



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PowerLine HomePlug AV2 Y *ETHERNET* COMBINADAS CON IEEE 802.11b PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE REDES SOHO

CRISTIAN GEOVANNY VELASCO VÁSQUEZ.

**Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo,
presentado ante el instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,
como requisito parcial para la obtención del grado de:**

MAGISTER EN INTERCONECTIVIDAD DE REDES

Riobamba – Ecuador

Febrero 2020

© 2020, Cristian Geovanny Velasco Vásquez.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado: “EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PowerLine HomePlug AV2 Y *ETHERNET* COMBINADAS CON IEEE 802.11b PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE REDES SOHO”, de responsabilidad del señor Cristian Geovanny Velasco Vásquez, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

**Ing. Oswaldo Geovanny Martinez Guashima; Mag.
PRESIDENTE (DELEGADO)**

**Ing. Juan Manuel Lema Sevillano; Mag.
DIRECTOR**

**Ing. Víctor Hugo Benítez Bravo; Mag.
MIEMBRO**

**Ing. Marco Vinicio Ramos Valencia; Mag.
MIEMBRO**



Riobamba, febrero de 2020.

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Cristian Geovanny Velasco Vásquez, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



CRISTIAN GEOVANNY VELASCO VÁSQUEZ

No. Cédula 020125779-7

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Cristian Geovanny Velasco Vásquez, declaro que el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, febrero de 2020.



CRISTIAN GEOVANNY VELASCO VÁSQUEZ

No. Cédula 020125779-7

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi madre, quien me dio la vida y me inculco buenos valores y el estudio; a mi esposa y mi hijo quienes me dan la fuerza e inspiración y fortaleza para seguir adelante; a mis hermanos y amigos por sus ánimos y aliento para cumplir esta meta.

Cristian G. Velasco Vásquez.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi tutor Ing. Juan Lema por ser un guía en este trabajo de titulación, quien de una manera acertada, coherente y profesional brindó sus conocimientos para concretar el desarrollo de la presente investigación.

A los miembros del tribunal que me brindaron su apoyo y consejos.

A todas aquellas personas que de alguna manera me brindaron su apoyo en el desarrollo del proyecto de titulación y poder culminarlo.

Cristian G. Velasco Vásquez.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
CAPÍTULO I	
1. Introducción	1
1.1. Situación Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	4
1.3. Justificación de la investigación	4
1.4. Objetivos:	5
1.4.1. General.....	5
1.4.2. Específicos	5
1.5. Hipótesis.....	5
CAPÍTULO II	
2. Marco TEORICO	6
2.1. Antecedentes del problema	6
2.2. Bases Teóricas.....	9
2.2.1. Redes SOHO	9
2.2.1.1. Interconectividad de redes SOHO	10
2.2.1.2. Tipo de transmisiones que soportan las redes SOHO	10
2.2.2. Redes Ethernet (IEEE 802.3)	11
2.2.2.1. Elementos de red Ethernet.....	11
2.2.2.2. Topologías de red Ethernet	13
2.2.2.3. Detección de colisión de datos	13
2.2.2.4. ¿Cómo funciona Ethernet?.....	14
2.2.2.5. Autoridad de estándares IEEE Ethernet.....	15
2.2.2.6. Estándares Ethernet (IEEE 802.3).....	15
2.2.2.7. Formatos Ethernet.....	17
2.2.3. ¿Qué es Power Line Communications (PLC)?.....	17
2.2.3.1. PLC de banda estrecha o angosta	18
2.2.3.2. PLC de banda ancha	18
2.2.3.3. Estandarización.....	18
2.2.3.4. HomePlug.....	19
2.2.3.5. Normas o especificaciones HomePlug.....	20
2.2.3.6. Mantenimiento de la interoperabilidad arquitectónica con HomePlug AV	22
2.2.3.7. Características clave de diferenciación en HomePlug AV2.....	23

2.2.3.8.	Espectro de frecuencia adicional	23
2.2.3.9.	Arquitectura HomePlug AV	23
2.2.3.10.	La Capa PHY.....	24
2.2.3.11.	Estructura de la unidad de datos del protocolo phy de alta eficiencia (PPDU)....	25
2.2.3.12.	La Capa MAC	25
2.2.3.13.	Función de repetición inmediata.....	26
2.2.3.14.	Mejoras adicionales de PHY	26
2.2.3.15.	Modos de ahorro de energía	26
2.2.3.16.	Tecnología MIMO	27
2.2.3.17.	Redes caseras con PowerLine HomePlug AV2.....	28
2.2.4.	Técnicas de modulación.....	30
2.2.4.1.	Modulación OFDM	30
2.2.4.2.	Propiedades y características de los sistemas OFDM	32
2.2.5.	Funcionamiento básico del PLC HomePlug AV2	33
2.2.6.	Kit PLC HomePlug AV2 de “TPlink” a utilizarse en el caso de estudio	35
2.2.6.1.	Análisis del exterior de los PLC’s adaptador y extensor.....	37
2.2.6.2.	Descripción de los botones y puertos del PLC extensor	39
2.2.6.3.	Vista interiormente de los PLC’s adaptador y extensor	41
2.2.7.	KPI, Métricas, Indicadores y Parámetros.....	43
2.2.7.1.	¿Qué es un KPI?	43
2.2.7.2.	¿Qué es una métrica o indicador?	44
2.2.7.3.	Definición de las métricas o indicadores.....	44
2.2.7.4.	Definición de los Parámetros.....	48
2.2.8.	Programa jPerf version 2.0.2.....	49
2.2.8.1.	Instalación:	49
2.2.8.2.	Parametrización de la aplicación JPerf 2.0.2.....	51
2.2.8.3.	Opciones adicionales de la aplicación jPerf 2.0.2.....	52
CAPÍTULO III		
3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	54
3.1.	Tipo y diseño de la investigación.	54
3.1.1.	Tipo de la investigación.	54
3.1.2.	Diseño de la investigación.....	54
3.2.	Métodos de la investigación.....	55
3.3.	Enfoque de la investigación.	55
3.4.	Alcance de la investigación.....	55
3.5.	Población de estudio.	55
3.6.	Unidad de análisis.....	56

3.7.	Selección de la muestra	56
3.8.	Tamaño de la muestra.	56
3.9.	Identificación de variables	57
3.10.	Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios.	57
3.11.	Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios.	58
3.12.	Instrumentos para procesar los datos recopilados.....	58
3.13.	Caso de estudio.....	58
3.13.1.	Descripción del lugar físico en el que se realizará la implementación de la red SOHO.....	58
3.13.2.	Definición de los escenarios de prueba.....	60
3.13.2.1.	Escenario 1. – Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b).	61
3.13.2.2.	Escenario 2. – Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b).	62
3.13.2.3.	Escenario 3. – Comprobación de la capacidad de la señal PowerLine HomePlug AV2, de atravesar los medidores de energía eléctrica.	63
3.14.	Interconectividad de los dispositivos conectados a la red SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b).....	63
3.15.	Interconectividad de los dispositivos conectados a la red SOHO <i>PowerLine HomePlug AV2</i> con WiFi (IEEE 802.11b).....	65
3.16.	Desempeño de las redes SOHO: <i>PowerLine HomePlug AV2</i> y <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3), ambas con WiFi (IEEE 802.11b).....	69
3.17.	Demostración de la capacidad de la señal <i>PowerLine HomePlug AV2</i> de atravesar los medidores de energía eléctrica.....	72
 CAPÍTULO IV		
4.	Resultados y discusión.....	75
4.1.	Análisis.	75
4.1.1.	Resultados utilizando TCP (Protocolo de Control de Transmisión).....	76
4.1.1.1.	Análisis del KPI “Ancho de banda” y “Throughput” con el protocolo TCP en las 2 redes.	78
4.1.2.	Resultado utilizando el protocolo UDP (Protocolo de Datagramas de Usuario). .	79
4.1.2.1.	Análisis del KPI “Ancho de banda”, “Throughput”, y “Jitter” con el protocolo UDP en las 2 redes.....	81
4.1.2.2.	Análisis del porcentaje de paquetes perdidos con el protocolo UDP en las 2 redes.....	82

4.1.2.3.	Análisis del KPI “Datagramas enviados Vs Datagramas perdidos”, con el protocolo UDP en el escenario 1: Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b).....	83
4.1.2.4.	Análisis del KPI “Datagramas enviados Vs Datagramas perdidos” con el protocolo UDP en el escenario 2: (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b)).....	85
4.1.3.	Análisis estadístico con el programa SPSS	86
4.1.3.1.	Prueba de normalidad para los indicadores obtenidos con los dos protocolos (TCP y UDP), en los dos escenarios.	86
4.2.	Discusión de los resultados Finales	90
4.3.	Comprobación con la hipótesis de la tesis.....	91
CAPÍTULO V		
5.	PROPUESTA	92
5.1.	Guía de implementación y configuración de una red SOHO <i>PowerLine HomePLug AV2</i> con WiFi (IEEE 802.11b)	92
5.1.1.	Emparejamiento de los dispositivos.....	93
5.1.2.	Configuración WiFi (IEEE 802.11b) en los PLC’s extensores PowerLine HomePlug.....	95
5.1.2.1.	Método 1: Clonación de una Red WiFi (IEEE 802.11b) con PowerLine Home Plug.....	96
5.1.2.2.	Método 2: Accediendo a la Interfaz gráfica de administración del PLC Extensor	97
5.1.2.3.	Método 3: Acceso al PLC Extensor con las aplicaciones: “PowerLine Scan.exe” y “tpPLC”.....	100
CONCLUSIONES		104
RECOMENDACIONES		106
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
FFT	Fast Fourier Transform
Gbps	Gigabit Por Segundo
Hz	Hertz O Hercio
IEEE	Institute Of Electrical And Electronics Engineers
IGMP	Internet Group Management Protocol
INPC	Instituto Nacional De Patrimonio Cultural
UIT	Unión Internacional De Telecomunicaciones
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
ONU	Organización De Las Naciones Unidas
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
PSK	Phase Shift Keying
PLC	Power Line Communications
SSID	Service Set Identifier
RJ45	Registered Jack 45
WiFi	Wireless Fidelity
UTP	Par Trenzado Sin Blindaje
STP	Par Trenzado Blindado
LAN	Local Area Network
SOHO	Small Office Home Office
WAP	Wireless Application Protocol
BPL	Broadband Over Power Lines
WAN	Wide Area Network
HF	High Frequency
VHF	Very High Frequency
CENELEC	Comité Europeo De Normalización Electrotécnica
DS2	Diseño De Sistemas De Silicio
UPA	Universal Powerline Asociation
ABB	Asea Brown Boveri
IPTV	Internet Protocol Television
PYME	Pequeña Y Mediana Empresa
DCE	Equipo De Comunicaciones De Datos
DTE	Equipo De Terminal De Datos

SBR	Spectral Band Replication
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection
MAN	Metropolitan Area Network
TI	Tecnología Informática
MAC	Media Access Control
bps	Bits Por Segundo
Bps	Bytes Por Segundo
IP	Internet Protocol
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
NTIA	Administración Nacional De Telecomunicaciones E Información
UPLC	United Power Line Council
EIA	Electronics Industry Association
HD	High Definition
HPAV	Homeplug Audio Video
MPDU	Media Access Control Protocol Data Unit
FEC	Forward Error Correction
PB	Phisycals Block
CM	Connection Manager
PPDU	Physical Protocol Data Unit
NID	Identificador De Red
CCo	Central Coordinator
AVLN	Redes Lógicas AV
NEK	Clave De Cifrado De Red
TDMA	Time Division Multiple Access
QoS	Calidad De Servicio
SNR	Relación Señal / Ruido
SSM	Spread Spectrum Modulation
MSSM	Multi-Carrier Spread Spectrum Modulation
BER	Bit Error Rate
LED	Light-Emitting Diode
KPI	Key Performance Indicator
MTU	Maximum Transmission Unit
VoIP	Voice Over IP
UDP	User Datagram Protocol
TCP	Transmision Control Protocol

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Estándares <i>Ethernet</i> IEEE 802.3	16
Tabla 2-2: Características del kit TL-WPA4220KIT de TP-Link.	36
Tabla 3-2: Descripción de las luces LED del adaptador TL-PA4010:.....	38
Tabla 4-2: Descripción del indicador <i>LED</i> del <i>PLC</i> adaptador (TL- WPA4220).....	39
Tabla 1-3: Posible Asignación de Direcciones IP, a los Dispositivos en la Red SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b).....	64
Tabla 2-3: Posible asignación de direcciones <i>IP</i> , a los dispositivos de la red SOHO <i>PowerLine HomePlug AV2</i> con WiFi (IEEE 802.11b).	66
Tabla 1-4 Promedios de transmisiones realizadas con 10 equipos en las dos redes con el protocolo <i>TCP</i>	77
Tabla 2-4 Promedio total de los <i>KPI's</i> utilizando el protocolo <i>TCP</i> en los dos escenarios. .	78
Tabla 3-4 Promedios de transmisiones realizadas con 10 equipos en las dos redes con el protocolo <i>UDP</i>	81
Tabla 4-4 Promedio total de los <i>KPI's</i> utilizando el protocolo <i>UDP</i> en los dos escenarios.	82
Tabla 5-4 Promedio total del porcentaje de paquetes perdidos, utilizando el protocolo <i>UDP</i> en los dos escenarios	83
Tabla 6-4 Promedio total de los <i>KPI's</i> : Datagramas enviados y Datagramas perdidos, utilizando el protocolo <i>UDP</i> en el Escenario 1: Red SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)).	84
Tabla 7-4 Promedio total de los <i>KPI's</i> : Datagramas enviados y Datagramas perdidos, utilizando el protocolo <i>UDP</i> en el Escenario 2: (Red SOHO <i>PowerLine</i> <i>HomePlug AV2</i> con WiFi (IEEE 802.11b)).	85
Tabla 8-4 Comparativa de los resultados analizados estadísticamente.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Formato Básico General De Trama <i>Ethernet</i> .	14
Figura 2-2:	Familia de estándares compatibles de <i>HomePlug</i> .	22
Figura 3-2:	<i>HomePlug AV</i> y <i>AV2</i> atributos compartidos.	22
Figura 4-2:	Diferencias clave en <i>HomePlug AV2</i> .	23
Figura 5-2:	Arquitectura Del Sistema <i>HomePlug AV</i> .	24
Figura 6-2:	Formato <i>PPDU</i> y <i>MPDU</i> .	25
Figura 7-2:	Infografía De <i>HomePlug AV2</i> .	27
Figura 8-2:	<i>HomePlug Networking</i> Híbrido En El Hogar.	29
Figura 9-2:	Espectro <i>OFDM</i> y Multiportadora Convencional.	31
Figura 10-2:	Flujo Eléctrico combinado con datos transformados a frecuencias con <i>OFDM</i> .	33
Figura 11-2:	Espectro De Frecuencias.	33
Figura 12-2:	Operación De Los Dispositivos <i>PLC</i> .	34
Figura 13-2:	TP-Link TL-WPA4220KIT.	36
Figura 14-2:	TL-PA4010, <i>PLC</i> adaptador.	38
Figura 15-2:	TL-WPA4220 Extensor o Repetidor.	39
Figura 16-2:	<i>PLC</i> extensor (Interfaz Física).	40
Figura 17-2:	Puertos RJ45 en los <i>PLC</i> adaptador y extensor.	41
Figura 18-2:	<i>PLC</i> desmontado la carcasa superior.	41
Figura 19-2:	Chip de Gestión de Red. Fabricado por la Compañía Realtek.	42
Figura 20-2:	Placas unidas por un bus de datos.	42
Figura 21-2:	Puertos de red, en la segunda Placa.	43
Figura 22-2:	Vista interna Placa metálica para disipar el calor.	43
Figura 23-2:	Descarga de archivos mediante un Navegador de Internet.	45
Figura 24-2:	Interfaz gráfica de la aplicación jPerf 2.0.2.	49
Figura 25-2:	Descarga de Java.	50
Figura 26-2:	Descarga de archivo .zip de JPerf 2.0.2.	50
Figura 27-2:	Servidor jPerf a la escucha.	51
Figura 28-2:	Parámetros en el cliente JPerf.	52
Figura 29-2:	Opciones de jPerf.	53
Figura 1-3:	Predio de 300m ² para el caso de estudio.	59
Figura 2-3:	Acometidas eléctricas desde el exterior (poste de luz) hacia los medidores.	60
Figura 3-3:	Red SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b).	61
Figura 4-3:	Red SOHO <i>PowerLine HomePlug AV2</i> .	62
Figura 5-3:	Acometida eléctrica piso 2.	63

Figura 6-3:	Listado de equipos conectados a la Red SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b) (“RED_ESCENARIO_1”).	65
Figura 7-3:	Comandos ipconfig y ping de un equipo a otro en la Red SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b): (“RED_ESCENARIO_1”).	65
Figura 8-3:	Listado de equipos conectados a la red SOHO <i>PowerLine HomePlug AV2</i> con wifi (ieee 802.11b, “RED_ESCENARIO_2”), en el <i>PLC</i> extensor 1.	67
Figura 9-3:	Listado de equipos conectados a la red SOHO <i>PowerLine HomePlug AV2</i> con wifi (ieee 802.11b, “RED_ESCENARIO_2”), en el extensor 2.	67
Figura 10-3:	Comandos ipconfig y ping de un equipo a otro en la red: red SOHO <i>PowerLine HomePlug AV2</i> con WiFi (IEEE 802.11b) (“RED_ESCENARIO_2”).	68
Figura 11-3:	Velocidades de conexión de dispositivos <i>PLC</i> 's, desde el <i>PLC</i> adaptador hacia los <i>PLC</i> 's extensores 1 y 2.	68
Figura 12-3:	Velocidades de conexión de dispositivos <i>PLC</i> 's, desde el extensor 2 hacia el <i>PLC</i> adaptador y al <i>PLC</i> extensor 1.	69
Figura 13-3:	Velocidades de conexión de dispositivos <i>PLC</i> 's, desde el extensor 1 hacia el <i>PLC</i> adaptador y al <i>PLC</i> extensor 2.	69
Figura 14-3:	Estado de Conexión de red inalámbrica.	70
Figura 15-3:	<i>TTL</i> , obtenido con el comando <i>PING</i> .	71
Figura 16-3:	Parámetros del protocolo <i>UDP</i> .	71
Figura 17-3:	Parámetros del protocolo <i>TCP</i> .	72
Figura 18-3:	Velocidades de conexión de dispositivos <i>PowerLine HomePlug AV2</i> conectados en circuitos separados por medidores de energía eléctrica.	73
Figura 19-3:	Velocidades de conexión de dispositivos <i>PowerLine HomePlug AV2</i> conectados en circuitos separados por medidores de energía eléctrica.	73
Figura 20-3:	Velocidades de conexión entre dispositivos <i>PowerLine HomePlug AV2</i> conectados en circuitos separados por medidores de energía eléctrica.	74
Figura 1-4:	Ancho de banda en la RED_ESCENARIO_1 (“RED SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con <i>WiFi</i> (IEEE 802.11b)”), usando el Protocolo <i>TCP</i> con 10 Hilos.	76
Figura 2-4:	Ancho de banda en la RED_ESCENARIO_2 (“red SOHO <i>PowerLine HomePlug AV2</i> ”), usando el Protocolo <i>TCP</i> con 10 Hilos.	77
Figura 3-4:	Ancho de banda, en la RED_ESCENARIO_1 (“RED SOHO <i>ETHERNET</i> (IEEE 802.3) con <i>WiFi</i> (IEEE 802.11b)”), usando el Protocolo <i>UDP</i> con 10 Hilos.	80
Figura 4-4:	Ancho de banda en la RED_ESCENARIO_2 (“red SOHO <i>PowerLine HomePlug AV2</i> con <i>WiFi</i> (IEEE 802.11b)”), usando el Protocolo <i>UDP</i> con 10 Hilos.	80
Figura 5-4:	Resultado de la prueba de normalidad con <i>SPSS</i> .	87

Figura 6-4:	Resultado de la prueba de Mann-Whitney.	88
Figura 7-4:	Resultado de la prueba de Mann-Whitney.	89
Figura 8-4:	Resultado de la prueba de Mann-Whitney.	90
Figura 1-5:	Ejemplo de conexiones de la red <i>SOHO PowerLine HomePlug AV2</i>	92
Figura 2-5:	Sentido de conexión a la pared.	93
Figura 3-5:	Conexión correcta.	93
Figura 4-5:	Emparejamiento de los <i>PLC's</i>	94
Figura 5-5:	Red unificada doméstica	94
Figura 6-5:	Funcionamiento en diferentes fases.	95
Figura 7-5:	Botón de clonado WiFi y activación de la función <i>wireless</i>	96
Figura 8-5:	Conectar y usar con el botón clonar WiFi.	96
Figura 9-5:	Dirección web e inicio de sesión para la interfaz de administración.	97
Figura 10-5:	Pantalla de información de la configuración del <i>PLC</i> extensor seleccionado.	98
Figura 11-5:	Pantalla de configuración de la dirección <i>IP</i> del extensor seleccionado.	98
Figura 12-5:	Configuración de WiFi (IEEE 802.11b) en el Extensor.	99
Figura 13-5:	Personalizar la contraseña de la red WiFi (IEEE 802.11b) del <i>PLC</i> extensor.	99
Figura 14-5:	Conexión equivocada.	100
Figura 15-5:	Conexión correcta.	100
Figura 16-5:	Aplicaciones para configurar los <i>PLC's</i> extensores.	101
Figura 17-5:	Aplicativo "PowerLine Scan.exe" en ejecución.	101
Figura 18-5:	Ventana de logueo para acceso a la configuración del <i>PLC</i> extensor.	102
Figura 19-5:	Red WiFi (IEEE 802.11b) con <i>PowerLine HomePlug AV2</i>	102
Figura 20-5:	Dos redes WiFi (IEEE 802.11b) distintas con <i>PowerLine HomePlug AV2</i>	103

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1-4: Comparación de cantidad de MBytes transmitidos (ancho de banda) y <i>Throughput</i> , con <i>TCP</i> , en los dos escenarios.....	79
Grafico 2-4: Comparación de cantidad de MBytes transmitidos con <i>UDP</i> , <i>Throughput</i> y <i>Jitter</i> , en los dos escenarios.....	82
Grafico 3-4: Comparación del porcentaje de paquetes perdidos para los dos escenarios.....	83
Grafico 4-4: Datagramas enviados en comparación a datagramas perdidos, utilizando el protocolo <i>UDP</i> en el escenario 1: Red SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b).....	84
Grafico 5-4: Datagramas enviados en comparación a datagramas perdidos, utilizando el protocolo <i>UDP</i> en el escenario 2: (Red SOHO <i>PowerLine HomePlug AV2</i> con WiFi (IEEE 802.11b)).....	85

ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A: IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA RED SOHO
ETHERNET (IEEE 802.3) CON WIFI (IEEE 802.11B)**

**ANEXO B: SCREENSHOTS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON EL PROGRAMA
JPERF 2.0.2**

ANEXO C: DATOS DE LAS PRUEBAS

RESUMEN

En el presente trabajo, el objetivo principal es: “**Evaluar la tecnología *PowerLine HomePlug AV2* en comparación a *Ethernet (IEEE 802.3)*, ambas en combinación con *WiFi (IEEE 802.11b)*, para mejorar el desempeño de redes SOHO**”. Para lo cual, se implementaron dos ambientes de pruebas y se configuraron dos redes con las tecnologías mencionadas anteriormente. Por medio del comando “*Ping*” y el programa *jPerf* en su versión 2.0.2; hemos obtenido indicadores como: Ancho de banda, *Throughput*, porcentaje de paquetes perdidos, *Jitter*, con los protocolos: *TCP* y *UDP*, para cada red.

Analizados los resultados de las pruebas en las dos redes se obtiene que: El indicador “ancho de banda” en la Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con *WiFi (IEEE 802.11b)*, es mayor en un 33,32%, en la transmisión de datos utilizando el protocolo *TCP* y un 6,83% más alto con el protocolo *UDP*, en comparación a la Red *Ethernet (IEEE 802.3)* combinada con *WiFi (IEEE 802.11b)*. Si bien existe diferencia entre los promedios de los indicadores de las dos redes, comprobamos la consistencia de estos resultados por medio de un análisis estadístico con el programa *SPSS* con una prueba de hipótesis. Con lo cual se demuestra que los valores de los indicadores: Datagramas perdidos *UDP*, Ancho de banda *TCP* y *Throughput TCP*, no superan el nivel de significancia $P_{valor}=5\%$, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0): No existen diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores de desempeño de redes SOHO), Mientras que para el protocolo *UDP* se acepta esta hipótesis nula (H_0), y como los valores promedio del indicador *Jitter* son menores para la tecnología *PowerLine HomePlug AV2* por lo que se puede decir que la tecnología *PowerLine HomePlug AV2*, “**si**” es una alternativa a *Ethernet (IEEE 802.3)* ambas con *WiFi (IEEE 802.11b)*, para mejorar el desempeño de redes SOHO.

Palabras Clave: TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA, TELECOMUNICACIONES, REDES DE COMUNICACIÓN, PROTOCOLO INTERNET, RETARDO DE PAQUETES, JITTER (VARIANZA DEL TIEMPO), INTERNET.

REVISADO

10 FEB 2020

Ing. Jhonatan Parroño Uquillas, MSc.
ANALISTA DE BIBLIOTECA

ABSTRACT

In the present work, the main objective is: "Evaluate *PowerLineHomePlug AV2* technology compared to *Ethernet* (IEEE 802.3), both in combination with WiFi (IEEE 802.11b), to improve the performance of SOHO networks". For which, two test environments were implemented and two networks were configured with the technologies mentioned above. By means of the "Ping" command and the jPerf program in its version 2.0.2; It has obtained indicators such as: Bandwidth, *Throughput*, percentage of lost packets, *Jitter*, with the protocols: *Transmission Control Protocol* (TCP) and *User Datagram Protocol* (UDP), for each network. Analyzed the results of the tests in the two networks, it is obtained that: The "bandwidth" indicator in the SOHO *PowerLine HomePlug AV2* Network with WiFi (IEEE 802.11b), is 33.32% higher, in the transmission of data using the TCP protocol and 6.83% higher with the UDP protocol, compared to the *Ethernet* network (IEEE 802.3) combined with WiFi (IEEE 802.11b). Although there is a difference between the averages of the indicators of the two networks, the consistency of these results was checked by means of a statistical analysis with the SPSS program with a hypothesis test. With which it is shown that the values of the indicators: *UDP* lost datagrams, *TCP* Bandwidth and *TCP Throughput*, do not exceed the significance level $Pvalue = 5\%$, so the null hypothesis (H0) is rejected: There are no statistically significant differences between the performance indicators of SOHO networks), While for the *UDP* protocol this null hypothesis (H0) is accepted, and as the average values of the *Jitter* indicator are lower for *PowerLine HomePlug AV2* technology so It can be said that *PowerLine HomePlug AV2* technology, "is" an alternative to *Ethernet* (IEEE 802.3) both with WiFi (IEEE 802.11b), to improve the performance of SOHO networks.

Keywords: TECHNOLOGY, AND ENGINEERING SCIENCES, TELECOMMUNICATIONS, COMMUNICATION NETWORKS, INTERNET PROTOCOL, PACKAGE DELAY, JITTER (VARIANCE OF TIME), INTERNET.



CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

Dado que en la actualidad existe un gran aumento en la demanda de acceso a Internet y a servicios de datos y multimedia, no solo a nivel de industria, sino también a nivel residencial, es muy importante evaluar varias alternativas de interconectividad de redes *LAN*. En este sentido, la tecnología más aceptada y utilizada es *Ethernet*; sin embargo, cabe resaltar que tiene ciertas limitaciones de implementación y desempeño las cuales, como se explica más adelante, pueden resultar difíciles de mitigar dependiendo de situaciones políticas o económicas del lugar donde se la requiera. Estas limitaciones son las siguientes:

- Pérdidas de información y conexión entre computadoras cuando las longitudes de los cables de datos son mayores a 100 metros.
- La velocidad de transmisión está ligada al tipo de cable: Coaxial, *UTP* (par trenzado sin blindaje), *STP* (par trenzado blindado); y a la categoría que se use: 5, 6 o 7.
- Las redes *Ethernet* son susceptibles a interferencias electromagnéticas, atenuaciones y ruido.
- Elevada ocupación de puertos en los *switches* instalados y por ende la necesidad constante de escalabilidad en *hardware*.
- Las redes *Ethernet* por lo general necesitan de cableado estructurado tanto vertical como horizontal; por lo tanto, existe complejidad en el paso de los cables de red a través de las paredes de concreto u otros obstáculos.
- El costo inherente del equipamiento y cableado de esta red, podría significar un gasto elevado o inaccesible para pequeñas empresas como las *SOHO* (*Small Office Home Office*).

En este contexto, también es importante tomar en cuenta la situación de edificaciones ya terminadas que no cuentan con ningún tipo de cableado estructurado y del mismo modo demandan de una red *LAN* y conexión a Internet. El hecho de atravesar techos y paredes o hacer agujeros implica gastos, daños y molestias, que no siempre es posible sobrellevar. Esto se hace más crítico en edificaciones patrimoniales, donde el tratamiento de construcciones es especial y se debe analizar si una modernización tecnológica es conveniente en función del cuidado y preservación de los predios. Cabe destacar que, en Ecuador, siendo un país en vías de desarrollo, la mayoría de edificaciones residenciales no han sido planeadas para contar con redes internas de telecomunicaciones y al mismo tiempo, nuestro país tiene un

gran número de construcciones patrimoniales protegidas por el INPC (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural)¹.

Dentro de las alternativas o soluciones a estas limitaciones de implementación y desempeño de las redes *Ethernet* (IEEE 802.3), se tiene la instalación de redes WiFi (del estándar IEEE 802.11a/b/g/n). No obstante, si se espera cubrir grandes zonas con WiFi (IEEE 802.11b), también existen varias desventajas como se detalla a continuación:

- Alcance limitado para sitios lejanos y aparición de zonas muertas.
- Interferencia ocasionada por otros dispositivos WAP y accesorios electrodomésticos.
- Saturación de la red a causa de aplicaciones que demandan gran ancho de banda y el número de usuarios.
- Fallas de seguridad.

En base a este problema, el presente estudio propone la evaluación de una red *PowerLine HomePlug AV2*, la cual pertenece a la tecnología *PLC* (*Power Line Communications*), cuya principal característica es aprovechar las redes eléctricas ya existentes en las construcciones para utilizarlas como medio de transmisión cableado. Esto representa una forma fácil, económica y de alto desempeño para proveer interconectividad en cualquier lugar que tuviera suministro eléctrico. Cabe resaltar que *PowerLine HomePlug AV2* también provee conectividad WiFi en los terminales extremos, pero esto se realiza después de tomar ventaja de las transmisiones a distancia por los cables eléctricos. Es por este motivo que se va a evaluar a *PowerLine HomePlug AV2* (que incluye WiFi (IEEE 802.11b)) en comparación a *Ethernet* combinada con WiFi (IEEE 802.11b), para poder plantear dos escenarios en las mismas condiciones.

La mayor parte de estudios y pruebas realizados con esta tecnología se desarrollaron para redes WAN. Los cuales enumeramos a continuación:

- [Rene, A. Bustillo. (2008). Banda Ancha sobre Red Eléctrica o BPL],
- [García, W. (2009). Estudio Comparativo entre *PLC* y *ADSL*],
- [Naranjo, C. Carmen, Fuentes, C. Ángel. (2010). Estudio de la Tecnología de Acceso a Internet *PowerLine Communications (PLC)* y su Aplicación en la Transmisión de Datos en Tiempo Real Mediante el Tendido de las Redes Eléctricas Locales],
- [Seema, M. Singh. (2011). *Broadband Over Power Lines A White Paper*],
- [Puntero, M. Angel, (2014). Los bits Viajan por la Red Eléctrica],

¹ El Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) es una entidad del sector público con ámbito nacional, encargada de investigar y ejercer el control técnico de acuerdo a la política pública emitida por el ente rector Ministerio de Cultura y Patrimonio, para la preservación, conservación, apropiación y uso adecuado del patrimonio material e inmaterial.

- [Sergio J. Castro. (2016). *PLC, PowerLine Communications* (Comunicaciones por la Red de Electricidad)],
- [Yefersson Cañon De Antonio. (2016). Estudio de la Factibilidad Técnica de la Implementación de *PLC (PowerLine Communication)* en la Red de Distribución Eléctrica de Bogotá].

En estos estudios se hace referencia a la transmisión de datos por la red eléctrica de alta y media potencia, lo cual no ha tenido el despliegue comercial y masivo debido a que es un medio que no fue creado para transmitir información por medio de aplicaciones de *ISP's* (Proveedores de servicios de Internet). Y dado que los cables de alta y media tensión no están aislados, estos se comportan como antenas y producen interferencias en las bandas de HF (alta frecuencia) y VHF (muy alta frecuencia), de bases militares, aviación y radioaficionados, junto al abaratamiento de otras tecnologías de acceso a internet como *ADSL* (Línea de abonado digital asimétrica), no han permitido que esta tecnología tenga un avance significativo en el mercado a nivel *WAN* y *LAN*, Mientras que los estudios de *PowerLine* para hogares (*Indoor*) como los que se enumeran a continuación:

- [Parra E. Mariuxi E. (2008). Estudio y Diseño de una Red *LAN* para Voz y Datos, Utilizando Tecnología *PowerLine Communications (PLC)* como Alternativa al Cableado Estructurado para un Edificio de Oficinas],
- [Lopez, J. Roman, D. (2009), Diseño e Implementación de una Red *PLC* para el Transporte de Voz, Datos y Video para el Comercial MANCOSA],
- [Contreras, H. Martha. Granados, A. Gerardo. (2012). Estimación del Valor Teórico para el *Throughput* en Redes *LAN* Basadas en Tecnología *PowerLine Communications* bajo el Estándar *HomePlug 1.0*],
- [Vesga, F. Juan, Granados, A. Gerardo. (2012). Modelo Estadístico sobre el Comportamiento del *Throughput* en Redes *LAN* sobre Tecnología *PowerLine Communications*],
- [Pérez, G. Carla. (2013). Estudio de la Tecnología *HomePlug AV (HPAV)* para la Implementación de una Red Mediante Líneas de Potencia en la Transmisión de Contenidos Multimedia para Hogares],
- [Piñero, E. José. (2014). *Analysis and Evaluation of In-home Networks Based on HomePlug-AV PowerLine Communications*],
- [Vesga, F. Juan, Granados, A. Gerardo, Vesga, B. José. (2016). Evaluación del Rendimiento de una Red *LAN* sobre *PowerLine Communications* para la Transmisión de VoIP],
- [Corchado, L. Julio, Cortés, A. José. Cañete, C. Francisco. Díez del Río, Luis. (2016). Impacto de las Características de la Red Eléctrica en Canales MIMO *PLC* Domésticos].

Dichos estudios no hacen referencia a la tecnología WiFi (IEEE 802.11b), tampoco muestran una comparativa de que tecnología de transmisión de datos es la mejor opción para el usuario en una red SOHO. Por este motivo, el presente trabajo entrega el aporte particular de evaluar la tecnología *PLC* (*PowerLine Communications*) para redes *LAN*, y compararla con *Ethernet*, ambas combinadas con WiFi (IEEE 802.11b) y en iguales condiciones, con el fin de determinar si la tecnología *PLC* tiene un mejor desempeño.

Resolver todo este cuestionamiento en un escenario de pruebas, permitirá difundir la solución *PLC*, poco conocida en nuestro medio y sobre todo popularizarla en entornos SOHO. Por último, cabe indicar que no existe una guía de implementación de *PLC*, considerando las modalidades del servicio eléctrico ecuatoriano y ese es uno de los aportes a realizar en esta tesis.

1.2. Formulación del Problema

En base a la “*Situación Problemática*” expuesta en la sección anterior, realizamos la siguiente formulación del problema:

¿La evaluación de la tecnología *PowerLine HomePlug AV2*, servirá para determinar si es una tecnología alternativa a *Ethernet* (IEEE 802.3), ambas combinadas con WiFi (IEEE 802.11b), para mejorar el desempeño de redes *LAN* en ambientes SOHO?

1.3. Justificación de la investigación

Como se mencionó anteriormente, *Ethernet* hoy en día es el principal mecanismo para la implementación de redes *LAN*; sin embargo, existen casos, como en edificaciones antiguas o en ambientes SOHO, que demandan una alternativa especial para la implementación de estas redes con un buen desempeño. Precisamente *PowerLine HomePlug AV2* se presenta como una propuesta óptima ya que utiliza las redes eléctricas ya existentes para transmitir información de forma bidireccional. Este mecanismo, que reutiliza el cableado eléctrico para la transmisión de datos, implica evitar gastos en equipamiento, infraestructura e instalaciones de cableado estructurado. Este ahorro es muy significativo para pequeñas empresas, residencias y edificaciones patrimoniales, donde en principio no cuentan con la infraestructura de redes necesaria y a su vez no demandan anchos de banda elevados.

Dado que *PowerLine HomePlug AV2* en su despliegue a nivel mundial y local se ha enfocado a redes WAN, es de gran importancia estudiar y entender esta tecnología en entornos *LAN*. Es aquí que surge la necesidad de comparar a *PowerLine HomePlug AV2* con *Ethernet* (IEEE 802.3),

ambas combinadas con WiFi (IEEE 802.11b), con el fin de determinar si la primera puede igualar o inclusive mejorar el desempeño de redes *LAN* en el ámbito SOHO.

Los resultados de la presente investigación ofrecerán de una manera técnica los parámetros de desempeño de las dos tecnologías mencionadas y servirá para poder difundir el uso de *PLC* en situaciones en que no se pueda implementar *Ethernet* (IEEE 802.3). Del mismo modo, la guía que se va a presentar sobre la instalación de *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b), ajustada al modelo del servicio eléctrico ecuatoriano, será de mucha utilidad para que ayude a resolver problemas de implementación de redes y acceso a Internet en residencias, edificaciones patrimoniales y redes SOHO de nuestro país.

1.4. Objetivos:

1.4.1. General

- Evaluar la tecnología *PowerLine HomePlug AV2* en comparación a *Ethernet* (IEEE 802.3), ambas en combinación con WiFi (IEEE 802.11b), para mejorar el desempeño de redes SOHO

1.4.2. Específicos

- Estudiar las características, protocolos, dinámica de operación y funcionamiento de la Tecnología *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b).
- Proponer ambientes de prueba con las tecnologías *PowerLine HomePlug AV2* y *Ethernet* IEEE 802.3, ambas en combinación con WiFi (IEEE 802.11b).
- Evaluar el desempeño de la red SOHO implementada en los ambientes de prueba, con las mismas condiciones.
- Elaborar una guía de especificaciones técnicas para implementación de una red *PLC*, de acuerdo a los estándares eléctricos ecuatorianos.

1.5. Hipótesis

El presente trabajo plantea la siguiente hipótesis:

- El uso de la tecnología *PowerLine HomePlug AV2*, determinará si es una alternativa a *Ethernet* (IEEE 802.3), ambas combinadas con WiFi (IEEE 802.11b), para mejorar el desempeño de redes SOHO?

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del problema

Si se preguntara aleatoriamente a varias personas sobre el conocimiento que tienen ellas acerca de que el cableado eléctrico instalado dentro de una casa o edificio, se puede utilizar como medio de transmisión para crear redes de datos o para tener acceso a Internet; una gran parte de esas personas probablemente respondería que no está al tanto de que existe una tecnología capaz de realizar esta tarea. *“Más aún, muchos de ellos pensarían que ésta (tecnología) fue desarrollada recientemente y que es una tecnología incipiente. Lo cierto es que las comunicaciones de Banda Ancha sobre la Red Eléctrica o comunicaciones BPL² tienen un origen bastante anterior a tecnologías como 3G o tercera generación en el mundo de la telefonía celular”* [Rene, A. Bustillo. (2008). Banda Ancha sobre Red Eléctrica o BPL].

La Banda Ancha sobre línea de energía (BPL) representa el uso de tecnologías *PLC* que proporcionan acceso de banda ancha a Internet a través del cableado público de distribución de energía eléctrica.

La idea de transmitir datos por el cableado eléctrico comenzó en la década de 1920, donde los primeros enlaces *PLC* a través de líneas de alta tensión se realizó con el objetivo de proporcionar servicios telefónicos operacionales y se basaron en la modulación *SSB1 (Single-Side Band Modulation)*³. [Katz, S. Schwartz, D. Flynn, J. (2009). I and Q Components in Communications Signals and Single Sideband].

