

**EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LAS TECNOLOGÍAS POWER LINE
CARRIER (PLC) Y WIRELESS LAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN AL
PROTOTIPO DE SISTEMA METROPOLITANO DE TELEMETRÍA PARA LA
MONITORIZACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN LAS REDES DE
DISTRIBUCIÓN DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN.**

Laura Liliana Agudelo Hernández

Ovidio Alfonso Flórez Acosta

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Bucaramanga, Santander

2010

**EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LAS TECNOLOGÍAS POWER LINE
CARRIER (PLC) Y WIRELESS LAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN AL
PROTOTIPO DE SISTEMA METROPOLITANO DE TELEMETRÍA PARA LA
MONITORIZACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN LAS REDES DE
DISTRIBUCIÓN DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN.**

Laura Liliana Agudelo Hernández

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Electrónica

Ovidio Alfonso Flórez Acosta

Trabajo de grado para optar por el Título de Ingeniero Electrónico

Director

MIE. José de Jesús Rugeles Uribe

Codirector

Ing. Daniel Alexander Velazco Capacho

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Bucaramanga, Santander

2010

DEDICATORIA

A tí mí Dios amado, por llegar a mí corazón y quedarte para enamorarme.

Hoy eres real en mí.

Laura A.

A papá y mamá, sencillamente por ser el amor que día a día me impulsa a seguir mi camino.

*“Enseñarás a volar,
pero no volarán tu vuelo.
Enseñarás a soñar,
pero no soñarán tu sueño.
Enseñarás a vivir,
pero no vivirán tu vida.
Sin embargo...
en cada vuelo,
en cada vida,
en cada sueño,
perdurará siempre la huella
del camino enseñado.”*

Madre Teresa De Calcuta

Los amo.

Ovidio Flórez Acosta

AGRADECIMIENTOS

Agradezco con el corazón en la mano a mis papás Miguel Antonio y Solange, por ser no solo ese sustento diario de tipo económico, sino el sustento espiritual que brindó fuerzas y aliento para lograr llegar hasta donde hoy estoy. A mis hermanos Juan Sebastián y María Fernanda porque sencillamente estuvieron ahí conmigo. A toda mi Familia, porque de una u otra forma, estuvieron pendientes de mí. A mis amigos de CCF. A mis compañeros de la Universidad, por cruzarse en mi camino y permitirme crecer como persona y profesional. Al grupo de Investigación CPS por abrirme sus puertas para la realización del presente trabajo. A los profesores Jorge Ramón, José Rugeles y Daniel Velazco por colaborar y dirigir el proyecto. A los Ingenieros Miguel Mejía, José Motta y Julio Macías de la ESSA. A Ovidio Alfonso y Daniel Alexander por soportar y compartir conmigo un poco más de 2 años en la ejecución del trabajo de grado, y en general a todas aquellas personas que han sido parte en la finalización del presente trabajo.

Laura A.

A mis padres, por estar siempre presentes, por ser ese apoyo incondicional en momentos difíciles, por brindarme la mano cuando he caído y compartir mis alegrías cuando he triunfado, por sus sabias palabras y puros valores; a mi hermana por ser la motivación de mis esfuerzos y por desearme lo mejor mis más sinceros agradecimientos.

A Daniel Velazco, por ser más que un Director de proyecto, por su ayuda y consejo en situaciones complejas, por su buen carácter y paciencia, por ser un buen amigo.

A Laurita, por ser la mejor amiga y compañera de estudio, por compartir conmigo más de la mitad de la carrera, por enseñarme grandes cosas que sólo un corazón noble puede enseñar.

A mis amigos Hugo, Julián, Miguel, Sebastián, Fausto y David, que a lo largo de la carrera, tanto al inicio como al final, han sido soporte de alegrías y tristezas, voz de aliento y regaño, por aceptar mi forma de ser y brindarme su confianza.

A Silvia, por ser mi guía en todo momento, por sus palabras y su tiempo, por mostrarse como es y aceptarme como soy, por enseñarme a corregir mis defectos con el mayor agrado, por ser mi amiga, gracias.

Ovidio Flórez Acosta

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	19
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	20
1. GENERALIDADES Y ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS POWER LINE COMMUNICATIONS Y WIRELESS LAN.	23
1.1. POWER LINE COMMUNICATIONS.	23
1.1.1. Funcionamiento.	23
1.1.1.1. PLC de acceso	24
1.1.1.2. PLC domiciliaria	24
1.1.2. Modulación.	26
1.1.3. Reglamentación.	27
1.1.4. Experiencias y antecedentes.	28
1.2. WIRELESS LAN	29
1.2.1. Funcionamiento.	29
1.2.2. Modulación.	30
1.2.3. Reglamentación.	30
1.2.4. Experiencias y antecedentes.	31
1.3. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO	33
1.3.1. <i>Throughput</i> .	33
1.3.2. Acho de banda.	34
1.3.3. Retardos.	34
1.3.4. Latencia.	34
1.3.5. Jitter.	34

1.3.6.	BER y PER.	35
1.4.	HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	35
1.4.1.	D-ITG (<i>Distributed Internet Traffic Generator</i>).	35
1.4.2.	Iperf.	35
1.4.3.	Ping.	36
2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LAS TECNOLOGÍAS.		37
2.1.	PRUEBAS PRELIMINARES PARA PLC	37
2.2.	PRUEBAS PRELIMINARES PARA WIRELESS LAN.	38
2.3.	METODOLOGIA DE PRUEBAS PARA PLC	39
2.3.1.	Caracterización del lugar del enlace.	40
2.3.1.1.	Caracterización del lugar del enlace para las pruebas de laboratorio.	40
2.3.1.2.	Caracterización del lugar del enlace para las pruebas en línea viva.	40
2.3.2.	Instalación de los equipos en los lugares seleccionados.	40
2.3.3.	Configuración de los equipos.	42
2.3.4.	Puesta en marcha del sistema de comunicaciones.	42
2.4.	METODOLOGÍA DE PRUEBAS PARA WIRELESS LAN	42
2.4.1.	Caracterización del lugar del enlace.	43
2.4.2.	Diseño de los enlaces.	43
2.4.3.	Instalación de los equipos en la ubicación correspondiente.	43
2.4.4.	Configuración de los equipos.	44
2.4.5.	Puesta en marcha del sistema de comunicación.	44
2.5.	Disponibilidad de las tecnologías de comunicación.	45
2.5.1.	Disponibilidad para <i>Power Line Communications</i> .	45
2.5.2.	Disponibilidad para <i>Wireless LAN</i> .	46

3. RESULTADOS DE LA METODOLOGIA PARA POWER LINE COMMUNICATIONS Y WIRELESS LAN.	47
3.1. RESULTADOS PRUEBAS PLC	47
3.1.1. Resultados pruebas en Baja Tensión.	47
3.1.2. Resultados de pruebas en media tensión.	51
3.1.2.1. Resultados de pruebas de laboratorio.	51
3.1.2.2. Resultados de pruebas en línea viva.	65
3.2. RESULTADOS PRUEBAS WIRELESS LAN	71
3.2.1. Pruebas preliminares <i>Wireless LAN</i> .	71
3.2.2. Pruebas con parámetros de transmisión ajustados.	75
3.2.3. Resultados de tiempo y tasa de transferencia vs tamaño de archivo.	80
4. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ENLACES DE COMUNICACIONES AL PROYECTO SITELRED	82
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.	86
5.1. CONCLUSIONES.	86
5.2. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.	88
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema del Montaje y Conexión para las Pruebas Preliminares PLC.	38
Figura 2. Esquema de conexión para pruebas preliminares <i>Wireless LAN</i> .	39
Figura 3. Acoplador Capacitivo OVERCAP-X y MV Gateway.	41
Figura 4. Esquema de Conexión para las pruebas en Línea Viva empleando PLC.	41
Figura 5. Equipo utilizado para la serie de mediciones de <i>Wireless LAN</i> .	43
Figura 6. Esquema de Configuración para las Pruebas en Baja Tensión.	48
Figura 7. Resultados de RTT para la prueba de PLC en baja tensión.	48
Figura 8. Resultados de ancho de banda para la prueba de PLC en baja tensión.	49
Figura 9. Resultados de <i>jitter</i> para la prueba de PLC en baja tensión.	49
Figura 10. Resultados de latencia para la prueba de PLC en baja tensión.	50
Figura 11. Resultados de <i>throughput</i> para la prueba de PLC en baja tensión.	50
Figura 12. Comparación de RTT con parámetros de transmisión por defecto.	52
Figura 13. Comparación de ancho de banda con parámetros de transmisión por defecto.	53
Figura 14. Comparación de <i>jitter</i> con parámetros de transmisión por defecto.	53
Figura 15. Comparación de latencia con parámetros de transmisión por defecto.	54
Figura 16. Comparación de <i>throughput</i> con parámetros de transmisión por defecto.	54
Figura 17. Comparación de ancho de banda para la caracterización de PLC variando el tiempo.	56
Figura 18. Comparación de RTT para la caracterización de PLC variando el tiempo.	56
Figura 19. RTT para la caracterización de PLC.	57
Figura 20. Ancho de banda para la caracterización de PLC.	57
Figura 21. Jitter para la caracterización de PLC.	58
Figura 22. <i>Throughput</i> para la caracterización de PLC.	58
Figura 23. Latencia para la caracterización de PLC.	59
Figura 24. Comparación de RTT con parámetros de transmisión ajustados.	60
Figura 25. Comparación de ancho de banda con parámetros de transmisión ajustados.	61

Figura 26. Comparación de <i>jitter</i> con parámetros de transmisión ajustados.	61
Figura 27. Comparación de latencia con parámetros de transmisión ajustados.	62
Figura 28. Comparación de <i>throughput</i> con parámetros de transmisión ajustados.	62
Figura 29. Tiempo de transferencia de archivos para PLC.	64
Figura 30. Tasa de transferencia de archivos para PLC.	64
Figura 31. Imagen de la instalación del enlace de PLC para las Pruebas en Línea Viva.	65
Figura 32. Comparación de RTT para PLC en línea viva.	66
Figura 33. Comparación de ancho de banda para PLC en línea viva.	66
Figura 34. Comparación de jitter para PLC en línea viva.	67
Figura 35. Comparación de latencia para PLC en línea viva	67
Figura 36. Comparación de <i>throughput</i> para PLC en línea viva	68
Figura 37. Paquetes perdidos del día sábado en las pruebas de línea viva.	69
Figura 38. Paquetes perdidos del día lunes para las pruebas en línea viva.	69
Figura 39. Tasa de transferencia vs tamaño de archivo para las pruebas en línea viva.	70
Figura 40. Tiempo de transferencia vs tamaño de archivo para las pruebas en línea viva.	70
Figura 41. RTT para la caracterización de <i>Wireless LAN</i>	71
Figura 42. Ancho de banda para la caracterización de <i>Wireless LAN</i> .	71
Figura 43. Jitter para la caracterización de <i>Wireless LAN</i> .	72
Figura 44. Latencia para la caracterización de <i>Wireless LAN</i> .	72
Figura 45. <i>Throughput</i> para la caracterización de <i>Wireless LAN</i> .	73
Figura 46. Comparación de ancho de banda para la caracterización de <i>Wireless LAN</i> variando el tiempo.	73
Figura 47. Comparación de RTT para la caracterización de <i>Wireless LAN</i> variando el tiempo.	74
Figura 48. Imágenes de las pruebas en Palonegro para WLAN.	75
Figura 49. Comparación de RTT para las distancias de 5m y 8Km de <i>Wireless LAN</i> .	76
Figura 50. Comparación de ancho de banda para las distancias de 5m y 8Km de <i>Wireless LAN</i> .	77
Figura 51. Comparación de <i>jitter</i> para las distancias de 5m y 8Km de <i>Wireless LAN</i> .	78
Figura 52. Comparación de latencia para las distancias de 5m y 8Km de <i>Wireless LAN</i> .	78
Figura 53. Comparación de <i>throughput</i> para las distancias de 5m y 8Km de <i>Wireless LAN</i> .	79

Figura 54. Tasa de Transferencia vs Tamaño de Archivo para <i>Wireless LAN</i> .	80
Figura 55. Tiempo vs Tamaño de Archivo para <i>Wireless LAN</i> .	81
Figura 56. Esquema del montaje de la tecnología <i>Wireless LAN</i> al proyecto SITELRED.	83
Figura 57. Esquema del montaje de la tecnología PLC al proyecto SITELRED.	84
Figura 58. Imagen del montaje de las cajas para la implementación de WLAN al proyecto SITELRED.	85
Figura 59. Imagen del montaje de las cajas para la implementación de PLC al proyecto SITELRED.	85

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Entidades Regulatorias y Normativas para PLC.	27
Tabla 2. Características más representativas del Estándar IEEE 802.11.	31
Tabla 3. Resumen de las características más representativas de las Herramientas de Evaluación de Desempeño.	36
Tabla 4. Herramientas usadas para la medición de parámetros.	45
Tabla 5. Medidas estadísticas para las pruebas en baja tensión.	51
Tabla 6. Medidas estadísticas para las pruebas en media tensión con cable coaxial y parámetros de transmisión por defecto.	55
Tabla 7. Valores de los parámetros seleccionados para el ajuste de las herramientas de evaluación de desempeño para PLC.	59
Tabla 8. Valores de mediana y promedio para los resultados con parámetros de transmisión ajustados.	63
Tabla 9. Medidas estadísticas para las pruebas de media tensión en línea viva.	68
Tabla 10. Relación de paquetes perdidos para las pruebas en Línea Viva.	68
Tabla 11. Relación de bits perdidos para las pruebas de PLC en línea viva.	69
Tabla 12. Parámetros de las herramientas seleccionados para <i>Wireless LAN</i> .	75
Tabla 13. Medidas Estadísticas para las pruebas con parámetros ajustados para <i>Wireless LAN</i> .	79
Tabla 14. Listado de materiales usados para implementación de los enlaces de datos.	82

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
A. CONFIGURACION DE LOS EQUIPOS USADOS PARA LA EVALUACION DE DESEMPEÑO DE LA TECNOLOGIA POWER LINE COMMUNICATIONS.	92
B. CONFIGURACION DE LOS EQUIPOS USADOS PARA LA EVALUACION DE DESEMPEÑO DE LA TECNOLOGIA WIRELESS LAN.	97
C. CALCULO TEORICO DE LA DISTANCIA PARA UN ENLACE USANDO LA TECNOLOGÍA WIRELESS LAN.	100
D. SCRIPTS EN BASH USADOS PARA LAS TOMAS DE MEDICIONES	102

RESUMEN

TITULO: Evaluación de desempeño de las tecnologías *Power Line Carrier (PLC)* y *Wireless LAN* para la implementación al prototipo de sistema metropolitano de telemetría para la monitorización de parámetros eléctricos en las redes de distribución de media y baja tensión.

AUTORES: AGUDELO HERNANDEZ, Laura Liliana y FLÓREZ ACOSTA, Ovidio Alfonso.**

Palabras Claves: *Throughput*, RTT, jitter, latencia, ancho de banda, metodología.

En este trabajo se implementaron dos enlaces de datos, uno mediante el uso de Wireless LAN, tecnología inalámbrica y el otro mediante el uso de PLC, tecnología cableada, para cada enlace se propone una metodología de evaluación de desempeño, en la cual se analiza la calidad del enlace de acuerdo a varios parámetros establecidos como: *throughput*, *round trip time*, latencia, ancho de banda, *jitter*, paquetes perdidos y bits perdidos, en una serie de pruebas de laboratorio, bajo condiciones controladas, con el fin de implementar el enlace en un entorno real con el mejor desempeño posible.

Con el objetivo de evaluar el desempeño de cada enlace se utilizaron dos herramientas de análisis de tráfico: IPERF y DITG; y el comando de evaluación de retardos PING, mediante el uso de estas herramientas se realizó un barrido en los tamaños de ventana TCP y MTU, con el fin de encontrar el ajuste óptimo para la transmisión bajo condiciones de laboratorio; una vez ajustados los parámetros de transmisión se procedió a evaluar el desempeño del enlace implementado en un entorno real.

Adjunto a esto se muestran las configuraciones usadas para los equipos utilizados en cada tecnología y la programación de los *scripts* de pruebas, en los cuales se hicieron uso de las herramientas seleccionadas para la evaluación de los enlaces.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: MIE José de Jesús Rugeles Uribe. Codirector: Ing. Daniel Alexander Velazco Capacho.

ABSTRACT

TITLE: Performance evaluation of technologies PLC (Power Line Communications) and Wireless LAN for implementation of the project "Prototype of metropolitan telemetry system for monitoring parameters in electric distribution networks of medium and low voltage (SITELRED)."

AUTHORS: AGUDELO HERNANDEZ, Laura Liliana and FLOREZ ACOSTA, Ovidio Alfonso.**

KEYWORDS: *throughput*, round trip time, latency, bandwidth, jitter, methodology.

In this work were implemented two data links, using a Wireless LAN, Wireless and the other by using PLC, wired technology, for each link is proposed a performance evaluation methodology, which examines the link quality according to several parameters such as throughput, round trip time, latency, bandwidth, jitter, packet loss and bit lost, in a series of laboratory tests under controlled conditions in order to implement the link in a real environment with the best possible performance.

With the aim of evaluating the performance of each link, were used two traffic analysis tools: IPERF and DITG, and the command to evaluate delays: PING, using these tools, we made a sweep of window sizes TCP and MTU, in order to find the optimum setting for the transmission under laboratory conditions, after adjusting transmission parameters, were proceeded to evaluate the performance of the link implemented in a real environment.

Attached to this, the configurations used for equipment used in each technology and the programming of test scripts are shown, in which they made use of the tools selected for the evaluation of the links.

* Degree Project

** Faculty of Physics-Mechanical Engineering, School of Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering. Director: MIE José de Jesús Rugeles Uribe. Co-director: Ing. Daniel Alexander Velazco Capacho.

OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el desempeño de la transferencia de datos de las tecnologías *Power Line Carrier* (PLC) y *Wireless LAN* en la banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), con el propósito de analizar su conveniencia para la implementación del “Prototipo de Sistema Metropolitano de Telemetría para la Monitorización de parámetros eléctricos en las redes de distribución de media y baja tensión” (SITELRED).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar un conjunto de pruebas de desempeño para un prototipo de sistema de comunicación empleando tecnología *Power Line Carrier* considerando los parámetros: retardo, *throughput*, ancho de banda, tasa de error PER y BER, y variación de retardo o *jitter*.
- Diseñar e implementar un conjunto de pruebas de desempeño para un prototipo de sistema de comunicación empleando la tecnología *Wireless LAN*, a partir de radios que operen en la banda ISM considerando los parámetros: retardo, *throughput*, ancho de banda, tasa de error PER y BER, y variación de retardo o *jitter*.
- Realizar un análisis de la disponibilidad de las tecnologías *Power Line Carrier* (PLC) y *Wireless LAN* en la ciudad de Bucaramanga.
- Integrar los sistemas de comunicación empleando las tecnologías *Power Line Carrier* y *Wireless LAN* al “Prototipo de sistema metropolitano de telemetría para la monitorización de parámetros eléctricos en las redes de distribución de media y baja tensión”.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

A raíz de las campañas provenientes de las entidades de regulación y control del Estado Colombiano, para implantar normativas y políticas encaminadas a mejorar la calidad en el servicio de suministro de energía eléctrica, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) determinó que las empresas dedicadas a comercializar energía eléctrica, deben realizar inversiones para mejorar las redes de distribución y así disminuir las fallas técnicas en las redes, que tantos problemas causan a los usuarios. Adicionalmente, el mejoramiento de éstas, detectó la necesidad de optimizar el sistema de lectura y procesamiento de datos, su envío a los centros de gestión, y la necesidad de adoptar normas técnicas internacionales para su operación.

Al poner en ejecución este ordenamiento, todas las empresas encontraron dificultades en la implementación del sistema de medida y registro de la calidad de potencia. Esto obligó a la CREG suspender el plazo de implementación para buscar las razones que impedían el funcionamiento óptimo del sistema. Varias entidades y empresas, entre ellas la Universidad Nacional de Colombia, participaron en la revisión, llegando a la conclusión que era necesario introducir algunas precisiones de orden técnico que permitieran la adecuada implementación del sistema. De acuerdo a las disposiciones de la CREG se evidencia la necesidad de implementar un sistema que no solo mida y almacene los datos, sino que permita centralizarlos de manera automática por medio de una plataforma de comunicaciones, implementada de tal forma que se aproveche al máximo la infraestructura actual de la ESSA; en esta problemática nace la idea del proyecto de investigación objeto del presente libro.

De acuerdo con todo lo anterior, se propuso como primera medida, el diseño del enlace, para continuar con la implementación en una zona piloto, que fue dentro de las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander (UIS), de acuerdo con todas las normas de calidad y seguridad existentes para cada una de las tecnologías. Seguido, se realizaron un conjunto de pruebas, empleando un protocolo de evaluación de los sistemas de comunicación, analizando todos los datos obtenidos por estas campañas, para determinar si se generaron fallas en el sistema, de qué tipo son, y por lo tanto la corrección de todas estas. Por último fue puesto en funcionamiento el sistema de comunicación en el proyecto *“Prototipo de Sistema Metropolitano de Telemetría para la Monitorización de Parámetros Eléctricos en las Redes de Distribución de Media y Baja Tensión SITELRED”*.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la existencia de empresas que venden servicios relacionados con las comunicaciones y que los beneficiarios son toda una población, se hace necesario buscar soluciones a los problemas que se presentan en este tipo de actividad, mejorando la calidad de los servicios ofrecidos y su cobertura.

Los requerimientos teóricos con avanzada tecnológica para implementar modelos de comunicación ágiles, justifican la necesidad de invertir recursos en tiempo y dinero para llevar a cabo investigaciones en esta área. Diversas formas de comunicación se han venido desarrollando, tratando de solventar dicha necesidad. Es por esto, que ya hace varios años, la comunicación inalámbrica ha tenido gran desempeño, gracias a su facilidad de implementación; esto no presupone dejar que las tecnologías que usan algún tipo de cable para la transmisión sean olvidadas, por el contrario, incursionar en el estudio de nuevas tecnologías cableadas, hará que el usuario haga su propio balance para decidir cual servicio desea adquirir.

Este trabajo de grado muestra el interés entre la Universidad Industrial de Santander, Colciencias y la Electrificadora de Santander por desarrollar un proyecto ambicioso en el ámbito de la actualización de las comunicaciones y su implementación. En este sentido se propuso el proyecto titulado “Prototipo de Sistema Metropolitano de Telemetría para la Monitorización de Parámetros Eléctricos en las Redes de Distribución de Media y Baja Tensión, SITELRED”. Según los requerimientos de este proyecto, es indispensable el envío de información efectiva de un sitio a otro, por esta razón, tecnologías de comunicación actuales fueron seleccionadas para implementarlas mediante enlaces de datos, y posteriormente ser evaluadas verificando la conveniencia de éstas en la solución de las necesidades que requiere el proyecto SITELRED.

El presente trabajo de grado comprende la implementación de enlaces de datos, utilizando las tecnologías WLAN y PLC, con la finalidad de analizar el comportamiento de parámetros de desempeño como *jitter*, *throughput*, ancho de banda, latencia y pérdida de bits y paquetes. Básicamente, la forma de evaluarlos es siguiendo una serie de pasos, que conforman una metodología de pruebas, registrando los resultados de los parámetros de evaluación de desempeño.

El desarrollo trabajo está distribuido en cinco partes: la primera se refiere a todo el estudio bibliográfico de cada una de las tecnologías involucradas en la investigación. Este estudio contiene el funcionamiento, las características básicas, los antecedentes y el estado actual de los enlaces sometidos a evaluación. La segunda parte, muestra la serie de pasos necesarios para evaluar el rendimiento de los enlaces. En el caso de *Wireless LAN*, se realizaron dos sesiones de mediciones con diferentes distancias. La de mayor alcance, fue entre dos puntos seleccionados en el proyecto SITELRED como áreas piloto y con una distancia

aproximada de 8 Km sobre el área de la ciudad de Bucaramanga. Para el caso de PLC, los puntos seleccionados fueron designados únicamente por la ESSA, teniendo en cuenta la disponibilidad de áreas en las cuales se pudieran instalar los equipos y realizar las mediciones.

La tercera fase del desarrollo del presente trabajo, muestra la disponibilidad de implementación de estas tecnologías en la ciudad de Bucaramanga. En la ciudad existen proveedores de los equipos utilizados para la puesta en marcha de los sistemas de comunicación, lo cual ayuda en la viabilidad del proyecto.

La cuarta parte corresponde al análisis de los resultados de las mediciones realizadas para cada tecnología. Para el análisis de *Power Line Carrier* (PLC) se usó cable coaxial RG-6 simulando la línea de 13,2 kV, y fueron llamadas pruebas en laboratorio. También, se realizaron mediciones sobre la línea de media tensión. Todo este proceso, estuvo acompañado de las pruebas de caracterización de los enlaces, en la cual se encontró el mejor ajuste para los parámetros de tamaño de MTU y tamaño de ventana TCP. Esta caracterización fue realizada para mejorar el desempeño de los sistemas de comunicación.

En la quinta fase se implementaron los enlaces para el proyecto SITELRED.

1. GENERALIDADES Y ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS POWER LINE COMMUNICATIONS Y WIRELESS LAN.

En este capítulo se abordan las características generales propias del funcionamiento de *Power Line Carrier* (PLC) y de *Wireless LAN* (WLAN), el marco legal que las rige, experiencias y antecedentes de cada una de las tecnologías de comunicación a evaluar; además de las características más significativas de las herramientas usadas para la evaluación de desempeño.

1.1. POWER LINE COMMUNICATIONS.

Durante los últimos años el uso y las expectativas de nuevos sistemas de comunicaciones han venido en gran ascenso. Debido a las necesidades de nuevos servicios con mejoras en sus prestaciones, más económicos y con mejor capacidad de transmisión de la información, se ha llegado al desarrollo de tecnologías con una fuerte solución alternativa. Entre las tecnologías que se están imponiendo se encuentra *Power Line Carrier* (PLC), la cual usa la red eléctrica para transmitir datos, brindando un bajo costo gracias a la reducción en nuevas instalaciones, llegando a lugares en los cuales las redes de acceso inalámbrico no pueden llegar [1].

1.1.1. Funcionamiento.

PLC es análoga a ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) en donde se hace uso del cableado telefónico para la transmisión de datos. Para lograr la comunicación es necesario el uso de módems PLC, quienes brindan una interfaz para la transmisión y recepción de datos de la red eléctrica. Estos módems son diseñados de acuerdo a los parámetros de la red, puesto que ésta red eléctrica fue creada para el envío de energía y no de datos. Esta razón hace que PLC sea una alternativa no favorable debido a las pérdidas por atenuación inherentes al cableado eléctrico y a las interferencias por diversos tipos de ruido. Dentro de estas clases de ruido existen dos agrupaciones definidas por su duración; ruido de fondo generalizado y ruido impulsivo [2].

Las redes PLC puede trabajar en frecuencias que van desde 1-30MHz usadas comúnmente por servicios de radio [3], pero no fue aceptada debido a la radiación electromagnética que ocasionaba.

La tecnología usada para la transmisión de datos está basada en dos modalidades explicadas a continuación:

1.1.1.1. PLC de acceso

El servicio es proporcionado a través de las líneas de media y baja tensión desde las subestaciones eléctricas, en donde es inyectada la señal a la red de distribución, hasta el usuario, donde las frecuencias a usar van desde los 1,6 Mhz hasta los 10 Mhz; esto ayuda a que la atenuación de la señal en las líneas de transmisión sea menor debido a que la impedancia de la línea aumenta con la frecuencia de ésta.

La red de acceso se caracteriza por el uso de componentes como:

Modem de cabecera: encargado de recibir los datos provenientes de la red por la cual circulan éstos e inyectarlos a la red de media o baja tensión y también de seleccionar la frecuencia a la cual los datos van a ser transmitidos.

Repetidor: encargado de regenerar la señal atenuada por las grandes distancias de transmisión y de inyectarla de nuevo a éste, extendiendo el alcance de la transmisión.

Acoplador: interfaz entre la red de distribución y el adaptador encargado de inyectar o extraer la señal.

- **Capacitivo:** Enganchados directamente a las líneas de transmisión.
- **Inductivo:** acoplados mediante el campo magnético generado alrededor de la línea.

Adaptador PLC: encargado de extraer la señal de datos y enviarla al modem del usuario.

1.1.1.2. PLC domiciliaria

Usada comúnmente para el control de dispositivos domiciliarios y conectividad dentro de una casa. Emplea un modem PLC con el cual se extrae la señal de datos; este usa el cableado interno de la casa para conducir la señal de energía de 60Hz y la señal de datos que puede estar entre los 20 y 30 MHz. Gracias a que el cableado interno de una casa no es extenso, se puede hacer uso de estas frecuencias ya que las pérdidas por atenuación a altas frecuencias se ven

compensadas por la corta distancia de los cables. La señal de energía pasa por un filtro de tipo pasa bajos y la señal de datos atraviesa un filtro de tipo pasa altos para ser demodulada ofreciendo posteriormente una conexión a internet de aproximadamente 45Mbps, 18 de éstos en carga y los otros 27 en descarga.

Algunas ventajas de usar PLC son:

- Utiliza la infraestructura ya existente, es decir el cableado eléctrico, por lo que no es necesario ningún tipo de obra adicional.
- Posibilidad de crear redes de datos domesticas utilizando el cableado existente.
- Su instalación es muy rápida por parte del cliente.
- Proporciona una conexión permanente 24h al día.
- Disponibilidad de múltiples servicios a través de una misma plataforma.
- Es posible combinarla con otras tecnologías.
- Por medio de filtros se evitan las posibles interferencias generadas por los electrodomésticos
- Al estar ya implantada la red eléctrica permite llegar a cualquier punto geográfico.
- El ancho de banda es de 45 Mbps aunque actualmente ya se alcanzan velocidades de 135 Mbps y 200 Mbps.

Además, también existen algunas desventajas.

- Tiene escasa competencia tecnológica, lo cual de alguna forma reduce el desarrollo y la competitividad de ésta.
- Ausencia de estándares tecnológicos para la interoperabilidad de equipos.
- Interferencias durante la navegación a través de la Web.
- Oposición de las compañías telefónicas.

1.1.2. Modulación.

Este sistema, en su primera etapa de desarrollo usaba la modulación DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). Esta técnica de modulación usa un código de pseudo ruido o grupo de secuencias binarias que presentan propiedades aleatorias parecidas a las del ruido, para modular una portadora de tal forma que se aumente el ancho de banda y se reduzca la densidad espectral de potencia. De esta forma la señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido y así, sólo el receptor al cual el emisor haya enviado previamente la secuencia binaria, podrá restaurar la señal para su demodulación [4].

Luego, a medida que esta tecnología se fue desarrollando, se hizo necesaria una modulación más robusta que pudiera lidiar con los inconvenientes que presentaban las líneas de transmisión. Es donde OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) hace su aparición por las ventajas que tiene frente a DSSS como mayor eficiencia espectral, mayor velocidad de transmisión y la no necesidad de retransmisión de datos.

Por lo tanto la segunda y tercera generación, con velocidades de 10 a 45 Mbps para la segunda y mayores a 100 Mbps alcanzando actualmente los 200 Mbps para la tercera, se basan netamente en OFDM.

OFDM es una modulación digital en la cual a cada subportadora se le asigna una porción del ancho de banda total. Ésta se modula usando un símbolo OFDM cuya información ha sido previamente modulada en QAM o PSK, para que luego se multiplexan todas estas portadoras en frecuencia y se transmiten hacia el receptor OFDM mediante un canal físico en el caso de PLC.

