta validación se realiza, con el fin de validar cómo funciona el protocolo de enrutamiento.

Dentro de la figura 81 se puede observar la base que se utiliza para la validación del sistema, esta se conecta a un inversor de corriente, el cual tiene que ser alimentado por el automóvil. Los nodos utilizan su batería para poder movilizarse dentro de las pruebas.

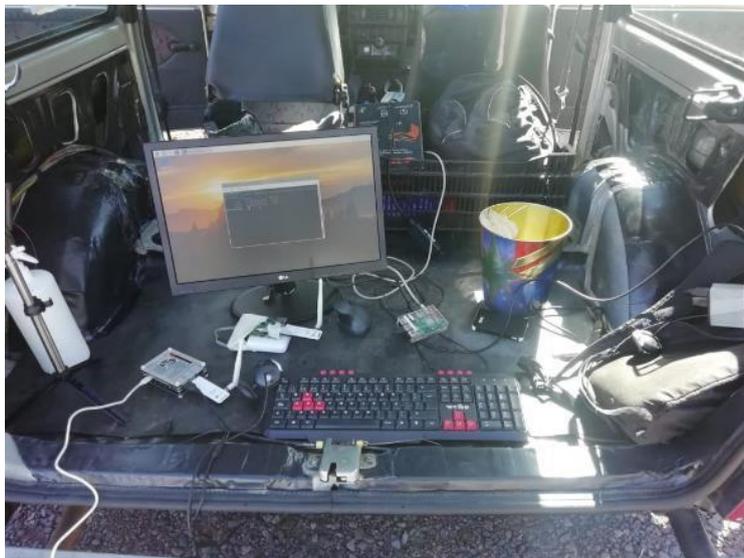


Figura 79. Sistema completo en ambientes abiertos.

Para empezar a realizar las pruebas es necesario validar que todos los nodos se encuentren conectados en la red, con la ayuda del comando `BATCTL N`, se puede obtener los datos de los nodos vecinos conectados a las interfaces, se tiene que mostrar tres nodos conectados, los cuales pertenecen a los nuevos dispositivos Raspberry Pi 4B.

Las pruebas fueron realizadas en el "Parque Metropolitano de Quito", llegando a obtener una distancia máxima de 94.81 metros hasta el corte de la red MANET. Tal como se muestra en la figura 80

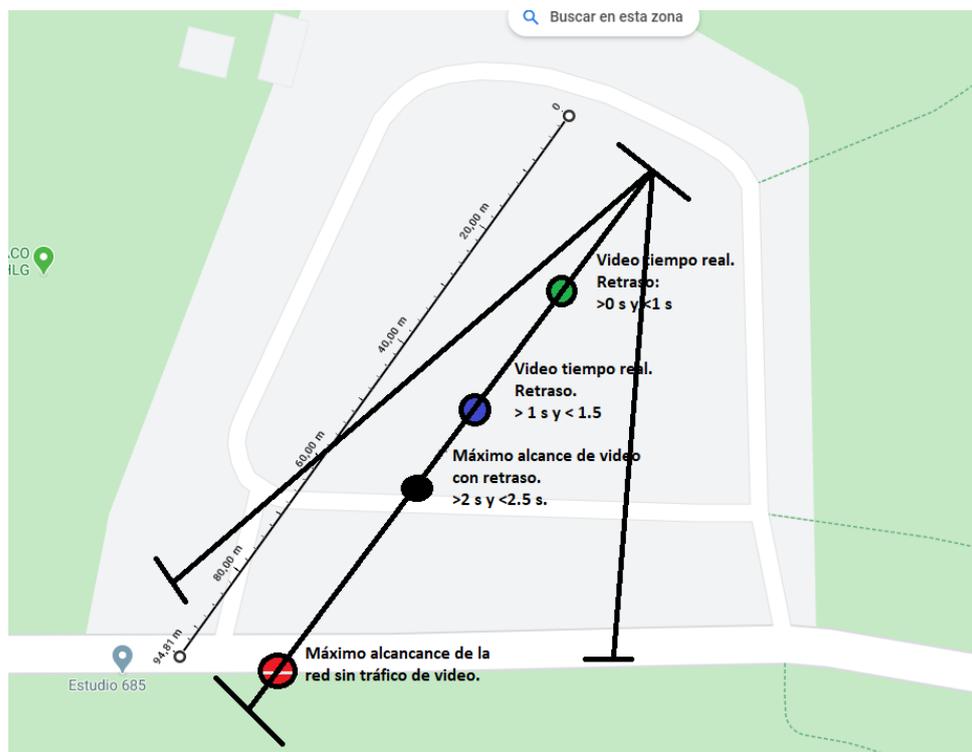


Figura 80. Primer escenario de pruebas distancia máxima 94.8 metros.

Se valida que la recepción de video es fluida con un retraso máximo de 2 segundos, en un intervalo de distancia de entre 40 y 60 metros, pasado esta cantidad de distancia el video se degrada de forma sustancial, debido a la baja cantidad de potencia receptada por la base.

Por medio del comando BATCTL se logra obtener un valor en segundos, este valor es el tiempo que toma en llegar los mensajes OGM al destinatario, si este llega a ser mayor a 4 segundos, la conexión se ha perdido y la red guarda por 2 minutos la MAC del dispositivo para posibles ingresos bruscos a la red, debido a las condiciones de movimiento.

Dentro de la figura 82, se muestra la distancia máxima alcanzada por los nodos desde la base. Se muestra adicionales puntos de referencia, los cuales permiten validar que calidad de video que se muestra al usuario, dependiendo de la distancia que se toma hacia la base.

Se valida que una distancia óptima para el sistema es la de 60 metros en donde se puede encontrar una estabilidad de enlace y fluidez dentro del video. Gracias

a la ayuda de NetAnalyzer, se puede realizar toma de datos de la intensidad de señal versus los canales WIFI ocupados, se muestra en la figura 83 que realizar las pruebas para este tipo de redes en lugares abiertos es la mejor opción ya que no se tiene la interferencia de otras redes corriendo sobre el mismo canal que en este caso se ha definido en 1.

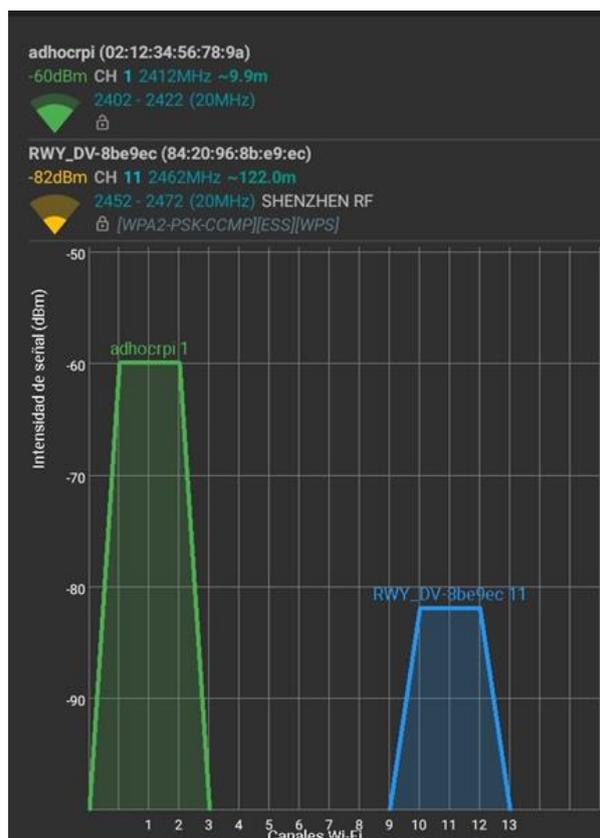


Figura 81. Primer escenario de pruebas.

La figura 82 muestra la imagen captada desde los nodos ubicados en los diferentes puntos del sitio de pruebas. Adicional se puede observar dentro del terminal que, los nodos 3 nodos se encuentran interconectados entre sí. Y no muestran saltos ya que se encuentran conectados directamente a la base.

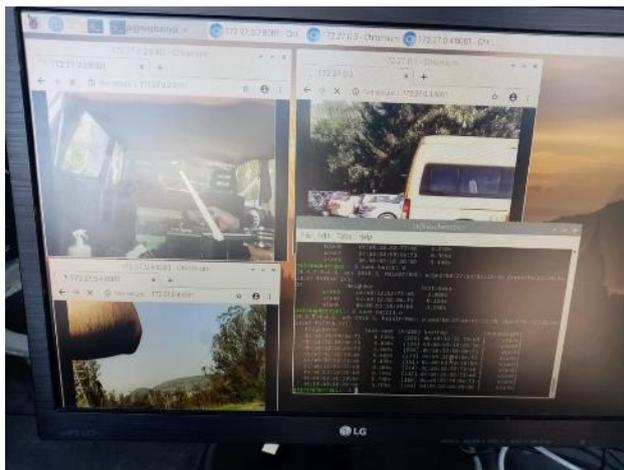


Figura 82. Validación de nodos en base.

Para validar las mejoras existentes entre el sistema base y el sistema optimizado se realiza una comparación por medio de la tabla número 16 y 17. Dentro del sistema actual se pueden ver que los datos recolectados muestran un mejor comportamiento que el diagrama base, basado en la intensidad de señal y el retraso en el video.

Tabla 16.

Niveles de potencia modelo base vs distancia.

DISTANCIA (m)	NIVEL POTENCIA dBm	VIDEO (Latencia)
0	-30	REAL
10	-57	REAL
20	-70	REAL
30	-74	REAL
40	-77	MEDIO
50	-79	MEDIO
60	-80	MEDIO
70	-82	MALO

Tabla 17.

Niveles de potencia modelo actual vs distancia.

DISTANCIA (m)	NIVEL POTENCIA	VIDEO (Latencia)
0	-30	>0 segundos
20	-47	>0 segundos
28	-53	<1 segundo
40	-60	<1.5 segundos
50	-75	<2 segundos
60	-79	<2 segundos
77	-84	<2.5 segundos
95	-90	Perdida de conexión

5.4.3.2. Validación de comportamiento del protocolo

Para la validación del protocolo es necesario que se realicen diferentes pruebas en las cuales se van a poder observar el comportamiento de la red según su posición.

Como se puede apreciar dentro de la figura 85, la prueba necesita que se realice de tal manera que dos nodos se conecten a la base obligando al nodo perimetral a encontrar el mejor camino hacia la base.



Figura 83. Elección mejor vecino.

Tomado de: (Duque, 2017).

Para este caso en específico, se colocó una antena que no sea de largo alcance,

para que este se vea obligado a pasar por el nodo con mayor intensidad de señal tal cómo se puede ver en la figura 84, estas validaciones se realizan por medio del comando BATCTL O, este comando al ser insertado al momento de las pruebas, indica que el tráfico está pasando por la MAC perteneciente al nodo con la antena de largo alcance tal cómo indica la figura 85, ya que este tiene menor retardo en los mensajes OGM enviados por el originador que viene a ser la base.



Figura 84. Montaje en dron para validación del mejor vecino. Ver anexo A.

Otra forma de validar que no se está teniendo una conexión directa, es que los datos enviados por el comando solo muestran dos asteriscos, eso quiere decir que solo dos nodos están conectados directamente a las interfaces de la base, hay que tener cuidado con no confundir los comandos de saltos y vecinos ya que el ingreso del comando BATCTL N muestra los tres nodos, cada uno con tiempo diferente, perteneciente al retardo que existe por la distancia entre estos.

