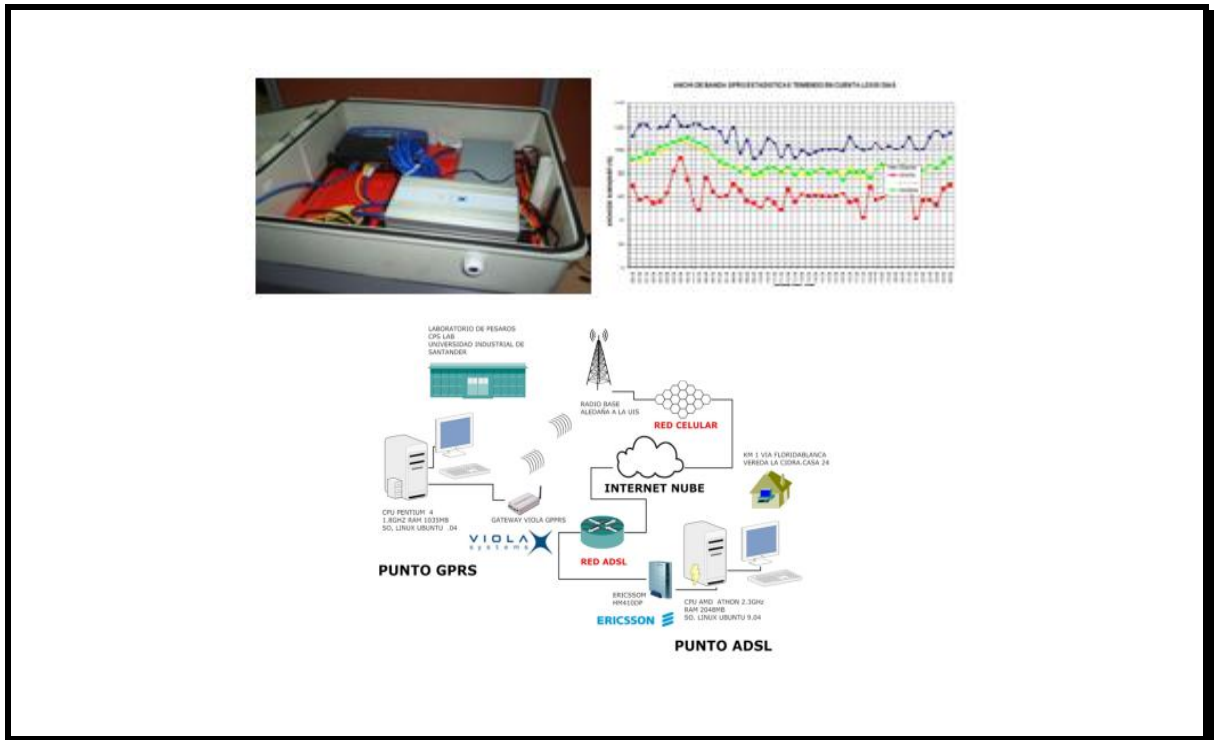


EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA TECNOLOGÍA GPRS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL “SISTEMA METROPOLITANO DE MONITOREO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN”



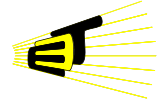
CÉSAR IVÁN FORERO CALA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2011



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES

Perfecta Combinación entre Energía e Intelecto

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA TECNOLOGÍA GPRS PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DEL “SISTEMA METROPOLITANO DE MONITOREO DE
LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE
MEDIA Y BAJA TENSIÓN”**

CÉSAR IVÁN FORERO CALA

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Director: MIE. José de Jesús Rúgeles U.

Codirector: MIE(c). Daniel Alexander Velazco C.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2011

*Dedicado a mis padres
Leovigildo q.e.p.d. y Luz*

AGRADECIMIENTOS

Familia

A mis padres, Leovigildo y Luz; a quienes amo profundamente, ejemplos inalcanzables de rectitud, trabajo, lealtad, compromiso y determinación; por su formación han definido mi personalidad y que me ha convertido en un hombre de principios y virtudes. Por su cariño y apoyo emocional, moral y económico toda mi vida y especialmente durante mi formación universitaria.

A mi hermana Liliana; por su cariño, solidaridad y afecto.

A mis tías y primos en general por ser parte de mi vida, y especialmente a Ariel, Omaira, Teresa, Ilse, Martha, Angélica, Chenchá, Fabiola por apoyarme en mis estudios y brindarme su cariño. Agradezco especialmente a Ana Forero por su ejemplo como persona, por haberme brindado su generosidad desinteresada durante el final de mi carrera universitaria, y por su estima durante toda mi vida.

A mi familia en general.

Profesores y Profesionales

Al Ing. Daniel Velazco por haberme guiado en el desarrollo de este trabajo Al MIE.
José Rúgeles por su orientación hacia los objetivos del proyecto.

Al Phd. Homero Ortega por su ejemplo como profesional y apoyo e inspiración forjada hacia las telecomunicaciones.

Al Ing. Fernando Ayala por su amistad y constante apoyo durante mi carrera.

Al Ing. Mauricio Alberto Rueda R. Por sus consejos y amistad durante en la ejecución de mis metas

Así mismo al Staff del grupo CPS por su colaboración y asesoría en la ejecución de proyecto.

Amigos

A mis amigos Julio, Carlos, Johana, Fernando, Javier, Jesús, Liliana, Manuel Arnulfo, Alexandra, Víctor, William, Alonso, Yenny, Edgar, Andrés, César, John Alejandro, Maciel, Ronald, Ingrid, Oscar Eduardo, Juliana, y otros por su bondad, buen corazón, consejos y su apoyo.

Agradezco a todas estas personas y a muchas más que no mencioné, y a Dios por ponerlas cerca de mí para ayudarme a cumplir con mi propósito superior.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	21
1.1 OBJETIVO GENERAL	21
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1. GENERALIDADES Y MARCO CONCEPTUAL	22
1.1 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO DE LA RED	22
1.1.1 Ancho de banda de transmisión	22
1.1.2 Tasa Efectiva de Servicio (Throughput)	23
1.1.3 Latencia	24
1.1.4 Tiempo de ida y regreso (RTT)	25
1.1.5 Variación del Retardo o Jitter	25
1.1.6 Cantidad De Datos Perdidos (BER)	25
1.2 TECNOLOGÍA GPRS	26
1.2.1 Arquitectura de red GPRS	26
1.2.1.1 Estación Base Transceptora (BTS)	26
1.2.1.2 Controlador de la estación base (BSC)	27
1.2.1.3 Unidad de Control De Paquetes (PCU)	27
1.2.1.4 Nodo de soporte del servicio GPRS (SGSN)	28
1.2.1.5 Nodo De Soporte Al Gprs Gateway (Ggsn)	28
1.2.2 Canal de Radio	29
1.2.3 Multitrama	30
1.2.4 Codificación de Canal	30
1.3 PROTOCOLOS	31
1.3.1 Protocolo de Control de Transmisión (<i>TCP</i>)	31
1.3.2 Protocolo de mensajes de control y error (<i>ICMP</i>)	32
1.4 ESTADO DEL ARTE	32
1.4.1 Desempeño en redes GPRS	32

1.4.2	Procedimiento general de medida para GPRS	34
1.4.2.1	Objetivos básicos de monitoreo de red	34
1.4.2.2	Pruebas de medidas	35
1.4.2.3	Factores relevantes que afectan las medias	36
1.4.2.3.1	Escenarios de medias.	36
1.4.2.3.2	Número de transceptores de la celda escogida	36
1.4.2.3.3	Potencia de la señal	37
1.4.2.3.4	Sincronismos en los extremos de medida	37
1.4.2.3.5	Importancias de elección de un protocolo de transporte para las medias	38
1.4.2.3.6	Medidas con un tipo de servicio específico	38
2.	DESCRIPCIÓN DEL ENLACE GPRS PARA EL SISTEMA DE TELEMETRÍA	39
2.1	DESCRIPCIÓN DEL ENLACE DE COMUNICACIÓN PARA PRUEBAS	39
2.2	IMPLEMENTOS REQUERIDOS PARA LAS PRUEBAS GPRS	40
2.2.1	Dispositivos Informáticos	40
2.2.2	Dispositivos sistema de comunicación	41
2.2.2.1	GATEWAY VIOLA GPRS	41
2.2.2.1.1	Protocolos de red que soporta	41
2.2.2.1.2	Procesador y memoria	41
2.2.2.1.3	Administrador	41
2.2.2.2	GATEWAY ERICSSON ADSL HM410dp	42
2.2.3	Servicios Contratados	44
2.3	CONFIGURACIÓN Y ADECUACIÓN DE LOS EQUIPOS PARA PRUEBAS	44
2.4	SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS	45
2.4.1	Iperf	46
2.4.2	NETPERF	47
2.4.3	D-ITG	48
2.5	METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS	49
2.6	PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS	52
2.7	PRUEBAS DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL ENLACE GPRS PARA TELEMETRÍA	52

3. CARACTERIZACIÓN DEL ENLACE GPRS	54
3.1 OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE LAS HERRAMIENTAS DE DESEMPEÑO	54
3.1.1 Ancho de Banda (BW) y RTT Variando el Tiempo	54
3.1.2 Ancho de Banda (Bw) variando el tamaño de ventana	55
3.1.3 Ancho de Banda y RTT variando el tamaño de segmento	56
3.2 PRUEBAS PRELIMINARES DE 12H	58
3.3 PRUEBAS EXTENDIDAS POR CATORCE DÍAS CONSECUTIVOS	59
3.3.1 Resultados de pruebas de ancho de banda	59
3.3.1.1 Ancho de banda de descarga	59
3.3.1.2 Ancho de banda de carga	64
3.3.2 Resultado de pruebas de RTT en TCP	69
3.3.3 Resultado de pruebas de JITTER RTT en TCP	74
3.3.4 Resultado de pruebas de RTT en ICMP	79
3.3.5 Resultado de Pruebas de JITTER en protocolo ICMP	84
3.3.6 Resultado de pruebas de THROUGHPUT	89
3.3.7 Resultado de pruebas de latencia en TCP	94
3.4 RESULTADOS DE PRUEBAS AL ENVIAR ARCHIVOS DE DIVERSOS TAMAÑOS	99
3.4.1 Resultados de tiempo transcurrido para el envío de archivos de diferentes tamaños	99
3.4.2 Resultados del ancho de banda para descarga de archivos a diferentes tamaños	99
4. IMPLEMENTACIÓN DEL ENLACE, DISPONIBILIDAD Y SERVICIO	102
4.1 MATERIALES	102
4.2 IMPLEMENTACIÓN AL SITELRED	103
4.3 DISPONIBILIDAD DE LA RED GPRS EN BUCARAMANGA	104
4.3.1 Generalidades de planificación de redes de telefonía móvil	104
4.3.2 Disponibilidad de las redes móviles en la ciudad de Bucaramanga	111
5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	113

5.1 CONCLUSIONES	113
5.2 TRABAJOS FUTUROS	115
BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXOS	120

LISTAS DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Ocupación de banda de telefonía móvil en Colombia	30
Tabla 2. Cuatro tipos de codificación usada en GPRS	31
Tabla 3. Descripción de las herramientas clave de desempeño	46
Tabla 4. Implementos requeridos para la implementación del sistema.	102
Tabla 5. Herramientas de planeación y simulación de redes celulares.	107
Tabla 6. Operadores de celular en la ciudad y disponibilidad.	112

LISTAS DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Arquitectura de red GPRS para enlace a internet.	29
Figura 2. Gateway Viola Artic GPRS	42
Figura 3. Imagen del Gateway Ericsson HM 410 dp.	42
Figura 4. Descripción del enlace usado en la realización de las pruebas	43
Figura 5. Diagrama de flujo del script de ejecución de las aplicaciones en modo servidor.	50
Figura 6. Diagrama de flujo de la ejecución de las aplicaciones que miden el desempeño de la red GPRS en el cliente	51
Figura 7. Resultado para ancho de banda y RTT con los parámetros que trae las aplicaciones por defecto.	55
Figura 8. Ancho de banda de carga y descarga para diversos valores de tamaño de ventana TCP	56
Figura 9. Ancho de banda y RTT variando el tamaño de MTU.	57
Figura 10. Ancho de banda de carga y descarga, realizada en intervalo de tiempo corrido de doce horas	58
Figura 11. Estadísticas por días del ancho de banda para GPRS en descarga.	61
Figura 12. Estadísticas de ancho de banda de descarga para GPRS, presentado todos los días simultáneamente	62
Figura 13. Estadísticas del ancho de banda de descarga por hora del día.	63
Figura 14. Estadísticas de ancho de banda de carga para GPRS por días.	66
Figura 15. Estadísticas de ancho de banda de carga para GPRS, presentado todos los días simultáneamente.	67
Figura 16. Estadísticas del ancho de banda de carga por hora del día.	68
Figura 17. Estadísticas de RTT con protocolo TCP	71
Figura 18. Estadísticas de RTT para GPRS, presentado todos los días simultáneamente.	72
Figura 19. Estadísticas RTT para protocolo TCP de carga por hora del día	73

Figura 20. Estadísticas de JITTER RTT con protocolo ICMP.	76
Figura 21. Estadísticas de JITTER RTT para GPRS, presentado todos los días simultáneamente.	77
Figura 22. Estadísticas JITTER RTT para protocolo TCP de carga por hora del día.	78
Figura 23. Estadísticas de RTT con protocolo ICMP	81
Figura 24. Estadísticas de RTT para protocolo ICMP en GPRS, presentado todos los días simultáneamente	82
Figura 25. Estadísticas RTT de carga protocolo ICMP por hora del día.	83
Figura 26. Estadísticas de JITTER RTT con protocolo ICMP	86
Figura 27. Estadísticas de JITTER RTT para protocolo ICMP en GPRS, presentado todos los días simultáneamente.	87
Figura 28. Estadísticas JITTER RTT de carga protocolo ICMP por hora del día.	88
Figura 29. Estadísticas de Throughput con protocolo TCP	91
Figura 30. Estadísticas de Throughput en GPRS, presentado todos los días simultáneamente.	92
Figura 31. Estadísticas de Throughput para protocolo TCP por hora del día.	93
Figura 32. Estadísticas de Latencia con protocolo TCP	96
Figura 33. Estadísticas de latencia en GPRS, presentado todos los días simultáneamente	97
Figura 34. Estadísticas de Latencia para protocolo TCP por hora del día	98
Figura 35. Tiempo transcurrido versus envío de archivos de tamaños diversos.	100
Figura 36. Ancho de banda versus envío de archivos de diversos tamaños	101
Figura 37. Prototipo del sistema de comunicación, modem y router.	103
Figura 38. Prototipo de analizador de redes eléctricas y acometidas	103
Figura 39. Implementación del prototipo final sistema de comunicación y de calidad de energía	104
Figura 40. Cobertura utilizando el modelo Hata y Wavesight	111

LISTAS DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Principales Características Técnicas del Gateway Viola GPRS	121
Anexo B. Procedimiento para Evaluar el Desempeño de la Red GPRS para el SITELRED	123
Anexo C. Configuración del Equipo, VIOLA ARTIC, GPRS	130
Anexo D. Cálculos Estadísticos	138
Anexo E. Ubicación de los niveles óptimos de señal para el GPRS ACTIC	140

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA TECNOLOGÍA GPRS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL “SISTEMA METROPOLITANO DE MONITOREO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA Y BAJA TENSION”*

AUTOR: CÉSAR IVÁN FORERO CALA **

PALABRAS CLAVES: DESEMPEÑO, TELEMETRÍA, CELULAR, GPRS, GATEWAY, ANCHO DE BANDA, THROUGHPUT, LATENCIA.

DESCRIPCIÓN

Este trabajo evalúa el desempeño de un modem Gateway GPRS industrial y el enlace a un punto de la red de telefonía celular. La metodología de evaluación está enfocada a la implementación de un sistema de telemetría. Se diseñan y se ejecutan un conjunto de pruebas con los principales indicadores de desempeño de redes: ancho de banda, throughput, latencia, RTT, JITTER. Adicional se considera la hora de realización de las pruebas como factor incidente en la evaluación de cada indicador.

Se desarrollan el siguiente conjunto de pruebas: optimización de parámetros de las herramientas de desempeño, pruebas preliminares de 12hr, pruebas extendidas por 14 días continuos y pruebas de enviar archivos de diferentes tamaños. Los resultados de estas pruebas son presentados en gráficas estadísticas y una descripción detallada.

Los conceptos para evaluar el desempeño, el estado del arte y la tecnología GPRS se desarrollan en el capítulo 1 compilando la información base para el presente estudio. En el capítulo 2 se presentan la descripción de las pruebas para el enlace, los materiales requeridos, y el procedimiento utilizado para ejecutarlas. El capítulo 3 consta de las medidas de optimización de las herramientas que evalúan el desempeño y los resultados obtenidos de tipo extendidos, junto con las pruebas de descarga de archivos de diferentes tamaños, mostrando gráficas estadísticas de los resultados. El capítulo 4 presenta la disponibilidad de la red GPRS en la ciudad de Bucaramanga y la implementación del enlace al sistema de telemetría. Finalmente en el capítulo 5 se refiere a las observaciones conclusiones y trabajo futuros.

* Trabajo de Grado

** Facultad Físico Mecánica. Escuela de ingeniería eléctrica y electrónica y de Telecomunicaciones
Director José de Jesús Rugeles Uribe, Co-director Daniel Alexander Velazco Capacho

ABSTRACT

TITLE: PERFORMANCE EVALUATION OF GPRS TECHNOLOGY FOR THE IMPLEMENTATION OF THE "METROPOLITAN MONITORING SYSTEM FOR ELECTRICAL PARAMETERS IN LOW AND MEDIUM TENSION DISTRIBUTION NETWORKS"*

AUTHOR: CÉSAR IVÁN FORERO CALA **

KEYWORDS: PERFORMANCE, TELEMETRY SYSTEM, MOBILE, GPRS, GATEWAY, BANDWIDTH, THROUGHPUT, LATENCY.

DESCRIPTION

This paper evaluates the performance of an industrial GPRS gateway modem and the link to a point of the cellular phone network. The evaluation methodology focuses on the implementation in a telemetry system. A set of tests including the main network performance indicator is designed and executed, such as bandwidth, throughput, latency, RTT, JITTER. Furthermore, the test time is considered as an important factor in the evaluation of each indicator.

The following trials are conducted: Performance tool optimization parameters; 12-h preliminary tests; extended test for 14 consecutive days and test focusing on the sending of files of several sizes. The results are presented in statistical graphs with a detailed description.

The concepts evaluating performance, the state of the art, and GPRS technology are developed in Chapter 1 where the information that serves as the foundation for this study is included. Chapter 2 includes the description of the linking test, required materials, and the procedure to execute such test. Chapter 3 consists of the optimization measures of the performance evaluation tools and the extended-type results, together with the downloading test for files with different sizes. The results are also presented in the form statistical graphs. Chapter 4 shown the availability of the GPRS network in the city of Bucaramanga and implementation of the link to the telemetry system. Finally, Chapter 5 includes the conclusions and recommendations for future works.

* Graduation work.

** Faculty of Physico-mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunication Engineering. Director José de Jesús Rugeles Uribe, Co-director Daniel Alexander Velazco Capacho

INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones, en un comienzo, fueron destinadas para conectar personas. Desde los tiempos en que Heinrich Herz realizó las primeras pruebas no se tardó mucho su evolución hacia la trasmisión y recepción de datos e información. Esta última sinergia ha impulsado avances considerables. En la actualidad se dispone de diversas tecnologías para tal fin, como: GSM, cable modem, radio enlaces, PLC, ADSL, WIMAX, GPRS, LTE Advanced, entre otras, que permiten transmitir grandes tasas de datos del orden de megabytes, ya sea un medio cableado o inalámbrico o del orden de gigabyte por fibra óptica. Con el auge de las tendencias de ubicuidad en la ciudad, hoy en día se busca conectar en tiempo real todo tipo de sistema que genere información relevante para ser analizada y utilizada en diversos roles, ya sea en la industria, servicios públicos, el hogar, entretenimiento, uso personal y demás.

La Electrificadora de Santander (ESSA), los grupos de investigación en Conectividad y Procesado de Señal (CPS) y el grupo de Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL) se han asociado 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, con el apoyo de Colciencias, que tiene entre sus objetivos el análisis de desempeño para diversas alternativas de comunicación.

Este trabajo describe un procedimiento para realizar pruebas de desempeño a un Gateway GPRS. Las ejecuta, evaluando indicadores de desempeño de red, tales como tasa efectiva de transferencia (*Throughput*), ancho de banda, RTT (*Round Trip Time*), JITTER y latencia; presentando los resultados estadísticos y conclusiones de las mismas.

El libro se compone de cinco capítulos. El primero trata de los conceptos, el

estado del arte y la tecnología GPRS. El segundo presenta la descripción de las pruebas para el enlace, los materiales requeridos y el procedimiento utilizado para ejecutarlas. El tercer capítulo consta de medidas de optimización de las herramientas que evalúan el desempeño y los resultados estadísticos de pruebas extendidas y el envío de archivos, con una descripción detallada de cada gráfica. El cuarto capítulo presenta la disponibilidad de la red GPRS de unos de los operadores en la ciudad de Bucaramanga y la implementación del enlace en el sistema de telemetría. Finalmente el quinto capítulo se refiere a las observaciones, conclusiones y trabajo futuro.

La metodología de pruebas tendientes a evaluar el desempeño de un enlace GPRS se basa en la medición de los principales indicadores de desempeño. Las pruebas se realizaron en una radio base correspondiente al sector de la UIS, accediendo a la red GPRS global de la ciudad Bucaramanga, con el objetivo de establecer los mejores horarios de disponibilidad, evaluando el desempeño mediante la utilización herramientas de análisis tales como: IPERF, DITG, NETPERF, PING para TCP e ICMP.

Inicialmente, se optimizaron las herramientas mediante pruebas que permitieron establecer los valores de parámetros de red tales como el tamaño de ventana TCP, MTU y el tiempo de registro. Con las herramientas optimizadas se procedió a implementar el piloto de pruebas y a ejecutar una prueba de estabilidad al sistema. Así mismo, se hicieron pruebas ampliadas de catorce días, con el fin de capturar los datos de los principales indicadores de red y observar su comportamiento en el tiempo, para detectar las anomalías en la tasa de bits o de la latencia. De forma similar se realizaron pruebas para enviar archivos de diferentes tamaños con el fin de establecer el tiempo transcurrido de envío, al igual que su respectivo ancho de banda. Los resultados de estas pruebas se presentan con gráficas estadísticas para cada indicador clave de desempeño.