² **BPL (Broadband over Power Lines):** Banda ancha sobre líneas eléctricas, es un método de comunicación por línea eléctrica, que permite la transmisión de datos digitales de alta velocidad sobre el cableado público de distribución de energía eléctrica.

³ En radio comunicaciones, *SSB1* es un refinamiento de la modulación de amplitud que utiliza la potencia del transmisor y el ancho de banda de manera más eficiente

En 1950, *PLC* se utilizó para transmitir datos, con bajas velocidades, por las líneas de suministro eléctrico de alta tensión de manera unidireccional para aplicaciones de telemetría en el rango de frecuencias de 15 a 500 kHz.

Entre los años 1976 y 1978 fueron desarrollados los primeros proyectos sobre la tecnología *PLC* (*PowerLine Communications*) en *Glenrothes* Escocia, por los ingenieros de la empresa Pico Electronics Ltda. Y la empresa de sistemas de audio *SBR*⁴ (*Spectral Band Replication*, «Replicación de Banda Espectral»). El propósito de estas empresas era controlar un dispositivo electrónico de forma remota; dando como resultado de estos proyectos, estudios y experimentación del protocolo X-10⁵. [Yefersson Cañon De Antonio. (2016). Estudio de la Factibilidad Técnica de la Implementación de (*PowerLine Communication*) en la Red de Distribución Eléctrica de Bogotá].

Fue hasta 1990 cuando *PLC* se utilizó por primera vez en un entorno residencial en sistemas eléctricos de media y baja tensión. Por su baja velocidad de transmisión y el hecho de ser unidireccional, las aplicaciones de *PLC* eran bastante reducidas; como, por ejemplo:

- Control y telemetría de los equipos instalados en un sistema.
- Medición remota.
- Control dinámico de tarifas.
- Medición de perfiles de carga.

En 1991, CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) emitió la Norma Europea EN-50065-1 (1991), donde se restringen las bandas de frecuencia para la tecnología *PLC* en banda estrecha. Por un lado, la banda A en un rango de frecuencias de 9 a 95 KHz con una amplitud máxima de transmisión de 10V, se asigna a las comunicaciones en las empresas eléctricas para automatización y la lectura remota de contadores. Por otro lado, las bandas B (de 95 a 125Khz) y C (de 125 a 140Khz) se destinan en las comunicaciones de los clientes con una amplitud máxima de 1.2V. [Parra E. Mariuxi E. (2008). Estudio y Diseño de una Red LAN para Voz y Datos, Utilizando Tecnología *PowerLine Communications (PLC)* Como Alternativa al

⁴ **SBR** (*Spectral Band Replication*, «Replicación de Banda Espectral»): **La idea clave del SBR** fue aprovecharse de las particulares características del oído humano: los sonidos que podemos escuchar tales como la música o la voz son una mezcla un tanto redundante de diversas frecuencias básicas. Aprovechando esa redundancia el SBR **genera las frecuencias altas a partir de las bajas.**

⁵ **X-10** es un protocolo de comunicaciones para el control remoto de dispositivos eléctricos, que utiliza la línea eléctrica existente, para transmitir señales de control entre equipos de automatización del hogar (domótica) en formato digital.

Cableado Estructurado Para un Edificio de Oficinas], [Rodríguez, L. Rivera, J. Castang G. (2009). Estudio Y Progreso De Redes *PLC*, Enfocado A Servicios De Banda Angosta].

En 1997, apareció a disposición del público la tecnología para efectuar transmisiones bidireccionales, abriendo las puertas a la creación de una red local. La compañía británica *United Utilities* y el fabricante de telecomunicaciones canadiense *Nortel* crearon *Digital Power Line*, una tecnología que era capaz de transmitir señales de datos a 1 Mbps a través del segmento de baja tensión de las redes eléctricas.

En 1998, nace DS2 (Diseño de Sistemas de Silicio), con sede en Paterna (Valencia, España). Esta empresa que produce chips de *PLC* de banda ancha compatibles con el standard UPA (*Universal Powerline Association*), fue pionera y entonces líder del mercado de los *PLC*, lo cual permitió la creación de las redes locales sobre el tendido eléctrico en el hogar como hoy lo conocemos, pensando inicialmente en ser una alternativa para el *ADSL*. La tecnología de la empresa DS2 ha ido evolucionando en el mercado de *In Home*, ofreciendo dispositivos *plug and play* para conectividad en el hogar para el servicio de IPTV. Hoy en día, sigue habiendo desarrollos de “acceso” (*last mile access*, para proveer de Internet a zonas rurales donde no llega el *ADSL*, sobretodo en Estados Unidos).

En 1999, la compañía ABB (*Asea Brown Boveri*), introdujo el primer sistema *PLC* digital del mundo con adaptación automática de velocidad (AMX500), que conseguía una velocidad de transmisión de datos de hasta 28,8 kbps en un ancho de banda de 4 kHz, o de hasta 64 kbps en 8 kHz.

En 2001, el *Holding* alemán RWE AG (pioneros en la utilización de la tecnología *PLC* de forma comercial) presentó en la feria informática *CeBit* de *Hannover* Alemania, la tecnología llamada *POWERNET* para acceder a Internet a una velocidad de 2 Mbps, por medio del circuito eléctrico doméstico.

En 2010, se publica el estándar IEEE-1901 (*Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications*). Aquí aparece un nuevo enfoque para la tecnología *PLC*, que al combinarla con otras tecnologías de acceso podría llegar a lugares remotos o áreas rurales que carecen de líneas telefónicas u otros medios de comunicación a bajos costos.

Las empresas del sector eléctrico han venido utilizando desde hace más de una década la modulación de señales de datos sobre las líneas de alta tensión, sobre todo para el monitoreo y control de las estaciones y subestaciones de transporte de energía eléctrica (sistemas SCADA).

Las comunicaciones por línea de energía (*PLC*) se han convertido en una de las alternativas más interesantes para redes domésticas. Las redes basadas en esta tecnología son fáciles de instalar y expandir ya que utilizan el cableado de baja tensión dentro de un hogar (220 voltios en Europa, 110 voltios en América). Por lo tanto, proporcionan una solución rentable para las comunicaciones caseras.

A nivel comercial existen varios dispositivos que permiten la comunicación de datos a través de la red eléctrica de bajo voltaje (110 o 220 Voltios AC). Pese a ello, la provisión de servicios de banda ancha a través de la red de distribución de energía eléctrica no está ampliamente difundida. Comenzando por la red de distribución doméstica (al interior de las casas, hogares u oficinas), que es donde más despliegue real de telecomunicaciones sobre líneas de energía eléctrica existe actualmente, el objetivo de *PLC* es convertir el cableado de distribución eléctrico dentro de una casa, vivienda o edificio de oficinas en una red de área local (*LAN*), siendo cada enchufe eléctrico un punto de acceso a la red *LAN*.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Redes SOHO

“Small Office, Home Office (contracción: SOHO) o Microempresa, hace referencia a entornos domésticos o de pequeña empresa con instalaciones y equipos informáticos de escasa potencia”. Por las siglas inglesas “SOHO” es el acrónimo de *Small Office Home Office*; también conocido como una oficina pequeña, oficina doméstica o una oficina montada en casa.

Una red SOHO es una red de área local pensada para ser utilizada en oficinas pequeñas. [Rubio, Xavier. (2016). Implementación de un punto de acceso para una red SOHO].

En general, podría considerarse con esta denominación a cualquier conformación de oficina o grupo de profesionales independientes con una capacidad de hasta 10 trabajadores que responden al perfil típico de teletrabajador o pequeña empresa familiar. [Cristian. O’Flaherty, (2009). Internet para todos].

Las principales características de las redes SOHO son:

- Tienen un número reducido de ordenadores conectados a ella (máximo 10).
- Equipos informáticos de baja potencia y que procesan bajas cantidades de información.
- Las comunicaciones se canalizan a través de un único *router* de banda ancha que, además de los servicios clásicos de encaminamiento de tráfico, también ofrece otros servicios de red como, por ejemplo, la asignación dinámica de direcciones IP a los clientes conectados, la gestión de impresoras de red, la gestión de voz y telefonía sobre IP, etc.

2.2.1.1. *Interconectividad de redes SOHO*

Una Red SOHO, es una red de área local *LAN* formada entre dos y máximo diez computadoras o equipos conectados a la red, pero no hay ningún problema si un dispositivo más se une a la red. El término “SOHO” se utiliza únicamente para identificar una red pequeña, por lo que el número no es tan relevante. Particularmente la *LAN-SOHO*, es una pequeña red utilizada para gestionar recursos empresariales. [Figuroa Sánchez, Sergio. (2015). Construcción de SOHO].

La topología que le corresponde físicamente es de una red en estrella ya que los equipos están conectados directamente a un punto central (conmutador, repetidor o concentrador, etc.).

Naturalmente a estas redes es posible interconectarlas, y en el caso de una empresa PYME (Pequeña y Mediana Empresa), las redes SOHO, se encuentran en las secciones que componen la empresa, su interconectividad y servicios ofrecidos son muy similares a los de las redes *LAN*, que permiten compartir recursos como, por ejemplo: Internet, impresoras, documentos, imágenes y archivos de música y video, investigar y aprender en línea, conversar con amigos, planificar vacaciones, comprar regalos e insumos entre algunas computadoras locales. Las redes instaladas proporcionan una interconexión en oficinas pequeñas, hogares y oficinas conectadas a Internet.

Las redes SOHO permiten una comunicación rápida, por ejemplo, mediante el correo electrónico y la mensajería instantánea, y proporcionan consolidación, almacenamiento y acceso a la información que se encuentra en los servidores de una red.

2.2.1.2. *Tipo de transmisiones que soportan las redes SOHO*

Las redes SOHO soportan varios tipos de transmisiones, ya sean de datos, audio, video (*streaming*) al igual que una red *LAN* de mayor tamaño, con el limitante de que la cantidad de

información que se transmite por la red SOHO es menor, y por lo tanto la cantidad de usuarios será menor.

En las redes SOHO se aplican todas las características de las redes LAN *Ethernet* que se implementan con una topología física de estrella y lógica de bus, y se caracterizan por su alto rendimiento a velocidades de 10 a 100 Mbps. [Figuroa Sánchez, Sergio. (2015). Construcción de SOHO].

Las redes SOHO son de carácter no determinista, en la que los *hosts* pueden transmitir datos en cualquier momento, antes de enviar los datos, escuchan el medio de transmisión para determinar si se encuentra en uso, si lo está, entonces esperan. En caso contrario, los *hosts* comienzan a transmitir, en caso de que dos o más *hosts* empiecen a transmitir tramas a la vez se producirán choques entre tramas diferentes que quieren pasar por el mismo canal a la vez. Este fenómeno se denomina colisión, y la porción de los medios de red donde se producen colisiones se denomina “dominio de colisiones”. Una colisión se produce cuando dos máquinas escuchan para saber si hay tráfico de red, no lo detectan y, acto seguido transmiten de forma simultánea; en este caso, ambas transmisiones se dañan y las estaciones deben volver a transmitir más tarde. Para intentar solventar esta pérdida de paquetes, las máquinas poseen mecanismos de detección de las colisiones y algoritmos de postergación que determinan el momento en que aquellas que han enviado tramas que han sido destruidas por colisiones pueden volver a transmitir.

2.2.2. Redes Ethernet (IEEE 802.3)

Ethernet, IEEE 802.3, es uno de los estándares más utilizados en todas las formas de redes de computadoras y comunicaciones de datos en general. Desde la conexión a redes domésticas hasta redes de datos comerciales y redes de telecomunicaciones. Aunque para muchos, *Ethernet* es familiar porque las conexiones *Ethernet* se usan ampliamente en el hogar para conexiones por cables cortos con conectores RJ45 que se utilizan para conectar la mayoría de las computadoras a los enrutadores de red de datos o concentradores de banda ancha, esto hace que las conexiones *Ethernet* sean muy fáciles de hacer, lo que aumenta el uso y la popularidad de la tecnología *Ethernet*. [Jonathan Rivera Darín. (2015). Fundamentos de Redes Informáticas]

2.2.2.1. Elementos de red Ethernet

Se puede considerar que la LAN (*Local Area Network*) *Ethernet* IEEE 802.3 consta de dos elementos principales:

- a) **Medios de interconexión:** los medios a través de los cuales se propagan las señales son de gran importancia dentro del sistema de red *Ethernet*. Rige la mayoría de las propiedades que determinan la velocidad a la que se pueden transmitir los datos.
- **Cable coaxial:** Como se muestra en la figura 1-2. Este fue uno de los primeros tipos de medios de interconexión que se utilizaron para *Ethernet*. Típicamente, la impedancia característica era de alrededor de 110 ohmios y, por lo tanto, los cables normalmente utilizados para aplicaciones de radiofrecuencia no eran aplicables. Este tipo de cableado no se usa ampliamente para *Ethernet* en estos días, ya que es costoso y difícil de instalar.
 - **Cables de Par Trenzado:** Se pueden usar diferentes tipos de cable par trenzado: par trenzado no blindado (*UTP*) (ver figura 1-2.) o un par trenzado blindado (*STP*). En general, los tipos blindados son mejores, ya que evitan el ruido y las interferencias electromagnéticas y, por lo tanto, reducen los errores en la transmisión de datos. Pero son difíciles de manipular.
 - **Cable de fibra óptica:** el cable de fibra óptica se usa cada vez más, ya que no son susceptibles al ruido ni a interferencias electromagnéticas, además de permitir que se comuniquen a velocidades de datos muy altas.
- b) **Nodos de red** Los nodos de red son los puntos hacia y desde los cuales tiene lugar la comunicación. Aunque en años pasados, se usaban términos como DTE (equipo de terminal de datos) y DCE (equipo de comunicaciones de datos), estos equipos rara vez se ven en estos días, los tipos de equipos que se ven más comúnmente en la red de datos *Ethernet* son:
- **Computadoras:** hoy en día, la mayoría de las computadoras vienen con la capacidad de *Ethernet* integrada en la placa base de la computadora, en lugar de utilizar una tarjeta opcional de conectividad *Ethernet*. Se espera que la mayoría de las computadoras de escritorio trabajen en una red de área local, y esto se basa casi universalmente en *Ethernet*. La conexión física normalmente se proporciona utilizando un conector *Ethernet* RJ45.
 - **Enrutadores, conmutadores y concentradores:** Estos dispositivos permiten que los datos se enruten alrededor de las redes de datos para que puedan enviarse y llegar a sus destinos relevantes. Aunque similares en algunos aspectos, los enrutadores, conmutadores y concentradores son dispositivos totalmente distintos.
 - **Dispositivos misceláneos:** En cualquier red de área local se necesitará una variedad de dispositivos además de computadoras, enrutadores, conmutadores, etc. Elementos como impresoras, consolas de videojuegos, etc. Estos se pueden vincular a la red de manera similar a cualquier computadora. Se puede conectar una variedad de diferentes dispositivos a las redes de área local utilizando la tecnología *Ethernet*.

Además, de los dispositivos basados en hardware y de las interconexiones físicas que se requieren para que funcione una red de área local que use *Ethernet*, también se necesitan controladores de software. Cualquier dispositivo con una conexión *Ethernet* física tendrá el software necesario para permitir que los dispositivos se conecten a una red de área local *Ethernet*. Por ejemplo, los sistemas operativos como Windows, Apple iOS y Linux, tienen capacidad *Ethernet* incorporada en el software básico. Esto significa que no es necesario cargar controladores adicionales, excepto en circunstancias excepcionales.

2.2.2.2. *Topologías de red Ethernet*

Es el arreglo físico o lógico en el cual los dispositivos o nodos de una red (ejemplo: computadoras, impresoras, servidores, *hubs*, *switches*, enrutadores, etc.) se interconectan entre sí sobre un medio de comunicación. Está compuesta por dos partes, la topología física, que es la disposición real de los cables (los medios) y la topología lógica, que define la forma en que los hosts acceden a los medios. [Jonathan Rivera Darín. (2015). Fundamentos de Redes Informáticas].

Existen varias topologías de red que se pueden usar para las comunicaciones *Ethernet*. A continuación, detallamos las topologías más usadas:

- **Topología de red en anillo:** Está compuesta de un solo anillo cerrado formado por nodos y enlaces. Cada nodo está conectado con dos nodos adyacentes.
- **Topología de red en anillo doble:** Se compone de dos anillos que no están conectados entre ellos. Conecta los mismos dispositivos para incrementar la fiabilidad y flexibilidad de la red, cada dispositivo de red se conecta solamente con el anillo adyacente y forma parte de dos topologías de anillo independiente.
- **Topología de red en estrella:** Todos los nodos están enlazados a un nodo central desde el que se irradian todos los enlaces hacia los demás nodos y no permite otros enlaces.
- **Topología de red jerárquica o de árbol:** La topología en árbol es parecida a una estrella extendida; con la diferencia que no tiene un nodo central. En cambio, esta tiene un nodo de enlace troncal desde el que se ramifican los demás nodos.
- **Topología en malla:** Cada nodo se enlaza directamente con los demás nodos.

2.2.2.3. *Detección de colisión de datos*

Una colisión se produce cuando dos bits de dos computadores distintos que intentan comunicarse se encuentran simultáneamente en un medio compartido. [Mario Bernardes, Alicia Triviño Cabrera y Fernando Boavida, (2017), Redes de Ordenadores].

En las formas originales de *Ethernet*, se utilizó una forma de detección de colisión de datos conocida como CSMA/CD⁶. De esta manera los nodos detectarían si se están enviando datos y si fuera así, retrocederían y volverían a enviar sus datos más tarde.

Hoy en día, utilizando la topología en estrella extendida, el requisito de detección de colisión de datos CSMA/CD no es necesario, ya que se utiliza el estándar 10BASE-T⁷ introducido hace muchos años y adoptó técnicas *full duplex*, en vista de las mejoras que proporcionó, esta técnica se convirtió en el estándar para futuros desarrollos del estándar *Ethernet*.

En *full duplex*, el conmutador y la estación pueden enviar y recibir simultáneamente y, por lo tanto, las redes de datos *Ethernet* modernas están libres de colisiones.

2.2.2.4. ¿Cómo funciona Ethernet?

Cuando existe una comunicación a través de una red de datos, el sistema *Ethernet* divide los datos en tramas. Estas tramas tienen un formato específico y cada una contiene las direcciones de origen y destino como se muestra en la Figura 3-2:



Figura 1-2: Formato Básico General De Trama *Ethernet*.

Fuente: Jonathan Rivera Darín. (2015). Fundamentos de Redes Informáticas.

Ethernet ha adoptado el formato de dirección MAC de 48 bits que también ha sido utilizado por otros estándares IEEE 802, lo que facilita el funcionamiento de varios sistemas de redes de datos.

⁶ En comunicaciones, **CSMA/CD** (del inglés *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) o, en español, acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones, es un algoritmo de acceso al medio compartido.

⁷ **10BASE-T** es un subestándar de *Ethernet* para redes de área local. Físicamente se construye con topología en estrella y utiliza como medio de transmisión cable de pares trenzados no apantallado UTP.

La trama también contiene información para la verificación de errores, de modo se puede detectar cualquier dato erróneo. Al detectarse errores, las capas más altas de la pila de protocolos del sistema descartarán los datos y solicitarán una retransmisión.

Ethernet adopta el modelo OSI para su pila de protocolos. Con esto, *Ethernet* proporciona servicios hasta la capa 3 que es la capa de enlace de datos.

2.2.2.5. Autoridad de estándares IEEE Ethernet

Los estándares de *Ethernet* están escritos y mantenidos por la **IEEE** (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), que tiene su oficina corporativa en la ciudad de *Nueva York* y su centro de operaciones en *Piscataway, Nueva Jersey*. El IEEE desarrolla y mantiene una gran cantidad de estándares asociados con las industrias eléctrica y electrónica. De hecho, el IEEE tiene más de 1100 estándares activos y alrededor de 600 más en desarrollo. Uno de los más notables es el grupo de estándares IEEE 802 LAN / MAN, de los cuales *Ethernet* (IEEE 802.3), es uno de los más conocidos junto con WiFi (IEEE 802.11/b/g/n). Naturalmente, hay muchos otros en este grupo. [<https://standards.ieee.org/>].

2.2.2.6. Estándares Ethernet (IEEE 802.3)

Existen muchos estándares de *Ethernet* IEEE 802.3 que definen diferentes aspectos de su funcionalidad y las formas de conectividad. Con los años, el estándar *Ethernet* se ha desarrollado para cumplir con los requisitos actuales de la industria de TI, lo que le permite proporcionar conectividad para redes de área local y redes de área metropolitana. Hoy en día, hay muchos estándares de *Ethernet*, y con el paso de los años, es posible ver cómo el estándar se actualizado, aumentando las velocidades e introduciendo más capacidades.

Hay muchos estándares diferentes que vienen bajo el banner IEEE 802.3. Los diferentes estándares IEEE 802.3 definen aspectos de *Ethernet* que cubren la capa física y el control de acceso a medios (MAC) de la capa de enlace de datos de *Ethernet* por cable.

Algunos de los estándares individuales pueden introducir nuevas versiones de *Ethernet* para mantener el ritmo de los crecientes requisitos de velocidad y rendimiento, mientras que otros estándares pueden definir aspectos como las tramas de datos utilizadas.

Los diferentes estándares con sus números se resumen en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Estándares *Ethernet* IEEE 802.3

SUPLEMENTOS Y LANZAMIENTOS DE ESTÁNDARES <i>ETHERNET</i> IEEE 802.3		
SUPLEMENTO ESTÁNDAR	AÑO	DESCRIPCIÓN
802.3	1983	Este primer estándar IEEE para <i>Ethernet</i> definió 10base5, 10 Mbps sobre coaxial grueso.
802.3a	1985	10Base-2 (<i>Ethernet</i> delgada), 10 Mbps sobre coaxial delgado.
802.3b	1985	10-amplio-36
802.3c	1986	Especificaciones del repetidor de 10 Mb / s (cláusula 9)
802.3d	1987	FOIRL (enlace de fibra)
802.3e	1987	1-Base-5
802.3i	1990	10Base-T (par trenzado)
802.3j	1993	10Base-F (fibra óptica)
802.3u	1995	100Base-T (<i>Fast Ethernet</i> y negociación automática)
802.3x	1997	<i>Duplex</i> completo
802.3z	1998	1000Base-X (<i>Gigabit Ethernet</i>)
802.3ab	1999	1000Base-T (<i>Gigabit Ethernet</i> sobre par trenzado), 1 Gbps.
802.3ac	1998	Etiqueta <i>VLAN</i> (extensión de tamaño de trama a 1522 bytes): esto amplió el tamaño máximo de trama a 1522 bytes.
802.3ad	2000	Enlaces paralelos (agregación de enlaces)
802.3ae	2002	<i>Ethernet</i> de 10 Gigabits
802.3af	2003	Alimentación a través de <i>Ethernet</i> : primer lanzamiento estándar para esta tecnología
802.3ah	2004	<i>Ethernet</i> para la primera milla
802.3ak	2004	10G-Base-CX4 10Gbps, <i>Ethernet</i> sobre cables <i>twinaxiales</i> .
802.3an	2006	10G-Base-T 10Gbps sobre par trenzado sin blindaje, <i>UTP</i> .
802.3ap	2007	<i>Backplane Ethernet</i> , 1 y 10 Gbps sobre una PCB.
802.3aq	2006	1-G-Base-LRM 10 Gbps sobre fibra multimodo.
802.3as	2005	Expansión del marco
802.3at	2005	Alimentación a través de <i>Ethernet Plus</i> : mejoras de 25,5 W
802.3au	2006	Requisitos de aislamiento para alimentación a través de <i>Ethernet</i>
802.3av	2009	10 Gbps
802.3ax	2008	Agregación de enlaces: consulte IEEE 802.1ax
802.3az	2010	<i>Ethernet</i> energéticamente eficiente
802.3ba	2010	<i>Ethernet</i> de 40 Gbps y 100 Gbps
802.3bc	2009	Actualización del tipo, longitud y valor de <i>Ethernet</i> , TLV que se especificaron previamente en 802.1AB a 802.3
802.3bd	2011	Control de flujo basado en prioridad
802.3bf	2011	Provisión de indicación precisa de tiempos de inicio de transmisión y recepción de algunos paquetes para soportar IEEE P802.1AS

Fuente: <https://standards.ieee.org/>.

2.2.2.7. *Formatos Ethernet*

Existe una convención para describir los diferentes formatos de *Ethernet*. Por ejemplo, 10Base-T y 100Base-T se ven ampliamente en los artículos técnicos y en la literatura. El formato consta de tres partes:

- a) El primer número (generalmente uno de 10, 100 o 1000) indica la velocidad de transmisión en Mbits por segundo. Algunos de los estándares de *Ethernet* de mayor velocidad superan 1Gbps y términos como 10G se utilizan para velocidades de 10 Gbps.
- b) El segundo término indica el tipo de transmisión: BASE = banda base; AMPLIO = banda ancha.
- c) El último número indica la longitud del segmento. Un 5 significa una longitud de segmento de 500 metros (500 m) del *Thicknet* original. En las versiones más recientes del estándar IEEE 802.3, las letras reemplazan a los números. Por ejemplo, en 10BASE-T, la T significa cables de par trenzado sin blindaje. Otros números indican el número de pares trenzados disponibles. Por ejemplo, en 100BASE-T4, el T4 indica cuatro pares trenzados.

Vale la pena señalar que las velocidades se miden en unidades de bits por segundo (bps). En consecuencia, las velocidades deben dividirse entre 8, para obtener la velocidad en bytes por segundo (Bps).

Los estándares muestran que, con el tiempo, las velocidades han aumentado y se han introducido una variedad de nuevas instalaciones. Con más actualizaciones trabajando por el grupo de trabajo IEEE 802.3, el estándar está configurado para avanzar y mantenerse al día con los requisitos cada vez mayores que se le imponen. [<https://standards.ieee.org/>].

2.2.3. *¿Qué es Power Line Communications (PLC)?*

Power Line Communications, “también conocido por sus siglas *PLC*, es un término en inglés que puede traducirse por comunicaciones mediante línea de potencia y que se refiere a diferentes tecnologías que utilizan las líneas de transmisión de energía eléctrica convencionales para transmitir señales con propósitos de comunicación...” [Naranjo, C. Carmen, Fuentes, C. Ángel. (2010). Estudio de la Tecnología de Acceso a Internet PowerLine Communications () y su Aplicación en la Transmisión de Datos en Tiempo Real Mediante el Tendido de las Redes Eléctricas Locales].

PLC es una tecnología surgida hace 50 años, cuando las compañías eléctricas utilizaban las líneas de alta tensión para sus propios sistemas de control. Esta tecnología aprovecha la red eléctrica para convertirla en una línea digital de alta velocidad de transmisión de datos, permitiendo, entre otras cosas, el acceso a Internet mediante banda ancha.

Las soluciones de mercado de *PLC* pueden dividirse en dos categorías: banda estrecha y banda ancha.

2.2.3.1. *PLC de banda estrecha o angosta*

PLC de banda estrecha es utilizada en lectura de medidores o contadores eléctricos, en aplicaciones de domótica⁸, supervisión de la red eléctrica, etc.

En banda estrecha se emplea un rango de frecuencia por debajo de los 500 kHz (CENELEC), con tasas de velocidades de kbps hasta 2 Mbps. Después de muchos estudios se encontró que hasta los 35 kHz aproximadamente se presenta un nivel de ruido muy alto por lo que se utiliza a partir de 35 kHz o 40 kHz.

2.2.3.2. *PLC de banda ancha*

PLC de Banda Ancha está prevista para proporcionar servicios de telecomunicaciones multiservicio basadas en protocolos de internet (IP). Las frecuencias se encuentran alrededor de los 2 a 30 MHz con tasas de bits teóricas de hasta 200 Mbps (*Home Plug AV*). Las frecuencias utilizadas y el esquema de modulación son dos factores principales que tienen una influencia significativa en la eficiencia del sistema y también la velocidad del servicio de *PLC*.

2.2.3.3. *Estandarización*

Como en todos los orígenes, existían diversos sistemas incompatibles entre sí por lo que se hizo necesaria una estandarización, de manera que los equipos fueran interoperables entre sí. En un principio, la tecnología *PLC* se desarrolló como una alternativa en el mundo de las

⁸ **Domótica:** Conjunto de técnicas orientadas a automatizar una vivienda, que integran la tecnología en los sistemas de seguridad, gestión energética, bienestar o comunicaciones.

comunicaciones de red, frente al *ADSL* y las conexiones por Cable o la Fibra Óptica. Los productos *PLC* deben ser compatibles con las normas generales de regulación internacional.

Los organismos Internacionales que se destacan por su trabajo en formulación de proyectos, normas y estándares para *PLC* son los siguientes: CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*), UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), NTIA (Administración Nacional de Telecomunicaciones e Información), la Alianza HDPLC, UPA (*Universal Powerline Association*), UPLC (*United Power Line Council*), *Home Plug PowerLine Alliance*, INELLON CEBus, OPERA, EIA (*Electronics Industry Association*), X10 Corporations y PLC FORUM. Así como las especificadas por la FCC/ ARIB y comités en EE.UU., Japón y la Unión Europea. [<https://www.HomePlug.org>].

En la actualidad el estándar que cuenta con más apoyo y está más extendido es *HomePlug*, el mismo que es utilizado y ha sido adoptado por el grupo IEEE 1901 como una tecnología de línea de base.

2.2.3.4. *HomePlug*

Es el estándar más utilizado, propuesto por la “***HomePlug Powerline Alliance***”, que se formó en 2001, lo integran empresas como: Broadcom, Devolo, France Telecom, Marvell, Mediatek, MStar Semiconductor, Qualcomm Atheros, Sony y ST Microelectronics. Por otra parte, las compañías Cisco/Linksys, GE, LG, Motorola, Samsung, Sharp, TI, Intel y Conexant, apoyan y fabrican productos de dicha Alianza. [Tomás Simal, (2012). MONOGRÁFICO: en Entornos Escolares].

La Alianza ha creado varias generaciones de equipos con el estándar *HomePlug* ; cada una con sus normas o especificaciones y capacidades de rendimiento únicas de comunicación por línea eléctrica, que facilitan la convivencia o la compatibilidad con otras especificaciones *HomePlug* y la creación de redes a través del cableado eléctrico preexistente en el hogar.

Algunas especificaciones *HomePlug* están destinadas a aplicaciones de banda ancha, como la distribución en casa de datos de baja velocidad IPTV, juegos y contenido de Internet, mientras que otros se centran en baja potencia, bajo rendimiento y temperaturas de funcionamiento, para aplicaciones tales como medidores inteligentes de energía y comunicaciones en el hogar, comunicación entre los sistemas eléctricos y electrodomésticos. Por este motivo, al seleccionar un equipo hay que prestar mucha atención a qué norma o especificación se acoge el dispositivo.

2.2.3.5. Normas o especificaciones HomePlug

Las normas o estándares existentes han sido desarrolladas por diferentes empresas dentro del marco definido por las organizaciones estadounidenses *HomePlug Powerline Alliance* y la *Universal Powerline Association*. Todas las especificaciones *HomePlug* que se describen a continuación fueron desarrolladas por la *HomePlug Powerline Alliance*, que también es propietaria de la marca registrada de *HomePlug*. Las distintas normas o especificaciones *HomePlug* disponibles son: [Tomás Simal, (2012). MONOGRÁFICO: en Entornos Escolares].

HomePlug Access BPL: Aún bajo desarrollo, su primera publicación fue realizada en el año 2005 y está orientada a dar acceso de datos a las viviendas a través de la acometida de suministro eléctrico, pudiendo llegar a ser una alternativa a tecnologías como el *ADSL*.

HomePlug 1.0: Fue la primera norma que surgió de la alianza. Se publicó en junio de 2001 y ofrecía una velocidad entre los 14 Mbps. Actualmente es difícil encontrar sistemas basados en esta tecnología que ha sido casi completamente substituida por *HomePlug AV*.

HomePlug 1.0 Turbo: Al poco tiempo de publicarse la norma *HomePlug 1.0* se creó una aplicación que recibió el sobrenombre de “Turbo”. Basado en la misma tecnología, pero con elementos propietarios de los distintos fabricantes, proporciona velocidades de hasta 85 Mbps.

HomePlug AV: Es la norma más extendida hoy en día; salió a la luz en el año 2005 con el objetivo de lidiar con las nuevas tecnologías, que cada vez demandan un mayor ancho de banda con velocidades y calidades aptas para la transmisión de Audio y Video o retransmisión de vídeo en HD y de Voz sobre IP. Alcanza velocidades de hasta 200 Mbps e incorpora técnicas de cifrado dinámico y auto adaptativo con el objeto de hacer seguras las transmisiones por lo que las mejoras no fueron solo de velocidad, sino también de seguridad al emitir los datos encriptados con una clave de 128 bits AES, blindando así nuestra información.

Qualcomm Atheros incorporó extensiones propietarias, principalmente consistentes en la aplicación del espectro utilizado, que son capaces de alcanzar hasta 500 Mbps.

HomePlug Green PHY: Presentado en 2010, *HomePlug Green PHY* aprovechó el estándar *HomePlug AV* para ofrecer una opción de red económica y de bajo consumo con un rendimiento optimizado para implementar una amplia gama de aplicaciones como *Smart Grid/Energy management*, automatización y control de dispositivos, monitoreo de seguridad, y otras funciones

de comunicación de máquina a máquina con tolerancia a la latencia. *HomePlug GP* proporciona un amplio rendimiento para las aplicaciones actuales y futuras de *Smart Grid/Energy*, al tiempo que ofrece una complejidad reducida y un consumo de energía mucho menor. Es una variación del *HomePlug AV*, orientado a ofrecer equipos de bajo consumo y bajo coste, pero con una menor velocidad de transmisión (10 Mbps). Está orientado a sistemas que no necesitan altas velocidades de transmisión, como: la domótica, medidores inteligentes de energía y comunicaciones en el hogar, comunicación entre los sistemas eléctricos y electrodomésticos como termostatos, automatismos de viviendas, etc.

HomePlug AV2: Publicada en enero del 2012, esta norma es compatible con *HomePlug AV* y *HomePlug Green PHY*. Incorpora novedades importantes que proporcionan:

- Velocidad, alcance y resistencia ante errores: Velocidad de línea de hasta 1256 Mbps. MIMO (múltiples entradas, múltiples salidas) con “*beamforming*” mediante la inyección de múltiples señales se obtiene una optimización del alcance y resistencia a errores de la señal transmitida.
- Función repetidora automática: Los equipos pueden efectuar de forma automática la repetición de la señal recibida, obteniendo así mayores alcances.
- Modos de ahorro de energía.
- En redes de capacidad física variable, como es el caso de las redes *PLC*, las técnicas *cross-layer*⁹ están despertando un gran interés.

El estándar *HomePlug AV2*, ha mejorado el alcance y el rendimiento de la solución *HomePlug AV* que ha sido ampliamente utilizada. Como se muestra en la Figura 2-2, tanto *HomePlug Green PHY* como *HomePlug AV2* son completamente interoperables con *HomePlug AV*, mientras que cada uno ofrece un conjunto distinto de capacidades para abordar diferentes necesidades de acceso a la información como audio / video, juegos en red, etc. Con la introducción de *HomePlug AV2*, la arquitectura *HomePlug AV* también se ha ampliado para proporcionar de dos a cinco veces su rendimiento. Esto permite que *HomePlug AV2* proporcione tanto el rendimiento como la cobertura necesarios para soportar los crecientes requisitos de las aplicaciones multimedia de próxima generación. [<https://www.HomePlug.org>].

⁹ Las técnicas de *Cross-Layer* consisten en un intercambio de información entre las capas del modelo OSI que forman un sistema de comunicaciones. Modifican el algoritmo de contienda del protocolo MAC clasificando y priorizando las transmisiones no recibidas según el nivel de SNR (Relación Señal Ruido).

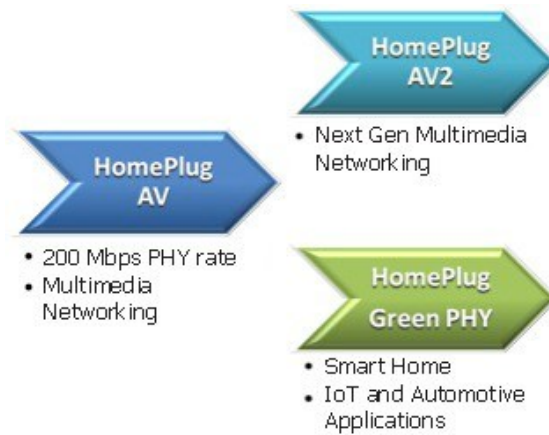


Figura 2-2: Familia de estándares compatibles de *HomePlug*.

Fuente: <https://www.HomePlug.org>

En las siguientes secciones se proporciona información adicional sobre las similitudes de la interoperabilidad entre *HomePlug AV* y *AV2*, así como las diferencias clave que permiten un mayor rendimiento y cobertura con *HomePlug AV2*.

2.2.3.6. Mantenimiento de la interoperabilidad arquitectónica con *HomePlug AV*

En las Figuras 3-2 y 4-2, podemos notar las diferencias de *Home Plug AV* y *Home Plug AV2*, como por ejemplo la frecuencia de trabajo es distinta para cada estándar, mientras que como similitud *HomePlug AV2* comparte la misma arquitectura subyacente y la jerarquía de comunicaciones con *HomePlug AV*; proporcionando así una base sólida para lograr la interoperabilidad entre todos los certificados *HomePlug AV*, *HomePlug AV2* y productos *HomePlug Green PHY*. [<https://www.HomePlug.org>].

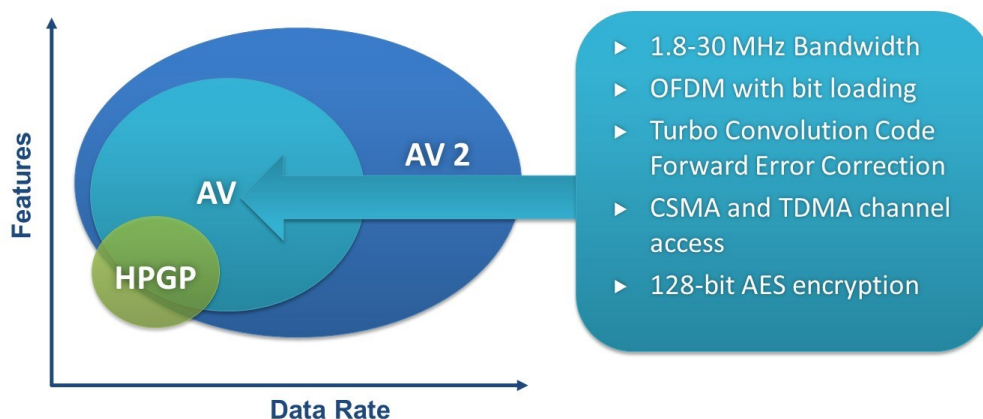


Figura 3-2: *HomePlug AV* y *AV2* atributos compartidos.

Fuente: <https://www.HomePlug.org>

2.2.3.7. Características clave de diferenciación en HomePlug AV2

Además de la compatibilidad entre *HomePlug AV* y *HomePlug AV2*, hay una serie de características que diferencian a *HomePlug AV2* y brindan un mayor ancho de banda y capacidades de cobertura. Estas mejoras se muestran en la Figura 4-2 y se describen en las siguientes secciones. [<https://www.HomePlug.org>].

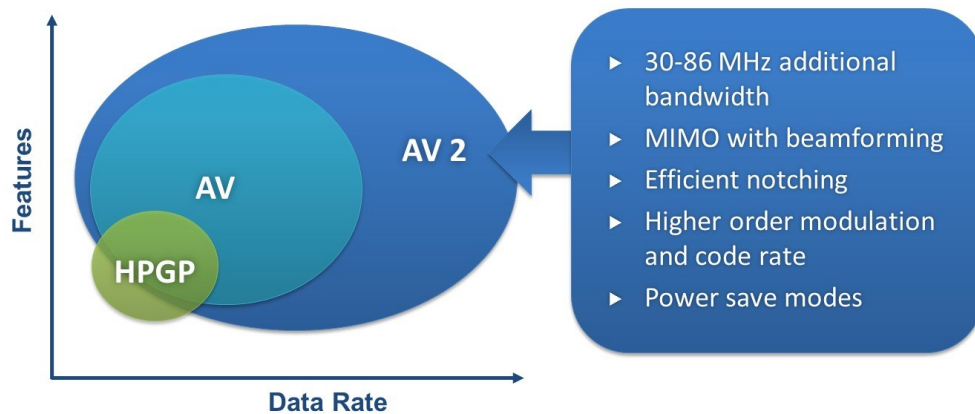


Figura 4-2: Diferencias clave en *HomePlug AV2*.