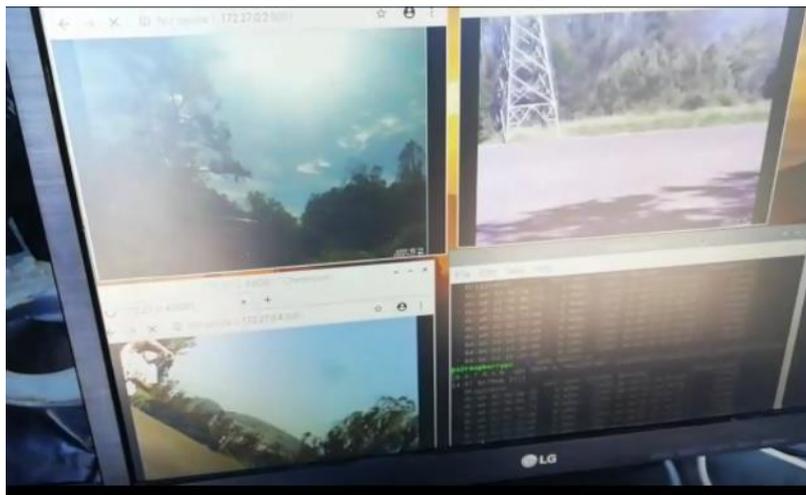


Figura 85. Validación de saltos en ambientes abiertos.

Para realizar validaciones de cómo se comporta el protocolo en movimiento se realizan pruebas con el equipo montado a un vehículo, el cual hace uso de un inversor de corriente para poder alimentar al dispositivo. Esto con el fin de que el sistema funcione a máxima capacidad y no afecte a la transmisión de la antena.

Dentro de la figura 86 se puede validar cómo se realizan las pruebas de carga que recibe cada nodo y el comportamiento de saltos basado en la cantidad de señal.

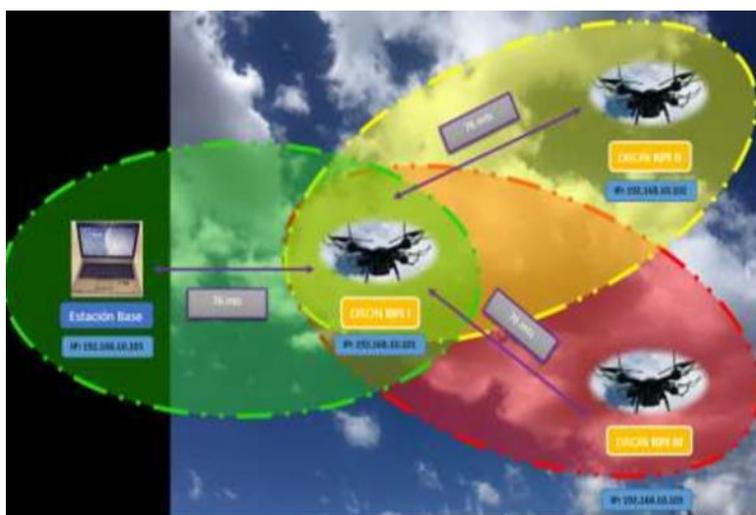


Figura 86. Prueba de carga y saltos en movimiento.

Dentro de la figura 86 se puede observar que los datos recolectados al momento

de la prueba muestran que el nodo perimetral se está interconectando con el nodo posicionado en la mitad, esto sucede ya que basado en la intensidad de señal este toma la ruta más efectiva hacia el destino. En próximas imágenes se podrá observar cómo los saltos cambian dependiendo de la posición del vehículo.

Adicional a esto se ha instalado un visor del tráfico de datos por interfaz, lo que permite observar cómo varía el ancho de banda dependiendo del movimiento del video.

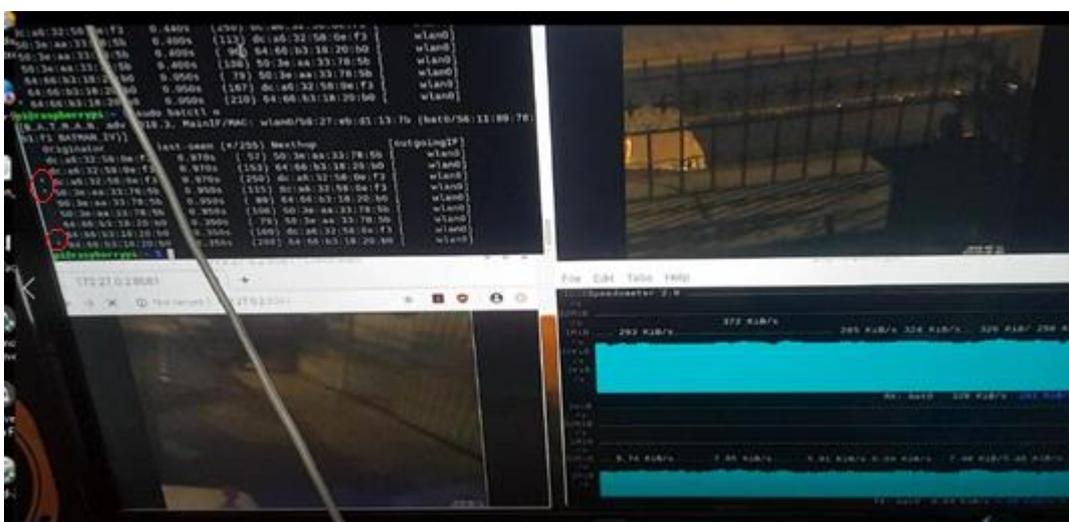


Figura 87. Saltos en posición inicial.

Por medio del comando BATCTL N, se puede obtener un listado de los vecinos conectados, con el tiempo de retardo que está tomando en llegar los mensajes de OGM tal cómo se indica en la figura 88. Esta validación se realiza antes de empezar a validar los saltos.

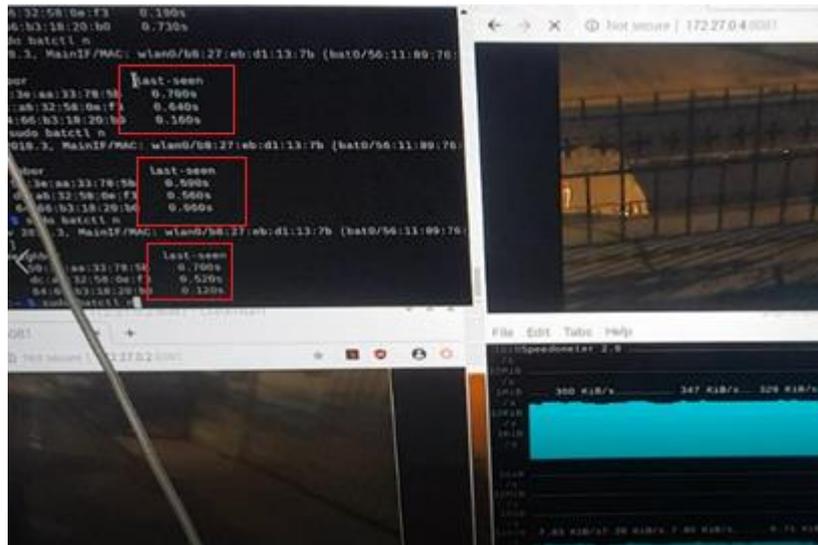


Figura 88. Conexión de vecinos a la red.

Dentro de la figura 88 se puede validar el primer moviente que se realiza en el automóvil, este se realiza a una velocidad de 8 kilómetros por hora, siendo esto una velocidad baja, esta afecta al sistema con un retraso de hasta 3 segundos debido a la cantidad de pixeles que se procesan por segundo, este retraso se podría mejorar en próximas implementaciones por medio de una codificación en h265 la cual solo toma los cuadros que han cambiado en el sector de la imagen.

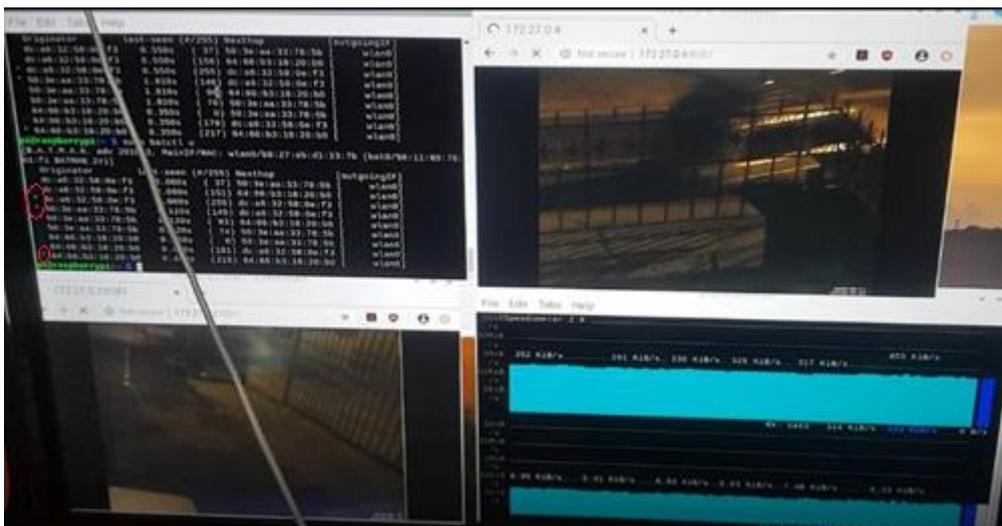


Figura 89. Movimiento 8 Km/h.

Al dejar al sistema unos segundos en la misma posición este sigue mostrando los mismos saltos que tenía al inicio de la prueba, esto con la justificación de que el nodo perimetral no goza de una conexión buena para conectarse directamente. Esto se puede ver en la figura 90, en la validación de los saltos.

```

[8.A.T.H.A.S. adv 2016] MainIP/MAC: wlan0/b8:27:eb:d1:13:7b
b1:f1 BATHAN_IV))
Originator last-seen (#/255) NextHop
dc:a6:32:58:0e:f3 1.590s ( 0) 50:3e:aa:33:78:5b [out]
dc:a6:32:58:0e:f3 1.590s (154) 64:66:b3:18:20:b0
* dc:a6:32:58:0e:f3 1.590s (255) dc:a6:32:58:0e:f3
* 50:3e:aa:33:78:5b 0.870s (142) dc:a6:32:58:0e:f3
50:3e:aa:33:78:5b 0.870s ( 98) 64:66:b3:18:20:b0
50:3e:aa:33:78:5b 0.870s ( 59) 50:3e:aa:33:78:5b
64:66:b3:18:20:b0 0.470s ( 0) 50:3e:aa:33:78:5b
* 64:66:b3:18:20:b0 0.470s (387) dc:a6:32:58:0e:f3
* 64:66:b3:18:20:b0 0.470s (213) 64:66:b3:18:20:b0
[8.A.T.H.A.S. adv 2016] MainIP/MAC: wlan0/b8:27:eb:d1:13:7b
b1:f1 BATHAN_IV))
Originator last-seen (#/255) NextHop
dc:a6:32:58:0e:f3 1.590s ( 0) 50:3e:aa:33:78:5b [out]
dc:a6:32:58:0e:f3 1.590s (154) 64:66:b3:18:20:b0
* dc:a6:32:58:0e:f3 1.590s (255) dc:a6:32:58:0e:f3
* 50:3e:aa:33:78:5b 0.870s (142) dc:a6:32:58:0e:f3
50:3e:aa:33:78:5b 0.870s ( 98) 64:66:b3:18:20:b0
50:3e:aa:33:78:5b 0.870s ( 59) 50:3e:aa:33:78:5b
64:66:b3:18:20:b0 0.470s ( 0) 50:3e:aa:33:78:5b
* 64:66:b3:18:20:b0 0.470s (387) dc:a6:32:58:0e:f3
* 64:66:b3:18:20:b0 0.470s (213) 64:66:b3:18:20:b0

```

Figura 90. Saltos finales de movimiento.