La señal de entrada es una trama serial de datos, la cual pasa a través de un conversor serial a paralelo en donde se asigna un símbolo de n bits de acuerdo a la técnica de modulación usada (M-PSK o M-QAM). Cada uno de estos símbolos son ortogonales entre sí, lo que hace que el ancho de banda usado por un conjunto de portadoras disminuya. Luego, a cada símbolo se le asigna una portadora a diferente frecuencia por medio de la IFFT, esta trama de datos en paralelo junto con el proceso IFFT es en sí la modulación OFDM. Después de este proceso los datos son convertidos de nuevo a un formato serial, se agrega un intervalo de guarda o un prefijo cíclico a cada símbolo para prevenir la ISI (*Inter Symbol Interference*); seguidamente, esta señal pasa por un conversor D/A para generar una señal en banda base lista para ser modulada en RF y transmitida [5].

1.1.3. Reglamentación.

Entre los organismos regulatorios actuales se encuentran grupos tanto europeos como americanos, que trabajan en pro de impulsar el desarrollo de la tecnología PLC como una opción de comunicación competente a los sistemas convencionales de actualidad. Entre estos se tienen: IEEE, *HomePlug*, OPERA, ETSI, UPA y FCC. En la tabla 1 se muestran las entidades regulatorias y normativas que rigen PLC.

Tabla 1. Entidades Regulatorias y Normativas para PLC.

Entidades regulatorias y Normativas para PLC	
IEEE	Proyecto P1901: " <i>Draft Standard for Broadband over Power Line.</i>
	Proyecto P1675: " <i>Standard for Broadband over Power Line Hardware.</i>
	Proyecto P1775: " <i>Powerline Communications Equipment - EMC - 38 Testing and Measurement Method</i> ".
ETSI	EPPLT (<i>European Project Powerline Telecommunications</i>).
	ETSI TS 101867: 3 MHz hasta los 12 MHz para acceso exterior y de 13 MHz a 30 MHz para aplicaciones de interior.
UPA	Regulación del uso del espectro de frecuencias y las especificaciones de calidad de servicio (QoS) para los módems de usuario o CPE.
OPERA	<i>Open PLC European Research Alliance for New Generation PLC Integrated Systems.</i>
HomePlug	<i>HomePlug 1.0: "Requisitos para poder transmitir a 14 Mbps sobre el tendido eléctrico".</i>
	<i>HomePlug AV: "Condiciones para tener 200Mbps en la transferencia de datos".</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission. FCC parte 15: Servicios con licencia de espectro no deben interferir con servicios sin licencia, por otra parte los espectros sin licencia deben aceptar las interferencias .producidas por los servicios licenciados.</i>

Fuente: Los Autores.

1.1.4. Experiencias y antecedentes.

En la actualidad, existen varias empresas desarrolladoras de esta tecnología, algunas en el campo del diseño y otras en el campo de implementación con pruebas pilotos en diferentes lugares del mundo.

En Madrid (España), un número limitado de familias experimentaron esta tecnología con el fin de evaluar su viabilidad. A cargo de las pruebas estuvo la empresa Iberdrola con sede en Bilbao.

Otra ciudad como Barcelona, fue sede de varias pruebas piloto bajo la empresa Suiza ASCOM. Así mismo, Sevilla tuvo su sede piloto de pruebas bajo la empresa Valenciana DS2, además de una zona piloto importante en la cual se obtuvo la mayor experiencia. En Zaragoza, bajo el nombre de “Prueba Tecnológica Masiva” en la cual se brindaron servicios de telefonía y acceso a internet; estas tres últimas zonas piloto realizadas por la empresa española Endesa, bajo el nombre de una compañía de la misma rama conocida como “*Endesa Net Factory*” [1][6].

Por otra parte, la empresa española EPRESA, realizó pruebas en una zona en Puerto Real en la cual brindó servicios de fibra óptica y PLC a una cantidad de 1200 clientes, a quienes se les entregó el servicio de internet de banda ancha.

De forma análoga Red.es, empresa pública española, adscrita al Ministerio de industria, comercio y turismo, mediante la secretaría de estado de telecomunicaciones, ha implantado una prueba piloto en donde se evaluó equipamiento, contenidos y conectividad de banda ancha a internet; la empresa Unión Fenosa en conjunto con *MainNet* y DS2, participó en una prueba piloto en donde se ofrecía a 50 usuarios de Guadalajara y Madrid el servicio de internet mediante PLC.

Por otro lado se celebra en la ciudad de *Dresden* Alemania la decimotercera versión del ISPLC (*International Symposium on Power Line Communications*). Alemania ha participado en varias pruebas piloto con empresas como *MainNet* y ASCOM en conjunto con las electrificadoras MV, EnBW y RWE, prestando el servicio de internet en hoteles y escuelas. Austria participó junto a las electrificadoras *Linz Strom AG* y *Tiwag* prestando servicio de telefonía e internet; Suiza junto a EEF trabajó en la prestación de internet para mayoristas; Suecia y Vattenfall en la prestación de internet residencial e Italia junto él, en la prestación de servicios minoristas de internet y telefonía [3][7][8][9].

En el continente americano se han hecho pruebas de conectividad y servicio de internet en países como Argentina con empresas como EDENOR y TANDIL; México con la empresa CPE; Venezuela con empresas como CADAFE y EDC; Chile con el grupo ENERSIS, Estados Unidos con empresas como UPLC y PLCA [4][10].

A nivel nacional la implementación como tal de esta tecnología está en desarrollo con algunos proyectos liderados por la Universidad de Antioquia, la Universidad Militar Nueva Granada, y la Universidad Industrial de Santander.

1.2. WIRELESS LAN

En la actualidad, los medios de comunicación han sido de gran importancia en el desarrollo tecnológico de cada país. Por este motivo, diversas formas de llevar información se implementaron, obteniendo comparaciones de gran utilidad entre cada una de ellas; tecnologías inalámbricas o no cableadas, es lo que contemporáneamente se impone, debido a la facilidad de su puesta en marcha, además que no presenta inconvenientes en hacer buen uso del espectro radioeléctrico.

A continuación se mostrará un breve estudio de *Wireless LAN*, específicamente lo que actualmente es conocido como *Wireless Fidelity (Wi-Fi)* que opera en la banda de frecuencias de 2,4 GHz.

1.2.1. Funcionamiento.

Las comunicaciones inalámbricas usan las ondas electromagnéticas para la transmisión de señales a grandes distancias [11]. El desarrollo del presente trabajo de grado, usa enlaces inalámbricos Punto-Punto a grandes distancias usando la Banda ISM (*Industrial, scientific and Medical*) en la banda de 2.4 GHz. Debido al uso de esa de frecuencias del espectro radioeléctrico, es llamada Wi-Fi ó estándar 802.11b llamado por IEEE (*The Institute of Electrical and Electronic Engineers*).

Algunas ventajas de las redes inalámbricas son [12]:

- *Flexibilidad*: los extremos de la red inalámbrica no se encuentran unidos por ningún tipo de cable.
- *Menor planificación*: se hace más sencillo debido a que en una red inalámbrica basta con preocuparse por el área de cobertura, la distancia de trabajo y la línea de vista de los enlaces.
- *Robustez*: muy fuerte frente a eventos inesperados, ya que una red inalámbrica puede sostener el enlace mejor a ciertos tipos de inconvenientes como los climáticos.

Algunos inconvenientes de las redes inalámbricas:

- *Calidad de servicio:* puede presentar una calidad realmente mala en entornos industriales, debido a la gran cantidad de campos electromagnéticos, ocasionando interferencia. Además, debido al medio de transmisión usado, los factores climáticos logran afectar la calidad del enlace.
- *Mayor costo:* en comparación con una red cableada, el costo de la implementación de una red inalámbrica es un poco más alto. Cabe resaltar que continuamente los precios de los equipos inalámbricos se reducen, gracias a la gran acogida que han presentado.
- *Restricciones:* estas redes requieren de la asignación de una banda dentro del Espectro Radioeléctrico. Éste está muy saturado y sobre todo las bandas ISM.

1.2.2. Modulación.

El proceso de modulación es un conjunto de técnicas para transportar información a través de una onda portadora. En el caso específico de enlaces de radio, el tipo de modulación usada es la *Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)*. Es un tipo de modulación digital en la que el mensaje esta contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida o modulada. Básicamente se fundamenta en la transmisión de dos mensajes independientes por el mismo camino. Esto se consigue modulando una misma portadora desfasada 90° entre uno y otro mensaje, lo que genera la formación de dos canales ortogonales en un mismo ancho de banda, logrando una modulación con mayor eficiencia [13].

1.2.3. Reglamentación.

Como se mencionó anteriormente, una de las grandes restricciones que tiene el uso de una red inalámbrica es la banda de frecuencias para su operación. *Wi-Fi* usa la banda de 2,4 GHz, perteneciente a la banda ISM. Dicha banda está reservada para uso no comercial de radiofrecuencia, en áreas como la industrial, investigación científica y médica. En la actualidad son muy populares debido a que no necesitan licencia para poder ser usadas, pero se deben respetar ciertas normas establecidas por IEEE que regulan los niveles de transmisión.

Como normativa general se cuenta con el Estándar IEEE 802.11 [14], del cual se derivan unos complementarios dependiendo de las especificaciones que van

surgiendo poco a poco y según las necesidades. De acuerdo con esto, como primera medida fue creado el estándar 802.11 que incluye seis técnicas de transmisión por modulación. Este estándar data de 1997 y tiene velocidades de 1-2Mbps, trabajando en la banda de 2,4 Ghz. A este protocolo se le llama actualmente “802.11 Legacy”. Tomando como referencia este, se realizan modificaciones por lo que la primera apareció en 1999 y se llamo IEEE 802.11b, cuyas especificaciones son de 5-11Mbps, y también opera en la banda de 2.4GHz. La siguiente modificación es IEEE 802.11g que se ratificó en junio de 2003 y utiliza la banda de 2.4GHz al igual que el 802.11b, pero su velocidad de operación puede llegar hasta 54Mbps. La siguiente norma es la 802.11n cuya tasa de transferencia supera los 600 Mbps; estos productos pueden operar en las bandas de 2.4GHz y en la de 5GHz.

Tabla 2. Características más representativas del Estándar IEEE 802.11.

	802.11	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Frecuencia Operación	2,4GHz	5GHz	2,4GHz	2,4 GHz	2,4 GHz - 5GHz
Tasa Transferencia	1-2 Mbps	2 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps
Modulación	CSMA	OFDM	DSSS - CCK	OFDM	OFDM

Fuente: Los autores.

1.2.4. Experiencias y antecedentes.

A continuación se muestra una serie de estudios realizados en cuanto a la evaluación del desempeño de una red inalámbrica 802.11b.

En [15] los autores concluyen que existe interferencia a cortas distancias, entre una red WLAN y los hornos microondas, sistemas de iluminación plasma y dispositivos de video transmisión. Este estudio fue realizado a una distancia de 5m.

Otro tipo de interferencia se muestra en [16], en donde el ruido de los carros produce la degradación del desempeño de la red, a partir de la evaluación de un parámetro conocido como Tasa de Error de Bit (BER). Por ejemplo, para una intensidad de ruido de -70dBm, el BER está por debajo pero cercano de 10^{-3} . Para el caso de -20dBm, el BER aumenta a un nivel de 10^{-1} . Estos son datos tomados de una grafica de tabulación de datos tomados en el estudio y que está plasmado en el documento de referencia.

En [17] los autores observaron que cuando algunas estaciones inalámbricas operan a una tasa de transferencia menor que otras, el desempeño de todas las estaciones se reduce. Las estaciones que operan a la tasa más baja reduce el *throughput* de todas las otras estaciones que están transmitiendo a tasas altas, a un valor igual o similar a la más baja. Para comprender mejor este resultado, se muestran a continuación algunos datos mostrados en el documento referenciado. Para una red que contiene 20 *Wireless Stations*, con todas las estaciones a una tasa de 11Mbps, pero una operando a 2Mbps, se consigue un *throughput* igual a 1.47 Mbps.

Otro tipo de interferencias fueron expuestas en [18], en donde se realizan pruebas de una red WLAN en diversos ambientes tales como, un café internet, un hospital, escuelas de primaria y secundaria y un aeropuerto. De aquí concluyen que la mayor fuente de interferencia es el horno microondas, quien disminuye el desempeño de la red en aproximadamente un 50%. El menor desempeño de la red se mostró significativamente en horas del medio día, ya que generalmente a esas horas son usados los hornos, y en horas de la tarde, donde los estudiantes de los colegios hacen mayor uso del internet.

Existen diversos documentos donde se plantean diversas metodologías para la evaluación del desempeño de una WLAN, entre otros se resaltan los siguientes:

En [19] los autores resumen su metodología planteada en tres etapas:

- Determinación de la frecuencia y capacidad del enlace
- Escoger la localización de la estación base y determinar la altura de las antenas
- Calcular el balance de potencia de cada una de las etapas del enlace.

En [20] se expone una metodología en ocho grandes etapas, mencionadas a continuación:

- Ubicación.
- Estudio de Factibilidad del Enlace.
- Cálculos del enlace, tales como el balance de potencia, entre otros.
- Instalación.
- Características de las antenas utilizadas: patrón de radiación y ganancia de las mismas.
- Pruebas preliminares: según norma vigente.
- Configuración de equipos.

- Resultados.

El autor del trabajo de investigación [21], plantea una metodología para la predicción del *throughput* mostrada a continuación:

- Registro del escenario
- Técnica de distorsión
- Selección de la trayectoria más corta
- Calculo del RSSI
- Interpolación
- Predicción de la tasa de *throughput*
- Visualización de resultados
- Resumen y conclusiones

La siguiente lista muestra la metodología usada en [22].

- Parámetros de medición.
- Tipo y tamaño del paquete.
- Caracterización del lugar.
- Escenarios: *Outdoor*, oficina abierta, oficina cerrada.
- Pruebas propuestas: RSSI, *throughput*, BER, Latencia y Jitter.

1.3. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

En esta sección, se describen cada uno de los parámetros en los cuales se basa la evaluación de desempeño de las tecnologías involucradas en el presente trabajo de grado.

1.3.1. *Throughput*.

Tasa Real Efectiva o *throughput* es la cantidad efectiva y real de datos por unidad de tiempo que se entregan mediante la conexión de dos puntos en una red.

También puede definirse como la medida de la tasa de transferencia real en algún momento determinado de un sistema de comunicaciones [21].

1.3.2. Ancho de banda.

Se define como la medición de la cantidad de datos o bits, que pueden ser transmitidos desde un lugar a otro en un determinado intervalo de tiempo. Las unidades para este tipo de parámetro está dada en bit por segundo (bps). El ancho de banda es de gran importancia en el desempeño de una red, ya que al tener mayor ancho de banda se tiene mayor posibilidad de transmisión de datos en un mismo periodo de tiempo [21].

1.3.3. Retardos.

Este parámetro es conocido comúnmente como RTT (*Round Trip Time*) y está definido como el tiempo que tarda un paquete enviado desde el transmisor en volver a este mismo transmisor, pasando por el destino receptor. De gran importancia y ayuda porque interviene en gran medida en la eficiencia del sistema.

1.3.4. Latencia.

La latencia se refiere al tiempo necesario para que un paquete de datos sea transferido desde el origen al destino. Además, se denomina latencia a la suma de retardos temporales dentro de una red. Un retardo es producido por la demora en la transmisión de paquetes dentro de la red.

1.3.5. Jitter.

Conocido también como variación de los retardos, y se define como el cambio o variación en cuanto a la cantidad de latencia entre paquetes de datos que se reciben. Las variaciones de la latencia producen el fenómeno de *jitter*, quien se manifiesta en una pérdida de datos debido a que el receptor de paquetes no logra mantener la cantidad de paquetes para ser procesados.

1.3.6. BER y PER.

La definición de BER se deduce de la relación entre el número de bits errados al ser recibidos por el receptor, y el número de bits transmitidos en un intervalo de tiempo determinado mientras se realiza una comunicación. Las mediciones de este tipo se aplican generalmente a las conexiones punto a punto, de esta forma se puede evaluar el funcionamiento de una red de manera total o parcial. De forma análoga se define el PER, como el número de paquetes errados en un intervalo de tiempo.

1.4. HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

A continuación, se explican brevemente las herramientas de evaluación de desempeño que fueron seleccionadas para la toma de mediciones, fueron seleccionadas según sus características más representativas.

1.4.1. D-ITG (*Distributed Internet Traffic Generator*).

D-ITG (*Distributed Internet Traffic Generator*) es una herramienta que permite evaluar el desempeño de redes. Está en la capacidad de medir *throughput*, paquetes perdidos, latencia y *jitter*, ya sea de redes cableadas o inalámbricas. Usando diversas configuraciones se pueden modificar parámetros como el tamaño del *Maximum Transfer Unit* (MTU), el intervalo en el cual se desean los reportes, el número del puerto para el envío del tráfico, entre otras.

1.4.2. Iperf.

Es una herramienta de análisis de punto inicial a punto final, que permite realizar mediciones de parámetros como: retardos, *jitter* y ancho de banda. Las características más importantes que se encuentran en esta herramienta son [23][24]:

- Pruebas entre dos extremos de una red.
- Comandos de texto para el llamado de las diversas funciones.
- Gran variedad de pruebas para mediciones de red controladas.

- Soporta protocolos TCP y UDP.
- Establecimiento de conexión mediante el modo cliente, al modo servidor.

1.4.3. Ping.

Ping verifica la conexión de uno o más terminales en una red. Mide el tiempo que tarda en establecerse la comunicación entre dos puntos. Este comando funciona bajo DOS, enviando una cierta cantidad de paquetes denominados ICMP (*Internet Control Message Protocol*), causando en el equipo receptor respuesta de paquetes también ICMP.

Casi todos los sistemas operativos (Windows, Mac, Linux y BSD(*Distribución de Software Berkely*)) incluyen una versión de la herramienta Ping.

Tabla 3. Resumen de las características más representativas de las Herramientas de Evaluación de Desempeño.

	Parámetros						Sistema Operativo		Parámetros de Modificación	
	Ancho de Banda	<i>Throughput</i>	Jitter	Latencia	Retardos	PER y BER	Linux	Windows	MTU	Ventana TCP
Ping										
D-ITG										
Iperf										

Fuente: Los Autores.

2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LAS TECNOLOGÍAS.

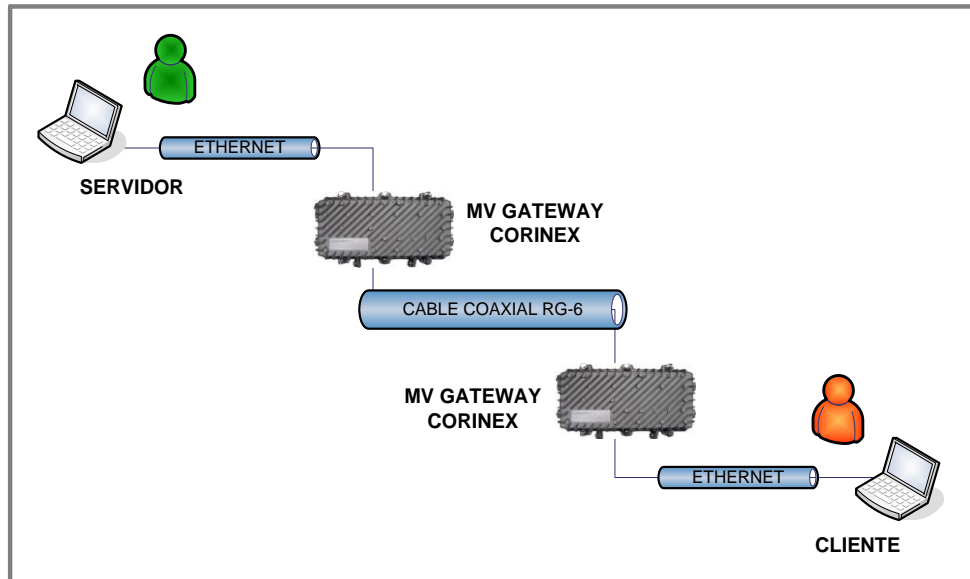
En el presente capítulo, se muestra la serie de pasos realizados para la evaluación de desempeño de cada uno de los enlaces de datos implementados. Se explica cómo fueron realizados cada uno de esos pasos que conforman la metodología de cada una de las tecnologías.

2.1. PRUEBAS PRELIMINARES PARA PLC

Estas pruebas preliminares pretenden establecer las configuraciones de la Herramientas, para lo cual se observa el rendimiento del enlace variando los tamaños de MTU y tamaños de ventana TCP (*Transmission Control Protocol*). Estas pruebas se efectuaron en media tensión y con el cable coaxial de 150 m de longitud. La serie de mediciones se realizaron siguiendo el esquema de la Figura 1. , y fueron:

- Medición de los parámetros de ancho de banda, *throughput*, RTT, jitter, latencia y pérdida de bits y paquetes empleando la configuración por defecto de las herramientas involucradas en la medición. Esta prueba se realizó entre 5 y 90 segundos en pasos de 5 segundos y repitiendo las mediciones 3 veces.
- Medición de los parámetros de evaluación de ancho de banda, *throughput*, RTT, *jitter*, latencia y pérdida de bits y paquetes empleando la configuración por defecto de las herramientas. Esta prueba permitirá comparar los resultados con los de variación de MTU y ventana TCP.
- Medición de los parámetros de ancho de banda, *throughput*, RTT, *jitter*, latencia y pérdida de bits y paquetes variando el tamaño de MTU. Los tamaños de MTU son 32,64, 128, 256, 512,1024 y 1520 bytes. Para cada tamaño de MTU se repitieron 3 veces las mediciones.
- Medición de los parámetros de ancho de banda, *throughput*, RTT, *jitter*, latencia y pérdida de bits y paquetes empleando diversos tamaños de ventana TCP. Las variaciones del tamaño son 16, 32, 64, 128, 256, 512 y 1024 Kbytes.

Figura 1. Esquema del Montaje y Conexión para las Pruebas Preliminares PLC.



Fuente: Los Autores.

Con esta serie de mediciones preliminares se obtuvo el valor de los parámetros apropiados de tiempo de la prueba, tamaño de MTU y tamaño de Ventana TCP para la realización de las pruebas de evaluación de rendimiento con parámetros ajustados.

2.2. PRUEBAS PRELIMINARES PARA WIRELESS LAN.

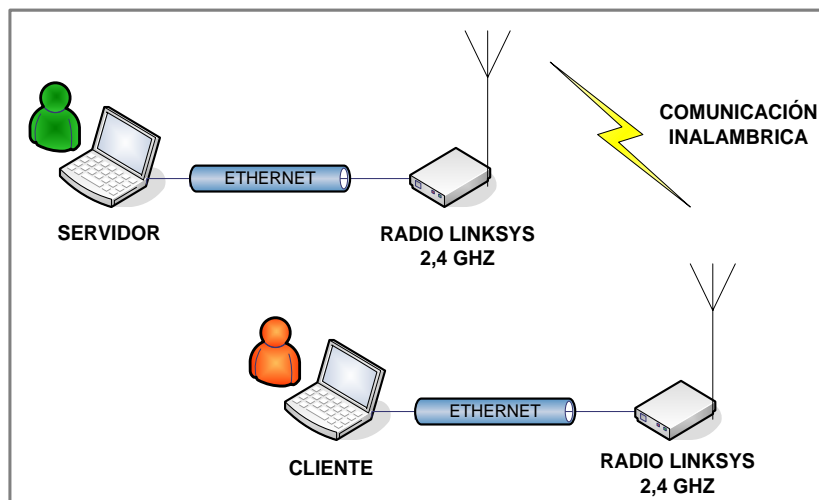
Estas pruebas se diseñaron para obtener las configuraciones iniciales de las herramientas de evaluación de desempeño. Con esto se buscaba observar el comportamiento de enlace variando los tamaños de MTU (tamaño de paquete a enviar) y el tamaño de la ventana TCP. La serie de mediciones realizadas siguieron el esquema de la Figura 2. y fueron las siguientes:

- Medición de los parámetros de ancho de banda, *throughput*, RTT, *jitter*, latencia y pérdida de bits y paquetes empleando la configuración por defecto de las herramientas usadas para la toma de medidas. Esta prueba se realizó en un intervalo de 5 a 90 segundos, con paso de 5 segundos y repetición de 3 veces cada una.
- Medición de los parámetros de ancho de banda, *throughput*, RTT, *jitter*, latencia y pérdida de bits y paquetes empleando la configuración por

defecto de las herramientas. Esta prueba permitirá comparar los resultados con los de variación de MTU y ventana TCP.

- Medición de los parámetros de ancho de banda, *throughput*, RTT, *jitter*, latencia y pérdida de bits y paquetes variando el tamaño de MTU. Los tamaños de MTU seleccionados son 32, 64, 128, 256, 512, 1024 y 1500 Bytes, con repeticiones de 3 veces por cada tamaño. Con esto se buscaba el ajuste del valor de MTU adecuado, para la obtención del mejor rendimiento del enlace.
- Medición de los parámetros de de ancho de banda, *throughput*, RTT, *jitter*, latencia y pérdida de bits y paquetes empleando diferentes tamaños de ventana. Los tamaños de ventana seleccionados son 4, 8, 16, 32, 64, 128 y 256 KBytes, con repeticiones de 3 veces por cada uno de los tamaños. Con esto se buscaba el ajuste del valor de la ventana adecuado, para la obtención del mejor comportamiento del enlace.

Figura 2. Esquema de conexión para pruebas preliminares *Wireless LAN*.



Fuente: Los Autores.

2.3. METODOLOGIA DE PRUEBAS PARA PLC

Esta serie de pasos llamados metodología de pruebas, fueron realizados para el cumplimiento de la evaluación de desempeño de los enlaces de PLC, teniendo en cuenta la medición de los parámetros mencionados en los objetivos del presente trabajo de investigación.

2.3.1. Caracterización del lugar del enlace.

Esta fue la primera etapa de una serie de pasos, por lo cual es de gran importancia conocer el lugar donde se implementaron los enlaces de datos. En media tensión, se analizaron dos lugares, uno para las pruebas en laboratorio y otros para las pruebas en línea viva o sobre la línea de media tensión.

2.3.1.1. Caracterización del lugar del enlace para las pruebas de laboratorio.

Esta caracterización hace referencia a las condiciones controladas bajo las cuales fueron realizadas las mediciones. Condiciones tales como usar cable RG-6 para simular la línea de media tensión, usando longitudes de 40 m y 150 m. Esto permitirá observar el comportamiento del enlace de datos al variar la longitud del cable. El uso de este tipo de cable fue sugerencia de los fabricantes de los *gateways*.

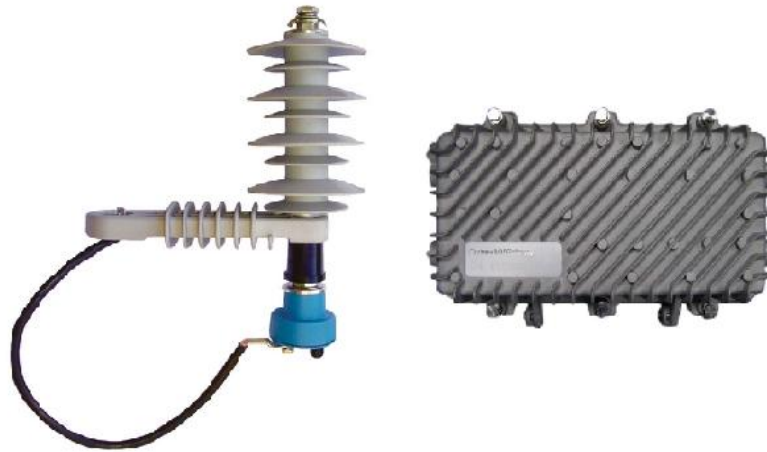
2.3.1.2. Caracterización del lugar del enlace para las pruebas en línea viva.

Esta caracterización hace referencia a las condiciones físicas mínimas para adecuar el sitio de instalación de los equipos. Los sitios dispuestos para estas pruebas fueron seleccionados por el personal del departamento de Línea Viva de la ESSA y fueron: un punto ubicado en la Subestación Real de Minas de la ciudad de Bucaramanga, y el otro a una distancia aproximada de 300m en un área residencial.

2.3.2. Instalación de los equipos en los lugares seleccionados.

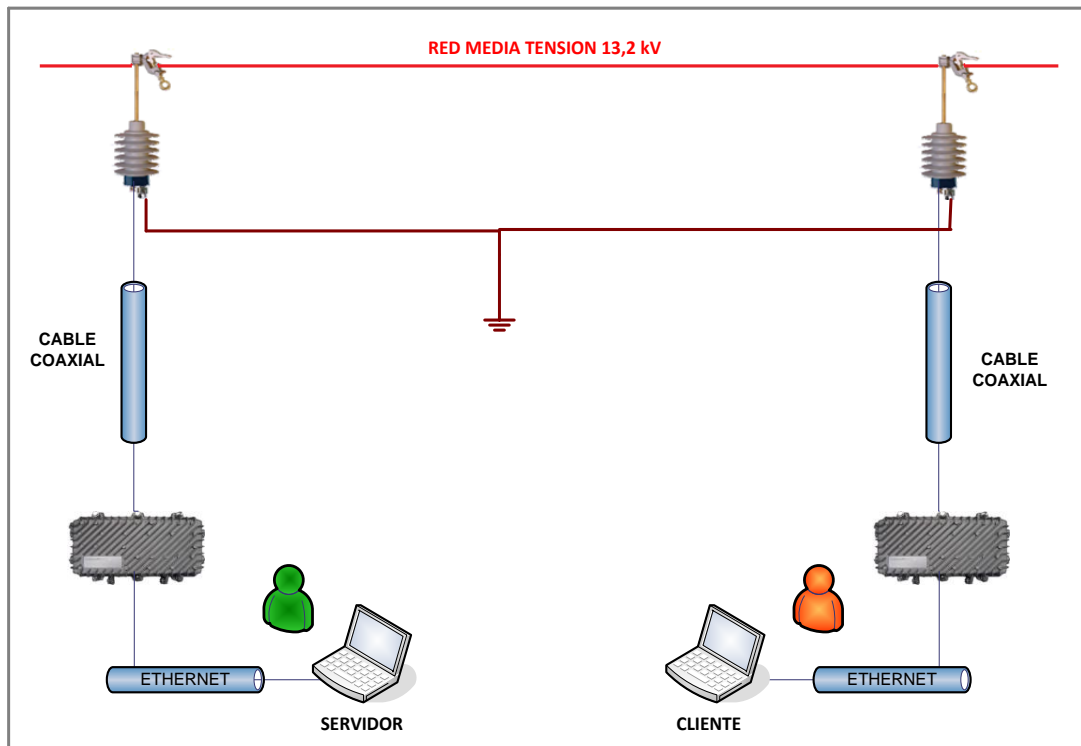
Esta fase de la metodología hace referencia principalmente a la realización de las mediciones en línea viva, puesto que cuando las pruebas se realizan en el Laboratorio no hay necesidad de la instalación del gancho acoplador de la señal. La instalación del acoplador [25][26] debe realizarse directamente sobre la línea cargada a 13,2 kV, en coordinación logística con la cuadrilla de técnicos de la Electrificadora. Además, se hizo un listado de los elementos necesarios para las pruebas tales como mesas, extensiones, cables de Ethernet y demás (Ver figuras 3 y 4).

Figura 3. Acoplador Capacitivo OVERCAP-X y MV Gateway.