Fuente: <https://www.HomePlug.org>

2.2.3.8. Espectro de frecuencia adicional

HomePlug AV2 utiliza un espectro de frecuencia adicional (30 a 86 MHz) más allá de la frecuencia utilizada para *HomePlug AV*, lo que aumenta significativamente el rendimiento de *HomePlug AV2* para aplicaciones como múltiples transmisiones de HD. El espectro adicional también mejora las tasas de datos máximas y que es esencial para lograr un alto rendimiento a través de la línea eléctrica.

2.2.3.9. Arquitectura HomePlug AV

La arquitectura del sistema se muestra en la Figura 5-2. Como puede verse, el sistema está dividido en dos partes claramente diferenciadas: Plano de datos y Plano de control. El primero está relacionado con la gestión de datos y proporciona el enfoque tradicional en capas, con una capa PHY, una capa MAC y una capa de convergencia (CL). Por otro lado, la especificación ha elegido definir el plano de control como una entidad monolítica, llamada *Connection Manager* (CM), ya que su función principal es la gestión de las diferentes conexiones desde aplicaciones

de capa superior. Aunque en la Figura 5-2, aparece un módulo de Coordinador Central, esta entidad estará activa solo en una estación en una red HPAV.

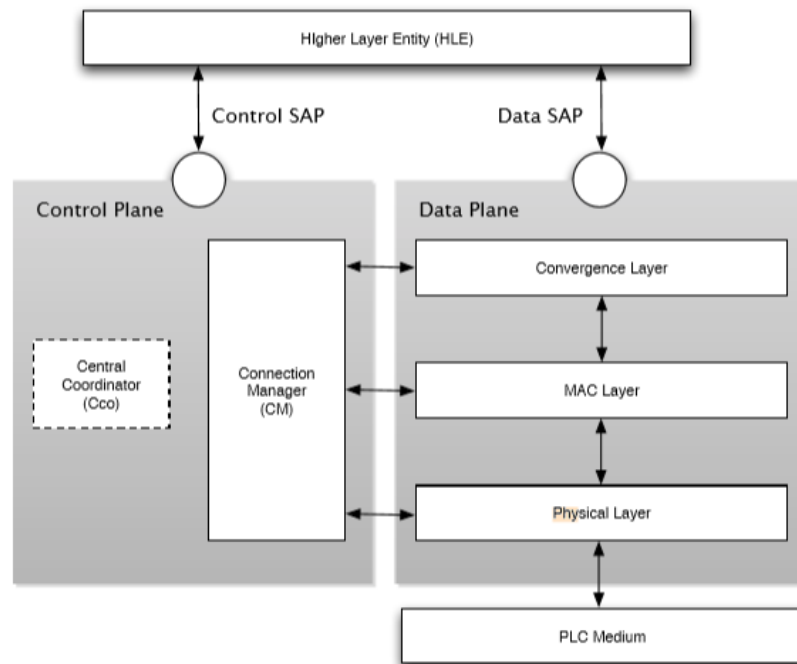


Figura 5-2: Arquitectura Del Sistema HomePlug AV.

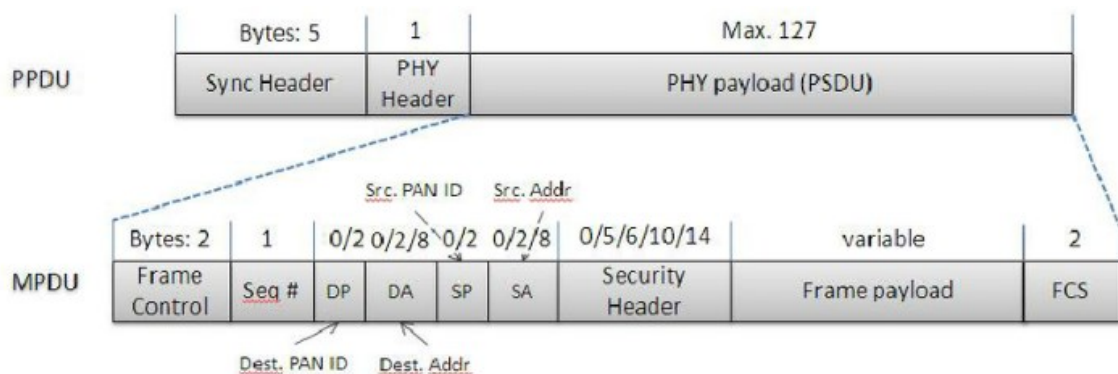
Fuente: Piñero, E. José. (2014). "Analysis and Evaluation of In-home Networks Based on HomePlug-AV PowerLine Communications".

2.2.3.10. La Capa PHY

La capa PHY opera en el rango de frecuencia de 2-28 MHz. Utiliza la modulación OFDM, que se basa en la transmisión simultánea de un gran número de portadoras ortogonales con un ancho de banda muy estrecho. Específicamente, se usan 1.155 portadoras de 1.8 Mhz a 30 Mhz en HPAV, por lo que la separación entre portadoras es de aproximadamente 24.4 KHz. Sin embargo, algunos de estos operadores coinciden con las bandas de emisión de radioaficionados y no pueden utilizarse, lo que hace que el total de operadores utilizables llegue a 917. Atendiendo al procedimiento de segmentación, la capa MAC envía a la capa PHY una Unidad de Datos del Protocolo MAC (MPDU), que consta de un encabezado y uno o más Bloques Físicos (PB). El tamaño de estos PB's es de 520 o 136 bytes, dependiendo de si se usan para transmitir datos o controlar información, respectivamente, y se cifran de forma independiente, y se incluyen en un bloque FEC (*Forward Error Correction*). [Piñero, E. José. (2014). Analysis and Evaluation of In-home Networks Based on HomePlug-AV PowerLine Communications].

2.2.3.11. Estructura de la unidad de datos del protocolo phy de alta eficiencia (PPDU)

HomePlug AV2 incorpora una estructura PPDU (*Physical Protocol Data Unit*) de alta eficiencia que permite una latencia más baja y aumenta la eficiencia de la red. La PPDU también mejora la eficiencia de los paquetes al reducir la sobrecarga, lo que aumenta exponencialmente la eficiencia de los paquetes a velocidades de datos más altas. Como se muestra en la Figura 6-2, *HomePlug AV2* logra una mayor eficiencia en la PPDU principalmente mediante el uso de una estructura de Delimitador Corto y Reconocimientos Retardados que permiten espacios entre marcos de respuesta muy corta. Una unidad de datos de protocolo PHY (PPDU) consta de un delimitador de trama y un cierto número de bloques FEC en función de la modulación.



The Physical Protocol Data Unit (PPDU) and MAC Protocol Data Unit (MPDU) formats.

Figura 6-2: Formato PPDU y MPDU.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/ieee-802154-the-physical-protocol-data-unit-ppdu-and-mac-protocol-data-unit-mpdu_fig3_236334231

2.2.3.12. La Capa MAC

Una red HPAV consiste en un conjunto de estaciones conectadas a la red de línea eléctrica con un mismo identificador de red (NID). La red está aislada mediante un mecanismo de cifrado basado en AES de 128 bits con una clave de cifrado de red (NEK). Estas redes se denominan redes lógicas AV en el hogar (AVLN). Cada AVLN es administrado por un CCo (*Central Coordinator*), que transmite periódicamente una trama de baliza al comienzo de cada período de baliza. Con este marco, los CCo informan a los otros nodos sobre la estructura del período de baliza, que incluye los dos tipos de servicios de comunicación proporcionados por HPAV: [Piñero, E. José. (2014). *Analysis and Evaluation of In-home Networks Based on HomePlug-AV PowerLine Communications*].

- Servicio libre de conflictos orientado a la conexión, basado en asignaciones periódicas de TDMA de duración adecuada, para cumplir con los requisitos de QoS (Calidad de servicio) de aplicaciones exigentes.
- Servicio de contenido priorizado, sin conexión, basado en CSMA / CA, para admitir las aplicaciones de mejor esfuerzo y las aplicaciones que dependen de la QoS priorizada.

2.2.3.13. *Función de repetición inmediata*

Esta función en *HomePlug AV2* expande la cobertura al repetir la señal en las rutas con mejores características SNR (relación señal / ruido). La repetición se realiza en un solo canal y los segmentos no se almacenan en el repetidor para minimizar la latencia y el uso de recursos. Tampoco se requiere reensamblaje y segmentación en el repetidor. [<https://www.HomePlug.org>].

2.2.3.14. *Mejoras adicionales de PHY*

HomePlug AV2 también incorpora esquemas de codificación mejorados en el PHY, que proporcionan una corrección de errores robusta y mejores tasas de datos máximas, al tiempo que ayudan a mejorar el rendimiento en buenas rutas a altas velocidades de datos. Las mejoras clave son la modulación de orden superior (4096-QAM), las tasas de código más altas (tasa de código de 8/9) y los intervalos de guarda más pequeños. [<https://www.HomePlug.org>].

2.2.3.15. *Modos de ahorro de energía*

Otra innovación clave es la mejora de la eficiencia energética cuando el dispositivo está en espera. *HomePlug AV2* habilita el "modo de reposo" para varios intervalos que son múltiplos del período de baliza para reducir el consumo de energía. Al usar los modos de ahorro de energía que son idénticos a los de *HomePlug Green PHY*, la especificación habilita las duraciones seleccionables de "Ventana de reposo" y "Ventana despierta". Por ejemplo, una estación puede tener una pequeña "Ventana de vigilia" una vez cada N Períodos de baliza, una Ventana de vigilia para una parte de un Período de baliza o una "Ventana de vigilia" que es M Períodos de baliza cada N Períodos de baliza. Los mensajes de gestión se intercambian para que otras estaciones puedan saber cuándo cada estación está activada y solo transmitir las durante los períodos de alerta. [*HomePlug AV2*. (2015). Whitepaper].

2.2.3.16. Tecnología MIMO

La especificación *HomePlug AV2* incorpora capacidades MIMO (múltiples entradas múltiples salidas, por sus siglas en inglés) con *Beamforming* (formación de haz), que ofrece el beneficio de una cobertura mejorada en toda la casa. MIMO permite que los dispositivos *HomePlug AV2* transmitan en cualquier par de dos cables dentro de configuraciones de tres cables. Mientras que *HomePlug AV* siempre transmite en el par Fase - Neutro, *HomePlug AV2* puede transmitir en cualquiera de los dos pares formados por los cables Fase, Neutro o Tierra (es decir, Fase-Neutro, Fase-Tierra o Neutro-Tierra). [*HomePlug AV2*. (2015). Whitepaper].

En la Figura 7-2 se detalla el funcionamiento de la tecnología MIMO en un dispositivo *PLC* con el estándar *HomePlug AV2*.

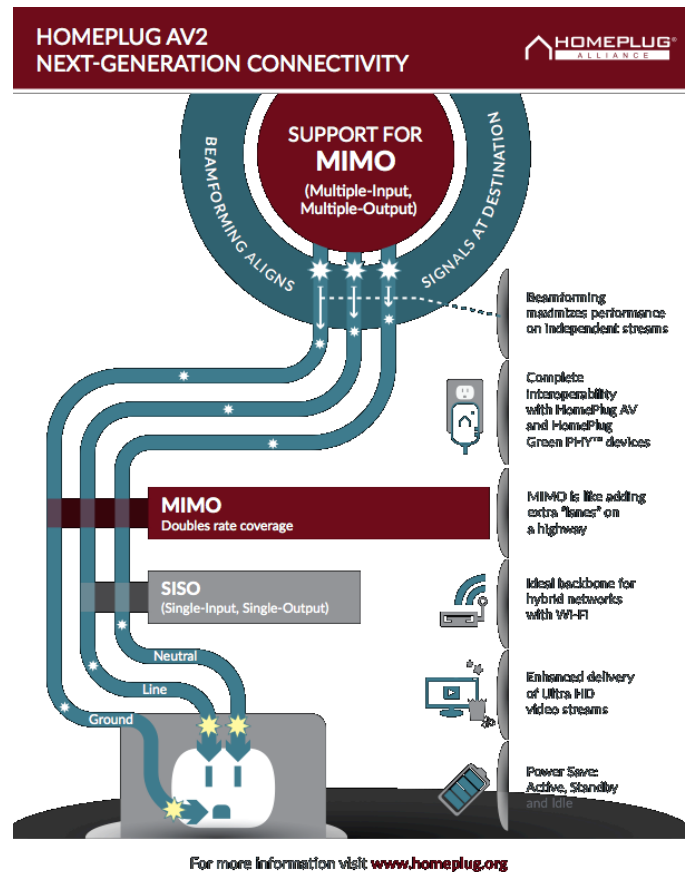


Figura 7-2: Infografía De *HomePlug AV2*.

Fuente: <https://www.HomePlug.org>

Esto permite mejorar significativamente las tasas de datos y el rendimiento. MIMO utiliza dos transmisores independientes y hasta cuatro receptores, con la formación de haz requerida para maximizar el rendimiento en las transmisiones independientes. Algunas regiones y algunas casas

no tienen el tercer cable requerido para implementar MIMO; sin embargo, *HomePlug AV2* cambia automáticamente a la operación estándar de una sola salida (SISO) cuando el tercer cable no está disponible. Con la utilización de la tecnología MIMO podemos obtener transmisiones de datos de hasta 1.2 Gbps. [<https://www.HomePlug.org>].

La *range+ Technology* aumenta la potencia de la conexión y garantiza una velocidad de transmisión constantemente alta incluso con longitudes de cable de hasta 300m. La codificación automática ofrece protección total frente a accesos no autorizados.

[<https://www.devolo.com/dlan-1200-wifi-ac-powerline>].

Como por ejemplo: Los dispositivos *PowerLine Passthrough* de 2 Puertos Gigabit AV2000 TL-PA9020P KIT estandarizados con *HomePlug AV2*, con tasas de transferencia de alta velocidad de hasta 2000Mbps¹⁰, soporta 2X2 MIMO con *Beamforming* que establece múltiples conexiones simultáneas para obtener de velocidades *PowerLine* más altas y con mayor estabilidad.

Realizaremos la implementación de la red SOHO con dispositivos *PowerLine* que tienen el estándar *HomePlug AV2* dentro de una casa, hogar o vivienda.

2.2.3.17. Redes caseras con *PowerLine HomePlug AV2*

La tecnología *PLC HomePlug* también puede usarse en la interconexión en red en el hogar (*InHome*), de computadoras y dispositivos periféricos, incluidos aquellos que necesitan conexiones en red, aunque al presente no existen estándares para este tipo de aplicación, desde el marco legal, las instalaciones internas de *PLC (InHome)* son ‘libres’ dentro de la residencia u hogar, siempre y cuando estas no causen efectos negativos en el entorno donde esta tecnología sea utilizada. [*HomePlug AV2*. (2015). Whitepaper].

Los problemas de los *PLC* en redes domésticas están dados por la potencia contratada en una casa (inferior a la del ámbito empresarial); ya que si la red eléctrica no tiene una instalación correcta podría darse el caso de interferencias o picos de tensión que acabarían afectando a los aparatos eléctricos conectados a dicha red. Así mismo, aunque los fabricantes aseguran que el consumo de un *PLC* es mínimo o nulo por trabajar en un circuito cerrado, la sola conversión de los datos provenientes del par de cobre de la línea telefónica al modem y de este al *PLC*, conlleva un

¹⁰ Los datos reales variarán debido a las condiciones de red y factores del entorno. [<https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa4220kit/>]

consumo energético de los transformadores internos del aparato y la alimentación de los circuitos integrados del equipo de *PLC*. También el paso del flujo de datos de estos aparatos genera consumo energético, difícil de cuantificar por el tipo de conexión a la línea eléctrica.

Una red *PowerLine* por lo general está formada por un dispositivo *PLC* adaptador y uno o más *PLC's* extensores o repetidores que disponen de uno o más conectores *Ethernet* RJ45 hembra y un enchufe para la toma corriente de 110 voltios. También puede disponer de funcionalidad de red inalámbrica WiFi (IEEE 802.11b) que complementa o substituye al conector *Ethernet*.

Así, la tecnología *PLC* abre una amplitud de posibilidades en la comunicación de dispositivos tecnológicos:

- Ordenadores de sobremesa y portátiles.
- Televisores con acceso a la red (Smart TV).
- Sistemas de sonido.
- Videoconsolas.
- Centros multimedia (reproductores de red o *streaming*).
- Consolas de video juegos.

Tal como se puede ver en la Figura 8-2, Todo esto dentro de una familia unificada de estándares compatibles que permiten un amplio ecosistema de productos certificados interoperables sin problemas.

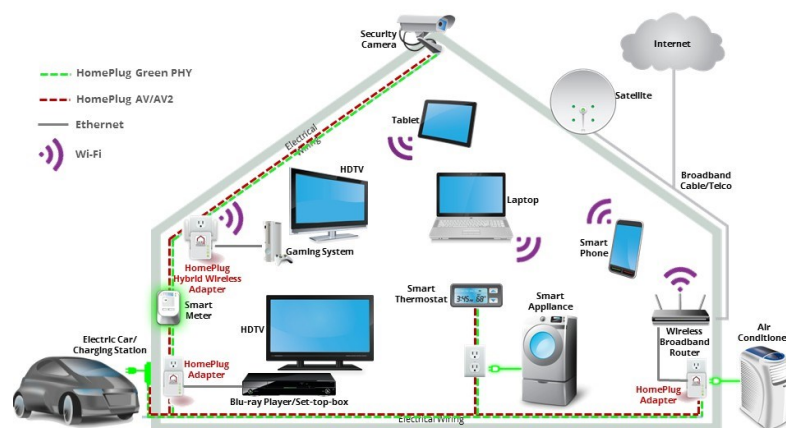


Figura 8-2: *HomePlug Networking* Híbrido En El Hogar.

Fuente: <https://www.HomePlug.org>

Al proporcionar una solución de gran ancho de banda para aplicaciones multimedia que es completamente interoperable con las soluciones existentes de *HomePlug AV* y *HomePlug Green PHY*, *HomePlug AV2* ahora permite implementar redes de toda la casa verdaderamente unificadas

que integran todo, desde el 4K Ultra HDTV, hasta la consola de juegos, al sistema Smart Home e IoT, a la estación de carga de automóviles eléctricos en el garaje.

2.2.4. Técnicas de modulación

Las líneas eléctricas por lo general no tienen ningún mecanismo de cancelación de ruido, a diferencia del par trenzado (utilizado en *DSL*) o un cable coaxial blindado. Con el fin de hacer frente a este entorno ruidoso de las líneas eléctricas, existen diferentes técnicas de modulación utilizadas por *PLC*, tales como:

- Multiplexado con División de Frecuencia Ortogonal (*OFDM*).
- Modulación de Espectro Expandido (*Spread Spectrum Modulation, SSM*).
- Modulación de Multiportadoras de Espectro Distribuido (*Multi-carrier Spread Spectrum Modulation, MSSM*).
- Modulación Discreta Multitono,

Mediante estas técnicas de modulación, la señal modulada se transmite con una óptima calidad desde el adaptador hacia el extensor o repetidor y al usuario final y viceversa.

La Modulación *OFDM*, es la técnica más utilizada por el estándar *HomePlug AV2* para *PLC* por tener ventajas sobre otros esquemas es la Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (*OFDM*). [Crespo y Castaño, (2008). Estudio de la modulación OFDM y de los efectos no lineales mediante simulación en Matlab].

2.2.4.1. Modulación OFDM

OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal) es una tecnología de modulación digital, y en sí una forma especial de modulación multiportadora considerada la piedra angular de la próxima generación de productos y servicios de radio frecuencia de alta velocidad para uso tanto personal como corporativo. [Hidalgo. Edgar, (2009). Rediseño de la red inalámbrica de datos, para la comunicación entre las agencias de la zona centro de la Cooperativa Financiera de Ahorro y Crédito San Francisco Ltda.].

La modulación *OFDM* es la mejor técnica para proporcionar una baja tasa de errores de bits (*BER*, *Bit Error Rate*), así como un bajo índice de relación señal a ruido (*SNR*), permitiendo obtener una

alta eficiencia espectral. Esta técnica es el enfoque principal para *PLC*, ya que *OFDM* es el motor de las especificaciones de la *Alianza Home Plug*.

La modulación *OFDM*, consiste en enviar la información sobre un múltiplex de muchas portadoras espaciadas adecuadamente en frecuencia, repartiendo la información entre todas ellas de forma que, aunque la velocidad de modulación del conjunto sea muy elevada, la de cada portadora individual es pequeña, simplificando el problema de propagación multitrayecto¹¹. Éste fenómeno puede causar problemas en la recepción de la señal, debido a la interacción entre las señales recibidas. Ésta desviación se produce normalmente por el medio de transmisión de la señal, el cual define el camino que seguirá la onda. A fines prácticos, la señal obtenida en recepción difiere de la original y causa efectos que se han de compensar. [Lajos Hanzo, Yosef Akhtman. (2011). Li Wang, MIMO-OFDM for LTE, WiFi and WiMAX].

La técnica de espectro expandido de *OFDM* distribuye los datos en un gran número de portadoras espaciadas entre sí en distintas frecuencias, evitando que los demoduladores consideren frecuencias distintas a las suyas, como se muestra en la Figura 9-2.

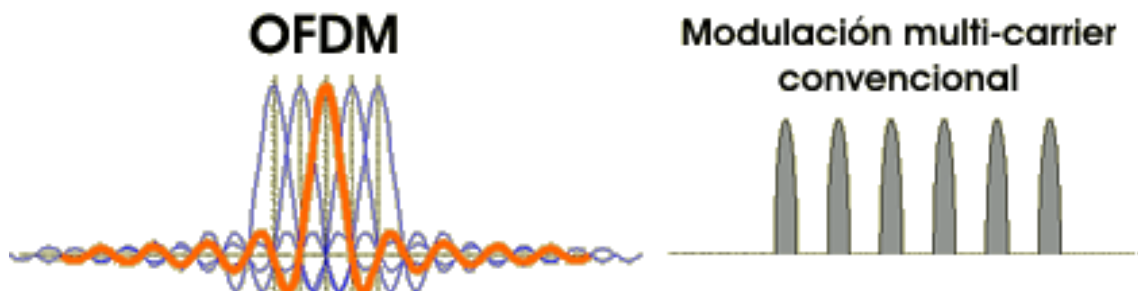


Figura 9-2: Espectro OFDM y Multiportadora Convencional.

Fuente: Lajos Hanzo, Yosef Akhtman. (2011). “Li Wang, MIMO-OFDM for LTE, WiFi and WiMAX”.

Lo que diferencia a *OFDM* de otros procedimientos de Multiplexación en frecuencia es la ortogonalidad, que es un espaciado óptimo entre portadoras. Este espaciado consiste en que la separación espectral entre portadoras consecutivas sea siempre la misma e igual al inverso del periodo de símbolo. La ortogonalidad proporciona un mecanismo para eliminar, o reducir tanto como se quiera, el problema de la interferencia por propagación multitrayecto, ampliando la duración correspondiente al periodo de símbolo mediante un tiempo de guarda superior al máximo retardo diferencial entre los trayectos significativos. Durante la ampliación temporal se

¹¹ La propagación multicamino o propagación multitrayecto, en telecomunicaciones vía radio, es el fenómeno dado cuando las señales de radio llegan a la antena o antenas receptoras por dos o más caminos y en diferentes tiempos. [Lajos Hanzo, Yosef Akhtman, Li Wang, MIMO-OFDM for LTE, WiFi and WiMAX, 2011].

repite, o amplía, parte del propio símbolo, por lo cual se conoce a la ampliación como extensión cíclica.

2.2.4.2. Propiedades y características de los sistemas OFDM

En general los sistemas *OFDM* presentan las siguientes propiedades:

- La señal se transmite con mayor eficiencia.
- Realizan un uso eficiente del espectro.
- Se envían paquetes con mayor cantidad de bits.
- Conforme aumenta la distancia de transmisión, las señales se atenúan, la calidad del canal baja y se reduce la cantidad de bits transmitidos.
- Distribuye los datos entre un gran número de portadoras situadas a determinadas frecuencias.
- Usando una determinada codificación de canal y entrelazado, el sistema puede responder ante pérdidas de datos durante la transmisión.
- Al dividir el canal en subcanales de banda estrecha, el sistema se hace más robusto ante caídas selectivas en frecuencia.
- El espaciamiento entre portadoras confiere ortogonalidad, mayor eficiencia espectral y menor distorsión.
- La ecualización es más sencilla que en los sistemas de portadora única.
- Utilizando *OFDM* junto a técnicas de modulación diferencial, desaparece la necesidad de realizar una estimación de canal.
- Es computacionalmente eficiente debido al uso de la *FFT*¹² (Transformada Rápida de Fourier).

En la Figura 10-2, se muestra como se mezclan las frecuencias de 60Hz del fluido eléctrico de 110 / 220 V, con una frecuencia mayor a 4 MHz de los datos transformados a frecuencias por medio de *OFDM*, introducidos por el *PLC* al medio de transmisión (cableado eléctrico), alcanzando velocidades de hasta 1.2 Gbps con la utilización de MIMO.

¹² La Transformada rápida de Fourier, conocida por la abreviatura FFT (del inglés *Fast Fourier Transform*) es un algoritmo eficiente que permite calcular la transformada de Fourier discreta (DFT) y su inversa. ... La mayoría de los analizadores de FFT permiten la transformación de 512, 1024, 2048 o 4096 muestras.

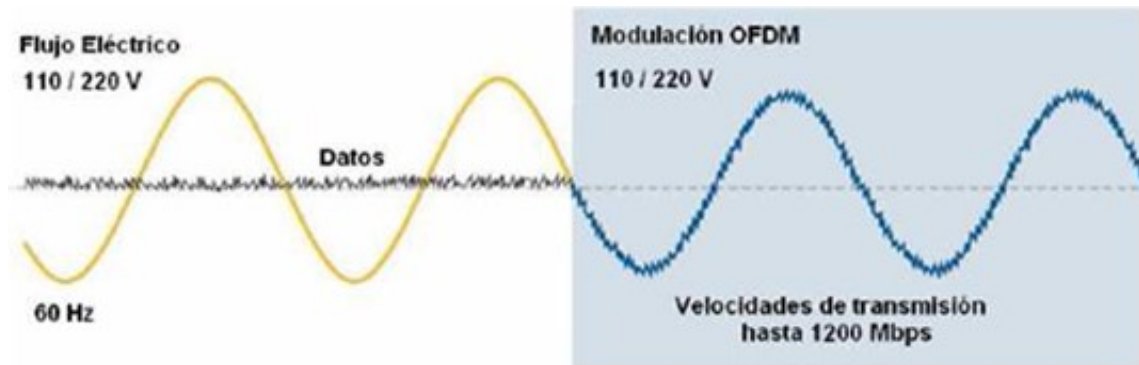


Figura 10-2: Flujo Eléctrico combinado con datos transformados a frecuencias con *OFDM*.

Fuente: Naranjo, C. Carmen, Fuentes, C. Ángel. (2010). Estudio de la Tecnología de Acceso a Internet PowerLine Communications () y su Aplicación en la Transmisión de Datos en Tiempo Real Mediante el Tendido de las Redes Eléctricas Locales.

2.2.5. Funcionamiento básico del PLC HomePlug AV2

Se debe tener en cuenta que el medio de transmisión usado por los dispositivos *PLC* no fue diseñado realmente para transmitir datos o información y este medio ya tiene presente una señal de voltaje alterno y potencia: La onda de 110 voltios de corriente alterna y 60 Hz presente en todos los enchufes dentro de una casa.

En la Figura 11-2 observamos el espectro de frecuencias reservado para las aplicaciones de: suministro eléctrico, domótica y transmisión de datos en banda ancha.

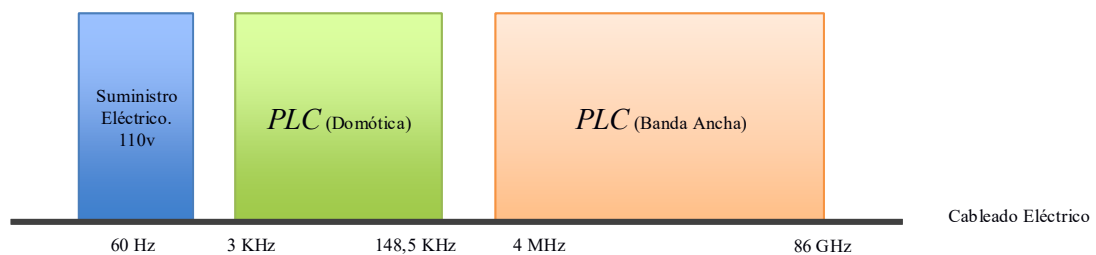


Figura 11-2: Espectro De Frecuencias.

Fuente: Tomás Simal, (2012). MONOGRÁFICO: en Entornos Escolares

Como se puede ver, en la figura 11-2, la energía eléctrica de 110 voltios se transmite a 60Hz por el cableado eléctrico, utilizando frecuencias solamente hasta 60Hz, dejando subutilizado el resto del espectro, lo cual *PLC* aprovecha, utilizando el espectro de frecuencias de entre los 3KHz y los 148,5KHz, para aplicaciones de control de sistemas de domótica, y a partir de los 4MHz se reserva espectro de frecuencias para aplicaciones de transmisión de datos en banda ancha.

El objetivo de la tecnología *PLC* es convertir una línea eléctrica en una línea de datos; en realidad, ambas señales van a poder convivir y no se perderá la frecuencia de la línea eléctrica por el hecho de crear una red *PowerLine*. Esto es posible debido a que las frecuencias de los datos son muy superiores a aquellas para las cuales estaba pensado el cableado existente.

La energía eléctrica siempre viaja a 60 Hz y 110 voltios, circunstancia que aprovechan los dispositivos *PLC* para transmitir a una frecuencia muy superior, dándole un nuevo uso al espectro que queda libre. La máxima frecuencia de transmisión de los sistemas *PLC* varía con las normas o especificaciones de *HomePlug* y se ha ido incrementando según se ha perfeccionado el equipamiento, consiguiendo mayores velocidades de transmisión, y por ende en el mismo alambre de cobre se transmiten datos, voz y energía eléctrica, en distintas frecuencias de trabajo.

En cuanto a la operación, el dispositivo *PLC* inyecta la señal de datos en el cableado eléctrico, superponiendo o combinando dicha señal con la ya existente en este medio (corriente alterna de 110 voltios), con la finalidad de hacerla llegar a otros dispositivos *PLC*, y extraer la señal de datos aislándola de la previamente existente y del ruido para obtener la información transmitida por otros elementos de la red.

En la Figura 12-2 se muestra cómo, sobre la señal de 110 V a 60 Hz existente en el cableado, el “*PLC* Adaptador” añade la señal a transmitir (señal de Internet), que transportará la información que se desea comunicar. Tras propagarse por el cableado, la señal de datos deberá ser extraída por el “*PLC* Extensor”, aplicando un filtro.

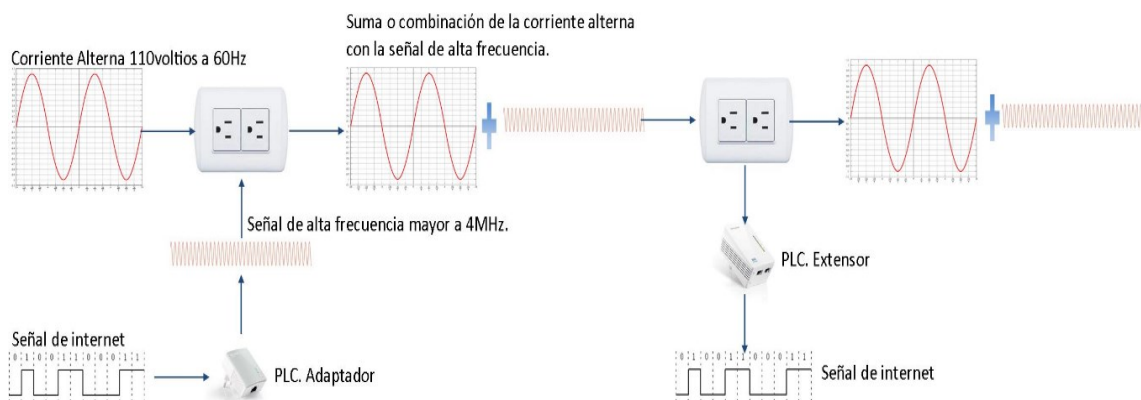


Figura 12-2: Operación De Los Dispositivos *PLC*.

Fuente: <https://www.HomePlug.org>

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

En concreto, se trata de un filtro paso altos, que permite el paso de las frecuencias altas, las cuales son utilizadas para la transmisión de la información, y bloquea las frecuencias bajas, que son las propias del suministro eléctrico y otros servicios como sistemas de automatismos de domótica.

Debido a que la comunicación de datos se realiza en un medio no pensado para ello, es frecuente la aparición de interferencias, atenuaciones y errores de transmisión, debido a varios factores así como: el cable de transmisión eléctrico externo no está apantallado o aislado, mientras que en el interior de las casas no se usa el cable con el calibre correcto, 10, 12, 14 *AWG* según su aplicación (Motores, iluminación, Duchas eléctricas, etc.), y es muy común por abaratar costos que no se usen 3 cables para fase, común y tierra, sino solamente dos para fase y común, aparte de que estos cables no están trenzados para eliminar la interferencia eléctrica.

Es por ello que los dispositivos incluyen información redundante y algoritmos de corrección de errores para permitir paliar en lo posible los errores. Consecuencia de esto es que la velocidad de transmisión anunciada por el fabricante de los equipos es aproximadamente el doble de la real percibida por el usuario, debido a la redundancia introducida y a los protocolos de control necesarios para el funcionamiento del sistema. (Por ejemplo, en los dispositivos que usaremos en los escenarios de pruebas el fabricante especifica que transmite a 500Mbps), En la práctica la velocidad obtenida será sensiblemente menor, en la mayoría de los casos, a consecuencia de los errores de transmisión.

Debido al medio de comunicación compartido, el ancho de banda disponible se ha de repartir entre todos los equipos *PLC* conectados, por lo que las velocidades ofrecidas no lo serán para cada uno de los elementos de la red, si no a repartir entre ellos. Para evitar colisiones se incorpora un protocolo de contención y ordenación del canal, pero a pesar de todo, el rendimiento se puede degradar con el número de dispositivos pues será necesaria mayor comunicación para el control de la transmisión y la posibilidad de colisiones aumentará.

2.2.6. *Kit PLC HomePlug AV2 de “TPlink” a utilizarse en el caso de estudio*

Con el fin de crear una red *LAN* WiFi (IEEE 802.11b) a través de las instalaciones eléctricas de un hogar u oficinas, utilizaremos el kit TL-WPA4220KIT de la marca “TP-link”, que consta de 1 *PLC* Adaptador y 2 *PLC*'s extensores, como se muestra en la Figura 13-2, los *PLC*'s son dispositivos de gama alta que están equipados con un punto de acceso WiFi (IEEE 802.11b) (con velocidades de 300Mbps para *wireless*) y hasta 600Mbps haciendo uso del cableado eléctrico.

Figura 13-2: TP-Link TL-WPA4220KIT

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa4220kit/>

En la Tabla 2-2, se muestra información con las características que tienen los *PLC*'s del *Kit* TL-WPA4220KIT de "TPlink".

Tabla 2-2: Características del kit TL-WPA4220KIT de TP-Link.

Características De Hardware	
Tipo de Enchufe	EU, UK, US, AR
Estándares y Protocolos	HomePlug AV, IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.11b/g/n
Interfaz	2 Puertos <i>Ethernet</i> 10/100Mbps –TL-WPA4220 1 Puerto <i>Ethernet</i> 10/100Mbps – TL-PA4010
Botones	Emparejamiento, Reset, Wi-Fi/Clonado Wi-Fi
Consumo de Potencia	Máximo: 7.608W Modo Standard: 7.216W Modo en espera: 4.610W
Indicador de LED	PWR, <i>PLC</i> , ETH, Wi-Fi/Clonado Wi-Fi
Dimensiones	(94×54×40mm) 3.7 x 2.1 x 1.6 in.
Alcance	300 metros a través del circuito eléctrico
Características Inalámbricas	
Frecuencia	2.4-2.4835GHz
Tasa de Señal	11n: Up to 300Mbps(dynamic) 11g: Up to 54Mbps(dynamic) 11b: Up to 11Mbps(dynamic)
Sensibilidad de Recepción	270M: -68dBm@10% PER 130M: -68dBm@10% PER 108M: -68dBm@10% PER 54M: -68dBm@10% PER 11M: -85dBm@8% PER 6M: -88dBm@10% PER 1M: -90dBm@8% PER
Seguridad Inalámbrica	64/128-bit WEP / WPA / WPA2,WPA-PSK / WPA2-PSK

Características De Hardware	
Funciones Avanzadas	<i>Enable/Disable Wireless Radio, WMM, Wireless Statistics</i>
Potencia de Transmisión	CE:<20dBm(2.4GHz) FCC:<30dBm
Características De Software	
Tecnología de Modulación	OFDM (<i>PLC</i>)
Encriptación	Seguridad <i>Powerline</i> : AES 128-bits Seguridad <i>Wireless</i> : Encriptación WEP, WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA2-PSK
Otros	
Certificaciones	CE, FCC, RoHS
Contenido del Paquete	Adaptadores <i>PowerLine Ethernet 2</i> TL-WPA4220 Y TL-PA4010 Cable <i>Ethernet</i> (RJ45) de 2 m CD de utilidades Guía rápida de instalación
Requisitos del sistema	Windows 2000/XP/2003/Vista, Windows 7/8, Mac, Linux
Factores Ambientales	Temperatura de funcionamiento: 0°C~40°C (32°F~104°F) Temperatura de almacenamiento: -40°C~70°C (-40°F~158°F) Humedad de funcionamiento: 10%~90% sin condensación Humedad de almacenamiento: 5%~90% sin condensación

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa4220kit/#specifications>

De lo que podemos ver en la tabla 2-2, se destaca que la modulación que utilizan los *PLC's* es *OFDM*, la tasa de señal utilizando IEEE 802.11b/g/n, está por arriba de los 300Mbps y el espectro de frecuencia que utiliza esta en el rango de 2.4 GHz a 2.4835GHz.

A continuación, realizaremos un análisis del exterior e interior de los dispositivos *PLC's* que vienen en el *Kit*.

2.2.6.1. Análisis del exterior de los *PLC's* adaptador y extensor

Comenzaremos por el *PLC* adaptador (TL-PA4010) que se muestra en la Figura 14-2, podemos ver que está equipado con un puerto RJ45, tres indicadores *LED* y un botón de emparejamiento.






Figura 14-2: TL-PA4010, *PLC* adaptador.

Foto por: Velasco, Cristian. 2020.

En la Tabla 3-2, se indica el significado de los indicadores *LED*.

Tabla 3-2: Descripción de las luces *LED* del adaptador TL-PA4010:

Nombre	Status	Indicación
 <i>Power</i>	Apagado.	El adaptador está desenchufado o no hay corriente.
	Fijo (Luz verde).	El adaptador está encendido.
	Parpadeando.	Modo ahorro de energía.
 <i>PowerLine</i>	Apagado.	No hay suficiente señal o está en modo ahorro de energía.
	Fijo (Luz verde).	El adaptador pertenece a una red.
	Parpadeo.	Existe una transmisión de datos entre este dispositivo y otro de la misma red.
 <i>Ethernet</i>	Apagado.	No está conectado a la red <i>Ethernet</i> .
	Fijo (Luz verde).	Conectado a la red <i>Ethernet</i> .
	Parpadeando.	Transfiriendo datos.

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa4220kit/#specifications>

El siguiente dispositivo *PLC* es el extensor (TL-WPA4220), que está compuesto por los tres indicadores *LED* descritos en la tabla 3-2, y otro *LED* más que está relacionado con la red WiFi (IEEE 802.11b), como se muestra en la Figura 15-2, mientras que su operatividad se describe en la Tabla 4-2.