Para realizar más pruebas de los saltos se realizan más movimientos a la misma velocidad, ahora el automóvil se acerca más al nodo de la base, logrando tener una conexión estable y no tener que saltar por un nodo intermedio. Esto se puede observar en la figura 91, en los asteriscos que se encuentran junto de las direcciones MAC, después de correr el comando BATCTL O.

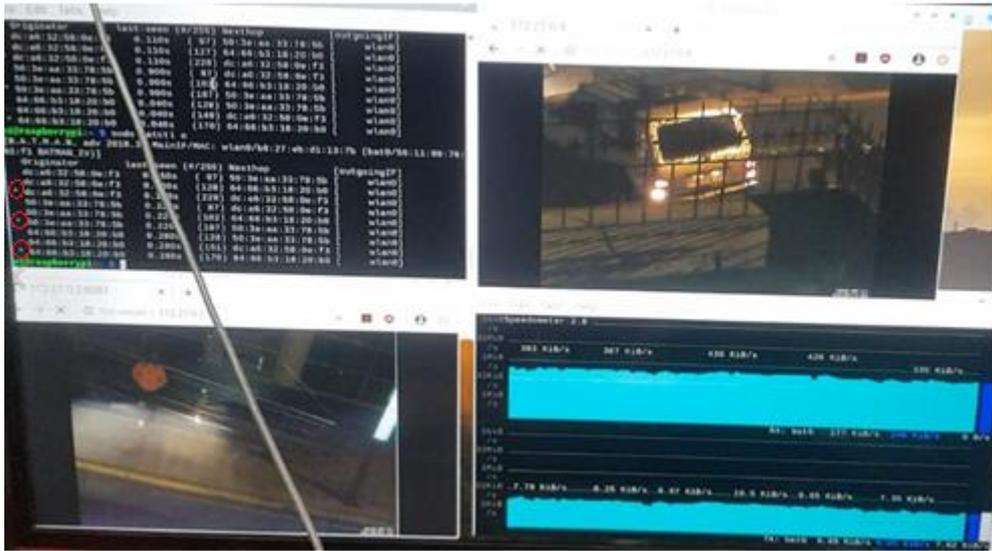


Figura 91. Conexión directa sin saltos.

Al realizar movimientos en sentido diferente al del inicio, el comportamiento del protocolo se ve afectado en ese lapso, ya que el nodo perimetral en primera instancia empieza a comunicarse por medio del nodo perimetral ubicado en la parte norte del escenario de pruebas, pero conforme llega a su destino, este se comunica por medio del nodo sur, como se puede observar en la figura 92

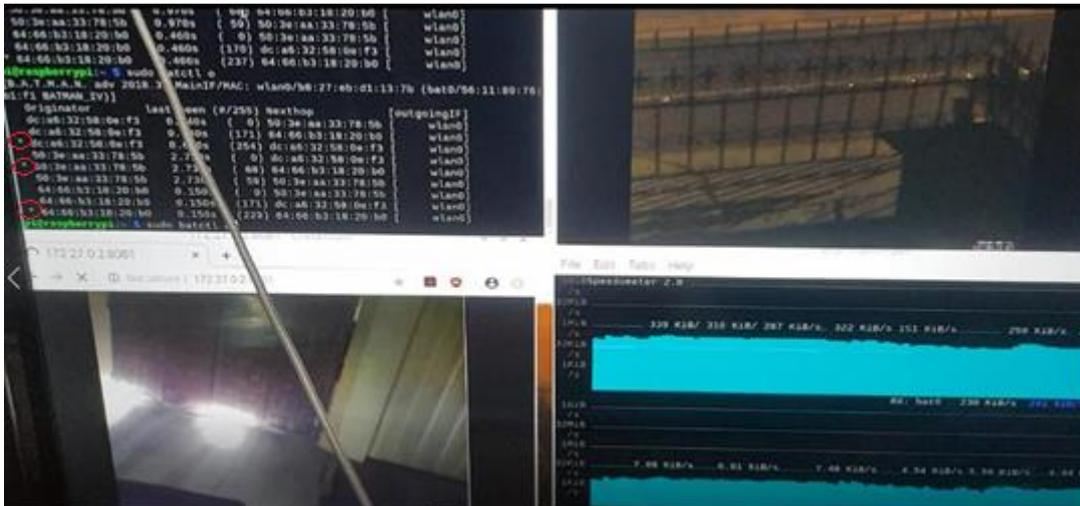


Figura 92. Conexión con salto nodo sur.

Dentro de la figura 93, se puede ver la conexión en el final de tramo, la cual tiene una variación en la forma en la que está llegando el tráfico, se puede observar

que el nodo sur, tiene un salto hacia el nodo perimetral, ya que la distancia que se ubica este tiene una mejor señal debido a la posición de la antena, causando ese efecto en los nodos contiguos.

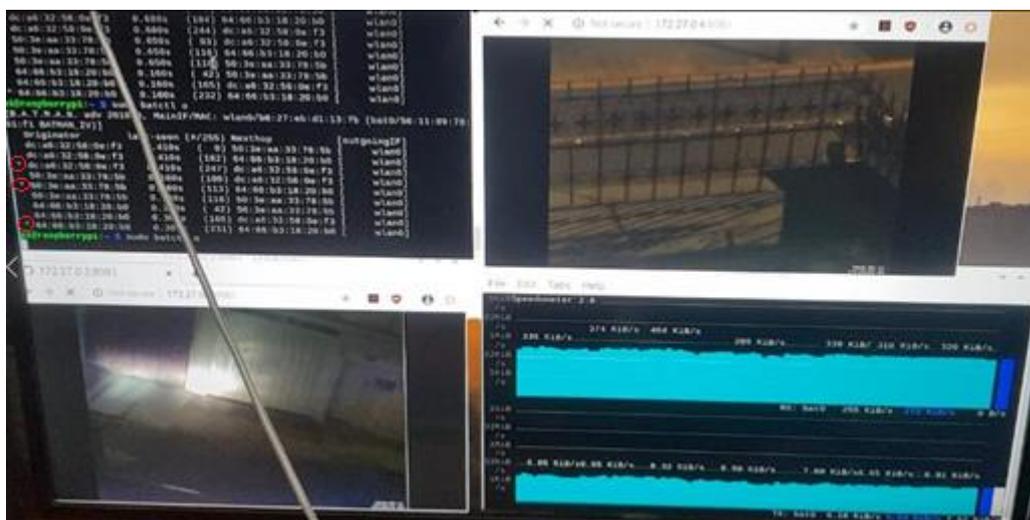


Figura 93. Salto de perimetral a nodo sur.

Por unos momentos dentro del tramo hasta que la señal se logre estabilizar, la conexión a los nodos se torna directa esto se puede observar en la figura 94, pero esto al tener un enlace estable, los saltos cambian para que el nodo sur pueda comunicarse con el nodo perimetral directamente a la base, ya que esta muestra menor retraso en sus mensajes OGM y una mayor cantidad de señal, debido a las atenuantes que existen del nodo sur hacia la base.

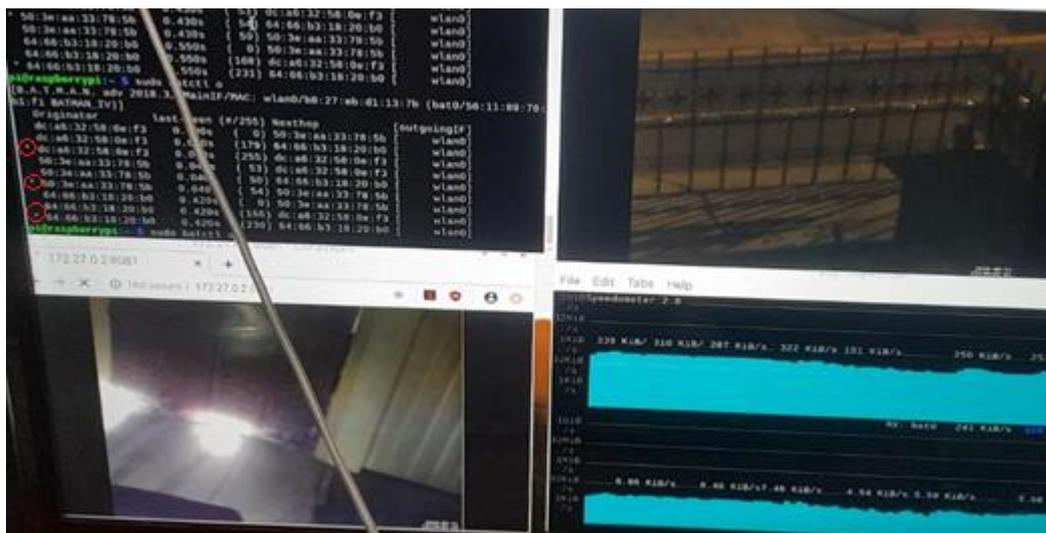


Figura 94. Conexión directa de todos los nodos hacia la base.

Dentro de la figura 95 se puede observar la conexión final y como se está direccionando el tráfico por medio de los nodos.

Gracias a esta prueba se puede validar como afecta la velocidad en la calidad del enlace y en el retraso del video debido a la gran cantidad de pixeles que se tiene que procesar.

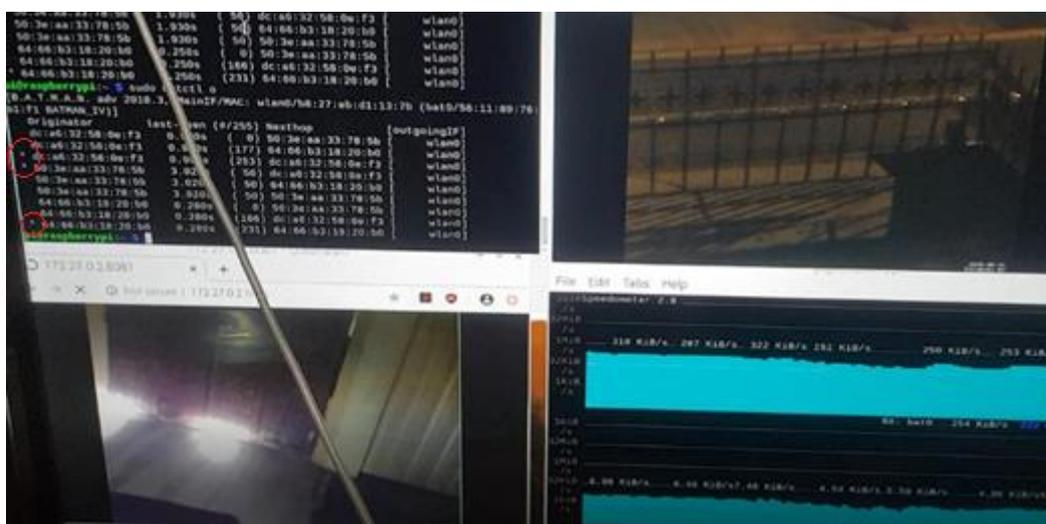


Figura 95. Salto de nodo sur por nodo perimetral.