Fuente: www.artech.com y CXP-MVG User Guide

Figura 4. Esquema de Conexión para las pruebas en Línea Viva empleando PLC.



Fuente: Los Autores.

2.3.3. Configuración de los equipos.

En esta fase de la metodología, se realizó la configuración de los equipos involucrados en las mediciones. En comienzos del desarrollo del presente proyecto, se realizaron algunas configuraciones a los MV Gateway, pero debido a que no se presentaron los resultados satisfactorios, éstos fueron enviados a soporte técnico por parte de la empresa encargada de su distribución. En esta revisión, los equipos fueron configurados de manera permanente, de modo tal que en el momento en el que ellos fueron conectados al cable coaxial que llega al acoplador, no se necesitaría ningún tipo de configuración especial, solo bastaría con asignar una IP al computador que se esté usando. Sin embargo, en el anexo A se encuentra la configuración de los equipos, cuando no presentan algún tipo de software permanente.

2.3.4. Puesta en marcha del sistema de comunicaciones.

En esta fase se realizan las mediciones. Para estas mediciones se hace necesario el desarrollo de un programa en Linux (*script*) para ser ejecutado según las condiciones planteadas para el sistema. En el caso de las pruebas de laboratorio, se realizaron mediciones con los parámetros de las herramientas de desempeño por defecto y ajustados. Mientras que en el caso de las mediciones en línea viva, simplemente se realizaron con los parámetros de las herramientas ajustados. Estos parámetros de las herramientas, hace referencia a aquellos que fueron seleccionados gracias a las pruebas preliminares. Según las condiciones de logística, las pruebas en línea viva fueron ejecutadas de acuerdo a la disponibilidad de energía para la conexión de los *gateways* y de los computadores necesarios para las mediciones; por esta razón, pruebas en jornadas de máximo cuatro horas, en la mañana o en la tarde, pudieron ser ejecutadas.

2.4. METODOLOGÍA DE PRUEBAS PARA WIRELESS LAN

A continuación se presenta un procedimiento general diseñado para enlaces de radio teniendo en cuenta algunas características generales de funcionamiento, que pretende evaluar algunos indicadores de rendimiento en un sistema de comunicaciones. El diseño de este procedimiento está dado para ajustarse a enlaces de datos punto a punto, así como realizar mediciones de parámetros tales como *throughput*, ancho de banda, tasas de error de bit y de paquetes, así como RTT y *jitter*.

2.4.1. Caracterización del lugar del enlace.

Para la puesta en marcha del sistema de comunicación, fue indispensable conocer el lugar donde se instalaron los equipos para la realización de las pruebas. En este punto, se seleccionaron dos sitios de manera tal, que se pudieran obtener distancias diferentes para poder evaluar el comportamiento del enlace de datos.

- **Distancia pequeña:** los sitios seleccionados están dentro de las instalaciones de la UIS, teniendo una distancia aproximada de 5m.
- **Distancia Grande:** gracias a la infraestructura de la Electrificadora de Santander (ESSA), se cuenta con unas torres de comunicaciones ubicadas en zonas aledañas al aeropuerto Palonegro de la ciudad de Bucaramanga. Debido a la altura de estas torres, hay línea de vista amplia hacia la mayoría de la ciudad, obteniendo de esta forma el enlace para una distancia grande, desde el sitio llamado Palonegro hasta la UIS, con una distancia de aproximadamente 8 Km.

Además de la selección de los sitios para la instalación de los equipos, en esta etapa se conocieron las condiciones mínimas necesarias para adecuar el lugar, tales como materiales, personal requerido, dispositivos y algún tipo de herramientas.

2.4.2. Diseño de los enlaces.

Según el funcionamiento de cada tecnología, se hace necesario hacer una serie de cálculos previos que permitan encontrar la distancia entre los puntos de transmisión y recepción. Estos cálculos fueron realizados teniendo en cuenta la ecuación de *Friss* [27], y suponiendo la ganancia de las antenas como una variable desconocida. Además de los cálculos del balance de potencia de la ecuación de *Friss*, también se calculó las longitudes de los enlaces, usando el método de la redondez de la tierra expuesta en [28] partiendo de las coordenadas geográficas de cada uno de los puntos de instalación de los equipos.

2.4.3. Instalación de los equipos en la ubicación correspondiente.

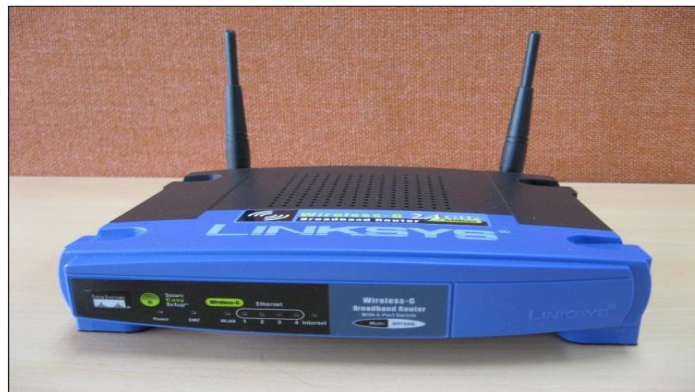
Las campañas de medidas, fueron realizadas en jornadas de días completos. Se realizó toda la gestión de logística para poder realizar la instalación, la alineación de las antenas, verificación del estado del enlace y finalmente realizar la toma de

datos. La duración de la toma de mediciones fue de 2 horas, para cada uno de los enlaces.

2.4.4. Configuración de los equipos.

Partiendo de los equipos asignados por el Proyecto “*SITERLRED*”, *Wireless G Broadband Router Linksys Modelo WRT54G* [29], se configuraron bajo los perfiles AP “*Acces Point*” y cliente para poder establecer la comunicación punto a punto. Además de estas características, se modificó la máxima tasa de transferencia de los *routers*, cumpliendo de esta forma con la tasa de 11Mbps del estándar IEEE 802.11b. Además, en esta etapa se tienen en cuenta los resultados obtenidos de las pruebas preliminares como son el tamaño del paquete a enviar y el tamaño de la ventana TCP, para obtener el mayor rendimiento de los enlaces de datos. En este punto, el sistema de comunicaciones se encuentra listo para las mediciones.

Figura 5. Equipo utilizado para la serie de mediciones de *Wireless LAN*.



Fuente: Los Autores.

2.4.5. Puesta en marcha del sistema de comunicación.

En este punto se realizó la ejecución de un programa en Linux (*script*) diseñado con las herramientas de desempeño seleccionadas para la medición de cada parámetro. En la siguiente tabla se puede observar cómo fueron usadas cada una de las herramientas. En el Anexo D se observa el código completo implementado para la toma de mediciones con las herramientas seleccionadas.

Tabla 4. Herramientas usadas para la medición de parámetros.

	Ancho de Banda	Throughput	Jitter	Latencia	Retardos	PER y BER
Ping						
D-ITG						
Iperf						

Fuente: Los Autores.

Los *scripts* fueron creados de forma tal, que solo fuera necesario el ingreso de la dirección IP del otro nodo del enlace de radio. Los parámetros requeridos por las herramientas, fueron ajustados de acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas preliminares (MTU y ventana TCP). Además, cabe anotar que todas estas series de mediciones fueron hechas bajo el sistema operativo Linux, puesto que es el entorno bajo el cual las herramientas están diseñadas.

2.5. Disponibilidad de las tecnologías de comunicación.

A continuación se presenta una descripción acerca de la cobertura de las tecnologías PLC y *Wireless LAN* en la ciudad de Bucaramanga.

2.5.1. Disponibilidad para *Power Line Communications*.

PLC es un tipo de tecnología que puede definirse como propietaria. La cobertura que brindaría PLC en la ciudad de Bucaramanga, dependería de la disponibilidad de los Módems para ser instalados, además de la infraestructura de las redes eléctricas con las que cuenta la Electrificadora de Santander ESSA. En cada subestación presente en la ciudad, podría instalarse un *gateway* el cuál según sus características técnicas podrían ofrecer una cobertura de hasta 2 Km. En caso de que se desee implementar PLC en un área grande, se debe instalar *gateways* aproximadamente cada 2km para poder brindar una cobertura del servicio del 100% o instalar algún tipo de repetidor.

Los equipos para la tecnología PLC en media tensión, se pueden adquirir a la marca *Corinex*; sin embargo, existen diversos proveedores para los módems de

baja tensión como son *Lynksys, Trendnet y Netgear*, entre ellos adaptadores para coaxial, adaptadores para cable LAN y adaptadores inalámbricos.

2.5.2. Disponibilidad para *Wireless LAN*.

La tecnología de comunicación llamada *Wireless LAN*, ofrece una cobertura total en el Municipio de Bucaramanga; esto es debido a que la implementación dependería solamente de la disponibilidad de los equipos necesarios para su funcionamiento. Además, gracias a que opera en la banda de frecuencias de 2.4GHz no necesita algún permiso especial por parte del gobierno nacional, es decir, es una banda de uso libre. Cabe aclarar, que la cobertura que pueda brindar cada Radioenlace depende las características técnicas de los radios, de la potencia de las Antenas y de la topología del terreno sobre el cual, pasará la línea de vista del enlace.

Para esta tecnología *Wireless LAN*, existe gran variedad de proveedores de radios que pueden usarse para gran cantidad de aplicaciones, entre los que se encuentran *Lynksys, Trendnet, D-Link, Cisco, 3Com y Scientific Atlanta*.

3. RESULTADOS DE LA METODOLOGIA PARA POWER LINE COMMUNICATIONS Y WIRELESS LAN.

En esta sección se describen los resultados de las mediciones realizadas a los enlaces de datos; en la primera parte se exponen los de PLC y en la segunda parte se exponen los de *Wireless LAN*.

3.1. RESULTADOS PRUEBAS PLC

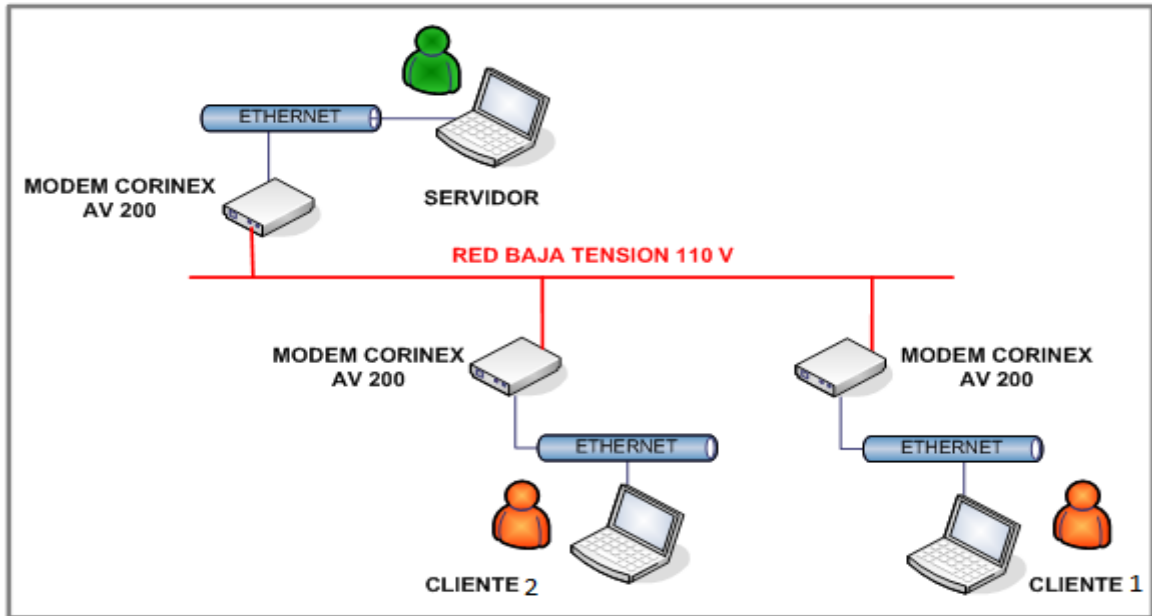
A continuación se mostrarán todos los resultados obtenidos a los enlaces implementados de PLC para su evaluación. En primera instancia, estarán los datos de pruebas realizadas con los módems AV200 en baja tensión. Seguido, se encontrarán los resultados de las campañas de medidas realizadas para media tensión, las realizadas en laboratorio para la caracterización y las realizadas en línea viva.

3.1.1. Resultados pruebas en Baja Tensión.

Estas pruebas en baja tensión, fueron realizadas como complemento a las pruebas con cable coaxial y en línea viva. Estas mediciones se realizaron teniendo en cuenta la configuración mostrada en la figura 6. Básicamente lo que se quiere ver, es el comportamiento que tendría una pequeña red PLC en baja tensión. Las condiciones bajo las cuales fueron hechas son:

- Se cuenta con 3 módems *Corinex AV200* [30].
- Una de las tres estaciones fue seleccionada como servidor, para la ejecución de los scripts de medición de parámetros.
- Los nodos establecidos como cliente, tiene en el mismo servidor en común.
- El tiempo total de ejecución es de 30 minutos; se inicializa el *servidor* al tiempo con el cliente 1; al cabo de los 15 minutos después se inicia el *cliente 2*, físicamente entre el *Servidor* y el *Cliente 1*. Esto muestra la influencia al entrar en funcionamiento una nueva estación, en medio de otra ya en funcionamiento.

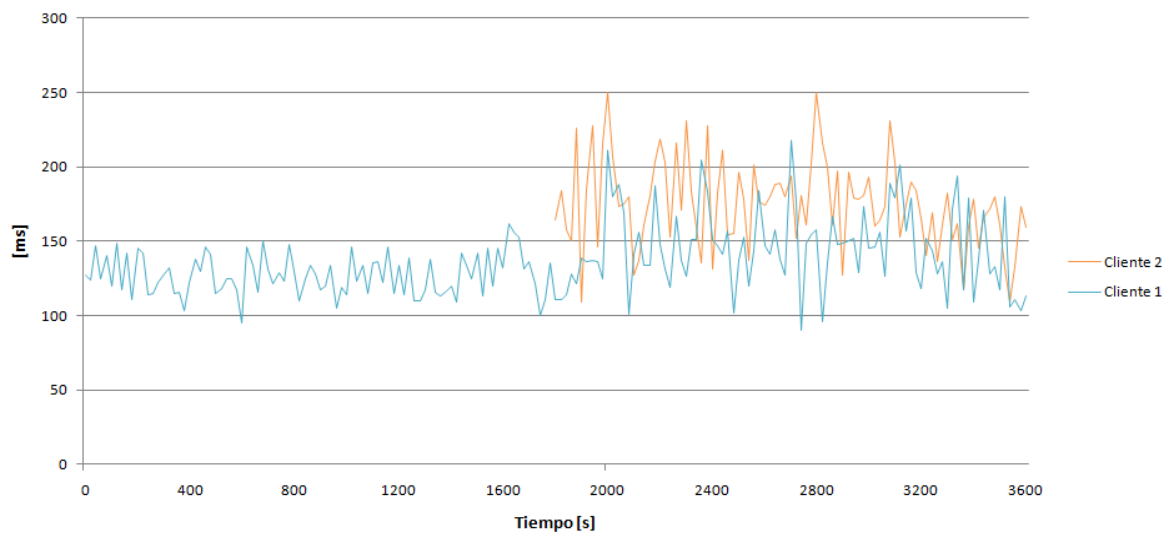
Figura 6. Esquema de Configuración para las Pruebas en Baja Tensión.



Fuente: Los Autores.

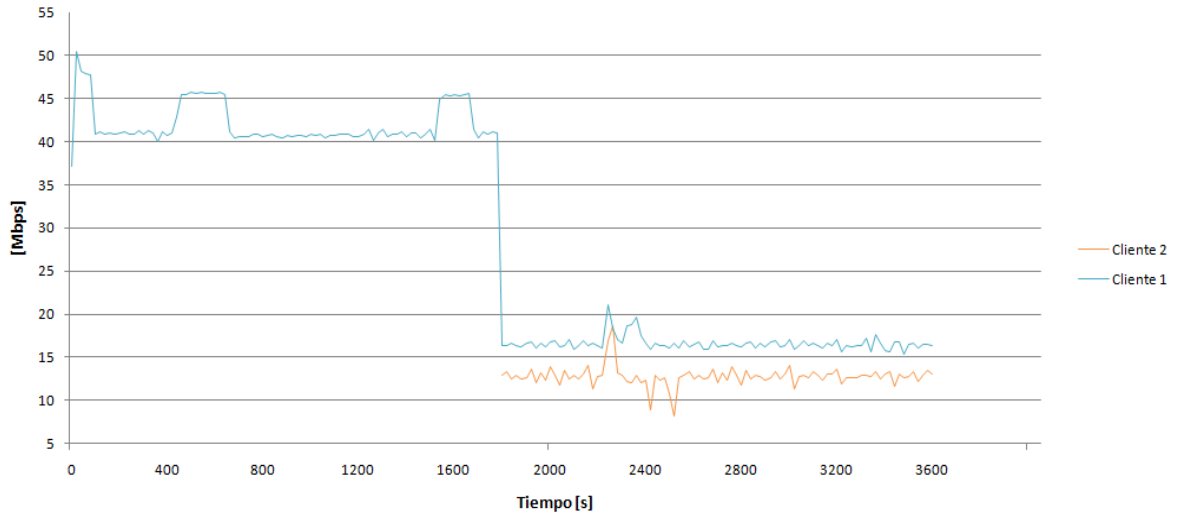
Los resultados de las mediciones de la pequeña red en baja tensión se muestran en las figuras 7 a 11 y se resumen en la Tabla 5.

Figura 7. Resultados de RTT para la prueba de PLC en baja tensión.



Fuente: Los autores.

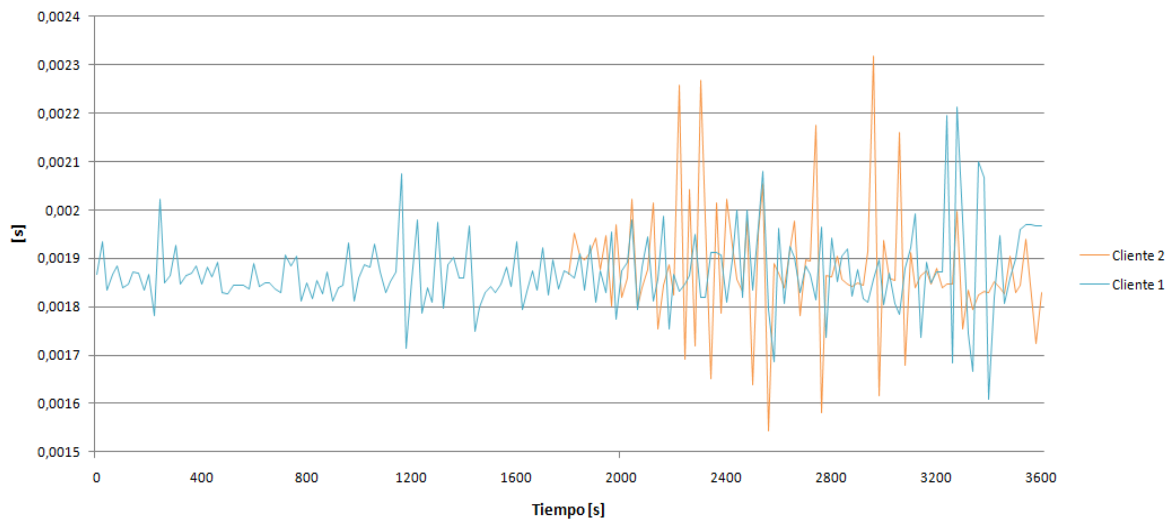
Figura 8. Resultados de ancho de banda para la prueba de PLC en baja tensión.



Fuente: Los autores.

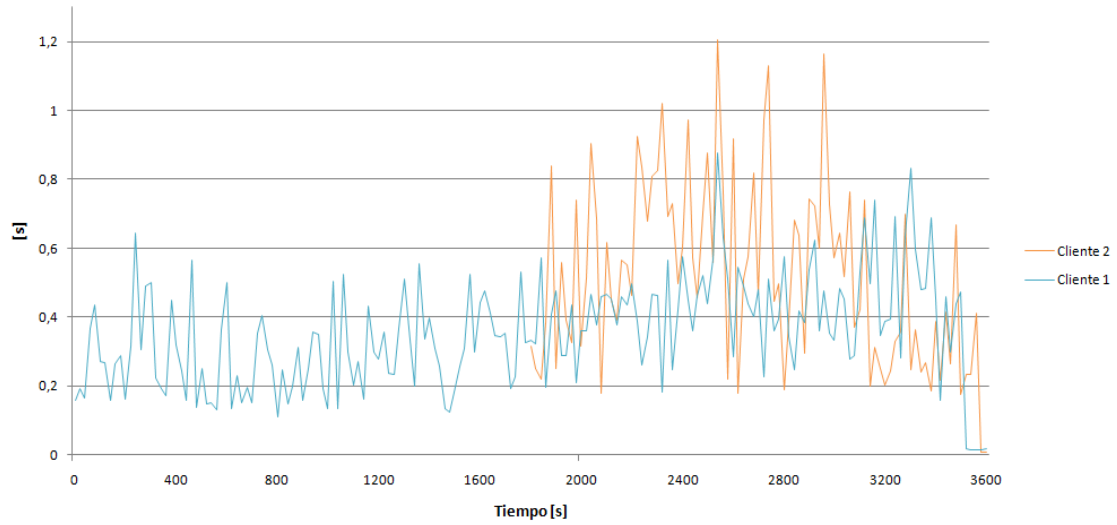
Las mediciones arrojan valores de ancho de banda en el cuál, se observa una disminución considerable a partir del momento en el que el cliente 2 entra en funcionamiento, logrando mantener el ancho de banda del *cliente 1* en un valor muy cercano al del *cliente 2* , entre 10 y 15 Mbps.

Figura 9. Resultados de jitter para la prueba de PLC en baja tensión.



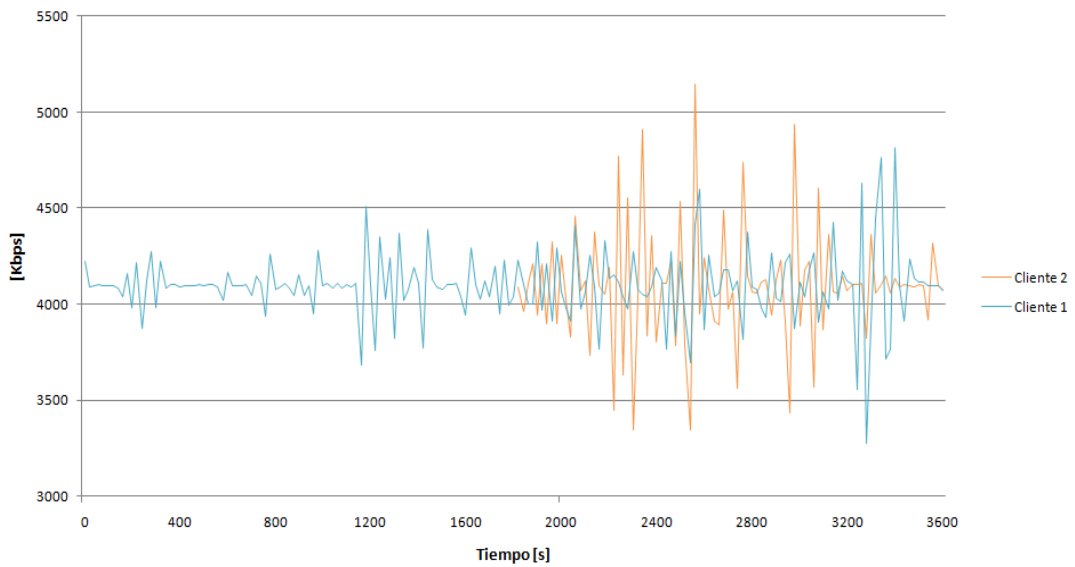
Fuente: Los autores.

Figura 10. Resultados de latencia para la prueba de PLC en baja tensión.



Fuente: Los autores.

Figura 11. Resultados de *throughput* para la prueba de PLC en baja tensión.



Fuente: Los autores.

Tabla 5. Medidas estadísticas para las pruebas en baja tensión.

Tipo de Estación	Mediana		Promedio	
	Cliente 1	Cliente 2	Cliente 1	Cliente 2
Throughput [Mbps]	4,095	4,096	4,096	4,095
Latencia [s]	0,353	0,497	0,355	0,521
RTT [ms]	134	175	136,360	175,197
Ancho de banda [Mbps]	21,1	12,9	29,258	12,792
Jitter [ms]	1,862	1,858	1,87086	1,87768

Fuente: Los autores.

De la Tabla 5, se observa que para los parámetros de retardos (RTT, *jitter* y latencia) la influencia cuando entra en funcionamiento la nueva estación, es notoria, puesto que hace que aumenten estos. El *throughput* tiende a mantenerse en un valor alrededor de 4 Mbps, aunque con algunas fluctuaciones que logran llegar hasta 5,2 Mbps aproximadamente.

3.1.2. Resultados de pruebas en media tensión.

La serie de mediciones para las pruebas realizadas en media tensión se separan en dos grupos. El primer grupo llamado pruebas de laboratorio, utilizaron el cable coaxial RG-6 para simular los 13,2 kV de la línea de media tensión, y el segundo grupo llamado pruebas en línea viva se realizaron conectando un acoplador en la subestación “Real de Minas” de la ESSA de la ciudad de Bucaramanga, y el otro a una distancia aproximada de 300 m, en un poste situado en una zona residencial alejada a la subestación.

3.1.2.1. Resultados de pruebas de laboratorio.

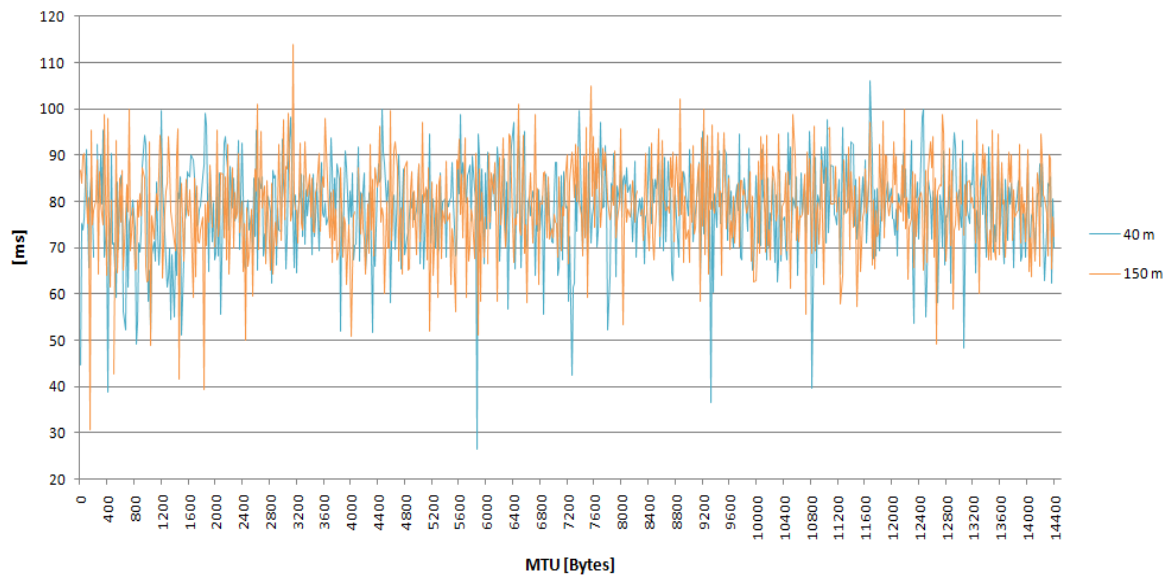
A continuación se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas sobre el cable coaxial (que simula los 13,2 kV de la línea de media tensión) llamadas pruebas en laboratorio.

3.1.2.1.1. Resultados con parámetros de transmisión por defecto.

Estas pruebas fueron realizadas con los parámetros por omisión de las herramientas de evaluación de desempeño. Fue utilizado el cable coaxial para tener una aproximación a la línea de media tensión, además que fue la referencia sugerida por el fabricante para la realización de estas mediciones. La duración de las pruebas fue de 4 horas, y con longitudes de 40 m y 150m de cable coaxial. El lugar donde se realizaron estas mediciones es el laboratorio del grupo de investigación en Conectividad y Procesado de Señal CPS de la UIS.

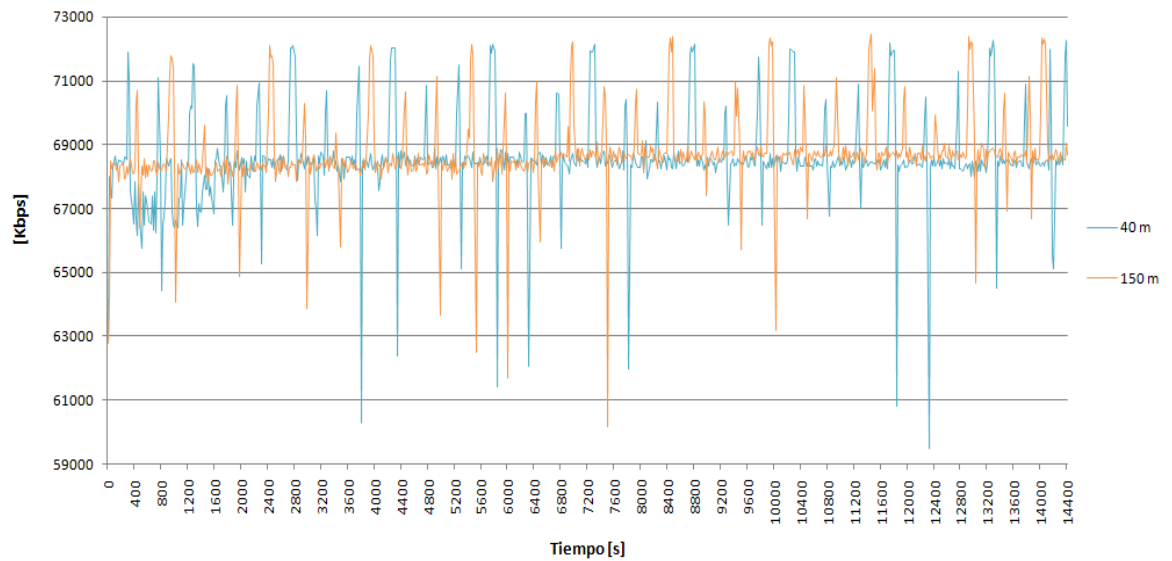
El resultado de los parámetros obtenidos en las mediciones para cada longitud de cable, son mostradas en las figuras 12 a 16 y se resumen en la Tabla 6.

Figura 12. Comparación de RTT con parámetros de transmisión por defecto.