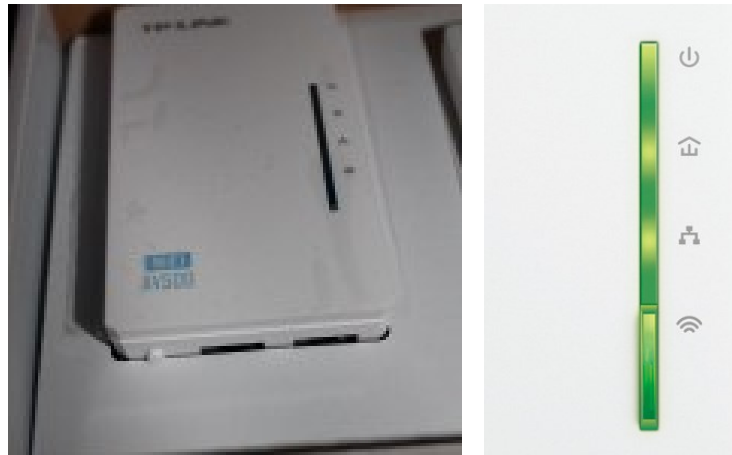



Figura 15-2: TL-WPA4220 Extensor o Repetidor.

Foto por: Velasco, Cristian. 2020.

Tabla 4-2: Descripción del indicador *LED* del *PLC* adaptador (TL- WPA4220).

Nombre	Status	Indicación
 WiFi	Apagado.	La función inalámbrica está deshabilitada.
	Fijo (Luz verde).	La función inalámbrica está habilitada.
	Parpadeo lento.	El extensor de la línea eléctrica está clonando las configuraciones de red inalámbrica de 2.4GHz del enrutador principal.
	Parpadeo rápido.	El extensor de la línea eléctrica está sincronizando la configuración de la red inalámbrica de 2.4GHz.

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa4220kit/#specifications>

2.2.6.2. Descripción de los botones y puertos del PLC extensor

El *PLC* extensor, como se muestra en la Figura 16-2, está compuesto por los componentes que se describen a continuación:

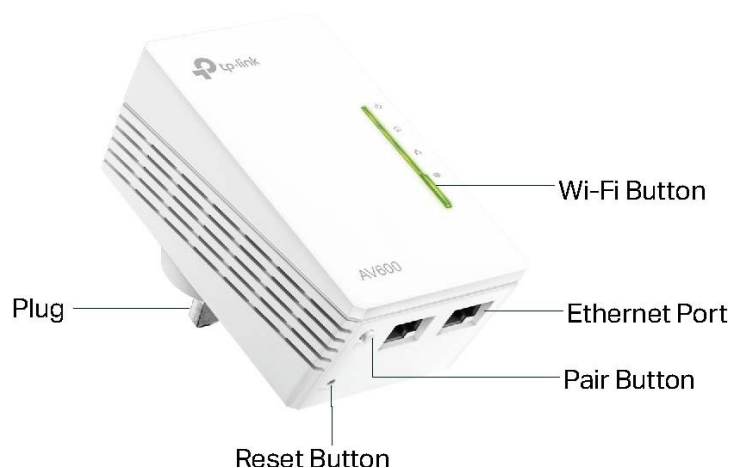


Figura 16-2: *PLC* extensor (Interfaz Física).

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa4220kit/#specifications>

Botón de emparejamiento (*Pair Button*): Sirve para emparejar (unir) el *PLC* extensor con el *PLC* adaptador, ya que de esta manera podrán comunicarse entre sí. Una vez conectados a la corriente eléctrica tanto el adaptador como el extensor, hay que presionar este botón durante un segundo en cada *PLC* (adaptador y extensor) para emparejarlos y de esa manera conectarse a la red *PowerLine* de línea eléctrica.

Botón de WiFi (*WiFi Button*): Se utiliza para copiar la configuración inalámbrica del enrutador principal al extensor; esto pasa al mantener presionado el botón durante un segundo. Si lo mantenemos presionado aproximadamente por cinco segundos se activa o desactiva la función inalámbrica, misma que viene activada por defecto.

Restablecer (*Reset Button*): Sirve para restablecer el *PLC* extensor a la configuración predeterminada de fábrica, manteniéndolo presionado durante al menos dos segundos. Cuando el reinicio se dispara correctamente, todos los *LED* se apagarán y volverán a encenderse.

Enchufe (*Plug*): El adaptador de línea eléctrica tiene un enchufe que se puede conectar a cualquier toma de corriente de 110 voltios.

Puertos Ethernet (*Ethernet Ports*): Sirven para conectar dispositivos como: computadoras, *Smart TV*, un enrutador o una consola de juegos, a través de cables *Ethernet*. Hay que resaltar que los puertos RJ45, tanto del *PLC* adaptador (TL-PA4010) como del *PLC* extensor (TL-WPA4220), como se muestra en la Figura 17-2, son *Fast Ethernet* y, por ende, pueden transmitir a 100Mbps en una red *Ethernet* 802.3.



Figura 17-2: Puertos RJ45 en los *PLC* adaptador y extensor.

Foto por: Velasco, Cristian. 2020.

2.2.6.3. Vista interiormente de los *PLC*'s adaptador y extensor

Para acceder al interior del *PLC* extensor TL-WPA4220, como se muestra en la Figura 18-2, es necesario quitar dos tornillos de estrella que se encuentran en la parte de arriba de la carcasa inferior del *PLC*. Una vez destornillados es necesario hacer palanca por el borde del *PLC* para desmontar la carcasa por completo.



Figura 18-2: *PLC* desmontado la carcasa superior.

Foto por: Velasco, Cristian. 2020.

Al acceder al interior podemos ver en la Figura 19-2, la distribución de componentes que TP-LINK ha diseñado para los productos *PowerLine*. En la misma figura se puede apreciar los componentes encargados de la gestión de red del dispositivo, tanto la *Ethernet* (IEEE 802.3, cableada) como la *WiFi* (IEEE 802.11b). Para ello, TP-LINK ha recurrido a un *chip* modelo RTL8196C de la compañía *Realtek*.

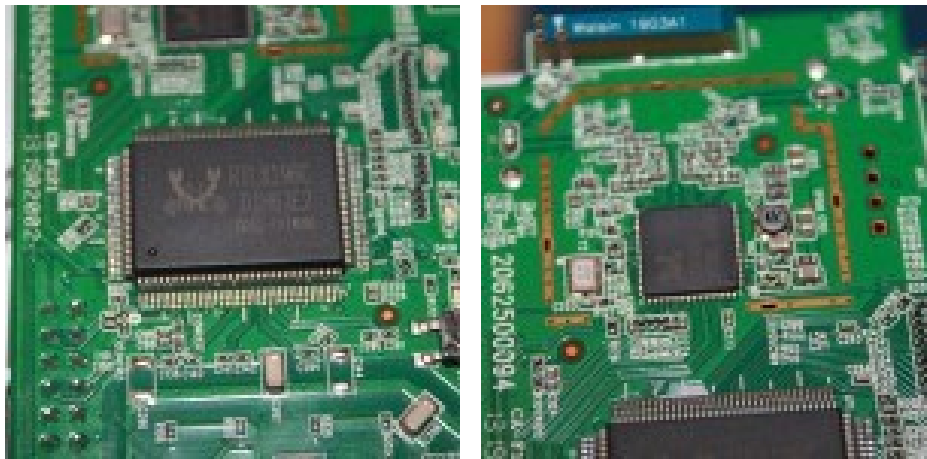


Figura 19-2: Chip de Gestión de Red. Fabricado por la Compañía Realtek.

Foto por: Velasco, Cristian. 2020.

Desmontando la carcasa inferior podemos observar en la Figura 20-2, los buses internos que a la vez sirven para dar consistencia a la unión entre las dos placas. De esto se puede deducir que los *PLC* están formados por dos placas claramente diferenciadas.

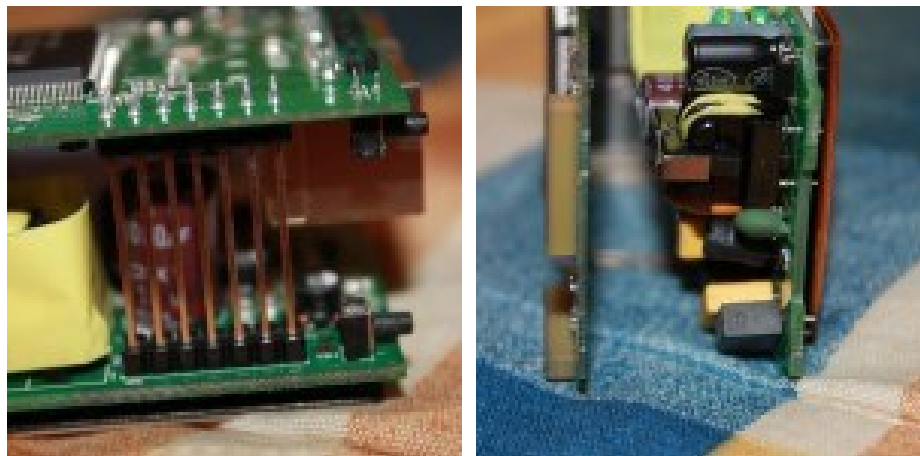


Figura 20-2: Placas unidas por un bus de datos.

Foto por: Velasco, Cristian. 2020.

La primera placa es la que se encarga de la gestión de la conexión eléctrica (fuente de poder), y es la que contiene la mayor cantidad de condensadores y transistores.

La segunda placa es la que contiene los componentes de red y es la que se encarga de gestionar todo lo relacionado con la transformación de los datos en frecuencias, el punto de acceso (WiFi (IEEE 802.11b)) y los puertos de red. Como se muestra en la Figura 21-2.

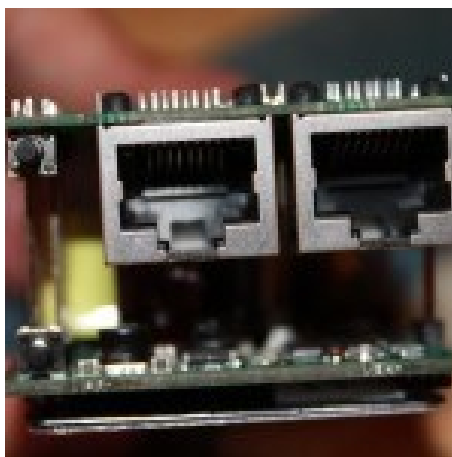


Figura 21-2: Puertos de red, en la segunda Placa.

Foto por: Velasco, Cristian. 2020.

Para evitar problemas de temperatura cuando los equipos están trabajando, el fabricante ha incluido una placa metálica, como se muestra en la Figura 22-2, para disipar el calor y que sirve para garantizar el buen funcionamiento de los equipos y así evitar posibles “cuelgues” que hacen necesario reiniciar los dispositivos.

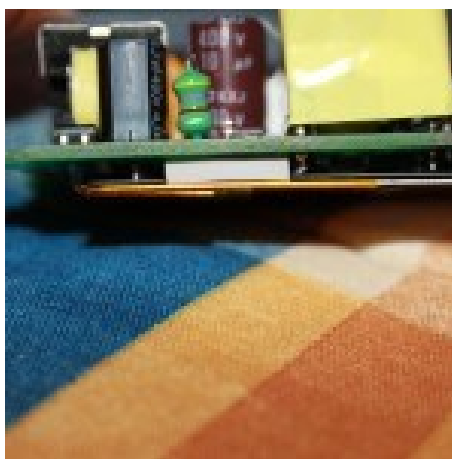


Figura 22-2: Vista interna Placa metálica para disipar el calor.

Foto por: Velasco, Cristian. 2020.

2.2.7. KPI, Métricas, Indicadores y Parámetros

2.2.7.1. ¿Qué es un KPI?

“El KPI viene de las palabras “key performance indicator” que en español significa “indicador clave de rendimiento” y se utiliza para designar puntos de referencia importantes para que una

empresa cumpla sus objetivos comerciales. Los KPIs son métricas, pero no todas las métricas son indicadores claves de rendimiento (KPI)". [Andres Muguira. (2018). Métricas e indicadores].

Para comprender la relación entre las métricas y los indicadores revisaremos la diferencia entre una métrica y un indicador.

2.2.7.2. ¿Qué es una métrica o indicador?

"Las métricas, a veces llamadas métricas de negocio, son medidas cuantificables que se utilizan para medir el rendimiento o el progreso. Para crear una métrica, se toman datos de una fuente (es decir, es información que se actualiza constantemente con nueva información) y se monitorean estos para seguir el progreso hacia el objetivo comercial". [Andres Muguira. (2018). Métricas e indicadores].

Una vez obtenidas las métricas, identificaremos cuál de ellas elegiremos como indicadores claves de rendimiento (KPI), los mismos que utilizaremos para evaluar cuál es la red con mejor desempeño.

2.2.7.3. Definición de las métricas o indicadores

Los indicadores que mediremos se especifican en la Norma RFC 2544. Esta norma es una metodología de evaluación comparativa de los dispositivos de interconexión de red promovida por el IETF¹³. Esta norma discute y define un número de pruebas que son utilizadas para la evaluación del rendimiento de una red, basada en cuatro indicadores. Los indicadores propuestos en la RFC 2544 son: [Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices. (1991). RFC 1242].

MTU. - *"La unidad máxima de transferencia MTU (Maximum Transmission Unit) es un término de redes de computadoras que expresa el tamaño en bytes de la unidad de datos más grande que puede enviarse usando un protocolo de comunicaciones"*. [Jonathan Rivera Darín. (2015). Fundamentos de Redes Informáticas].

El ajuste del MTU puede mejorar el rendimiento de la red o conseguir el efecto contrario.

¹³ ETF: Grupo de Trabajo en Ingeniería de Internet es una organización que promueve estándares de internet. Coopera con el W3C y los ISO/IEC organismos de normalización.

Ancho de banda. - En redes, se conoce como ancho de banda a la cantidad de datos (bits o Bytes) que se puede enviar y recibir en el marco de una comunicación en un tiempo determinado. Es decir, 10 Mbps significa que en un segundo descargaremos 10 Millones de bits de información. Por ejemplo, un enlace WAN E1, tiene un ancho de banda simétrico de 2048Kbps; un enlace *Fast Ethernet* tiene un ancho de banda de 100Mbps, un enlace *ADSL* típicamente tiene 1Mbps o 2Mbps por 256Kbps de *upstream* (subida). Es importante notar que usamos bits por segundo (bps), y los archivos se miden en bytes (B); para hacer la conversión dividimos los bits por segundo entre 8, $2048\text{Kbps} / 8 = 256 \text{ KBytes/sec}$, No es lo mismo descargar un fichero a 100 Mbps (Mega bits por segundo), que descargarlo a 100 MBytes/s (Mega Bytes por segundo). En el segundo caso lo haríamos a una velocidad 8 veces mayor que en el primero ya que 1 Byte es igual a 8 bits. Como se muestra en la Figura 23-2, podemos darnos cuenta fácilmente cuando descargamos un archivo y nuestro browser (Firefox, Chrome o Explorer, etc.) nos dice que está descargando el archivo a 73.4KBytes/sec:

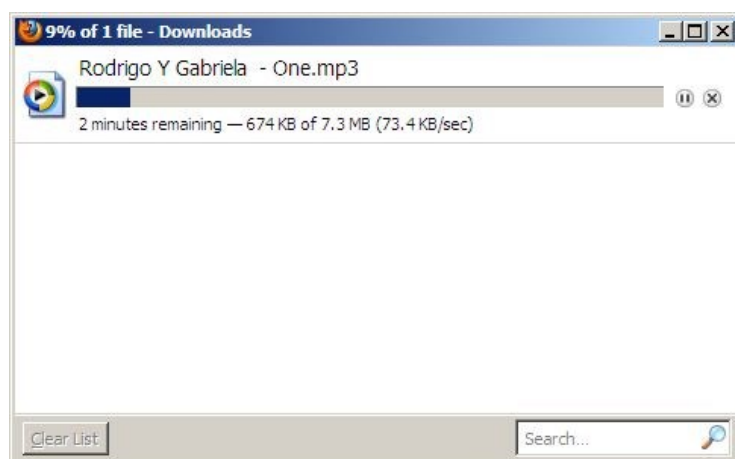


Figura 23-2: Descarga de archivos mediante un Navegador de Internet.

Screenshot por: Velasco, Cristian, 2020.

A continuación se especifica la fórmula que es utilizada para el cálculo de este indicador y a su vez se describen cada uno de sus términos: $BW = \frac{8N}{T_f - T_i} (Mbps)$

$$BW = \frac{8N}{T_f - T_i} (Mbps)$$

Dónde:

- N, es el tamaño en Bytes del fichero descargado.
- $T_f - T_i$, representan el tiempo de finalización e inicio de la descarga del fichero respectivamente; este valor debe ser diferente de cero. [Avilés Y, Javier A. Cristian J, Pachacama Ll. (2015). Guía para la evaluación del rendimiento de una red de datos con tecnología *Ethernet*].

Throughput. - Según el RFC 1242 sección 3.17: Es el nivel de utilización real del enlace o canal, técnicamente es la capacidad de información que un elemento de red puede mover en un periodo de tiempo.

- Resumiendo: el ancho de banda es la capacidad teórica del dispositivo de red (*router*, puerto, enlace *WAN*, *LAN*, etc.) y el *throughput* es la utilización que podemos lograr con dicho dispositivo.
- Concluyendo: el ancho de banda es la capacidad teórica disponible de un enlace. Por ejemplo, 2048Kbps, pero podemos ver que el archivo baja a una velocidad real de 73.4KBytes/sec, lo convertimos a Kbps: $73.4 \times 8 = 587.2\text{Kbps}$. Aquí podemos ver el *throughput*. Si bien nuestro ancho de banda es de 2048Kbps, nuestro *throughput* es de 587.2Kbps.

A continuación, se especifica la fórmula para el cálculo de este indicador y se describen cada uno de sus términos: $Throughput \leq \frac{RWIN}{RTT}$

Dónde:

- *RWIN*, es la tasa máxima de transferencia en bits.
- *RTT*, es el tiempo de ida y vuelta, en segundos, empleado en la transferencia de datos a través del canal. Debe ser diferente de cero. [Avilés Y, Javier A. Cristian J, Pachacama Ll. (2015). Guía para la evaluación del rendimiento de una red de datos con tecnología *Ethernet*].

Frame Loss Rate (FLR): Es el porcentaje de paquetes perdidos durante el envío constante de datos, debido a falta de recursos de red. Según el RFC 1242 sección 3.6, es el porcentaje de tramas que deberían ser enviadas por un dispositivo de red en estado estacionario de carga (constante) pero que no son enviadas por la falta de recursos.

A continuación se indica la fórmula utilizada para el cálculo de este indicador y se describe cada uno de sus términos: $FLR = \frac{(CEnt - CSal) * 100}{CEnt}$

Dónde:

- *CEnt*, es Contador de entrada, es el porcentaje de tramas que son enviadas por un dispositivo de red, sin unidades, debe ser diferente de cero.
- *CSal*, es Contador de Salida, es el porcentaje de tramas que son receptadas, sin unidades. [Avilés Y, Javier A. Cristian J, Pachacama Ll. (2015). Guía para la evaluación del rendimiento de una red de datos con tecnología *Ethernet*].

Latencia o retardos. - Según el RFC 1242 sección 3.8: La latencia es el tiempo en segundos que tarda en transmitirse un paquete dentro de la red hasta llegar a un destino. Los datos se envían por la red en paquetes que contienen una cabecera con la información de las rutas que debe seguir, entre muchas otras cosas, realizar la lectura de la cabecera y el procesamiento de datos siempre

va a llevar algo de tiempo hacerlo. La latencia es la suma de todos esos tiempos, es decir, el tiempo que pasa desde que se ha enviado un paquete en el origen hasta que llega al receptor. Los retardos temporales dentro de una red, pueden estar producidos por el tamaño de los paquetes y/o el tamaño de los buffers.

A continuación se especifica la fórmula que es utilizada para el cálculo de este indicador y a su vez se describen cada uno de sus términos: $T = \frac{D[L]}{V[L]/[T]}$

Dónde:

- D, representa la longitud del enlace en unidades de longitud [L].
- V, representa la velocidad de desplazamiento real del frente de onda de la señal, en unidades de longitud [L] y tiempo [T].
- La división de V/T debe ser diferente de cero.
- T debe ser diferente de cero. [Avilés Y, Javier A. Cristian J, Pachacama Ll. (2015). Guía para la evaluación del rendimiento de una red de datos con tecnología *Ethernet*].

Jitter. - Término inglés para fluctuación, en redes se define como la variación en la latencia o retardos entre paquetes de la misma comunicación. La ruta que puede seguir un paquete entre un transmisor y receptor puede variar en función de ciertos parámetros y de otros factores, el retardo que puede sufrir un paquete (latencia) en relación a otro enviado inmediatamente después, puede no ser el mismo, esto es el *Jitter*. Es un dato muy a tener en cuenta en *VoIP* y videoconferencia ya que puede llegar a cortar la llamada.

A continuación, se muestra la fórmula utilizada para el cálculo de este indicador y también se describe cada uno de sus términos:

$$\text{Jitter periódico: } J_{per} = T_{per}(1) - T_0$$

$$\text{Jitter de ciclo-a-ciclo: } J_{cc} = \max(T_{per}(n) - T_{per}(n + 1))$$

Se averigua la desviación máxima de un periodo con respecto al siguiente.

$$\text{Jitter acumulado: } J_{ac}(n) = T_{per}(n) - n * T_0$$

Dónde:

- $T_{per}(1)$; Es el periodo de oscilación de la primera oscilación después del evento iniciador.
- T_0 ; Es el periodo de oscilación ideal.
- En el caso de un *jitter* acumulado, se relaciona el *jitter* con un evento iniciador (ej. un flanco ascendente de una señal de reloj). Cuanto más lejos en el futuro esté la señal de reloj, mayor será el desplazamiento, cuando el *jitter* no está repartido de forma uniforme. [Avilés Y, Javier A. Cristian J, Pachacama Ll. (2015). Guía para la evaluación del rendimiento de una red de datos con tecnología *Ethernet*].

2.2.7.4. Definición de los Parámetros.

Protocolos de comunicación. - Los protocolos de comunicación en informática y telecomunicaciones se definen como un conjunto de reglas y normas que a través de dicho protocolo se permite que dos o más dispositivos (*host*) que forman parte de una red de datos y comunicaciones, puedan comunicarse entre sí, para transmitir información a través de cualquier medio físico o inalámbrico. Las reglas fijadas por los protocolos también permiten recuperar los datos que eventualmente se podrían perder en el intercambio.

Debemos tener claro que cada *host* (Dispositivo) ha de tener una dirección *IP*. Lo que hace *TCP* y *UDP* es ampliar el servicio que proporciona *IP* entre dos *hosts*, de esta forma podremos tener varios procesos ejecutándose en los *hosts* y podremos comunicarnos con ellos. Eso se llama Multiplexación y Demultiplexación de la capa de transporte. Tanto *TCP* como *UDP* trabajan en la capa de transporte, y pasan sus datos a la capa de Red, donde está el protocolo *IP*. Que proporciona una comunicación lógica entre *hosts*. *IP* es «*best effort*», es decir, no garantiza que pueda entregar los segmentos entre los *hosts*, pero hará lo que pueda para hacerlo correctamente. No garantiza la llegada de los segmentos; No garantiza el orden; No garantiza la integridad (que, si llegan, lleguen correctos). Por todo esto, *IP* es un servicio no fiable.

Protocolo *TCP*. - El Protocolo de Control de Transmisiones, *TCP* (“*Transmission Control Protocol*”) es, uno de los elementos básicos de Internet. Su creación data del periodo comprendido entre los años 1973 y 1974 y se adjudica al ingeniero Vinton Gray Cerf y al investigador Robert Elliot Kahn. [Jonathan Rivera Darín. (2015). Fundamentos de Redes Informáticas].

TCP está orientado a las comunicaciones y la transmisión de datos es confiable, se encarga de asignar el mismo ancho de banda a todas sus conexiones para que todas ellas puedan enviar y recibir datos. Se encarga del ensamble de los datos que provienen de capas superiores. Ofrece la posibilidad de reconocer cada aplicación del resto, gracias al uso de los puertos. Proporciona control de flujo, números de secuencia, mensajes de reconocimiento y temporizadores, que garantizan que los mensajes se envíen correctamente. Dispone de, control de congestión (evita datos duplicados), control de errores, recuperación ante pérdidas y queda garantizado que los datos lleguen a destino sin errores y ordenados de la misma forma en la cual estaban antes de ser enviados. *TCP* al estar sobre *IP*, convierte a *IP* en un servicio de transporte de datos fiable.

Protocolo *UDP*. - (*User Datagram Protocol*) *UDP*, proporciona un servicio no orientado a conexión y no fiable, esto quiere decir que se va a intentar por todos los medios posibles que los datos lleguen, pero no lo garantiza. *UDP* no proporciona control de congestión, por lo tanto, podrá enviar los datos a cualquier velocidad sin tener en cuenta la posible saturación de los nodos.

Se destina para las comunicaciones sin conexión y que no disponen de mecanismos para transmitir datagramas. [Jonathan Rivera Darín. (2015). Fundamentos de Redes Informáticas].

Para obtener los indicadores y parámetros descritos anteriormente utilizamos el aplicativo o software jPerf en su versión 2.0.2, el cual, detallamos a continuación la instalación, parametrización y uso.

2.2.8. Programa jPerf version 2.0.2.

JPerf es un software de código abierto cliente-servidor basada en Java, por lo que puede ser utilizado en cualquier sistema operativo que tenga instalado un intérprete de Java, cuyo funcionamiento habitual es crear flujos de datos *TCP* y *UDP* y medir el rendimiento de la red.

Es muy simple y fácil de utilizar para medir la velocidad entre dos ordenadores que estén en una red, visualizando los resultados gráficamente o exportándolos a un archivo. Es útil para comprobar la tasa máxima de transmisión de un *switch*, *router* o enlaces punto a punto, etc.

En la Figura 24-2, podemos observar la interfaz gráfica de la aplicación jPerf versión 2.0.2.

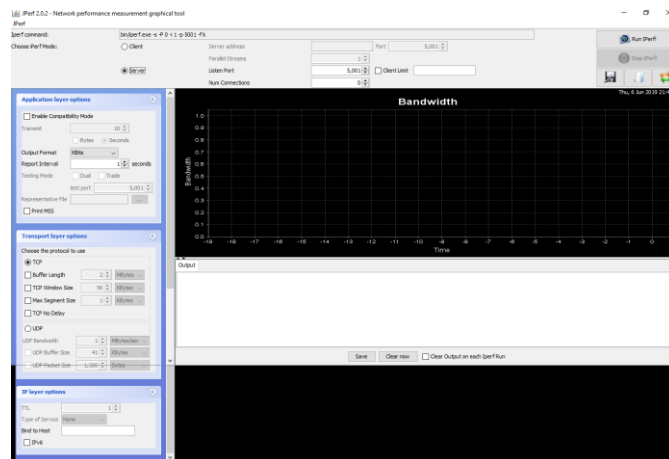


Figura 24-2: Interfaz gráfica de la aplicación jPerf 2.0.2.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

2.2.8.1. Instalación:

Seguimos los siguientes pasos para realizar la instalación de jPerf 2.0.2:

- a) Descargamos e instalamos la última versión de Java correspondiente a nuestro sistema operativo, desde la página de java, como se muestra en la Figura 25-2.



Figura 25-2: Descarga de Java.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

b) Una vez instalado Java procedemos a descargar el programa jPerf desde <http://code.google.com/p/xjperf/> como se muestra en la Figura 26-2.

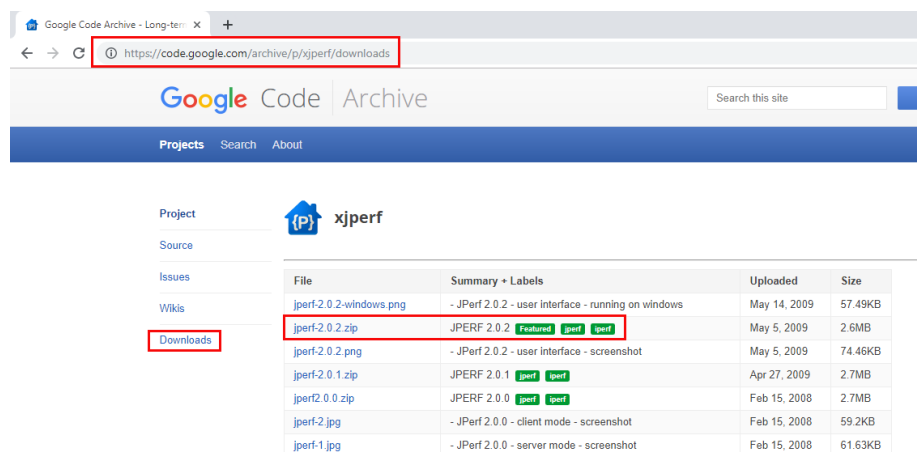


Figura 26-2: Descarga de archivo .zip de JPerf 2.0.2.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

c) Para instalar en sistema operativo WINDOWS:

- Descomprimos el archivo Zip en la ubicación preferida.
- Ejecutamos la aplicación haciendo doble click en el archivo “jperf.bat”. Se mostrará una pantalla como se muestra en la Figura 26-2.

d) Para instalar en el sistema operativo LINUX:

- Descomprimos el archivo Zip en la ubicación preferida.
- Accedemos al directorio donde descomprimos el Zip.
- Asignamos permisos con: “*sudo chmod u+x jperf.sh*”

- Ejecutamos la aplicación mediante: “*sh jperf.sh*”. Se presentará una pantalla similar a la figura 26-2.

2.2.8.2. Parametrización de la aplicación JPerf 2.0.2.

En el equipo que hará de SERVIDOR, seleccionamos los campos enmarcados con rojo como se muestra en la Figura 27-2, elegiremos el protocolo entre *TCP* y *UDP* y por ultimo haremos *click* sobre “*Run IPerf*” para poner al servidor a la escucha, en espera de una transmisión desde un cliente.

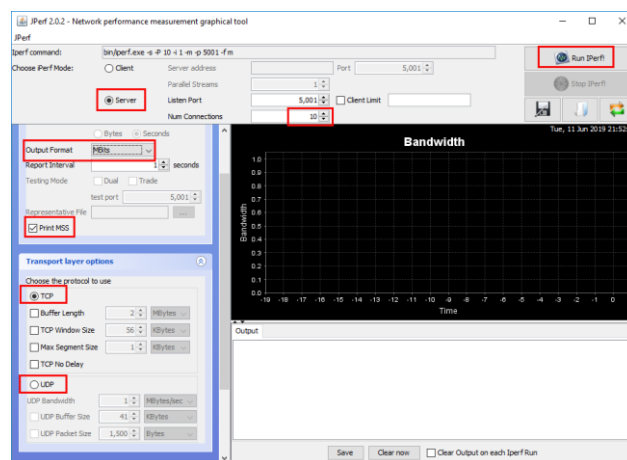


Figura 27-2: Servidor jPerf a la escucha.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

Mientras que en el equipo CLIENTE, debemos:

- a) Especificar la IP de la máquina que tenga instalada el servidor de jPerf,
- b) La cantidad de “*Parallel Streams*” (flujos paralelos) el ancho de banda de una sola sesión *TCP* está limitado por varios factores. Al utilizar flujos paralelos, puede saturar fácilmente una conexión de ancho de banda muy alto. Utilizaremos 10 como número de flujos paralelos.
- c) En “*Application layer options*” (opciones de la capa de aplicación) escogemos:
 - “*Transmit*”: Se utiliza para especificar el tiempo del test lo ponemos en 3600 segundos (1 hora).
 - En “*Output Format*” seleccionamos MBytes.
 - “*Testing Mode*”: Al seleccionar el modo de prueba dual se puede ejecutar una prueba bidireccional: de forma predeterminada, jPerf transmite datos del cliente al servidor. en ambas direcciones al mismo tiempo.

- “*Representative File*”: Podemos utilizar un archivo representativo: para transmitirlo al servidor durante la prueba. Esta función le permite simular una transferencia de datos del mundo real a través de la red de una manera controlada.
- d) En “*Transport layer options*” (opciones de la capa de transporte) Elegiremos el protocolo a usar entre *TCP* y *UDP*. Estará a nuestra voluntad el determinar y asignar el valor del tamaño de los paquetes a enviarse para la transmisión de voz, video y datos en las 2 redes SOHO.
- e) En “*IP layer options*” (opciones de la capa de red), elegimos el tipo de servicio que queremos testear que será el “*throughput*”.
- f) Y por último haremos click en el botón “*Run IPerf*” para iniciar el test, como se muestran los ítems enmarcados en rojo en la Figura 28-2.

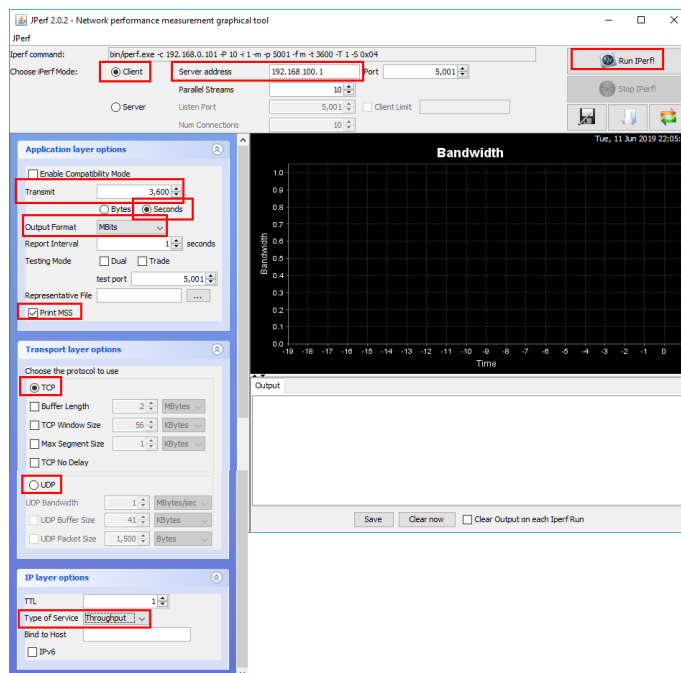


Figura 28-2: Parámetros en el cliente JPerf.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

2.2.8.3. Opciones adicionales de la aplicación jPerf 2.0.2.

Tenemos una amplia cantidad de parámetros para el programa, podemos consultar las opciones disponibles usando el comando: “*iperf --help*”, desde la línea de comandos, como se muestra en la Figura 29-2.

```

PS D:\Maestria Actualización de Conocimientos\jperf-2.0.2\bin> .\iperf.exe --help
Usage: iperf [-s|-c host] [options]
iperf [-h|--help] [-v|--version]

Client/Server:
-f, --format [kmKM] format to report: Kbits, Mbits, KBytes, MBytes
-i, --interval # seconds between periodic bandwidth reports
-l, --len #[KM] length of buffer to read or write (default 8 KB)
-m, --print_mss # print TCP maximum segment size (MTU - TCP/IP header)
-o, --output <filename> output the report or error message to this specified file
-p, --port # server port to listen on/connect to
-u, --udp # use UDP rather than TCP
-w, --window #[KM] TCP window size (socket buffer size)
-B, --bind <host> bind to <host>, an interface or multicast address
-C, --compatibility # for use with older versions does not send extra msgs
-M, --mss # set TCP maximum segment size (MTU - 40 bytes)
-N, --nodelay # set TCP no delay, disabling Nagle's Algorithm
-V, --IPv6version # Set the domain to IPv6

Server specific:
-s, --server # run in server mode
-D, --daemon # run the server as a daemon
-R, --remove # remove service in win32

Client specific:
-b, --bandwidth #[KM] for UDP, bandwidth to send at in bits/sec
(default 1 Mbit/sec, implies -u)
-c, --client <host> run in client mode, connecting to <host>
-d, --dualtest # Do a bidirectional test simultaneously
-n, --num #[KM] number of bytes to transmit (instead of -t)
-r, --tradeoff # Do a bidirectional test individually
-t, --time # time in seconds to transmit for (default 10 secs)
-F, --fileinput <name> input the data to be transmitted from a file
-I, --stdin # input the data to be transmitted from stdin
-L, --listenport # port to receive bidirectional tests back on
-P, --parallel # number of parallel client threads to run
-T, --ttl # time-to-live, for multicast (default 1)

Miscellaneous:
-h, --help # print this message and quit
-v, --version # print version information and quit

[KM] Indicates options that support a K or M suffix for kilo- or mega-

```

Figura 29-2: Opciones de jPerf.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y diseño de la investigación.

3.1.1. Tipo de la investigación.

En este estudio el tipo de investigación que se aplica es la CUASI - EXPERIMENTAL, dado que se usa un kit *PowerLine HomePlug AV2* que consta de un *PLC* adaptador y dos *PLC's* extensores o repetidores, aparte del cableado eléctrico que es el medio de transmisión. Se realiza un caso de estudio con la implementación de una red SOHO, utilizando la tecnología *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b), (el WiFi lo proveen los dispositivos *PLC's*). Dicha red será evaluada y comparada con una red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b), (el WiFi lo provee el modem entregado por el ISP); dentro de un hogar o vivienda ubicada en la Provincia Bolívar, Cantón San Miguel, de propiedad de la Familia Velasco Vásquez. Se escogió este hogar por las facilidades brindadas para la implementación de las redes y la realización de pruebas.

Las dos redes contarán con las mismas características como: longitud del cable, tipo de servicios y tráfico. Se va a simular el tráfico de dispositivos como: computadoras, *laptops*, *Smart Phones*, *Smart tv's*, etc. (máximo diez por tratarse de una red SOHO). El objetivo es medir parámetros de desempeño, específicamente: velocidad de transmisión, ancho de banda, pérdidas de datos y retardos; esto se logra realizando pruebas o experimentos que servirán como población de estudio para determinar el desempeño de la red.

3.1.2. Diseño de la investigación

- El tipo de diseño será **TRANSVERSAL** ya que se realizarán experimentos en lapsos de tiempo cortos, y en los que se manipulará las variables independientes: Implementación de dos redes SOHO mediante las tecnologías *PowerLine HomePlug AV2* y *Ethernet* (IEEE 802.3), combinadas con WiFi (IEEE 802.11b), para medir el efecto sobre las variables dependientes: Desempeño de las Redes.

3.2. Métodos de la investigación.

Se utilizará el método **INDUCTIVO** ya que se parte de una hipótesis y se analizan casos particulares, como: ancho de banda, throughput, porcentaje de paquetes perdidos y jitter para determinar el desempeño de la red.

3.3. Enfoque de la investigación.

Esta investigación tendrá características meramente **CUANTITATIVAS**, todos los datos se procesan y recopilan para dar paso al conocimiento verdadero, tangible y comprobable. Debido a que los datos son producto de mediciones, se representan mediante números y se deben analizar a través de métodos estadísticos. En el proceso se busca el máximo control para lograr que otras explicaciones posibles, distintas a la propuesta del estudio (hipótesis), sean desechadas y se excluya la incertidumbre y minimice el error. Es por esto que se confía en la experimentación y los análisis de causa-efecto. [Sampieri. (2010). Metodología de la Investigación].

Los análisis cuantitativos fragmentan los datos en partes para responder al planteamiento del problema. Tales análisis se interpretan a la luz de las predicciones iniciales (hipótesis) y de estudios previos (teoría). La interpretación constituye una explicación de cómo los resultados encajan en el conocimiento existente [Creswell, John W. (2005). Diseño de investigación. Aproximaciones cualitativas y cuantitativas].

3.4. Alcance de la investigación.

Este estudio tendrá un alcance **CORRELACIONAL**, ya que se describen variables relacionadas, y se trata de probar ciertas hipótesis en ambas tecnologías.

Se utilizará información de ambas tecnologías por separado que serán combinadas en esta investigación tomando las características a favor del estudio.

3.5. Población de estudio.

Se espera obtener una cantidad de 400 o más resultados en las pruebas, que consiste en utilizar el programa jPerf 2.0.2, para generar el tráfico de datos entre varios equipos (máximo 9) clientes y un equipo que hará de servidor. Con lo cual obtendremos parámetros de desempeño,

específicamente: velocidad de transmisión, ancho de banda, pérdidas de datos y retardos; para determinar si la hipótesis planteada se cumple o no.