Luego se presenta un informe del área de disponibilidad del servicio que se presta en la ciudad proporcionada por la empresa de telefonía celular Tigo y finalmente una solución para el montaje de un piloto (cajas, elementos de soporte y demás).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar un enlace de datos punto a punto empleando la tecnología GPRS, a partir de la medición de ciertos parámetros de desempeño.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Plantear una metodología de pruebas del sistema de comunicaciones utilizando la tecnología GPRS.
- Diseñar e Implementar un conjunto de pruebas donde se evalúe el desempeño del prototipo empleado en los sistemas de comunicaciones GPRS.
- Evaluar los parámetros *throughput*, BER, PER, ancho de banda y retardos en el prototipo diseñado para el sistema de comunicación GPRS.
- Realizar un análisis de disponibilidad de la tecnología inalámbrica GPRS en el área metropolitana de Bucaramanga.
- Integrar los sistemas de comunicación empleando la tecnología GPRS al Prototipo de Sistemas Metropolitano de Monitoreo de los parámetros eléctricos en las redes de distribución de Media y Baja Tensión.

1. GENERALIDADES Y MARCO CONCEPTUAL

EL presente capítulo contiene el marco conceptual para la realización de pruebas, además, una modesta presentación del funcionamiento de la tecnología y el estado del arte para el desempeño de redes GPRS. Finalmente la condición actual del procedimiento general de medidas, donde se describen algunos factores relevantes que afectan el desempeño de la red GPRS.

1.1 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO DE LA RED

En el presente proyecto de investigación, se requiere conocer el comportamiento de la red GPRS, existen indicadores de desempeño que lo describen, por lo cual es necesario conocer sus definiciones para una correcta interpretación de la ejecución y los resultados de investigación que se plantea, dentro de estos parámetros los más representativos son:

- a) Ancho de Banda de transmisión.
- b) Throughput
- c) Latencia
- d) RTT
- e) JITTER
- f) Tasa de Error: BER.

1.1.1 Ancho de banda de transmisión. En las redes de comunicación de datos, el ancho de banda es un recurso valioso, su conocimiento brinda la posibilidad de saber en sus aplicaciones los niveles de disponibilidad y eficiencia requeridos para su buen funcionamiento (25). El ancho de banda digital se define como la rata entre los bits trasmitidos exitosamente por unidad de tiempo transcurrido, cabe destacar que esta es una medida que brinda la máxima tasa de datos que pueden ser transmitidos en una red.

Unos de los factores que determina su tamaño es el medio de transmisión, ya sea cable trenzado, cable coaxial, fibra óptica o aire entre otros. Este último canal aplica a GPRS, por tratarse de una tecnología inalámbrica, las condiciones del medio ambiente tales como un clima húmedo, lluvia, etcétera, afectan la propagación y por ende el ancho de banda. De forma similar el comportamiento en diferentes entornos donde se encuentre el receptor, ya sea un entorno abierto, urbanos o interior (19). Otro factor preponderante de la tasa de transmisión del sistema de comunicación.

1.1.2 Tasa Efectiva de Servicio (Throughput). La tasa de Throughput en una red de datos hace referencia a la máxima cantidad de datos efectivos que se pueden transmitir sin errores. En GPRS *throughput* máximo se calcula teóricamente:

$$throughput = \frac{48}{52} \lambda L \quad [1]$$

Donde λ es la tasa de arribo de paquetes y L número medio de paquetes de un mensaje, está dado en bits, el término (48/52) es debido al hecho de que solamente 48 tramas GSM de las 52 que conforman la super-trama GPRS son efectivas. El valor λ está restringido por la siguiente expresión:

$$0 \leq \lambda \leq \frac{1}{T_c L} \quad [2]$$

Donde T_c es la duración de una trama para GSM (4.61ms), por lo tanto para los distintos esquemas de codificación y modulación, se utilizan diferentes rangos de valores λ , cada uno de los cuales a su vez entrega la máxima tasa efectiva de servicio alcanzada por un esquema de codificación-modulación en particular (27). Otra alternativa para calcular el Throughput es:

$$real\ throughput = (1 - BLER) * code_data_rate \quad [3]$$

Donde BLER es una relación entre el número de bloques de transporte erróneos por el número total de bloques recibidos y es medida después del canal de decodificación e interleaving. El `code_data_rate`, la tasa de datos pura b/s del canal físico. Sin embargo, la ecuación [3] no tiene en cuenta los procedimientos de detección y corrección de errores de que tienen lugar en RLC/MAC de la capa de interface aérea (7), como resultado de ello no es una buena medida del Throughput de un sistema.

Cabe destacar que las ecuaciones [1] y [3] sólo son presentadas para ilustrar el concepto. No se pretende en esta propuesta hacer los cálculos a partir de las mismas.

1.1.3 Latencia. Corresponde al intervalo de tiempo que transcurre desde el instante en que un determinado paquete viaja desde el host transmisor hasta el host receptor. También se define como el tiempo requerido en transmitir un paquete y recibir el acuse de recibido u otro tiempo de retardo. El término se utiliza para definir una medición de retardo experimentado por los datos cuando viajan de un host a otro. La importancia de mediciones de retardo para evaluar el desempeño de una determinada red se centra en aplicaciones sensibles al tiempo como video y audio en los cuales hay un nivel requerido mínimo (7). Para GPRS es posible obtener el retardo promedio para cada uno de los esquemas de codificación, utilizando el modelo de fila M/G/1 para valores medios (3) con la siguiente expresión:

$$D = T_c \left(L - \frac{1}{2} \right) + \frac{\lambda T_c^2 L^2}{2(1 - \lambda T_c L)} + T \quad [4]$$

Donde:

D: Retardo de un mensaje de L paquetes (slot).

L: Número medio de paquetes de un mensaje.

T_c : Duración de la trama GSM (4.61 [ms]).

T: Duración de un paquete o slot GSM (576.25 [μs])

λ : Tasa de arribo de paquetes.

Dado que λ está restringido a un valor máximo ya que debe cumplirse la expresión [2]. Nótese que la cota máxima establecida en la ecuación [2] implica un retardo infinito en la expresión de retardo [4].

1.1.4 Tiempo de ida y regreso (RTT). Es una medición que suma el retardo de enviar un paquete a un host destino más el retardo de reenviar inmediatamente al destino de origen inicial de procedencia del paquete. Es decir que el RTT se puede definir como el retardo experimentado por los datos cuando viajan de un host a otro, y regresan al mismo host. Esta medición proporciona un estimativo de retardo total bidireccional para carga y descarga de paquetes (12).

1.1.5 Variación del Retardo o Jitter. El JITTER se define como el tiempo promedio de variación de salida o llegada de un paquete, es decir que se puede entender como una variación en las medidas de una transmisión digital, que se presenta en la medida de latencia (12).

1.1.6 Cantidad De Datos Perdidos (BER). BER. (*Bit Error Rate*): es el cociente entre número de bits que fueron transmitidos pero que no llegaron al receptor, por el número total de bits que envió el transmisor, medido para cierto intervalo de tiempo durante una comunicación. Esta medida es utilizada en sistemas de transmisión digital, y es aplicable a una gran variedad de sistemas punto a punto, pudiéndose evaluar el funcionamiento a nivel troncal de una red o segmentos parciales. Hay dos relaciones que lo calculan (25):

$$BER = \frac{NÚMERO DE BITS ERRADOS}{NÚMERO DE BITS TRANSMITIDOS} \quad [5]$$

Otra definición equivalente vincula al número de bits transmitidos con el *Bit Rate* y el tiempo de la medición.

$$BER = \frac{NÚMERO DE BITS ERRADOS}{BIT RATE * TIEMPO DE MEDICIÓN} \quad [5]$$

1.2 TECNOLOGÍA GPRS

La tecnología General Packet Radio Service (GPRS) es una evolución de la red GSM. Esta última hace conmutación de circuitos, una de las modificaciones es que el GPRS permite conmutar paquetes de datos, mejorando la eficiencia en la utilización del espectro de radio frecuencia. La tarea de la conmutación de circuitos, al igual que la de paquetes es interconectar dos suscriptores para el intercambio de información. Los elementos de red situados entre los usuarios deben llevar a cabo las funciones de conmutación.

1.2.1 Arquitectura de red GPRS. La arquitectura de red GSM fue pensada exclusivamente para conmutación de circuitos. Con el auge de tráfico de datos, se encausó para que esta arquitectura soportara un tráfico razonable de paquetes. Mediante modificaciones importantes a la arquitectura de red, se incorporan elementos tales como SGSN y GGSN, al igual que un nuevo hardware llamado controlador de estación, es decir el PCU y un núcleo de red basado en protocolo IP.

1.2.1.1 Estación Base Transceptora (BTS). La estación base transceptora (dispositivo que alberga tanto a un receptor como transmisor) contiene cerca de 15 de estos por celda, y se ocupa de los protocolos de enlace de radio con la estación celular; en el modelo de la OSI (Open System Interconnection) corresponde a la capa física. Gran número de estas estaciones son dispuestas en el área urbana y está compuesta básicamente de codificadores, multiplicadores, moduladores, amplificación de RF y función de encriptado.

1.2.1.2 Controlador de la estación base (BSC). La función de esta estación es la de concentrar todas las BTS, para hacer la función de conmutado y control, al igual que la gestión de los recursos de radio (RRM) de la BTS's, en el nivel del modelo de la OSI, al igual que BTS, se ubica en la capa física. Algunas de sus funciones son:

1. Control de salto de frecuencias.
2. Realización de concentrador de tráfico para reducir el número de líneas de la MSC.
3. Proporciona una interfaz para las operaciones y el mantenimiento del centro de SRS.
4. La reasignación de frecuencias entre BTS.
5. El tiempo y la frecuencia de sincronización.
6. Tiempo de demora en mediciones de las señales recibidas desde la estación móvil.

1.2.1.3 Unidad de Control De Paquetes (PCU). Este bloque es la primera adaptación de hardware hecha a GSM, para adaptarla a conmutación de paquetes. Puede ubicarse en BSC o en otra locación (BTS, SGSN). Así mismo, la PCU es una expansión de la tarjeta(s) incluyendo software. Igualmente, destaca la función de conversión de paquetes a datos, en lo que es llamado tramas PCU. Estas tramas son enviadas a través de BSC a la BTS, la cual asume un procesamiento adicional en la forma de codificación de canal. Por otro lado, se ocupa los dos primeros niveles del OSI, correspondiente a la capa física y enlace. Finalmente, cumple las siguientes funciones en la red GPRS:

1. La segmentación de la unidad de protocolo de datos.
2. Re-ensamblaje control de canal de acceso.
3. Gestión del canal de radio, programación del Canal de Paquetes de Datos (PDCH).

4. Detección de errores de transmisión, retransmisión automática selectiva.

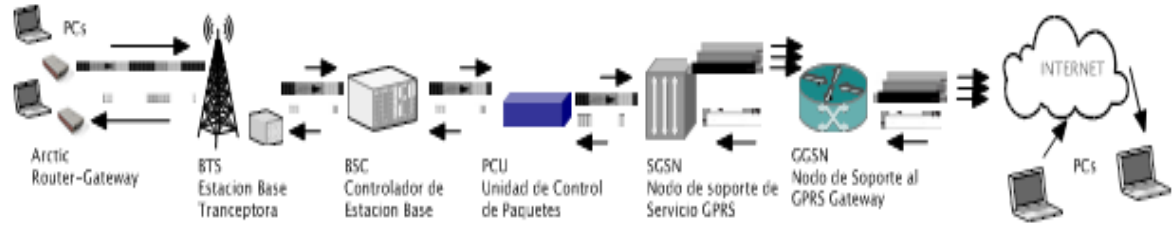
1.2.1.4 Nodo de soporte del servicio GPRS (SGSN). EL SGSN representa el centro de conmutación GPRS, y principalmente cumple la función de gestión de la movilidad, es decir, que es responsable de la asignación de la ruta dentro de la red de radio, desde y hacia el BTS, al igual que administración de recursos, tarifación y control de acceso. Así mismo, los paquetes que inicialmente proceden de distintos canales, son segmentados en un canal o viceversa, son desfragmentados en “canales” correspondientes a cada celular, direccionado hacia GGSN. Finalmente, en el nivel de la OSI ocupa los tres primeros niveles. Sus funciones se resumen así:

1. Encaminamiento y transferencia de paquetes de datos.
2. Gestión de movilidad.
3. La autenticación de usuarios.
4. La tarifación.

1.2.1.5 Nodo De Soporte Al Gprs Gateway (Ggsn). Cumple la función de interface, al traducir los paquetes que recibe desde el SGSN hacia otras redes externas, ya sea IP o X25, permitiendo convertir a formatos, protocolos de señalización y direcciones para acceder a comunicaciones entre diversas redes. Finalmente, traduce la dirección IP a la dirección de móvil destino y cumple funciones de seguridad. Su aplicación se resume en:

1. Traducir los paquetes que recibe desde el SGSN al formato de red externa (IP X25).
2. Traducir las direcciones IP en la dirección del móvil destino.
3. Realizar la autenticación.
4. Llevar a cabo la tarifación.

Figura 1. Arquitectura de red GPRS para enlace a internet.



Fuente: Autor

Finalmente, la arquitectura GPRS para enlace a internet es la mostrada en la Figura 1. En la arquitectura mostrada, para transmitir información mediante la red GPRS, inicialmente, la información surge de diversos celulares que transmiten hacia la estación base transceptora de la celda en particular, cada una de estas se van a juntar mediante BSC, que luego direcciona la información hasta el SGSN fuente, que encapsula los paquetes transmitidos por el MS y los encamina al GGSN fuente. Basándose en la dirección de destino, los paquetes se encaminan hacia la internet en dirección hacia el PC destino ver figura 1 (9).

1.2.2 Canal de Radio. La asignación de ancho de banda por canal es de 200kHz, la máxima rata de bits por radio canal que puede alcanzar es de 271kb/s para la modulación GMSK, la máxima tasa de voz es de 13kb/s (por ocho de estos para un mismo radio canal) y una máxima tasa de datos de 22.8kb/s (por ocho de estos para un mismo radio canal).

La organización del espectro de radio frecuencia en los países europeos se rigen por el estándar GSM900 y GSM1800 y en Estados Unidos el estándar llamado (PCS) 1900.

En Colombia se han implementado ambos estándares. El espectro para telefonía se divide para tres operadores (ver tabla 1) dado que el ancho de banda asignado por operador es de 30 MHz, se tendrán un máximo de 150 canales de radio.

Tabla 1. Ocupación de banda de telefonía móvil en Colombia



Fuente Ministerio de TICs Colombia, 2005 (17)

Por otro lado, el hecho de tener que transmitir información bidireccional hace necesario utilizar técnicas tales como FDD ó TDD. Para redes de 3.5G, se utilizan ambas técnicas, en GPRS solo FDD (Duplexación de frecuencia), el cual asigna un rango de frecuencia para transmitir información de forma ascendente y otro de forma descendente. La ocupación de banda en Colombia para servicio móviles terrestres (Movistar), A es la porción de espectro para carga y A' para descarga, con un ancho de banda por radio canal de 200kHz.

1.2.3 Multitrama. La estructura multitrama está compuesta de 26 tramas. Una multitrama GPRS tiene dos multitrama que son divididas en 12 bloques RLC/MAC, cada radio bloque tiene cuatro tramas TDMA es decir $4 \times 4.615 \text{ms} = 18.46 \text{ms}$. Se concluye que cada trama de 4.615 ms. contiene ocho PDCH o canales físicos, en ráfagas de radio de 577 microsegundos y contiene 156.25 bits durante este periodo para alcanzar una rata máxima de bits de $\frac{156.25}{577 \mu} = 271 \text{Kb/s}$.

1.2.4 Codificación de Canal. La redundancia que se añadió al bloque RLC/MAC puede ser adaptada por el operador a las condiciones del canal de la red, de acuerdo con el sistema de codificación. Las estaciones celulares permiten el uso de CS-1 a CS-4. Todos los CS pueden ser usados para bloques de datos

RLC/MAC.

Tabla 1. Cuatro tipos de codificación usada en GPRS

Código	bits de servicio	Rata de servicio de datos	Rata de datos de interfaz aérea.
CS-1	181	9.05 kb/s	22.8 kb/s
CS-2	268	13.4 kb/s	22.8 kb/s
CS-3	312	15.6 kb/s	22.8 kb/s
CS-4	428	21.4 kb/s	22.8 kb/s

Fuente: Autor.

La rapidez del PDCH, dada en bits/s, depende del sistema de codificación utilizado, En GPRS la máxima tasa es de 21.4kb/s y es para el sistema de codificación CS4 (Coding Schemes). También hay CS1, CS2, CS3 que son de menor rata, 9.05kb/s, 13.4kb/s, 15.6kb/s respectivamente.

1.3 PROTOCOLOS

1.3.1 Protocolo de Control de Transmisión (TCP). El TCP (*Transmission Control Protocol*) proporciona una comunicación segura entre pares de usuarios TCP, es decir, que tiene un sistema de codificación que, en caso de pérdidas de paquetes o errores, estos son retransmitidos hacia el destino conservando el orden y su secuencia, garantizando la integridad de la información. Este protocolo está orientado a la conexión, por lo que se hace necesario establecer una conexión previa entre dos usuarios antes de iniciar la transmisión.

Cada vez que una aplicación transmite datos a TCP, este añade una cabecera y crea una unidad llamada segmento, TCP envía segmentos pasándolos al protocolo de capa inter-red que se encarga de encaminarlos al destino. Finalmente TCP acepta sus segmentos entrantes provenientes de la capa inter-red IP, determina la aplicación de destino y traslada los datos a la aplicación en el orden en que fueron enviados.

1.3.2 Protocolo de mensajes de control y error (ICMP). El protocolo ICMP (*Protocolo de Control de Mensajes de Internet*) se encarga de informar al origen si se ha producido algún error durante la entrega de mensajes. Sin embargo, el ICMP no sólo de notificar errores, sino que también transporta distintos mensajes de control. Este protocolo no toma algún tipo de decisión con respecto a los reportes que arroja la herramienta. Ya que se caracteriza por estar ligada al protocolo IP. El destino de un mensaje ICMP de errores es siempre la máquina de origen del datagrama en cuestión.

1.4 ESTADO DEL ARTE

1.4.1 Desempeño en redes GPRS. Entre los estudios más representativos en la estimación del desempeño de redes GPRS, Othman (21) plantea un estudio basado en clasificar los distintos escenarios de medidas para observar si el GPRS es capaz de mantener su fiabilidad bajo condiciones diferentes. Concluyendo que solo se ve afectado por la pérdida temporal de los recursos de radio durante la fase de ralenti móvil en el que innecesariamente imponen sus mecanismos para evitar la congestión.

Negreira (20) también plantea un trabajo que se enfoca principalmente en el estudio de los cuellos de botella que pueden presentarse cuando se conectan dos redes de diferente ancho de banda o tecnología. En este estudio realizan pruebas de throughput y retardos el mismo día a la misma hora entre una red ADSL y GPRS, de manera similar el caso de enlace entre dos ADSL residenciales, haciendo una comparación entre los distintos casos.

Cheng (14) presenta un estudio teórico detallado sobre el análisis y diseño para integración entre GPRS y WLAN, calculando latencia Handover (latencia transferir servicio de una celda a otra) para el escenario interior y exterior.

Calveras y Gómez (6) caracterizan a nivel de IP en GPRS y redes WLAN

encontraron resultados de comportamiento asimétrico en el retardo y throughput. Estos dos parámetros crecen con el valor de MTU empleado, encontrando un valor de RTT considerablemente grande con un mínimo valor de 800ms, esto significa que su aplicación es limitada a una pobre interactividad debido a su alta latencia, así mismo, concluyen que la latencia es aún mayor para escenarios en movimiento.

Estudios similares, como el de Chakravoty y Pratt [\(22\)](#) describen la implementación y resultados de evaluación de desempeño del prototipo de sistema operando bajo un enlace GPRS, donde presenta resultados de caracterización mediante transferencia de archivos, en pruebas para obtener información útil del típico rendimiento en TCP para GPRS.

Stuckmann [\(24\)](#) [\(23\)](#) hace una estimación de flujo de tráfico típico para GPRS mediante medidas. Estos resultados son comparados para proceder a la simulación de resultados mediante simulación/emulación GPRSIM. Otro estudio de este investigador es el desempeño bajo GPRS de WAP y aplicaciones convencionales de internet bajo GPRS, estas son presentadas, comparadas y el efecto de coexistencia del tráfico de internet sobre WAP y viceversa.

Magnor y Reizer [\(16\)](#) analizan los indicadores de desempeño en la capa de enlace. Así mismo, estudian la capa de aplicación para algunas aplicaciones seleccionadas y destacan que el principal indicador que afecta el rendimiento en GPRS, es su elevada latencia, tal como el protocolo de aplicación HTTP, muy afectado por la alta latencia, debido a la lentitud de TCP al iniciar. Otras aplicaciones como WAP y FTP son analizadas.

Sarraf y El khaza [\(4\)](#) concluyen que el rendimiento de GPRS no es el esperado con alta inestabilidad, adicional la mayoría de parámetros de accesibilidad de un lugar a otro donde se realicen las medias de ancho de banda y retardos. Además,

realizan mediciones de la descarga de archivos y demuestran que el rendimiento de GPRS con el aumento de los archivos que se descargan lo hace inutilizable para archivos grandes de multimedia.

Malicsko y Benko (4) presentan un conjunto de métodos pasivos para analizar el rendimiento de TCP, basado en tráfico no intrusivo, seguimiento en un punto medio de la red GPRS (Gi interfaz). Los algoritmos presentados en este estudio son adecuados para analizar TCP cuellos de botella, configuración de conexión, retardos, throughput y pérdidas de paquetes, llevando a cabo a gran escala las mediciones estadísticas en varias redes GPRS. Compararon los resultados con una red de acceso telefónico de línea fija. Utilizaron un método de agrupación, se investigó el impacto de determinados TCP opciones y parámetros, basados en un aumento estadísticamente significativo de un conjunto de datos. Concluyen que utilizando los parámetros optimizados, se puede lograr más de un 15% de aumento en el rendimiento promedio.

Otros estudios fueron como los de István, Borsos- Ararújo, (5) quien realizó pruebas por 6 semanas continuas para, con el objeto de capturar datos de los principales indicadores de desempeño y realizar una comparación sistemática de dimensionamiento de mapas obtenidos en diversos lugares y, si es realista, para derivar la red independiente de la obtenida de los gráficos de simulación.