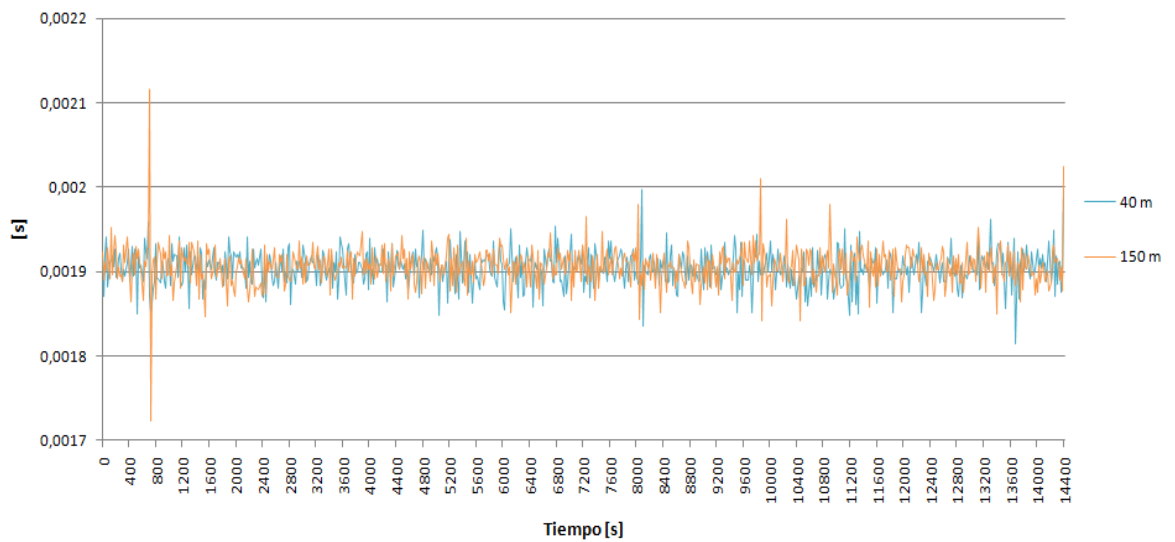
Fuente: Los autores.

Figura 13. Comparación de ancho de banda con parámetros de transmisión por defecto.



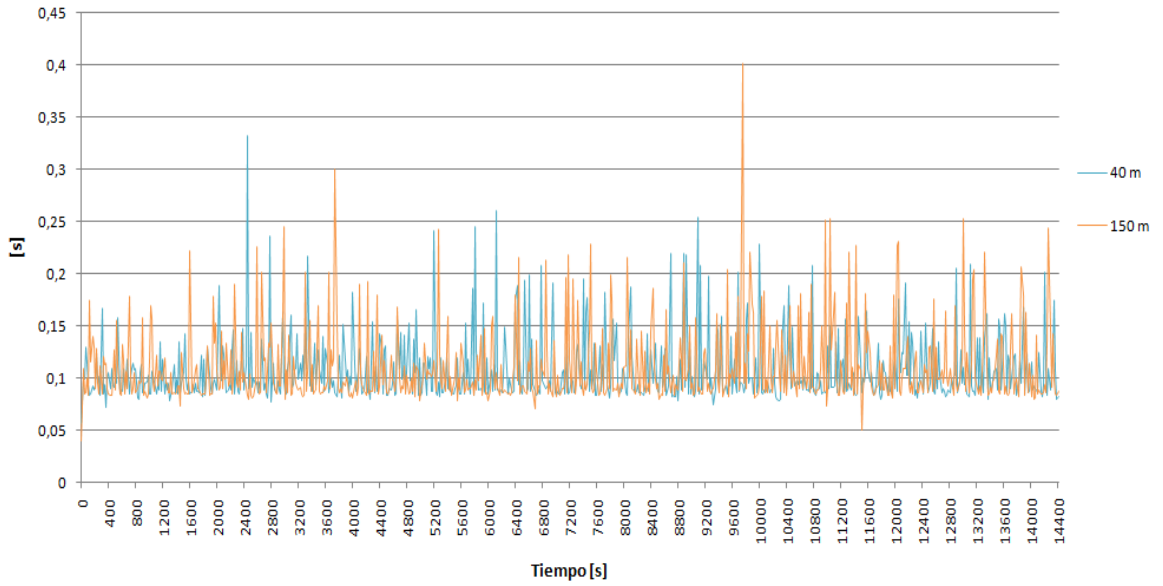
Fuente: Los autores.

Figura 14. Comparación de jitter con parámetros de transmisión por defecto.



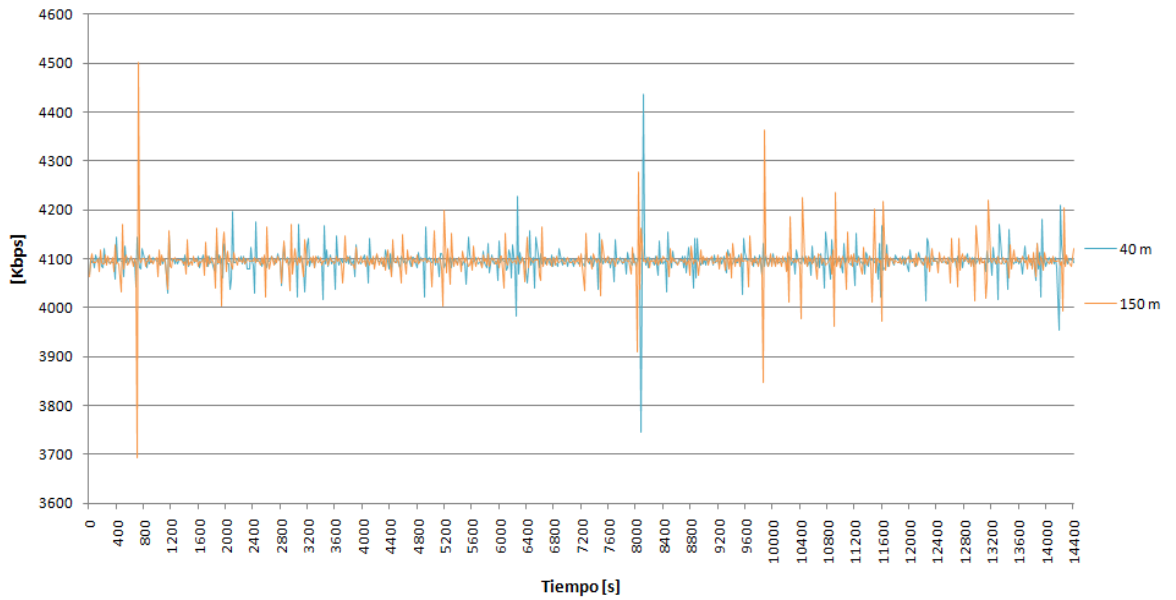
Fuente: Los autores.

Figura 15. Comparación de latencia con parámetros de transmisión por defecto.



Fuente: Los autores.

Figura 16. Comparación de *throughput* con parámetros de transmisión por defecto.



Fuente: Los autores.

Tabla 6. Medidas estadísticas para las pruebas en media tensión con cable coaxial y parámetros de transmisión por defecto.

	Mediana		Promedio	
	40 m	150 m	40 m	150 m
Distancia	40 m	150 m	40 m	150 m
RTT [ms]	79,05	78,06	78,13	78,74
Ancho de Banda [Mbps]	68,45	68,56	68,53	68,70
Jitter [ms]	1,905	1,907	1,903	1,906
Latencia [ms]	94,81	94,84	106,69	109,37
Throughput [Mbps]	4,095	4,095	4,096	4,097

Fuente: Los Autores

Los resultados de las pruebas con los parámetros por defecto de las herramientas, evidencian inestabilidad en la Latencia, en el RTT y en el *jitter*; esto sugiere realizar un ajuste de estos parámetros. En cuanto al *throughput* y ancho de banda, tienen la tendencia a 4,1 Mbps y 69 Mbps respectivamente, aunque con una serie de fluctuaciones. También se ve, que la longitud del cable coaxial no afecta significativamente el desempeño del enlace.

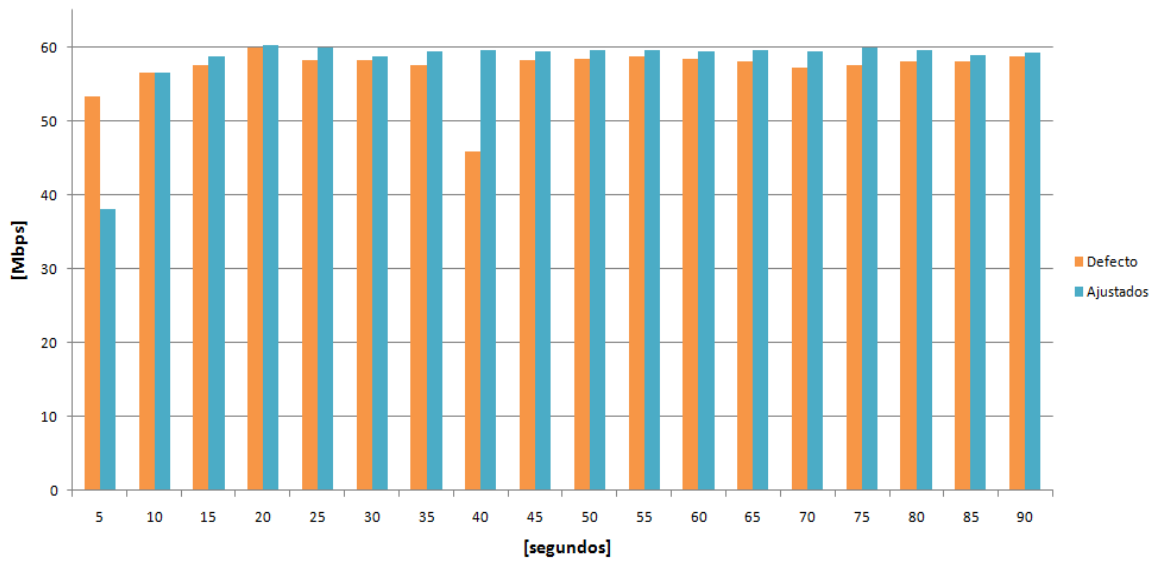
La figura 15 muestra que la latencia es inestable para ambas longitudes de cable. Sin embargo, en muy pocos instantes de tiempo logra bajar de 94 ms aproximadamente.

La Figura 16 muestra que independientemente de la longitud del cable coaxial usado para la conexión de los *gateways* el *throughput* toma un valor aproximado de 4,1 Mbps.

3.1.2.1.2. Resultados de pruebas preliminares en PLC.

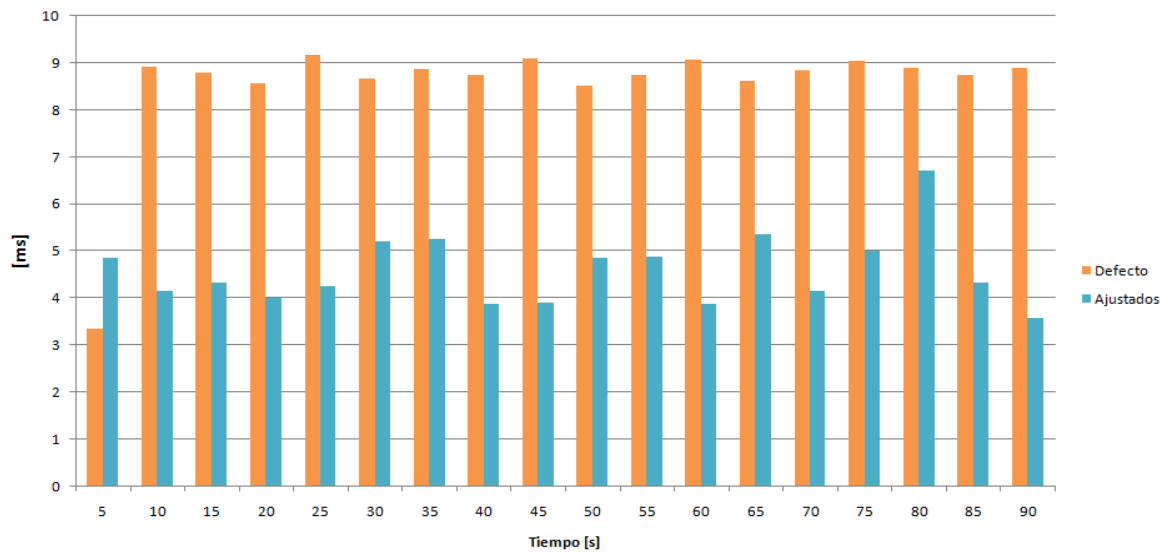
Estas pruebas se realizaron con el fin de determinar los parámetros óptimos de MTU, ventana TCP y tiempo de duración para las nuevas pruebas con cable coaxial y en línea viva.

Figura 17. Comparación de ancho de banda para la caracterización de PLC variando el tiempo.



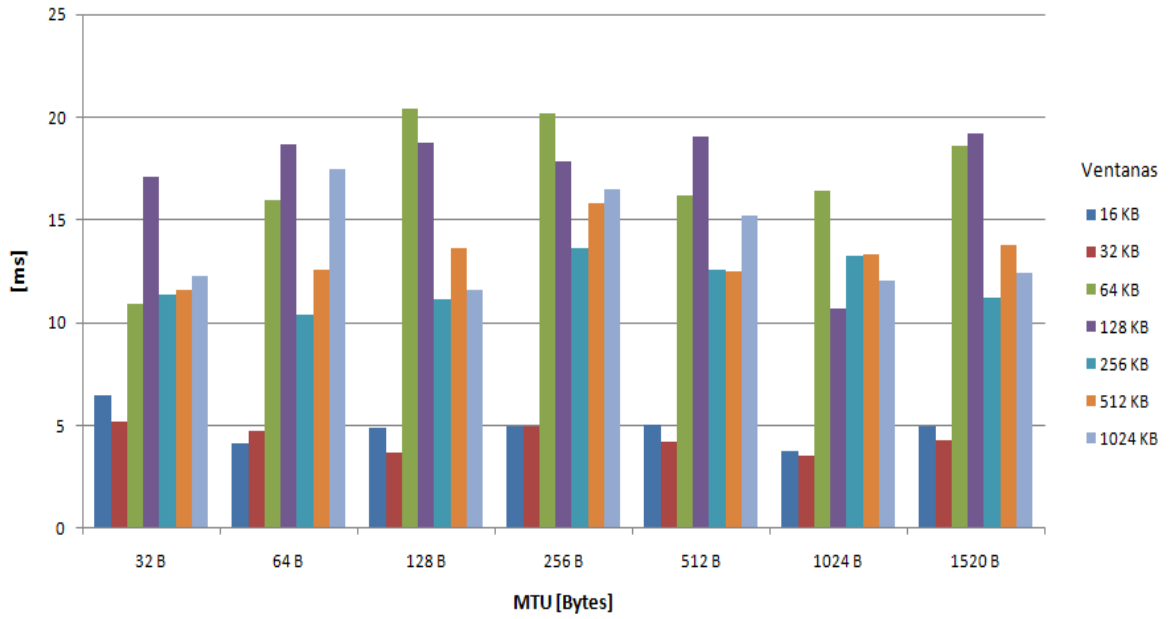
Fuente: Los Autores

Figura 18. Comparación de RTT para la caracterización de PLC variando el tiempo.



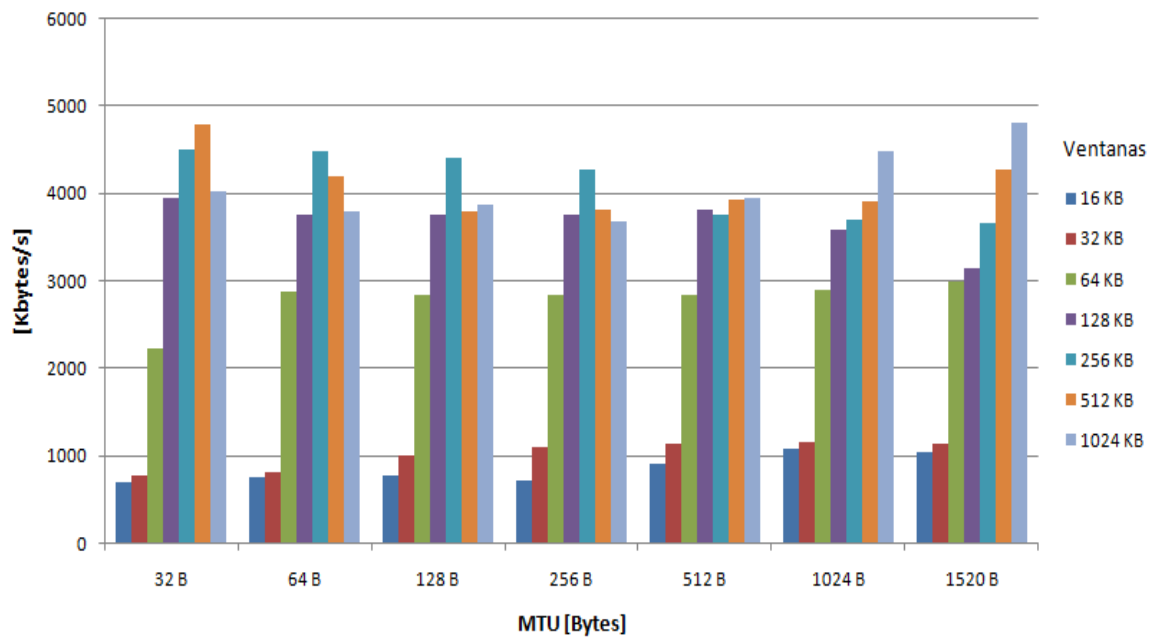
Fuente: Los Autores.

Figura 19. RTT para la caracterización de PLC.



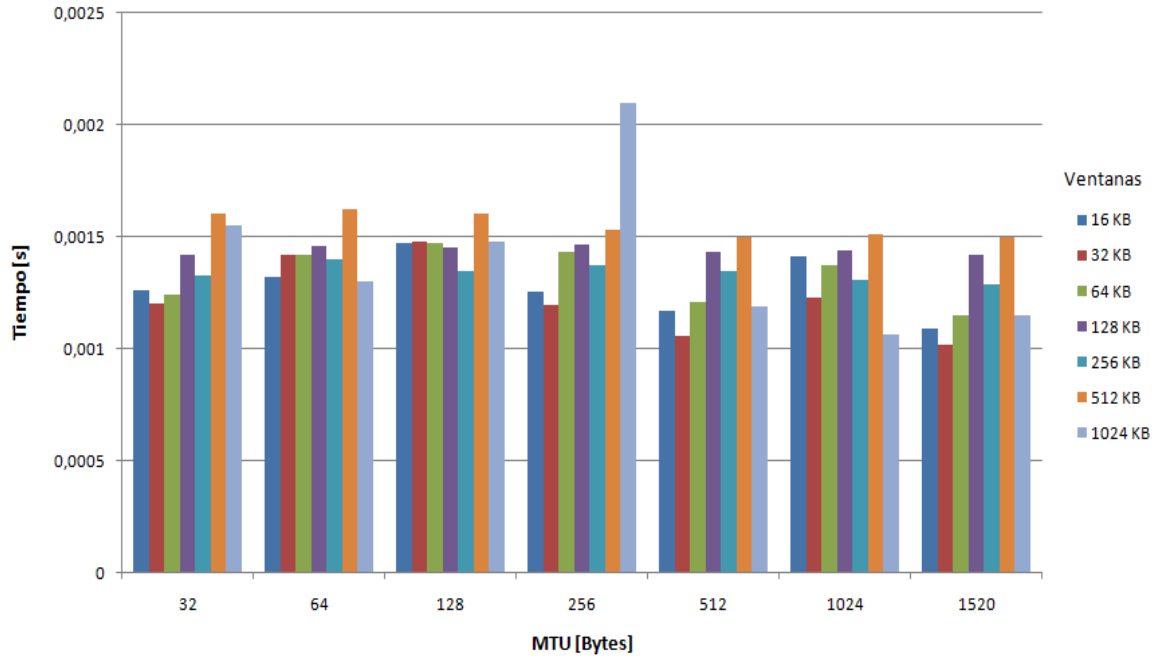
Fuente: Los autores

Figura 20. Ancho de banda para la caracterización de PLC.



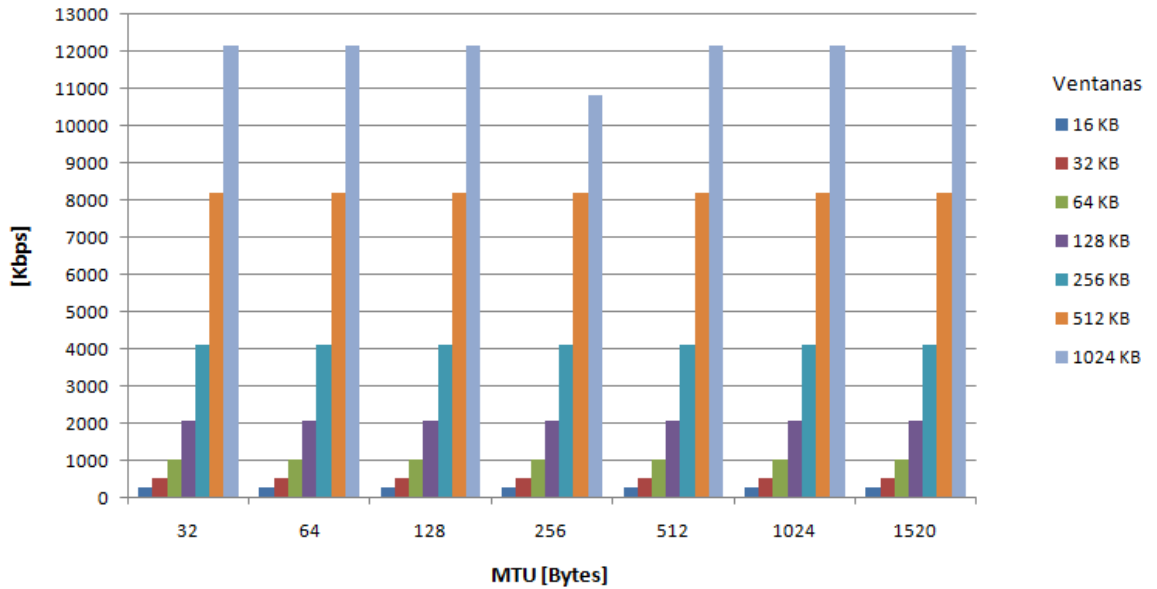
Fuente: Los autores.

Figura 21. Jitter para la caracterización de PLC.



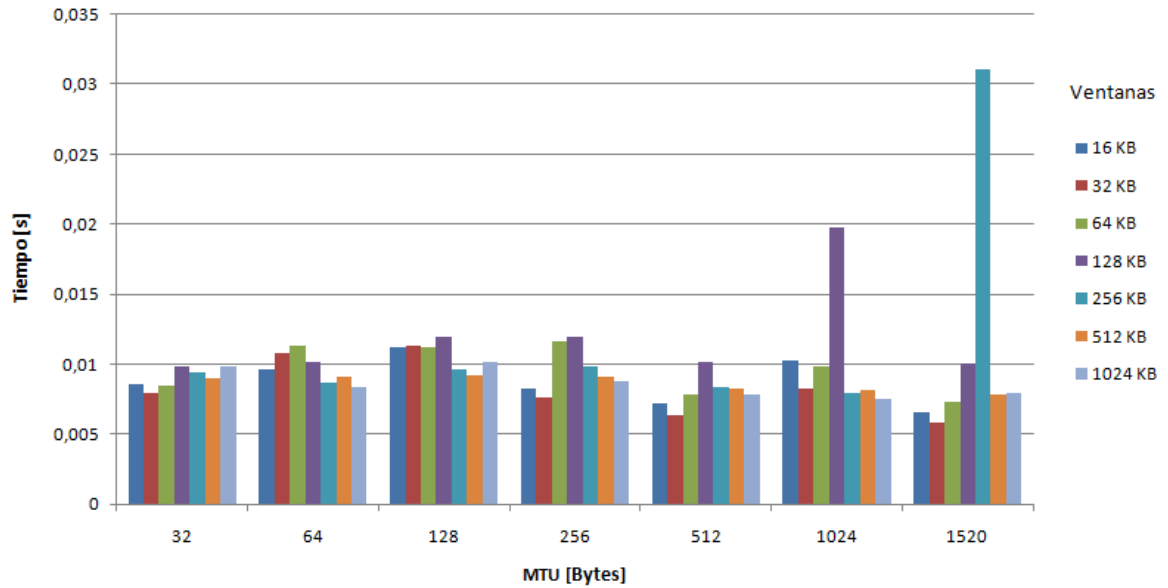
Fuente: Los autores.

Figura 22. Throughput para la caracterización de PLC.



Fuente: Los autores.

Figura 23. Latencia para la caracterización de PLC.



Fuente: Los autores

Tabla 7. Valores de los parámetros seleccionados para el ajuste de las herramientas de evaluación de desempeño para PLC.

Parámetros de ajuste para la tecnología PLC	
Tamaño de MTU	1520 Bytes
Tamaño de Ventana TCP	1024 KBytes
Tiempo de Duración	20 segundos

Fuente: los autores.

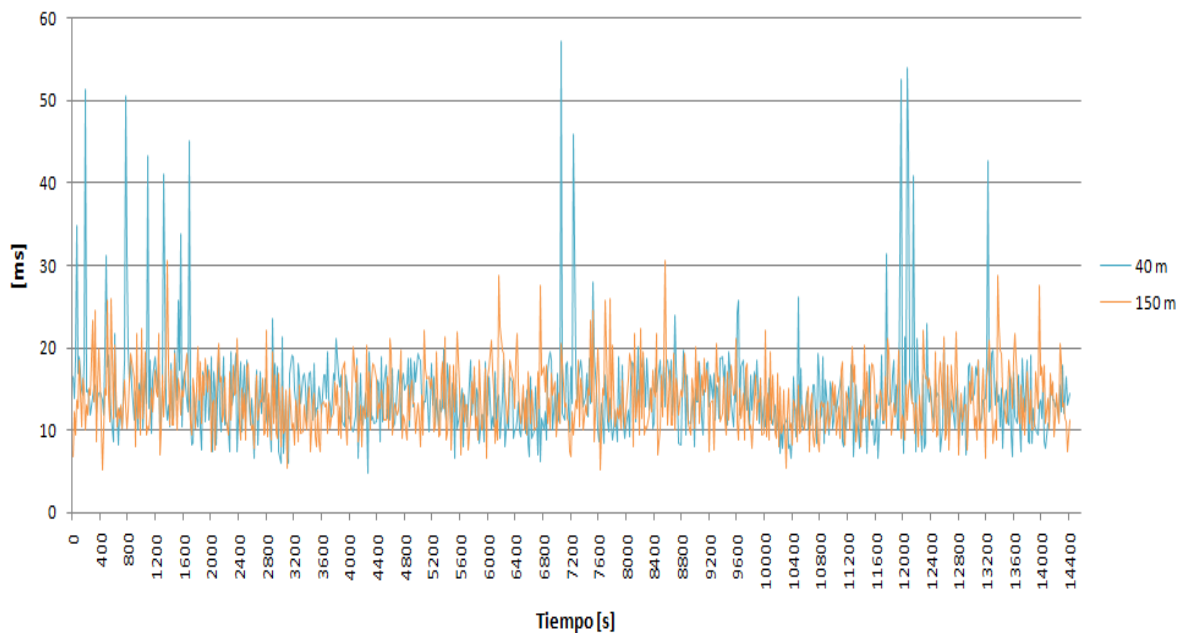
De acuerdo con las figuras 17 y 18 donde se varía el tiempo de duración de la prueba, se puede observar que los resultados arrojaron un mejor desempeño cuando los parámetros de las herramientas son ajustados, en comparación a los de por defecto. La selección de tiempo de la prueba se hizo teniendo en cuenta el mejor y peor valor de Ancho de Banda y RTT respectivamente. Además, a partir de 20 segundos se observa estabilidad en los resultados con los parámetros seleccionados.

Además, para la selección de MTU y ventana TCP se analizaron las figuras 20-24 en donde se realizan una combinación entre los parámetros. Esto con el fin de poder definir cuales tamaños funcionan correctamente y mejoran el comportamiento de los resultados. La selección se realiza observando cada combinación, encontrando los tiempos más bajos de Retardos (RTT, Latencia y *jitter*) y las mejores tasas para el ancho de banda y el *throughput*.

3.1.2.1.3. Resultados de pruebas con parámetros de transmisión ajustados.

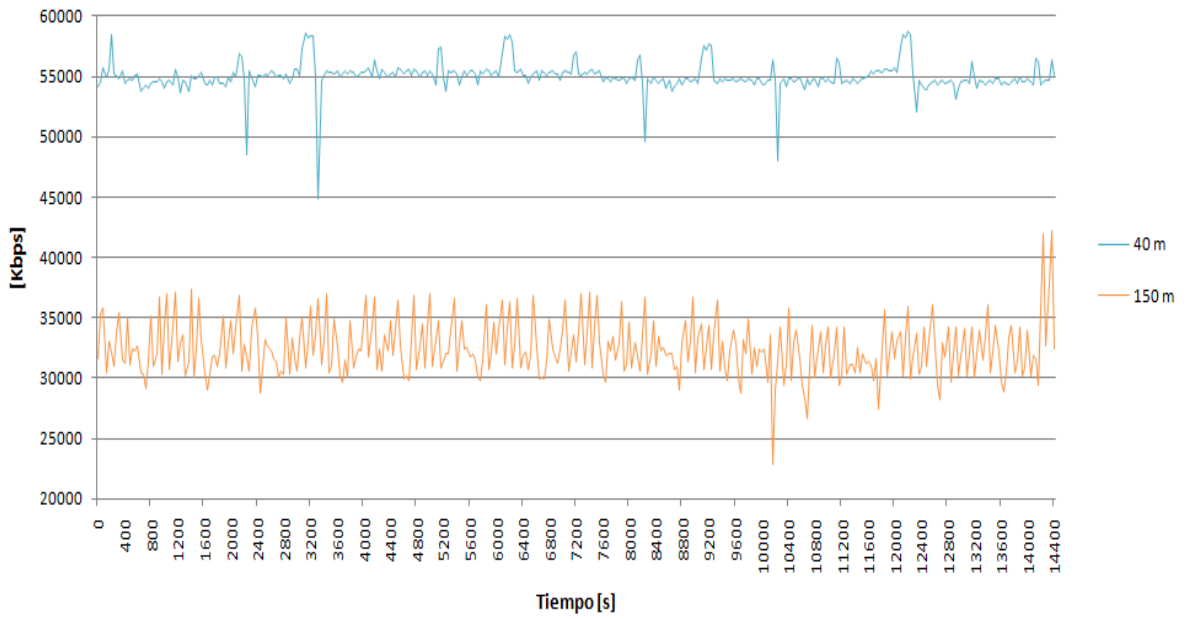
Estas pruebas fueron realizadas con el propósito de comparar el comportamiento del enlace frente a los resultados de pruebas con parámetros por defecto. También fueron ejecutadas para una longitud de 40 y 150 m de cable coaxial, una duración de 4 horas y en las instalaciones del grupo de investigación CPS de la UIS.

Figura 24. Comparación de RTT con parámetros de transmisión ajustados.