Si realizamos 10 pruebas diarias por cinco días tendríamos 50 pruebas que representaría a 1 semana, para llegar a 400 necesitaríamos de 8 semanas que en fin son 2 meses, lo cual está previsto en el cronograma de actividades que se encuentra más adelante.

3.6. Unidad de análisis.

En el presente estudio utilizaremos como unidad de análisis el número de pruebas o experimentos realizados.

3.7. Selección de la muestra.

Para el análisis estadístico se tomará una muestra de todas las pruebas o experimentos realizados con los escenarios de pruebas.

3.8. Tamaño de la muestra.

Se utilizará la siguiente fórmula para determinar el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

Dónde:

n = pruebas o experimentos que debemos seleccionar aleatoriamente para la comparación.

Población de estudio: $N=400$, = Experimentos o pruebas realizadas.

Error máximo aceptable: $e=5\% = 0,05$

Nivel de confianza: $Z=95\%=1,96$

Porcentaje estimado de la muestra: $p=50\% = 0,5$

$$n = \frac{400 \cdot 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}{(400 - 1) \cdot 0,05^2 + 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}$$

$$n = \frac{400 \cdot 3,8416 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{399 \cdot 0,0025 + 3,8416 \cdot 0,5 \cdot 0,5}$$

$$n = \frac{384,16}{0,9975 + 0,9604}$$

$$n = 196,21$$

Obtenemos que $n = 196$.

Lo que nos indica que elegiremos 196 muestras al azar de las 400 realizadas para determinar el desempeño de la red.

3.9. Identificación de variables

Independiente:

Las variables independientes se determinan por la implementación de los dos escenarios de prueba:

- Escenario con *PowerLine HomePlug AV2* en combinación a IEEE 802.11b y
- Escenario con *Ethernet 802.3* en combinación a IEEE 802.11b;

Los detalles de la implementación de los escenarios de prueba de ambas tecnologías se muestran en la sección “3.13.2. Definición de los Escenarios de Prueba”.

Dependiente:

Las variables dependientes se determinan por el desempeño de la red. Este desempeño se mide en base a los siguientes parámetros:

- *Throughput*.
- Ancho de banda.
- Porcentaje de paquetes perdidos.
- *Jitter*.

3.10. Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios.

Las técnicas que serán utilizadas en esta investigación son:

- **Búsqueda de información:** Permite obtener la información necesaria acerca del objetivo principal del estudio para su desarrollo de la investigación.
- **Pruebas:** Permite realizar experimentos en escenarios de laboratorio.
- **Observación:** Permite determinar resultados de los experimentos realizados en los escenarios propuestos.
- **Análisis:** Permite determinar los resultados de la investigación.

3.11. Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios.

Para la recolección de datos primarios y secundarios en esta investigación utilizaremos los siguientes instrumentos:

- Ficha de Observación.
- Registro de eventos.
- Hardware: Computadoras, *laptops*, dispositivos *PowerLine HomePlug AV2*, cableado eléctrico, cables *Ethernet UTP* cat. 5 de varias longitudes.
- Software: *Wireshark*, S.O. *Linux*, *Windows*, *Network Analyzer*, *Spedtest*, *jPerf* (ftp Cliente / Servidor), *Virtual Box*, *Software* de Ofimática, *Spss*.

3.12. Instrumentos para procesar los datos recopilados.

Para realizar el análisis estadístico y gráficos comparativos, utilizaremos los siguientes programas:

- Programa SPSS.
- Calc o Excel.

3.13. Caso de estudio

3.13.1. Descripción del lugar físico en el que se realizará la implementación de la red SOHO

Dado que los dispositivos *PLC HomePlug AV2* son para uso dentro del hogar (*InHome*), Realizaremos la implementación de la Red SOHO en una vivienda tal como se detalla en la Figura 1-3, simulando tráfico de información en la red con el programa *jPerf 2.0.2*.

Ya que la familia que habita dicho hogar dispone de varios dispositivos como: Computadoras, Teléfonos inteligentes (*Smart Phones*), televisores (*Smart Tv*) con conexión WiFi (IEEE 802.11b), etc. (ver Tabla 2-3, en el apartado 3.18. "Interconectividad de los dispositivos conectados a la red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b)"), nace la necesidad de tener estos equipos interconectados en una red para compartir información y el uso del internet en todos los dispositivos en una área de 300 metros cuadrados (10 metros de frente por 30 metros de fondo) en la cual existen 2 casas. La primera casa de tres pisos tiene tres departamentos (un departamento por piso), a los que les llamaremos: "departamento 1",

“departamento 2”, y “departamento 3”, correspondientemente. Estos departamentos cuentan con acometidas eléctricas independientes y con sus respectivos medidores de energía eléctrica. La segunda casa tiene dos pisos y consta de un departamento dúplex, al cual llamaremos “departamento 4”, el mismo que comparte el medidor eléctrico del primer piso, “departamento 1”, de la primera casa.

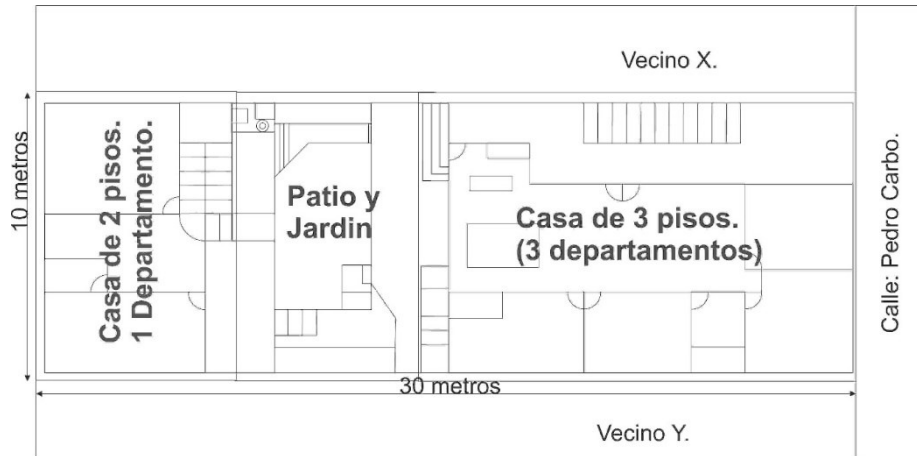


Figura 1-3: Predio de 300m² para el caso de estudio.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

Las acometidas eléctricas (desde el poste de luz), hacia los medidores de la casa se distribuyen en tres pares de cables, donde cada par consiste de una fase de 110 voltios y un neutro de cero voltios. Específicamente, y como se puede observar en la Figura 2-3, el medidor 1 para los departamentos 1 y 4, y medidor 2 para el departamento 2, tienen la acometida eléctrica de 110 voltios con los cables fase 1 y neutro. Por otra parte, el medidor 3 para el departamento 3 tiene la acometida eléctrica de 110 voltios con los cables fase 2 y neutro. Por lo tanto, el departamento 1 y 4 están conectados a un mismo medidor 1, y el medidor 1 y 2 están conectados a la misma fase. Mientras que el medidor 3 está conectado a otra fase y es solo para el departamento 3.

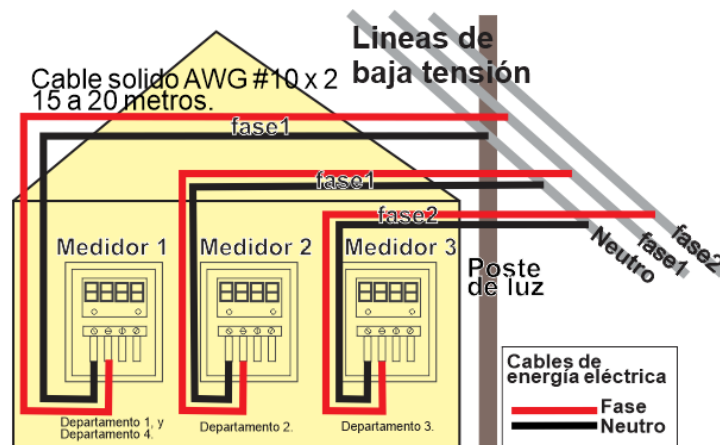


Figura 2-3: Acometidas eléctricas desde el exterior (poste de luz) hacia los medidores.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

El cable de conexión a tierra está distribuido por las conexiones eléctricas en las tomas de corrientes de todos los departamentos.

Se menciona este aspecto de que existen dos fases de 110 voltios y un neutro ya que en las pruebas a realizarse se verificará si la señal *PowerLine* que viaja por el cableado eléctrico es capaz de atravesar el medidor o de pasar de una fase a otra.

3.13.2. Definición de los escenarios de prueba

En el área de 300 m², mencionada anteriormente, se implementarán dos redes SOHO: una con la tecnología *PowerLine HomePlug AV2* y otra con *Ethernet* (IEEE 802.3); ambas en combinación a WiFi (IEEE 802.11b). Se realizará la implementación de las redes SOHO con las mismas características y condiciones.

Las dos redes contarán con hasta 10 dispositivos terminales (definido como número máximo de dispositivos en una red SOHO). Los dispositivos que podrían conectarse a la red SOHO son:

- ✓ Computadoras de escritorio: con conexión de red cableada, puerto RJ45. En la red *PowerLine* se utilizará el puerto RJ45 del dispositivo extensor que también es un *Access Point* WiFi (IEEE 802.11b), mientras que en la red *Ethernet* (IEEE 802.3), se utilizará el puerto RJ45 del modem que se conecta a los *Access Point* WiFi (IEEE 802.11b).
- ✓ *Laptop's*: Se une a la red SOHO mediante la conexión de red inalámbrica WiFi (IEEE 802.11b).
- ✓ *SmartPhone's*: Estos dispositivos cuentan con conexión inalámbrica WiFi (IEEE 802.11b).
- ✓ Televisores *SmartTV*: Se puede conectar mediante la conexión inalámbrica WiFi (IEEE 802.11b).
- ✓ Impresoras: Se conectarán los dispositivos que tengan disponible conexión de red inalámbrica WiFi (IEEE 802.11b).

En la simulación del tráfico en las redes con el programa jPerf, solo se utilizarán las Pc's y laptops, por tener el sistema operativo con el que trabaja el programa jPerf, con el cual obtenemos los siguientes indicadores:

- *Throughput*
- Ancho de banda,
- Porcentaje de paquetes perdidos.

- *Jitter*,

Para medir el desempeño, usando como parámetros los protocolos *TCP* y *UDP*.

De este modo, se podrá evaluar y determinar cuál es la red con mejor desempeño.

La implementación de los dos escenarios: Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) y Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2*, ambas combinadas con WiFi (IEEE 802.11b), se detallan a continuación.

3.13.2.1. Escenario 1. – Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b).

La Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b) se construye a partir del *modem* de línea entregado por la empresa CNT, y relativo al servicio de Internet residencial *ADSL*. A los puertos *LAN* de este *modem* se conecta un dispositivo *Access Point* WiFi (IEEE 802.11b) (en la casa de dos pisos, como repetidor de la señal alámbrica, ya que en la casa de tres pisos el *modem* de CNT hace las funciones de *Access Point* 1), utilizando como medio de transmisión el cable *UTP* Cat. 5e (par trenzado de ocho hilos sin blindaje), con una longitud de 70 metros hacia el *Access Point* 2. Esta distancia es menor a 100 metros, que es la distancia máxima soportada por *Ethernet*. La implementación de la Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b), según lo antes explicado, se muestra en la Figura 3-3.

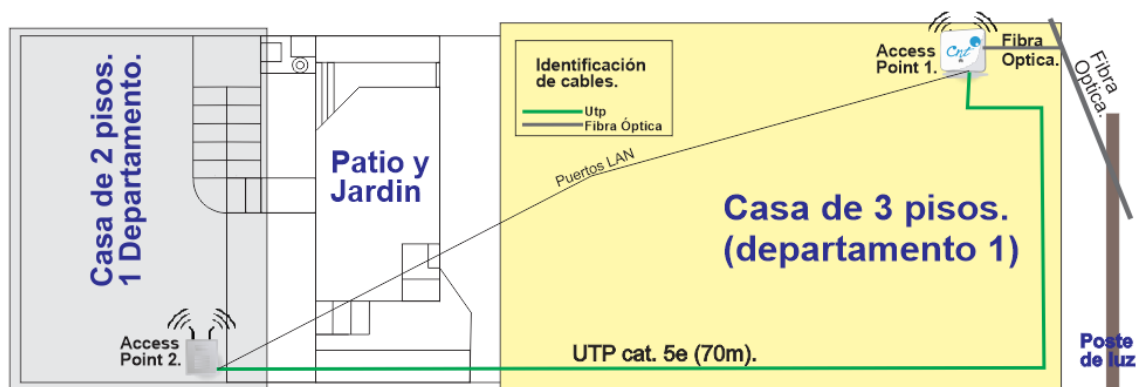


Figura 3-3: Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b).

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

La configuración de los dispositivos *Access Point* se muestra en el ANEXO A: “Implementación y configuración de la red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)”.

3.13.2.2. Escenario 2. – Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b).

Para la red *PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b)*, se utilizará el cableado eléctrico como medio de transmisión con dispositivos *PLC*. Los mismos que en el capítulo II, en el apartado “Análisis Del Kit *PLC HomePlug AV2 de la Marca TP-link a Utilizarse en el Caso de Estudio*”, estudiamos sus características de hardware y software, su estructura física interna y externa y el comportamiento de los *LED*'s, botones y puertos que disponen estos dispositivos.

En la Figura 4-3, podemos apreciar cómo está constituida la Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b)*, donde los dispositivos *PLC*'s (adaptador y extensores) están conectados a los tomacorrientes de 110Vca en las paredes de cada uno de los departamentos donde deseamos tener interconectividad de red.

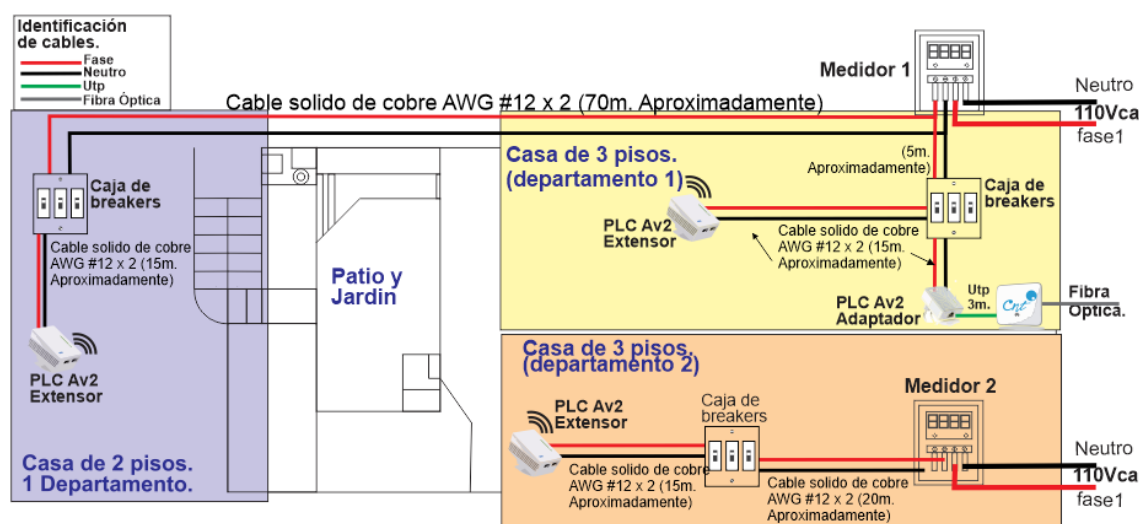


Figura 4-3: Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2*.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

El modem de CNT se conecta al *PLC* adaptador por medio de un cable *UTP* de 3 metros y este a la vez a una toma eléctrica, por donde inyectará la señal modulada al par de cables eléctricos y hará que esta señal alcance a los *PLC*'s extensores. Estos últimos se enchufarán a una toma eléctrica, uno en cada casa, y serán repetidores WiFi (IEEE 802.11b). El par de cables eléctricos corresponden a la fase y el neutro, y estos cables tienen un calibre de 12 *AWG*.

La implementación de esta red se detalla en la Guía de implementación y configuración de una red SOHO *PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b)*, en el CAPÍTULO V: PROPUESTA.

3.13.2.3. Escenario 3. – Comprobación de la capacidad de la señal PowerLine HomePlug AV2, de atravesar los medidores de energía eléctrica.

En los departamentos que tienen la acometida eléctrica a la misma fase eléctrica, se probará si la señal de *PowerLine HomePlug AV2* del departamento 1, en el cual está conectado el *PLC* adaptador y que tiene la acometida eléctrica del medidor 1, es capaz de llegar hasta el departamento 2, en el cual conectaremos un *PLC* repetidor y que tiene la acometida eléctrica del medidor 2.

Ambos departamentos están en la acometida eléctrica de la fase 1 y neutro, como se muestra en las Figuras 2-3 y 5-3, en la que se puede observar la acometida eléctrica a la misma fase 1 en la que está el departamento 1 pero con otro medidor de energía eléctrica para el departamento 2. Si llega a haber conectividad quiere decir que la señal es capaz de atravesar los medidores de energía eléctrica que están conectados a la misma fase (fase 1) llegando a los cables de energía eléctrica del poste en la calle y regresando por otra acometida a otro medidor vecino. Los resultados de las pruebas para este escenario se muestran más adelante en el apartado 3.19 (“*Demostración de la capacidad de la señal PowerLine HomePlug AV2 de atravesar los medidores de energía eléctrica*”).

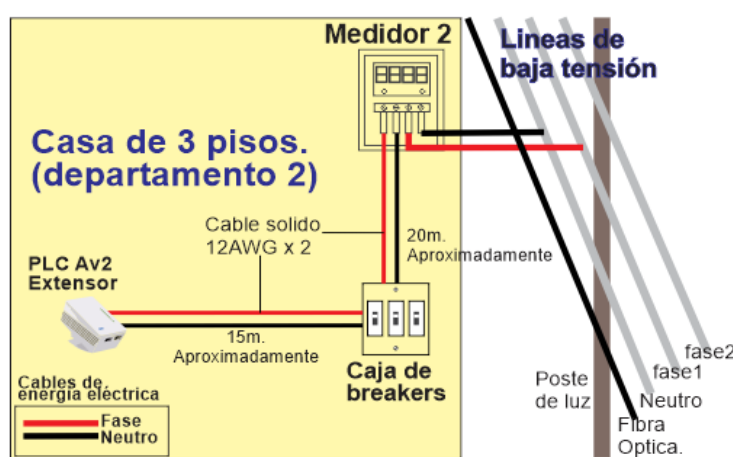


Figura 5-3: Acometida eléctrica piso 2.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

3.14. Interconectividad de los dispositivos conectados a la red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)

Dado que las redes están configuradas para obtener las direcciones IP con *DHCP*, y en el rango definido de hasta 10 direcciones, en la tabla 1-3 se muestra un estimado de las direcciones *IP* que

podrían obtener automáticamente los dispositivos conectados a la red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b) (RED_ESCENARIO_1).

Tabla 1-3: Posible Asignación de Direcciones IP, a los Dispositivos en la Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b).

EQUIPO	Dirección IP (DHCP) Red SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b) (RED_ESCENARIO_1).
<i>Laptop</i>	192.168.100.2
<i>Laptop</i>	192.168.100.7
<i>Smart Tv LG</i>	192.168.100.3
<i>Smart Tv KALLEY</i>	192.168.100.4
<i>Smart Tv SAMSUNG</i>	192.168.100.10
<i>Smart Phone IPHONE</i>	192.168.100.6
<i>Smart Phone SAMSUNG 1</i>	192.168.100.5
<i>Smart Phone SAMSUNG 2</i>	192.168.100.9
<i>Smart Phone SAMSUNG 3</i>	192.168.100.11
<i>Computador Desktop</i>	192.168.100.8

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

En la Figura 6-3, se muestra una captura de pantalla con información de los equipos conectados a la Red inalámbrica: “RED_ESCENARIO_1”, de la Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b), con su respectiva dirección IP asignada automáticamente por el protocolo *DHCP*.

Status » Wireless Status » WIFI Clients List

You can get WIFI clients list here.

WIFI Clients List			
ID	SSID	MAC	IP ADD
1	RED_ESCENARIO_1	08:10:74:9b:1f:e5	192.168.100.4
2	RED_ESCENARIO_1	78:45:61:9d:d0:40	192.168.100.12
3	RED_ESCENARIO_1	c4:d9:87:c6:88:24	192.168.100.3
4	RED_ESCENARIO_1	68:09:27:5a:0c:3e	192.168.100.7
5	RED_ESCENARIO_1	00:26:b6:fb:ef:76	192.168.100.5
6	RED_ESCENARIO_1	bc:e6:3f:eb:01:90	192.168.100.15
7	RED_ESCENARIO_1	d0:05:2a:10:3a:a6	192.168.100.11
8	RED_ESCENARIO_1	30:07:4d:bb:bf:5c	192.168.100.14
9	RED_ESCENARIO_1	18:83:bf:33:62:1e	192.168.100.13
10	RED_ESCENARIO_1	44:91:60:aa:8b:0d	192.168.100.9

Figura 6-3: Listado de equipos conectados a la Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b) (“RED_ESCENARIO_1”).

Screenshot por: Velasco, Cristian, 2020.

Utilizamos el comando “*Ipconfig*” en dos equipos conectados en la red WiFi (IEEE 802.11b) “RED_ESCENARIO_1”, para ver las direcciones *IP*’s asignadas automáticamente por el protocolo *DHCP*, y luego ejecutamos el comando “*Ping*”, para verificar que existe conexión entre estos equipos; en la Figura 7-3, podemos ver los resultados de estos comandos.

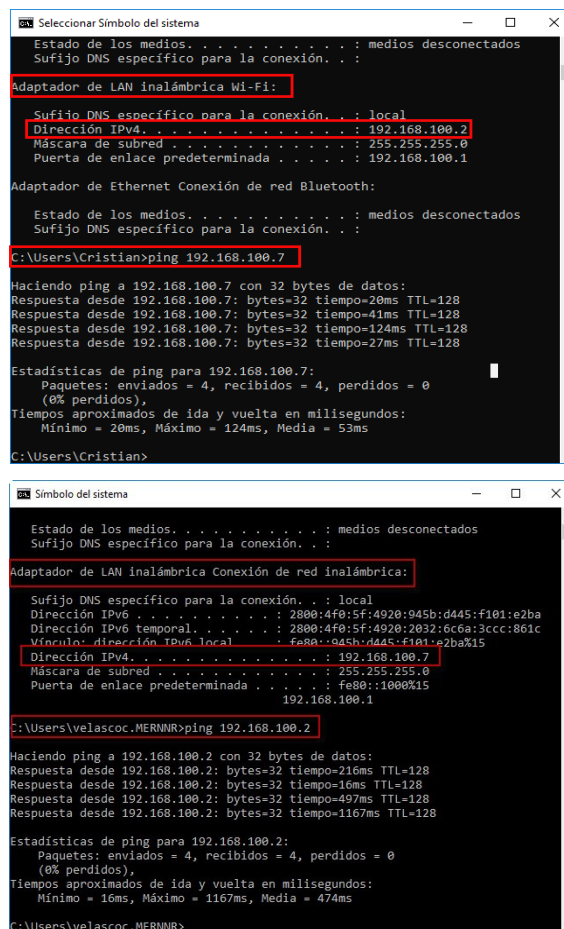


Figura 7-3: Comandos *ipconfig* y *ping* de un equipo a otro en la Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b): (“RED_ESCENARIO_1”).

Screenshot por: Cristian Velasco.

3.15. Interconectividad de los dispositivos conectados a la red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b)

En la Tabla 2-3 se muestra un estimado de las direcciones IP que podrían asignarse automáticamente por medio del protocolo *DHCP* a los dispositivos conectados a la red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b) (RED_ESCENARIO_2).

Tabla 2-3: Posible asignación de direcciones *IP*, a los dispositivos de la red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b).

EQUIPO	DIRECCION IP (DHCP) <i>PowerLine HomePlug AV2</i> con WiFi (IEEE 802.11b), (RED_ESCENARIO_2).
<i>Laptop</i>	192.168.0.101
<i>Laptop</i>	192.168.0.107
<i>Smart Tv</i> LG	192.168.0.102
<i>Smart Tv</i> KALLEY	192.168.0.103
<i>Smart Tv</i> SAMSUNG	192.168.0.108
<i>Smart Phone</i> IPHONE	192.168.0.105
<i>Smart Phone</i> SAMSUNG 1	192.168.0.104
<i>Smart Phone</i> SAMSUNG 2	192.168.0.106
<i>Smart Phone</i> SAMSUNG 3	192.168.0.110
Computador <i>Desktop</i>	192.168.0.109

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

En la Figura 8-3 y 9-3, se muestran las capturas de pantalla con información de los equipos conectados a la Red inalámbrica: “RED_ESCENARIO_2”, de la Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b), con su respectiva dirección *IP* asignada automáticamente por el protocolo *DHCP* en cada uno de los *PLC*'s extensores.

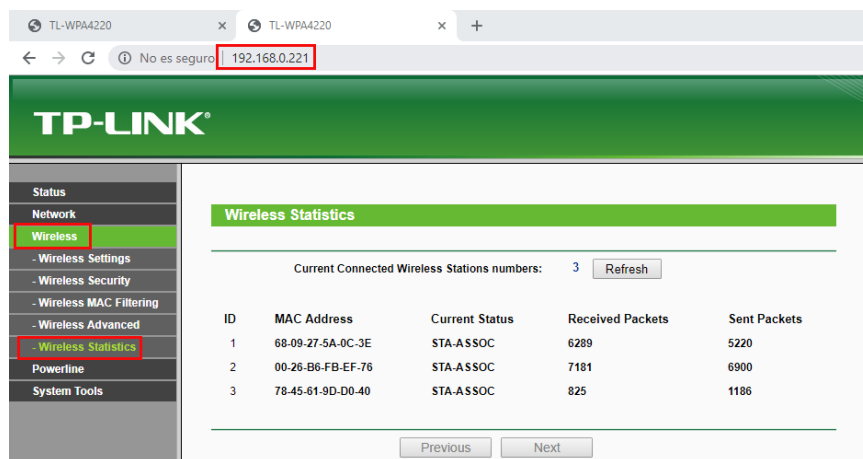


Figura 8-3: Listado de equipos conectados a la red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con wifi (ieee 802.11b, “RED_ESCENARIO_2”), en el *PLC* extensor 1.

Screenshot por: Velasco, Cristian, 2020.

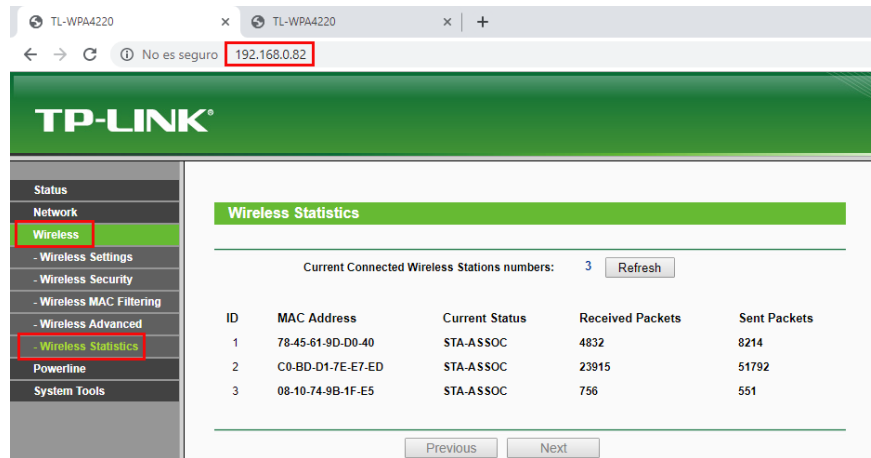
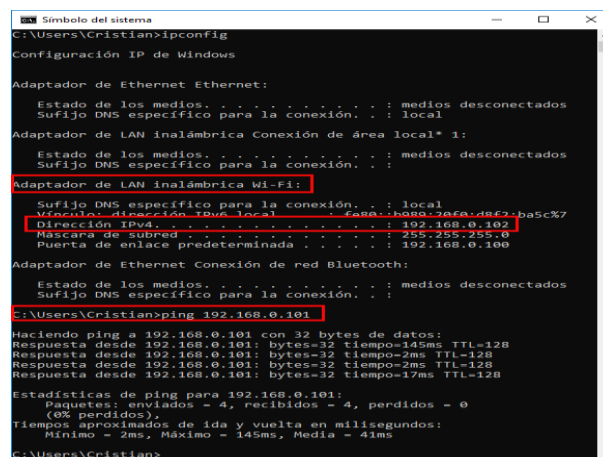


Figura 9-3: Listado de equipos conectados a la red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con wifi (ieee 802.11b, “RED_ESCENARIO_2”), en el extensor 2.

Screenshot por: Velasco, Cristian, 2020.

En la Figura 10-3, podemos observar el resultado del comando: “*Ipconfig*”, con el cual obtenemos información de la dirección IP asignada automáticamente a los equipos conectados en la red inalámbrica “RED_ESCENARIO_2”, y con el comando “*Ping*” que lo utilizamos para probar la conexión entre 2 equipos de la Red *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b).




```

Símbolo del sistema
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada . . . . . :

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de área local* 1:
Estado de los medios . . . . . : medios desconectados
Sufijo DNS específico para la conexión. . . :

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de área local* 2:
Estado de los medios . . . . . : medios desconectados
Sufijo DNS específico para la conexión. . . :

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de red inalámbrica:
Sufijo DNS específico para la conexión. . . : local
Dirección MAC . . . . . : 689C-0A5B-D445-F101-E2BA%15
Dirección IPv4 . . . . . : 192.168.0.101
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 192.168.0.100

Adaptador de Ethernet Conexión de red Bluetooth:
Estado de los medios . . . . . : medios desconectados
Sufijo DNS específico para la conexión. . . :

C:\Users\velascoc.MERNNR>ping 192.168.0.102

Haciendo ping a 192.168.0.102 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.102: bytes=32 tiempo=3ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.102: bytes=32 tiempo=3ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.102: bytes=32 tiempo=4ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.102: bytes=32 tiempo=4ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.0.102:
Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
(0% perdidos),
Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
Mínimo = 3ms, Máximo = 4ms, Media = 3ms

C:\Users\velascoc.MERNNR>

```

Figura 10-3: Comandos ipconfig y ping de un equipo a otro en la red: red SOHO *PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b)* (“RED_ESCENARIO_2”).

Screenshot por: Velasco, Cristian, 2020.

Por medio de la utilización del programa “tp”, provisto por el fabricante y que descargamos desde la página de soporte del producto en Internet: <http://www.tp-link.com>, podemos acceder a información de la conexión y velocidad de transmisión en una interfaz gráfica del *PLC* adaptador y los *PLC*’s extensores tal como se muestra en la figura 11-3, 12-3 y 13-3. Simplemente con ejecutar la aplicación “tp”.

En la Figura 11-3, podemos observar las velocidades de conexión entre dispositivos *PLC*’s, desde el *PLC* adaptador hacia el *PLC* extensor 1 conectado en departamento 2 y el *PLC* adaptador 2 conectado en departamento 4. Estos *PLC*’s actúan como *AP*’s.

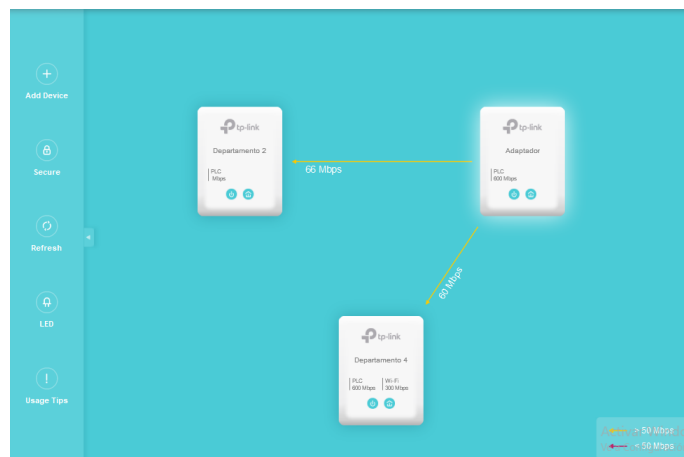


Figura 11-3: Velocidades de conexión de dispositivos *PLC*’s, desde el *PLC* adaptador hacia los *PLC*’s extensores 1 y 2.

Screenshot por: Velasco, Cristian, 2020.

En la Figura 12-3, podemos observar las velocidades de conexión entre dispositivos *PLC*'s, desde el *PLC* extensor 2 conectado en el departamento 4, hacia el *PLC* adaptador y al extensor 1 ubicado en el departamento 2.



Figura 12-3: Velocidades de conexión de dispositivos *PLC*'s, desde el extensor 2 hacia el *PLC* adaptador y al *PLC* extensor 1.

Screenshot por: Velasco, Cristian, 2020.

En la Figura 13-3, podemos observar las velocidades de conexión entre dispositivos *PLC*'s, desde el *PLC* extensor 1 conectado en el departamento 2, hacia el *PLC* adaptador y al extensor 2 conectado en el departamento 4.

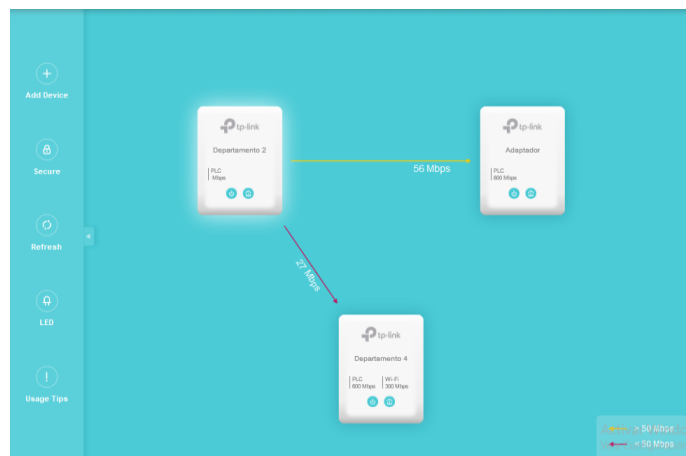


Figura 13-3: Velocidades de conexión de dispositivos *PLC*'s, desde el extensor 1 hacia el *PLC* adaptador y al *PLC* extensor 2.

Screenshot por: Velasco, Cristian, 2020.

3.16. Desempeño de las redes SOHO: *PowerLine HomePlug AV2* y *Ethernet (IEEE 802.3)*, ambas con *WiFi (IEEE 802.11b)*.

Para medir el desempeño de las redes SOHO: *PowerLine HomePlug AV2* y *Ethernet* (IEEE 802.3) ambas con WiFi (IEEE 802.11b), utilizaremos como fuente de datos los indicadores obtenidos con el comando Ping y el programa, “*jPerf*” versión 2.0.2, como son:

- *Throughput*.
- Ancho de banda.
- Porcentaje de paquetes perdidos.
- *Jitter*.

Usamos 2 *laptop's* (1 toshiba y 1 Dell), y 1 Pc de escritorio (*Desktop*), con red WiFi (IEEE 802.11b), en los cuales ejecutamos el programa *jPerf* 2.0.2, configurando los equipos de la siguiente manera: el *Pc* lo ejecutamos en modo de servidor y las 2 *laptops* la utilizamos como clientes, dado que las velocidades de los adaptadores de red WiFi (IEEE 802.11b) de los equipos son diferentes, tomamos la velocidad de 54Mbps, como parámetro del ancho de banda del estándar IEEE 802.11/b/g/n, ya que los dispositivos como *router's* y *AP's* usados en la red, permiten compatibilidad con los tres estándares /b/g/n en una sola red WiFi (IEEE 802.11b), aunque cada estándar tiene una velocidad de transmisión diferente. En la Figura 14-3, se muestra el “Estado de Conexión de red inalámbrica”, donde podemos ver la velocidad en Mbps de los adaptadores de red.

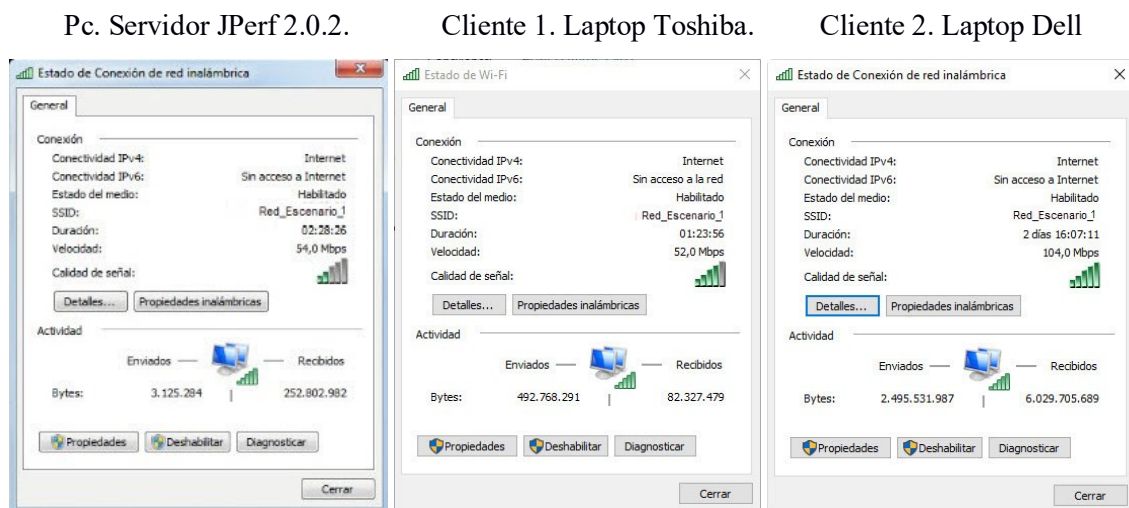


Figura 14-3: Estado de Conexión de red inalámbrica.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

Realizamos transmisiones con el programa *jPerf* desde los clientes comenzando con 1 hasta 10 equipos (hilos) utilizando los protocolos *TCP* y *UDP* por separado.

- Para el protocolo *UDP* utilizamos como parámetro el *TTL = 128* obtenido del comando *Ping*, como se muestra en la Figura 15-3, y la velocidad de la red WiFi (IEEE 802.11b) de 54Mbps.

```

C:\Users\Cristian>ping 192.168.100.7
Haciendo ping a 192.168.100.7 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.100.7: bytes=32 tiempo=20ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.100.7: bytes=32 tiempo=41ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.100.7: bytes=32 tiempo=124ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.100.7: bytes=32 tiempo=27ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.100.7:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 20ms, Máximo = 124ms, Media = 53ms

C:\Users\Cristian>

C:\Users\velascoc.MERNNR>ping 192.168.100.2
Haciendo ping a 192.168.100.2 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.100.2: bytes=32 tiempo=216ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.100.2: bytes=32 tiempo=16ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.100.2: bytes=32 tiempo=497ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.100.2: bytes=32 tiempo=1167ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.100.2:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 16ms, Máximo = 1167ms, Media = 474ms

C:\Users\velascoc.MERNNR>

C:\Users\Cristian>ping 192.168.0.101
Haciendo ping a 192.168.0.101 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.101: bytes=32 tiempo=145ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.101: bytes=32 tiempo=2ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.101: bytes=32 tiempo=17ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.0.101:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 2ms, Máximo = 145ms, Media = 41ms

C:\Users\Cristian>

C:\Users\velascoc.MERNNR>ping 192.168.0.102
Haciendo ping a 192.168.0.102 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.102: bytes=32 tiempo=3ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.102: bytes=32 tiempo=3ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.102: bytes=32 tiempo=4ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.102: bytes=32 tiempo=4ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.0.102:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 3ms, Máximo = 4ms, Media = 3ms

C:\Users\velascoc.MERNNR>

```

Figura 15-3: *TTL*, obtenido con el comando *PING*.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

Ya que la velocidad está dada en Mbps tenemos que transformarlo a Bytes, para utilizar como valor del parámetro *UDP*:

- ✓ 54Mbps, 1 Byte = 8bits, $\implies 54/8 = 6.75$, redondeamos al inmediato superior y obtenemos: 7MBytes/s, este valor lo ponemos en *UDP bandwidth*. Como se muestra en la Figura 16-3.