1.4.2 Procedimiento general de medida para GPRS. Planteamiento del estado actual de la tecnología de medidas para GPRS, Recopilación de los trabajos más representativos. Algunas consideraciones básicas y recomendaciones.

1.4.2.1 Objetivos básicos de monitoreo de red. *Generalmente se definen tres objetivos básicos de monitoreo de red definidos por el modelo de administración de la OSI (10):*

1. Monitoreo de desempeño.
2. Monitoreo para errores de red.
3. Monitoreo de cuenta.

El monitoreo de desempeño trata de medir el desempeño de la red. Es importante definir que se va a medir, de los muchos factores de la red, pero la lista se puede reducir estableciendo prioridades, que se van a aclarar con los objetivos por los cuales se requieren las medidas. Estos son llamados indicadores de red y generalmente necesitan:

- a) Grandes periodos de observación
- b) Comprender las tendencias de las medias
- c) Establecer un modelo de comportamiento.

La información obtenida de estos indicadores de desempeño son usados para establecer una referencia del plan de evolución de la red.

El monitoreo para errores de red, busca detalles de medias para detectar problemas de red, estas se realizan en varias capas de la red y busca encontrar en qué nivel puede darse la falla. Se requieren de grandes periodos de pruebas al igual que un amplio conocimiento del comportamiento de la arquitectura de red.

El monitoreo de cuenta establece detalles de cómo los usuarios interactúan con la red. Los datos recopilados sirven no solo como información del comportamiento de los usuarios, sino también para predecir estadísticamente el número de consumidores de una región. También con este estudio se hacen cálculos para el dimensionamiento de capacidad de una celda para una región en particular.

1.4.2.2 Pruebas de medidas. Entre las diversas clases de pruebas de medidas planteadas por Gómez en (10) se utilizarán habitualmente:

El análisis básico de desempeño. Esta prueba busca verificar la calidad de

servicio, principalmente se toman medidas de throughput, latencia y RTT, que incluye el monitoreo básico de la señal.

Pruebas de *servicio solo de verificación*, en el cual habrá la verificación de un tipo de servicio, ya que la demanda solo se concentra en un flujo particular de datos, el generador de tráfico utilizado competirá con el tráfico de fuentes reales, su elección se fundamenta en la flexibilidad y costos de las pruebas experimentales.

1.4.2.3 Factores relevantes que afectan las medias. Al realizar medias para redes GPRS, hay factores que pueden llegar a generar fluctuaciones en las medias, estos factores son estimados con base en diversas condiciones en que fueron ejecutadas las pruebas tales como el escenario de la prueba, la capacidad de la celda, la potencia de la señal, entre otros que se describen a continuación.

1.4.2.3.1 Escenarios de medias. Hay cuatro escenarios de medida para identificar el desempeño en GPRS, para un usuario típico de áreas urbanas. Ver Othman_(21) *Medidas al aire libre estacionarias, al aire libre en movimiento, encerrado quieto y encerrado en movimiento*. Estos escenarios son relevantes en la realización de las pruebas por efectos de radio propagación. Sin embargo el tipo de escenario para la realización de una prueba puede ser ajustado a las condiciones particulares en las que se utilice el servicio, esto con el fin de acotar la medida y caracterizar un escenario específico de interés.

1.4.2.3.2 Número de transceptores de la celda escogida. Conocer la capacidad de la celda permite justificar resultados particulares de fluctuaciones que pueden llegar a arrojar las medias. El número de transceptores en la celda escogida (información concerniente del operador celular) es un factor que define la capacidad de la celda, La cantidad de estaciones móviles que puede soportar, y por tanto va a determinar una mayor probabilidad de encontrar transceptores libres, en especial cuando hay poca afluencia de tráfico, esto con el fin de generar menores fluctuaciones en las medidas, que pueden llegar a surgir cuando una

celda está en su máxima carga. En condiciones ideales una celda con alto número de transceptores en horas de poca afluencia de tráfico va a tener una menor fluctuación, dado que dispone de transceptores libres por mayor tiempo y más continuo serán las ranuras de tiempo asignadas para la estación celular que será medida, esto para disponer de la máxima tasa de bits para un transceptor. Según Mishra [\(18\)](#) la capacidad de la celda se define como:

$$\text{Capacidad de datos por celda} \left(\frac{\text{kbps}}{\text{celda}} \right) = \text{RT libres} * \text{RT Capacidad} * \text{RT utilizadas} \quad [10]$$

1.4.2.3.3 Potencia de la señal. La potencia de la señal de la radio base, permite conocer una estimación de la cobertura, y por lo tanto de la disponibilidad del servicio en una región en particular. De igual manera, el nivel de la señal justifica fluctuaciones en la tasa de transferencia, debido a que la potencia que recibe el móvil desde la radio base es la determinante de la tasa efectiva por time slot a la que se transfieren los datos. Esto es así debido a que cuanto menor es la potencia de la señal, mayor es la probabilidad de que ocurran errores en los bits transferidos. Por dicho motivo, cuanto menor es la potencia de la señal más bits de redundancia son utilizados para poder reconstruir las informaciones el otro extremo de manera satisfactoria.

Por lo tanto, cuanto menor es la potencia de la señal, menor va a ser la tasa de transferencia por time slot. Como lo expresan Negreira Marín., Pereira Lucas y Pérez Inzaurrealde en [\(20\)](#).

1.4.2.3.4 Sincronismos en los extremos de medida. Uno de los inconvenientes que se pueden presentar en las mediciones es que el reloj de sincronismo entre la fuente y el destino puede alterar el comportamiento de las mediciones y representar un serio problema cuando se hacen mediciones de alta exactitud o largos periodos de medida, como lo plantea Loukatos en [\(15\)](#), por lo tanto, es necesario sincronizar los nodos de fuente y destino con el mayor factor de sincronismo. Algunas herramientas de análisis de desempeño de red tal como

D-ITG requieren sincronismo para pruebas como latencia. Una solución es que compartan el mismo reloj, (vía GPS) o usando un protocolo de sincronismo (NTP), otra opción es una corrección aritmética de los resultados.

1.4.2.3.5 Importancias de elección de un protocolo de transporte para las medias. En el momento de hacer medidas el flujo de datos pueden ser de protocolo UDP o TCP, hay razones para creer que UDP es más conveniente que TCP, ya que en UDP permite el envío de datagramas a través de la red, sin que se halla establecido una conexión, ya que incorpora suficiente información de direccionamiento en su cabecera, Así mismo, tampoco tiene confirmación, ni control de flujo, por lo que los paquetes pueden adelantarse unos a otros, al igual que tampoco se sabe si ha llegado correctamente, esto le da más flexibilidad ya que TCP se adapta a las condiciones del enlace y no dispone de un envío independiente de datos, por lo tanto UDP es un protocolo más real del comportamiento de la red. Sin embargo, hay pruebas en las que es preponderante hacer las medias en el protocolo en el cual se va a utilizar el servicio, por lo cual hacer pruebas con TCP, se justifica cuando, por ejemplo, se requiere utilizar la red para enviar archivos íntegros al destino.

1.4.2.3.6 Medidas con un tipo de servicio específico. Es importante aclarar el tipo de servicio y su relevancia en las medidas, dado que los indicadores de desempeño cambian notablemente con el tipo de servicio de la capa de aplicación. Por lo tanto hay pruebas en las que solo se requiere el estudio de un servicio particular, sin embargo otras justifican la utilización de los tres servicios: WWW, FTP, WAP en el estudio de redes utilizadas para uso general (23).

2. DESCRIPCIÓN DEL ENLACE GPRS PARA EL SISTEMA DE TELEMETRÍA

El presente capítulo recopila toda la experiencia en la realización de una metodología, descripción de implementos, configuración y adecuación del sistema. Muestra las principales herramientas de desempeño de red, detallado procedimiento para ejecución de pruebas.

Finalmente presenta el tipo de pruebas que han de ser realizadas, para caracterizar el desempeño de la red GRPS en las condiciones requeridas para el SITELRED.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ENLACE DE COMUNICACIÓN PARA PRUEBAS

El sistema de comunicación planteado para el presente proyecto está destinado para hacer un enlace punto a punto mediante dos computadores personales. Por tratarse de un estudio con la tecnología GPRS, es necesario hacer conexión a su infraestructura de red, para tal fin es requerido contratar con un proveedor de acceso a internet celular. La característica de esta red es que propiamente no está destinada al flujo de datos e información, sino que es una adaptación a la infraestructura de red GSM diseñada para voz, como se planteó en el marco conceptual, por lo cual esta red inicialmente se conecta con la red celular y direcciona la información hacia internet, en el extremo opuesto del enlace con un Gateway ADSL se accede a esta infraestructura.

Cada extremo de la red tiene destinada una dirección IP fija que identifica a cada PC, es una dirección única y por lo tanto privada, por lo cual el acceso común es a una red con protocolo TCP/IP. Además, es requerido por tratarse de una dirección IP fija, especificar en la conexión de dispositivos de red, los servidores DNS, la puerta de enlace y la máscara de sub-red.

Una de las características relevantes es que el sistema de comunicación presenta

en cada Gateway un sistema de seguridad, por lo cual se requiere deshabilitar el firewall. Para el caso de ADSL se configuró como bridge por lo cual crea un puente directo entre el PC y la red. En cuanto al Gateway GPRS fue necesario hacer un re-direccionamiento de IP con la apertura de puertos particulares, esto se realizó configurando el Gateway GPRS con D-NAT.

Cabe destacar que el diseño de este enlace involucra básicamente dos redes de forma global, la ADSL y la GPRS; ésta última objeto de estudio, el ancho de banda debe ser muy inferior que el servicio contratado para ADSL, con el fin de hacer que GPRS actúe como embudo de la red y por lo tanto prime su ancho de banda. Si la diferencia de ancho de banda no es lo suficientemente superior, la dinámica de red de ADSL empezará a incidir notoriamente en los resultados de las medidas con GPRS.

2.2 IMPLEMENTOS REQUERIDOS PARA LAS PRUEBAS GPRS

La tecnología involucrada para implementar las pruebas que indiquen el desempeño de red, consta de un componente hardware, es decir un sistema informático y dispositivos asociados al sistema de comunicación, de forma similar un material software que permite ejecutar pruebas de desempeño de red.

2.2.1 Dispositivos Informáticos. El sistema informático utilizado consta de dos computadores personales uno que actúa como servidor y otro como cliente. El servidor FENIX es un PC con procesador AMD Athlon Dual Core 4400, memoria RAM 2GB, con 1MB por memoria cache para L1 y L2. El sistema operativo es Linux Ubuntu 9.2

En cuanto al PC que actúa como cliente es un PC DELL Pentium 4 de 1,4 GHz, con memoria RAM de 1 GB sistema operativo Linux Ubuntu 9.2

2.2.2 Dispositivos sistema de comunicación. El sistema de comunicación permite enlazar los PC a una infraestructura de red, para el presente proyecto, por tratarse de un enlace punto a punto y una investigación del desempeño de red GPRS, un extremo se enlazó a la red celular, que direcciona la información hacia la Internet, que se comunica a un punto particular mediante la tecnología ADSL. Por lo tanto se requiere de dos dispositivos de enlace un modem ADSL y el objeto de estudio el Gateway GPRS a continuación se describe:

2.2.2.1 GATEWAY VIOLA GPRS



Este Gateway presenta un Puerto Ethernet y dos puertos RS-232 para el envío de datos, la modulación empleada es GMSK, la rata de descarga 85,6 kbps y carga 21,4 kbps, el suministro de energía está entre 10 a 26 VDC y una corriente de menos de 500 mA, es muy versátil para las diversas aplicaciones requeridas, además, de ser de uso industrial (26).

2.2.2.1.1 Protocolos de red que soporta. Soporta los siguientes protocolos de red: PPP, IP, ICMP, UDP, TCP, ARP, DNS, DHCP, FTP, TFTP y HTTP.

2.2.2.1.2 Procesador y memoria. El ARTIC usa el procesador RISC 78 Mhz de 23 bit, así mismo tiene una memoria RAM de 32 MB al igual que una memoria ROM Flash de 8MB.

2.2.2.1.3 Administrador. Es posible acceder al sistema remotamente con los siguientes servicios WWW, SSH, Telnet y consolas FTP, TFTP y software de descarga HTTP.

Figura 2. Gateway Viola Artic GPRS



Fuente: Viola System

El anexo A corresponde a un informe detallado del modem.

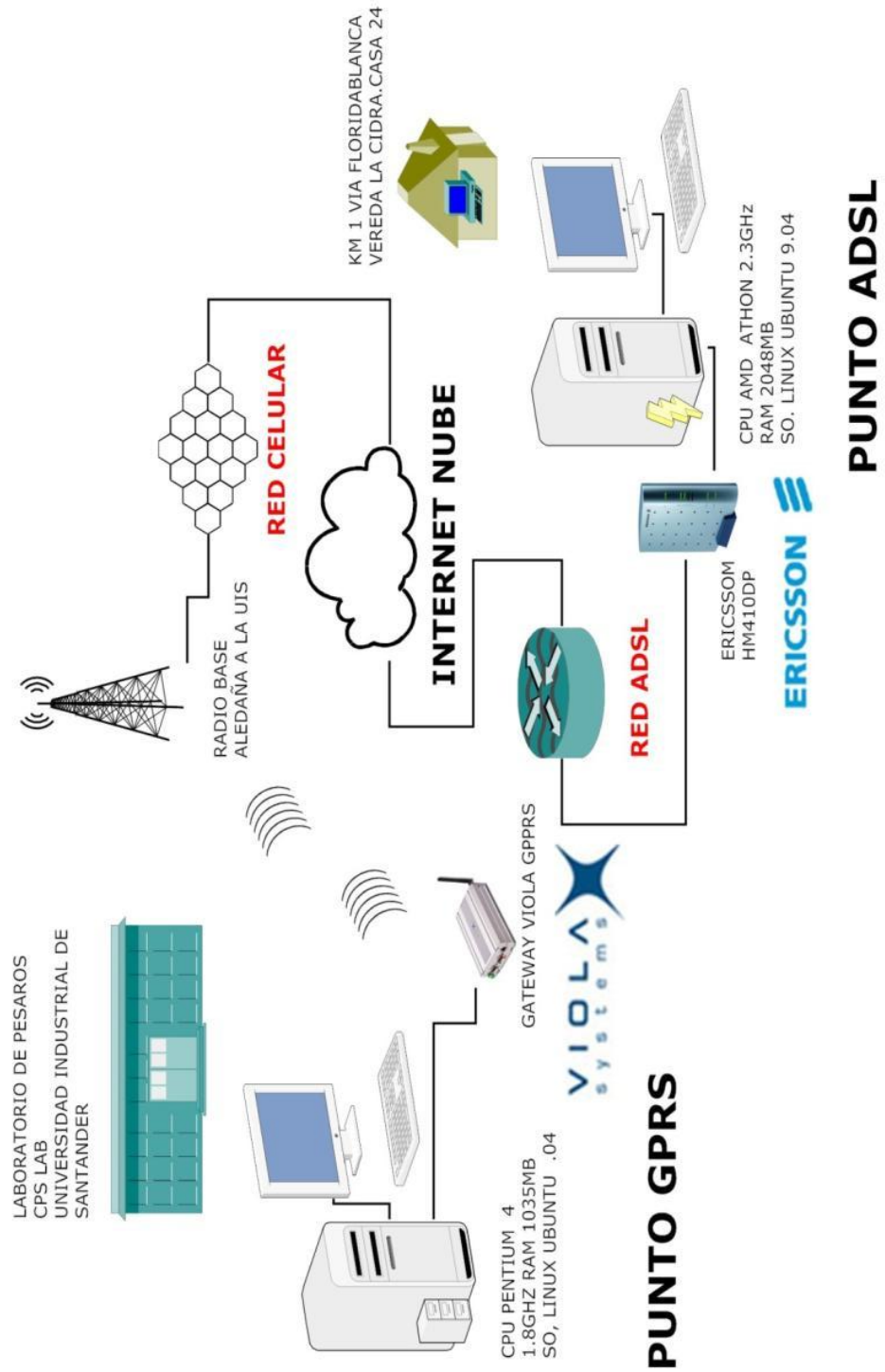
2.2.2.2 GATEWAY ERICSSON ADSL HM410dp

El Gateway ADSL se comunica al PC exclusivamente mediante el puerto Ethernet, su alimentación es de 12 VDC con una corriente de 1200 mA y una potencia consumida mínima de 3W, la velocidad de descarga máxima es de 25 Mbps y 22 Mbps para carga, este modem es suministrado por Telebucaramanga y es un Gateway para el hogar.

Figura 3. Imagen del Gateway Ericsson HM 410 dp.



Figura 4. Descripción del enlace usado en la realización de las pruebas



Fuente: Autor

2.2.3 Servicios Contratados. Se contrató el servicio de internet celular mediante el operador Comcel, el plan suministrado con tecnología GPRS garantiza un ancho de banda de descarga de 128kbps. En cuanto al servicio de ADSL fue contratado con Telebucaramanga con un ancho de banda de 1MB.

2.3 CONFIGURACIÓN Y ADECUACIÓN DE LOS EQUIPOS PARA PRUEBAS

En los ítems anteriores se dijo que se requiere de un hardware y un sistema de comunicación, sin embargo, para hacer las pruebas es necesario instalar en el PC un sistema operativo que sea adecuado para las herramientas que se van a ejecutar compatibles con Linux. Además, es requerido sistematizar las herramientas mediante un script para pruebas, por lo anterior, se escogió el sistema operativo Linux Ubuntu 9.02.

Luego se procedió a instalar las herramientas de desempeño de red para medir ancho de banda con IPERF, para el Throughput y latencia NETPERF, en cuanto a RTT, bitrate, JITTER se escogió a D-ITG y para retardos como RTT y JITTER con protocolo ICMP.

Se adecuaron los puntos para pruebas el Gateway ADSL en el kilómetro 2 vía Floridablanca en la vereda La Cidra, en cuanto al Gateway GPRS en el laboratorio de CPS de la UIS.

Debido a que las pruebas se extenderían de forma prolongada y a que los equipos están distanciados el uno del otro, se decidió que las pruebas fueran controladas remotamente desde el lugar más frecuentado, por lo cual se procedió a administrar el PC remoto con el software SSH que se caracteriza por una interfaz modo texto y consume pocos recursos informáticos y de comunicaciones. Otras posibilidades de acceso remoto fueron evaluadas, sin embargo, se descartó VNC. Se eligió como computador administrador el servidor con la red ADSL. Desde este punto se configuran e inician las herramientas locales del servidor y vía SSH las

herramientas de medida del modo cliente.

Finalmente, se verificó que había conexión a internet, para comprobar que las herramientas previamente instaladas estaban operativas. Se hicieron unas pruebas preliminares para verificar y detectar posibles fallas de instalación y configuración.

2.4 SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS

En el presente capítulo se describen las principales herramientas que posibilitan la medición de los indicadores clave de desempeño de red, se plantea sus más relevantes características y se explica el criterio de selección tenido en cuenta para su adopción. Las herramientas que hay disponibles para detectar los principales indicadores de desempeño son muy variadas, En la tabla 3 se describen los de mayor relevancia del presente estudio.

Las herramientas fueron estudiadas por los integrantes de SITELRED y se encontraron características que permiten modificar el tamaño de ventana TCP al igual que MTU en IPERF, DIT-G y NETPERF, adicional IPERF permite enviar un archivo de cualquier tamaño. Estas son las características más relevantes para este estudio, sin embargo hay otras como el tamaño de segmento, tamaño de buffer y una gran variedad de pruebas con diferentes protocolos. La tabla 3 muestra los reportes para cada una de las herramientas al igual que el sistema operativo en el que fue desarrollado.

Entre las herramientas utilizadas en el estudio están: IPERF porque es una herramienta muy probada en gran cantidad de estudios que permite modificar parámetros de red, DIT-G porque es una herramienta muy completa que involucra los principales indicadores de desempeño. NETPERF es una herramienta de gran trayectoria, aplicada en investigaciones para el desempeño de redes y es completa, permite también modificar características de red.

Tabla 3. Descripción de las herramientas clave de desempeño

Herramienta	IPERF	NETPERF	PING	NETIO	HTTPING	DITG
Sistema Operativo	Windows/Linux	Linux	Windows/Linux	Windows/Linux	Linux	Windows/Linux
Protocolo	TCP/UDP	TCP/UDP/SCTP/DL	ICMP	TCP/UDP	ICMP	TCP/UDP/ICMP
BW	X					
Throughput		X		X		X
Latencia		X				X
RTT			X		X	X
JITTER	X	X	X		X	
% Pérdida paquetes	X		X			X

Fuente: Autor

Finalmente, PING, que es un comando de bastante reconocimiento que permite tener una referencia bajo el protocolo ICMP de fácil recordación para quienes están vinculados con el análisis de redes, mide el RTT y paquetes perdidos.

A continuación, se describe brevemente cada una de las herramientas:

2.4.1 IPERF. Iperf es una herramienta de análisis de desempeño de red, que permite calcular el ancho de banda, Jitter y paquetes perdidos en el protocolo TCP y UDP, su característica es que realiza su análisis punto a punto. Fue desarrollado para OS Windows y Linux, la instalación es muy sencilla y su interfaz está disponible en modo gráfico y modo texto.

Al tratarse de una herramienta punto a punto se requiere establecer en un extremo el estado de servidor con la entidad `-s` y otro para cliente con la entidad `-c` y la

dirección ip, si las pruebas se realizan para TCP (por defecto) el reporte suministrado es del ancho de banda, tamaño de datos transferidos y tiempo de la prueba. Si la prueba se realiza en el protocolo UDP se invoca con la entidad -u, el reporte también suministra el ancho de banda, pero cambia suministrando información de JITTER, datagramas perdidos y tiempo de la prueba.

Esta herramienta se caracteriza por permitir modificar el tamaño de ventana TCP con la entidad -w, tamaño de segmento con la entidad -M, tamaño de buffer con la entidad -l, igualmente permite enviar un tamaño de datos específico con la entidad -n, al igual que un archivo de tamaño particular de cualquier tipo con la entidad -F, medición de ancho de banda bidireccional empleando la entidad -d, pruebas paralelas con la entidad -P.