Dentro de la figura 95 se puede observar que al final del tramo, el nodo que fue utilizado como mediador de la conexión, al final de la prueba este termina utilizando el nodo perimetral en movimiento para poder establecer una mejor

conexión hacia el destino.

Cabe recalcar que todas estas pruebas se han podido validar dentro de la base estática y la base móvil que se genera por medio de la interfaz en desuso, compartiendo internet vía hotspot hacia la base, y realizando una conexión RDP. Tal como se puede ver en la figura 96.



Figura 96. Conexión con móvil Android VNC.

Dentro de la figura 97 se puede observar las validaciones de esta implementación, otorgando al sistema un mayor alcance para poder visualizar y controlar los nodos. Es importante recalcar que el uso de esta herramienta aumenta tiempo de retraso en el video para el usuario final.

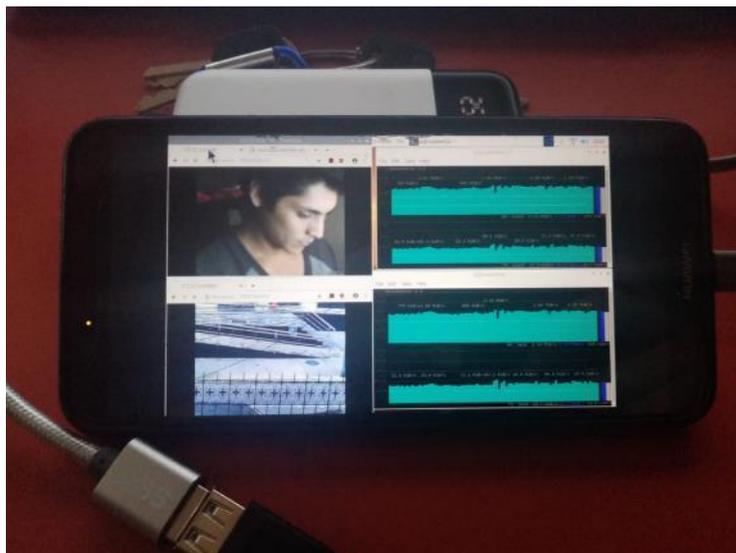


Figura 97. Salto de nodo sur por nodo perimetral.

6. CONCLUSIONES

El levantamiento de la línea base del sistema, se lleva a cabo de manera exitosa y logra identificar los problemas y carencias del sistema de comunicación previo, de esta manera se puede realizar las propuestas de tipo hardware y software, con el fin de optimizar el sistema.

Se concluye que gracias a los mecanismos de análisis de tráfico y red como Speedometer, se recopila información para lograr verificar el sistema implementado, validando que tienen mejoras en el rendimiento, retraso de mensajes extremo a extremo, calidad, fluidez de transmisión y reducción en 94% de consumo de ancho de banda a pleno rendimiento.

El uso de la herramienta BATCTL fue indispensable, ya que gracias a este se puede observar el comportamiento del protocolo, llegando a observar los saltos que existen cuando este se mueve a ciertas velocidades. Y cómo llega el tráfico a las diferentes interfaces BATMAN, por medio de estos saltos, se puede afirmar que las antenas de largo alcance lograron mejorar la conexión ya que en ciertos ambientes los nodos no necesitaban realizar saltos por medio de los nodos intermedios, sino que este lo hacía de forma directa, debido a las antenas de largo alcance.

Se necesita implementar menor cantidad de baterías en el sistema, ya que al ser un sistema acoplado a drones se necesita tener un tiempo estimado de 20 minutos, el sistema previo constaba con 2 horas de autonomía, siendo esto un desperdicio de energía y un aumento de peso para el dispositivo de vuelo. Se logra realizar un arreglo de 3 baterías con una capacidad de 4000 mAh, con una salida de 5v a 2.1. el cambio que se logra sobre el peso del sistema es de 88 gramos, llegando a optimizar peso y tiempo de autonomía.

El sistema base se muestra con un bajo rendimiento debido a los dispositivos hardware, los cuales no tienen la capacidad necesaria de ejecutar los algoritmos de encaminamiento y la aplicación del códec de video, llegando afectar a toda la

transmisión y conteo de rutas.

El nuevo sistema optimizado tiene grandes ventajas a diferencia del anterior, ya que este tiene una administración descentralizada, se afirma esto ya que, gracias a las interfaces adicionales, se puede ingresar por medio de cualquier nodo y gestionar los demás por medio de VNC.

Al lograr implementar la optimización del sistema, este logra reducir más de 1 segundo de latencia a comparación del modelo base que llegaba a tener hasta 3 segundos de retardo, aumentado de esta manera la calidad de servicio entregado al usuario final.

Gracias al uso de un protocolo que se basa en la calidad de enlace, obliga a los nodos tener siempre una conexión estable para poder realizar de manera óptima el encaminamiento del tráfico, a comparación de OLSR, este puede tener conexión con menos cantidad de dB, pero con una calidad de servicio bastante degradada y con altos tiempos de retardo.

Un tema importante que se necesita tratar es el precio del prototipo, este aumentó en base al anterior, el valor de la placa nueva supera a la anterior por 25 dólares americanos, este aumenta ya que se utilizan elementos más potentes que mejoran sustancialmente el prototipo base, adicional que, con las nuevas capacidades de este, se pueden implementar nuevos sensores o periféricos que funcionen con puertos 3.0. Es importante siempre dimensionar el alcance, ya que, por ejemplo, utilizar un Jetson nano como placa de procesamiento para cubrir los objetivos, es un desperdicio de capacidad y eso no es óptimo, eso solo es un ejemplo de los que se puede dar.

El presente proyecto consiste en un sistema de comunicación instalado sobre una red MANET, que permite la conexión entre nodos compuestos por vehículos móviles, o drones. El diseño e implementación de este sistema permitió mejorar los parámetros referentes a: retardo, cobertura, carga útil, autonomía energética

y calidad de video ante el sistema predecesor.

Se concluye que el uso de antenas externas puede ser obviado, dependiendo de las situaciones en las que necesite desenvolverse el sistema, esto va a depender directamente de la cantidad de energía que podamos inyectar al sistema para poder alimentar los periféricos y que puedan otorgar su máximo rendimiento.

Se puede concluir que las configuraciones para mejorar el rendimiento del sistema fueron exitosas, logrando tener mayor fluidez en el video, mejor calidad y un retraso menor sobre este en las interfaces de BATMAN.

Se concluye que gracias a la implementación de motion, se logra cumplir los objetivos de mejora en la calidad y fluidez del video, llegando a tener un equilibrio entre estos dos, el equilibrio es basado en la premisa de que, para las redes en movimiento, no siempre se necesita la alta calidad que demandan los usuarios al ver una película. Se tiene presente que no siempre es el caso, ya que para trabajos de topología y reconocimiento de terreno se necesita la mejor calidad posible, la diferencia es que la cantidad de pixeles que se puede generar en una excursión es menor a la que se genera en las películas. Logrando adaptar métodos de compresión como MPEG4 y no HEVC.

La implementación de motion logra dotar de escalabilidad al sistema, ya que gracias a la implementación de nuevas librerías para IA, dentro de los sistemas Raspbian utilizados en los modelos superiores a la Raspberry pi 4. Motion tiene la capacidad de poder implementar códecs de diferente tipo y adaptar un video para la necesidad del ambiente, adicional se dice que es escalable ya que este tiene opciones para captar movimiento, logrando con el tiempo utilizar la misma Raspberry pi 4 para poder implementar los proyectos de reconocimiento de objetos, utilizados para evitar colisiones de los vehículos no tripulados con aves o con diferentes objetos en movimiento, si se llega a realizar esta mejora, el sistema podrá pasar pruebas de seguridad de las organizaciones regulatorias, las cuales pueden regularizar y comercializar el su uso dependiendo del país.

Gracias a los mensajes OGM, el enlace obliga a tener siempre una buena conexión por lo que la calidad de video no se verá comprometida con el usuario, Esta capacidad de envío de mensajes a 1 segundo es la que dota de la velocidad de respuesta para que el video tenga una fluidez mayor que la del sistema base.

La solución propuesta tiene la característica de ser flexible, esto se afirma ya que la red por poseer un sistema autónomo de baterías y un protocolo de comunicación diseñado para redes en movimiento. Puede acoplarse a diferentes tipos de escenarios posicionándose según la necesidad, este protocolo ha llegado a ser tan versátil, que no solo se puede utilizar en redes en movimiento continuo, sino que gracias a configuraciones del protocolo como la agregación de mensajes OGM al momento de presentar una estabilidad en el enlace, puede optimizar el envío de estos en uno solo para poder ser utilizada en redes interiores.

Se concluye que el análisis de consumo de los elementos es necesario, ya que en base a esto se puede obtener una fuente de batería acorde a la necesidad, haciendo uso de elementos electrónicos como inversores de carga y arreglos baterías de litio. Esto ayuda al sistema a no generar peso innecesario sobre el sistema.

El uso de una correcta alimentación dentro del sistema es lo más importante para poder otorgar un sistema de calidad. Ya que si las placas de procesamiento no funcionan con la cantidad necesaria de energía el procesador tampoco lo hace y trata de compensar la deficiencia quitando energía a los periféricos, causando una baja de potencia en el envío de señales.

Se concluye que no es óptimo utilizar un nodo que tenga una autonomía mayor a una hora, ya que los sistemas en los que son montados solo tienen una autonomía de vuelo de 20 minutos o máximo 35 y un tiempo de carga que ronda las dos horas, al tratarse de un dron de alta gama. Este punto es clave, ya que

este análisis ayuda a la mejora de peso del sistema y autonomía del vehículo.

Gracias al uso de la herramienta motion el sistema puede ser escalable para próximos proyectos en los cuales se puedan implementar algoritmos de IA, sobre el sistema ya que dentro de los repositorios de Raspberry Pi existen varios recursos de cómo implementar un sistema de reconcomiendo de objetos en tiempo real por medio de motion realizando simples configuraciones, cabe recalcar que para realizar este tipo de implementación es necesario realizar cambios en la cámara de video.

El sistema es escalable, pero no llega a serlo tanto como OLSRD, los protocolos BATMAN, se utilizan en entornos en donde no existe gran concurrencia de nodos, la razón de esto es por el envío de mensajes OGM a tan corto tiempo, estos necesitan tener una respuesta de sus vecinos para no tener conflictos de conexión, si existieran más nodos y se alejaran cada vez más el uno del otro para obtener mayor alcance, este protocolo presentaría problemas de conexión y envío de tráfico de datos, ya que el retraso que generaría la distancia y los vecinos serán mayores al envío de mensajes OGM generados por los vecinos más lejanos.

Es importante que para que el sistema pueda funcionar en movimiento, este tenga por lo mínimo una calidad de señal de -60 dBm, si se quieren realizar pruebas con movimiento a más de esta cantidad de potencia las pruebas no serán satisfactorias al momento de la fluidez del contenido.

Es importante saber que las placas de procesamiento del sistema bajan su rendimiento considerablemente al colocar memorias SD de categorías menores a la 10, esto se puede afirmar ya que al momento de realizar pruebas con tarjetas SD de baja categoría como la 4 y la 6, se evidencia que el SO no puede ser procesado a velocidad normal, sino que esta muestra retrasos en la placa al tratar de realizar procesos de configuración y de lectura y escritura. Al realizar el cambio a una tarjeta de clase 10 con estado sólido, el sistema se ve que funciona

de manera óptima con los elementos hardware embebidos en la placa. Al realizar las configuraciones de streaming este puede procesar el video con gran fluidez a diferencia de la configuración hecha sobre una SD de mala calidad. Se concluye que en cualquier sistema de procesamiento que corra su SO desde una SD, debe utilizar tarjetas de clase 10 para su óptimo procesamiento.