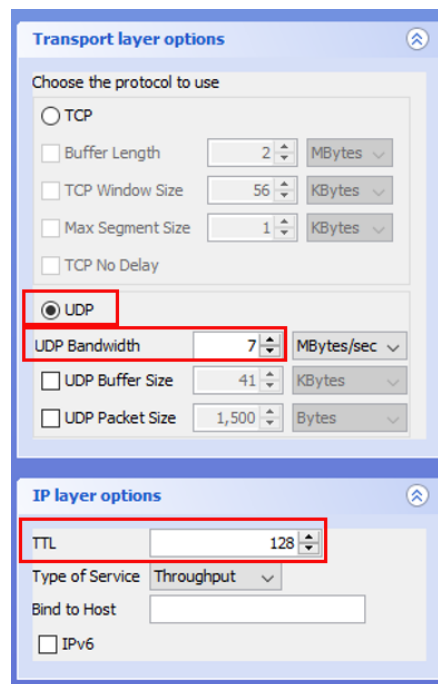


Figura 16-3: Parámetros del protocolo *UDP*.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

- Mientras que para el Protocolo *TCP* utilizamos como parámetro el tamaño de ventana deslizante, para calcular este parámetro utilizamos la velocidad multiplicado por la latencia que se obtuvo del comando *PING* como se mostró en la Figura 15-3. Entonces:
 - ✓ $54\text{Mbps} * 8\text{ms} = 54000000 * (8/1000) \implies 432000\text{bits}$
 - ✓ $432000\text{bits}/8 = 54000\text{Bytes}$
 - ✓ $54000\text{Bytes}/1024 = 52,73\text{KBytes}$, redondeando tendríamos: 53KBytes/s , este valor lo ponemos en *TCP Window Size*, como se puede apreciar en la Figura 17-3.

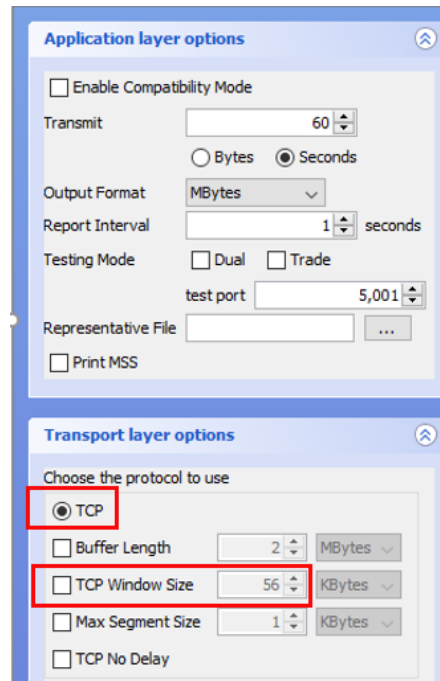


Figura 17-3: Parámetros del protocolo *TCP*.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

3.17. Demostración de la capacidad de la señal *PowerLine HomePlug AV2* de atravesar los medidores de energía eléctrica

A continuación, se demuestra la capacidad de la señal transformada por los dispositivos *PLC*'s y adherida a la electricidad existente en los cables, de atravesar los medidores energía eléctrica.

En la Figura 18-3, se muestra por medio del programa “tp”, en su interfaz gráfica, que existe interconectividad entre los dispositivos *PLC*'s conectados en la misma fase, pero separados por 2 medidores de energía eléctrica, ya que cada *PLC* extensor está ubicado y conectado en un departamento distinto.

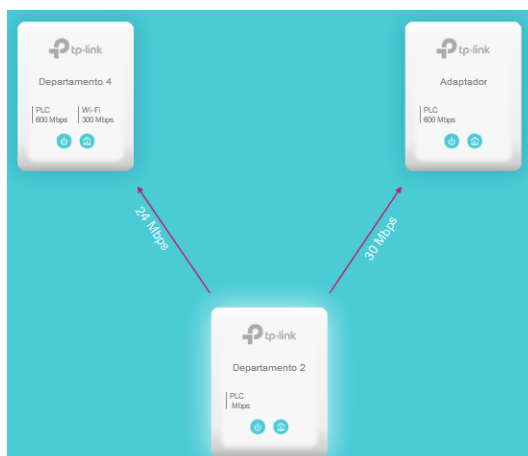


Figura 20-3: Velocidades de conexión entre dispositivos *PowerLine HomePlug AV2* conectados en circuitos separados por medidores de energía eléctrica,

Screenshot por: Velasco, Cristian, 2020.

Con lo cual se demuestra que la señal generada por el *PLC* adaptador es capaz de atravesar los medidores de energía y llegar a los *PLC*'s extensores, con lo cual la señal podría ser replicada en la casa de un vecino siempre y cuando la extensión de cables eléctricos no supere los 300 metros y el *PLC* extensor este emparejado con el *PLC* adaptador, ya que la señal esta encriptada.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Análisis.

Cabe recordar que el objetivo general de esta tesis es: “*Evaluar la tecnología PowerLine HomePlug AV2 en comparación a Ethernet (IEEE 802.3), ambas en combinación a WiFi (IEEE 802.11b), para mejorar el desempeño de redes SOHO*”. Para lo cual, hemos estudiado las principales características, protocolos, dinámica de operación y funcionamiento de la Tecnología *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b).

También hemos implementado dos redes SOHO, con las tecnologías: *PowerLine HomePlug AV2* y *Ethernet* (IEEE 802.3) ambas combinadas con WiFi (IEEE 802.11b), para obtener y comparar los indicadores claves de rendimiento KPI's (*Key Performance Indicator*), por cada red, en los escenarios o ambientes de prueba propuestos en el **Capítulo III** sección: **3.13. Caso de estudio**. Tales redes están definidas de la siguiente manera:

- **Escenario 1:** “Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b)”.
- **Escenario 2:** “Escenario 2. – Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b)”.

En este ámbito se realizaron experimentos en lapsos de tiempo cortos, en los que se manipuló las variables independientes; es decir, se cursaron varios tipos de servicio sobre las redes *PowerLine HomePlug AV2* y *Ethernet* 802.3. Con esto se midió el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes (desempeño de las redes).

Para medir el desempeño de las redes, también cabe recordar que se utilizaron los protocolos: *TCP* y *UDP* con el fin de obtener valores de los parámetros tales como: ancho de banda y *throughput* para el caso de *TCP*; y ancho de banda, pérdidas de datos, retardos y *Jitter* para el caso de *UDP*. Adicionalmente, el programa *jPerf* 2.0.2 fue de gran ayuda para simular tráfico cuando fue necesario, su instalación solo está disponible para sistemas operativos Windows y Linux, por lo que en los dispositivos como: *SmartTv's* y *SmartPhone's*, no se instaló la aplicación ya que tienen Android, IOs, WebOs.

4.1.1. Resultados utilizando TCP (Protocolo de Control de Transmisión)

Mediante las pruebas realizadas con el protocolo TCP, el cual, tiene un mecanismo que verifica la correcta recepción de los paquetes en el otro extremo de la comunicación hemos obtenido dos indicadores claves o métricas (KPI. *key performance indicator*) para evaluar el rendimiento de las dos redes:

- Ancho de Banda en MBytes/s. (como se explicó en el capítulo II, en el apartado: 2.2.7.3. *Definición de las métricas o indicadores*, indicamos que utilizaremos el ancho de banda en MBytes ya que se descargan archivos desde la red).
- Throughput en MBytes/s.

En TCP utilizamos como parámetro el tamaño de ventana deslizante; para calcular este parámetro utilizamos la velocidad de la red: 54Mbps, (Ver Figura 31.3. La velocidad está definida por la tarjeta de red inalámbrica del servidor jPerf.), multiplicado por la latencia (8 ms) que hemos obtenido del comando ping. Entonces: $54 \text{ Mbps} * 8\text{ms} = 54000000$

$$54000000 * (8/1000) = 432000 \text{ bits}$$

$$432000\text{bits}/8 = 54000 \text{ Bytes} \text{ -----> (Transformamos de bits a Bytes)}$$

$$54000\text{Bytes}/1024 = 52,73 \text{ KBytes} \text{ -----> (Transformamos a KBytes, 1Kbyte=1024Bytes)}$$

Redondeando tendríamos: 53 KBytes/s, este valor lo ponemos en *TCP Windows Size*. Como se muestra en las Figuras 1-4 y 2-4.

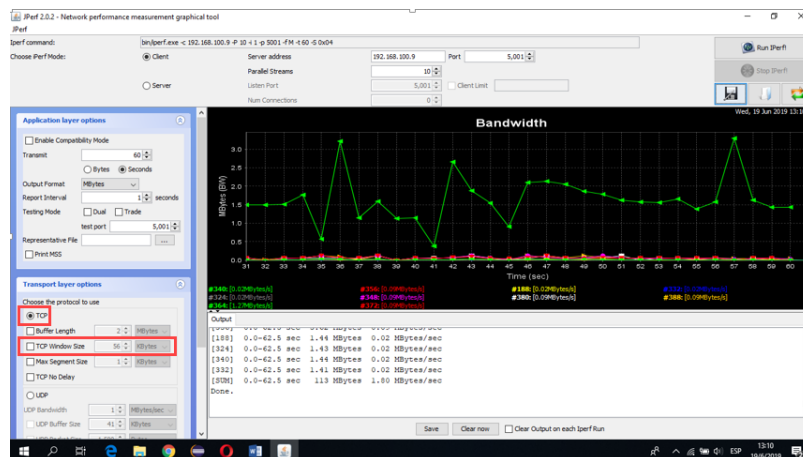


Figura 1-4: Ancho de banda en la RED_ESCENARIO_1 (“RED SOHO Ethernet (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)”), usando el Protocolo TCP con 10 Hilos.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

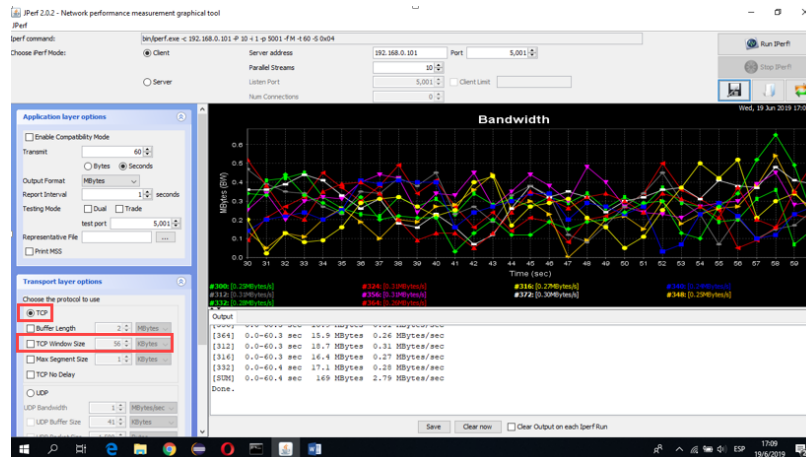


Figura 2-4: Ancho de banda en la RED_ESCENARIO_2 (“red SOHO PowerLine HomePlug AV2”), usando el Protocolo TCP con 10 Hilos.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

En la Tabla 1-4, se muestran los promedios de los resultados obtenidos luego de las transmisiones realizadas desde 10 equipos (hilos) que envían y reciben datos al mismo tiempo por el lapso de 1 minuto en las dos redes SOHO, con el protocolo TCP y una velocidad de 54Mbps.

Tabla 1-4 Promedios de transmisiones realizadas con 10 equipos en las dos redes con el protocolo TCP.

Parámetros					Indicadores (Resultados)	
Paralel Streams	Velocidad	Duración de la Tx.	TIPO DE RED	PROTOCOLO	Ancho de banda Mbytes/sec	Throughput MBytes/sec
1 hilo	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	93,3	1,55
2 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	104	1,73
3 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	104	1,73
4 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	113	1,86
5 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	115	1,9
6 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	110	1,82
7 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	115	1,9
8 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	118	1,94
9 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	111	1,84
10 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	113	1,86
Promedio Protocolo TCP: RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))					109,63	1,813

1 hilo	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	162	2,69
2 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	179	2,98
3 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	168	2,8
4 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	175	2,92
5 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	164	2,73
6 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	180	2,97
7 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	107	1,77
8 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	186	3,09
9 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	154	2,54
10 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo TCP	169	2,79
Promedio protocolo TCP: RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))					164,40	2,146

Fuente: jPerf 2.0.2.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

4.1.1.1. Análisis del KPI “Ancho de banda” y “Throughput” con el protocolo TCP en las 2 redes.

Sumamos los promedios de la columna indicadores de la Tabla 1-4, con lo cual obtenemos como resultado la Tabla 2-4.

Tabla 2-4 Promedio total de los KPI's utilizando el protocolo TCP en los dos escenarios.

Protocolo TCP	Ancho de banda MBytes/sec	Throughput MBytes/sec
TCP Escenario 1: (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b))	109,630	1,813
TCP Escenario 2: (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	164,400	2,146

Fuente: jPerf 2.0.2.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

En el Grafico 1-4, se muestran los datos de la Tabla 2-4 en forma gráfica.

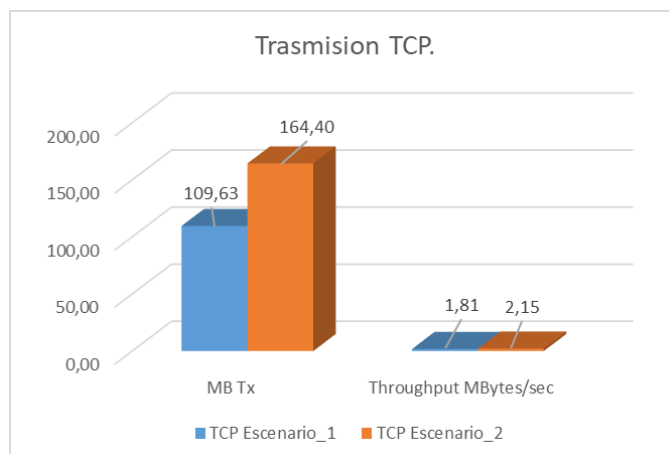


Grafico 1-4: Comparación de cantidad de MBytes transmitidos (ancho de banda) y *Throughput*, con *TCP*, en los dos escenarios.

Fuente: Excel 2016.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

Se puede observar que la cantidad de Mbytes transmitidos y el *Throughput* son mayores para la red Escenario 2: (Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b)), No obstante, es necesario determinar si esta diferencia es estadísticamente significativa. Para ello, en el apartado: **4.1.3. Análisis estadístico con el programa SPSS**, se hará el estudio adecuado.

4.1.2. Resultado utilizando el protocolo UDP (Protocolo de Datagramas de Usuario).

El protocolo UDP, ofrece mayor velocidad de transmisión ya que no realiza ningún tipo de verificación en la recepción de los paquetes. Mediante el protocolo *UDP* obtenemos datos de métricas o indicadores como:

- Ancho de Banda en MBytes/sec.
- *Throughput* en MBytes/sec.
- *Jitter* en ms.
- Datagramas perdidos.
- Datagramas enviados.
- Porcentaje de paquetes perdidos.

Para el protocolo *UDP* utilizamos como parámetro el $TTL = 128$, obtenido del comando "*Ping*", y la velocidad de la red WiFi (IEEE 802.11b) de 54Mbps. Ya que la velocidad está dada en Mbps tenemos que transformarlo a Bytes:

54Mbps,

1 Byte = 8bits,

$54/8 = 6.75$ -----> (convertimos de bits a Bytes).

Redondeamos al inmediato superior y obtenemos: 7 MBytes/s, este valor lo ponemos en *UDP bandwidth*, como se muestran los resultados en las Figuras 3-4 y 4-4.

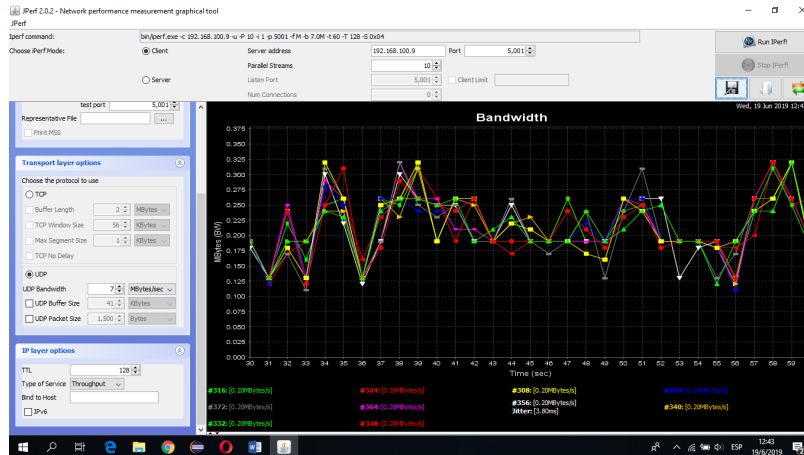


Figura 3-4: Ancho de banda, en la **RED_ESCENARIO_1** (“*RED SOHO ETHERNET (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)*”), usando el **Protocolo UDP** con 10 Hilos.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

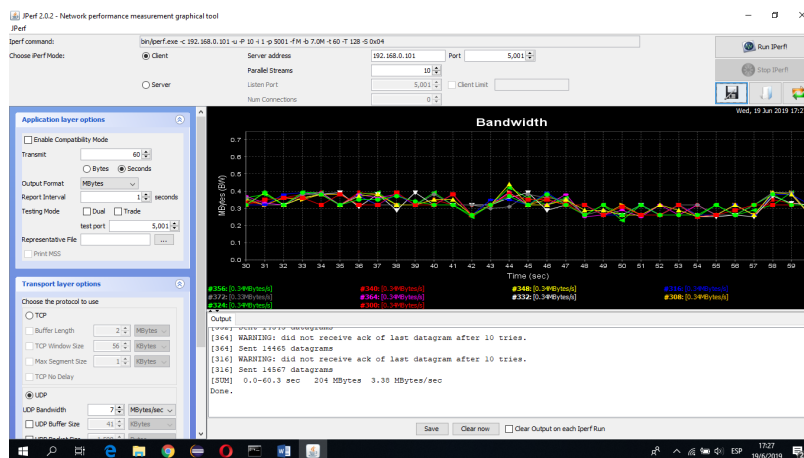


Figura 4-4: Ancho de banda en la **RED_ESCENARIO_2** (“*red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b)*”), usando el **Protocolo UDP** con 10 Hilos.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

En la Tabla 3-4, se muestran los promedios de las transmisiones realizadas desde 10 equipos en las dos redes con el protocolo *UDP*, con una velocidad de 54Mbps por un tiempo de 1 minuto cada transmisión ejecutada al mismo tiempo.

Tabla 3-4 Promedios de transmisiones realizadas con 10 equipos en las dos redes con el protocolo *UDP*.

Paralel Streams	Velocidad	Duración de la Tx.	Parámetros		Indicadores (Resultados)					
			TIPO DE RED	PROTOCOLO	Ancho de banda MBytes/sec	Throughput MBytes/sec	Jitter (ms).	Datagramas perdidos	Datagramas enviados	(%) Paquetes perdidos
1 hilo	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	50,1	0,83	0,921	2	35707	0,01%
2 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	49,9	0,83	1,141	3	35632	0,01%
3 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	39,7	0,66	1,61	1260	29593	4,30%
4 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	30,9	0,51	5,918	3646	25676	14%
5 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	23,9	0,4	9,986	89	17141	0,52%
6 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	18,7	0,31	6,334	1287	14624	8,80%
7 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	15,2	0,25	18,247	1416	12254	12%
8 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	14,8	0,25	7,255	1411	11955	12%
9 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	14,8	0,25	3,939	0	10527	0%
10 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	12,1	0,2	3,798	28	8634	0,32%
Promedio Protocolo UDP: RED_ESCENARIO_1. (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) combinada con WiFi (IEEE 802.11b))					27,01	0,418	5,915	914,2	20174,3	0,45%
1 hilo	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	50,1	0,84	0,629	0	35716	0%
2 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	49,9	0,83	1,043	149	35710	0,42%
3 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	44,8	0,75	1,114	1792	33745	5,30%
4 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	41,6	0,69	3,28	3233	32895	9,80%
5 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	37,7	0,63	4,937	2122	29047	7,30%
6 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	16,5	0,27	8,467	6771	18518	37%
7 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	13,3	0,22	9,08	7079	16537	43%
8 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	11,7	0,19	9,35	6120	14433	42%
9 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	15,3	0,25	9,736	3478	14419	24%
10 hilos	54Mbps	60 sec.	RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	Protocolo UDP	9,07	0,15	9,325	8097	14567	56%
Promedio Protocolo UDP: RED_ESCENARIO_2. (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))					28,99	0,482	5,69	3884,1	24558,7	1,58%

Fuente: jPerf 2.0.2.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

4.1.2.1. Análisis del KPI “Ancho de banda”, “Throughput”, y “Jitter” con el protocolo UDP en las 2 redes.

Mediante la sumatoria de los promedios de la columna indicadores de la Tabla 3-4, obtenemos como resultado la Tabla 4-4.

Tabla 4-4 Promedio total de los *KPI's* utilizando el protocolo *UDP* en los dos escenarios.

Protocolo UDP	Ancho de banda MBytes/sec	Throughput MBytes/sec	Jitter (ms)
Escenario 1: Red SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)	27,01	0,41	5,91
Escenario 2: Red SOHO <i>PowerLine HomePlug AV2</i> con WiFi (IEEE 802.11b)	28,99	0,48	5,69

Fuente: jPerf 2.0.2.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

En el Grafico 6-4, se muestran los datos de la Tabla 4-4 en forma gráfica.

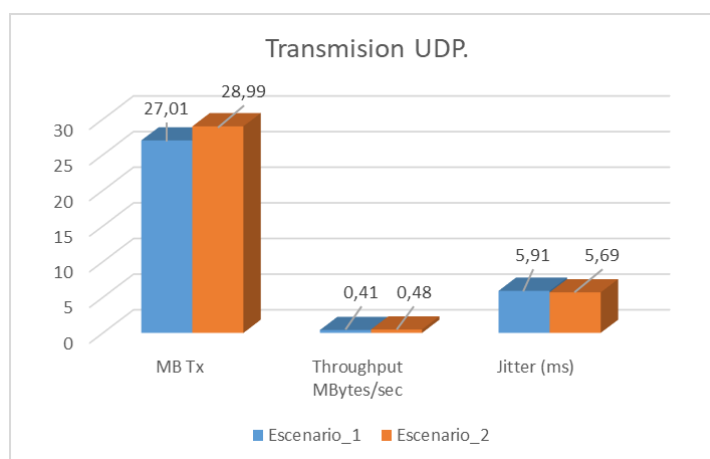


Grafico 2-4: Comparación de cantidad de MBytes transmitidos con *UDP*, *Throughput* y *Jitter*, en los dos escenarios.

Fuente: Excel 2016.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

Se puede observar que es mayor la cantidad de MBytes transmitidos y el *Throughput*, usando el protocolo *UDP* para el escenario 2 (Red *SOHO PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b)). Mientras que el *Jitter* es superior para el escenario 1 (Red *SOHO Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)), lo cual es un punto a favor de *PowerLine Communications*. Por lo que se realizará un análisis estadístico más adelante en el apartado: **4.1.3. Análisis estadístico con el programa SPSS**, para sustentar estos resultados.

4.1.2.2. Análisis del porcentaje de paquetes perdidos con el protocolo *UDP* en las 2 redes.

Igualmente sumamos los promedios de la columna indicadores (% paquetes perdidos) de la Tabla 3-4, con lo cual obtenemos como resultado la Tabla 5-4.

Tabla 5-4 Promedio total del porcentaje de paquetes perdidos, utilizando el protocolo UDP en los dos escenarios

Escenarios	% de paquetes perdidos.
% Paquetes perdidos UDP Escenario 1: (Red SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b))	0,45%
% Paquetes perdidos UDP Escenario 2: (Red SOHO <i>PowerLine HomePlug AV2</i> con WiFi (IEEE 802.11b))	1,58%

Fuente: jPerf 2.0.2.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

En el Grafico 3-4, se muestran los datos de la Tabla 5-4 en forma gráfica.

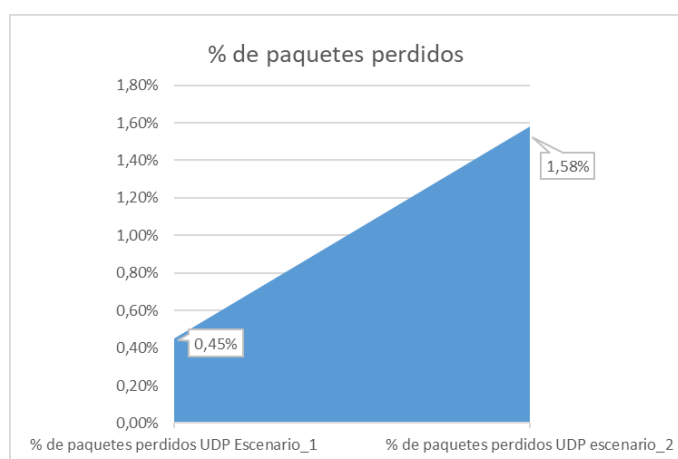


Grafico 3-4: Comparación del porcentaje de paquetes perdidos para los dos escenarios.

Fuente: Excel 2016.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

Según nos muestra el Grafico 3-4, el porcentaje de paquetes perdidos es mayor en la red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b), lo que podría significar una desventaja para la tecnología *PowerLine Communications*, recurriremos al análisis estadístico para saber si esta diferencia es significativa o no.

A continuación, realizaremos un análisis por cada escenario 1 y 2, de los indicadores obtenidos con el protocolo *UDP*: Datagramas perdidos y Datagramas enviados, ya que resulta más fácil de comprender la comparación entre estos indicadores por separado.

4.1.2.3. *Análisis del KPI “Datagramas enviados Vs Datagramas perdidos”, con el protocolo UDP en el escenario 1: Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b).*

De la sumatoria de los promedios de la columna indicadores (Datagramas enviados y Datagramas perdidos) utilizando el protocolo *UDP* en el Escenario 1: Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)), de la Tabla 3-4, obtenemos la Tabla 6-4.

Tabla 6-4 Promedio total de los *KPI*'s: Datagramas enviados y Datagramas perdidos, utilizando el protocolo *UDP* en el Escenario 1: Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)).

Escenarios	Datagramas perdidos	Datagramas enviados
UDP Escenario 1: (Red SOHO <i>Ethernet</i> (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b))	914,2	20174,3

Fuente: Excel 2016.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

En el Grafico 4-4, se muestran los datos de la Tabla 6-4 en forma gráfica.

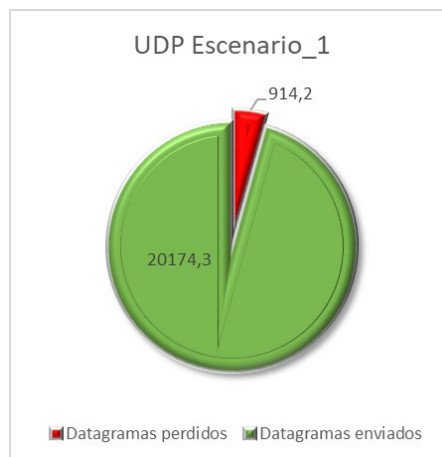


Grafico 4-4: Datagramas enviados en comparación a datagramas perdidos, utilizando el protocolo *UDP* en el escenario 1: Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)).

Fuente: Excel 2016.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

Realizando una regla de tres, podríamos decir que:

Si 201743 es el 100%

9142 equivale a ¿%?.

$$(9142 \cdot 100) / (201743) = 4,53\%$$

La cantidad de paquetes perdidos con respecto a paquetes enviados correspondería al 4,53% para la red del escenario 1: Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)), utilizando el protocolo *UDP*.

4.1.2.4. Análisis del KPI “Datagramas enviados Vs Datagramas perdidos” con el protocolo UDP en el escenario 2: (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b)).

Sumando los promedios de la columna indicadores (Datagramas enviados y Datagramas perdidos) utilizando el protocolo UDP en el Escenario 2: (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b)), de la Tabla 3-4, como resultado obtenemos la Tabla 7-4.

Tabla 7-4 Promedio total de los KPI’s: Datagramas enviados y Datagramas perdidos, utilizando el protocolo UDP en el Escenario 2: (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b)).

Escenarios	Datagramas perdidos	Datagramas enviados
UDP escenario 2: (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	3884,1	24558,7

Fuente: Excel 2016.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

En el Grafico 5-4, se muestran los datos de la Tabla 7-4 en forma gráfica.

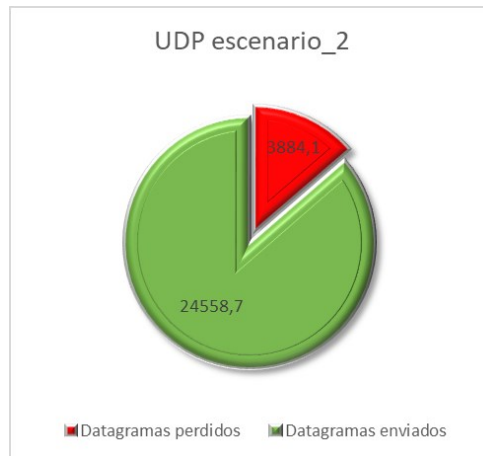


Grafico 5-4: Datagramas enviados en comparación a datagramas perdidos, utilizando el protocolo UDP en el escenario 2: (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b)).

Fuente: Excel 2016.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

Igualmente, con una regla de tres, podríamos decir que:

Si 245587 es el 100%

38841 equivale a ¿%?.

$$(38841*100) / (245587) = 15,86\%$$

La cantidad de paquetes perdidos con respecto a paquetes enviados correspondería al 15.86% para la red Escenario 2: (Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b)), utilizando el protocolo *UDP*.

El porcentaje de paquetes perdidos es mayor (15.86%), para la red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b) en comparación al porcentaje de paquetes perdidos (4.53%) de la red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b). Lo cual podría significar una desventaja para la red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b). Lo cual comprobaremos en el análisis estadístico a continuación.

4.1.3. Análisis estadístico con el programa SPSS

En esta sección realizaremos un análisis estadístico con el programa *SPSS*, ya que, si bien existe diferencia entre los promedios de los indicadores de las dos redes, es necesario saber si esta diferencia es estadísticamente significativa, para lo que se debe realizar una prueba de hipótesis.

La comparación de medias entre dos grupos independientes se lleva a cabo mediante el test denominado T de *Student*, y se aplica en nuestro caso ya que tenemos solo dos categorías: Red_Escenario_1: (Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)) y Red_Escenario_2: (Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b)). También la cantidad de datos de los indicadores mostrados en las tablas 1-4 y 3-4, son menores a 30, a las cuales se les hará un análisis por separado.

4.1.3.1. Prueba de normalidad para los indicadores obtenidos con los dos protocolos (TCP y UDP), en los dos escenarios.

Para el análisis de normalidad, primero se define la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1):

- H_0 : Los datos analizados siguen una distribución normal.
- H_1 : Los datos analizados no siguen una distribución normal.

Con el software *SPSS*, realizamos la prueba de normalidad: *Kolmogorov-Smirnov* o *Shapiro Wilk*, de los indicadores descritos en las tablas 1-4 y 3-4, para los dos protocolos *TCP* y *UDP* en las 2

redes SOHO descritos en los escenarios 1 y 2, para determinar si existe una distribución normal. Los resultados se muestran en la Figura 5-4.

Pruebas de normalidad

TECNOLOGIA		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ANCHO_DE_BANDA_TCP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	,220	10	,186	,879	10	,127
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	,257	10	,060	,775	10	,007
ANCHO_DE_BANDA_UDP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	,213	10	,200*	,845	10	,051
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	,267	10	,042	,830	10	,034
THROUGHPUT_TCP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	,224	10	,167	,867	10	,093
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	,241	10	,104	,795	10	,013
THROUGHPUT_UDP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	,215	10	,200*	,844	10	,049
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	,269	10	,039	,830	10	,033
JITTER	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	,199	10	,200*	,851	10	,060
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	,261	10	,051	,817	10	,024
DATAGRAMAS_ENVIADO_S_UDP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	,213	10	,200*	,863	10	,084
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	,235	10	,123	,801	10	,015
DATAGRAMAS_PERDIDO_S_UDP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	,261	10	,052	,769	10	,006
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	,176	10	,200*	,920	10	,358
LATENCIA	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	,287	10	,019	,798	10	,014
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	,231	10	,139	,888	10	,161

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 5-4: Resultado de la prueba de normalidad con SPSS.

Fuente: Programa SPSS.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

Como se puede apreciar en la columna “Sig” (Significancia, o P-Valor) en ambas pruebas hay datos que no son mayores a 0.05 (nivel de significancia del 5%). Esto nos demuestra que los datos de la variable cuantitativa en los grupos que se comparan y la homogeneidad de varianzas en las poblaciones de las que proceden los grupos, “no” siguen una distribución normal. Por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta H_1 : “Los datos analizados no siguen una distribución normal”.

Por lo tanto, debemos realizar otro análisis de la relación entre estas variables, optando por pruebas estadísticas no paramétricas. Se pueden elegir entre varios tipos de prueba, siendo la más

común la “U de Mann-Whitney”, que es una excelente alternativa a la prueba T sobre diferencia de medias cuando:

- 1) No se cumplen los supuestos en los que se basa la prueba T (normalidad¹⁴ y homocedasticidad¹⁵) o,
- 2) No es apropiado utilizar la prueba T porque el nivel de medida de los datos es ordinal.

Se realiza a continuación una comparación estadística con la prueba U de Mann-Whitney, planteándonos la siguiente hipótesis:

- H₀: No existen diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores de desempeño de redes SOHO.
- H₁: Existen diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores de desempeño de redes SOHO.

Aplicamos esta prueba a las Tablas 1-4 y 3-4, utilizando el programa SPSS, la salida de la prueba U de Mann-Whitney se muestra en las Figura 6-4.

Estadísticos descriptivos					
	N	Media	Desv. Desviación	Mínimo	Máximo
ANCHO_DE_BANDA_TCP	20	1,3702E+002	3,24116E+1	9,33E+001	1,86E+002
ANCHO_DE_BANDA_UDP	20	2,8004E+001	1,56352E+1	9,07E+000	5,01E+001
THROUGHPUT_TCP	20	2,2295E+000	5,25562E-1	1,55E+000	3,00E+000
THROUGHPUT_UDP	20	4,6550E-001	2,61141E-1	1,50E-001	8,40E-001
JITTER	20	5,8055E+000	4,48517E+0	6,29E-001	1,82E+001
DATAGRAMAS_ENVIADOS_UDP	20	2,2366E+004	1,00544E+4	8,63E+003	3,57E+004
DATAGRAMAS_PERDIDOS_UDP	20	2,3991E+003	2,66244E+3	0,00E+000	8,10E+003
LATENCIA	20	1,3839E+001	1,72009E+1	0,00E+000	5,60E+001
TECNOLOGIA	20	2,50	,513	2	3

Figura 6-4: Resultado de la prueba de Mann-Whitney.

Fuente: Programa SPSS.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

Tras hacer un pequeño resumen de los casos procesados a través de sus estadísticos descriptivos (tamaño muestral (N), media, desviación típica (Desv.) y valores mínimo y máximo), el programa procesa la información contenida en la variable cuantitativa en cada grupo, y calcula varios estadísticos de contraste. Como se muestra en la Figura 7-4.

¹⁴ La variable cuantitativa debe distribuirse según la Ley Normal en cada uno de los grupos que se comparan (CRITERIO DE “NORMALIDAD”)

¹⁵ Las varianzas de la distribución de la variable cuantitativa en las poblaciones de las que provienen los grupos que se comparan deben ser homogéneas (CRITERIO DE HOMOCEDASTICIDAD).

Prueba de Mann-Whitney **Rangos**

	TECNOLOGIA	N	Rango promedio	Suma de rangos
ANCHO_DE_BANDA_TCP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	6,20	62,00
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	14,80	148,00
	Total	20		
ANCHO_DE_BANDA_UDP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	10,50	105,00
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	10,50	105,00
	Total	20		
THROUGHPUT_TCP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	6,20	62,00
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	14,80	148,00
	Total	20		
THROUGHPUT_UDP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	10,55	105,50
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	10,45	104,50
	Total	20		
JITTER	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	10,50	105,00
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	10,50	105,00
	Total	20		
DATAGRAMAS_ENVIADOS_UDP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	8,90	89,00
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	12,10	121,00
	Total	20		
DATAGRAMAS_PERDIDOS_UDP	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	7,35	73,50
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	13,65	136,50
	Total	20		
LATENCIA	RED_ESCENARIO_1: (red SOHO Ethernet IEEE 802.3 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	8,15	81,50
	RED_ESCENARIO_2: (red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b))	10	12,85	128,50
	Total	20		

Figura 7-4: Resultado de la prueba de Mann-Whitney.

Fuente: Programa SPSS.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

Lo que debemos interpretar es la Sig. Asintótica (bilateral), que se muestra en la Figura 8-4.

Estadísticos de prueba ^a									
	ANCHO_DE_BANDA_TCP	ANCHO_DE_BANDA_UDP	THROUGHPUT_UT_TCP	THROUGHPUT_UT_UDP	JITTER	DATAGRAMA S_ENVIADOS_UDP	DATAGRAMA S_PERDIDO_S_UDP	LATENCIA	
U de Mann-Whitney	7,000	50,000	7,000	49,500	50,000	34,000	18,500	26,500	
W de Wilcoxon	62,000	105,000	62,000	104,500	105,000	89,000	73,500	81,500	
Z	-3,254	,000	-3,254	-,038	,000	-1,209	-2,382	-1,778	
Sig. asintótica(bilateral)	,001	1,000	,001	,970	1,000	,226	,017	,075	
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,000 ^b	1,000 ^b	,000 ^b	,971 ^b	1,000 ^b	,247 ^b	,015 ^b	,075 ^b	
Sig. Monte Carlo (bilateral)	Sig.	,000 ^c	1,000 ^c	,000 ^c	1,000 ^c	1,000 ^c	,300 ^c	,050 ^c , ,150 ^c	
	Intervalo de confianza al 95%								
	Limite inferior	,000	,861	,000	,861	,861	,099	,000	
	Limite superior	,139	1,000	,139	1,000	1,000	,501	,146	
Sig. Monte Carlo (unilateral)	Sig.	,000 ^c	,450 ^c	,000 ^c	,350 ^c	,400 ^c	,250 ^c	,000 ^c , ,100 ^c	
	Intervalo de confianza al 95%								
	Limite inferior	,000	,232	,000	,141	,185	,060	,000	
	Limite superior	,139	,668	,139	,559	,615	,440	,139	

a. Variable de agrupación: TECNOLOGIA
b. No corregido para empates.
c. Se basa en 20 tablas de muestras con una semilla de inicio 1993510611.

Figura 8-4: Resultado de la prueba de Mann-Whitney.

Fuente: Programa SPSS.

Screenshot por: Velasco Cristian, 2020.

Que en nuestro caso para los indicadores:

- Ancho de banda TCP, vale 0.001. es menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0).
- *Throughput TCP*, tiene un valor de 0.001, y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H_0) por ser un valor menor a 0.05.
- Datagramas Perdidos UDP, vale 0,017 y lleva a concluir que se rechaza la hipótesis nula (H_0), por ser menor a 0.05.
- Para el resto de indicadores aceptamos la hipótesis nula H_0 : “No existen diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores de desempeño de redes SOHO”.

4.2. Discusión de los resultados Finales

Para la discusión de los resultados finales, comparamos los resultados finales juntamente con la aceptación o rechazo de la hipótesis nula. Ver la Tabla 8-4.

Tabla 8-4 Comparativa de los resultados analizados estadísticamente.

Redes	Protocolos	Ancho de Banda (MBytes)	Throughput (MBytes)	% Paquetes perdidos	Jitter (ms)
Red Escenario 1: (Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)).	TCP	109,63 Se Acepta H_1	1,81 Se Acepta H_1	-----	-----
	UDP	27,01 Se Acepta H_0	0,41 Se Acepta H_0	0,45 Se Acepta H_0	5,91 Se Acepta H_0
Red Escenario 2: (Red SOHO PowerLine HomePlug AV2 con WiFi (IEEE 802.11b)).	TCP	164,4 Se Acepta H_1	2,14 Se Acepta H_1	-----	-----
	UDP	28,99 Se Acepta H_0	0,48 Se Acepta H_0	1,58 Se Acepta H_0	5,69 Se Acepta H_0

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

Hipotesis: H₀: “No existen diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores de desempeño de redes SOHO”,

H₁: “Existen diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores de desempeño de redes SOHO”.