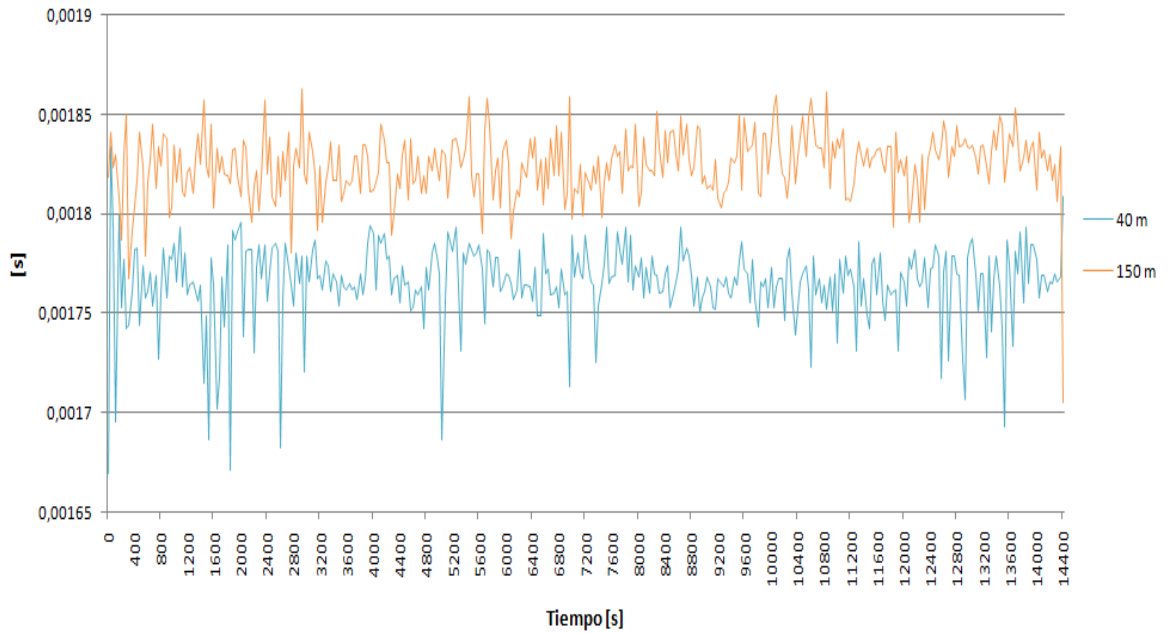
Fuente: Los autores.

Figura 25. Comparación de ancho de banda con parámetros de transmisión ajustados.



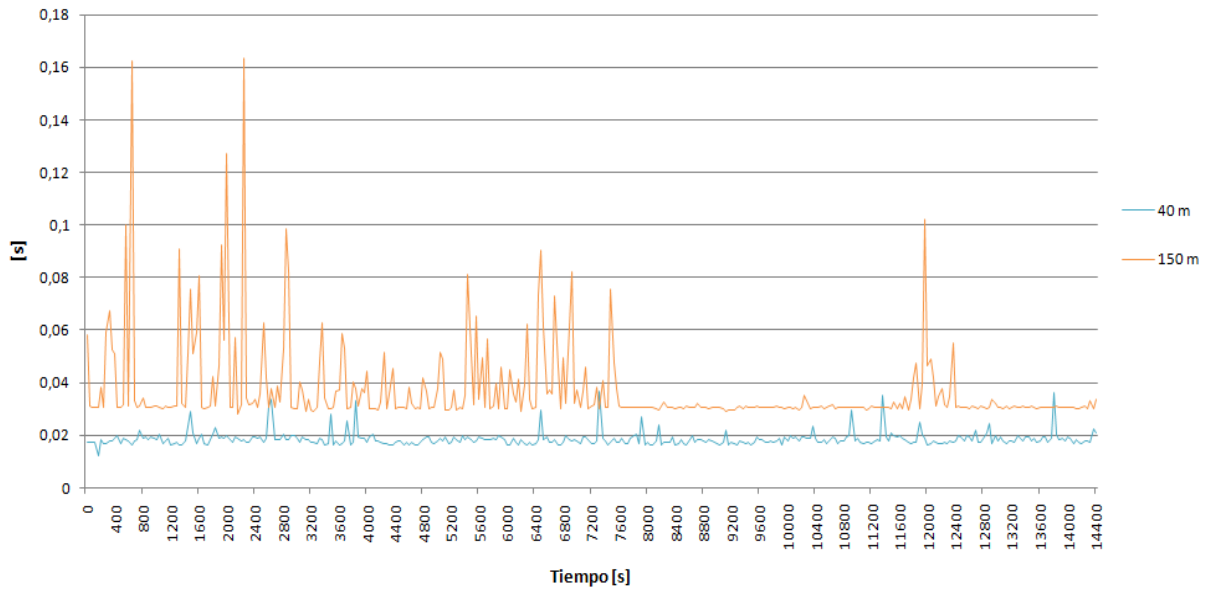
Fuente: Los autores.

Figura 26. Comparación de *jitter* con parámetros de transmisión ajustados.



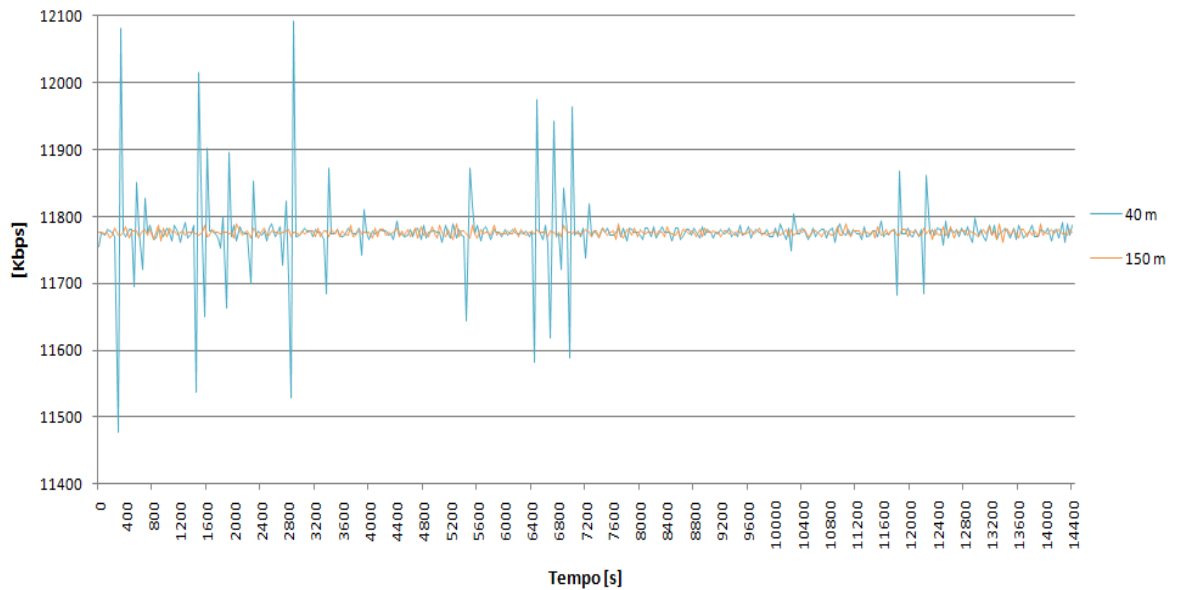
Fuente: Los autores.

Figura 27. Comparación de latencia con parámetros de transmisión ajustados.



Fuente: Los autores.

Figura 28 .Comparación de *throughput* con parámetros de transmisión ajustados.



Fuente: Los autores.

Tabla 8. Valores de mediana y promedio para los resultados con parámetros de transmisión ajustados.

	Mediana		Promedio	
	40 m	150 m	40 m	150 m
Distancia	40 m	150 m	40 m	150 m
RTT [ms]	13,6	13,2	14,29	13,72
Ancho de Banda [Mbps]	54,8	32,12	55,02	32,43
Jitter [ms]	1,76	1,826	1,76	1,824
Latencia [s]	17,99	30,76	18,56	37,10
<i>Throughput</i> [Mbps]	11,77	11,77	11,77	11,77

Fuente: Los Autores.

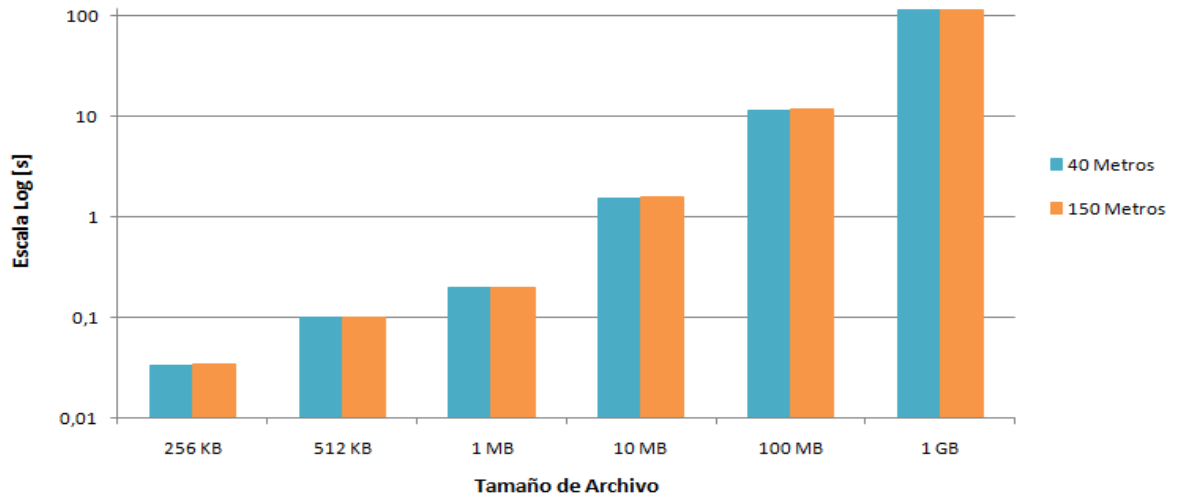
Según las gráficas mostradas anteriormente, se observa una diferencia entre los resultados para la longitud de cable de 40 m y de 150m. En este punto, se observa un mejor desempeño cuando se usa el cable coaxial de 40 m. Los retardos son un poco más estables también, aunque el RTT mantiene una variación, y es muy similar para las dos situaciones de cable coaxial.

La Figura 24 muestra unos resultados de RTT variando constantemente entre 10 y 20 ms, con algunas fluctuaciones que logran aproximadamente 58 ms. La Figura 25 muestra los resultados para el ancho de banda, observando que el ancho de banda aumenta para la longitud de 40m a un valor aproximado 55 Mbps y bastante estable; mientras que para la longitud de 150 m el ancho de banda oscila entre 30 y 35 Mbps aproximadamente. En el caso de la Figura 26, se observa unos resultados de *jitter* mas altos para la longitud de 150 m y de igual forma sucede para la latencia. En cuanto al *throughput* se observa que no hay influencia en la longitud del cable, puesto que estos resultados se mantienen alrededor de 11,8 Mbps.

3.1.2.1.4. Resultados de tiempo y tasa de transferencia vs tamaño de archivo.

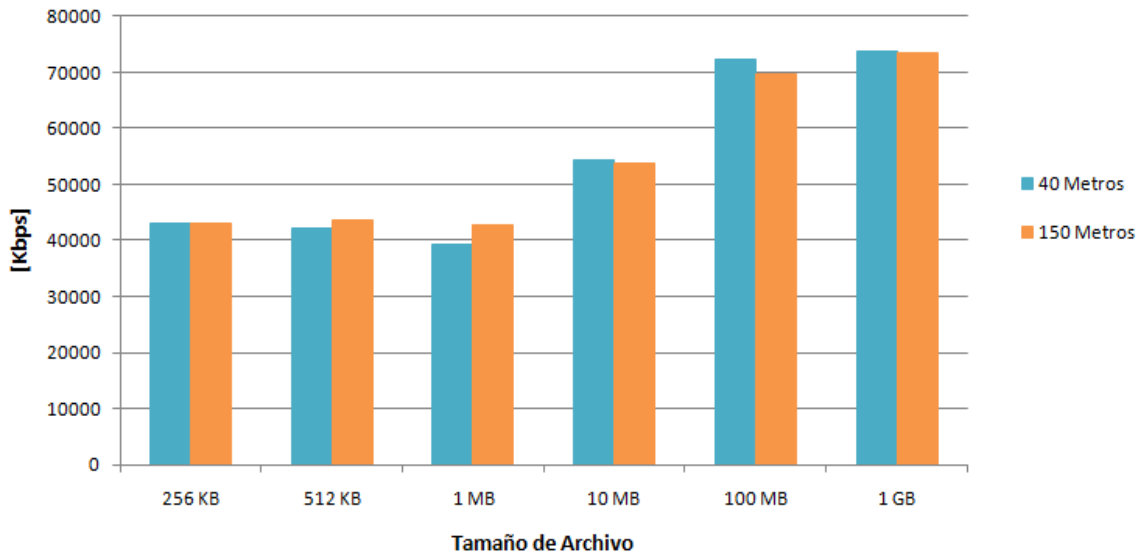
Estas pruebas permitirán tener conocimiento del comportamiento del enlace en cuanto a transferencia de datos se refiere. Al igual que las mediciones anteriores, fueron realizadas tanto para 40m como para 150m.

Figura 29. Tiempo de transferencia de archivos para PLC.



Fuente: Los autores.

Figura 30. Tasa de transferencia de archivos para PLC.



Fuente: Los autores.

Para los resultados de transferencia de archivos, se observa que no hay gran influencia entre los 40 y 150 m de coaxial. Por ejemplo, observando la tasa de transferencia para archivos de tamaño de 10 y 100 Mbytes, es levemente mejor

para los 40 m. Para el caso del tiempo de transferencia, podría decirse que son similares.

3.1.2.2. Resultados de pruebas en línea viva.

Los resultados de estas mediciones fueron realizadas con los parámetros ajustados de las herramientas de evaluación de desempeño. Las pruebas fueron realizadas durante tres días, debido al permiso otorgado por la Dirección de Seguridad Industrial de la ESSA para la entrada a la Subestación Real de Minas, donde se encuentra instalado uno de los acopladores.

Figura 31. Imagen de la instalación del enlace de PLC para las Pruebas en Línea Viva.

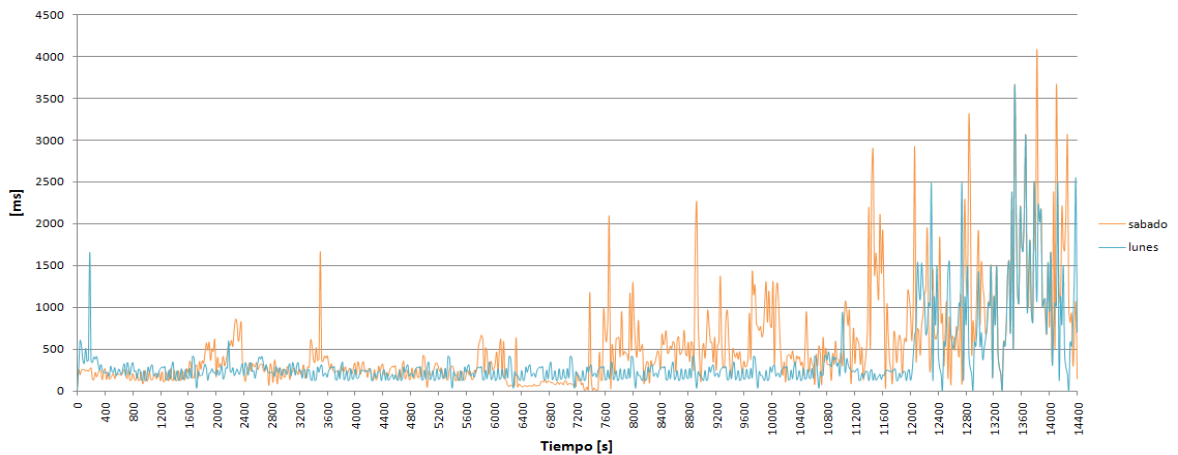


Fuente: Los Autores

3.1.2.2.1. Resultados con parámetros de transmisión ajustados.

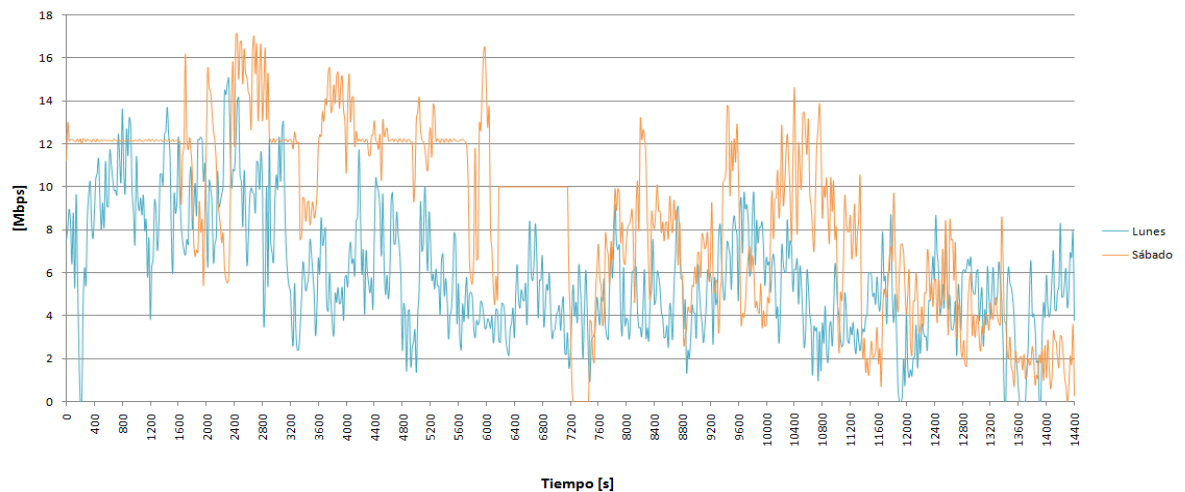
Estas pruebas son realizadas con los parámetros seleccionados mediante las pruebas de caracterización de PLC. Los resultados mostrados a continuación fueron tomados en duraciones de 4 horas, por lo que según las condiciones de logística para la toma de medidas solo se pudieron realizar un día sábado en horas de la mañana y el día lunes siguiente también en horas matutinas.

Figura 32. Comparación de RTT para PLC en línea viva.



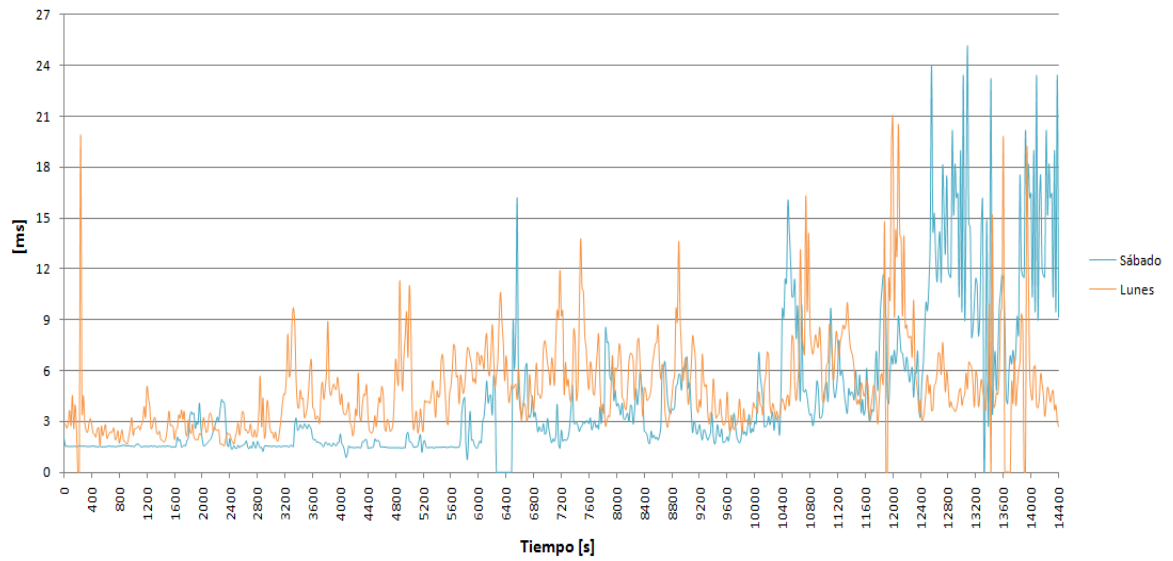
Fuente: Los Autores.

Figura 33. Comparación de ancho de banda para PLC en línea viva.



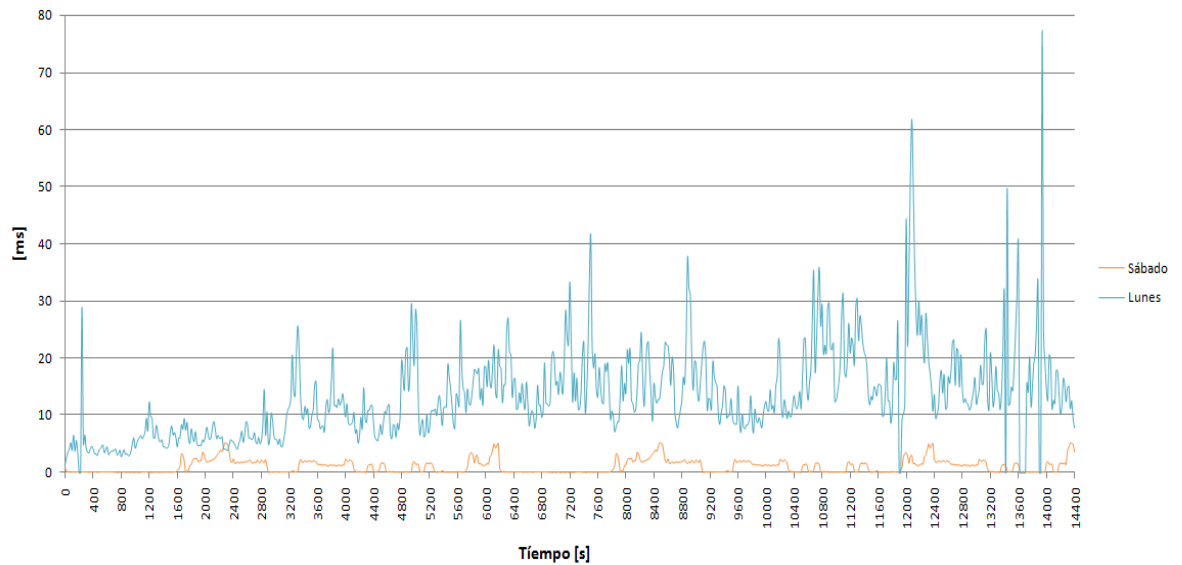
Fuente: Los Autores.

Figura 34. Comparación de jitter para PLC en línea viva.



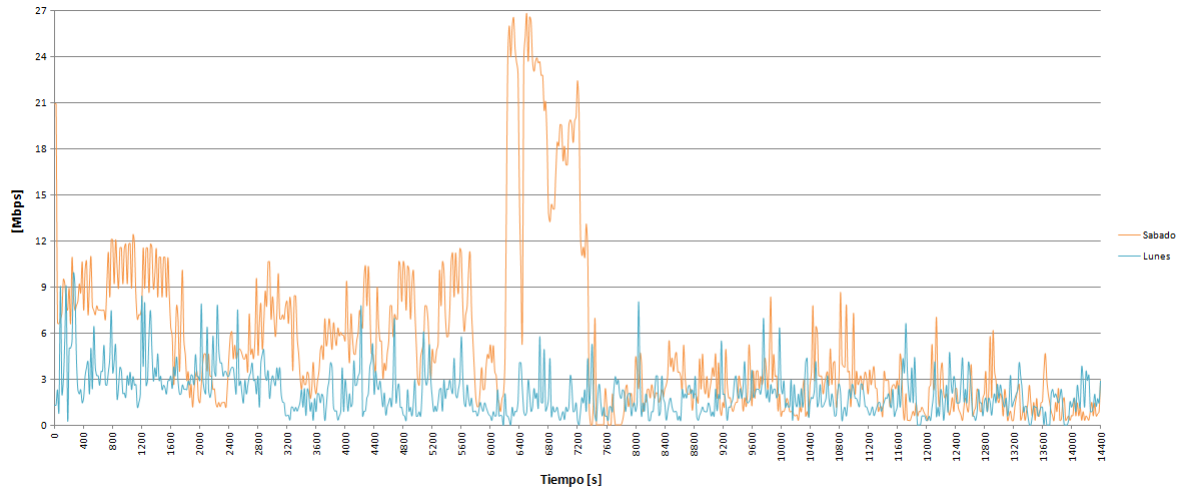
Fuente: Los Autores

Figura 35. Comparación de latencia para PLC en línea viva



Fuente: Los Autores.

Figura 36. Comparación de *throughput* para PLC en línea viva



Fuente: Los Autores

Tabla 9. Medidas estadísticas para las pruebas de media tensión en línea viva.

	Mediana		Promedio	
	Sábado	Lunes	Sábado	Lunes
Distancia				
RTT [ms]	314	247	512,072	365,018
Ancho de Banda [Mbps]	5,447	9,825	5,850	8,742
Jitter [ms]	2,651	4,371	4,329	4,929
Latencia [s]	0,469	11,931	1,124	13,366
<i>Throughput</i> [Mbps]	3,467	1,769	5,373	2,093

Fuente: Los Autores.

A continuación se muestran los resultados de la pérdida de paquetes. Para cada día de mediciones registrado se tienen los siguientes perdidos:

Tabla 10. Relación de paquetes perdidos para las pruebas en Línea Viva.

Día	Paquetes Enviados	Paquetes Recibidos	Paquetes Perdidos	% Paquetes Perdidos
Sábado	720	699	21	2%
Lunes	720	692	28	3%

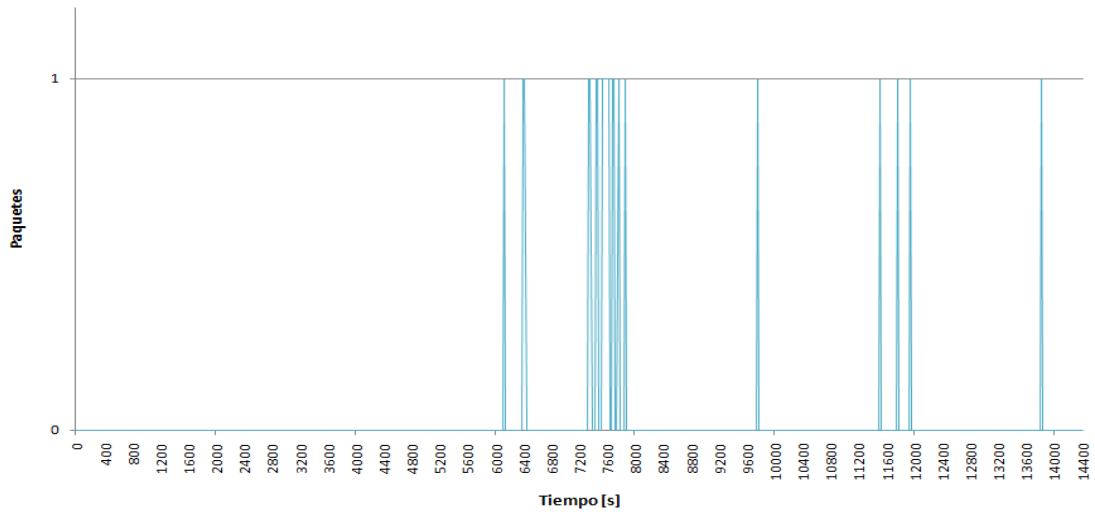
Fuente: Los autores.

Tabla 11. Relación de bits perdidos para las pruebas de PLC en línea viva.

Día	Bits Enviados	Bits Recibidos	Bits Perdidos	% Bits Perdidos
Sábado	8.755.200	8.499.840	255.360	2%
Lunes	8.755.200	8.414.720	340.480	3%

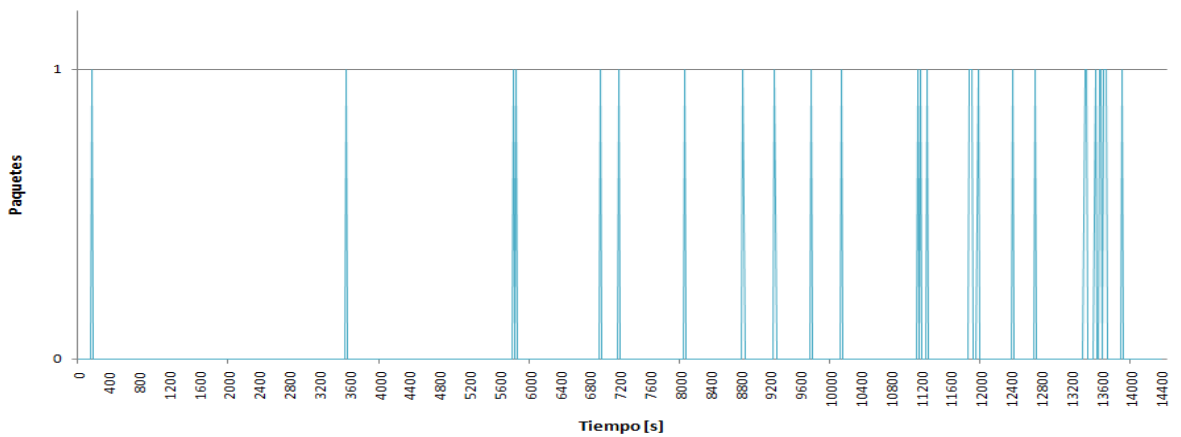
Fuente: Los autores.

Figura 37. Paquetes perdidos del día sábado en las pruebas de línea viva.



Fuente: Los autores.

Figura 38. Paquetes perdidos del día lunes para las pruebas en línea viva.



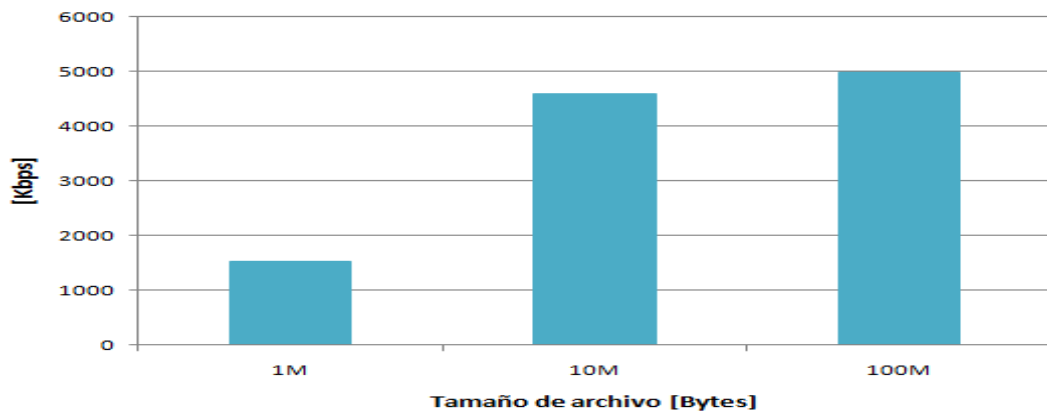
Fuente: Los autores.

En las gráficas 37 y 38 se muestran los paquetes perdidos para las pruebas en línea viva, a partir de los cuales se puede obtener la cantidad de bits perdidos; para el caso de PLC y de acuerdo con las pruebas preliminares, un paquete (tamaño de MTU) es igual a 1520 Bytes, y a su vez 1 bytes es igual a 8 bits, por lo cual a partir de estos razonamientos se puede obtener la cantidad de paquetes perdidos.