Se concluye que la resolución óptima del sistema es de 640*480, ya que esta es la capacidad que tiene la cámara del sistema en su versión 1.3, se realiza la configuración y se logra obtener el menor retardo en base a la configuración del video. Para la transmisión de video es importante entender la resolución que utiliza cada cámara, si esto no se toma en cuenta afectará directamente a la tasa de bits, ya que si se define mal la resolución de esta no se obtendrá ganancia en la calidad de video percibida, de lo contrario esta puede sufrir cortes en la fluidez del video. Al realizar este tipo de configuraciones erróneas, el sistema empieza consumir mayor ancho de banda o consumo excesivo en el buffer de almacenamiento causando problemas de latencia y consumo excesivo de la RAM, por lo que el sistema debe estar optimizado para su capacidad de hardware.

Dentro de los últimos años se ha dado la tendencia de la codificación de alta eficiencia y es necesario saber que si los videos receptados necesitan ser codificados en HEVC, la cámara, la placa y la configuración necesitan estar adaptados para poder cumplir con esta necesidad, ya que si se tiene una cámara que capta imágenes en full HD 1080 y no se tiene una placa con codificador de h265, el sistema funcionará más lento por la necesidad de realizar una mayor cantidad de procesos sin éxito, esto no solo ralentiza y sobrecalienta el procesador, sino que el video muestra retrasos de hasta 5 segundos conectado directamente. Una de las opciones a esto es el *over-lock*, pero no se recomienda, ya que, causa el daño irreparable de la placa de procesamiento si no se disipa el calor que genera.

Se concluye que otro de los problemas existentes que hay dentro del entorno es

la interferencia no WI-FI, dentro del entorno en una de las pruebas se pudo validar que, al estar encendido un microondas, la red se oculta a causa de la potencia irradiada por el microondas. Se valida que el nivel de potencia del microondas es el que causa el ruido sobre la señal del Wi-Fi

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar un arreglo de antenas sobre vehículos móviles, montados con inversores de carga de 750 watts, los cuales puedan alimentar a un sistema de antenas por medio de la energía generada por el motor de combustión, no es una solución ecológica, pero esta permite validar los parámetros de alcance con un arreglo de antenas de alcance metropolitano.

Si no se tiene suficiente cantidad de energía en las baterías del sistema, se recomienda utilizar las antenas embebidas, ya que con unas pocas configuraciones esta se puede utilizar para su uso, arriesgando alcance, y la pérdida de una interfaz que puede ser utilizada para una salida a internet.

Se recomienda que en próximos proyectos se implemente la solución de GeoGrid, este integra mecanismos de geolocalización GPS, logrando obtener datos que permitan tomar la ruta óptima basada en la posición exacta.

Para próximos proyectos se recomienda implementar el reconocimiento en tiempo real de aves voladoras por medio de una placa Jetson que será donada por el escritor de este documento, adicional de un nodo Raspberry Pi 4, Esta implementación es importante ya que para cumplir normas de seguridad se necesita que no afecte a la seguridad de las personas y animales.

No se recomienda la implementación de CPU-Limit para limitar el consumo de energía ya que no solo afecta a la cobertura del sistema, por la deficiencia de alimentación a los periféricos, se implementó dentro de un nodo el aplicativo, causando un daño irreparable en la placa. Esto se genera por la baja de tensión en los puertos como los de la SD, el cual sufre daños y ya no es posible leer el sistema operativo.

Se recomienda desactivar los parámetros de agregación cuando el protocolo se encuentra en movimiento. Ya que los valores de los mensajes OGM serán variantes entre los nodos y el consumo de procesamiento será mayor tratando

de empaquetar pocos mensajes y enviándolos por separado. Al contrario de cuando se tiene un enlace estable.

No se recomienda el uso de placas del tipo Zero ya que estas tienen muchas limitantes técnicas al momento de implementar las mejoras en los sistemas, adicional a esto, la alimentación que existe para las antenas de estos dispositivos no sobrepasa los 20 metros de distancia. Los dispositivos funcionan de manera correcta con las antenas embebidas, pero éstas no tienen el soporte para redes Ad-hoc, limitando la creación de una red MANET.

Se recomienda implementar el uso del códec HEVC o h265 dentro del sistema, ya que este acompañado de algoritmos de IA puede ser utilizados para volar el sistema con seguridad sin ocasionar accidentes al momento de estar en pleno funcionamiento, la implementación de este método de codificación para video solo se ha encontrado en ciertos dispositivos, por lo que se espera que para próximas versiones de la familia de Raspberry Pi este ya pueda contener su módulo con capacidad de implementar HEVC, llegando a tener una calidad de servicio superior a costa de consumo de ancho de banda, procesamiento CPU, GPU, y memoria RAM, cache y en el caso de guardar los videos dentro del sistema se consumirá un mayor espacio en disco.

Se recomienda utilizar baterías de grafeno en próximas implementaciones para redes MANET, ya que estas baterías pueden dotar al sistema de una gran cantidad de autonomía con un índice de carga muy bajo, adicional una de las características que tienen las baterías de grafeno es la flexibilidad que tienen para poder moldearse a diferentes formas físicas con un peso mucho menor a las pilas convencionales.

Se recomienda implementar dentro de la base un display que se pueda utilizar con una batería dentro del sistema, ya que el uso de un display no es óptimo, el uso de una batería para la base podrá dotar de movilidad en el sistema llegando alcanzar cada nodo sin retraso.

Para próximos proyectos se recomienda utilizar el protocolo de comunicación Jocker, el cual muestra una eficiencia energética a comparación de otros protocolos, se necesita realizar una comparación entre BATMAN y Jocker para poder definir que carencias cubre el uno y cuáles no, y si es justificable el cambio.

REFERENCIAS

- Amézquita, C. E. (26 de Septiembre de 2016). *“Ondas y Fenómenos de Transporte”*. Recuperado el 18 de Mayo de 2020, de “Ondas y Fenómenos de Transporte”: https://www.academia.edu/28806785/Ondas_y_Fen%C3%B3menos_de_Transporte
- Anchondo, D. (2016). *Syscom*. Recuperado el 11 de Abril de 2020, de WIFI problemas con la banda de 2.4 ghz y posibles soluciones: <http://soporte.syscom.mx/redes-wi-fi/wifi-problemas-con-la-banda-de-24-ghz-y-posibles-soluciones>
- Andreu, J. (2016). Redes inalámbricas (Servicios en red). En J. Andreu, *Redes inalámbricas (Servicios en red)* (pág. 212). Editex S.A.
- Anguera, J. &. (2008). *Teoría de antenas. Guía de estudio*. España: La Salle Universidad Ramon LLull España: Creative Commons License Deed.
- Antonio Creco Diaz, C. A. (2004). La experiencia de prejubilación como fenómeno psicosocial: estado de la cuestión y propuesta de un marco teórico para la investigación. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, 350.
- Arenas D, H. D. (2013). *Experiencia de la conyugalidad en los oficiales y suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana-Comando Aéreo de Transporte Militar-Catam, durante el años 2013 "Experiencias de vida parejas con el contexto militar"*. Bogota: Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Sociales Programa de Trabajo Social.
- Arias Acuña, M. &. (2013). *Radiocomunicación*. Barcelona - España.: Editorial Andavira.
- Armbian. (2018). *Armbian*. Recuperado el 18 de Marzo de 2019, de <https://www.armbian.com/>
- Barcelo, J. (05 de 07 de 2009). *Estructura de Redes de Computadoras*. Barcelona: UOC. Obtenido de <http://www.telequismo.com/2012/07/radioenlaces-microondas-en-banda.html/>

- Barcia, C. F. (2005). *Redes de computadores y arquitecturas de comunicaciones. Supuestos prácticos*. Prentice-Hall, Madrid.
- Barcia, C. F. (03 de 2012). *Redes de computadores y arquitecturas de comunicaciones. Supuestos prácticos*. Madrid: Prentice-Hall. Obtenido de <https://es.slideshare.net/00erik86/bandas-de-frecuencia-final>
- Beasley, J. S. (2008). *Networking*. 2da. Edición. Pearson Education, Michigan.
- Beekman, G. (2005). *Introducción a la Informática*. Madrid: Pearson.
- Berná, J. P. (2012). *Redes de Computadores para Ingenieros en Informática*. Alicante. España: Publicaciones Universidad de Alicante.
- Bolivar Dávalos, J. A. (2017). *Biblioteca udl*. Recuperado el 19 de Agosto de 2020, de Diseño de un sistema de comunicación acoplado a drones utilizando dispositivos Raspberry Pi.
- Buri Segarra, D. A., & Matute Paredes, J. F. (2012). *Diferentes modalidades de incremento de capital social en las compañías de responsabilidad limitada y anónima*. Recuperado el 2 de diciembre de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/1393/1/tcon686.pdf>
- C, M. (1986). *Gender differences in work satisfaction, work related rewards and values and the determinants of work satisfaction*. Human Relations.
- Cal A, M. J. (2006). *Expectativas de Jubilación del personal de la Universidad de Santiago de Compostela*. Gerokomos.
- Canarias. (16 de 7 de 2015). *Gobierno de canarias ORG*. Obtenido de Introducción a los sistemas de telecomunicación.: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/fgarnav/files/2015/11/introduccion-a-la-radiocomunicaciones.pdf>
- Casado, F. H. (1995). *Termografía Infrarroja*. Recuperado el 29 de Junio de 2019, de Álava Ingenieros:

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6923/CAMTIR.pdf.txt;jsessionid=A22D5B9A3B06AB434D0AC62AF8978271?sequence=2>

Catarina UDLAP. (s.f.). *Catarina UDLAP*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de Propagación de onda electromagnéticas: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/vila_b_ca/capitulo1.pdf

CETI. (2015). *Centro de enseñanza técnica industrial*. Recuperado el 13 de Marzo de 2020, de Sistemas de radio comunicación: http://sdcetitonalaemat.mex.tl/2197156_Sistemas-de-radio-comunicacion.html

Cisco. (22 de 03 de 2012). *Redistribución de protocolos de ruteo*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2019, de Notas Técnicas de Troubleshooting: https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/ip/enhanced-interior-gateway-routing-protocol-eigrp/8606-redist.html

Clima.com. (2020). *Clima.com*. Recuperado el 19 de Julio de 2020, de Clima.com: <https://www.clima.com/>

Comercio, C. d. (2010). *Artesanos y Peluqueros montan sus negocios con éxito* .