Indicadores:

- **Ancho de banda.**

- Con la estadística aplicada, al aceptar H₁ se demuestran que para el protocolo *TCP*, la tecnología *PowerLine HomePlug AV2* si es una alternativa a *Ethernet* (IEEE 802.3), ambas con WiFi (IEEE 802.11b), para mejorar el desempeño de redes SOHO. Ya que la cantidad de MBytes transmitidos es mayor con la red *PowerLine*.
- Mientras que para el protocolo *UDP*, la cantidad de MBytes transmitidos con la tecnología *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi es mayor, aunque estadísticamente no existan diferencias significativas.

- **Throughput.**

- Comparando los datos de *TCP*, se puede notar que con la tecnología *PowerLine HomePlug AV2* se obtiene un mayor uso real del canal de transmisión, y la estadística nos demuestra al aceptar H₁ que si existen diferencias significativas para mejorar el desempeño de redes SOHO.
- Mientras que para el protocolo *UDP*, el uso real del canal de transmisión es mayor con la tecnología *PowerLine HomePlug AV2*, aunque estadísticamente no existan diferencias significativas.

- **Porcentaje de paquetes perdidos.**

- Dado que la herramienta nos entrega este valor solo para el protocolo *UDP*, el promedio es mayor con la tecnología *PowerLine HomePlug AV2*, pero la estadística, al aceptar H₀ nos indica que no existen diferencias significativas.

- **Jitter.**

- En el protocolo *UDP*, el promedio con la tecnología *PowerLine HomePlug AV2*, es menor y estadísticamente al aceptar H₀ se demuestra que no existen diferencias significativas.

4.3. Comprobación con la hipótesis de la tesis

Con la aplicación de la estadística por medio de la aplicación SPSS, se demuestra que: El uso de la tecnología *PowerLine HomePlug AV2*, “**si**”, es una alternativa a *Ethernet* (IEEE 802.3), ambas con WiFi (IEEE 802.11b), para mejorar el desempeño de redes SOHO.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

Como propuesta del presente trabajo de investigación se realiza una guía para la implementación de una red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con la respectiva configuración de los dispositivos *PLC's* adaptador y extensores para que funcionen como *AP's* con WiFi (IEEE 802.11b).

5.1. Guía de implementación y configuración de una red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b)”

Anteriormente en el Capítulo II, en el apartado 2.2.6. “*Kit PLC HomePlug AV2 de ‘TPlink’ a utilizarse en el caso de estudio*”, Se detalla y estudia el *Kit* TP-Link TL-WPA4220KIT que consta de 1 adaptador y 2 extensores, donde el *PLC* adaptador cuenta con un puerto RJ45, mientras que los *PLC's* extensores tienen dos puertos RJ45, para conexión a los dispositivos de red LAN Ethernet 802.3. Los repetidores también implementan WiFi (IEEE 802.11b). Específicamente el puerto LAN del *PLC* adaptador se conectará a un puerto LAN del *modem ADSL* con un cable UTP Cat.5e. La Figura 1-5, muestra un ejemplo de las conexiones mencionadas anteriormente.

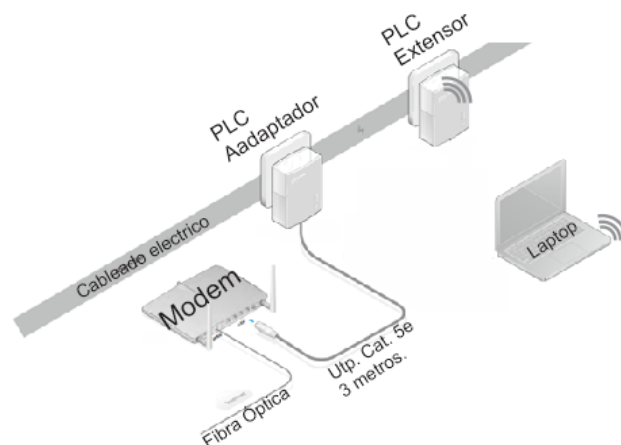


Figura 1-5: Ejemplo de conexiones de la red SOHO *PowerLine HomePlug AV2*.

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/support/download/tl-wpa4220kit/>

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

Para utilizar los dispositivos *PLC's* (Adaptador y Extensor), primeramente, debemos emparejarlos o hacer que se reconozcan entre sí, para que puedan operar con éxito, para lograrlo seguimos el siguiente procedimiento.

5.1.1. Emparejamiento de los dispositivos

- a) Conectamos a un tomacorriente el *PLC* adaptador y si es posible en el mismo tomacorriente conectamos el *PLC* extensor, la idea es que tengamos cerca los dispositivos para poder manipularlos. El sentido hacia arriba o hacia abajo, en que se conecte en la pared no afecta el comportamiento del dispositivo como se muestra en la Figura 2-5.

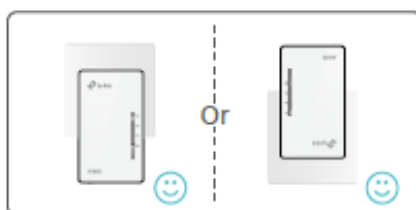


Figura 2-5: Sentido de conexión a la pared.

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/support/download/tl-wpa4220kit/>

En la Figura 3-5, indicamos que se debe enchufar el dispositivo directamente en un tomacorriente de la pared en lugar de una regleta de alimentación para evitar pérdidas de la señal ya que la regleta tiene filtros para regular la corriente eléctrica.

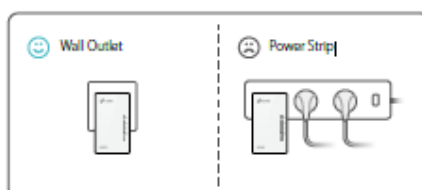


Figura 3-5: Conexión correcta.

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/support/download/tl-wpa4220kit/>

- b) Una vez encendidos los dispositivos, presionamos el botón *Pair* en el *PLC* adaptador durante un segundo. El *LED* de *Power* comenzará a parpadear. Si el *LED* de *Power* no parpadea, se debe volver a presionar el botón *Pair*. Seguidamente o hasta dentro de dos minutos, presionamos el botón *Pair* en el *PLC* extensor o repetidor durante un segundo. El *LED* de *Power* comenzará a parpadear en el *PLC* extensor. Cuando el *LED* de *PowerLine* se enciende de forma continua, el proceso de emparejamiento se ha completado, este proceso se muestra en la Figura 4-5.

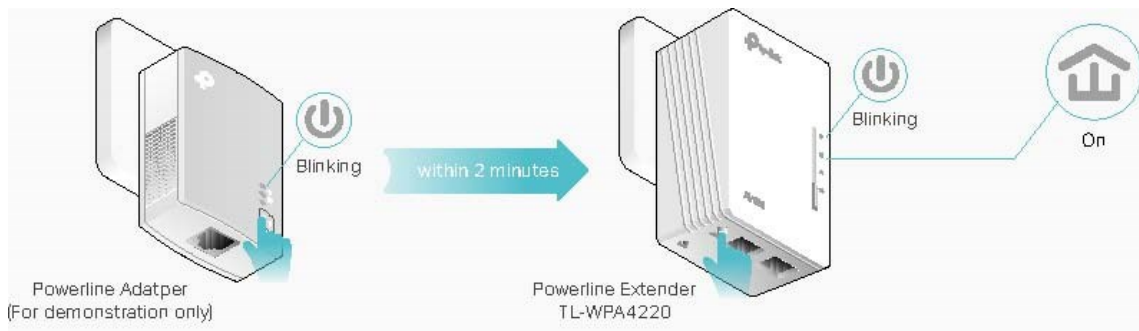


Figura 4-5: Emparejamiento de los *PLC*'s

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/support/download/tl-wpa4220kit/>

Repetimos el proceso para todos los *PLC*'s extensores que vamos a emplear en la Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2*.

Una vez emparejados los *PLC*'s extensores con su respectivo *PLC* adaptador, los dispositivos están listos para su uso y ya pueden funcionar en una red cableada o inalámbrica con las configuraciones por defecto de fábrica; En la Figura 5-5 se muestra un ejemplo de la utilización de los *PLC*'s adaptadores y extensores. Los adaptadores *PowerLine AV2* deben conectarse en la misma fase eléctrica y en grupos de dos o más.

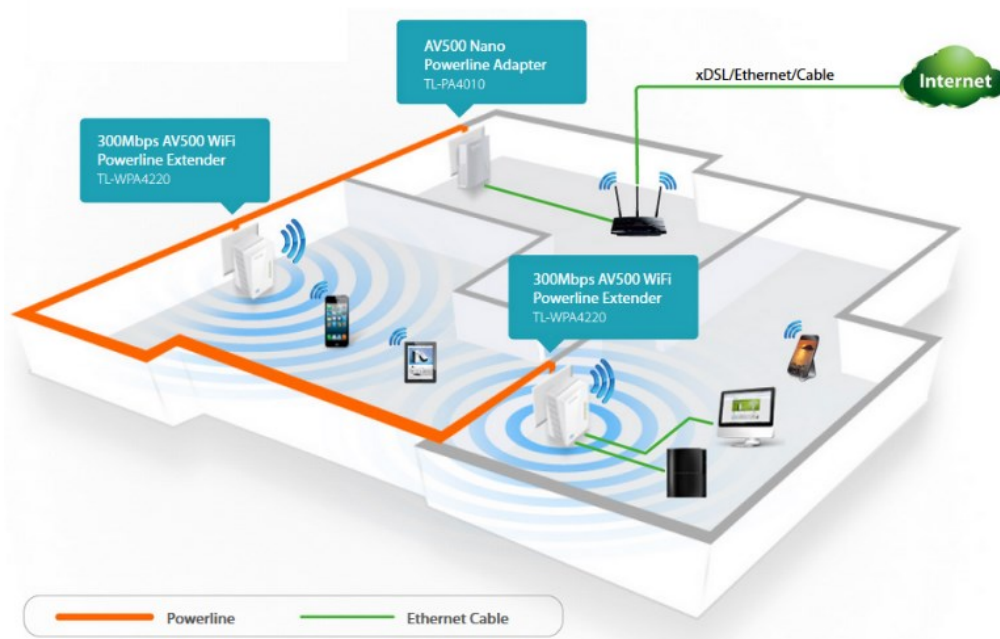


Figura 5-5: Red unificada doméstica

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa4220kit/>

En caso de tener 2 fases de corriente alterna (Fase 1 y Fase 2) y de necesitar que exista interconectividad entre dispositivos *PLC* extensores conectados en estas fases 1 y 2, se necesitará un *PLC* adaptador para cada fase conectados con un cable *UTP* al mismo *Modem* o *Switch*, con

los PLC's extensores respectivamente emparejados a cada PLC adaptador. Tal como se muestra en la Figura 6-5.

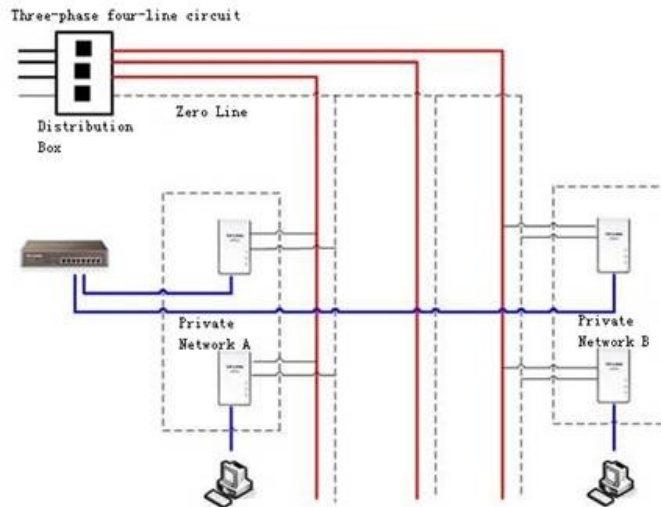


Figura 6-5: Funcionamiento en diferentes fases.

Fuente: <http://www.tp-link.ec/faq-406.html>

5.1.2. Configuración WiFi (IEEE 802.11b) en los PLC's extensores PowerLine HomePlug

A los PLC's extensores les asignaremos una dirección IP estática a cada uno, así: El PLC extensor 1, tendrá la dirección IP: 192.168.0.254 y el PLC extensor 2, tendrá la dirección IP: 192.168.0.255. La máscara de red será /24 (255.255.255.0), y la puerta de enlace: 192.168.0.1, que viene del enrutador o *modem* de CNT.

El DHCP estará activado para que los clientes que se conecten a la red *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b) se les asignen automáticamente la dirección IP, el rango de red es el 192.168.0.100/24, el número máximo de clientes será de 10 por ser una red SOHO.

El nombre de la red (SSID), *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b) será: RED_ESCENARIO_2, y como Clave: "PowerLine".

La función de WiFi viene activada por defecto en los PLC's extensores. En caso de que no esté activada esta función realizaremos el siguiente procedimiento:

- a) Presionamos el botón WiFi en el PLC extensor durante aproximadamente cinco segundos para activar la función inalámbrica como se muestra en la Figura 7-5. Una vez activado, el LED WiFi comenzará a parpadear.

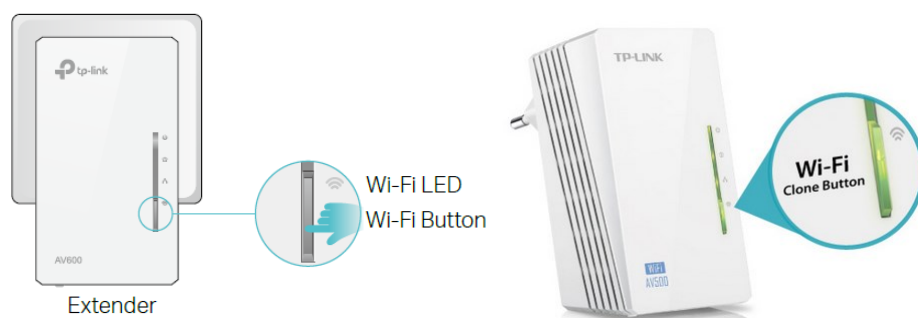


Figura 7-5: Botón de clonado WiFi y activación de la función *wireless*.

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/support/download/tl-wpa4220kit/>

Existen 3 métodos de configurar una red WiFi (IEEE 802.11b) con *PowerLine*, como se explica a continuación.

5.1.2.1. Método 1: Clonación de una Red WiFi (IEEE 802.11b) con *PowerLine HomePlug*

Los *PLC's* extensores del *Kit TL-WPA4220T KIT*, dispone de un botón de clonado, lo que significa que puede copiar automáticamente el nombre de la red WiFi (IEEE 802.11b) (SSID) y contraseña del enrutador inalámbrico proporcionada por el modem del ISP o de un *Switch Wireless*.

Lo primero que debemos hacer es:

- a) Conectar el extensor en un tomacorriente cercano al enrutador WiFi (IEEE 802.11b) que disponga de un botón WPS. (el modem Huawei de CNT si dispone).
- b) Presionamos el botón WPS en el modem Huawei como se muestra en la Figura 8-5.

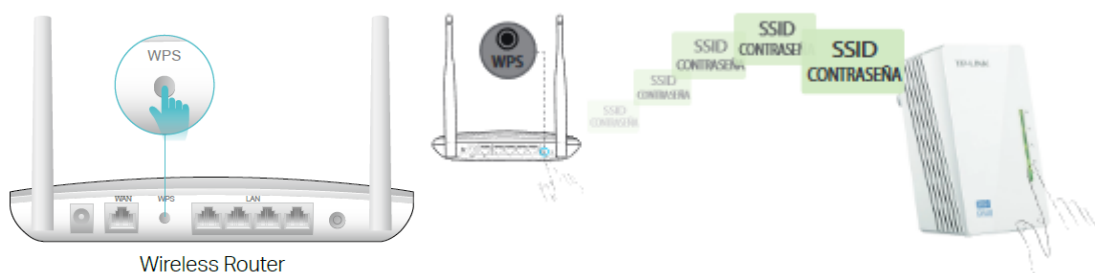


Figura 8-5: Conectar y usar con el botón clonar WiFi.

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa4220kit/>

- c) Antes que pasen dos minutos, presionamos el botón de WiFi en el panel frontal del extensor por un segundo. El *LED* de WiFi comienza a parpadear.
- d) Cuando el *LED* de WiFi parpadea rápidamente durante tres segundos y luego permanece encendido, el proceso de clonación de WiFi se ha completado.

Realizamos el mismo procedimiento para cada *PLC* extensor. Se ha copiado el *SSID* y la contraseña en estos, ahora podemos conectar el extensor *PowerLine* en un enchufe de cada departamento donde se desee acceso inalámbrico.

5.1.2.2. Método 2: Accediendo a la Interfaz gráfica de administración del PLC Extensor

El extensor dispone de una interfaz gráfica de administración para configurar todos los ajustes. La interfaz gráfica de administración se puede abrir en cualquier dispositivo (computadoras, laptops, smart phones) que dispongan de un navegador *Web*: *Internet Explorer*, *Chrome* o *Firefox*, *Opera*, etc.

Para configurar el extensor por medio de un navegador *Web*, seguiremos los pasos a descritos a continuación:

- a) Conectamos el computador por medio de un cable *Ethernet* al puerto RJ45 del *PLC* extensor *PowerLine*, o por medio del WiFi (IEEE 802.11b) del *PLC*.
- b) Ejecutamos un navegador *Web* y escribimos la siguiente dirección: **<http://tplinkplc.net>**, como se muestra en la Figura 9-5, para abrir la interfaz de administración. Nos solicitará un usuario y contraseña para acceder.

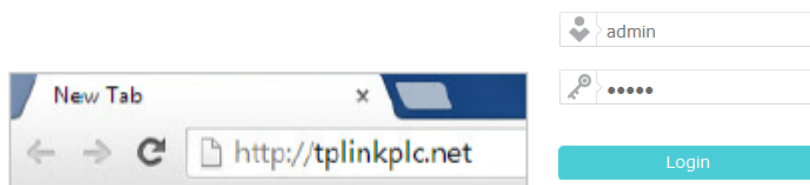


Figura 9-5: Dirección web e inicio de sesión para la interfaz de administración.

Fuente: <https://www.tp-link.com/es/support/download/tl-wpa4220kit/>

- c) Escribimos la palabra “***admin***”, para el nombre de usuario y también para la contraseña. Se recomienda cambiar estos valores predeterminados, después del primer inicio de sesión.
- d) Hacemos *click* en *Login*.
- e) Se mostrará una pantalla similar a la presentada en la Figura 10-5, que nos permitirá entre otras cosas, personalizar la configuración del dispositivo extensor.

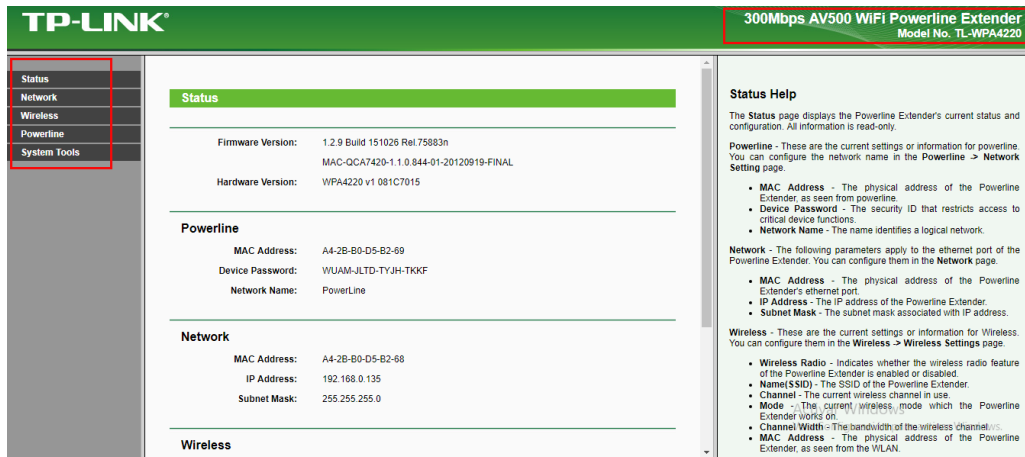


Figura 10-5: Pantalla de información de la configuración del *PLC* extensor seleccionado.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

Primeramente, debemos configurar la dirección *IP* que tendrá el *PLC* Extensor, para lo cual como se puede apreciar en la Figura 11-5, hacemos clic en *Network* y escribimos la dirección *IP*: 192.168.0.254, con mascarará: 255.255.255.0, para guardar los cambios hacemos *click* en *Save*.

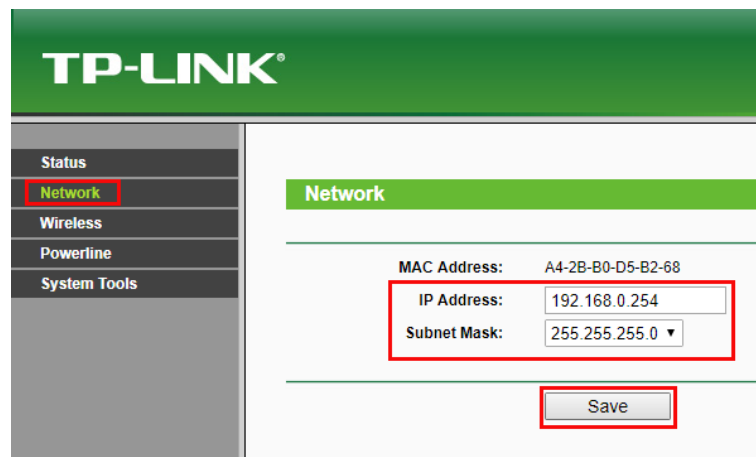


Figura 11-5: Pantalla de configuración de la dirección *IP* del extensor seleccionado.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

Configuramos el nombre de la red WiFi (IEEE 802.11b), Haciendo *click* en *Wireless* en el menú de la parte izquierda y se presentara una pantalla como la que se muestra en la Figura 12-5, cambiamos el *SSID* a RED_ESCENARIO_2, el canal a 8 y el modo a 11bgn *Mixed*, grabamos haciendo *click* en *Save*.



Figura 12-5: Configuración de WiFi (IEEE 802.11b) en el Extensor.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

Luego como podemos ver en la Figura 13-5, hacemos *click* en *Wireless Security* para cambiar o asignar una contraseña personalizada. Escogiendo la versión WPA2-PSK, con encriptación *AES* y en *PSK Password*: escribimos la clave “*PowerLine*”, luego grabamos haciendo *click* en el botón *Save*.

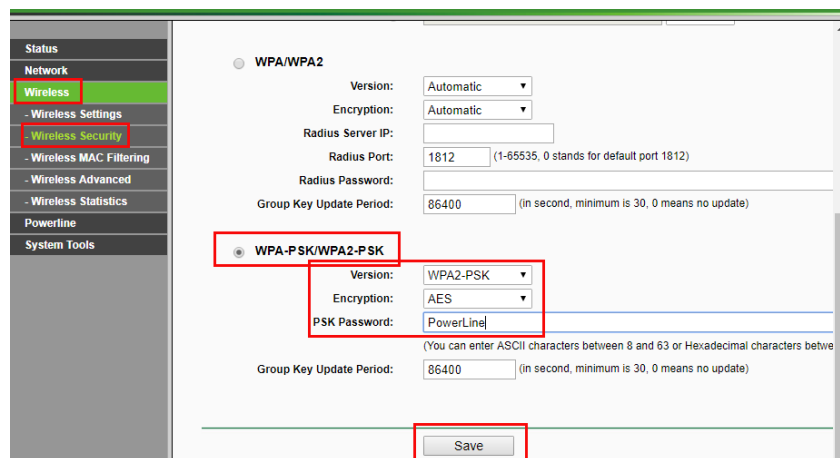


Figura 13-5: Personalizar la contraseña de la red WiFi (IEEE 802.11b) del *PLC* extensor.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

De esta manera tendremos configurados los extensores para su correcto funcionamiento como un punto de acceso WiFi (IEEE 802.11b).

En caso de presentarse problemas para acceder a la página de administración del *PLC* extensor, podemos solucionarlo siguiendo los siguientes pasos:

- a) Si la computadora está conectada directamente al *AP*, enrutador o modem, como se muestra en la Figura 14-5, ya sea por WiFi (IEEE 802.11b) o cable *UTP*, no se podrá acceder a la

página de administración del Extensor utilizando <http://tplink.net>, porque la página está alojada en la memoria del dispositivo extensor.



Figura 14-5: Conexión equivocada.

Fuente: <http://tplink.net/>

- b) La forma correcta de conexión para abrir la página de administración se muestra en la Figura 15-5. Conectando la computadora a la red WiFi (IEEE 802.11b) que emite el *PLC* extensor o por medio de un cable *UTP* desde el *PLC* extensor a la computadora.

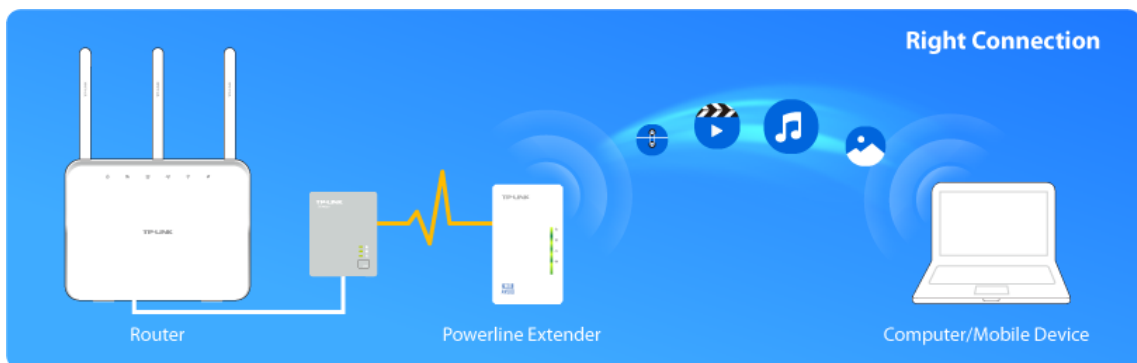


Figura 15-5: Conexión correcta.

Fuente: <http://tplink.net/>

- c) En caso de que los nombres de la red WiFi (IEEE 802.11b) sean los mismos (por ejemplo, *MyHome* en el *AP*, enrutador o modem y *MyHome* en el *PLC* extensor), se puede acceder a la página de administración utilizando el aplicativo “tp”; este es el siguiente método y se describe a continuación:

5.1.2.3. *Método 3: Acceso al PLC Extensor con las aplicaciones: “PowerLine Scan.exe” y “tpPLC”.*

Desde la página de soporte del producto en Internet: <http://www.tp-link.com>. Descargamos los archivos “PowerLineUtility.msi” y “PowerLine Scan.exe”, los cuales una vez guardados en el disco duro de la PC o Laptop, los instalamos, de esta manera se creará un acceso directo llamado: “tpPLC”. En la Figura 16-5, se muestran enmarcados en rojo, estos aplicativos que utilizaremos para la configuración de los PLC’s extensores.







 GPL License Terms.pdf	Fecha de modificación: 9/4/2018 1:30 Tamaño: 133 KB
 How to update the firmware of Powerline ac Adapters via web-based management int...	Fecha de modificación: 16/6/2016 4:06 Tamaño: 143 KB
 Powerline Scan.exe Tipo: Aplicación	Fecha de modificación: 15/6/2011 12:03 Tamaño: 1,91 MB
 PowerLineUtility.msi Tipo: Paquete de Windows Installer	Fecha de modificación: 3/1/2017 4:39 Tamaño: 11,7 MB
 tpPLC Tipo: Acceso directo	Fecha de modificación: 20/4/2019 17:33 Tamaño: 2,57 KB
 WPA4220(EU)1.0_update_1.2.9-20180509_beta_254.bin Tipo: Archivo BIN	Fecha de modificación: 9/5/2018 2:35 Tamaño: 651 KB

Figura 16-5: Aplicaciones para configurar los PLC’s extensores.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

Para configurar la red WiFi (IEEE 802.11b) en el PLC extensor con las aplicaciones proporcionado por el fabricante seguimos los pasos a continuación:

- Conectamos el computador al extensor a través del WiFi (IEEE 802.11b) del extensor.
- Ejecutamos el aplicativo “PowerLine Scan.exe”, se mostrará una pantalla similar a la Figura 17-5, en la cual se presentan todos los PLC’s extensores encontrados en la red.

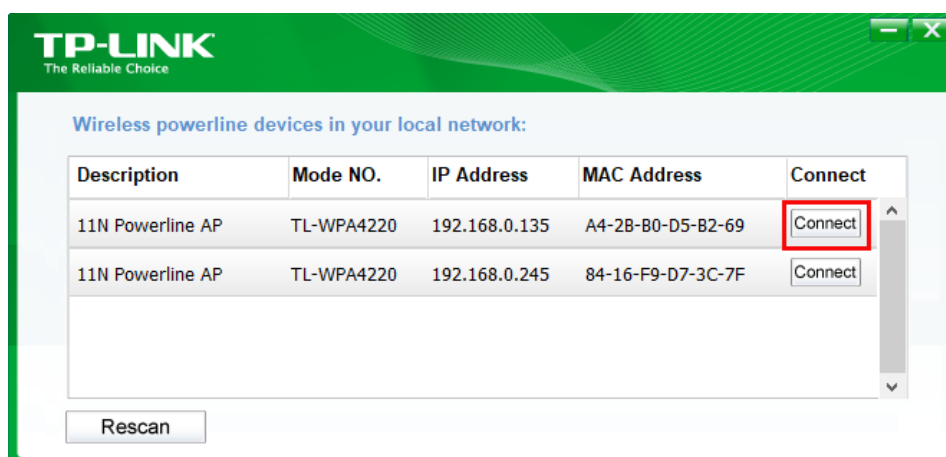


Figura 17-5: Aplicativo “PowerLine Scan.exe” en ejecución.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

- Nos ubicamos con el mouse sobre el extensor que queremos configurar y hacemos *click* en el ícono “Connect” que aparece al lado derecho. Se mostrará una ventana solicitando autenticarse, como se muestra en la Figura 18-5.

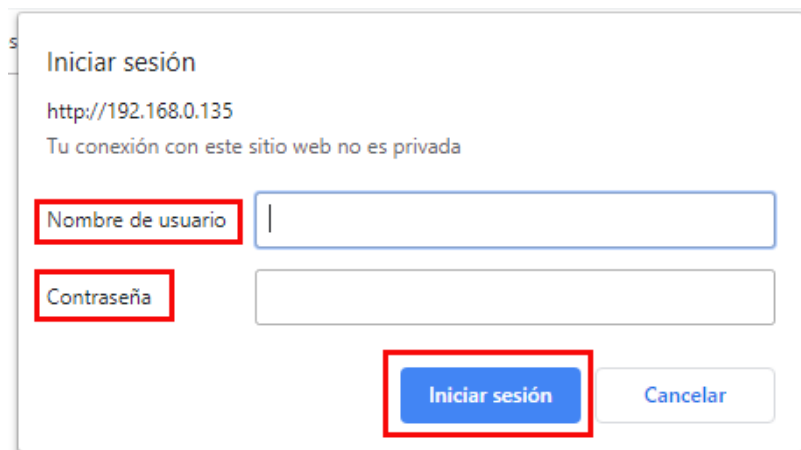


Figura 18-5: Ventana de logueo para acceso a la configuración del *PLC* extensor.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

- d) Ingresamos la palabra **admin** para el nombre de usuario y también para la contraseña.
- e) Hacemos *click* en “Iniciar sesión”.
- f) Continuamos desde el paso e) en “5.1.2.2. Método 2: Accediendo a la Interfaz gráfica de administración del *PLC* Extensor”.

En la Figura 19-5, utilizamos varios *PLC*'s extensores emparejados a un solo *PLC* adaptador, con la señal WiFi clonada y conectados en diferentes sitios de la casa, pero en la misma fase eléctrica la cual se utiliza como medio de transmisión.

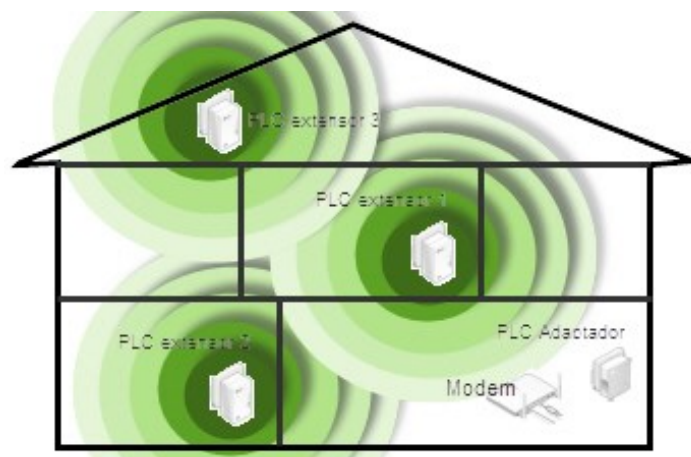


Figura 19-5: Red WiFi (IEEE 802.11b) con *PowerLine HomePlug AV2*.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

Mientras que en la figura 20-5, se muestran 2 redes PowerLine con 2 adaptadores funcionando en la misma Fase de corriente alterna de 110V. La señal WiFi (IEEE 802.11b) que provean los *PLC*'s

extensores será la señal del adaptador al que están emparejados, existiendo así 2 redes WiFi (IEEE 802.11b) diferentes.

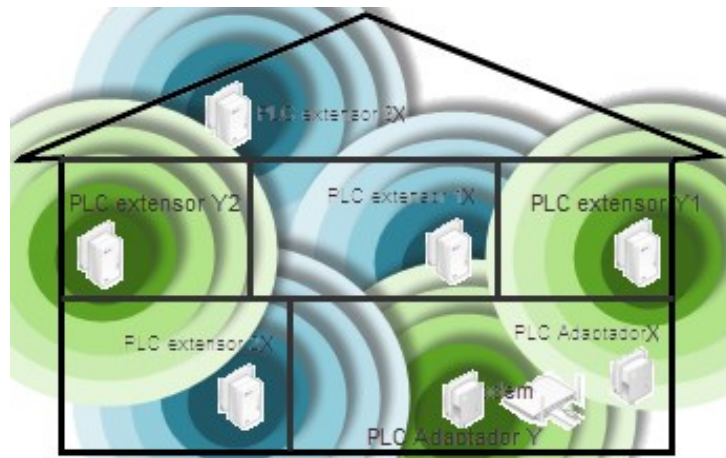


Figura 20-5: Dos redes WiFi (IEEE 802.11b) distintas con *PowerLine HomePlug AV2*.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

CONCLUSIONES

El desarrollo de la presente “Evaluación de la Tecnología *PowerLine HomePlug AV2* y *Ethernet* combinadas con IEEE 802.11b para mejorar el desempeño de redes SOHO”, devolvió las siguientes conclusiones:

- El estudio de las características, protocolos y dinámica de operación de la tecnología *PowerLine HomePlug AV2*, permitió identificar sus principales fortalezas en comparación a *Ethernet*; por ejemplo, el hecho de que esta tecnología puede alcanzar mayores velocidades y distancias, sobre el cableado eléctrico. En este sentido, se concluye que el esquema particular de capa física (*PHY*) y la modulación *OFDM* que utiliza *PowerLine HomePlug AV2*, mejora el rendimiento y aprovechamiento del ancho de banda sobre las líneas eléctricas.
- Se implementaron los ambientes de prueba propuestos; específicamente, una red SOHO mediante la tecnología *PowerLine HomePlug AV2* y una red SOHO mediante *Ethernet* IEEE 802.3, ambas en combinación con WiFi (IEEE 802.11b). Aquí se constató la facilidad de instalación de *PowerLine HomePlug AV2* ya que los dispositivos son *Plug and Play*, y la portabilidad que permite llevar la señal WiFi (IEEE 802.11b/n/g) a cualquier lugar donde haya un tomacorriente.
- Sobre los ambientes de prueba antes mencionados, se realizó, bajo las mismas condiciones de transmisión de información, mediciones de parámetros tales como: Ancho de Banda, *Throughput*, *Jitter* y paquetes perdidos. En términos generales se observó que *PowerLine HomePlug AV2* tuvo un mejor desempeño en comparación a *Ethernet*; sin embargo, no se logró alcanzar toda la velocidad teórica definida por el fabricante (300Mbps con WiFi). En las pruebas realizadas, el *throughput* más alto alcanzado es de 176 Mbps utilizando el protocolo *UDP*.
- Mediante el análisis estadístico se demostró que los indicadores: “Ancho de banda y *Throughput*”, siempre serán más altos con el protocolo *TCP* en la red constituida por dispositivos *PowerLine HomePlug AV2*, con respecto a la red *Ethernet* 802.3, ambas con WiFi (IEEE 802.11b). Mientras que para el protocolo *UDP*, aunque la estadística demuestra que no existen diferencias significativas en todos los indicadores de rendimiento considerados, la cantidad de MBytes transmitidos para los indicadores: “Ancho de banda y *Throughput*”, es mayor en la red *PowerLine HomePlug AV2*, en comparación a la red *Ethernet* 802.3 ambas con WiFi (IEEE 802.11b).

- De modo adicional, se demostró que la señal *PowerLine* en el cableado eléctrico es capaz de atravesar los medidores de energía; así los dispositivos pueden alcanzar una distancia máxima de sincronismo de 300 metros. En este ámbito, se comprobó que *PowerLine HomePlug AV2* ofrece seguridad, ya que los dispositivos *PLC*'s extensores se comunicaron exclusivamente con el *PLC* adaptador al cual estaban previamente emparejados, independientemente a qué fase de energía eléctrica estaban conectados.
- Se elaboró una guía de especificaciones técnicas para la implementación de una red *PLC*, de acuerdo a los estándares eléctricos ecuatorianos. En esta guía se indica cómo se debe realizar el emparejamiento de los 's adaptador y extensores y también la configuración de la red inalámbrica WiFi. Con un aporte para que el usuario pueda entender de la manera más sencilla y paso a paso todas las configuraciones necesarias para la instalación y funcionamiento de una red *PowerLine Home Plug AV2*.