3.1.2.2.2. Resultados de tiempo y tasa de transferencia vs tamaño de archivo.

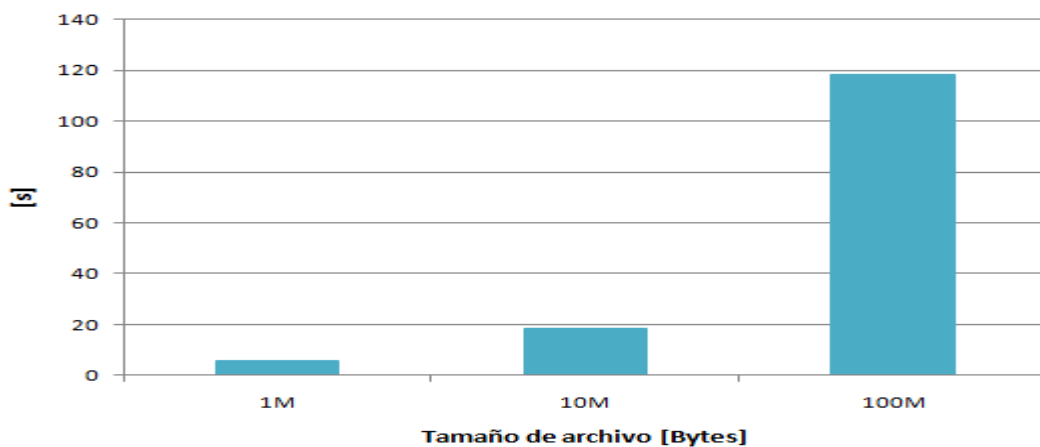
Esta prueba de transferencia de archivos fue realizada con los parámetros ajustados de las herramientas y el último de los 4 días de ejecución de pruebas.

Figura 39. Tasa de transferencia vs tamaño de archivo para las pruebas en línea viva.



Fuente: los autores.

Figura 40. Tiempo de transferencia vs tamaño de archivo para las pruebas en línea viva.



Fuente: los autores.

Las figuras 39 y 40, se muestran los resultados para las pruebas de transferencia de archivos. Como se observa, solo hay tamaño de archivos desde 1 Mbyte, debido a que para datos anteriores las herramientas no registraron datos por la gran rapidez la obtención de la medida. Se ve que tanto la tasa como el tiempo de transferencia aumentan, conforme aumenta el tamaño del archivo a transferir.

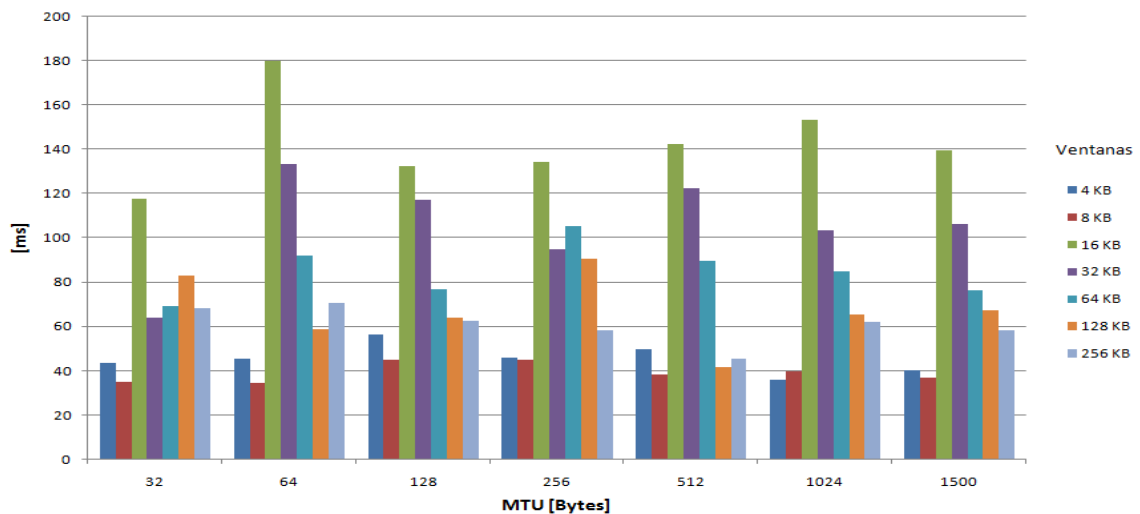
3.2. RESULTADOS PRUEBAS WIRELESS LAN

Las pruebas que comprenden la evaluación de desempeño de la tecnología *Wireless LAN*, se dividen en dos grupos. El primer grupo comprende las preliminares para ajustar los valores tamaño de MTU, ventana TCP y tiempo de duración; y el segundo grupo corresponde a las pruebas de campo realizadas con los enlaces de 8Km y 5m con los parámetros seleccionados de las herramientas.

3.2.1. Pruebas preliminares *Wireless LAN*.

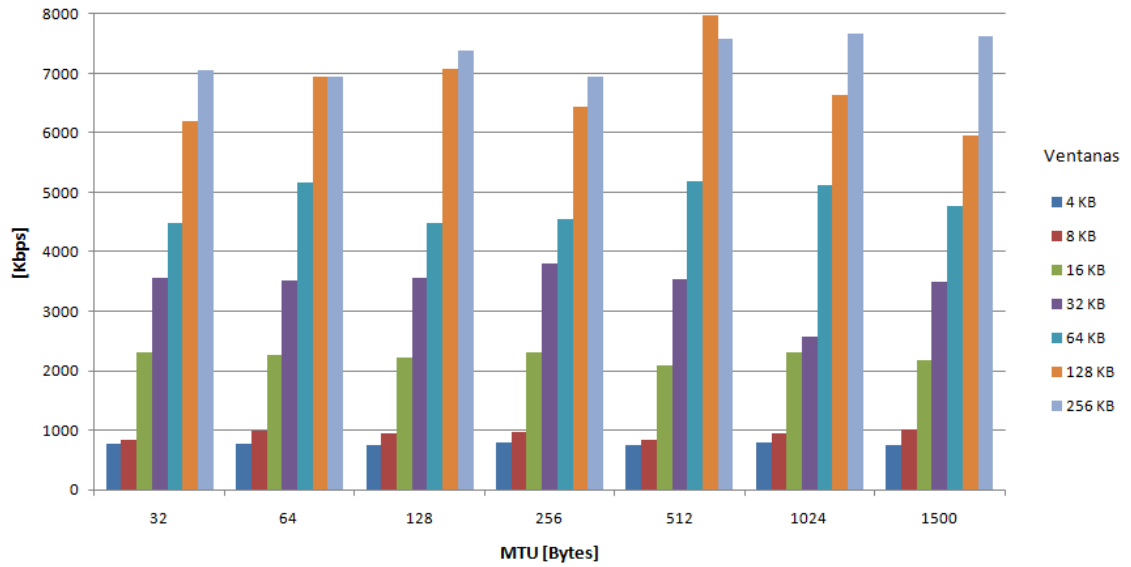
Como se había mencionado en la metodología de pruebas preliminares en el Capítulo 2, estas mediciones proporcionan la caracterización del enlace, o el valor de los parámetros que deberán ser ajustados para las campañas de mediciones según las distancias planteadas en la metodología.

Figura 41. RTT para la caracterización de *Wireless LAN*



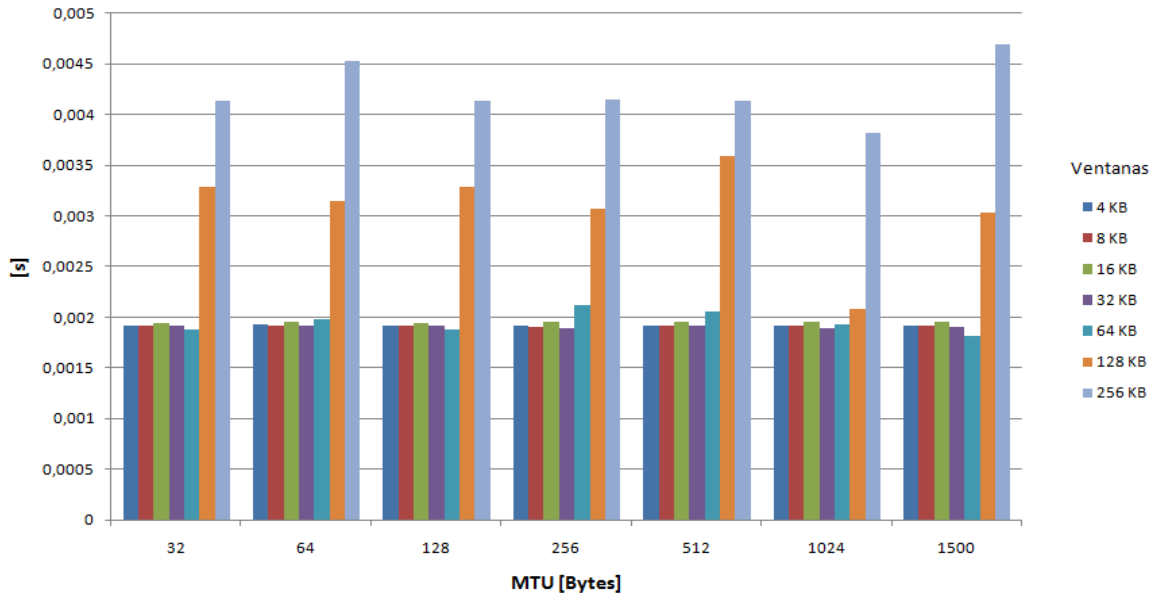
Fuente: Los autores.

Figura 42. Ancho de banda para la caracterización de *Wireless LAN*.



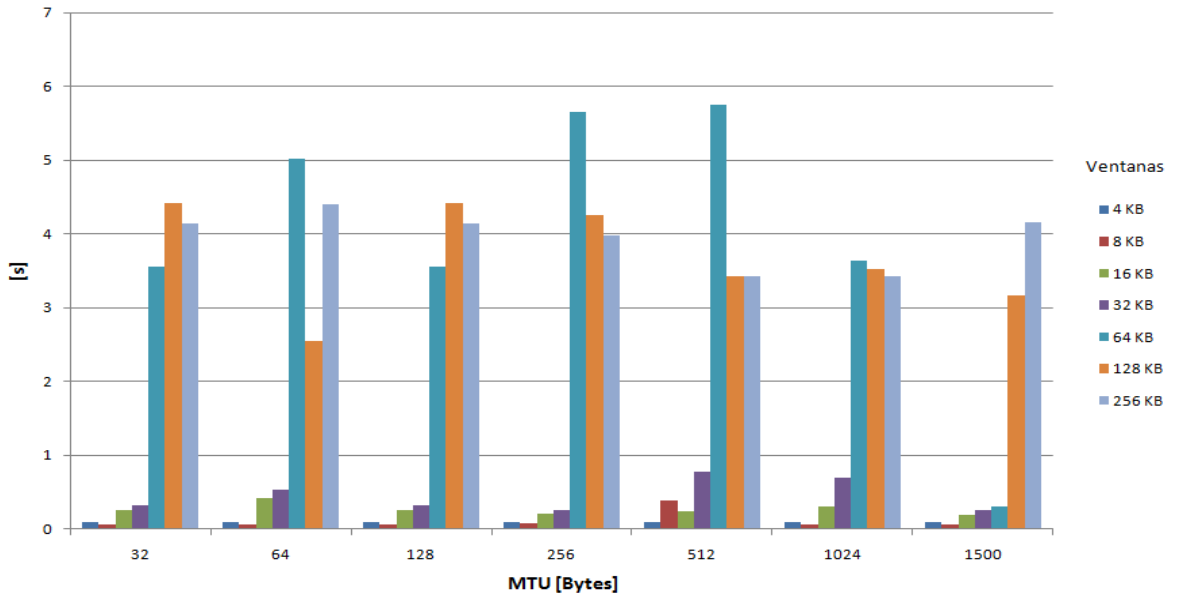
Fuente: Los autores.

Figura 43. Jitter para la caracterización de *Wireless LAN*.



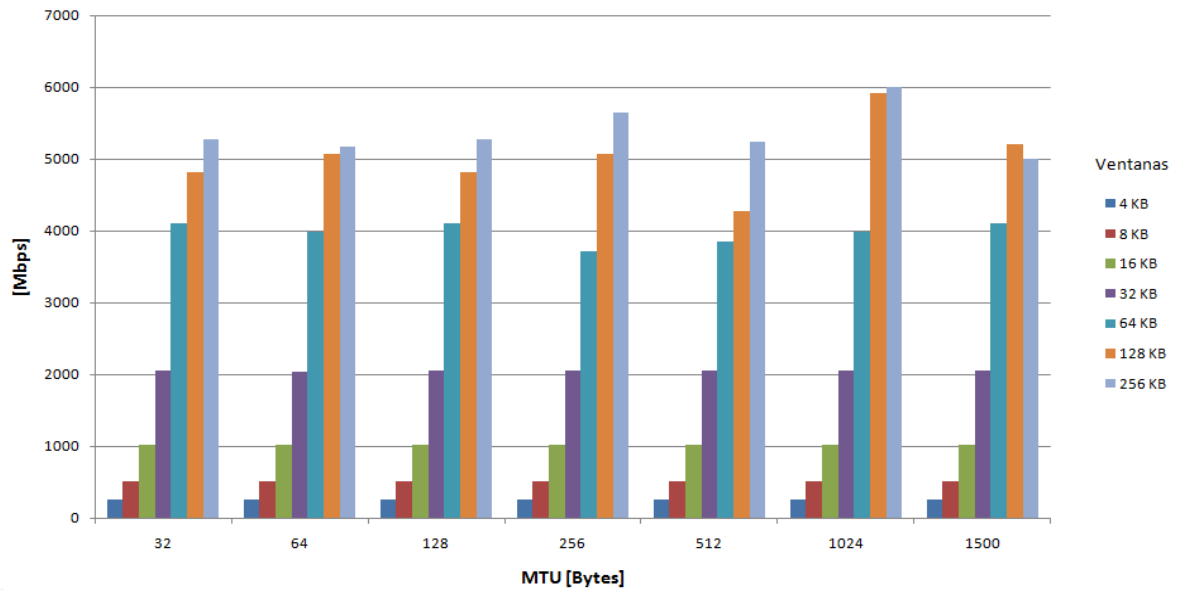
Fuente: Los autores.

Figura 44. Latencia para la caracterización de *Wireless LAN*.



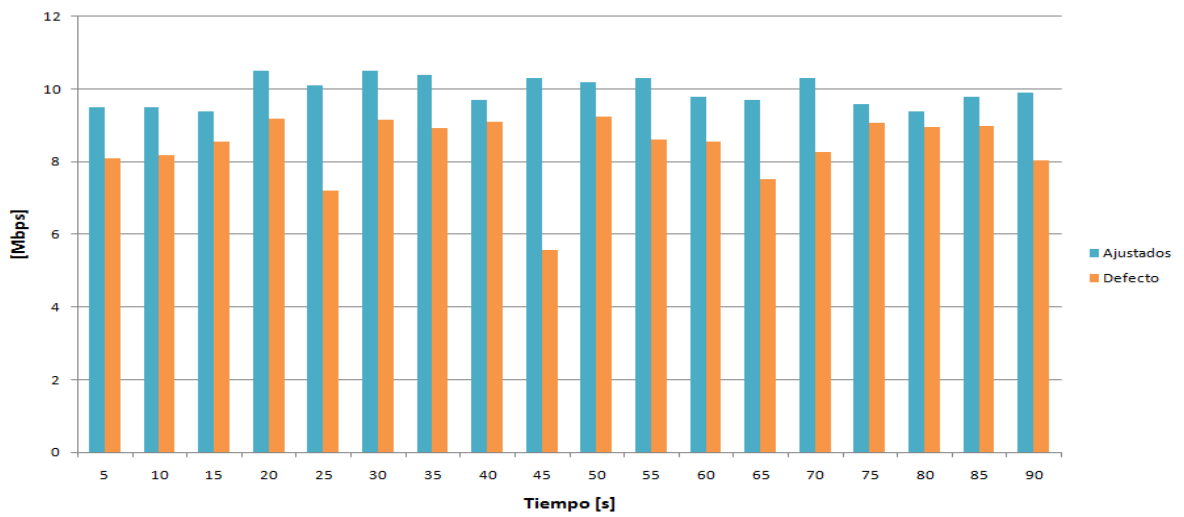
Fuente: Los autores.

Figura 45. *Throughput* para la caracterización de *Wireless LAN*.



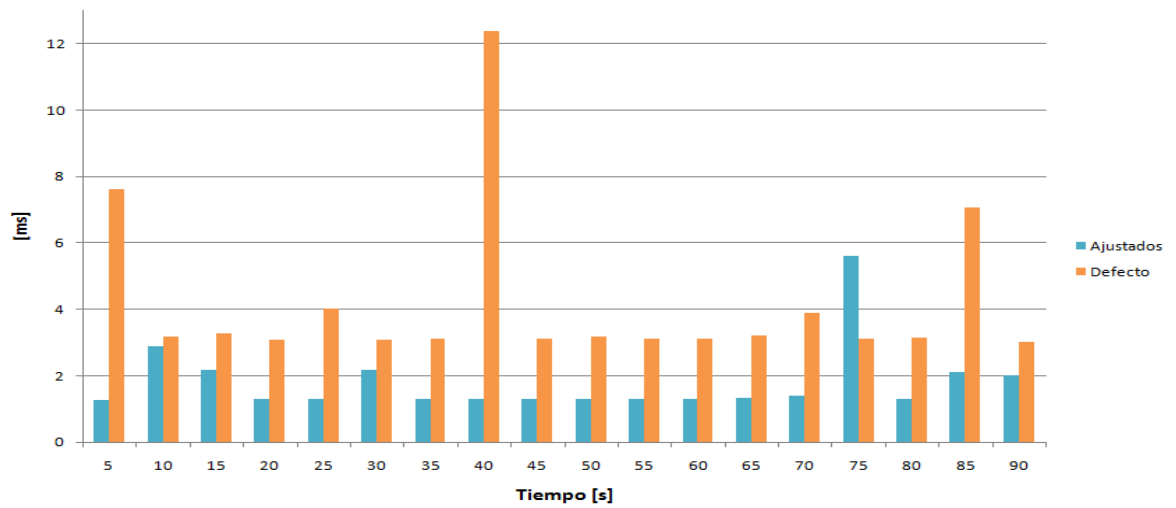
Fuente: Los autores.

Figura 46. Comparación de ancho de banda para la caracterización de *Wireless LAN* variando el tiempo.



Fuente: Los Autores.

Figura 47. Comparación de RTT para la caracterización de *Wireless LAN* variando el tiempo.



Fuente: Los Autores.

Tabla 12. Parámetros de las herramientas seleccionados para *Wireless LAN*.

Tecnología <i>Wireless LAN</i>	
Tamaño de MTU	1024 Bytes
Tamaño de Ventana TCP	256 KBytes
Tiempo de Duración	20 segundos

Fuente: Los autores.

Estos resultados de pruebas de caracterización mostrados en las figuras 41 a 47, arrojan que los parámetros que se deberían ajustar para las herramientas de evaluación de desempeño son los que aparecen en la tabla 10. El tiempo de duración fue seleccionado observando las figuras 42 y 43, revisando el mayor ancho de banda y el menor RTT. Para la selección de MTU y ventana TCP, se revisan los resultados de la combinación entre cada uno de los tamaños de MTU con cada uno de los tamaños de ventana TCP, y encontrar el mejor desempeño entre los parámetros de ancho de banda, *throughput*, latencia, *jitter* y RTT. El *Round Trip Time* para la caracterización, es el único que no muestra el mejor desempeño, pero aún así es uno de los valores más bajos.

3.2.2. Pruebas con parámetros de transmisión ajustados.

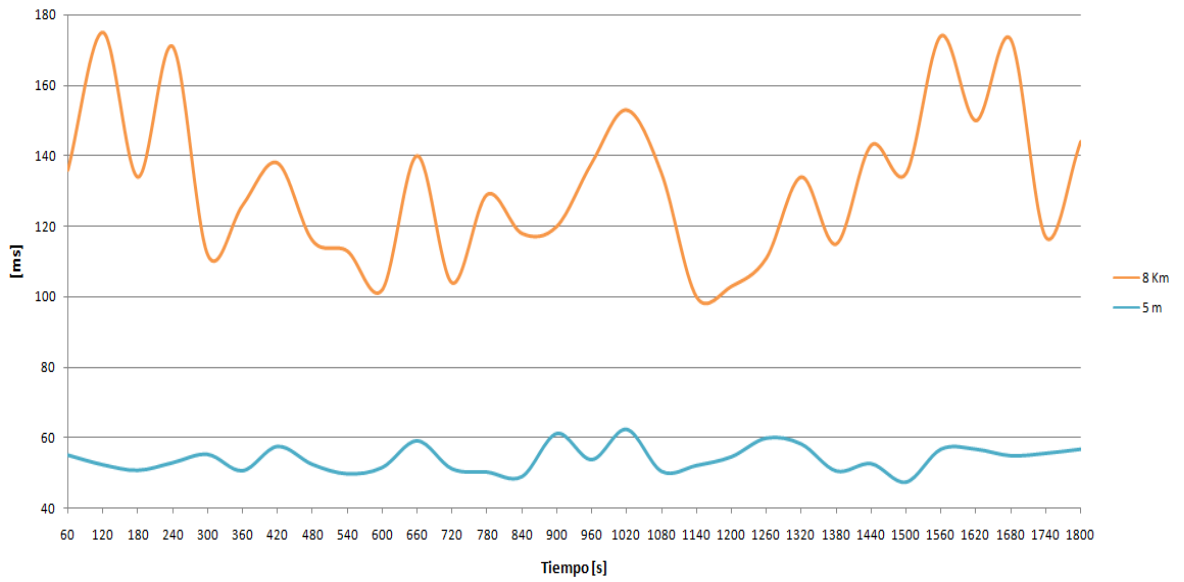
Las pruebas con parámetros permitirán verificar el comportamiento del enlace de datos. A continuación se muestran los resultados, comparando las distancias entre las cuales fueron instalados los equipos. Estas distancias están expuestas en el capítulo 2, en Metodología de Pruebas.

Figura 48. Imágenes de las pruebas en Palonegro para WLAN.



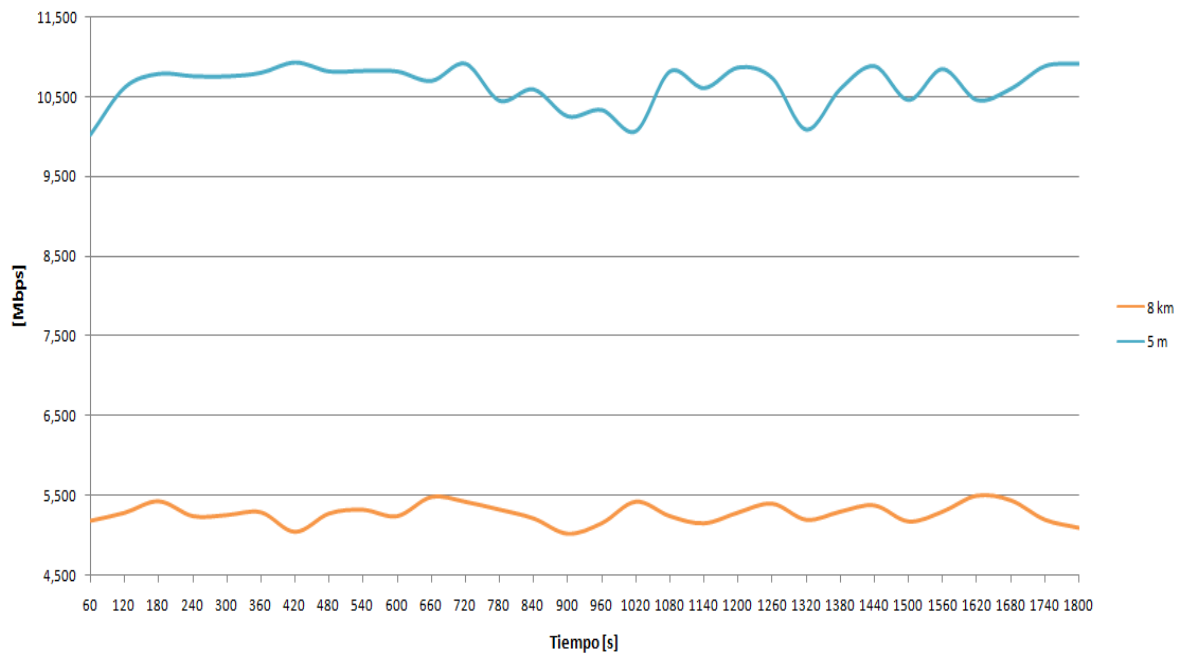
Fuente: los autores.

Figura 49. Comparación de RTT para las distancias de 5m y 8Km de Wireless LAN.



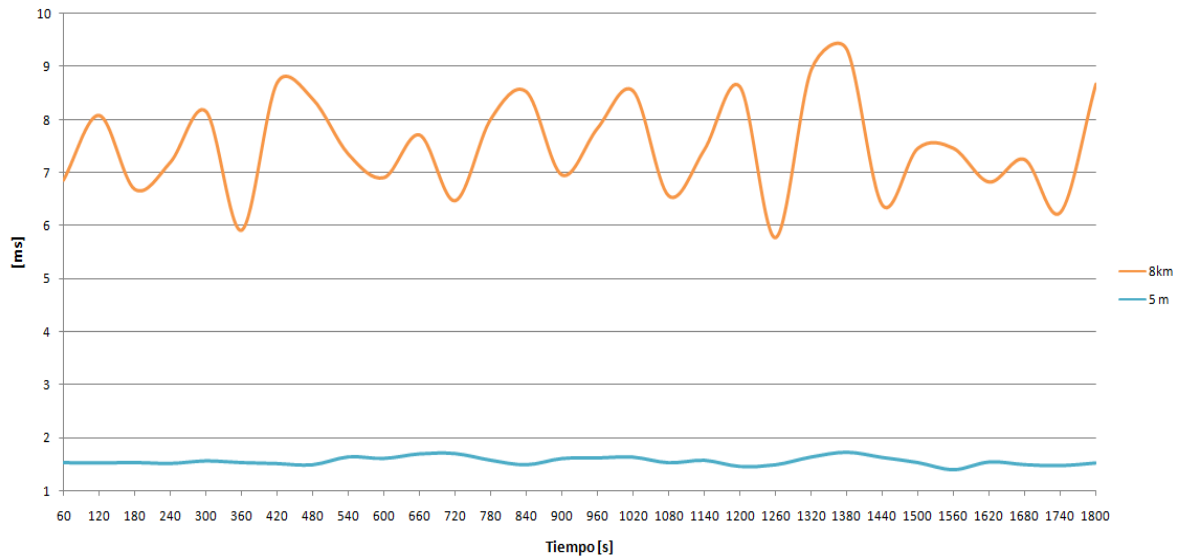
Fuente: Los autores.

Figura 50. Comparación de ancho de banda para las distancias de 5m y 8Km de Wireless LAN.



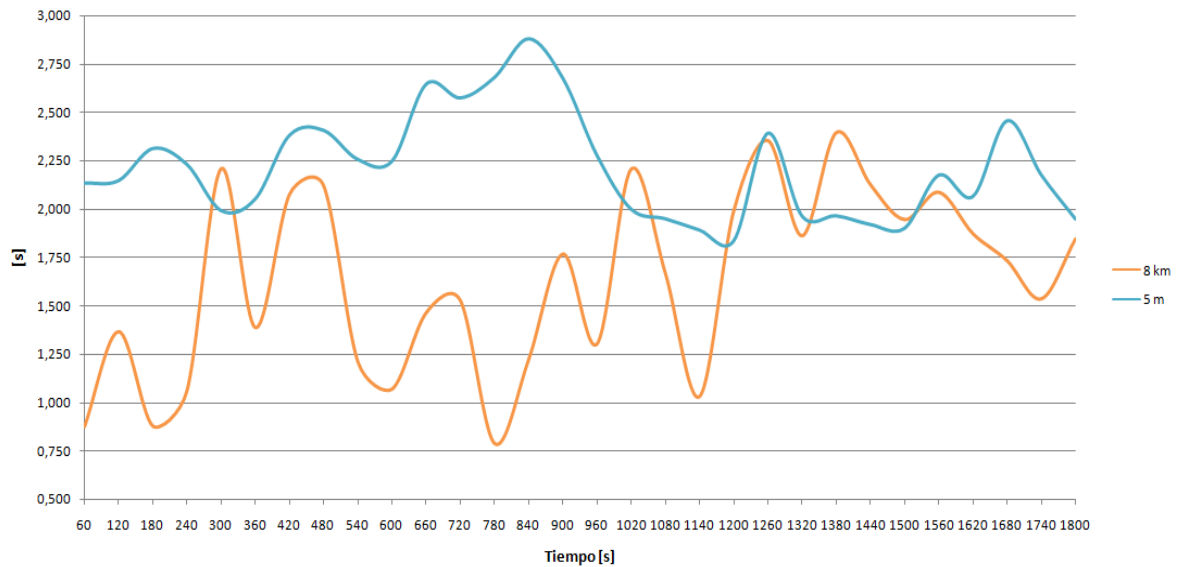
Fuente: Los autores.

Figura 51. Comparación de *jitter* para las distancias de 5m y 8Km de Wireless LAN.



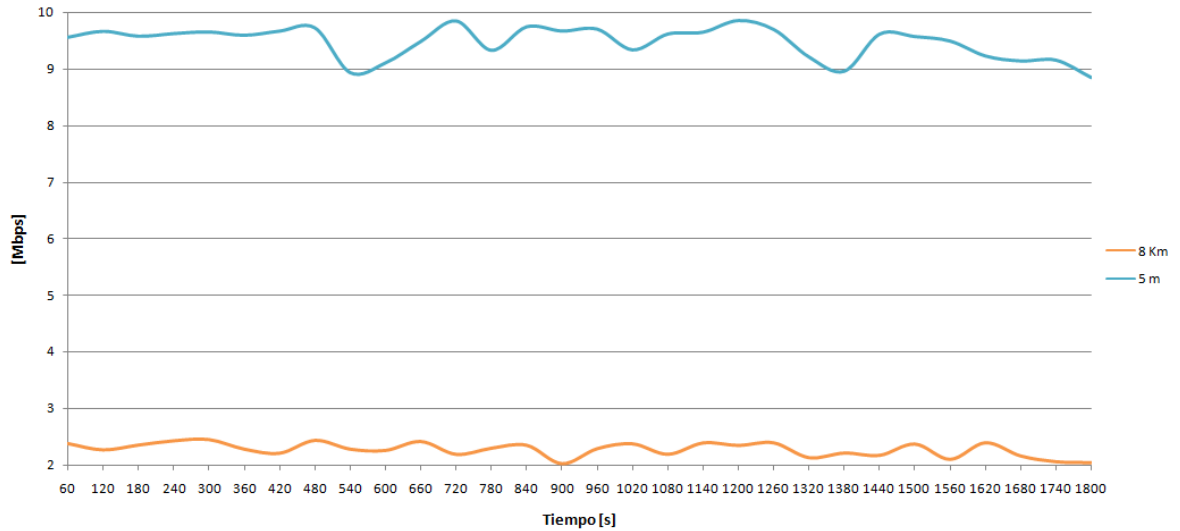
Fuente: Los autores.

Figura 52. Comparación de latencia para las distancias de 5m y 8Km de Wireless LAN.



Fuente: Los autores.

Figura 53. Comparación de *throughput* para las distancias de 5m y 8Km de Wireless LAN.



Fuente: Los autores.

La Figura 50 compara los valores de *throughput* obtenido para las distancia de 8Km y de 5m. Se observa una tasa bastante alta para el enlace de 5m, mientras que una tasa de alrededor de 2,5 Mbps para el enlace de 8 km. Aunque se podría considerar una tasa pequeña para la distancia de 8 km, se ve un comportamiento bastante estable durante el tiempo de medición.

Tabla 13. Medidas Estadísticas para las pruebas con parámetros ajustados para Wireless LAN.