Computerhoy. (2017). *Computerhoy*. Recuperado el 08 de Junio de 2020, de Usos de la Raspberry Pi: <https://computerhoy.com/noticias/hardware/15-usos-raspberry-pi-que-no-sabias-que-podias-darle-74905>

Cortés, M. (2004). *REDES MOVILES INALAMBRICAS AD HOC*. Recuperado el 10 de Marzo de 2020, de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0030362.pdf>

Coya, L. (2014). *SELECCIÓN DEL PROTOCOLO DE ENRUTAMIENTO PARA UNA MANET*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/281411352_SELECCION_DEL_PROTOCOLO_DE_ENRUTAMIENTO_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_UNA_MANET/citation/download

CPULimit. (23 de 05 de 2012). *CPULimit*. Recuperado el 22 de Julio de 2020, de Limitador de uso de CPU para Linux: <http://cpulimit.sourceforge.net/>

- Cypress. (26 de 06 de 2020). *CYW43438 Single-Chip IEEE 802.11 b/g/n MAC/Baseband/Radio with Integrated Bluetooth 5.1 Compliant Controller*. Recuperado el 26 de Junio de 2020, de CYW43438 Single-Chip IEEE 802.11 b/g/n MAC/Baseband/Radio with Integrated Bluetooth 5.1 Compliant Controller: <https://www.cypress.com/documentation/datasheets/cyw43438-single-chip-ieee-80211-bgn-macbasebandradio-integrated-bluetooth>
- D, C. B. (2014). *Jubilación/Retiro Laboral: Un estudio Exploratorio*. Santiago de Chile-Chile: Universidad de Chile, Facultad de Economía y Negocios.
- Deepak Dembla, B. P. (2013). Comparison of H.264 and MPEG-4 Codec Based on PSNRPeak Signal to Noise Ratio Algorithm. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 368.
- Douglas, E. C. (2010). *Internetworking with TCP/IP Vol. I, Principles, Protocols, and Architecture*. 4th edition. Ed. Prentice Hall.
- Duque, B. E. (2017). *Diseño de un sistema de comunicación acoplado en drones utilizando dispositivos Raspberry Pi*. Quito: Universidad De Las Américas.
- E, M. (2009).) *PUCE9°nivel Ing. Comercial Finanzas. Apuntes de Valoración de Inversiones y Manejo de Portafolios*.
- E. Comer Douglas, R. E. (2013). *Computer Networks and Internets*. 6th edition. Ed. Prentice Hall.
- Ecuador, P. C. (01 de Abril de 2011). Reglamento General a la ley Organica del Servicio Publico. Quito, Pichincha, Ecuador: Registro Oficial.
- Elinux.org. (s.f.). *RPi USB Wi-Fi Adapters*. Recuperado el 6 de Enero de 2020, de Elinux.org: https://elinux.org/RPi_USB_Wi-Fi_Adapters
- Enrique, S. (2006). Redes Móviles Ad-Hoc. *PROSPECTIVA*, 7-11.
- Fernández, G. (2015). *Elementos de sistemas operativos,de representación de la información y de procesadores hardware y software*. Madrid: DIT-UPM.

- Forouzan, B. (2007). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. Madrid: 4^o Edición. Mc-Graw Hill.
- Freznel, L. E. (2003). *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. México: ALFA OMEGA GRUPO EDITOR. doi:ISBN 970-15-0641-3
- Fuerza Aérea Ecuatoriana*. (2007). Recuperado el 15 de 12 de 2017, de <https://www.fuerzaaereaecuadoriana.mil.ec/nuestra-identidad/>
- García, A. J. (2000). *La preparación para la jubilación: Revisión de los factores psicológicos y sociales que inciden en un mejor ajuste emocional al final del desempeño laboral*. Murcia, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.
- Gearhungry. (s.f.). *Gearhungry*. Recuperado el 14 de Mayo de 2020, de <https://www.gearhungry.com/best-portable-power-bank/>
- Geeksforgeeks. (s.f.). *Geeksforgeeks*. Recuperado el 17 de Marzo de 2020, de *ifference between CLI and GUI*: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-cli-and-gui/>
- Gil, J. P. (03 de 04 de 2010). *Redes y Transmisión de Datos*. Universidad de Alicante (RUA): Candelas. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=84AcKlcF7VY>
- Gilberto, A. (s.f.). *El Emprendimiento y la Creatividad*. Caracas-Venezuela.
- Goldman, J. (s.f.). *CNET*. Recuperado el 12 de Febrero de 2020, de <https://www.cnet.com/es/analisis/dji-phantom-2-vision-plus-opiniones/>
- Gómez, R. J. (2019). *Radiocomunicaciones : Teoría y principios*. Colombia Santa Martha.: UniMagdalena. doi:978-958-746-183-1
- H, L. (1972). *Easing the pain of personal loss* (Vols. Vol.50.p80-88). Harvard Business.
- HAYT, W. H. (1993). *Análisis de Circuitos en Ingeniería*. México: McGraw-Hill.

- Hernandez, E. M. (2013). *ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO DE REDES MALLADAS INALÁMBRICAS EN ENTORNOS RURALES*. Madrid.
- Hernando Rábanos, J. (2013). *Transmisión por Radio Enlace*. Barcelona - España: Editorial Universitaria Ramón Areces.
- Hidalgo, F. (12 de 2008). *Riunet.upv.es*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2019, de Riunet.upv.es:
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13183/TesinaMaster_FcoJavierHidalgo.pdf?sequence=1
- Huidobro, J. M. (2013). Antenas de. *Revista Digital de ACTA*, 1-2. Recuperado el 02 de Junio de 2020, de
https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/020001.pdf
- Hung Vuong. (2013). *Jedec.org*. Recuperado el 18 de Febrero de 2020, de Jedec.org:
https://www.jedec.org/sites/default/files/files/H_Vuong_Mobile_Forum_May_2013.pdf
- Interl LA. (2010). *Moore's law technology*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de Moore's law technology: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/silicon-innovations/moores-law-technology.html>
- Ippolito, L. J. (2017). *Sci-hub*. doi:10.1002/9781119259411.ch1
- IST La Recoleta. (2014). *Topologías de red*. Arequipa Perú.
- Izquierdo, F. G. (2017). *Desarrollo de una herramienta para la medida*. Recuperado el 05 de Mayo de 2020, de Universidad de Sevilla:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91129/fichero/Memoria+TFG++Desarrollo+de+una+herramienta+para+la+medida+de+calidad+de+video.pdf>
- J, B. B. (2006). *Informes Portal Mayores N.65 Lecciones de Gerontología IX: Jubilación y tiempo libre en la Vejez*. Madrid-España: Portal Mayores.

- J, O. (2012). *Psychological Effects of the Transition to Retirement*. Canada: *Revue canadienne de counseling et de psychothérapie*. Canda: University of Alberta.
- J, W. (2004). *fUNDAMENTOS DE FINANZAS cORPORATIVAS* . México: Septima Prentice Hall.
- Joskowicz, J. (2011). *Modelo de Estimación de Calidad de Video*. Recuperado el 07 de Abril de 2020, de <https://iie.fing.edu.uy/~josej/docs/Modelos%20de%20estimacion%20de%20calidad%20de%20video.pdf>
- Kannangara, I. E. (2013). Low Complexity Skip Prediction for H.264 through Lagrangian Cost Estimation. 6-7.
- Kirtchayan, M. (19 de 08 de 2015). *Technet Microsoft*. Recuperado el 16 de Marzo de 2020, de ¿Como crear una Red Ad Hoc en Windows 10?: <https://social.technet.microsoft.com/Forums/es-ES/8e70ab94-bee3-421a-a1cb-aadf19e33ab9/como-crear-una-red-ad-hoc-en-windows-10?forum=win10itprogeneralES>
- KMplayer. (29 de 04 de 2019). *KMplayer*. Recuperado el 29 de Abril de 2019, de KMplayer: <http://www.kmplayer.com/pc64x>
- Kurose F, R. K. (2014). *Redes de Computadores: Un Enfoque Descendente Basado en Internet*". Madrid - España: 2º Edición. Pearson Education.
- Lee, C. (1 de Junio de 2018). *Quora*. Recuperado el 18 de Julio de 2020, de What gives the best image quality, 4K at 60fps with H.264 or 4K at 30fps with H.265?: <https://www.quora.com/What-gives-the-best-image-quality-4K-at-60fps-with-H-264-or-4K-at-30fps-with-H-265>
- León-García, A. W. (2011). *"Redes de Comunicación*. 1ª edición. Editorial. Mc Graw Hill.

- López, J. (21 de 02 de 2020). *Las mejores distribuciones Linux para instalar en Raspberry Pi 4*. Recuperado el 21 de 02 de 2020, de Hipertextual: <https://hipertextual.com/2020/02/distribuciones-linux-raspberry-pi-4>
- Luz, R. R. (2015). *Sistemas de radiocomunicaciones*. Madrid, España: PARANINFO.
- M. Abolhasan, B. H.-P. (s.f.). *University of Wollongong*. Recuperado el 29 de Mayo de 2020, de Real-world performance of current proactive multihop mesh protocols: <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1747&context=infopapers>
- Magaña, E. I. (2013). *Comunicaciones y Redes de Computadores. Problemas y ejercicios resueltos*. España: Prentice-Hall, Madrid.
- MapaTuTiempo. (s.f.). *Mapa Tu Tiempo*. Recuperado el 18 de Julio de 2020, de Mapa Tu Tiempo: <https://mapa.tutiempo.net/viento/#current/wind/surface/level/orthographic=-76.11,0.96,3000/loc=-77.985,0.283>
- Mayol, F. A. (2013). *Técnicas de Reputación para Redes de*. Recuperado el 03 de Mayo de 2020, de Técnicas de Reputación para Redes de: http://dspace.umh.es/bitstream/11000/1477/7/Tesis_Fco_Alberto_R_Mayol_fin.pdf
- Medina, S. B. (2010). *Performance Model of Flooding in OLSR*. doi:10.1145/1868589.1868601
- Mehdi Bezahaf, L. I. (s.f.). *Cross-Layer Battle: Experimental Study of Cross-Layer Routing in a WMN Backbone*. Recuperado el 05 de Mayo de 2020, de https://www.academia.edu/29318896/Cross-layer_battle_experimental_study_of_cross-layer_routing_in_a_wmn_backbone
- Mendoza, J. C. (s.f.). Demostración de cifrado simétrico y asimétrico. *INGENIUS*, 47-48.
- Microsoft. (s.f.). Obtenido de <https://support.microsoft.com/es-es/help/4057281/windows-7-support-ended-on-january-14-2020>

- Microsoft. (14 de 01 de 2020). *Microsoft*. Recuperado el 28 de Enero de 2020, de Windows-7-support-ended: <https://support.microsoft.com/es-es/help/4057281/windows-7-support-ended-on-january-14-2020>
- Moinard, M. &. (2014). *Prediction of Transformed (DCT) Video Coding Residual for Video Compression*. Recuperado el 12 de Julio de 2020, de Prediction of Transformed (DCT) Video Coding Residual for Video Compression.: https://www.researchgate.net/figure/The-nine-intra-prediction-modes-of-the-H264-standard-24-increased-in-HEVC-to-the-33_fig3_261700797
- Montenegro, C. (2004). REDES AD-HOC: EL PRÓXIMO RETO. *BURAN*.
- Moore, G. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*.
- Morales, C. H. (2017). *Estudio comparativo de los códecs H.264 y H.265*. Recuperado el 16 de Febrero de 2020, de Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7891/Carlos%20Hernandez%20Morales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morales, C. H. (2017). *Estudio comparativo de los códecs H.264 y H.265*. Santa Martha.
- Motion. (2020). *Motion Project*. Recuperado el 16 de Junio de 2020, de https://motion-project.github.io/motion_config.html#stream_maxrate
- Motion. (s.f.). *Motion Project*. Recuperado el 29 de Mayo de 2020, de https://motion-project.github.io/motion_config.html
- Mplayer. (18 de 04 de 2019). *Mplayerhq*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2019, de Mplayerhq: <https://mplayerhq.hu/design7/news.html>
- MPV. (2020). *MPV*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2020, de MPV.io: <https://mpv.io/manual/>
- Muñoz, A. V. (s.f.). *Principios de color y holopintura*. San Vicente, Alicante: ECU Editorial Club Universitario.