Entre su variabilidad permite cambiar el puerto sin importar en estado en el que se encuentre con la entidad -p, el tipo de formato con la entidad -f, igualmente el intervalo del reporte con la entidad -i y el tiempo de la prueba con la entidad -t. Finalmente, su comando de información y ayuda se invoca con el comando -h, por lo anterior, esta herramienta tiene dos grandes maneras de hacer pruebas ya sea a disposición de un tiempo particular o con un tamaño de archivo. También se puede clasificar por el tipo de protocolo utilizado dado que involucra significativos cambios en los reportes. Para descargar la herramienta ingresar al siguiente enlace: <http://www.openss7.org/man2html?1+iperf>

2.4.2 NETPERF. Netperf es comúnmente usado para evaluar el desempeño en la transferencia de datos, se caracteriza por ser un flujo unidireccional punto a punto, es decir, que uno envía datos invocando el programa netperf y el otro extremo del punto recibe invocando netsserver, se especifica la dirección ip local con la entidad -L y cuando se ejecuta netsserver se requiere también la dirección ip local con la entidad -L y también la dirección ip remoto con la entidad -H, para ambos puntos se especifica el puerto con la entidad -p.

Esta herramienta se caracteriza por tener una gama grande de posibilidades para configurar; una de las más completas, debido a que ofrece para cada protocolo características de red, en particular para TCP el tamaño de buffer para el socket local con la entidad `-m` y para el socket remoto del tamaño de buffer con la entidad `-M`, tamaño de ventana con la entidad `-w`, tiempo en segundos de la prueba con la entidad `-l`, para calcular Throughput se utiliza la entidad `TCP_STREAM` que envía datos desde netperf hacia netserver, para medir retardos, latencia Jitter con la entidad `TCP_RR` como se observa aquí:

```
netperf -L $ipLOCAL -H $ipSERVIDOR -p 12867 -t TCP_STREAM -v 1 -- -m $sM -w $WD
```

Los protocolos que admite son SCTP, TCP, UDP, UNIX, DL, DNS para cada uno de ellos dispone de las anteriores entidades lo cual demuestra su amplia gama de aplicación. El manual y programa son de uso libre y puede ser descargado en la siguiente página web

http://www.openss7.org/netperf_manual.html#TCP_005fSTREAM

2.4.3 D-ITG. Una herramienta bastante completa en cuanto a la diversidad de reportes que brinda es D-ITG (*Distributed Internet Traffic Generator*) para el análisis y evaluación de desempeño de redes. Es una herramienta punto a punto donde se establece un cliente con la invocación (*ITGSend*) con la entidad `-a` y la dirección ip, al igual que el servidor invocando (*ITGRecv*), se desarrolló para los principales OS, Windows y Linux, su instalación es sencilla y permite una gran variedad de protocolo como lo son TCP con la entidad `-T` al igual hay una entidad para UDP, ICMP, SCTP y DCCP su amplia variedad de reportes que arroja están Throughput, ancho de banda, latencia, RTT, pérdidas de paquetes. Entre los características de red que es posible modificar está el tamaño de segmento con la entidad `-M`, la duración de la prueba con `-t`, seleccionar el puerto.

Esta herramienta permite la exportación de datos mediante la entidad `-l`, para visualizar este archivo lo realizan mediante la invocación del programa (*ITGDec*) que decodifica el reporte obtenido de la prueba, para explotar los datos a formatos como Excel o cvs. Se recomienda trabajar en modo texto con la ayuda y elaboración de un script para pruebas.

Para almacenar datos se invoca (*ITGlog*), administración remota (*ITGManager*), en cuanto a análisis de resultados permite crear gráficos estadísticos muy diversos de los resultados mediante la entidad (*ITGPlot*). Este paquete está disponible en su versión libre, al igual que profesional con valor comercial (1) en la página web <http://www.grid.unina.it/software/ITG>

2.5 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS

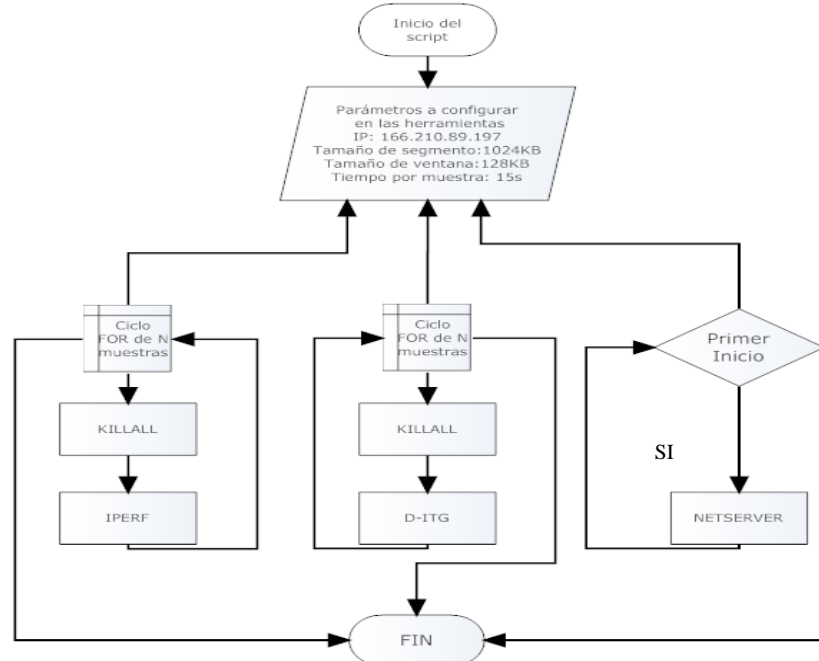
La ejecución de las herramientas para el desempeño de red, por tratarse de una ejecución en modo texto repetitiva para ciertos intervalos de muestra que se prolongan a periodos extendidos de tiempo; se decidió sistematizar el proceso mediante elaboración de scripts en lenguaje bash, para estructurar y automatizar la prueba por largos periodos de tiempo, capturar y organizar la información; utilizando programas para cálculos estadísticos como Excel, Origin y matemáticos como Matlab y Octave. Un estudio con una metodología similar la encuentra en Higuera, Reslen (13).

En detalle, el script de pruebas se realiza para ejecutar las herramientas en modo cliente que envía los datos al servidor, cada una de las aplicaciones se ejecuta una tras otra en forma secuencial, de acuerdo con cierto número de muestras, vea figura 6 Como se observa, la aplicación arroja un reporte con los indicadores de desempeño de red, estos son capturados en un archivo en formato cvs, cabe destacar que el reporte de datos para cada herramienta es distinto, por lo cual se hizo necesario con ciertos comandos de bash como awk, grep entre otros, extraer

y organizar los datos en un archivo de texto, luego este archivo se organiza de forma que solo indique la medida requerida al igual que el tiempo en el cual finalizó la muestra.

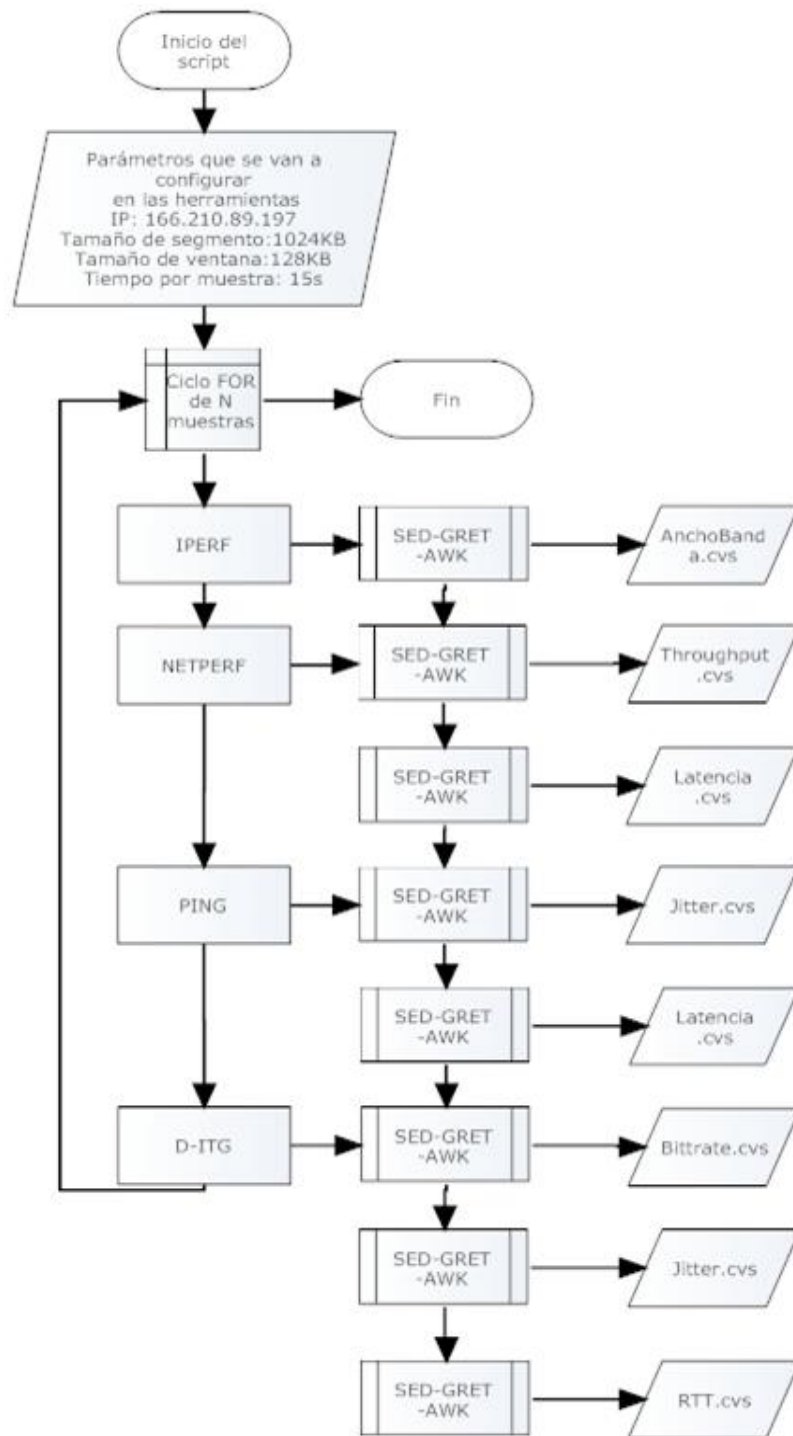
Continuando con la organización de los datos para la prueba, es requerido obtener gráficos estadísticos, para ello es necesario promediar las sub-muestras. Estas muestras se organizan por días para cada indicador de desempeño de red, luego se grafican mostrando los valores máximos, mínimos, medios y mediana, mostrando estadísticas para todos los días de la semana durante 14 días, al igual que promedios estadísticos por horas de todos los datos máximo mínimo, media y mediana durante las 24 horas, así mismo, por horas mostrando la estadística por cada día de la semana.

Figura 5. Diagrama de flujo del script de ejecución de las aplicaciones en modo servidor.



Fuente: Autor.

Figura 6. Diagrama de flujo de la ejecución de las aplicaciones que miden el desempeño de la red GPRS en el cliente



Fuente: Autor

2.6 PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS

Para llevar a cabo las pruebas de desempeño del enlace con GPRS se diseñó un procedimiento que describe cada actividad paso a paso de forma global.

1. Enlace para pruebas.
2. Configuración inicial de los equipos.
3. Instalación de los equipos en la ubicación correspondiente.
4. Comprobación/ Verificación del enlace.
5. Puesta en marcha del sistema de comunicación.
6. Establecer el tipo de prueba que se va a realizar.
7. Pruebas de optimización: definición del tamaño de segmento, ventana o buffer y su posible inclusión para las medidas.
8. Pruebas bajo condiciones controladas (script de pruebas).
9. Pruebas pilotos.
10. Caracterización del enlace de acuerdo a las medidas realizadas.
11. Conclusiones de las pruebas.

Este procedimiento se ejecutó para los diferentes tipos de pruebas realizadas, en cuanto a los tres primeros ítems solo se realizó una vez por tratarse de la disposición e instalación de los equipos, En cuanto a las demás partes, cabe destacar que el tipo de prueba cambia, ya se trate de optimización, desempeño o envío de archivos, por lo que es requerido implementar para cada prueba un script, como se trató en el ítem de metodología, además cabe destacar que la captura de datos se inicia el proceso de graficar y hacer cálculos estadísticos ver una descripción detallada en B.

2.7 PRUEBAS DE EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL ENLACE GPRS PARA TELEMETRÍA

En cuanto a las pruebas realizadas tendientes a evaluar el desempeño del enlace

se han diseñado dos pruebas. La primera busca evaluar el enlace por un periodo de tiempo extendido de 14 días consecutivos, las 24 horas continuas, con el fin de detectar el comportamiento de posibles anomalías en el ancho de banda y retardos, obteniéndose al terminar la prueba datos de dos muestras por día que corrobora el comportamiento.

Las pruebas, como tal, se plantearon no solo para encontrar el ancho de banda y retardos máximo, mínimo que pueda suministra la red GPRS, también busca evaluar el desempeño en el tiempo, por lo cual nos es muy relevante encontrar el comportamiento a medida que avanzan los días de la semana, debido a que hay días en los que se altera a causa del flujo de tráfico. Las muestras que se tenían cada dos a tres minutos se promediaron cada treinta minutos. El escenario de la prueba es en entorno estático, por ser la característica requerida para el enlace del sistema de telemetría.

De igual manera, se plantea una segunda prueba que busca establecer el ancho de banda y tiempo de descarga al enviar archivos con tamaños de 16 KB, 32 KB, 64 KB, 128 KB 512 KB, 1024 KB, 10 MB. Esta prueba se realiza porque para el sistema de telemetría requiere el envío de archivos de diferentes tamaños en formato TCP, por lo cual es pertinente realizar estas medidas.

3. CARACTERIZACIÓN DEL ENLACE GPRS

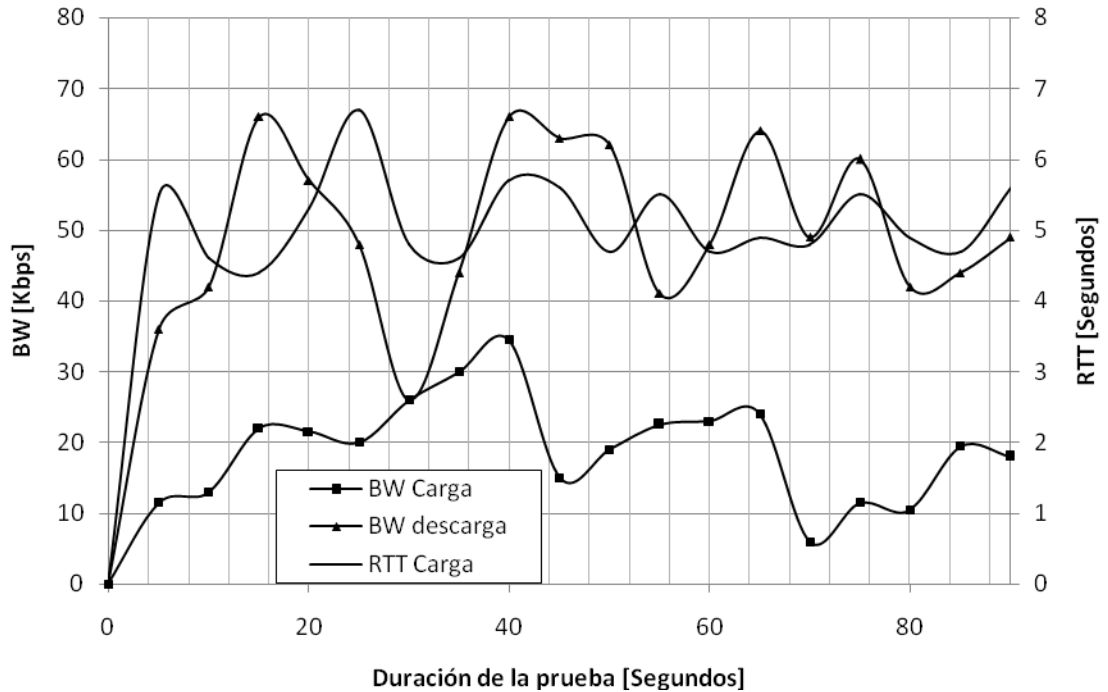
En el capítulo anterior se plantearon una metodología y un procedimiento para estimar el desempeño del enlace de telemetría GPRS. De esta última en el presente capítulo se muestran las pruebas previas de optimización y los resultados obtenidos de tipo extendidas durante catorce días consecutivos. Igualmente se presentan las mediciones del ancho de banda y tiempo de descarga para diferentes tamaños de archivo. Se destaca la descripción detallada de los resultados estadísticos al igual que un análisis cualitativo.

3.1 OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE LAS HERRAMIENTAS DE DESEMPEÑO

Tendiente a evaluar la red GPRS con las aplicaciones, estas tienen configurado por defecto características de red como tamaño de ventana, tamaño de segmento y tamaño de buffer, por lo cual se requiere optimizar la herramienta con pruebas variando el tamaño de los parámetros.

3.1.1 Ancho de Banda (BW) y RTT Variando el Tiempo. Inicialmente se hicieron pruebas con los parámetros por defecto de las herramientas. El resultado de la prueba se observa en la figura 7.

Figura 7. Resultado para ancho de banda y RTT con los parámetros que trae las aplicaciones por defecto.



Fuente: Autor

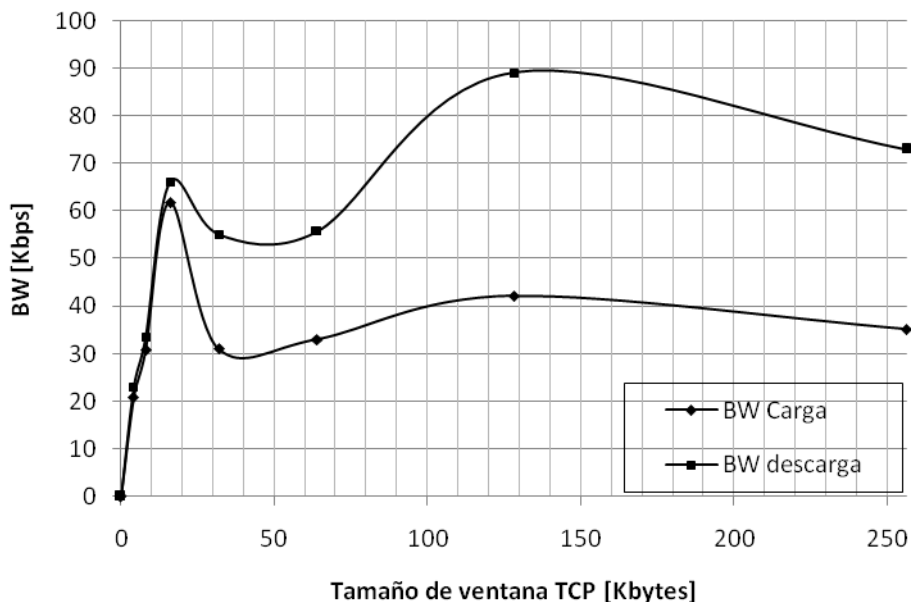
Se trata de una prueba realizada con los parámetros que trae la herramienta por defecto y se varía la duración del registro para 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85 y 90 segundos, con el fin de obtener un estimado inicial para el tiempo y de referencia a las pruebas posteriores se mide ancho de banda y RTT, la repetición de cada muestra fue de diez veces.

3.1.2 Ancho de Banda (Bw) variando el tamaño de ventana. Inicialmente, se diseñaron dos pruebas variando el tamaño de segmento y ventana TCP. La última prueba se realizó con protocolo TCP, se cambiaron los tamaños siguientes de ventana 4KB 8KB 16KB 32KB 64KB 128KB 256KB con repetición de diez muestras, cada una de duración equivalente al tiempo que trae por defecto la herramienta. La herramienta utilizada es IPERF y se midió el ancho de banda,

analizando su variación, obteniéndose un máximo óptimo para el tamaño de 128 KB.

En cuanto al ancho de banda para carga, se observa en la figura 8 un leve ascenso aunque no tan relevante, como en la gráfica para ancho de banda de descarga, donde su tendencia creciente, alcanza un máximo pico para el tamaño de ventana de 128 KB, que luego decrece, por lo cual se decidió como valor óptimo a éste tamaño de ventana TCP; con el fin de ajustar las herramientas de pruebas a este valor.

Figura 8. Ancho de banda de carga y descarga para diversos valores de tamaño de ventana TCP



Fuente: Autor

3.1.3 Ancho de Banda y RTT variando el tamaño de segmento. En cuanto a la prueba de tamaño de segmento se realizó con protocolo TCP, se varió el tamaño con valores 64 Bytes, 128 Bytes, 256 Bytes, 512 Bytes, 1024 Bytes, 1520 Bytes, para diez repeticiones con una duración de 10 segundos, midiendo el ancho de

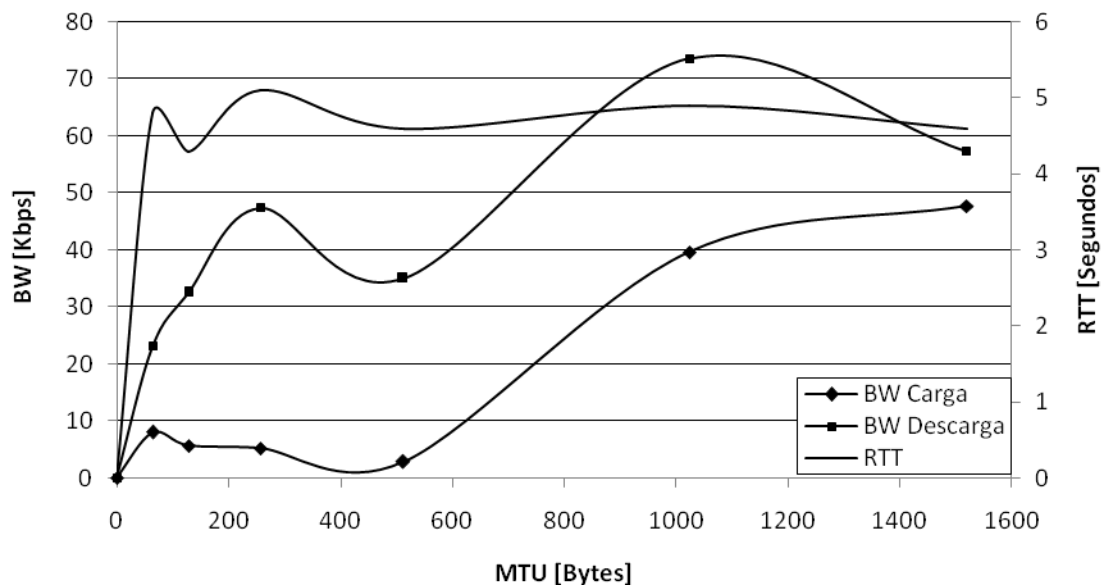
banda y el RTT, la gráfica correspondiente a la figura 9.