Distancia	Mediana		Promedio	
	5 m	8 Km	5 m	8 Km
RTT [ms]	53,35	134	54,06	131,967
Ancho de Banda [Mbps]	10,745	5,280	10,641	5,276
Jitter [ms]	1,529	7,450	1,555	7,512
Latencia [s]	2,174	1,702	2,217	1,634
Throughput [Mbps]	9,589	2,289	9,478	2,279

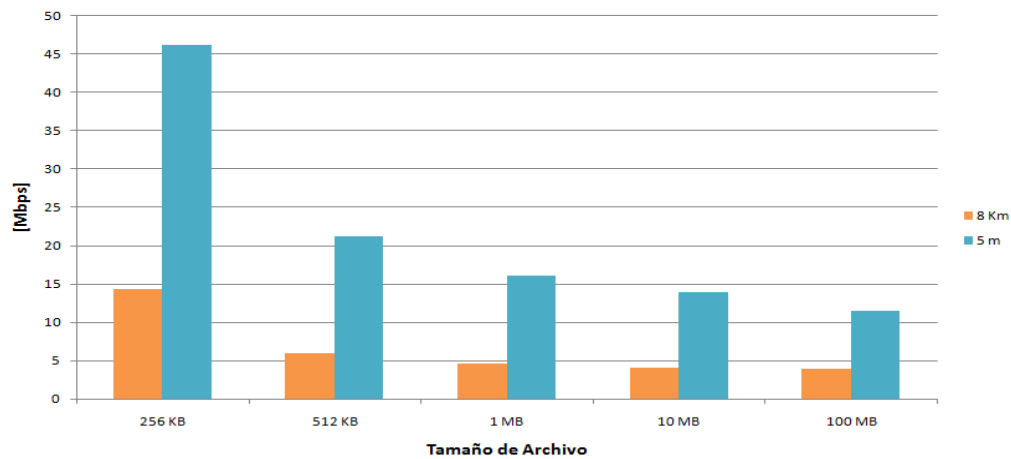
Fuente: Los Autores.

Las figuras 46-50 muestran las mediciones de las pruebas de Wireless LAN para las distancias de 8Km y 5m. Como se observa existe una diferencia entre los resultados debida a la variacion de la distancia en cada enlace.

3.2.3. Resultados de tiempo y tasa de transferencia vs tamaño de archivo.

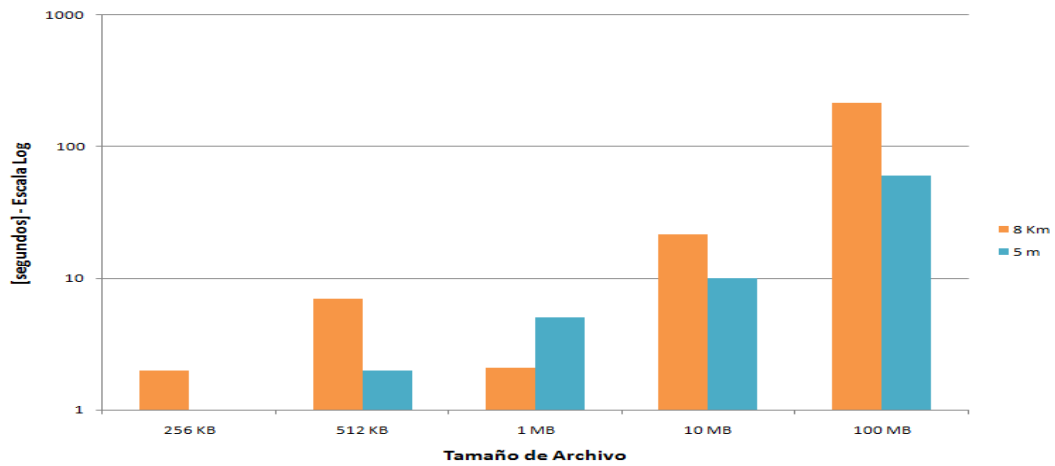
Los resultados mostrados a continuación son complemento a los parámetros de evaluación de rendimiento. Estas mediciones indicaran la capacidad del enlace para la transferencia de archivos, que es una actividad frecuente en aplicaciones de telemetría.

Figura 54. Tasa de transferencia vs tamaño de archivo para *Wireless LAN*.



Fuente: Los Autores.

Figura 55. Tiempo vs tamaño de archivo para *Wireless LAN*.



Fuente: Los Autores.

En contraste con las pruebas realizadas con PLC, se puede observar que para *Wireless LAN* la distancia punto a punto afecta los resultados de tiempo y tasa de transferencia de archivos.

En las pruebas de *Wireless LAN*, las mediciones no arrojaron cantidad de paquetes perdidos por lo tanto, hace que la tecnología sea altamente confiable.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ENLACES DE COMUNICACIONES AL PROYECTO SITELRED

Para la implementación de los enlaces de datos, se emplearon una serie de materiales en la realización y puesta en marcha de los enlaces de comunicaciones. Para cada tecnología, los materiales varían debido a los equipos disponibles. En el caso de PLC, los *MV Gateway* están diseñados para uso a la intemperie, mientras que para *Wireless LAN* los Radios *Linksys* deben ir dentro de una caja hermética. En la siguiente tabla se muestran los equipos necesarios para la implementación de cada tecnología.

Tabla 14. Listado de materiales usados para implementación de los enlaces de datos.

Equipo	PLC	<i>Wireless LAN</i>
Radio <i>Linksys</i> WRT-54G	1	5
<i>Gateway ZigBee</i>	1	1
Medidor de Calidad	1	1
Antenas 2,4 GHz	NA*	4
Caja hermética 43x43x20	2	3
Conectores Antenas	NA*	4
<i>MV Gateway</i>	2	NA*
Caja hermética	2	4

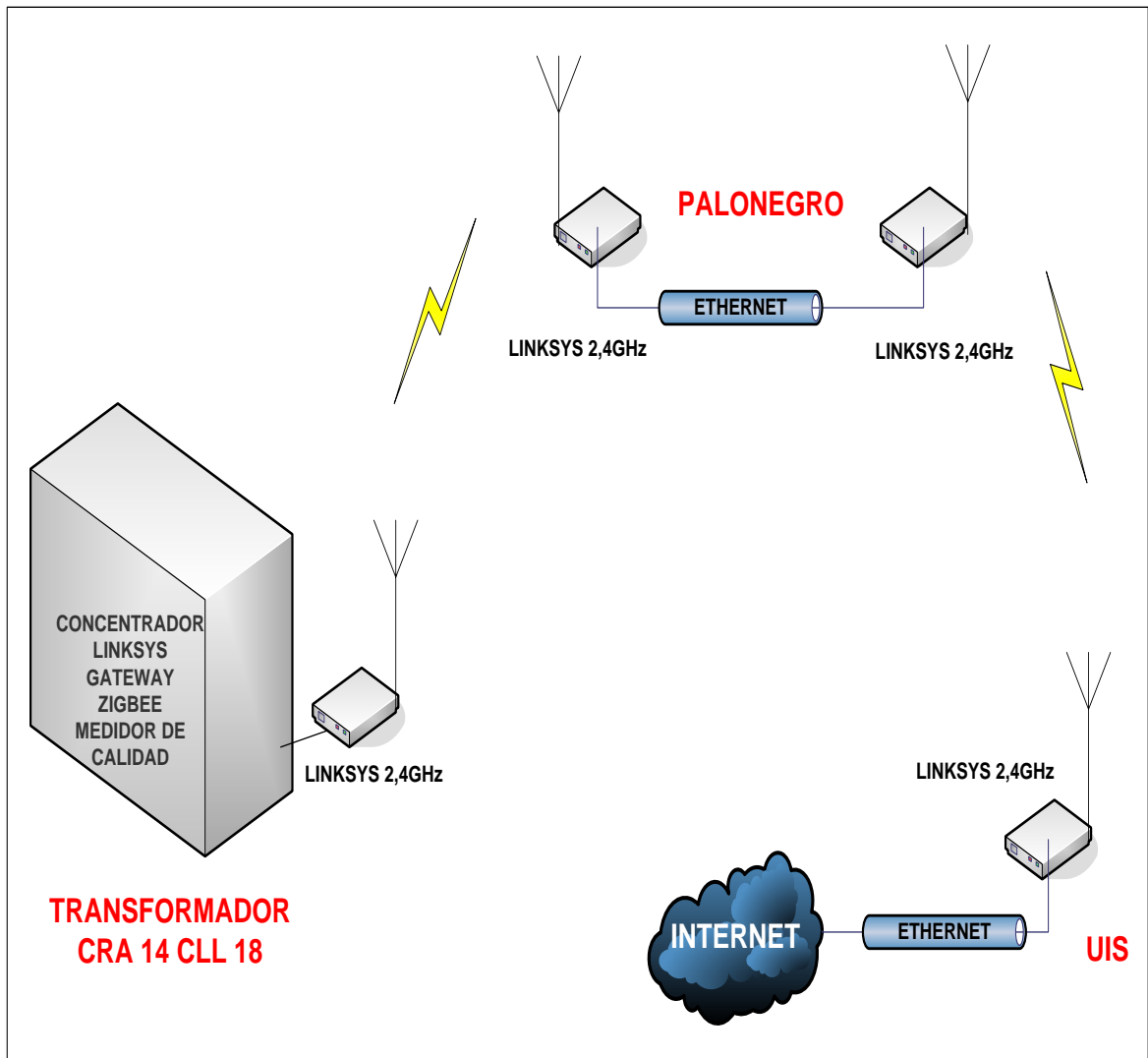
* No aplica

Fuente: los autores.

Además de los equipos mencionados anteriormente, también se usaron elementos como tornillos, multitomas, regletas, silicona líquida, cable de red UTP, acoples y soportes metálicos para las cajas herméticas, tornillos, tuercas, prenoestopas, alambres para las conexiones eléctricas y más.

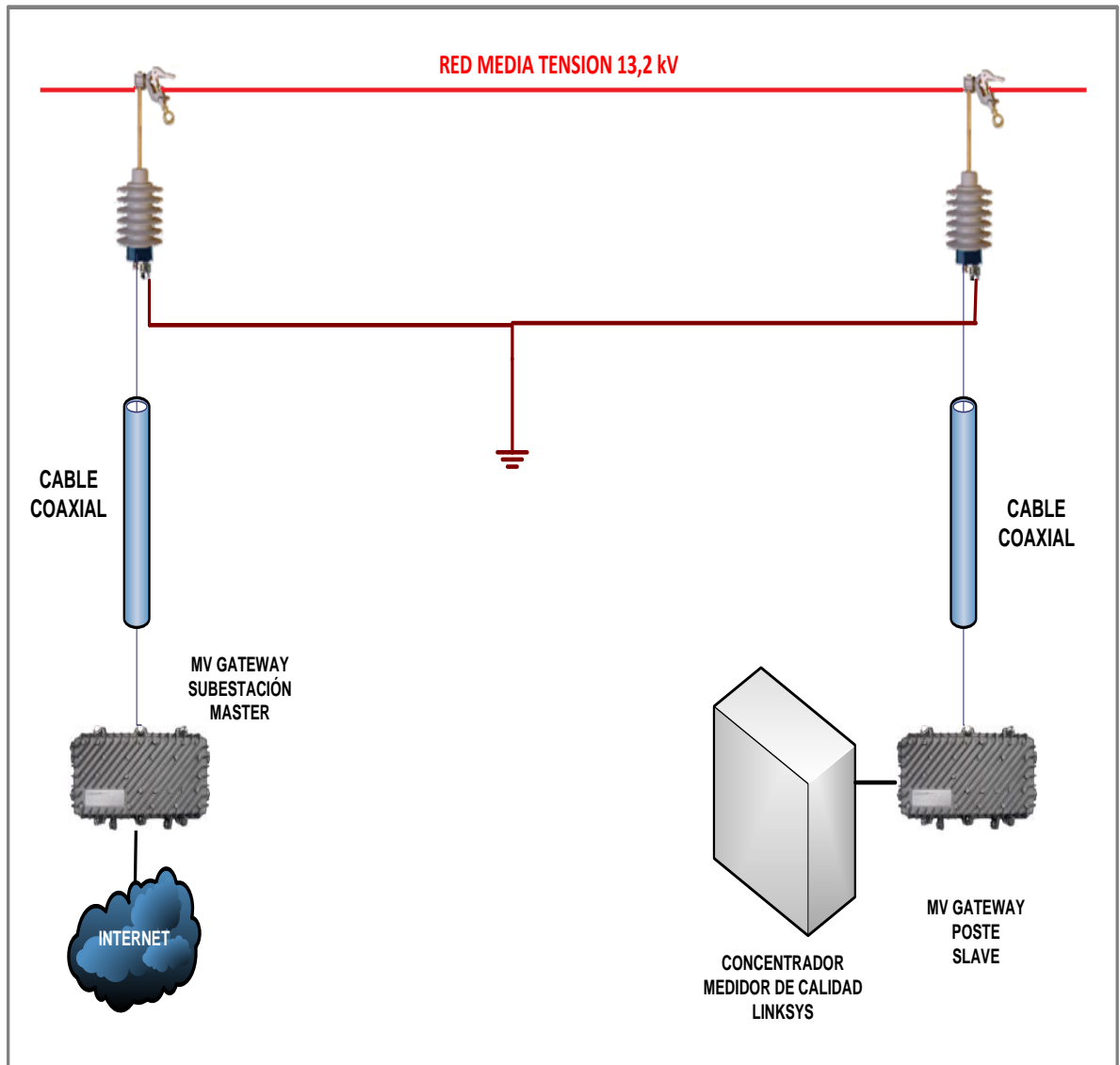
En las figuras 55 y 56, se muestran los esquemas del montaje de los enlaces de datos de PLC y *Wireless LAN* según las áreas piloto señaladas por el proyecto SITELRED.

Figura 56. Esquema del montaje de la tecnología *Wireless LAN* al proyecto SITELRED.



Fuente: los autores.

Figura 57. Esquema del montaje de la tecnología PLC al proyecto SITELRED.



Fuente: los autores.

Figura 58. Imagen del montaje de las cajas para la implementación de WLAN al proyecto SITELRED.



Fuente: los autores.

Figura 59. Imagen del montaje de las cajas para la implementación de PLC al proyecto SITELRED.



Fuente: los autores.

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

En este capítulo se encuentran las conclusiones sobre el trabajo de grado de grado realizado, recomendaciones y algunas propuestas muy sencillas de posibles trabajos futuros.

5.1. CONCLUSIONES.

Se diseñó una metodología de pruebas para evaluar el desempeño de las tecnologías PLC (*Power Line Communications*) y Wireless LAN, basada en mediciones de parámetros de comunicaciones tales como *throughput*, ancho de banda, latencia, jitter y bits y paquetes perdidos para ser implementada en el proyecto de telemetría SITELRED.

Las pruebas de rendimiento se realizaron empleando herramientas de evaluación de desempeño, que fueron ajustadas para obtener resultados óptimos, los parámetros modificados fueron el tamaño de la ventana TCP y el MTU; estos se ajustaron realizando pruebas con diversos valores, para el MTU: *wireless LAN* desde 8 bytes hasta 1472 bytes, PLC desde 32 bytes hasta 1520; la variación de la ventana TCP para las dos tecnologías fue de: *Wireless LAN* desde 4 Kbytes hasta 256 Kbytes y para PLC desde 16 Kbyte hasta 1024 Kbytes.

La disponibilidad de la tecnología PLC en la ciudad de Bucaramanga depende de la viabilidad de la instalación de los equipos sobre las líneas de media tensión, para lo cual se requiere de la autorización de la ESSA como dueña de las redes de distribución eléctrica. Así como la adquisición de los equipos para el número de nodos que se deseen instalar. En cuanto a la tecnología *Wireless LAN* en la ciudad de Bucaramanga, su cobertura podría ser del 100% siempre y cuando se cuente con la disponibilidad de los equipos y antenas adecuados para la implementación del sistema de comunicación.

Con respecto a la tecnología PLC, el desempeño es superior cuando se realizaron pruebas con el cable coaxial, debido a que se puede considerar como un medio de transmisión ideal para simular la línea de media tensión. Esto se puede constatar al comparar las mediciones entre cable coaxial (pruebas de laboratorio) y línea viva.

La tecnología *Wireless LAN* funcionando bajo el estándar IEEE 802.11b puede llegar hasta una tasa de transferencia de datos de 11Mbps; para el enlace de 5m el ancho de banda promedio fue de 10,641 Mbps y para el de 8Km de 5,276 Mbps. Esta comparación muestra que el aumento de la distancia afecta en gran medida

el desempeño del enlace, debido a grandes pérdidas por propagación de las ondas. Sin embargo, se pueden considerar tasas buenas para el enlace de 8Km puesto que, el área de propagación cubría una gran parte del área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga.

El estudio inicial de los Gateways PLC contempló el análisis de las características técnicas de estos equipos, en donde se encontró que estos pueden llegar a tasas de hasta 200 Mbps. Sin embargo, las tasas de operación más altas obtenidas en la evaluación de desempeño de PLC estuvieron en las pruebas realizadas con cable coaxial RG-6, llegando en promedio a 72,02 Mbps con longitud de 40m; en línea viva con los parámetros de las herramientas ajustados fue de 8,742 Mbps. Estos resultados muestran que la tecnología no se acerca a la tasa de transferencia máxima de referencia, bajo las condiciones en las cuales se realizaron las mediciones. Cabe resaltar que durante las pruebas en línea viva, se lograron obtener tasas de hasta 25 Mbps, pero en periodos de tiempo bastante cortos.

Un parámetro de evaluación de desempeño considerado en el desarrollo del presente trabajo, es el BER (*Bit Error Rate*). Los resultados de las mediciones para *Wireless LAN* no arrojaron pérdida de bits, por lo cuál puede ser considerada como una tecnología de alta confiabilidad para el proceso de telemetría. En el caso de PLC, se encontraron *bits* perdidos para las mediciones realizadas sobre la línea de media tensión según se observa en la tabla 11 de 2% y 3%. Estos resultados pueden considerarse buenos teniendo en cuenta que es una tecnología que se encuentra en estudio y no había sido implementada en la ciudad de Bucaramanga.

Los enlaces de datos sirven como plataforma de pruebas para comunicación de los parámetros de calidad eléctrica medida dentro del proyecto SITELRED.

5.2. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

En este proyecto se usaron radios Linksys WRT-54G para el montaje de los enlaces correspondiente a Wireless LAN bajo el estándar IEEE 802.11b, con una tasa máxima de operación de 11Mbps. Se recomienda realizar la evaluación de desempeño para esta tecnología con los mismos equipos, pero bajo el estándar IEEE 802.11g, ya que operan hasta a 54Mbps.

Uno de los factores más influyentes en el desarrollo del presente trabajo de grado, fueron las actividades de logística necesarias para el desarrollo de las pruebas. En el caso de PLC fue el trabajo más duro, debido a que inicialmente se planteó implementar el enlace dentro de las instalaciones de la UIS. Cuando el montaje estaba listo, se realizaron tres jornadas de pruebas, sin poder obtener resultados, debido a lo cual se trasladaron los equipos a la subestación Real de Minas perteneciente a la ESSA. A partir de esto, se recomienda usar esta tecnología a distancias no mayores a 400 m y en una zona donde no existan riesgos de algún tipo de cargas con un bajo factor de potencia.

Estudios futuros usando la tecnología PLC pueden centrarse en la configuración de cada uno de los módulos que contiene el Gateway, tratando de conseguir un mejor desempeño. Además, se pueden enfocar en brindar cubrimiento de Internet a una gran zona, mediante *gateways* en media tensión y que cada usuario pueda tener un modem de baja tensión.

Se recomienda para estudios posteriores, combinar el uso de PLC con medidores de calidad de la energía eléctrica, para poder encontrar la influencia del comportamiento de la red en el desempeño de la comunicación PLC.

Se sugiere seguir con la investigación de la tecnología PLC, implementando enlaces sobre las redes de distribución variando la distancia y transmitiendo en las líneas de 34,5kV.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ALFARO ESCRIBANO, M., CHANGO, E., “Concepto de PLC y Posibilidades que nos ofrece”. [Internet] [http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:H17G4OGUK3gJ:www.uteq.edu.ec/facultades/empresariales/informatica/tutoriales/temasactuales2007/bp_l.pdf+“Concepto+de+PLC+y+Posibilidades+que+nos+ofrece”.&hl=es&gl=co&pid=bl&srcid=ADGEESh8m3uegQs7l-uLYcUw8dN9FSMwNT8MVOvSOC8b9RO2xVL6k575fslqN8sH4i-88g9RVndDo_v0dxo28Q4nXvENuvyzP73U81ZvtO0DW6ulbQmoMBy8CJFa_xcrpQuk41HWcrIMU&sig=AHIEtbSVMIF4EzVVxcidZf5kuL5N75GTuw](http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:H17G4OGUK3gJ:www.uteq.edu.ec/facultades/empresariales/informatica/tutoriales/temasactuales2007/bp_l.pdf+\)
- [2] BARAHONA RODRÍGUEZ, C., LÓPEZ SALAMANCA, J., “Estimación del Rendimiento en la Tecnología PLC frente a diversos escenarios ruidosos”, Trabajo de grado de Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, 2008.
- [3] GONZÁLEZ PUYOL, J., GARCÍA VIEIRA, J., “La tecnología PLC en los Programas de Fomento de la Sociedad de la Información de Red”. [Internet] <http://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/68-69/enfoque4.pdf>
- [4] ÁLVAREZ VALLE, J., GARCÍA GONZÁLEZ, V., GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, D., “Transmisión de datos por la red eléctrica”. [Internet] http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:ZxiAA9EEcAIJ:www.victorgarcia.org/files/PLC-v2.0RC.pdf+PLC-v2.0RC.pdf&hl=es&gl=co&pid=bl&srcid=ADGEESigtFwmAtrY-A-O_st5h2aWmZEOCjRcWIBKoSACbkYcMIEAzFliOkoYo3ry20PFajE26W-19fXGL67EJmA3GsieyZo-Pz1m7_ByoVw4WKRYq20dqxL4D7T8T1GQBI7sL6cG08rN&sig=AHIEtbRF5dKOFADBD58QJpCMNW_tHVci6w
- [5] JIMÉNEZ, L., PARADO, J., “Modulación Multiportadora OFDM”, Revista de Ingenierías Universidad de Medellín, vol 6 No. 2 año 2001, p. 30-34, Universidad de Medellín, Colombia. [Internet] <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/750/75050907/75050907.html>
- [6] Tecnom, “Power Line Communications”. [Internet] www.tecnocom.es <http://www.noticias3d.com/articulo.asp?idarticulo=261&pag=4>
- [7] Asociación Española de Usuarios de Telecomunicaciones, AUTEL, “Tecnología PLC: Informe de Situación”, 2003. [Internet] http://www.ure.es/plcure/plc/pdf/informe_autel.pdf

- [8] Asociación Española de la Industria Eléctrica, UNESA, “PLC: El enchufe a la Sociedad de la Información”. [Internet] http://www.unesa.es/informes_actualidad/informe_sobre_PLC.pdf
- [9] TecnoCom, “Power Line Communications”. [Internet] <http://www.noticias3d.com/articulo.asp?idarticulo=261&pag=1>
- [10] AP IWAN, E., “Tecnologías de Convergencia sobre Redes de Video Cable y Redes Eléctricas”, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. [Internet] <http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/asp/Present.%20E.%20AP%20Iwan%20-%20Redes.pdf>
- [11] Redes Inalámbricas en los países en Desarrollo. Una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo. Visite: (www.wwdw.net).
- [12] Huidobro Moya, José., Roldán Martínez, David. “Comunicaciones en redes WLAN”. México. 2005.
- [13] Tomasi, Wayne. “Sistemas de Comunicaciones Electrónicas”. México. 2003.
- [14] IEEE 802.11b WIRELESS LANs. Technical Paper. 3COM. 2003.
- [15] JIN-A, P., SEUNG-KEUN, P., DONG-HO, K., PYUNG-DONG, C., KYOUNG-ROK, C., “Experiments on Radio Interference Between Wireless LAN and Other Radio Devices on a 2.4 GHz ISM band”, Vehicular Technology Conference. The 57th IEEE Semiannual, p. 1798-1801, vol 3, 2003.
- [16] SEUNGHWAN, L., YONG WAN, P., “Performance of WLAN 802.11b Standard at in-vehicle environment”, ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conference on, IEEE, p 1110-1113, 2006.
- [17] ABU-SHARKH, O., TEWFIK, A., “Throughput Evaluation and Enhancement in 802.11 WLANs with Access Point”. Vehicular Technology Conference, 2005. VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61st, vol 2, p. 1338-1341, 2005.
- [18] BIGGS, M., CLARKSON, T., “Occupancy analysis of the 2.4 GHz ISM Band”, Communications, IEEE Proceeding, vol 151 Issue:5, p. 481-488, 2004.
- [19] GARBARUK, M., LITWINCZUK, N. “Design and Analysis of Radio links for Radiocommunication Systems”, Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology. IEEE 6th International Symposium on, p. 93-96, 2005.

- [20] ORDOÑEZ, G., “Enlaces Metropolitanos utilizando tecnología Wi-Fi en Bandas ISM”, Monografía de Especialización en Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2004.
- [21] PINZON BARRIOS, S., “Predicción de la tasa de *Throughput* en una red inalámbrica (WLAN 802.11b)”, Tesis de Maestría en Ingeniería Área Electrónica, Colombia, 2005
- [22] ALVAREZ, M., FLOREZ, A., RODRIGUEZ, Y., “Diseño e implementación de una metodología para la evaluación del desempeño de una red inalámbrica WLAN 802.11b”, Trabajo de pregrado de Ingeniería Electrónica, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2004.
- [23] M, Gates, A. Tirumala, J. Dugan, K. Gibbs Iperf User Docs. [Internet] <http://www.siptune.net/downloads/iperf-manual.pdf>
- [24] Iperf. [Internet] <http://openmaniak.com/iperf.php>.
- [25] Acoplador Capacitivo. OVERCAP-X. [Internet] www.artech.com
- [26] CXP-MVG. Medium Voltage Acces Gateway. User Guide. [Internet] www.corinex.com
- [27] RAMOS PASCUAL, F., “Radiocomunicaciones”, p. 153-157, México. 2007
- [28] RUGELES URIBE, J., “Radioenlaces”, Especialización en Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2008.
- [29] Linksys WRT54G User Guide, LINKSYS: a division of Cisco Systems, Inc. [Internet] <http://ec1.images-amazon.com/media/i3d/01/A/migrate/MANUAL000000300.pdf>
- [30] Corinex AV200 Powerline Ethernet Adapter. [Internet] www.corinex.com

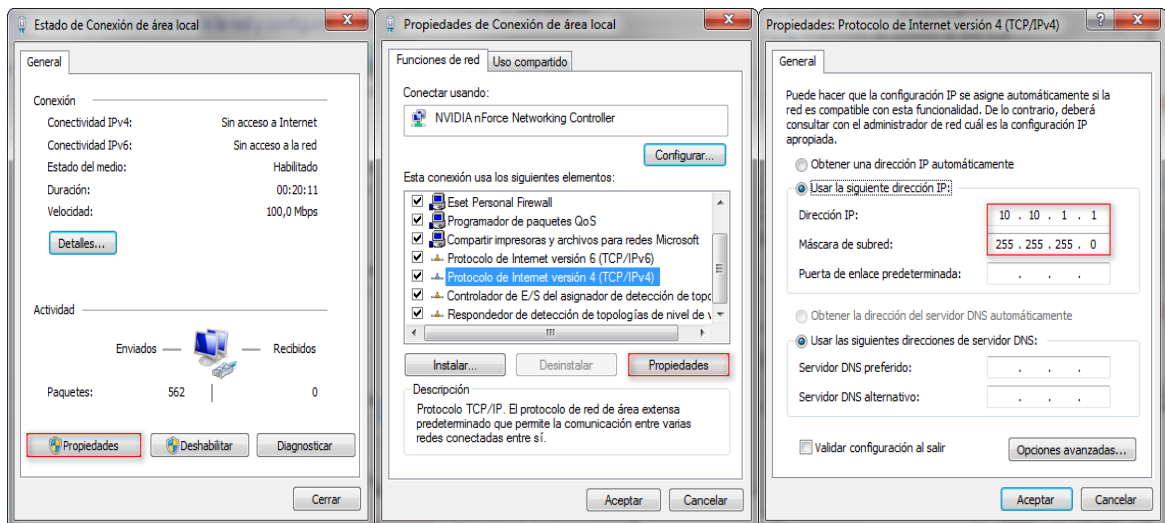
ANEXOS

A. CONFIGURACION DE LOS EQUIPOS USADOS PARA LA EVALUACION DE DESEMPEÑO DE LA TECNOLOGIA POWER LINE COMMUNICATIONS.

Con el fin de que el equipo de computo reconozca los equipos conectados a él, para ser identificados posteriormente con una dirección IP, mediante el software HaneWIN DHCP Server, se procede a configurar la tarjeta de red del equipo de la siguiente forma:

- En los parámetros de red se procede a configurar de la forma mostrada en la figura A.1., la dirección IP y la máscara de subred del equipo de cómputo, teniendo el AV200 conectado al equipo.

Figura A.1. Configuración tarjeta de Red del equipo de Cómputo.



Fuente: Los autores

- Luego se procede a configurar el servidor DHCP (HaneWIN DHCP Server) encargado de asignar una dirección IP dinámica a cada equipo.

Para este procedimiento se accede al menú **Options > Preferences**, y luego se procede a configurar la interfaz que debe usar el programa para la identificación de los AV200, y la carpeta(TFTP Root Directory) donde están ubicados los perfiles que serán asignados posteriormente.

- Se definen los perfiles bajo los cuales van a operar los Módems.

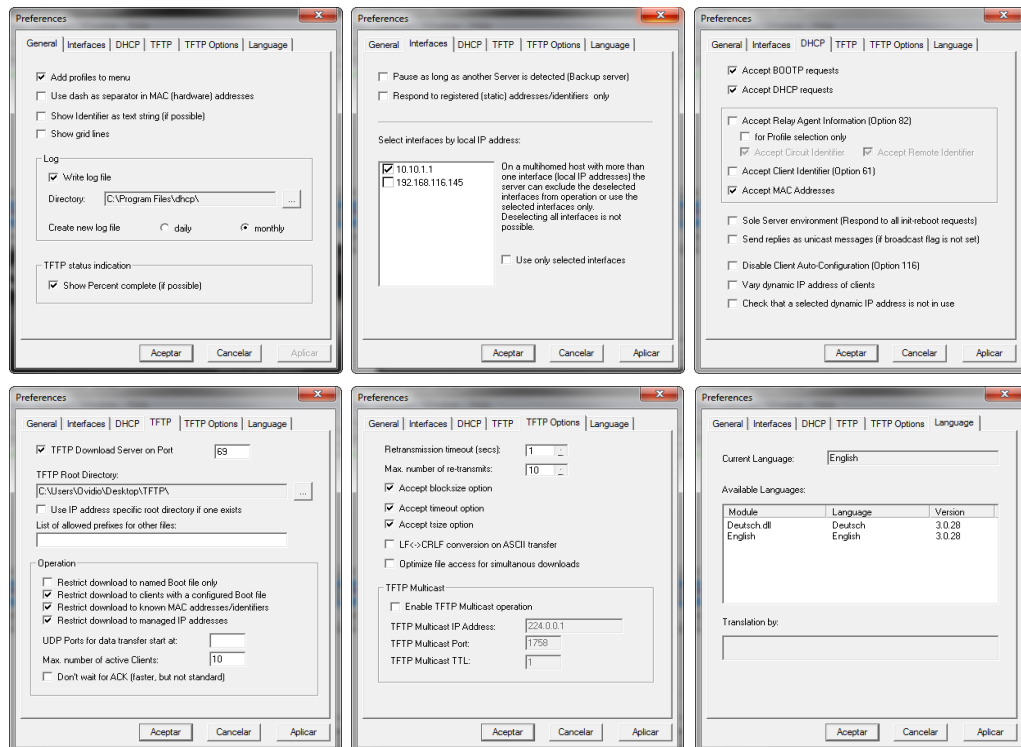
✓ Perfil Default

Es el perfil por defecto, con el cual se identifican los equipos que se conectan al equipo de cómputo, al ser identificado se les asignan a cada uno, una dirección IP dinámica mediante DHCP, es el primer perfil que se debe crear.