RECOMENDACIONES

Producto del presente trabajo se presentan las siguientes recomendaciones:

- Implementar redes mixtas entre *PowerLine HomePlug AV2*, *Ethernet* IEEE 802.3 y WiFi (IEEE 802.11b/g/n), donde sea necesario. En esta tesis se realizó la comparación y se reveló las ventajas que tiene *PowerLine HomePlug AV2* trabajando exclusivamente con WiFi; sin embargo, se puede mejorar aún el rendimiento si esta red se usa como extensión de una red *Ethernet*.
- No se debe conectar los dispositivos *PLC's* a regletas eléctricas o reguladores de voltaje, ya que hay pérdidas de señal, puesto que dichas regletas utilizan filtros cortapicos y cables de calibre mayor o igual a 14 *AWG*. Estos cables son muy delgados y degradan la señal del *PLC*. Se debe utilizar cables 12AWG en los tomacorrientes, o 10 AWG si se utilizan duchas eléctricas o cocinas de inducción.
- Se sugiere no conectar los *PLC's* en tomacorrientes donde a su vez se conectan artefactos de cocina como refrigeradoras, licuadoras, etc.; ya que pueden generar picos de corriente que degradan la señal del *PLC*. Se evidenció que al conectar cargadores de teléfonos celulares junto al dispositivo *PLC* extensor, la conexión con el dispositivo *PLC* adaptador se perdía en determinados momentos.
- En hogares o construcciones que tienen conexiones eléctricas antiguas se recomienda revisar que los cables no se encuentren en mal estado, pelados o degradados ya que estos defectos o corto circuitos pueden degradar la señal del *PLC* y a consecuencia puede producir pérdidas de datos.
- En caso de existir algún riesgo de seguridad física con algún intruso que sincronice un dispositivo *PLC* a escondidas y luego se vaya a hackear desde otro lugar. Se puede desvincular el dispositivo extensor pirata, desde el programa provisto por el fabricante: **PowerLineUtility.msi**” y **“PowerLine Scan.exe**. como se mostró en las figuras 16-5 y 17-5.
- En principio si los equipos cumplen los mismos estándares no debería haber ningún problema en interconectar *PLC's* de distintas marcas. No existiría riesgo alguno de que el usuario

consiga dispositivos de otro país, ya que lo que cambia es el voltaje de 110V a 220V, y en nuestro país disponemos los dos voltajes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Muguira, A. (2018). Métricas e indicadores. Obtenido de: <https://tudashboard.com/diferencia-entre-metrica-e-indicador/>
- [2]. RFC 1242. (1991). Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices. Obtenido de: https://www.itu.int/itu-t/workprog/wp_a5_out.aspx?isn=2031
- [3]. Contreras, H. Martha. Granados, A. Gerardo. (2012). Estimación del Valor Teórico para el *Throughput* en Redes LAN Basadas en Tecnología *PowerLine Communications* bajo el Estándar *HomePlug* 1.0. Bucaramanga: Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería.
- [4]. Corchado, L. Cortés, A. Cañete, C. Díez, Luis. (2016). Impacto de las Características de la Red Eléctrica en Canales MIMO *PLC* Domésticos. Málaga: Universidad de Málaga. Dpto. de ingeniería de comunicaciones.
- [5]. *HomePlug AV2*. (2015). Whitepaper. Obtenido de: https://www.codico.com/fxdata/codico/prod/media/Datenblaetter/AKT/HomePlug_AV2_whitepaper_20130909.pdf
- [6]. Parra E. (2008). Estudio y Diseño de una Red LAN para Voz y Datos, Utilizando Tecnología *PowerLine Communications (PLC)* como Alternativa al Cableado Estructurado para un Edificio de Oficinas. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
- [7]. Pérez, G. (2013). Estudio de la Tecnología *HomePlug AV (HPAV)* para la Implementación de una Red Mediante Líneas de Potencia en la Transmisión de Contenidos Multimedia para Hogares. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA. ESCUELA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS
- [8]. Piñero, E. (2014). *Analysis and Evaluation of In-home Networks Based on HomePlug-AV PowerLine Communications*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Department of Information and Communication Technologies.
- [9]. Puntero, M. (2014). Los bits Viajan por la Red Eléctrica. Obtenido de: https://www.pactual.com/noticias/actualidad/dispositivos--2_6415
- [10]. Rodríguez, L. Rivera, J. Castang, G. (2009). Estudio y Progreso de Redes *PLC*, Enfocado a Servicios de Banda Angosta. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/326943518_Estudio_y_progreso_de_redes_PL_C_enfocado_a_servicios_de_banda_angosta

- [11]. Seema, M. (2011). *Broadband Over Power Lines A White Paper*. Esq. Ratepayer Advocate State of New Jersey Division of the Ratepayer Advocate 31 Clinton Street, 11th Floor Newark, New Jersey 07102
- [12]. Castro, S. (2016). *PLC, PowerLine Communications* (Comunicaciones por la Red de Electricidad). Obtenido de: <http://www.eveliux.com/mx/PLC-Powerline-Communications-Comunicaciones-por-la-red-de-electricidad.html>
- [13]. Simal, T. (2012). MONOGRÁFICO: PLC en Entornos Escolares. Obtenido de: <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/equipamiento-tecnologico/redes/1067-monografico-plc-en-entornos-escolares>
- [14]. Vesga, F. Granados, A. (2012). Modelo Estadístico sobre el Comportamiento del *Throughput* en Redes LAN sobre Tecnología *PowerLine Communications*. Ing. Univ. Bogotá (Colombia), 16 (2): 433-447, Julio-diciembre de 2012. ISSN 0123-2126.
- [15]. Vesga, F. Granados, A. Vesga, B. (2016). Evaluación del Rendimiento de una Red LAN sobre *PowerLine Communications* para la Transmisión de VoIP. ITECKNE Vol. 13 Número 1 - ISSN 1692-1798 - ISSN Digital 2339 - 3483 - junio 2016 - 83 – 95.
- [16]. Yefersson, C. (2016). Estudio de la Factibilidad Técnica de la Implementación de (*PowerLine Communication*) en la Red de Distribución Eléctrica de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

ANEXOS

ANEXO A: IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA RED SOHO *ETHERNET (IEEE 802.3) CON WIFI (IEEE 802.11B)*

Para el “*Escenario 1: RED SOHO ETHERNET (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)*”, utilizaremos un enlace cableado *UTP* en adición a dos *AP*'s (puntos de acceso), como se puede observar en la Figura 1-ANEXO A.



Figura 1-ANEXO A: Implementación de la red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b).

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

El primer *AP* será el *modem* entregado por el *ISP*, el mismo que tiene función *router* y WiFi (IEEE 802.11b), de marca HUAWEI, modelo HG8245 (ver Figura 2-Anexo 1), y el segundo *AP* es un *switch* marca LINKSYS, modelo WRT54G (ver Figura 7-ANEXO A). Los dos *AP*'s se conectan por medio de los puertos RJ45 respectivamente, con cable *Ethernet UTP* categoría 5e, con una longitud de cable *UTP* Cat. 5e de 70 metros. En su configuración, ambos *AP*'s deben tener *DHCP* habilitado, el mismo *SSID* (nombre de red WiFi (IEEE 802.11b): “RED_ESCENARIO_1”), la misma clave: “Wireless802.11” y transmitir en el mismo canal: el “8”, para que la red WiFi (IEEE 802.11b) sea una sola.



Figura 2-ANEXO A: Modem – router – WiFi – HUAWEI HG8245.

Fuente: Huawei.com

Configuración del modem Huawei

- Conectamos un cable *Ethernet UTP* Cat 5e a los puertos RJ45 del *router* y la computadora correspondientemente; este dispositivo previamente ya ha sido configurado por el *ISP* (proveedor de servicios de Internet), por lo que el *DHCP* ya está activado.
- En la computadora nos fijamos en la dirección *IP* de la puerta de enlace que obtuvo automáticamente y esta la escribimos en un navegador, con lo cual se mostrara una pantalla como en la Figura 3-ANEXO A.



Figura 3-ANEXO A: Acceso a la configuración del router.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

- Ingresamos la información solicitada. Cuenta: instalador, *Password:* cnt2016admin. Se mostrará una pantalla de información del dispositivo. Personalizaremos solamente dentro de la pestaña de *WLAN*, donde seleccionamos “*DHCP Server Configuration*” y realizamos los siguientes cambios:
- En “*LAN Host IP Address*” (dirección *IP* de la red *LAN*) pondremos 192.168.100.1.
- En “*Start IP Address*” (dirección *IP* de inicio) pondremos 192.168.100.2.
- La máscara la dejamos por defecto en 255.255.255.0.

- g) En “End IP Address” (dirección IP final) pondremos 192.168.100.11. con lo cual nos aseguramos de dar acceso a la red solamente a 10 equipos o usuarios por ser una red SOHO.
- h) El resto de configuraciones no realizamos ningún cambio, como se muestra en la Figura 4-Anexo A.

The screenshot shows the Huawei HG8245 web interface. The 'LAN' tab is selected. The 'DHCP Server Configuration' page is displayed. The 'End IP address' field is highlighted with a red box and contains the value '192.168.100.11'. Other fields include 'Start IP address' (192.168.100.2), 'Lease time' (3 days), and 'Primary DNS server' (208.67.222.222).

Figura 4-ANEXO A: Configuración DHCP.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

- i) En la pestaña *WLAN* realizamos los siguientes cambios como: El *SSID* (nombre de la red WiFi (IEEE 802.11b)), la clave o contraseña, el canal de transmisión, tal como se muestra en la Figura 5-ANEXO A.

The screenshot shows the Huawei HG8245 web interface. The 'WLAN' tab is selected. The 'WLAN Configuration' page is displayed. The 'Enable WLAN' checkbox is checked. The 'SSID Name' field is highlighted with a red box and contains the value 'RED_ESCENARIO_1'. The 'Authentication Mode' is set to 'WPA2 Pre-Shared Key', 'Encryption Mode' is 'AES', and 'WPA PreSharedKey' is 'Wireless02'. The 'Channel' is set to '8', 'Channel Width' is '40 Mhz', and 'Mode' is '802.11b/g/n'.

Figura 5-ANEXO A: Configuración WiFi (IEEE 802.11b).

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

- j) Para que los cambios surtan efecto hacemos *click* en “Apply” en todas las ventanas que hemos realizado modificaciones. Y con esto tenemos una red WiFi (IEEE 802.11b) funcionando en el primer AP ubicado en el departamento 1 como se muestra en la Figura 6-ANEXO A.



Figura 6-ANEXO A: Access Point en el departamento 1.

Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

Configuración del switch LINKSYS

Como mencionamos anteriormente “el segundo AP es un switch marca LINKSYS, modelo WRT54G, como se muestra en la Figura 7-ANEXO A, este es un dispositivo de red 3 en 1 (Router, Switch, Access Point). Funciona como un router, o un switch con 4 puertos Ethernet, o un punto de acceso inalámbrico (que es la función que utilizaremos), a continuación, describimos la configuración de este dispositivo como un AP.



Figura 7-ANEXO A: Switch LINKSYS WRT54G.

Fuente: <https://www.linksys.com/ec/support-article?articleNum=140196>

- a) Lo primero que haremos es resetear a valores de fábrica; esto lo conseguiremos presionando un pequeño botón que tiene en la parte posterior del switch (Reset). Esto hará que el dispositivo se cargue con su configuración de fábrica; es decir, con la red 192.168.1.0/24, y la IP 192.168.1.1.

- b) Configuraremos temporalmente una computadora con la siguiente información para la tarjeta de red (con IP estática, ya que después le configuraremos con *DHCP*):
- Dirección IP: 192.168.1.2,
 - Mascara de Red: 255.255.255.0,
 - Puerta de enlace (Gateway): 192.168.1.1.
- c) Conectamos un cable de *Ethernet* Cat.5e en los puertos RJ45 del dispositivo y la computadora; así habrá comunicación entre los dos equipos. Por medio de un navegador accedemos a la dirección 192.168.1.1 y se mostrará la imagen de la Figura 8-ANEXO A.



Figura 8-ANEXO A: Logueo para ingreso a la configuración del switch LINKSYS.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

- d) A continuación, introducimos las credenciales, como usuario: “*admin*” y contraseña: “*admin*” y luego presionamos “Aceptar”. Lo primero que vemos es la configuración de red. Para nuestro caso la IP que daremos al *router* es la 192.168.100.12/24, como se muestra en la Figura 9-ANEXO A; activaremos el *DHCP* para que la asignación de dirección *IP* en los clientes sea automática con un rango de *IP*'s desde la 192.168.100.2 hasta la 192.168.100.11/24, con lo cual el número máximo de clientes será de 10 por ser una red SOHO, toda la configuración la podemos ver en las Figuras 9-ANEXO A, 10-ANEXO A, 11-ANEXO A.

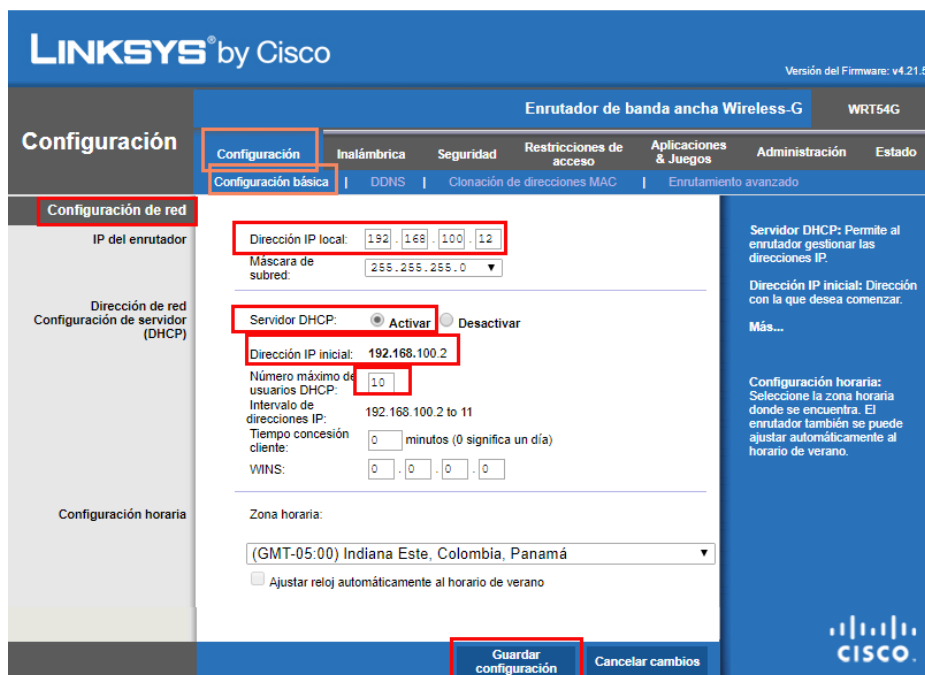


Figura 9-ANEXO A: Configuración básica de red.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

- e) En la pestaña “Inalámbrica”, escogemos “configuración inalámbrica básica”, y realizamos los cambios enmarcados en la Figura 10-ANEXO A para tener una red WiFi (IEEE 802.11b).



Figura 10-ANEXO A: Configuraciones inalámbricas básicas.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

- f) Creamos una clave de seguridad; es recomendable poner la máxima seguridad por lo que elegimos al menos cifrado *WPA2*, tal como se muestra en la Figura 11-ANEXO A, y en el

campo clave compartida *WPA*, escribimos: “*Wireless802.11*” como contraseña para la red WiFi (IEEE 802.11b).



Figura 11-ANEXO A: Seguridad inalámbrica.

Screenshot por: Velasco, Cristian. 2020.

De esta manera ya tenemos el segundo *Access Point* configurado y con red WiFi (IEEE 802.11b) funcional en el departamento 1 de la casa de 2 pisos, como se muestra en la Figura 12-ANEXO A.

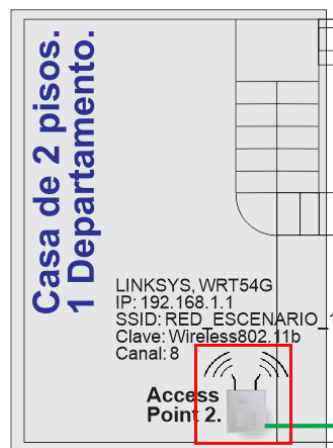
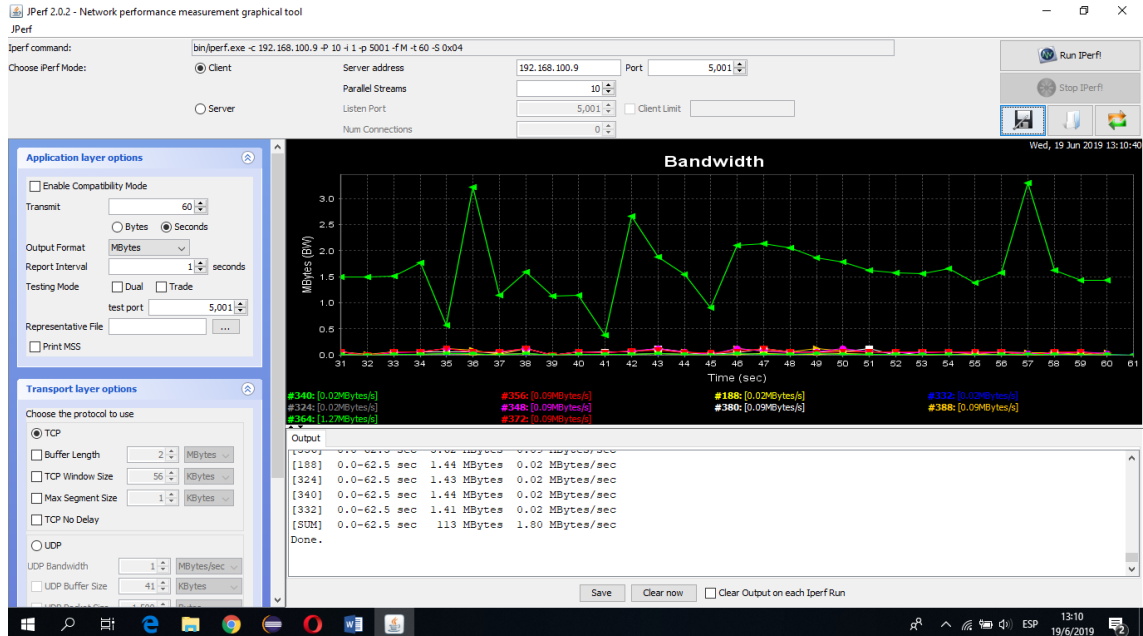


Figura 12-ANEXO A: *Access Point* en el departamento 1, casa de 2 pisos.

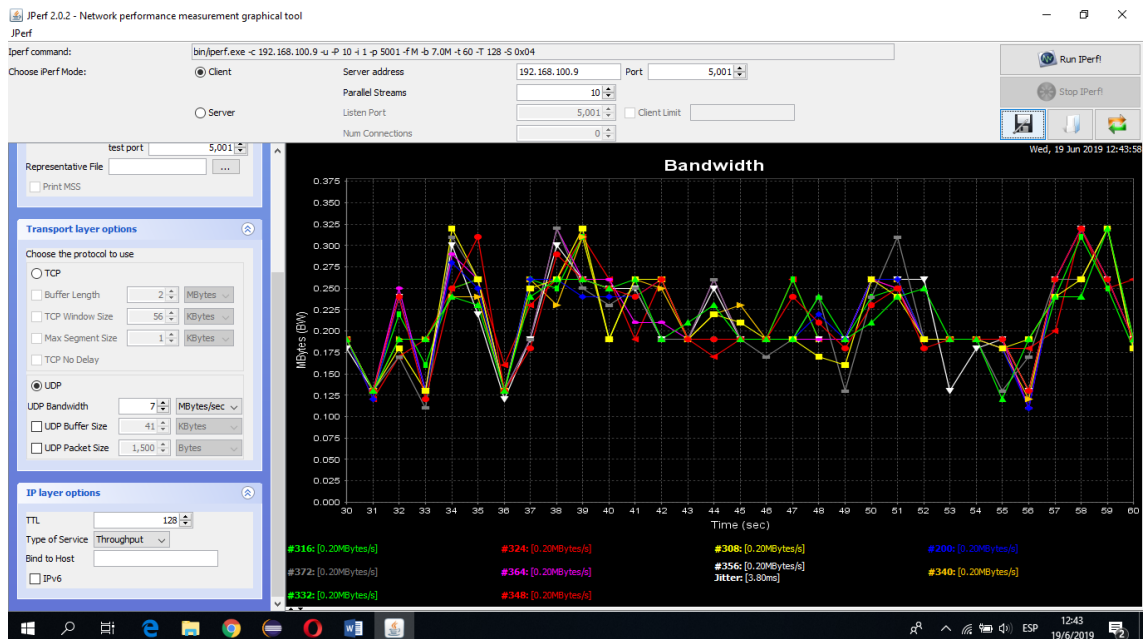
Realizado por: Velasco, Cristian. 2020.

ANEXO B: SCREENSHOTS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON EL PROGRAMA JPERF 2.0.2

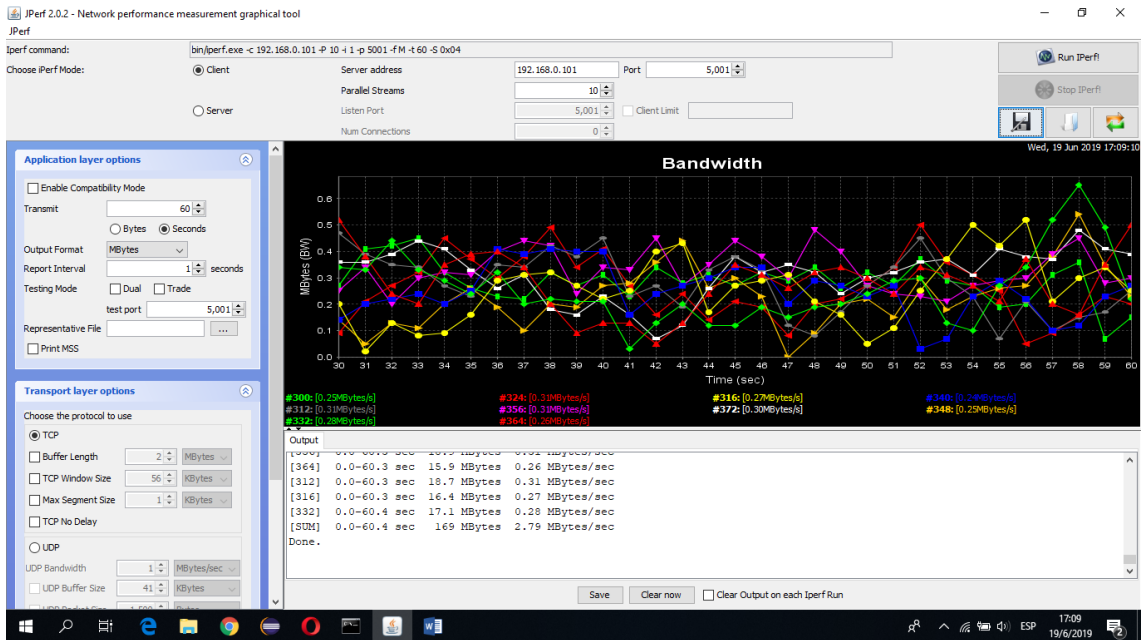
- screenshots de las pruebas realizadas con el programa jperf 2.0.2, en la red_escenario_1 (ethernet (ieee 802.3) con wifi (ieee 802.11b)) con el protocolo tcp.



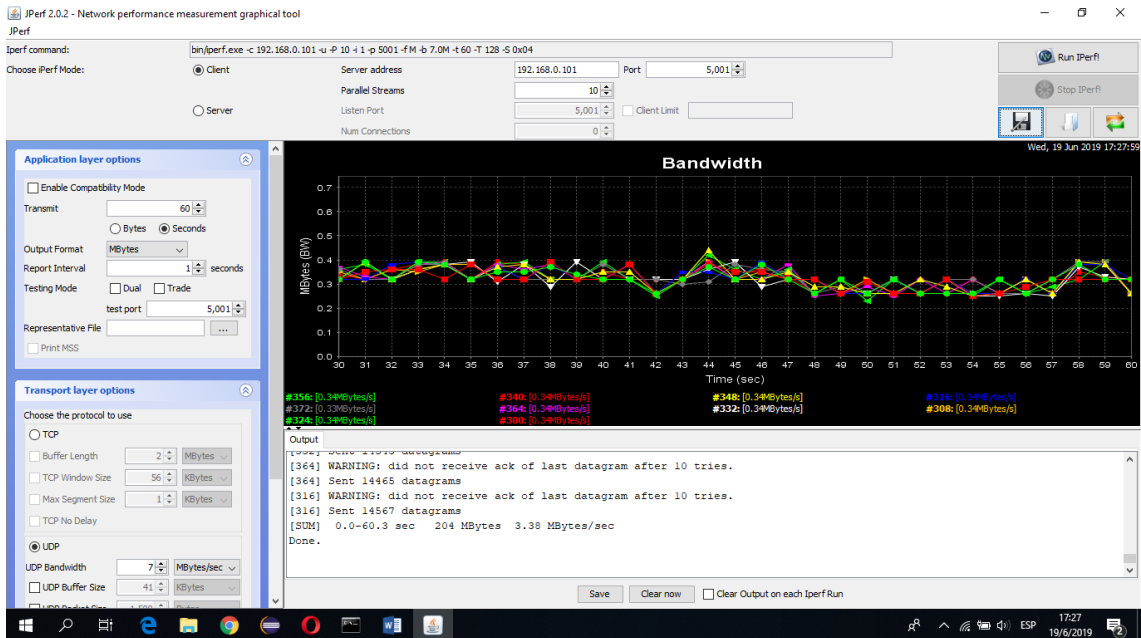
- Screenshots de las pruebas realizadas con el programa jPerf 2.0.2, en la RED_ESCENARIO_1 (Ethernet (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)) con el Protocolo UDP.



- Screenshots de las pruebas realizadas con el programa jPerf 2.0.2, en la RED_ESCENARIO_2 (PowerLine HomePlug AV2) con el Protocolo TCP.



- Screenshots de las pruebas realizadas con el programa jPerf 2.0.2, en la RED_ESCENARIO_2 (PowerLine HomePlug AV2) con el Protocolo UDP.



ANEXO C: DATOS DE LAS PRUEBAS

Datos de las pruebas escenario 1: Red SOHO *Ethernet* (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)),
con el protocolo `TCP.bin/iperf.exe -c 192.168.100.9 -P 1 -i 1 -p 5001-fM -t 60 -S 0x04`

Client connecting to 192.168.100.9, TCP port 5001
TCP window size: 0.06 MByte (default)

```
-----
[200] local 192.168.100.8 port 59441 connected with 192.168.100.9 port 5001
[ID]  Interval Transfer      Bandwidth
[200]  0.0- 1.0 sec    1.51 MBytes  1.51 MBytes/sec
[200]  1.0- 2.0 sec    1.21 MBytes  1.21 MBytes/sec
[200]  2.0- 3.0 sec    1.65 MBytes  1.65 MBytes/sec
[200]  3.0- 4.0 sec    1.54 MBytes  1.54 MBytes/sec
[200]  4.0- 5.0 sec    1.80 MBytes  1.80 MBytes/sec
[200]  5.0- 6.0 sec    1.89 MBytes  1.89 MBytes/sec
[200]  6.0- 7.0 sec    1.79 MBytes  1.79 MBytes/sec
[200]  7.0- 8.0 sec    1.59 MBytes  1.59 MBytes/sec
[200]  8.0- 9.0 sec    0.90 MBytes  0.90 MBytes/sec
[200]  9.0-10.0 sec    1.32 MBytes  1.32 MBytes/sec
[200] 10.0-11.0 sec    1.99 MBytes  1.99 MBytes/sec
[200] 11.0-12.0 sec    1.59 MBytes  1.59 MBytes/sec
[200] 12.0-13.0 sec    1.44 MBytes  1.44 MBytes/sec
[200] 13.0-14.0 sec    1.94 MBytes  1.94 MBytes/sec
[200] 14.0-15.0 sec    1.95 MBytes  1.95 MBytes/sec
[200] 15.0-16.0 sec    1.94 MBytes  1.94 MBytes/sec
[200] 16.0-17.0 sec    1.66 MBytes  1.66 MBytes/sec
[200] 17.0-18.0 sec    1.59 MBytes  1.59 MBytes/sec
[200] 18.0-19.0 sec    2.02 MBytes  2.02 MBytes/sec
[200] 19.0-20.0 sec    1.78 MBytes  1.78 MBytes/sec
[200] 20.0-21.0 sec    1.60 MBytes  1.60 MBytes/sec
[200] 21.0-22.0 sec    1.63 MBytes  1.63 MBytes/sec
[200] 22.0-23.0 sec    1.55 MBytes  1.55 MBytes/sec
[200] 23.0-24.0 sec    1.54 MBytes  1.54 MBytes/sec
[200] 24.0-25.0 sec    1.66 MBytes  1.66 MBytes/sec
[200] 25.0-26.0 sec    1.48 MBytes  1.48 MBytes/sec
[200] 26.0-27.0 sec    1.44 MBytes  1.44 MBytes/sec
[200] 27.0-28.0 sec    1.92 MBytes  1.92 MBytes/sec
[200] 28.0-29.0 sec    1.60 MBytes  1.60 MBytes/sec
[200] 29.0-30.0 sec    2.00 MBytes  2.00 MBytes/sec
[200] 30.0-31.0 sec    1.95 MBytes  1.95 MBytes/sec
[200] 31.0-32.0 sec    1.78 MBytes  1.78 MBytes/sec
[200] 32.0-33.0 sec    1.91 MBytes  1.91 MBytes/sec
[200] 33.0-34.0 sec    1.65 MBytes  1.65 MBytes/sec
[200] 34.0-35.0 sec    1.50 MBytes  1.50 MBytes/sec
[200] 35.0-36.0 sec    1.40 MBytes  1.40 MBytes/sec
[200] 36.0-37.0 sec    1.23 MBytes  1.23 MBytes/sec
[200] 37.0-38.0 sec    1.45 MBytes  1.45 MBytes/sec
[200] 38.0-39.0 sec    1.55 MBytes  1.55 MBytes/sec
[200] 39.0-40.0 sec    1.56 MBytes  1.56 MBytes/sec
[200] 40.0-41.0 sec    1.46 MBytes  1.46 MBytes/sec
```

[200]	41.0-42.0 sec	1.56 MBytes	1.56 MBytes/sec
[200]	42.0-43.0 sec	1.50 MBytes	1.50 MBytes/sec
[200]	43.0-44.0 sec	0.98 MBytes	0.98 MBytes/sec
[200]	44.0-45.0 sec	1.09 MBytes	1.09 MBytes/sec
[200]	45.0-46.0 sec	1.76 MBytes	1.76 MBytes/sec
[200]	46.0-47.0 sec	1.59 MBytes	1.59 MBytes/sec
[200]	47.0-48.0 sec	1.09 MBytes	1.09 MBytes/sec
[200]	48.0-49.0 sec	1.59 MBytes	1.59 MBytes/sec
[200]	49.0-50.0 sec	1.05 MBytes	1.05 MBytes/sec
[200]	50.0-51.0 sec	1.26 MBytes	1.26 MBytes/sec
[200]	51.0-52.0 sec	1.92 MBytes	1.92 MBytes/sec
[200]	52.0-53.0 sec	1.18 MBytes	1.18 MBytes/sec
[200]	53.0-54.0 sec	0.98 MBytes	0.98 MBytes/sec
[200]	54.0-55.0 sec	1.59 MBytes	1.59 MBytes/sec
[200]	55.0-56.0 sec	1.23 MBytes	1.23 MBytes/sec
[200]	56.0-57.0 sec	1.04 MBytes	1.04 MBytes/sec
[200]	57.0-58.0 sec	1.71 MBytes	1.71 MBytes/sec
[200]	58.0-59.0 sec	1.65 MBytes	1.65 MBytes/sec
[200]	59.0-60.0 sec	1.55 MBytes	1.55 MBytes/sec
[200]	0.0-60.0 sec	93.3 MBytes	1.55 MBytes/sec

Done.

Datos de las pruebas escenario 1: Red SOHO Ethernet (IEEE 802.3) con WiFi (IEEE 802.11b)), con el protocolo UDP.

```
bin/iperf.exe -c 192.168.100.9 -u -P 1 -I 1 -p 5001 -f M -b 7.0M -t 60 -T 128 -S 0x04
```

```
-----
Client connecting to 192.168.100.9, UDP port 5001
```

```
Sending 1470 byte datagrams
```

```
UDP buffer size: 0. 06 MByte (default)
```

```
-----
[ID] Interval Transfer Bandwidth
[304] local 192.168.100.8 port 59062 connected with 192.168.100.9 port 5001
[304] -0.0- 1.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 1.0- 2.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 2.0- 3.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 3.0- 4.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 4.0- 5.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 5.0- 6.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 6.0- 7.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 7.0- 8.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 8.0- 9.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 9.0-10.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 10.0-11.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 11.0-12.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 12.0-13.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 13.0-14.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 14.0-15.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 15.0-16.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 16.0-17.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 17.0-18.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 18.0-19.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 19.0-20.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 20.0-21.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
```

```

[304] 21.0-22.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 22.0-23.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 23.0-24.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 24.0-25.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 25.0-26.0 sec 0.82 MBytes 0.82 MBytes/sec
[304] 26.0-27.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 27.0-28.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 28.0-29.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 29.0-30.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 30.0-31.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 31.0-32.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 32.0-33.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 33.0-34.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 34.0-35.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 35.0-36.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 36.0-37.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 37.0-38.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 38.0-39.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 39.0-40.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 40.0-41.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 41.0-42.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 42.0-43.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 43.0-44.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 44.0-45.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 45.0-46.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 46.0-47.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 47.0-48.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 48.0-49.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 49.0-50.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 50.0-51.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 51.0-52.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 52.0-53.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 53.0-54.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 54.0-55.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 55.0-56.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[304] 56.0-57.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 57.0-58.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 58.0-59.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 59.0-60.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] 0.0-60.0 sec 50.1 MBytes 0.83 MBytes/sec
[304] Server Report :
[304] 0.0-60.0 sec 50.1 MBytes 0.83MBytes/sec 0.921 ms 2/35707 (0.0056%)
[304] Sent 35707 datagrams
Done.

```

Datos de las pruebas escenario 2: (Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b)), con el protocolo TCP.

```
bin/iperf.exe -c 192.168.100.9 -P 1 -i 1 -p 5001 -f M -t 60 -S 0x04
```

```
-----
Client connecting to 192.168.100.9, TCP port 5001
TCP window size: 0. 06 MByte (default)
```

```
-----
[200] local 192.168.100.8 port 59441 connected with 192.168.100.9 port 5001
```

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[200]	0.0- 1.0 sec	1.51 MBytes	1.51 MBytes/sec
[200]	1.0- 2.0 sec	1.21 MBytes	1.21 MBytes/sec
[200]	2.0- 3.0 sec	1.65 MBytes	1.65 MBytes/sec
[200]	3.0- 4.0 sec	1.54 MBytes	1.54 MBytes/sec
[200]	4.0- 5.0 sec	1.80 MBytes	1.80 MBytes/sec
[200]	5.0- 6.0 sec	1.89 MBytes	1.89 MBytes/sec
[200]	6.0- 7.0 sec	1.79 MBytes	1.79 MBytes/sec
[200]	7.0- 8.0 sec	1.59 MBytes	1.59 MBytes/sec
[200]	8.0- 9.0 sec	0.90 MBytes	0.90 MBytes/sec
[200]	9.0-10.0 sec	1.32 MBytes	1.32 MBytes/sec
[200]	10.0-11.0 sec	1.99 MBytes	1.99 MBytes/sec
[200]	11.0-12.0 sec	1.59 MBytes	1.59 MBytes/sec
[200]	12.0-13.0 sec	1.44 MBytes	1.44 MBytes/sec
[200]	13.0-14.0 sec	1.94 MBytes	1.94 MBytes/sec
[200]	14.0-15.0 sec	1.95 MBytes	1.95 MBytes/sec
[200]	15.0-16.0 sec	1.94 MBytes	1.94 MBytes/sec
[200]	16.0-17.0 sec	1.66 MBytes	1.66 MBytes/sec
[200]	17.0-18.0 sec	1.59 MBytes	1.59 MBytes/sec
[200]	18.0-19.0 sec	2.02 MBytes	2.02 MBytes/sec
[200]	19.0-20.0 sec	1.78 MBytes	1.78 MBytes/sec
[200]	20.0-21.0 sec	1.60 MBytes	1.60 MBytes/sec
[200]	21.0-22.0 sec	1.63 MBytes	1.63 MBytes/sec
[200]	22.0-23.0 sec	1.55 MBytes	1.55 MBytes/sec
[200]	23.0-24.0 sec	1.54 MBytes	1.54 MBytes/sec
[200]	24.0-25.0 sec	1.66 MBytes	1.66 MBytes/sec
[200]	25.0-26.0 sec	1.48 MBytes	1.48 MBytes/sec
[200]	26.0-27.0 sec	1.44 MBytes	1.44 MBytes/sec
[200]	27.0-28.0 sec	1.92 MBytes	1.92 MBytes/sec
[200]	28.0-29.0 sec	1.60 MBytes	1.60 MBytes/sec
[200]	29.0-30.0 sec	2.00 MBytes	2.00 MBytes/sec
[200]	30.0-31.0 sec	1.95 MBytes	1.95 MBytes/sec
[200]	31.0-32.0 sec	1.78 MBytes	1.78 MBytes/sec
[200]	32.0-33.0 sec	1.91 MBytes	1.91 MBytes/sec
[200]	33.0-34.0 sec	1.65 MBytes	1.65 MBytes/sec
[200]	34.0-35.0 sec	1.50 MBytes	1.50 MBytes/sec
[200]	35.0-36.0 sec	1.40 MBytes	1.40 MBytes/sec
[200]	36.0-37.0 sec	1.23 MBytes	1.23 MBytes/sec
[200]	37.0-38.0 sec	1.45 MBytes	1.45 MBytes/sec
[200]	38.0-39.0 sec	1.55 MBytes	1.55 MBytes/sec
[200]	39.0-40.0 sec	1.56 MBytes	1.56 MBytes/sec
[200]	40.0-41.0 sec	1.46 MBytes	1.46 MBytes/sec
[200]	41.0-42.0 sec	1.56 MBytes	1.56 MBytes/sec
[200]	42.0-43.0 sec	1.50 MBytes	1.50 MBytes/sec
[200]	43.0-44.0 sec	0.98 MBytes	0.98 MBytes/sec
[200]	44.0-45.0 sec	1.09 MBytes	1.09 MBytes/sec
[200]	45.0-46.0 sec	1.76 MBytes	1.76 MBytes/sec
[200]	46.0-47.0 sec	1.59 MBytes	1.59 MBytes/sec
[200]	47.0-48.0 sec	1.09 MBytes	1.09 MBytes/sec
[200]	48.0-49.0 sec	1.59 MBytes	1.59 MBytes/sec
[200]	49.0-50.0 sec	1.05 MBytes	1.05 MBytes/sec
[200]	50.0-51.0 sec	1.26 MBytes	1.26 MBytes/sec
[200]	51.0-52.0 sec	1.92 MBytes	1.92 MBytes/sec
[200]	52.0-53.0 sec	1.18 MBytes	1.18 MBytes/sec
[200]	53.0-54.0 sec	0.98 MBytes	0.98 MBytes/sec

```

[200] 54.0-55.0 sec 1.59 MBytes 1.59 MBytes/sec
[200] 55.0-56.0 sec 1.23 MBytes 1.23 MBytes/sec
[200] 56.0-57.0 sec 1.04 MBytes 1.04 MBytes/sec
[200] 57.0-58.0 sec 1.71 MBytes 1.71 MBytes/sec
[200] 58.0-59.0 sec 1.65 MBytes 1.65 MBytes/sec
[200] 59.0-60.0 sec 1.55 MBytes 1.55 MBytes/sec
[200] 0.0-60.0 sec 93.3 MBytes 1.55 MBytes/sec
Done.

```

Datos de las pruebas escenario 2: (Red SOHO *PowerLine HomePlug AV2* con WiFi (IEEE 802.11b)), con el protocolo UDP.

```
bin/iperf.exe -c 192.168.0.101 -u -P 1 -i 1 -p 5001 -f M -b 7.0M -t 60 -T 128 -S 0x04
```

```
-----
Client connecting to 192.168.0.101, UDP port 5001
```

```
Sending 1470 byte datagrams
```

```
UDP buffer size: 0.06 MByte (default)
```

```
-----
[200] local 192.168 .0.102 port 6 1938 connected with 192.168.0.101 port 5001
[ID] Interval Transfer Bandwidth
[200] 0.0- 1.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 1.0- 2.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 2.0- 3.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 3.0- 4.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 4.0- 5.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 5.0- 6.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 6.0- 7.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 7.0- 8.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 8.0- 9.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 9.0-10.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 10.0-11.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 11.0-12.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 12.0-13.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 13.0-14.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 14.0-15.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 15.0-16.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 16.0-17.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 17.0-18.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 18.0-19.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 19.0-20.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 20.0-21.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 21.0-22.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 22.0-23.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 23.0-24.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 24.0-25.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 25.0-26.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 26.0-27.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 27.0-28.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 28.0-29.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 29.0-30.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 30.0-31.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 31.0-32.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 32.0-33.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 33.0-34.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
```



```
[200] 34.0-35.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 35.0-36.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 36.0-37.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 37.0-38.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 38.0-39.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 39.0-40.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 40.0-41.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 41.0-42.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 42.0-43.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 43.0-44.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 44.0-45.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 45.0-46.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 46.0-47.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 47.0-48.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 48.0-49.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 49.0-50.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 50.0-51.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 51.0-52.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 52.0-53.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 53.0-54.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 54.0-55.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 55.0-56.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 56.0-57.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 57.0-58.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 58.0-59.0 sec 0.83 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] 59.0-60.0 sec 0.84 MBytes 0.84 MBytes/sec
[200] 0.0-60.0 sec 50.1 MBytes 0.83 MBytes/sec
[200] Server Report :
[200] 0.0-59.9 sec 50.1 MBytes 0.84MBytes/sec 0.629 ms 0/35716 (0%)
[200] Sent 35716 datagrams.
Done
```