Los valores donde se obtuvo un mejor desempeño tanto de ancho de banda como de RTT es para el tamaño de 1024 Bytes.

Es claro que para valores inferiores de MTU el valor de ancho de banda se reduce notablemente alcanzando un mínimo en 512 Kbytes, luego de un máximo relativo cercano a 256 KB tiende a cero.

En la gráfica para el retardo de la figura 9 se observan pocos cambios significativos excepto por una mínima oscilación para un MTU menor de 200Bytes.

Figura 9. Ancho de banda y RTT variando el tamaño de MTU.



Fuente: Autor.

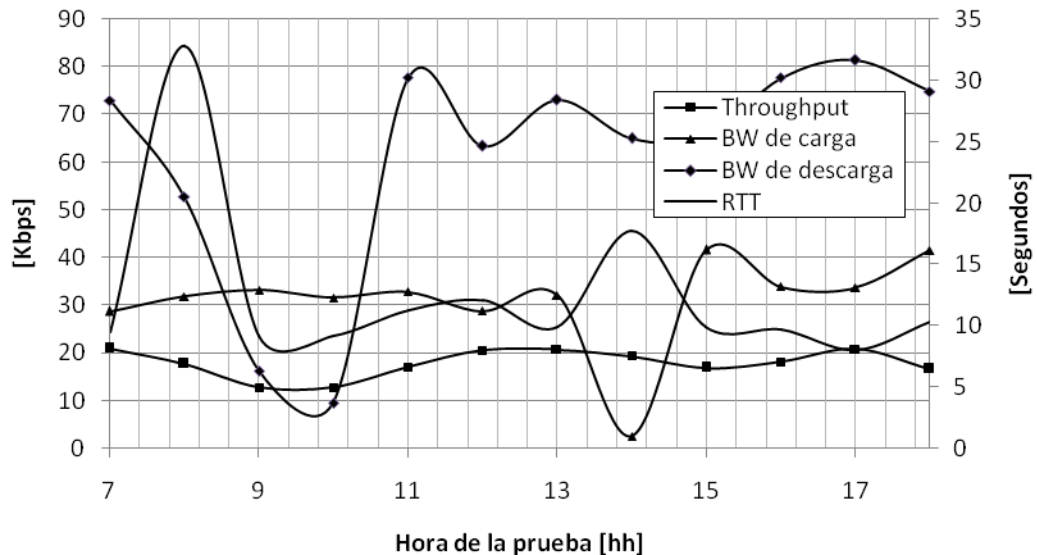
En general, se observa que al modificar los parámetros de las herramientas se mejoró en ancho de banda con respecto a las pruebas realizadas con los parámetros por defecto, por lo cual se adoptó para las pruebas hacer más modificaciones respectivas del tamaño de ventana y de MTU.

3.2 PRUEBAS PRELIMINARES DE 12H

Con el objetivo de tener un panorama del comportamiento de la red GPRS para pruebas posteriores y hacer las modificaciones necesarias, se realizó una medida del ancho de banda y RTT de forma ininterrumpida por 12h como se observa en la figura 10.

Esta prueba genera una respuesta al comportamiento global en un periodo en el que se observa cómo cambia la red en el tiempo encontrando: un promedio de ancho de banda de descarga de 75 kbps y un pico descendente en horas de 8:00 a 10:00 am. Referente al ancho de banda de carga se observa un promedio de 31kbps y un descenso en su tasa en horas de 13:00 a 15:00. En cuanto al RTT el promedio es de 10.2 s, con un pico máximo de 7.00 am a 9 am de 30 s. Finalmente, el throughput tiene un promedio de 20kbps.

Figura 10. Ancho de banda de carga y descarga, realizada en intervalo de tiempo corrido de doce horas



Fuente: Autor.

3.3 PRUEBAS EXTENDIDAS POR CATORCE DÍAS CONSECUTIVOS

Las pruebas extendidas están diseñadas para evaluar el desempeño de la red GPRS en el tiempo. Estas juegan un papel preponderante en el desempeño de GPRS, debido a que el comportamiento de la red cambia durante el día.

La razón de realizar pruebas durante catorce días es que se generan dos muestras para un mismo patrón de comportamiento de red con el fin de corroborar las pruebas y ampliar su grado de certidumbre. Los resultados presentados en este capítulo son pruebas que se realizaron en días corrientes, no festivos, para evitar comportamientos atípicos de la red.

3.3.1 Resultados de pruebas de ancho de banda. En general, los resultados para la prueba de ancho de banda se presentan muestras cada treinta minutos durante catorce días.

3.3.1.1 Ancho de banda de descarga. En la figura 11 se observa el ancho de banda de descarga por días de la semana. En cuanto a promedios máximos de los datos, en la línea de color azul, se observa que su mayor pico de ancho de banda es de 129.5 kbps y su valor pico mínimo es de 115 kbps. En cuanto al promedio de todos máximos su valor tiende a 120 kbps.

Concerniente al valor mínimo (línea de color rojo de Figura 11) su valor pico más alto lo alcanza en 65.016 kbps, el menor es 41.375 kbps. El promedio de todos los mínimos es de 55.86 kbps. Para la mediana línea de color amarillo su pico máximo es de 97.71 kbps en día viernes, su pico mínimo 77.7 kbps el día martes, el promedio de medianas es de 87.86 kbps.

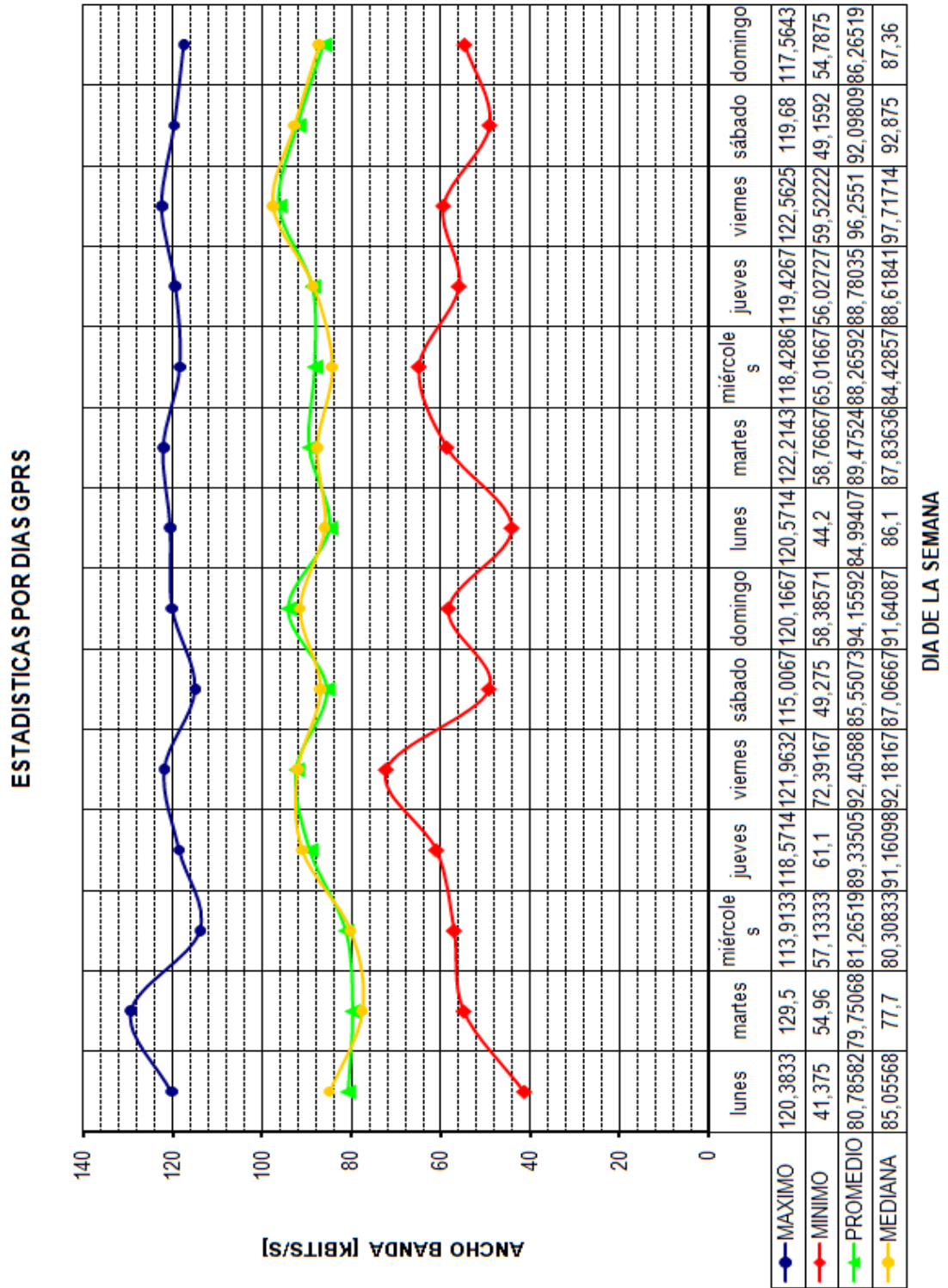
Finalmente, se tienen los promedios de todos los datos en la línea de color verde su pico máximo es de 96.25kbps el día viernes, el pico mínimo de los promedios es de 79.75 kbps el día martes, el promedio total de ancho de banda es de 87.81 kbps.

En la figura 12 se observan los datos de ancho de banda versus el promedio durante 24 horas consecutivas para cada día de la semana en que se desarrolló la prueba. Una gráfica similar es la figura 13 donde igualmente se muestran los promedios de ancho de banda por horas del día, sin embargo esta última es el promedio de todos los días, visualizando la mediana, máximos y mínimos y su promedio total. En cuanto a datos máximos promedios de ancho de banda por horas (línea de color azul) su pico más alto es 122.56 kbps a las 5 am a 5:30 am, el pico mínimo de los máximos es de 92.6 kbps de 9:30 am a 10:00 am.

En cuanto a valores mínimos por hora del día (línea roja) su pico máximo es de 92.87 kbps de 4:00 am a 4:30 am, su pico mínimo es de 41.37 kbps de las 21:30 pm a 22:00 pm. Referente a promedios totales por horas del día (línea de color verde) su pico máximo es de 108.97 kbps a las 4:00 am a 4:30 am. El promedio mínimo es de 77.24 kbps de 17:30 pm a 18:00 pm.

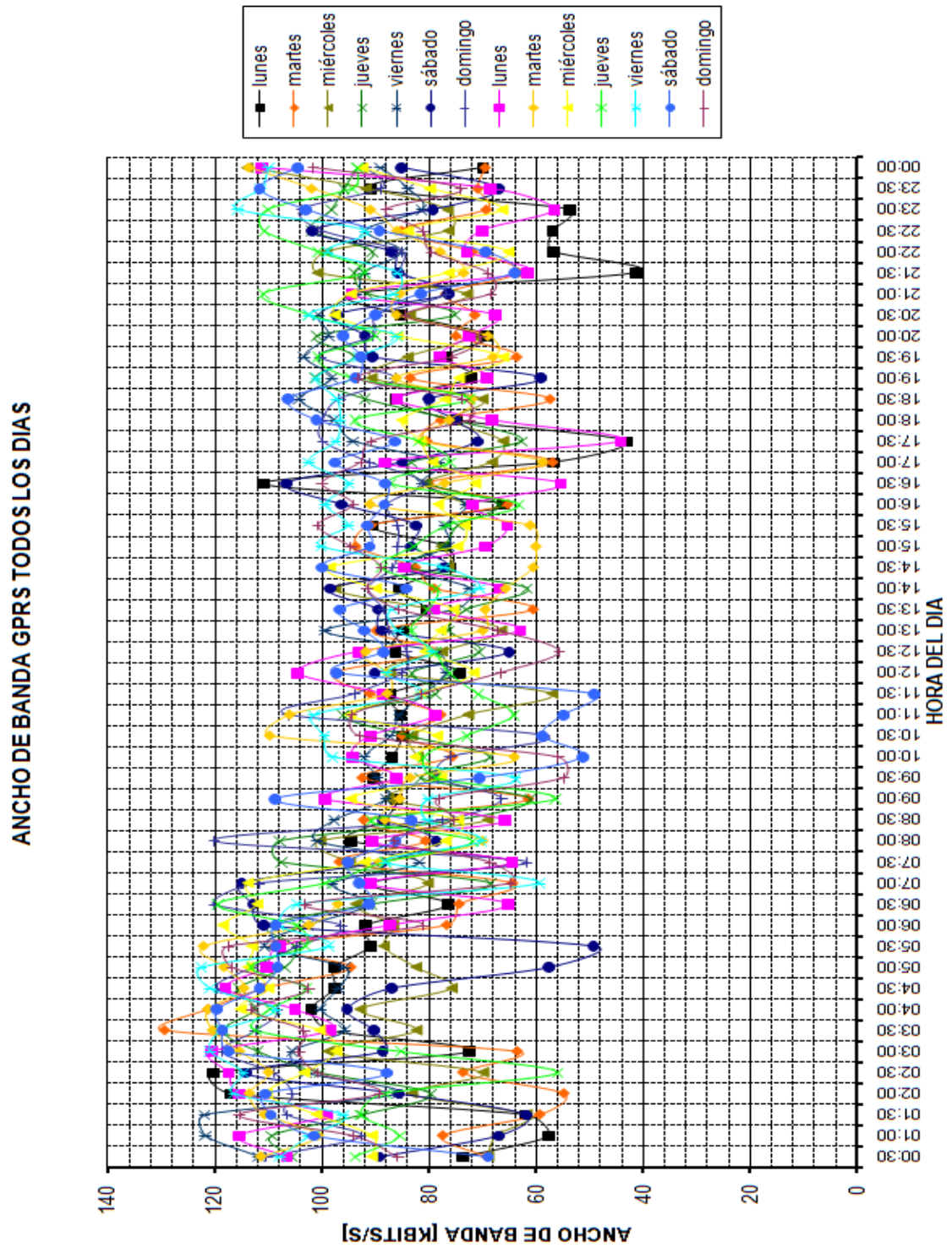
Finalmente, un análisis cualitativo observa que en los días lunes, martes y sábado el ancho de banda decae, aunque no es tan significativo. Así mismo, su tendencia hacia un valor máximo se observa los días viernes y jueves. En cuanto a horas del día su máximo esta durante las 00:00 a las 6:00 am como se observa en figura 13

Figura 11. Estadísticas por días del ancho de banda para GPRS en descarga.



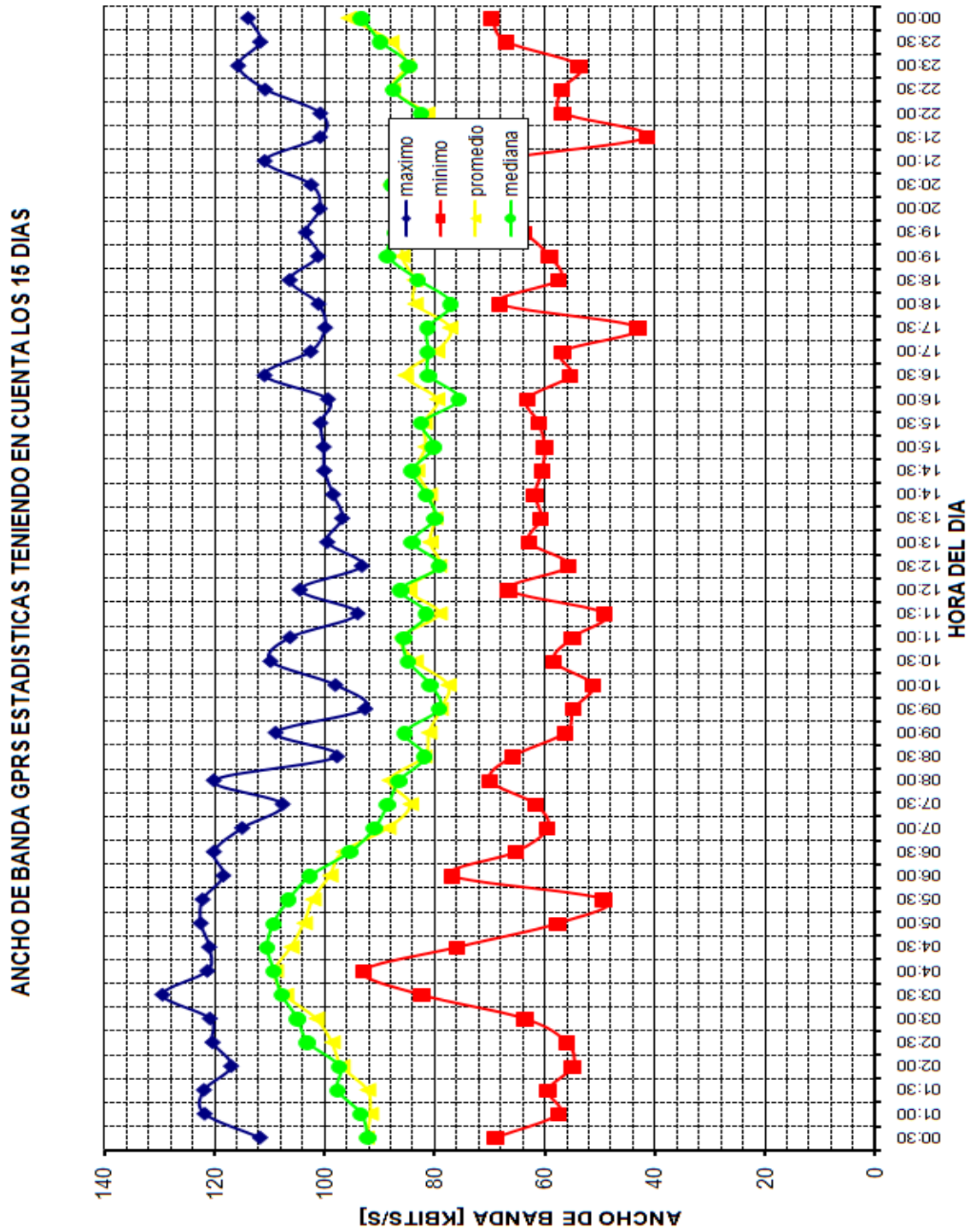
Fuente: Autor.

Figura 12. Estadísticas de ancho de banda de descarga para GPRS, presentado todos los días simultáneamente



Fuente: Autor.

Figura 13. Estadísticas del ancho de banda de descarga por hora del día.



Fuente: Autor.

3.3.1.2 Ancho de banda de carga. En la figura 14 se muestra el ancho de banda versus días de la semana se observa que los promedios de máximos (línea de color azul) su mayor pico de ancho de banda lo alcanza en 41.09 kbps y su mínimo es de 31.34 kbps y el promedio de los datos de todos los máximos 34.85 kbps.

En el rango de valores mínimos su pico más alto lo alcanza en 13.48 kbps, el menor pico es 2.17 kbps, el promedio de los mínimos es de 10.52 kbps. Concerniente a la mediana (línea de color amarillo), su pico máximo es de 25.81 kbps en día viernes, su mínimo 18.5 kbps el día lunes, el promedio de medianas es de 22.25 kbps.

Referente a los promedios de todos los datos (línea de color verde) su pico máximo es de 25.23 kbps el día viernes, el pico mínimo de los promedios es de 19.51 kbps el día lunes, el promedio total de ancho de banda de descarga es de 22.63 kbps.

En la figura 15 se observan los datos de ancho de banda versus el promedio durante 24 horas consecutivas para cada día de la semana en que se desarrolló la prueba. Una gráfica similar es la figura 16 donde igualmente se muestran los promedios de ancho de banda por horas del día, sin embargo esta última es el promedio de todos los días, visualizando la mediana, máximos y mínimos y el promedio total de todos los datos.

En la última gráfica en los promedios de máximo ancho de banda (línea de color azul), el pico más alto es 41.09 kbps a las 7 am a 7:30 am, el pico mínimo de los máximos es de 25.36 kbps de 10:00 am a 10:30 am.

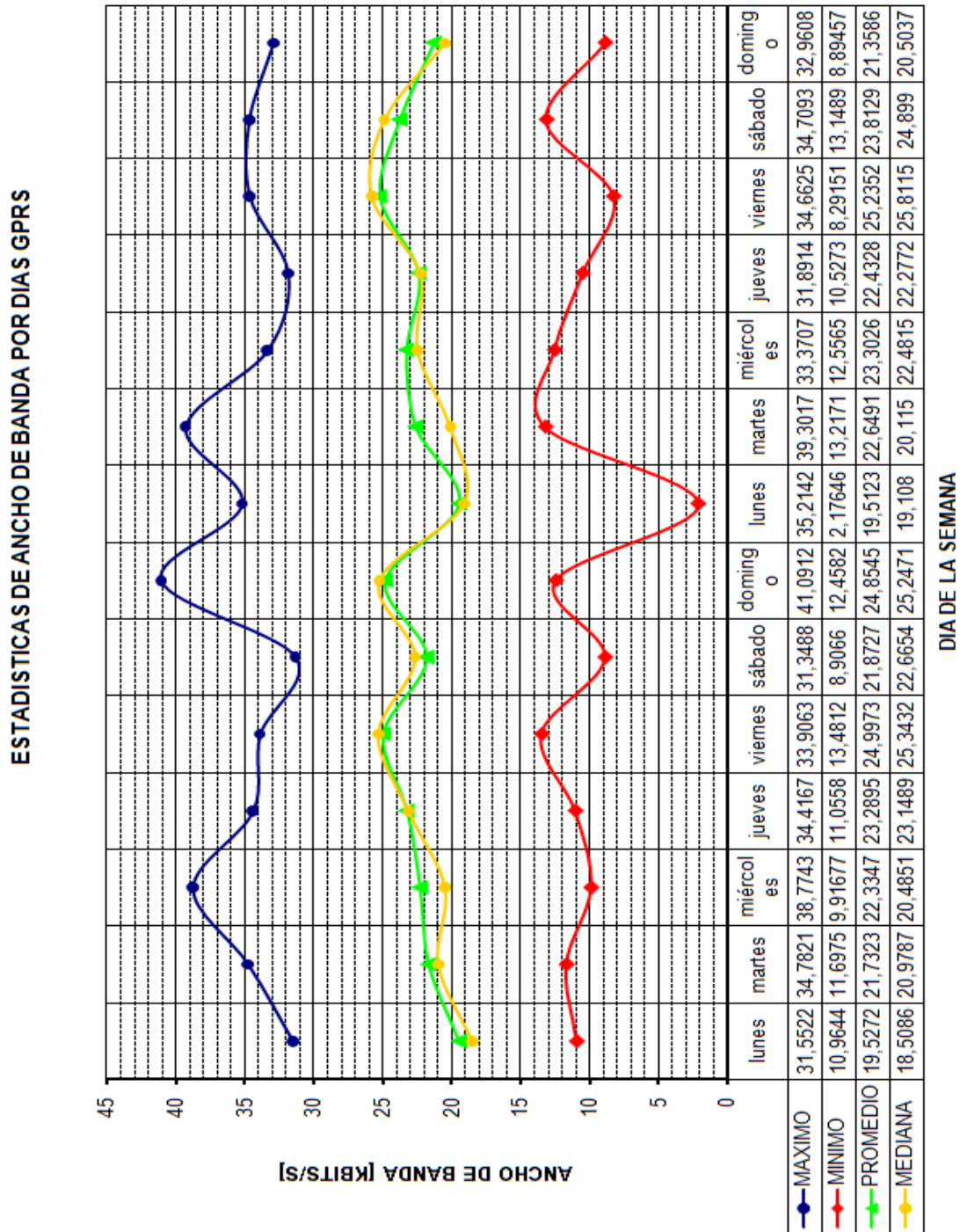
En cuanto a valores mínimos de ancho de banda por hora del día su pico máximo es de 22.93 kbps de 3:00 am a 3:30 am, su pico mínimo es de 41.37 kbps de las 15:00 pm a 15:30 pm.