Para esto se accede al menú **Options > Manage Profiles > Add**, en el cuadro emergente se escribe el nombre del perfil, en este caso: default, los pasos de configuración se muestran en la figura 2.5. De donde:

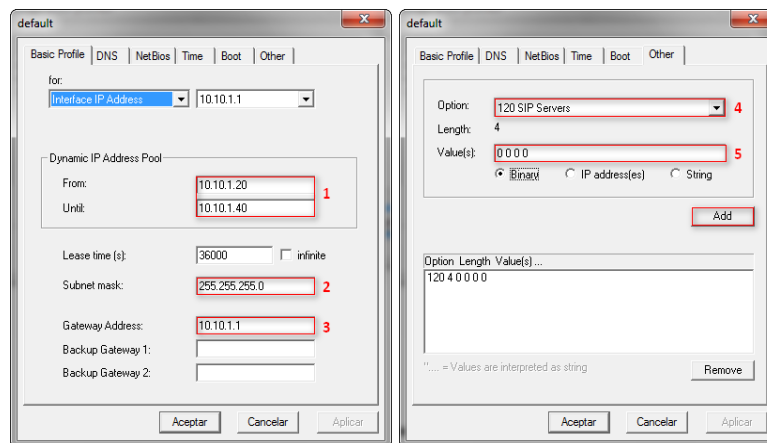
- 1 Es el rango de direcciones IP en el cual se quiere trabajar.
- 2 Es la máscara de subred del equipo de cómputo.
- 3 Es la dirección IP del equipo de cómputo.
- 4 Esta opción desactiva el protocolo IFCP
- 5 Valor para la opción 120, 0 0 0 0 (un espacio entre cada cero).

FIGURA A.2. Configuración del Servidor DHCP



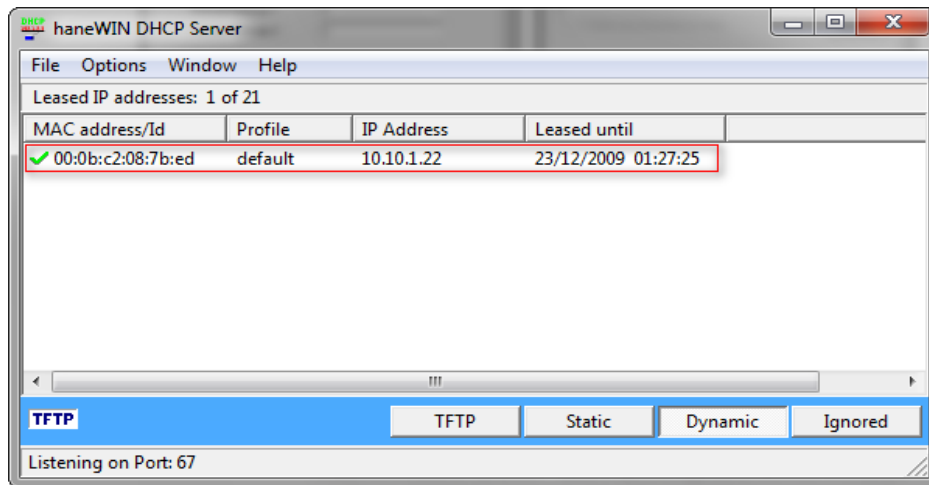
Fuente: Los Autores.

FIGURA A.3. Creación del Perfil *Default*.



Luego de esto, click en aplicar y aceptar, de esta forma el modem conectado al equipo será reconocido y se le asignará una dirección IP como lo muestra la figura 2.6.

FIGURA A.4. Reconocimiento de la dirección IP de un modem PLC.



Fuente: Los autores.

Por lo tanto, cada vez que se conecte un modem a la red eléctrica, siempre y cuando se tenga otro conectado al equipo de computo, será reconocido por el servidor DHCP y se le asignará una dirección IP.

Luego de asignarle una dirección IP a cada modem, se crean los perfiles básicos para una red máster/slave, para realizar esta

configuración se crean los archivos necesarios de configuración para cada perfil.

✓ Perfil *Máster* y Perfil *Slave*.

El archivo más sencillo necesario para cargar en el equipo que se va a comportar como *máster* dentro de la red, puede ser creado en un archivo bloc de notas y debe ser guardado con la extensión “.conf”; este archivo contiene los parámetros generales de configuración del modem; autoconfiguración; la función que debe realizar, *máster* o *slave*; el modo de señal o rango de frecuencias en las que debe trabajar, entre otros. Básicamente los archivos quedarían según la figura 2.7.

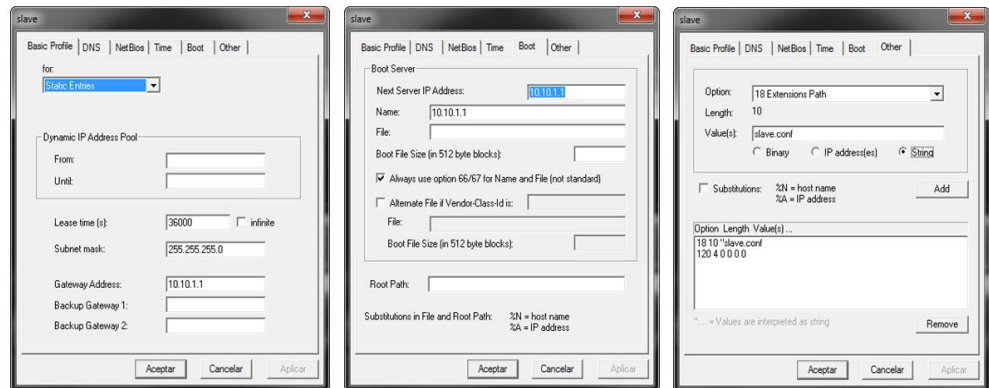
FIGURA A.5. Perfiles *Máster* y *Slave*.

<pre># File:master.conf GENERAL_USE_AUTOCONF = YES GENERAL_TYPE = HE GENERAL_EW_TYPE = LV GENERAL_STP = YES GENERAL_AUTHENTICATION = none GENERAL_SIGNAL_MODE = 6 GENERAL_IFACE_ROOT = EXTA GENERAL_IP_USE_DHCP = YES</pre>	<pre># File:slave.conf GENERAL_USE_AUTOCONF = YES GENERAL_FW_TYPE = LV GENERAL_TYPE = CPE GENERAL_IP_USE_DHCP = YES GENERAL_STP = YES GENERAL_SIGNAL_MODE_LIST.1 = 6 GENERAL_SIGNAL_MODE_LIST.2 = 1 GENERAL_SIGNAL_MODE_LIST.3 = 2 GENERAL_SIGNAL_MODE_LIST.4 = 3</pre>
--	--

Fuente: Los autores.

Para crear los perfiles en el servidor DHCP se accede al menú **Options > Manage Profiles > Add**, en la ventana emergente se escribe el nombre del perfil, el procedimiento de configuración se expone en las figuras 2.8 y 2.9.

FIGURA A.6. Configuración DHCP para Creación de Perfil *Slave*.



Fuente: Los autores.

FIGURA A.7. Configuración DHCP para creación de perfil Máster.



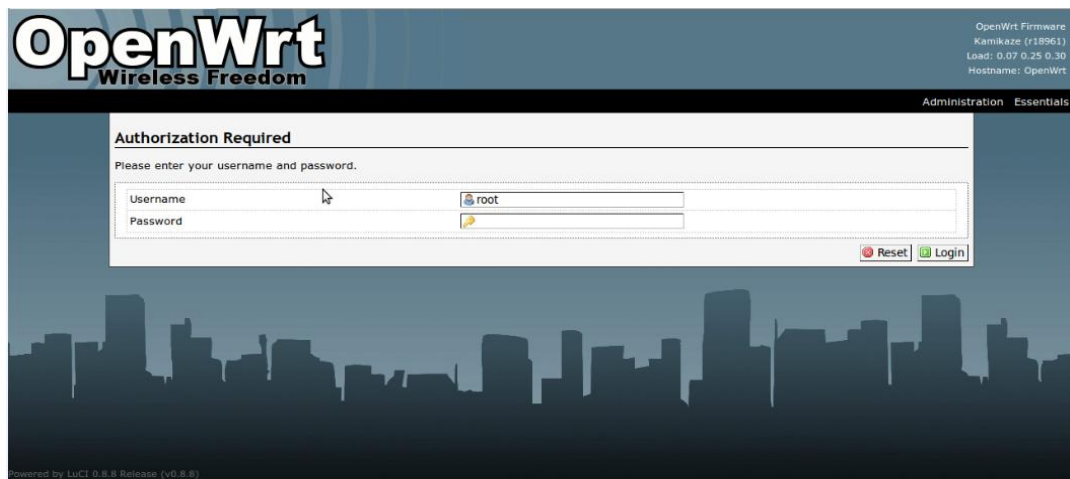
Fuente: Los autores.

Teniendo los perfiles creados, con sus respectivos archivos de configuración se procede a renombrar cada equipo, es decir pasar de dinámico a estático en el servidor DHCP, asignando el perfil necesario a cada equipo.

B. CONFIGURACION DE LOS EQUIPOS USADOS PARA LA EVALUACION DE DESEMPEÑO DE LA TECNOLOGIA WIRELESS LAN.

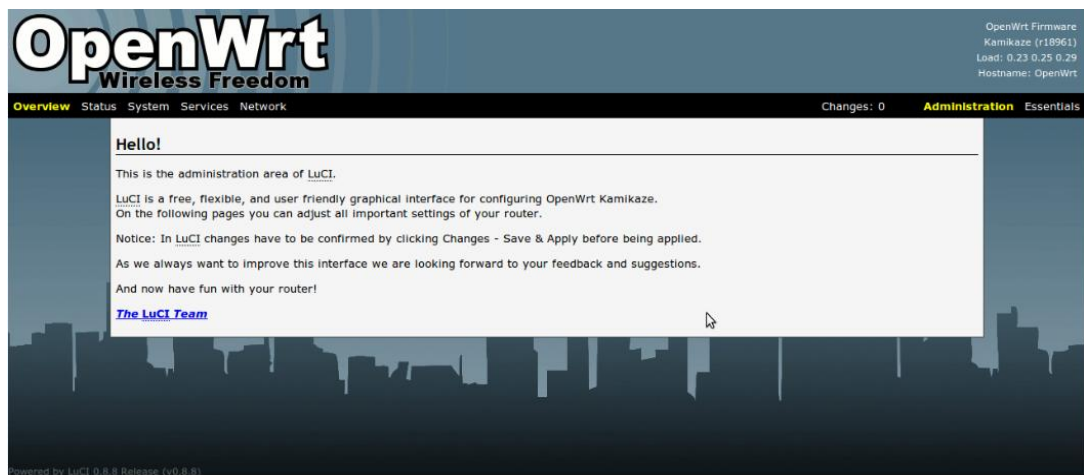
La implementación de un enlace de datos punto a punto usando los Radios Linksys WRT-54G se realiza configurando el Firmware OPENWRT que se encuentra instalado en cada uno de ellos; es sencillo de usar y su familiarización es un proceso rápido. En la figura B.1., y B.2. se muestran algunas de las ventanas iniciales de este software.

Figura B.1. Pantalla de inicio del Firmware OpenWrt.



Fuente: Los Autores

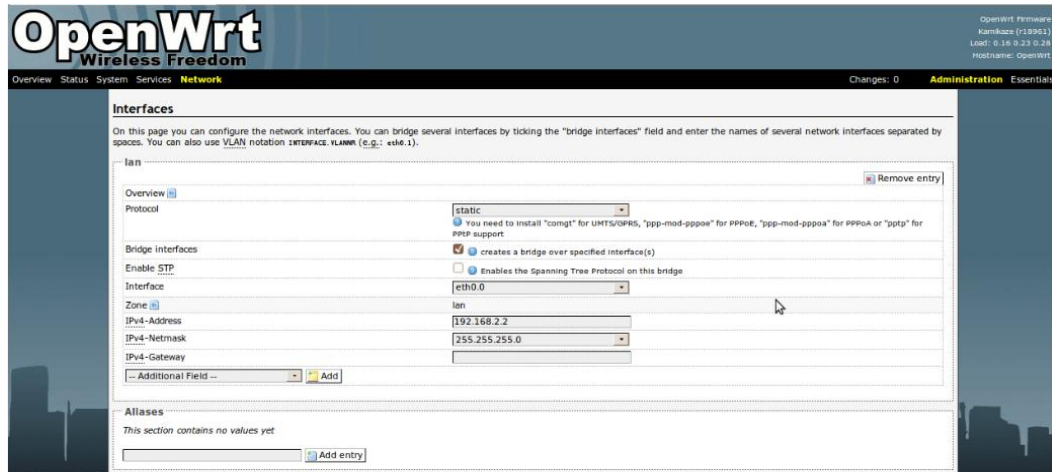
Figura B.2. Pantalla de bienvenida del Firmware OpenWrt.



Fuente: Los Autores.

Como primera medida, se debe configurar la Interfaz de Ethernet del radio, puesto que es la encargada de permitir el acceso al equipo. Para que el Computador pueda tener acceso al Linksys, se debe le debe modificar la configuración de la tarjeta de red con la puerta de enlace igual a la IP que da acceso al equipo.

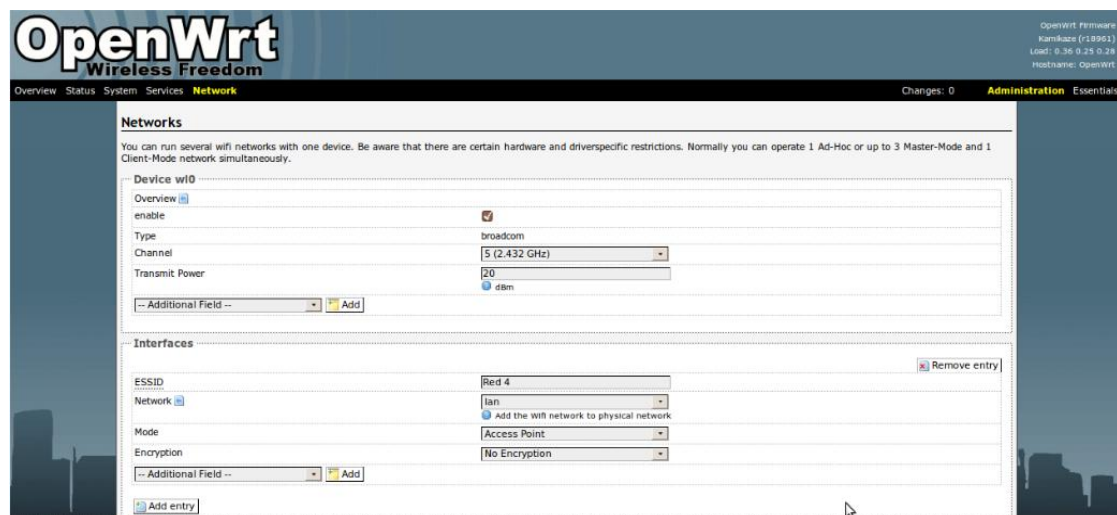
Figura B.3. Ventana para Interfaz etho del Radio Linksys.



Fuente: Los Autores.

Ahora, la configuración de un radio en uno de los extremos del enlace debe estar en el modo *Access Point* sobre el dispositivo *wl0*, así como es mostrado en la figura B.4.

Figura B.4. Configuración de red *wl0* para el modo *Access Point*.

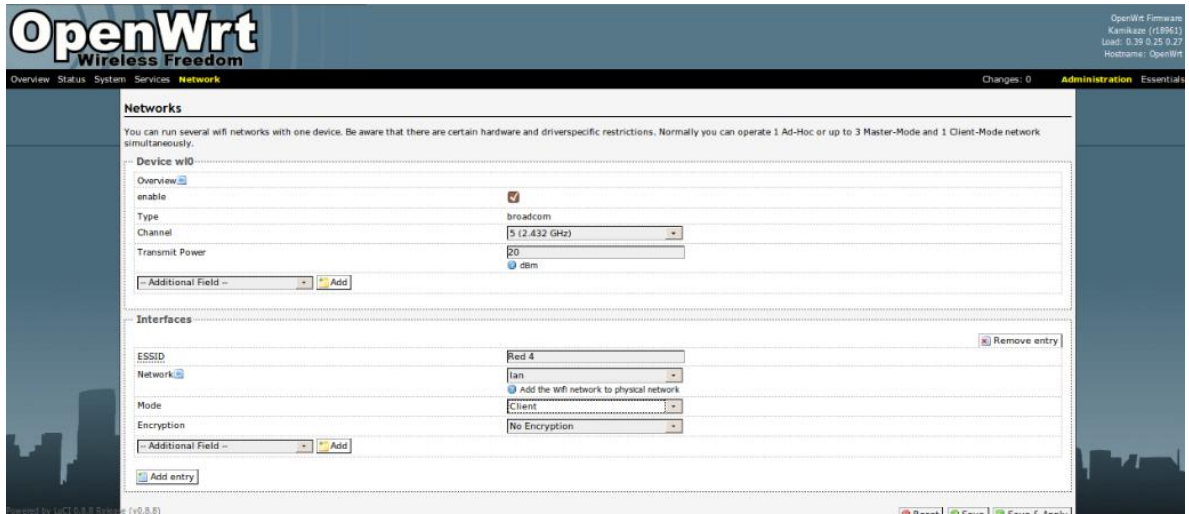


Fuente: Los Autores.

En cuanto a la configuración del otro extremo del enlace de datos, debe ser en modo *Client*. La forma mediante la cual estos dos equipos se puedan conectar

entre sí, será estipulando un único nombre en la casilla ESSID y usando el mismo canal de comunicación en la banda de frecuencias de 2,4GHz.

Figura B.5. Configuración de red w10 para el modo Client.



Fuente: Los Autores.

C. CALCULO TEORICO DE LA DISTANCIA PARA UN ENLACE USANDO LA TECNOLOGÍA WIRELESS LAN.

Según el funcionamiento de los Radioenlaces, se hace necesario hacer cálculos previos que permitan encontrar la distancia entre los puntos de ubicación de los equipos; esto con el fin de poder determinar una ganancia (en dBi) aproximada de las antenas que se deberían usar. Por esta razón se siguen los siguientes pasos:

- Primero se debe buscar todas las características técnicas de los equipos, tales como potencia de transmisión, potencia de recepción, alcance y demás parámetros necesarios para la realización de dichos cálculos.
- Se encuentra la distancia aproximada mediante un método que usa las coordenadas geográficas de los puntos de ubicación. Estas coordenadas fueron proporcionadas por personal de la Electrificadora que hace parte del proyecto SITELRED, según áreas piloto de implementación fueron seleccionadas previamente. Dichas coordenadas son las siguientes:

TRAFO 4: 7°7'46.49" N – 73°7'54.17" O

PALONEGRO: 7°5'02" N – 73°11'45" O

ESSA: 7°07'29.67" N – 73°07'33.37" O

Para encontrar la distancia se usa el método basado en la redondez de la tierra. Calculando como primera medida unas colatitudes, seguidamente ángulo diedro con el polo norte, se sigue con el cálculo de unas razones trigonométricas y para finalizar todos los datos anteriores son introducidos en la ecuación final que permite la obtención de esta distancia. Estos pasos fueron encontrados en el libro de Radioenlaces de la Especialización en Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander que se encuentra citado en la referencia número 32.

- Se continua con el planteamiento de una ecuación de balance de potencia, teniendo en cuenta el siguiente esquema:

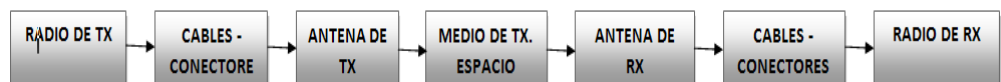


Figura C.1. Diagrama de bloques para el cálculo del balance de potencias.

A partir del diagrama de bloques anterior se tiene planteada la siguiente ecuación de balance de potencias:

$$P_{in} = P_{out} - L_t + G_t - L_b + G_r - L_r$$

De donde: P_{in} : potencia de Rx.

P_{out} : potencia de salida de Tx.

L_t : pérdidas por el cable y conectores en Tx.

G_t : ganancia antena de Tx.

L_b : Path Loss (pérdidas en el espacio libre).

G_r : ganancia antena de Rx.

L_r : pérdidas por cable y conectores en Rx.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

	Frecuencia de 2.4 GHz
DISTANCIA ENTRE PUNTOS [Km]	8.51589
GANANCIA APROXIMADA DE ANTENAS [dBi]	11

D. SCRIPTS EN BASH USADOS PARA LAS TOMAS DE MEDICIONES

El *script* en *bash* mostrado a continuación fue el usado para la toma de medidas de los parámetros de evaluación de desempeño, tanto para las mediciones de parámetros por defecto, caracterización y parámetros ajustados.

```
#!/bin/bash
function pdefecto()
{
    echo "Tamaños de ventanas por defecto"
    echo 114688 > /proc/sys/net/core/rmem_default
    echo 131071 > /proc/sys/net/core/rmem_max
    echo 114688 > /proc/sys/net/core/wmem_default
    echo 131071 > /proc/sys/net/core/wmem_max

    echo 4096 87380 3411968 > /proc/sys/net/ipv4/tcp_rmem
    echo 4096 16384 3411968 > /proc/sys/net/ipv4/tcp_wmem
    echo 79968 106624 159936 > /proc/sys/net/ipv4/tcp_mem
}
Sizes=16 #Tamaño de la ventana Inicial
function ventana()
{
    WIND=$((Sizes*1024))
    echo "Tamaño de la ventana es de $WIND Bytes"
    echo "Tamaño de la ventana es de $Sizes KBytes"
    echo $WIND > /proc/sys/net/core/rmem_default
    echo 8388608 > /proc/sys/net/core/rmem_max
    echo $WIND > /proc/sys/net/core/wmem_default
    echo 8388608 > /proc/sys/net/core/wmem_max

    echo 4096 $WIND 8388608 > /proc/sys/net/ipv4/tcp_rmem
    echo 4096 $WIND 8388608 > /proc/sys/net/ipv4/tcp_wmem
    echo 8388608 8388608 8388608 > /proc/sys/net/ipv4/tcp_mem
}

echo 'Script Ejecución de Pruebas'
echo 'Ovidio Fierrez & Laura Agudelo'
echo "Seleccione la acción a ejecutar: 1 Cliente, 2 Servidor, 3 Salir"

select ACCION in Cliente Servidor Salir
do
    case $ACCION in
        "Cliente")
            echo 'Seleccione la acción a ejecutar: 1 Parámetros por Defecto, 2 Variación de Parámetros, 3 Definidos, 4
Salir'
            select ACCION2 in Defecto Variación Definidos Salir
            do
                case $ACCION2 in
                    "Defecto")
                        pdefecto

                        echo "Ingreso de Parámetros"
                        echo -n "Ingrese la dirección IP Servidor : "
                        read IPServidor
                        #echo -n "Ingrese la dirección IP Cliente : "
                        #read IPCliente
```

```

echo -n "Ingrese el tiempo en minutos de la prueba : "
read Tiempom
Tiempos=$((Tiempom*60))
echo -n "Ingrese el tiempo en segundos entre reportes : "
read TiempoReportes
Cantidad=$((Tiempos/$TiempoReportes))
Tmili=$((Tiempos*1000))
sleep 1 ; ping $IPServidor -c $Cantidad -i $TiempoReportes > reporteiping.dat & sleep 1 ; ITGSend -a
$IPServidor -m rttm -T TCP -t $Tmili -l reporteditg.log & sleep 1 ; iperf -c $IPServidor -t $Tiempos -i $TiempoReportes -f k >
reporteiperf.dat
..
"VariaciÃ³n")
echo "Ingreso de ParÃ¡metros"
echo -n "Ingrese la direccion IP Servidor : "
read IPServidor
#echo -n "Ingrese la direccion IP Cliente : "
#read IPCliente

for I in $(seq 1 7)
do
ventana > "$Sizes lperf.dat"
cp "$Sizes lperf.dat" "$Sizes Ping.dat"
Cantidad=9
TiempoReportes=20
Tiempos=$((Cantidad*$TiempoReportes))
Tmili=$((Tiempos*1000))

echo "TamaÃ±o de paquete 32 Bytes" >> "$Sizes lperf.dat"
echo "TamaÃ±o de paquete 32 Bytes" >> "$Sizes Ping.dat"
sleep 1 ; ping $IPServidor -c $Cantidad -i $TiempoReportes -s 32 >> "$Sizes Ping.dat" &
sleep 1 ; iperf -c $IPServidor -t $Tiempos -i $TiempoReportes -f k -M 32 >> "$Sizes lperf.dat" & sleep 1 ; cd /home/daniel/D-
ITG-2.7.0-Beta2/bin ./ITGSend -a $IPServidor -m rttm -T TCP -t $Tmili -c 32 -l "$Sizes DITG 32.log"

echo "TamaÃ±o de paquete 64 Bytes" >> "$Sizes lperf.dat"
echo "TamaÃ±o de paquete 64 Bytes" >> "$Sizes Ping.dat"
sleep 1 ; ping $IPServidor -c $Cantidad -i $TiempoReportes -s 64 >> "$Sizes Ping.dat" &
sleep 1 ; iperf -c $IPServidor -t $Tiempos -i $TiempoReportes -f k -M 64 >> "$Sizes lperf.dat" & sleep 1 ; cd
/home/daniel/D-ITG-2.7.0-Beta2/bin ./ITGSend -a $IPServidor -m rttm -T TCP -t $Tmili -c 64 -l "$Sizes DITG 64.log"

echo "TamaÃ±o de paquete 128 Bytes" >> "$Sizes lperf.dat"
echo "TamaÃ±o de paquete 128 Bytes" >> "$Sizes Ping.dat"
sleep 1 ; ping $IPServidor -c $Cantidad -i $TiempoReportes -s 128 >> "$Sizes Ping.dat" &
sleep 1 ; iperf -c $IPServidor -t $Tiempos -i $TiempoReportes -f k -M 128 >> "$Sizes lperf.dat" & sleep 1 ; cd
/home/daniel/D-ITG-2.7.0-Beta2/bin ./ITGSend -a $IPServidor -m rttm -T TCP -t $Tmili -c 128 -l "$Sizes DITG 128.log"

echo "TamaÃ±o de paquete 256 Bytes" >> "$Sizes lperf.dat"
echo "TamaÃ±o de paquete 256 Bytes" >> "$Sizes Ping.dat"
sleep 1 ; ping $IPServidor -c $Cantidad -i $TiempoReportes -s 256 >> "$Sizes Ping.dat" &
sleep 1 ; iperf -c $IPServidor -t $Tiempos -i $TiempoReportes -f k -M 256 >> "$Sizes lperf.dat" & sleep 1 ; cd
/home/daniel/D-ITG-2.7.0-Beta2/bin ./ITGSend -a $IPServidor -m rttm -T TCP -t $Tmili -c 256 -l "$Sizes DITG 256.log"

echo "TamaÃ±o de paquete 512 Bytes" >> "$Sizes lperf.dat"
echo "TamaÃ±o de paquete 512 Bytes" >> "$Sizes Ping.dat"
sleep 1 ; ping $IPServidor -c $Cantidad -i $TiempoReportes -s 512 >> "$Sizes Ping.dat" &
sleep 1 ; iperf -c $IPServidor -t $Tiempos -i $TiempoReportes -f k -M 512 >> "$Sizes lperf.dat" & sleep 1 ; cd
/home/daniel/D-ITG-2.7.0-Beta2/bin ./ITGSend -a $IPServidor -m rttm -T TCP -t $Tmili -c 512 -l "$Sizes DITG 512.log"

echo "TamaÃ±o de paquete 1024 Bytes" >> "$Sizes lperf.dat"
echo "TamaÃ±o de paquete 1024 Bytes" >> "$Sizes Ping.dat"
sleep 1 ; ping $IPServidor -c $Cantidad -i $TiempoReportes -s 1024 >> "$Sizes Ping.dat" &
sleep 1 ; iperf -c $IPServidor -t $Tiempos -i $TiempoReportes -f k -M 1024 >> "$Sizes lperf.dat" & sleep 1 ; cd
/home/daniel/D-ITG-2.7.0-Beta2/bin ./ITGSend -a $IPServidor -m rttm -T TCP -t $Tmili -c 1024 -l "$Sizes DITG 1024.log"

echo "TamaÃ±o de paquete 1520 Bytes" >> "$Sizes lperf.dat"
echo "TamaÃ±o de paquete 1520 Bytes" >> "$Sizes Ping.dat"

```

```

sleep 1 ; ping $IPServidor -c $Cantidad -i $TiempoReportes -s 1520 >> "$Sizes Ping.dat" &
sleep 1 ; iperf -c $IPServidor -t $Tiempos -i $TiempoReportes -f k -M 1520 >> "$Sizes lperf.dat" & sleep 1 ; cd
/home/daniel/D-ITG-2.7.0-Beta2/bin ./ITGSend -a $IPServidor -m rttm -T TCP -t $Tmili -c 1520 -l "$Sizes DITG 1520.log"

```

```

        Sizes=$((Sizes*2))
    done
    ;;
    "Definidos")
    echo "Ingreso de Parámetros"
    echo -n "Ingrese la direccion IP Servidor : "
    read IPServidor
    #echo -n "Ingrese la direccion IP Cliente : "
    #read IPCliente
    echo -n "Ingrese el tiempo en minutos de la prueba : "
    read Tiempom
    Tiempos=$((Tiempom*60))
    echo -n "Ingrese el tiempo en segundos entre reportes : "
    read TiempoReportes
    Cantidad=$((Tiempos/$TiempoReportes))
    Tmili=$((Tiempos*1000))
    echo -n "Ingrese el tamaño del paquete en Bytes : "
    read Paquete
    echo -n "Ingrese el tamaño de la ventana en KBytes : "
    read Sizes
    ventana> "iperfdefinido.dat"
    echo "Tamaño del paquete es $Paquete" >> "iperfdefinido.dat"
    cp "iperfdefinido.dat" "pingdefinido.dat"

    sleep 1 ; ping $IPServidor -c $Cantidad -i $TiempoReportes -s $Paquete >> pingdefinido.dat & sleep
1 ; ITGSend -a $IPServidor -T TCP -t $Tmili -c $Paquete -l ditgdefinido.log & sleep 1 ; iperf -c $IPServidor -t $Tiempos -i
$TiempoReportes -f k -M $Paquete >> iperfdefinido.dat
    ;;
    "Salir")
    echo "El usuario quiere salir"
    break
    ;;
    *)
    echo "Opción Inválida"
    ;;
esac
done
;;

"Servidor")

    echo "Ingreso de Parámetros"
    echo -n "Ingrese la direccion IP Cliente : "
    read IPCliente
    konsole -e sleep 1 ; iperf -s & konsole -e sleep 1 ; ITGRecv
    ;;

"Salir")

    echo "El usuario quiere salir"
    break
    ;;

*)
    echo "Opción Inválida"
    ;;
esac
done

```