- Navarro, S. (s.f.). *E-Reading Biblioteca Universidad De Sevilla*. Recuperado el 25 de Febrero de 2020, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11306/direccion/TEORIA%252F>
- Negocios, E. (2013). *Pymes: Contribución clave en la economía. Investigación y la Unidad de Investigación Económica y de Mercado*. (C. E. UIEM, Ed.)
- Nvidia. (2020). *Jetson Nano Developer Kit*. Recuperado el 19 de Mayo de 2020, de etson Nano Developer Kit: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>
- Nvidia. (s.f.). *Jetson Nano Developer Kit*. Recuperado el 13 de Mayo de 2020, de Jetson Nano Developer Kit: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>
- Open-Mesh. (2009). *Open-Mesh.org*. Recuperado el 12 de Abril de 2020, de Why starting B.A.T.M.A.N. ?¶: <https://www.open-mesh.org/projects/batmand/wiki/Why-starting-batman>
- Oviedo, L. (12 de 04 de 2019). *Coeficiente de reflexión y relación de ondas estacionarias*. Recuperado el 18 de Abril de 2020, de Calameo: <https://es.calameo.com/read/0058922571096df224542>
- Paredes, G. G. (2015). *El Repositorio Universitario de la DGTIC UNAM*. Recuperado el 17 de Abril de 2020, de El Repositorio Universitario de la DGTIC UNAM: <http://www.ru.tic.unam.mx/handle/123456789/1105>
- Pastor, F. (2016). *MECANISMOS DE OPTIMIZACIÓN EN EL PREPROCESADO PARA H.265/HEVC*. Recuperado el 17 de Abril de 2020, de <https://pdfs.semanticscholar.org/b7db/dc63406aa18361c9075fa97fdca8730af5f7.pdf>
- Pastor, F. S. (2016). *MECANISMOS DE OPTIMIZACIÓN EN EL PREPROCESADO PARA H.265/HEVC*. Recuperado el 17 de Abril de 2020, de

<https://pdfs.semanticscholar.org/b7db/dc63406aa18361c9075fa97fdca8730af5f7.pdf>

Pedruelo, R. (2011). *Universidad Politécnica De Valencia*. Recuperado el 21 de Diciembre de 2019, de La memoria: <http://hdl.handle.net/10251/10788>

Pérez, J. A. (2008). *Ebook Teoría de Antenas Universidad La Salle*. Recuperado el 14 de Mayo de 2020, de TEORÍA DE ANTENAS: http://www.salleurl.edu/semipresencial/ebooks/ebooks/ebook_teoría_antenas.pdf

Pinto, J. (2012). Simulación y análisis de desempeño de. *Tecnura*, 69-70.

Prieto Carrasco, J. (2016). *ANTENAS TOPICOS IEC I*.

Proton, J. M. (Marzo de 1994). *IETF*. Recuperado el 10 de Mayo de 2020, de <https://tools.ietf.org/html/rfc1583>

Rábanos, J. M. (2013). *Transmisión por radio*. Madrid: Centro de estudios Ramón Areces S.A.

RadioHuanCavilca. (2017). *Las PYMES Representan el 42% del total de las empresas del Ecuador*.

Rajagopalan, D. N. (2013). *A Comparative Study of B.A.T.M.A.N. and OLSR Routing Protocols for MANETs*. doi:ISSN 2278 - 3091

Ramirez, L. R. (Madrid, España de 2015). *Sistemas de radiocomunicaciones*. Madrid, España: PARANINFO.

Ramírez, R. (2005). *Gestión de sistemas de telecomunicaciones e informática*. Magallanes, España: Thomson Paraninfo.

Ramón, F. (12 de Junio de 2015). *Equaphon university*. Recuperado el 06 de Mayo de 2020, de <http://www.equaphon-university.net/sonido-temperatura-y-humedad/>

Raspberry Pi. (2016). *Raspberry Pi*. Recuperado el 20 de Junio de 2020, de Raspberry Pi: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/>

- RaspberryPi Org. (2019). *RaspberryPi Org.* Recuperado el 21 de Junio de 2020, de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>
- Raspberrypi. (s.f.). *Raspberrypi Org.* Recuperado el 19 de Enero de 2020, de <https://www.raspberrypi.org/>
- Rosado, A. (2016). *Universidad De Valencia.* Recuperado el 24 de Abril de 2020, de *Connecting Research and Researchers:* https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo2_rev0.pdf
- Ryohnosuke. (2010). *Ryohnosuke.* Recuperado el 19 de Marzo de 2020, de <http://www.ryohnosuke.com/foros/index.php?threads/1662/>
- Salvador, T. E. (s.f.). *Extensores de señal WIFI.* [https://ayuda.tigo.com.sv/hc/es/articles/360047994553-Extensores-de-se%C3%B1al-WIFI.](https://ayuda.tigo.com.sv/hc/es/articles/360047994553-Extensores-de-se%C3%B1al-WIFI)
- Samsung. (s.f.). *Samsung.* Recuperado el 03 de Junio de 2020, de *Cómo optimizar el consumo de batería:* <https://www.samsung.com/es/support/mobile-devices/como-optimizar-el-consumo-de-bateria/>
- SanDisk®. (s.f.). *Características y compatibilidad SD/SDHC/SDXC.* Recuperado el 17 de Julio de 2020, de *Características y compatibilidad SD/SDHC/SDXC:* https://kb-es.sandisk.com/app/answers/detail/a_id/6720/~/caracter%C3%ADsticas-y-compatibilidad-sd%2Fsdhc%2Fsdxc
- SanDisk®, S. d. (2019). *Características y compatibilidad SD/SDHC/SDXC.* Recuperado el 10 de Diciembre de 2019, de *Soporte de SanDisk®:* https://kb-es.sandisk.com/app/answers/detail/a_id/6720/~/caracter%C3%ADsticas-y-compatibilidad-sd%2Fsdhc%2Fsdxc#2
- Sarkar, K. (2014). *Adhoc Mobile Wirelles Network.* Auerbach Publication.

Scikit-image.org. (s.f.). *Image processing in Python*. Recuperado el 24 de Enero de 2020, de Scikit-image.org: https://scikit-image.org/docs/0.8.0/auto_examples/plot_ssim.html

Sergio Barrachina Mir, G. F. (2016). *LORCA ACT*. Recuperado el 18 de Junio de 2020, de Introducción a la arquitectura de: http://lorca.act.uji.es/libro/introARM2015/introARM_ebook_2015.pdf

Sharma, A. (2013). *A Comparative Study of B.A.T.M.A.N. and OLSR Routing*. Obtenido de Semanticscholar: <https://pdfs.semanticscholar.org/1135/d38aa9d2f2f77a38d6680f5d2e9b29eb6a9d.pdf>

Shyaa, M. &. (2019). HE IMPACT OF NODE DENSITY OVER ROUTING PROTOCOLS IN MANET BY USING NS-3. 184-191.

SIAE. (14 de Abril de 2016). *Operación y Mantenimiento ALC Plus 2*. Recuperado el 23 de Marzo de 2020, de Siae microelettronica: https://www.academia.edu/34860684/Operación_y_Mantenimiento_ALC_Plus_2_ALC_Plus_2e

Silva Rodriguez, A. E. (04 de Junio de 2011). *COMUNICACIÓN INALÁMBRICA ESCENARIO CLIENTE SERVIDOR ESTÁNDAR 802.11*. Recuperado el 2 de Abril de 2020, de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/25519>

SMPlayer. (2020). *SMPlayer*. Recuperado el 05 de Febrero de 2020, de Preguntas Frecuentes: <https://www.smplayer.info/es/faq>

SparkFun Electronics ®. (2015). *SparkFun Electronics ®*. Recuperado el 4 de Marzo de 2020, de Conectividad de internet de las cosas: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/connectivity-of-the-internet-of-things/infrastructure-and-ad-hoc-networks->

Stallings, W. (2010). *Local & Metropolitan Area Networks*. 6th edition. Ed. Prentice-Hall.

- Stevens, W. R. (1994). *The Protocols (TCP/IP Illustrated, Volume 1*. 1st edition. Addison-Wesley Professional, .
- Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de Computadoras*. 4º Edición. Pearson Education, México.
- TECTEL. (03 de 12 de 2018). *Las ventajas del codec H.265*. Recuperado el 16 de Marzo de 2020, de Las ventajas del codec H.265: <http://www.tecnologiatelefonica.com/las-ventajas-del-codec-H265>
- Tezanos, P. (22 de Julio de 2016). *EuroCemis*. Obtenido de Campi Elettromagnetici: http://www.eurocemis.it/cem_lavoratori_es.html
- TIGO. (s.f.). *Extensores de señal WIFI*. Recuperado el 07 de Abril de 2020, de Ayuda TIGO: <https://ayuda.tigo.com.sv/hc/es/articles/360047994553-Extensores-de-se%C3%B1al-WIFI>
- Torres, A. (2001). *Sistemas para la Transmisión de Datos*. Alicante: 2º Edición. Publicaciones Universidad de Alicante.
- Trimiño, R. P. (2015). *Evaluación de los protocolos de enrutamiento*. Recuperado el 26 de Mayo de 2020, de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/4516/Richar%20P%c3%a9rez%20Trimi%c3%b1o.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ubuntu. (04 de 2020). *Ubuntu*. Recuperado el 28 de Abril de 2020, de Ubuntu: <https://ubuntu.com/>
- UDEP. (2017). *Teoría sobre el ruido e interferencia*. Recuperado el 23 de Febrero de 2020, de Biblioteca UDEP: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_169_173_120_1626.pdf
- Universidad Politécnica De Valencia. (2014). *Universidad Politécnica De Valencia GRC*. Recuperado el 22 de Julio de 2020, de http://www.grc.upv.es/docencia/ricu/pdfs/RICU_t4.pdf

- Universidad Politécnica de Valencia. (s.f.). *UPV.es*. Recuperado el 9 de Julio de 2020, de Directividad.: http://www.upv.es/antenas/Tema_1/Directividad.htm
- Universo, E. (2017). *Cinco Ejes para el Correcto Financiamiento de Pymes*. Quito-Ecuador: INEC.
- Valero, M. F. (s.f.). *Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado el 16 de Marzo de 2020, de Introducción. Parámetros de Antenas: http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Tema_1.PDF
- Vcodex. (2013). *An Overview of H.264 Advanced Video Coding*. Recuperado el 14 de Junio de 2013, de VCODEX: <https://www.vcodex.com/an-overview-of-h264-advanced-video-coding/>
- Vega, C. P. (s.f.). *Universidad de Cantabria*. Recuperado el 11 de Julio de 2020, de Personales UNICAN: https://personales.unican.es/perezvr/pdf/ch10st_web.pdf
- VideoLAN. (2019). *VideoLAN*. Recuperado el 17 de Mayo de 2020, de Características de VLC: <https://www.videolan.org/vlc/features.html>
- Wetherall, D. J. (2012). *Redes de Computadoras, Apuntes de Ingeniería Telemática*. 5ta edición. Pearson.
- WNI MÉXICO S.A. (s.f.). *Tipos de Antenas y Funcionamiento*. Recuperado el 22 de Junio de 2020, de Tipos de Antenas y Funcionamiento: https://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenassoporte&catid=31:general&Itemid=79
- Yágüez, J. y. (2014). *Internet, TCP/IP y Desarrollo de Sistemas Distribuidos*. Servicio de Publicaciones de la F.I. .
- YaqiLYU. (13 de Marzo de 2018). *Zhuanlan*. Recuperado el 13 de Marzo de 2018, de <https://zhuanlan.zhihu.com/p/24804170>