Referente a promedios totales por horas del día, su pico máximo es de 29.06 kbps a las 5:30 am a 6:00 am el promedio mínimo es de 77.24 kbps de 9:00 pm a

9:30 pm.

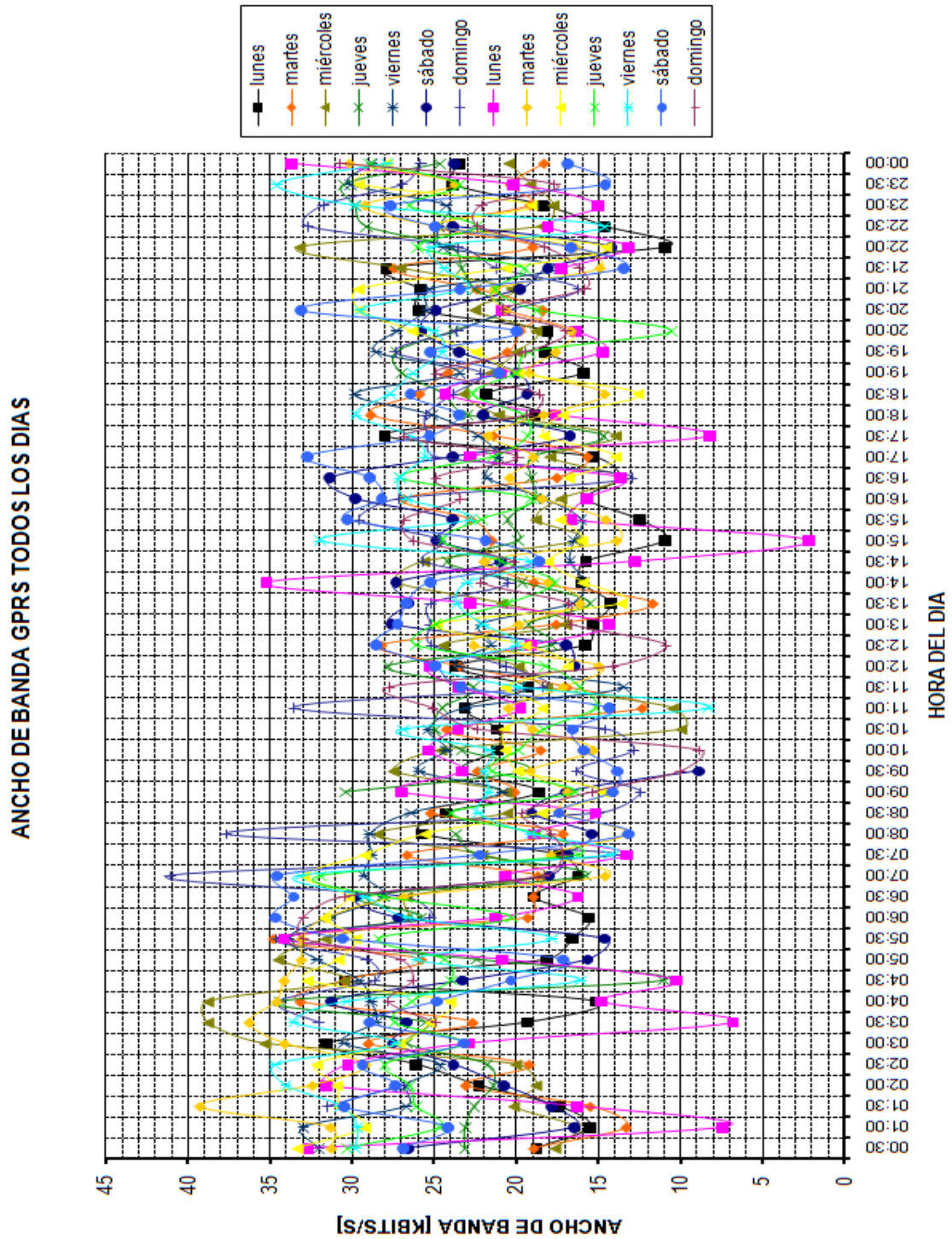
Finalmente, en un análisis cualitativo se observa que los días lunes, martes y sábado el ancho de banda decaen aunque no es tan significativo. Así mismo el máximo ancho de banda se observa el día viernes y jueves. En cuanto a tendencias en horas del día su máximo es de las 00:00 a las 6:00 am como se observa en figura 16.

Figura 14. Estadísticas de ancho de banda de carga para GPRS por días.



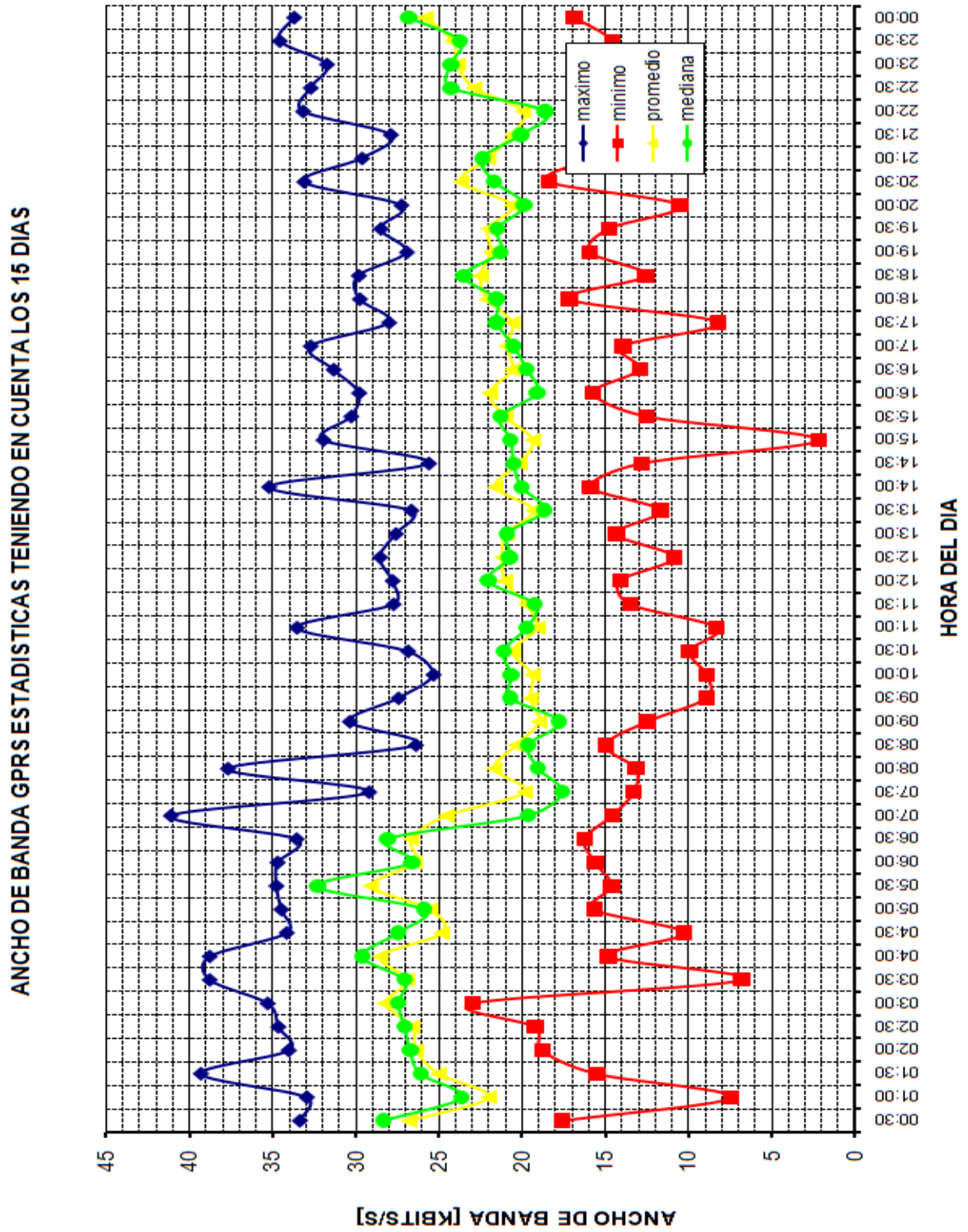
Fuente: Autor.

Figura 15. Estadísticas de ancho de banda de carga para GPRS, presentado todos los días simultáneamente.



Fuente: Autor.

Figura 16. Estadísticas del ancho de banda de carga por hora del día.



Fuente: Autor.

3.3.2 Resultado de pruebas de RTT en TCP. En los resultados para medidas de retardo en especial para RTT, se puede observar que en la figura 17 el RTT TCP están ordenados por días de la semana. Se concluye que para la línea roja que representa a los valores mínimos de RTT su pico máximo es 6.91 s el día martes y el valor mínimo es de 4.85 s el día lunes, el promedio de todos los mínimos es de 6.08 s.

En cuanto a los máximos valores de RTT (línea color azul), su mayor pico lo alcanza con un RTT de 21.93 s el día jueves, igualmente su mínimo es de 14.68 s el día viernes y el promedio de máximos es de 17.85 s.

Referente a los promedios (totales línea verde), se observa que su máximo RTT es de 12.09 s el día lunes, el mínimo valor es de 9.28 s el día sábado, por último el promedio total de RTT es de 10.15s.

Finalmente en cuanto a la mediana, (línea de color amarillo) su máximo RTT pico es de 11.78 s el día lunes, el mínimo es de 8.26 s el día viernes y el promedio de mediana es de 9.75 s.

En la figura 18 se observa que los datos de RTT están ordenados por horas, mostrando para cada día de la semana, así mismo, en la figura 19 se observan las estadísticas de RTT promediado de todos los días, visualizando su máximo, mínimo, promedio y mediana de la cual se puede concluir lo siguiente: para el mínimo valor de RTT por hora del día (línea roja) de la figura 3.13 su mínimo es de 4.85 s en el horario de 12:30 pm a 13:00 pm, en cuanto a su máximo es de 8.58 s de 18:00 pm a 18:30 pm.

La línea azul que corresponde a los valores máximos de RTT, presenta un máximo en 21.92 s de 17:30 pm a 18:00 pm, igualmente un mínimo de 11.27 s de 22:30 pm a 13:00 pm.

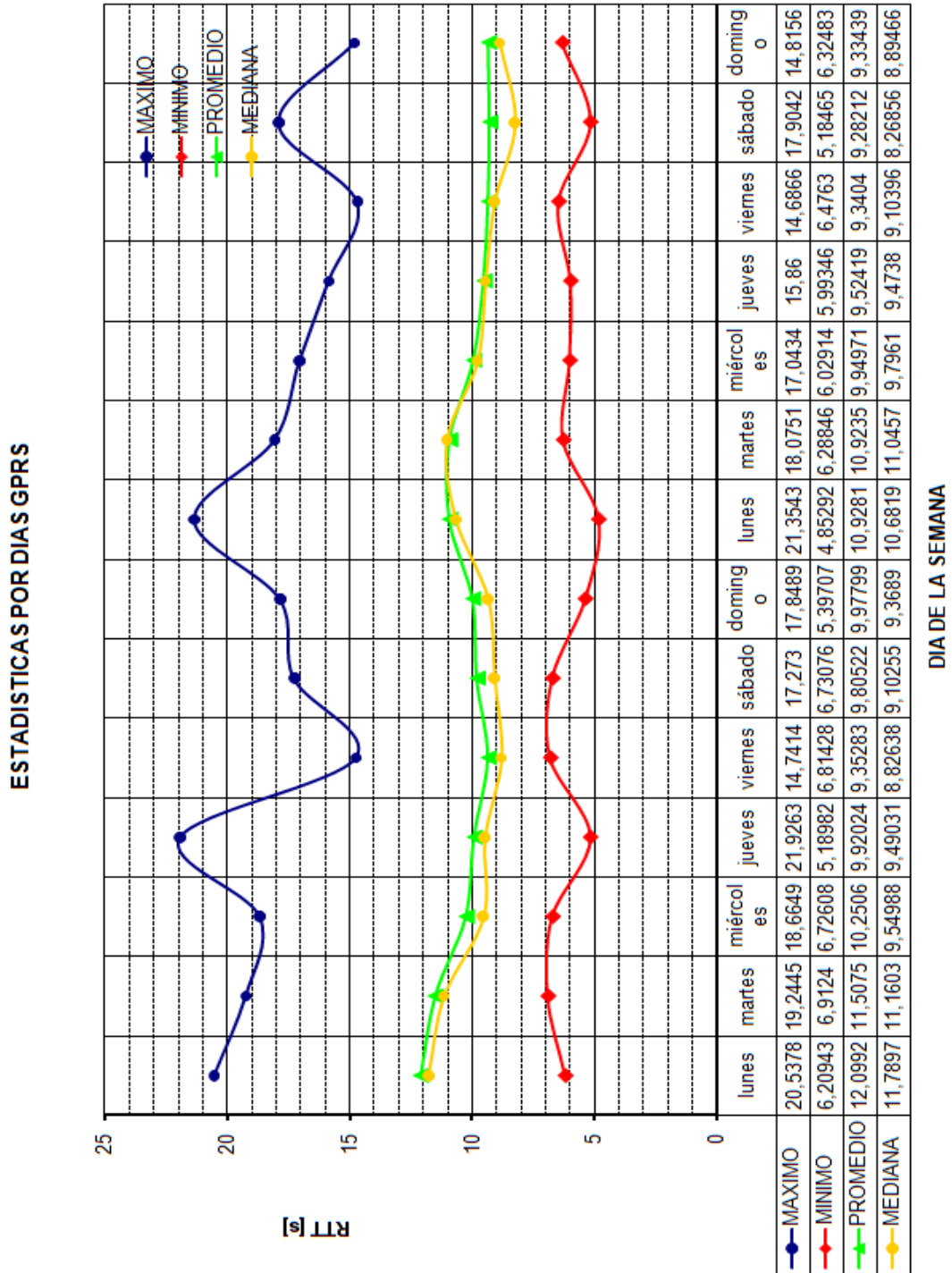
Lo concerniente al promedio de datos de RTT referenciado con la línea verde, se observa un mínimo en 8.03s en el horario de 4:30 am a 5:00 am y un máximo 12.08 s de 13:00 a 13:30.

La mediana tiene un máximo de 11.16 s de 13:00 a 13:30 y un mínimo de 7.39 s

de 4:30 am a 5:00 am.

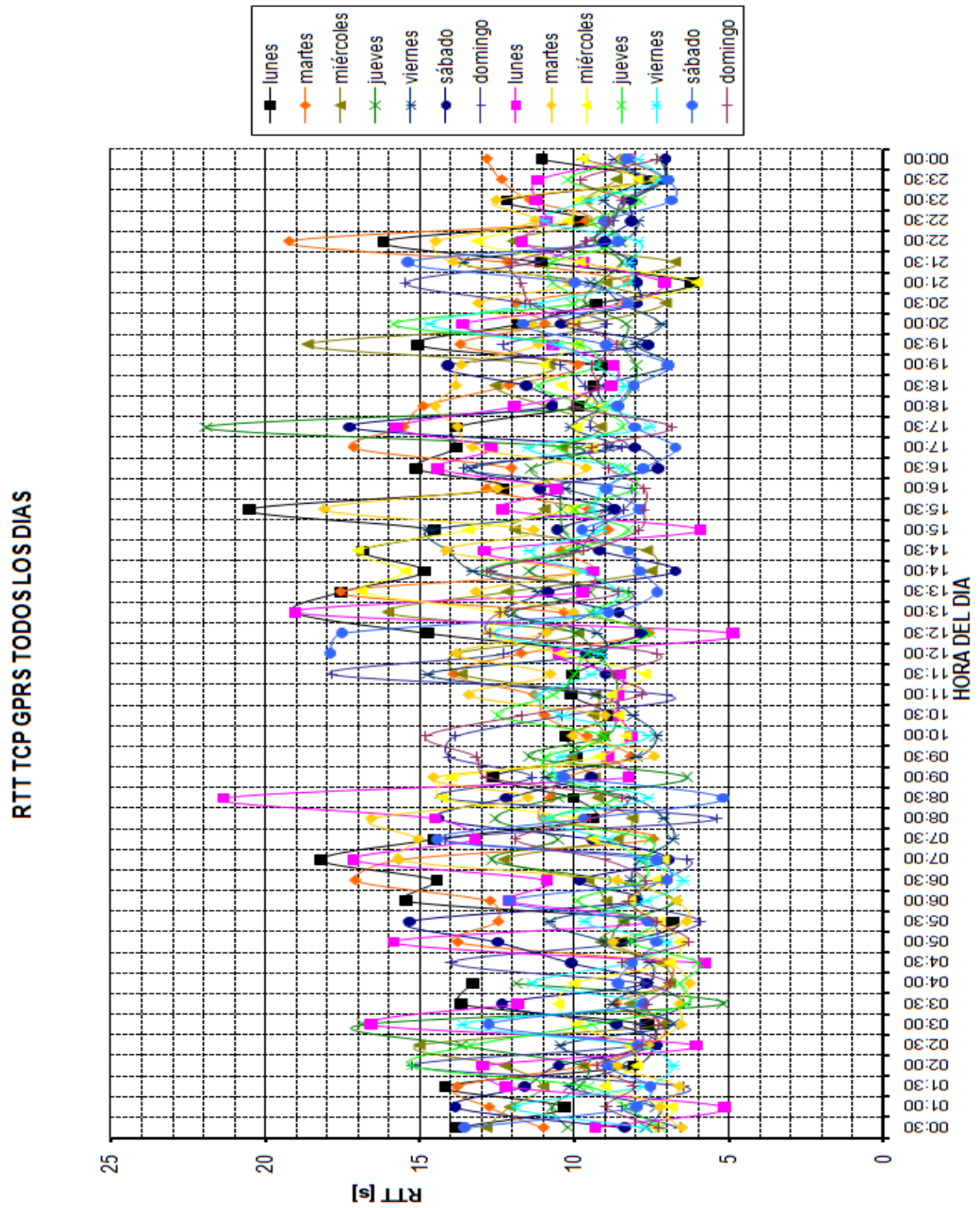
Finalmente, un análisis cualitativo arroja que el RTT se mantiene constante, con pequeñas fluctuaciones de crecimiento los lunes y martes. En cuanto a horas del día en la figura 19, se observa que el RTT se mantiene con pocas fluctuaciones excepto por un valor no tan significativo de descenso de 2:00 am a 6:30 am.

Figura 17. Estadísticas de RTT con protocolo TCP



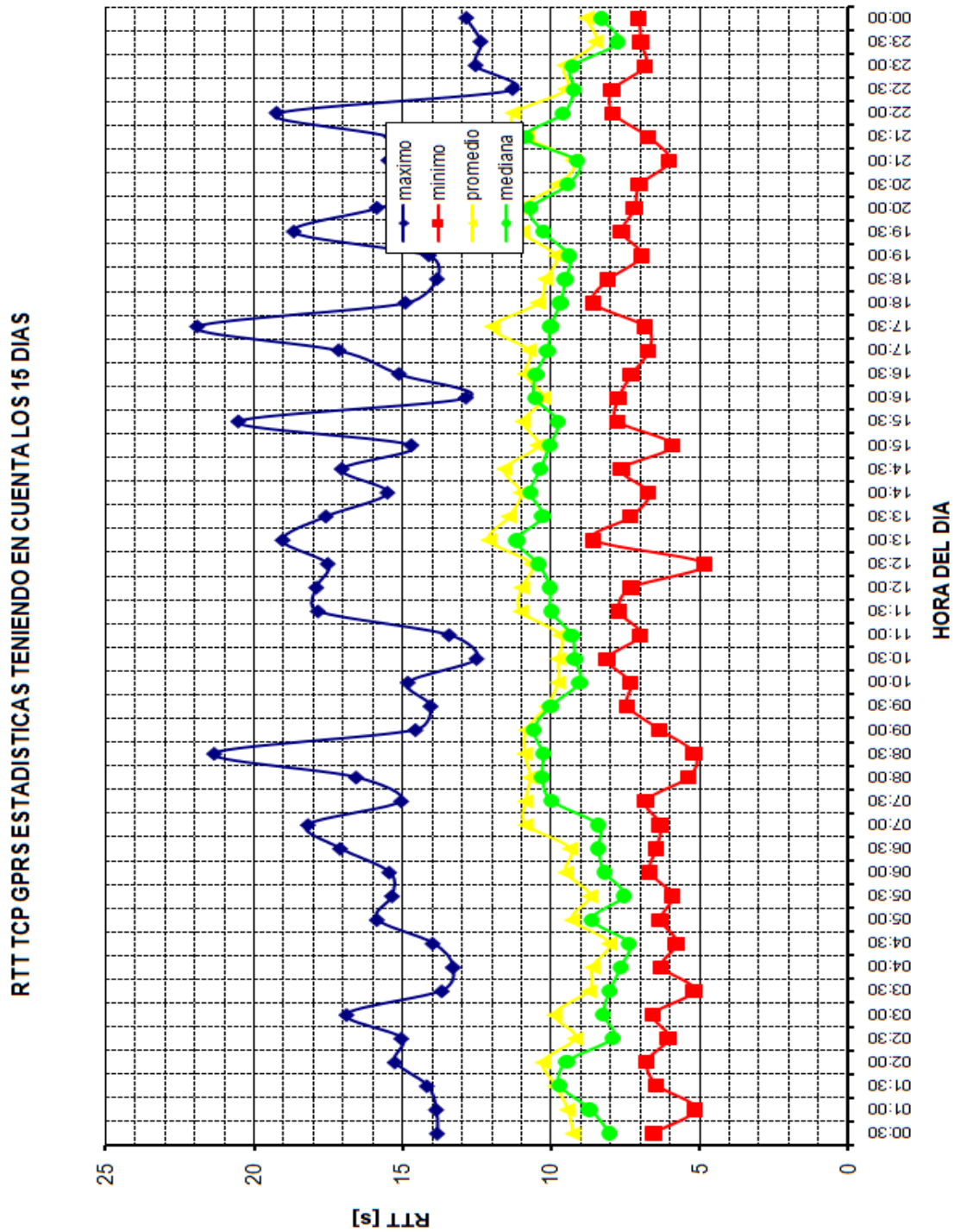
Fuente: Autor.

Figura 18. Estadísticas de RTT para GPRS, presentado todos los días simultáneamente.



Fuente: Autor.

Figura 19. Estadísticas RTT para protocolo TCP de carga por hora del día



Fuente: Autor.

3.3.3 Resultado de pruebas de JITTER RTT en TCP. En las medidas de retardo, en especial para JITTER, se puede observar que en la figura 20 están ordenados el JITTER por días de la semana. Se concluye para la línea roja, que representa a los valores mínimos, que su pico máximo es 0.36 s el día martes y el valor mínimo es de 0.265 s el día miércoles, el promedio de todos los mínimos es de 0.328 s.

En cuanto a los mayores valores de JITTER de color azul, su mayor pico lo alcanza 6.39 s el día lunes, igualmente su mínimo es de 1.18s el día viernes y el promedio de máximos es de 3.074 s.

Los promedios totales muestran (línea verde) que su máximo es de 1.081s el día lunes, el mínimo valor es de 0.57 s el día viernes por último el promedio total de JITTER es de 0.757 s.

Finalmente, en cuanto a la mediana (línea de color amarillo), su máximo pico es de 0.829 s el día martes, mínimo es de 0.49 s el día sábado y el promedio de mediana es de 0.75 s.

En la figura 21 se observa que los datos del Jitter están ordenados por horas mostrando para cada día de la semana. En la figura 22 se muestran las estadísticas de máximo, mínimo, promedio y mediana del cual se puede concluir lo siguiente: para el mínimo valor de RTT por hora del día (línea roja) figura 22 su mínimo es de 0.265 s de 20:30 pm a 21:00 pm en cuanto a su máximo es de 0.523 s de 12:00 pm a 12:30 pm.

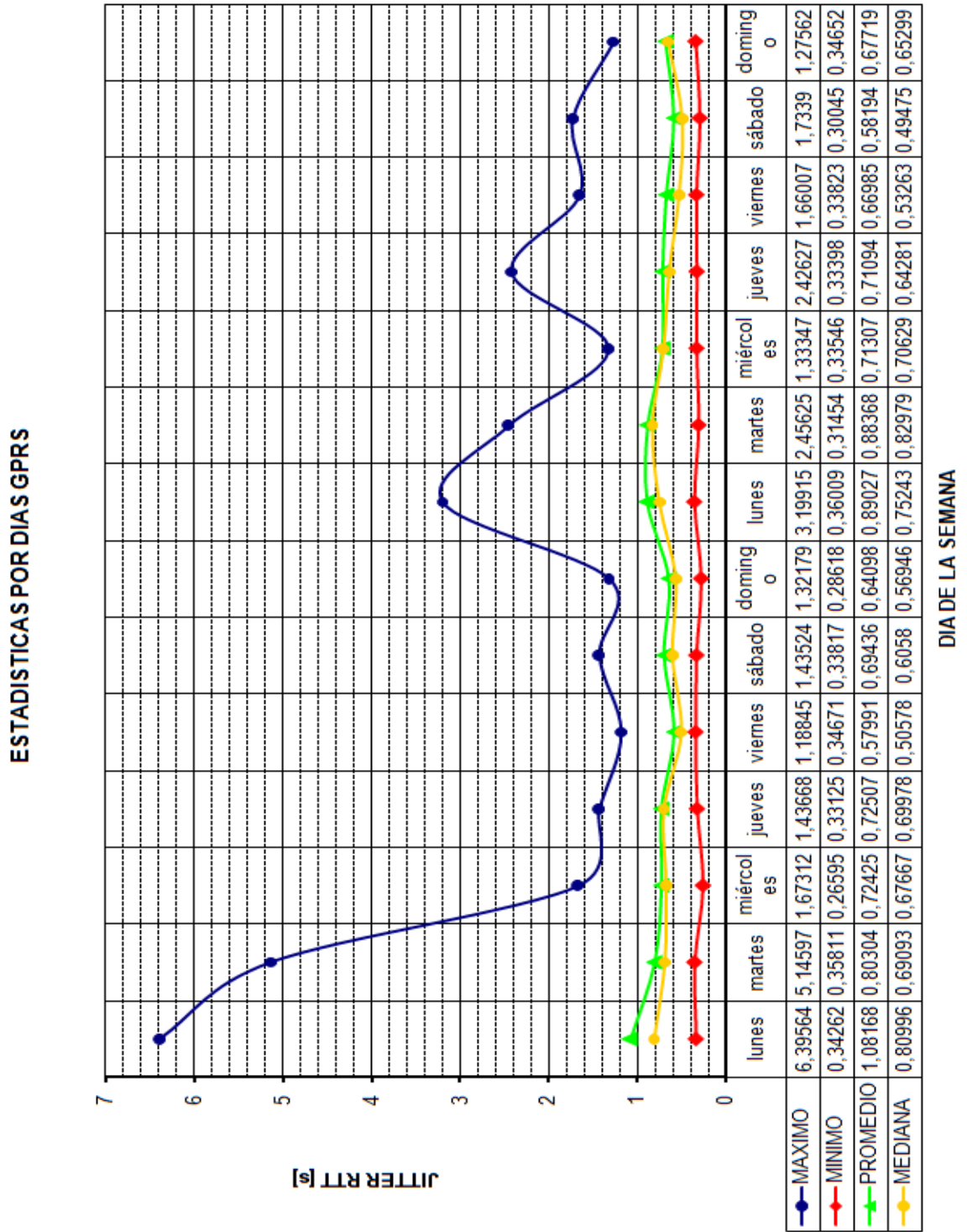
La línea azul con los máximos de RTT tiene un máximo en 6.39 s de 15:00 pm a 15:30pm, igualmente un mínimo de 0.819 s de 20:30 pm a 21:00 pm.

EL promedio referenciado con la línea verde se alcanza un mínimo en 0.52 s a las de 24:00 am a 00:30 am y un máximo 1.611 s de 11:00 am a 11:30 am.

La mediana tiene un máximo de 0.882 s a las 09:00 am a 09:30 am y un mínimo de 0.393 s a las 4:00 am a 4:30 am.

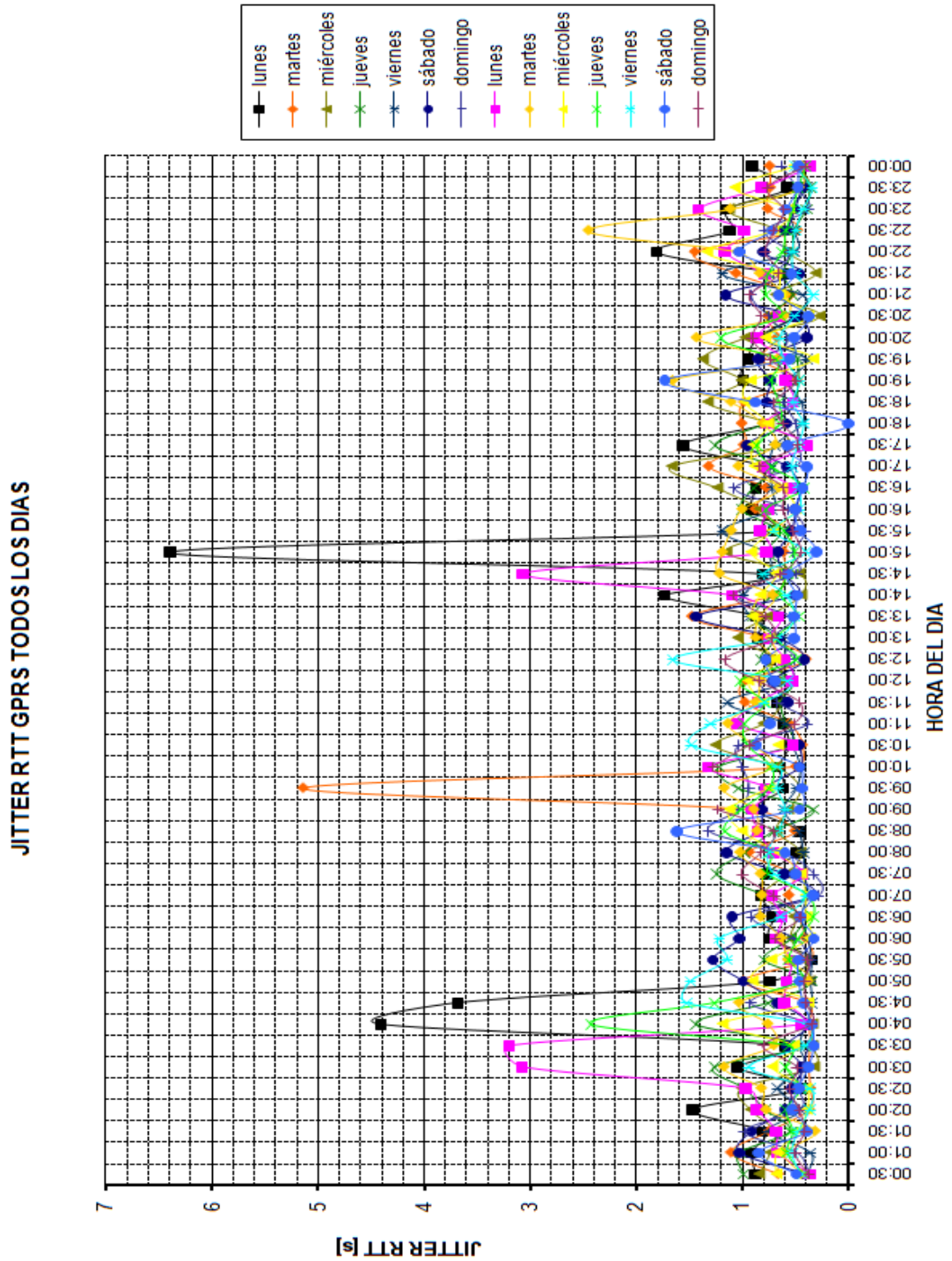
Finalmente, un análisis cualitativo arroja que el RTT se mantiene constante, con pequeñas fluctuaciones de crecimiento los lunes y martes. En cuanto a horas del día en la figura 22 se observa que el RTT se mantiene con pocas fluctuaciones excepto por un valor no tan significativo de descenso de 2:00 am a 6:30 am.

Figura 20. Estadísticas de JITTER RTT con protocolo ICMP.



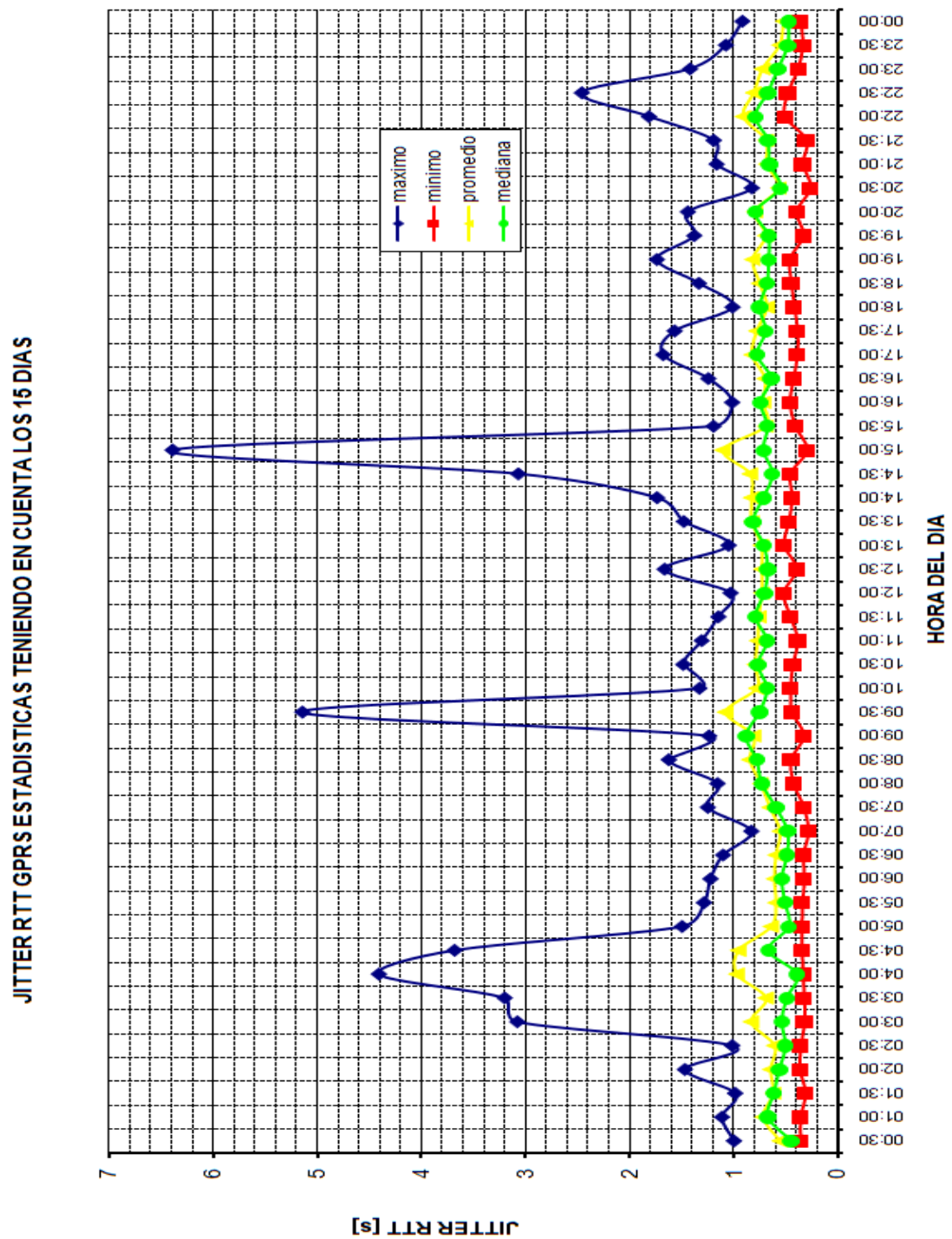
Fuente: Autor.

Figura 21. Estadísticas de JITTER RTT para GPRS, presentado todos los días simultáneamente.



Fuente: Autor.

Figura 22. Estadísticas JITTER RTT para protocolo TCP de carga por hora del día.



Fuente: Autor.

3.3.4 Resultado de pruebas de RTT en ICMP. Respecto a las medidas de retardo en especial para RTT bajo el protocolo ICMP, se puede observar que en la figura 23 están ordenados el RTT por días de la semana, se deduce para la línea roja que representa a los valores mínimos que su pico máximo es 1284.2 ms el día viernes y el mínimo es de 1221.876 ms el día jueves, el promedio de todos los mínimos es de 1255.09 ms. En cuanto a los mayores valores de RTT ICMP en color azul, su mayor pico lo alcanza 7027.4 ms el día lunes, igualmente su mínimo es de 2301.3ms el día martes y el promedio de máximos es de 4666.08 ms.

Concerniente a los promedios totales (línea verde) se observa que su máximo es de 1883.25 ms el día lunes, el mínimo valor es de 1506.94 s el día viernes, por último el promedio total de RTT ICMP es de 1706.2 ms.

En cuanto a la mediana (la línea de color amarillo), su máximo pico es de 1669.4 ms el día martes, mínimo es de 1390.15 ms el día sábado y el promedio de mediana es de 1487.78 s.

Relativo a la figura 24 se observa que los datos de RTT están ordenados por horas, mostrando para cada día de la semana, así mismo en la figura 25 se observan las estadísticas de RTT promediado de todos los días, visualizando su máximo, mínimo, promedio y mediana de la cual se puede concluir lo siguiente: para el mínimo valor de RTT ICMP por hora del día, línea roja de la figura 25 su mínimo es de 1221.8 ms de 5:00 pm a 5:30 pm; en cuanto a su máximo es de 1455.2 ms de 13:30 pm a 14:00 pm.

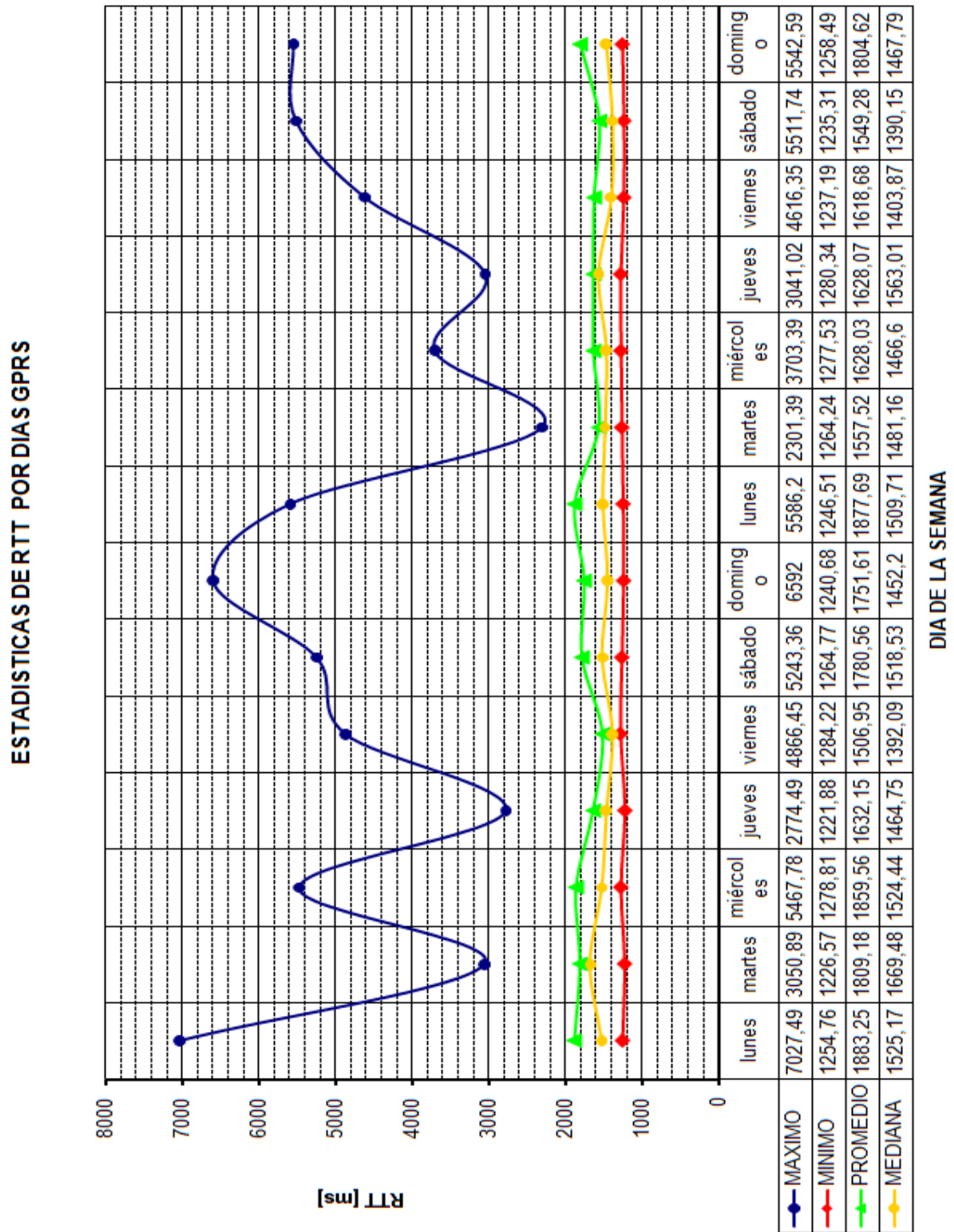
La línea azul con los máximos de RTT ICMP se puede concluir que tiene un máximo en 7027,49 ms de 14:30 pm a 15:00 pm, igualmente un mínimo de 1433.27 ms de 03:30 pm a 04:00 pm.

El promedio referenciado con la línea verde presenta un mínimo en 1321.8 ms entre las 03:30 am a 04:00 am y un máximo 2286,9 ms de 09:30 am a 10:00 am.

La mediana tiene un máximo de 1915.64 ms de las 21:30 pm a 22:00 pm y un mínimo de 1306.05 ms a las 5:00 am a 5:30 am.