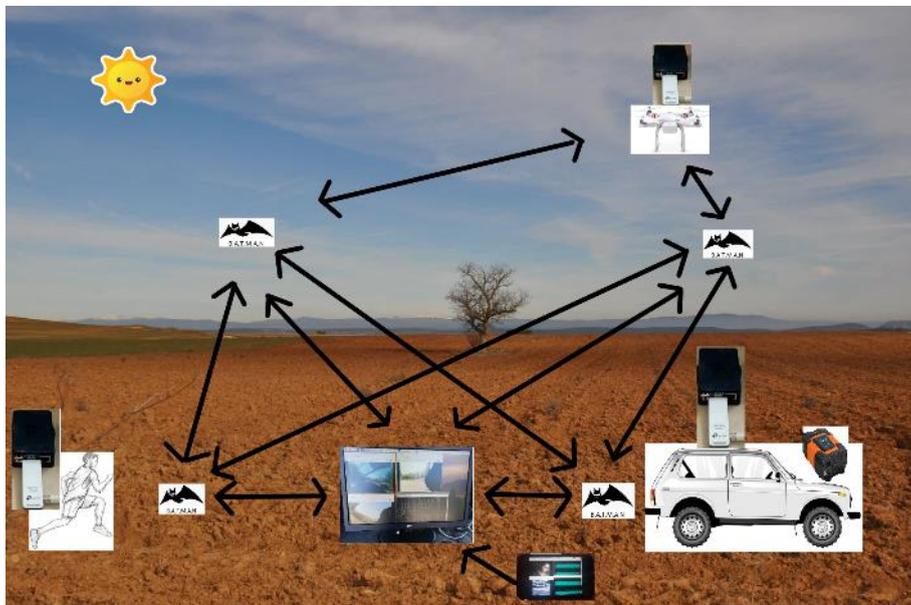
ANEXOS

a. Video de validaciones y pruebas del sistema.



<https://youtu.be/PuenegBd8ss>

b. Diagrama de red mallada



c. Configuración de archivos para levantamiento de interfaces en BATMAN-ADV

- Archivo de inicio start-batman-adv.sh
- ```
cd ~ && touch start-batman-adv.sh && chmod +x start-batman-adv.sh
```
- Configuración start-batman-adv.sh
- ```
#!/bin/bash# Tell batman-adv which interface to use
sudo batctl if add wlan0# Activates the interfaces for batman-adv
sudo ifconfig wlan0 up
sudo ifconfig bat0 up # bat0 is created via the first command
```
- Configuración interfaz BAT0
- ```
auto bat0
iface bat0 inet auto
pre-up /usr/sbin/batctl if add wlan0
```
- Configuración interfaz WLAN0
- ```
auto wlan0
iface wlan0 inet manual
mtu 1532
wireless-channel 1
wireless-ssid my-ad-hoc-network
wireless-mode ad-hoc
wireless-ap 02:12:34:56:78:9A
```
- Instalar y configurar archivos BATMAN-ADV
- ```
sudo apt-get install -y batctl
```
- Inicio automático de interfaces.
- ```
echo 'batman-adv' | sudo tee --append /etc/modules
```
- Negar el DHCPD
- ```
echo 'denyinterfaces wlan0' | sudo tee --append /etc/dhcpd.conf# Enable
interfaces on boot
echo "$(pwd)/start-batman-adv.sh" >> ~/.bashrc
```

## d. Datasheet Raspberry Pi 4b

### 2.1 Hardware

- Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 running at 1.5GHz
- 1, 2 and 4 Gigabyte LPDDR4 RAM options
- H.265 (HEVC) hardware decode (up to 4Kp60)
- H.264 hardware decode (up to 1080p60)
- VideoCore VI 3D Graphics
- Supports dual HDMI display output up to 4Kp60

### 2.2 Interfaces

- 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN
- Bluetooth 5.0 with BLE
- 1x SD Card
- 2x micro-HDMI ports supporting dual displays up to 4Kp60 resolution
- 2x USB2 ports
- 2x USB3 ports
- 1x Gigabit Ethernet port (supports PoE with add-on PoE HAT)
- 1x Raspberry Pi camera port (2-lane MIPI CSI)
- 1x Raspberry Pi display port (2-lane MIPI DSI)
- 28x user GPIO supporting various interface options:
  - Up to 6x UART
  - Up to 6x I2C
  - Up to 5x SPI
  - 1x SDIO interface
  - 1x DPI (Parallel RGB Display)
  - 1x PCM
  - Up to 2x PWM channels
  - Up to 3x GPCLK outputs

### 6 Release 1

Raspberry Pi 4 Model B Datasheet

Copyright Raspberry Pi (Trading) Ltd. 2019

### 2.3 Software

- ARMv8 Instruction Set
- Mature Linux software stack
- Actively developed and maintained
  - Recent Linux kernel support
  - Many drivers upstreamed
  - Stable and well supported userland
  - Availability of GPU functions using standard APIs

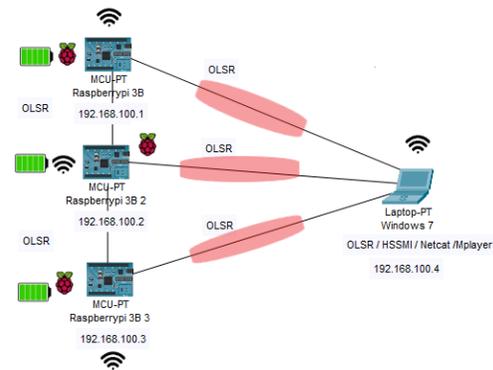
## e. Datasheet Raspberry Pi 3

Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53  
64-bit SoC @ 1.4GHz  
1GB LPDDR2 SDRAM  
2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless  
LAN, Bluetooth 4.2, BLE  
Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput  
300Mbps)  
4 × USB 2.0 ports  
Extended 40-pin GPIO header  
1 × full size HDMI  
MIPI DSI display port  
MIPI CSI camera port  
4 pole stereo output and composite video port  
H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode  
(1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics  
Micro SD format for loading operating system and  
data storage  
5V/2.5A DC via micro USB connector  
5V DC via GPIO header

f. Tabla de protocolos reactivos y proactivos.

| Protocolo | Métrica más utilizada                       | Libre de lazos | Escalabilidad                     | Confiabilidad | Balace de carga | Control de congestión | Throughput                 | Conocimiento de la posición       | Implementación                                        |
|-----------|---------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|
| DSDV      | Salto tomando el camino más corto           | Si             | No                                | Si            | No              | No                    | Disminuye con la movilidad | No conoce exactamente la posición | NS-3, Linux                                           |
| OLSR      | Salto tomando el camino más corto           | Si             | No                                | Si            | No              | No                    | Disminuye con la movilidad | No conoce exactamente la posición | Linux, Android, OLSR Mesh tether, MANET Manager, NS-3 |
| BATMAN    | Transmisión del tipo Quality "Mensajes OGM" | Si             | Depende de la pérdida de paquetes | Si            | No              | Si                    | Disminuye con la movilidad | No conoce exactamente la posición | Linux, Ubuntu, Android, NS.3                          |
| AODV      | Salto tomando el camino más corto y rápido  | Si             | No                                | Si            | No              | Si                    | Disminuye con la movilidad | No conoce exactamente la posición | NS-3, Linux, C++, Matlab                              |
| DSR       | Salto tomando el camino más corto           | Si             | No                                | Si            | No              | Si                    | Disminuye con la movilidad | No conoce exactamente la posición | NS-2, Linux                                           |

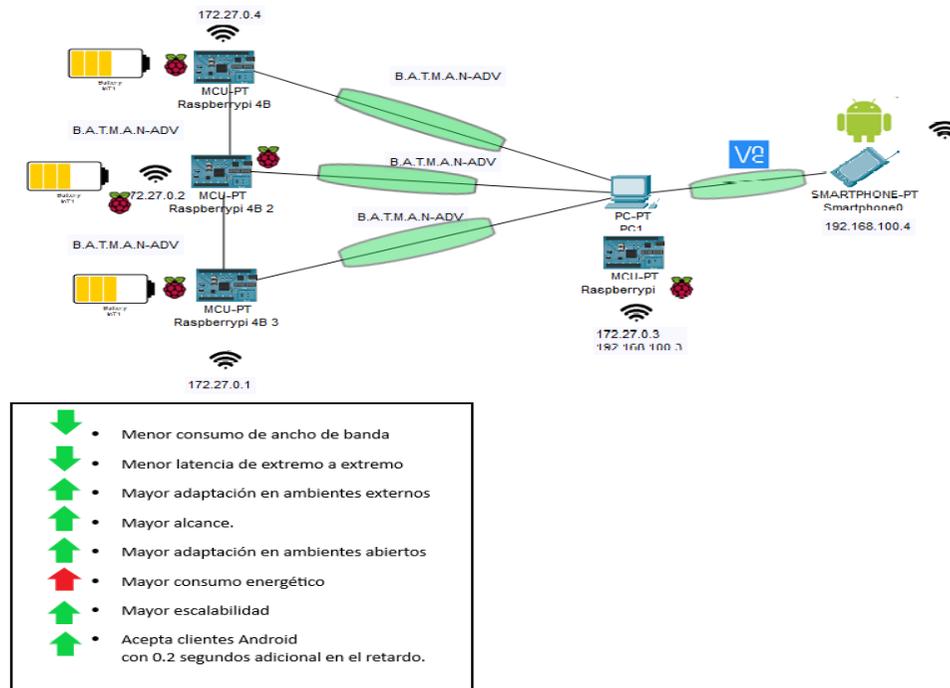
## G. Diagrama de Sistema base



- ↑ • Mayor consumo de ancho de banda
- ↑ • Mayor latencia de extremo a extremo
- ↓ • Menor alcance.
- ↓ • Menor consumo de energía
- ↓ • Menor adaptación en ambientes abiertos

|               | DISTANCIA (m) | NIVEL POTENCIA dBm | VIDEO (Latencia) |                                                                     |
|---------------|---------------|--------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------|
|               | 0             | -30                | REAL             |                                                                     |
|               | 10            | -57                | REAL             | A una distancia de 30 metros hasta 3 segundos de retraso            |
|               | 20            | -70                | REAL             |                                                                     |
|               | 30            | -74                | REAL             |                                                                     |
| Proyecto Base | 40            | -77                | MEDIO            | A una distancia mayor a los 40 metros mayor a 3 segundos de retraso |
|               | 50            | -79                | MEDIO            |                                                                     |
|               | 60            | -80                | MEDIO            |                                                                     |
|               | 70            | -82                | MALO             |                                                                     |

## H. Diagrama de sistema optimizado.



|                     | DISTANCIA (m) | NIVEL POTENCIA dBm | VIDEO (Latencia)    |                                                            |
|---------------------|---------------|--------------------|---------------------|------------------------------------------------------------|
|                     | 0             | -30                | >0 segundos         |                                                            |
|                     | 20            | -47                | >0 segundos         |                                                            |
|                     | 28            | -53                | <1 segundo          | A una distancia de 77 metros hasta 2.5 segundos de retraso |
|                     | 40            | -60                | <1.5 segundos       |                                                            |
| Proyecto Optimizado | 50            | -75                | <2 segundos         |                                                            |
|                     | 60            | -79                | <2 segundos         |                                                            |
|                     | 77            | -84                | <2.5 segundos       |                                                            |
|                     | 95            | -90                | Perdida de conexión | Perdida de conexión                                        |