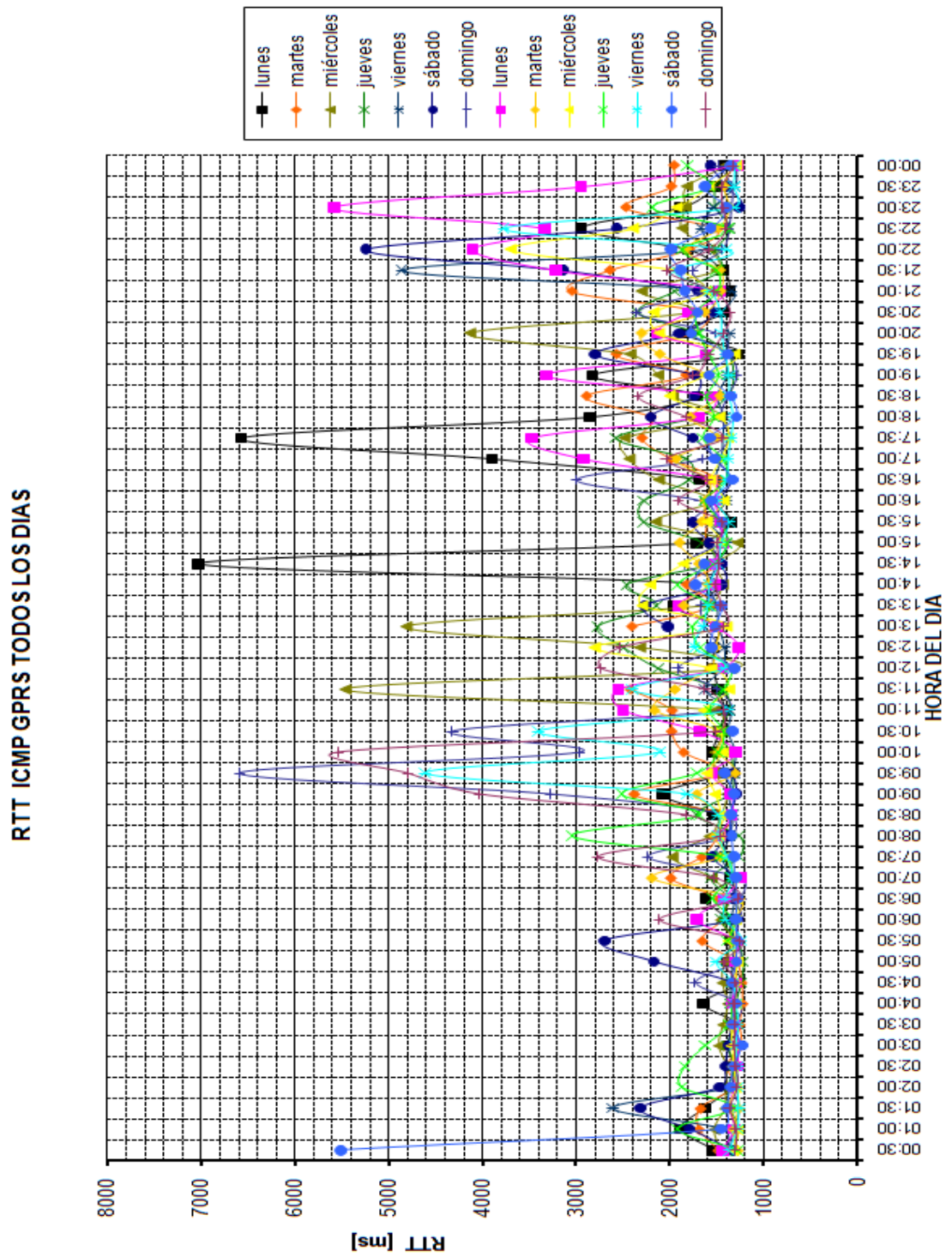
Finalmente, un análisis cualitativo arroja que el RTT se mantiene constante, con pequeñas fluctuaciones de crecimiento los lunes y martes y domingo. En cuanto a horas del día en la figura 25 se observa que el RTT se mantiene con pocas fluctuaciones excepto por un valor no tan significativo de ascenso de 9:00 am a 14:00 am y de 17:00 am a 18:00 am.

Figura 23. Estadísticas de RTT con protocolo ICMP



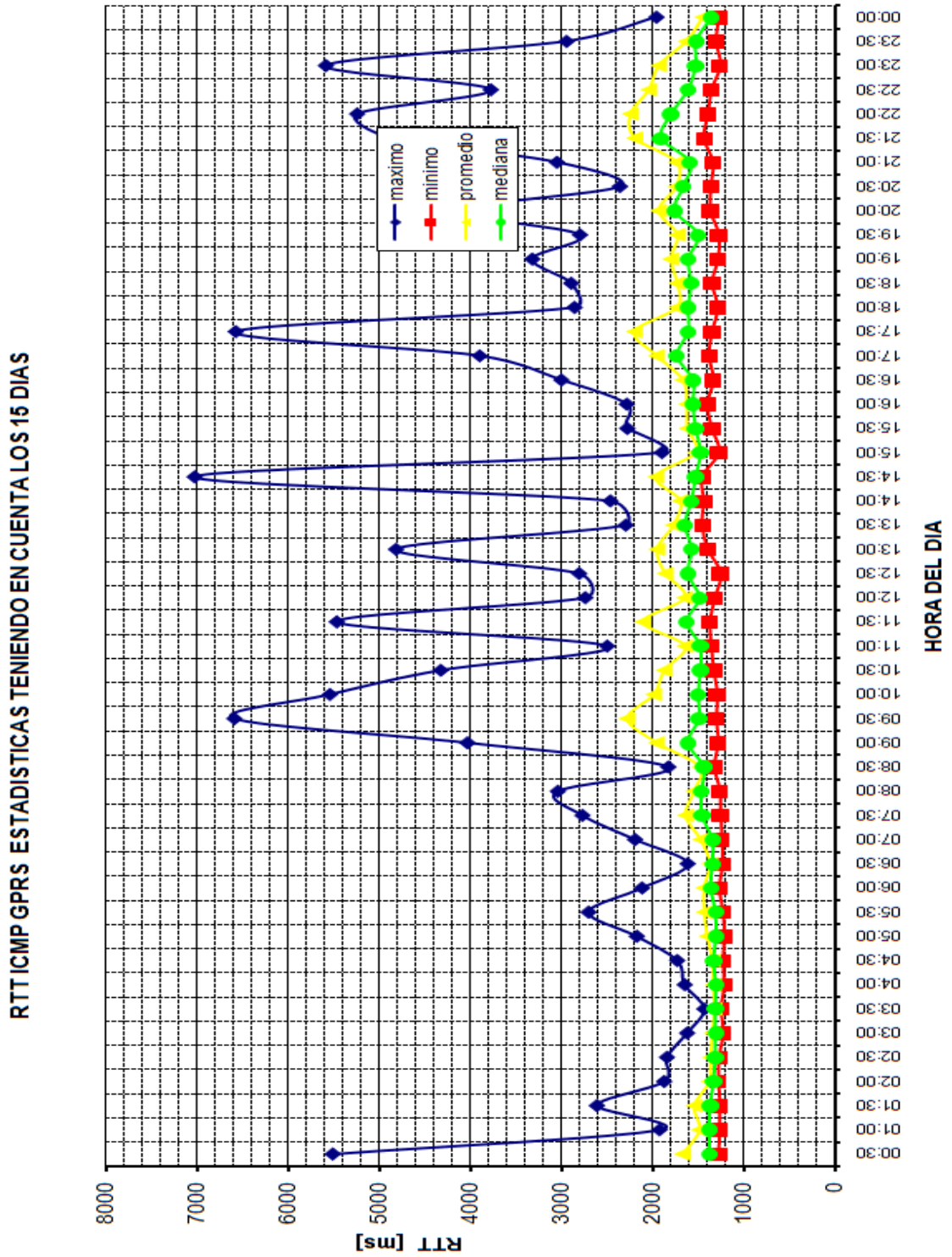
Fuente: Autor.

Figura 24. Estadísticas de RTT para protocolo ICMP en GPRS, presentado todos los días simultáneamente



Fuente: Autor.

Figura 25. Estadísticas RTT de carga protocolo ICMP por hora del día.



Fuente: Autor.

3.3.5 Resultado de Pruebas de JITTER en protocolo ICMP. En la figura 26 los resultados para medidas de retardo de JITTER ICMP están ordenados por días de la semana. La línea roja, que representa a los valores mínimos del JITTER ICMP, alcanza un punto máximo de 49.278 ms el día martes, y uno mínimos de 18.24 ms el día lunes. El promedio de todos los mínimos es de 35.0 ms.

En cuanto a los máximos valores de JITTER RTT (línea color azul), su mayor pico lo alcanza con un JITTER de 940.6 ms el día viernes. Su mínimo es de 395.06 ms el día miércoles y el promedio de máximos es de 596.95 ms.

Referente a los promedios totales (línea verde), se observa que su máximo JITTER RTT es de 210.06 ms el día lunes, y el mínimo valor es de 142.66 ms el día miércoles. Por último el promedio total de JITTER es de 171.47 ms.

Finalmente, en cuanto a la mediana (línea de color amarillo), su máximo RTT pico es de 181.04 ms el día martes, el mínimo es de 88.6 ms el día viernes y el promedio de mediana es de 134.52 ms.

La figura 27 representa los datos de JITTER RTT, ordenados por horas para cada día de la semana. Así mismo en la figura 28 se observan las estadísticas de RTT promediado de todos los días, visualizando su máximo, mínimo, promedio y mediana de la cual se puede concluir lo siguiente: El mínimo valor de JITTER RTT por hora del (día línea roja de la figura 24) su pico más bajo es de 18.241 ms en el horario de 05:30 pm a 06:00 pm. En cuanto a su máximo es de 135.51 ms de 13:30 pm a 14:00 pm.

En la línea azul que corresponde a los valores máximos de RTT, se puede concluir que su mayor pico está en 940.64 ms de 09:30 pm a 10:00 pm y que su punto mínimo es 83.704 ms de 04:00 pm a 04:30 pm.

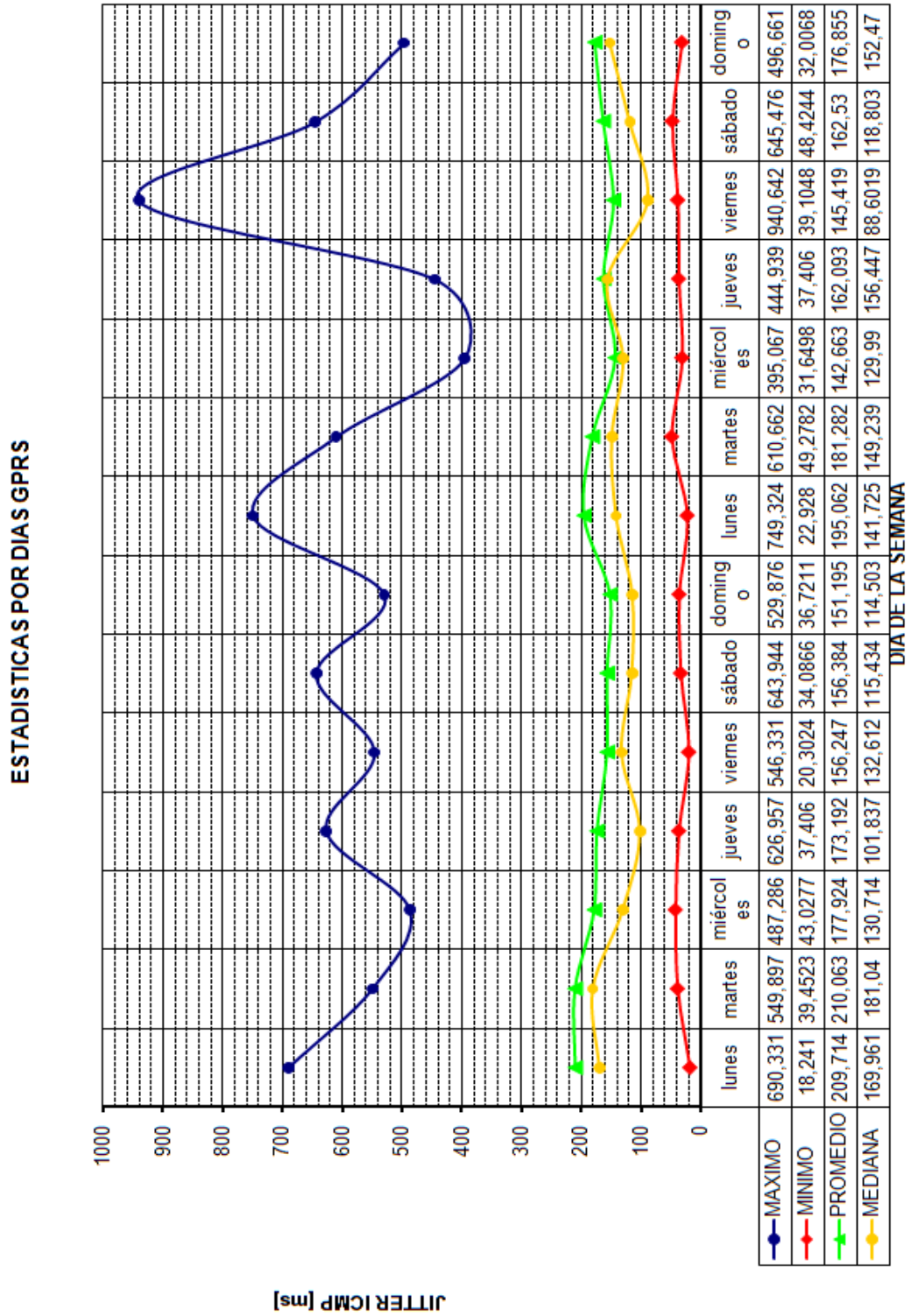
Lo concerniente al promedio de datos de RTT referenciado con la línea verde, representa un mínimo en 53.93 ms en el horario de 4:00 am a 4:30 am y un máximo 280.92 ms de 19:30 a 20:00 pm.

La mediana tiene un máximo de 276.41mss de 19:30 pm a 20:00 pm y un mínimo

de 51.35 ms de 4:00 am a 4:30 am.

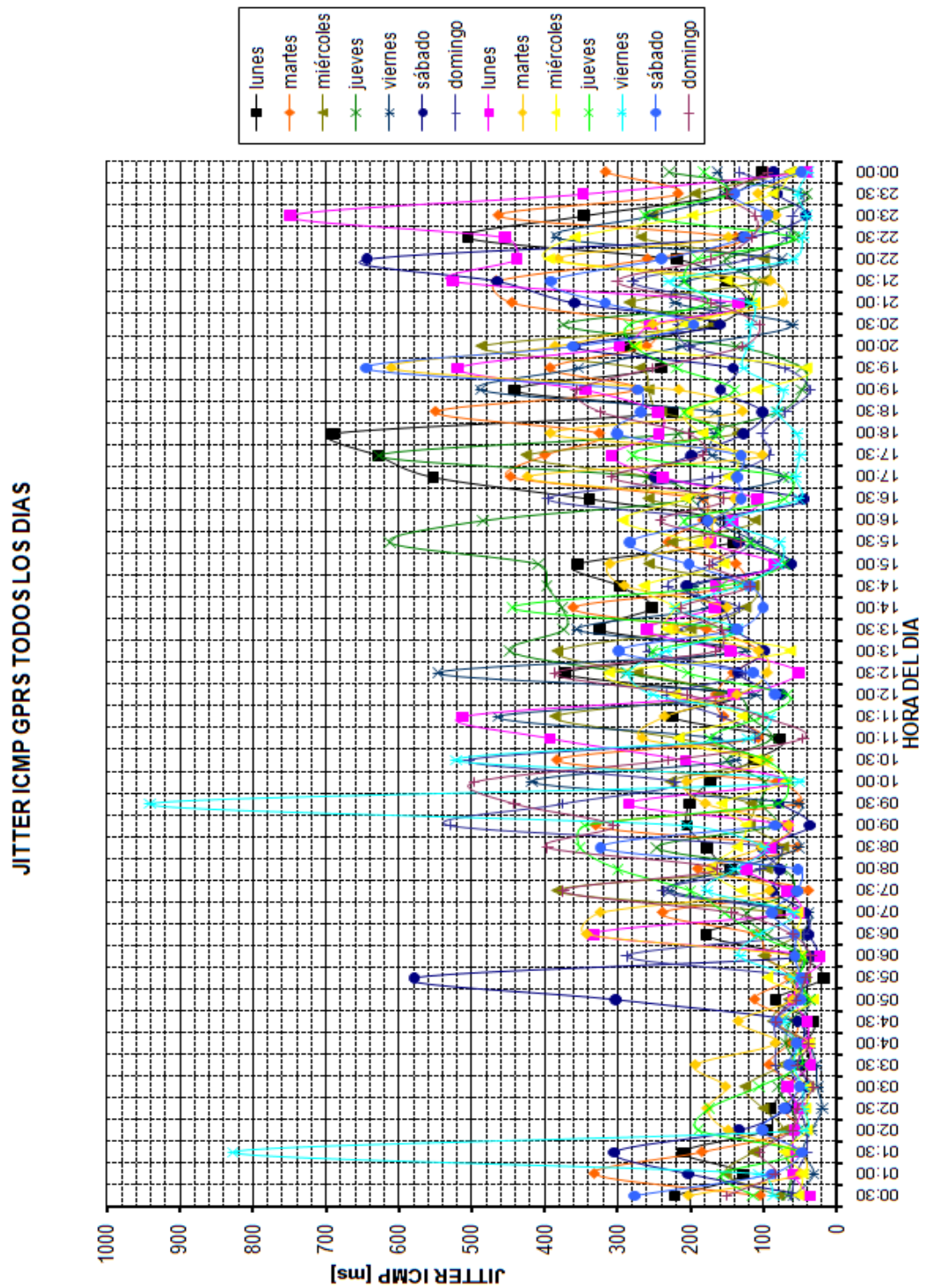
Finalmente, un análisis cualitativo arroja que el RTT se mantiene constante, con pequeñas fluctuaciones de crecimiento los lunes y martes. En cuanto a horas del día en la figura 28 se observa que el RTT es bajo de 2:00 am a 6:00 am, y un significativo descenso de 17:00 pm a 20:00 pm.

Figura 26. Estadísticas de JITTER RTT con protocolo ICMP



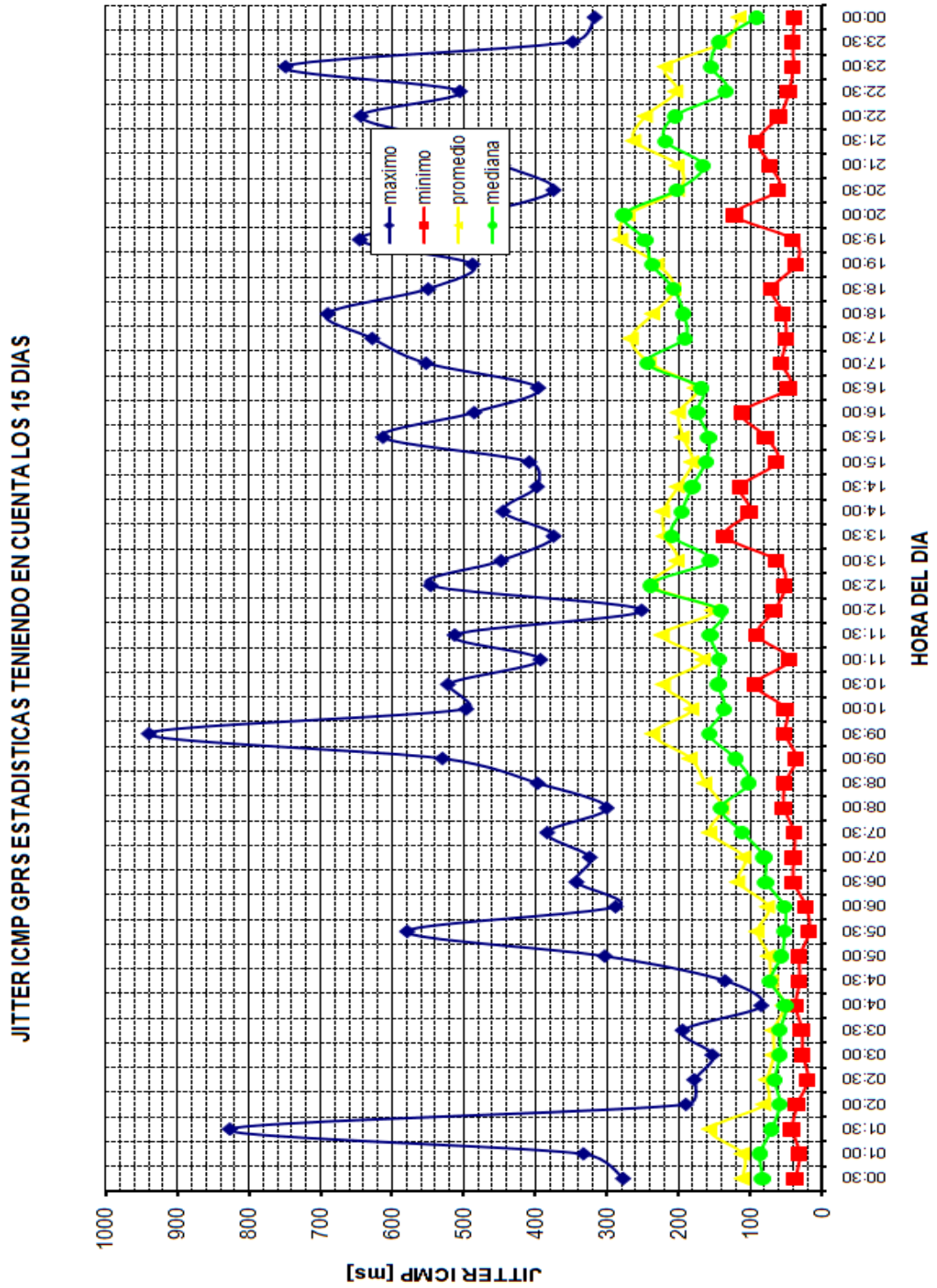
Fuente: Autor.

Figura 27. Estadísticas de JITTER RTT para protocolo ICMP en GPRS, presentado todos los días simultáneamente.



Fuente: Autor.

Figura 28. Estadísticas JITTER RTT de carga protocolo ICMP por hora del día.



Fuente: Autor.

3.3.6 Resultado de pruebas de THROUGHPUT. En la figura 29 se observa el throughput por días de la semana, el promedio máximo de los datos (línea de color azul), alcanza un pico de throughput de 0.41 Mbps, y su valor pico mínimo es de 0.0538 Mbps. En cuanto al promedio de todos los máximos, su valor tiende a 0.128Mbps.

Concerniente al valor mínimo (línea de color rojo) de figura 29 su valor pico más alto lo alcanza en 0.023 Mbps y el mínimo es 0.00857 Mbps. El promedio de todos los mínimos es de 0.034 Mbps, Para la mediana (línea de color amarillo) su pico máximo es de 0.0458 Mbps en día viernes, su pico mínimo 0.03316 Mbps el día domingo, el promedio de medianas es de 0.0379 Mbps.

Finalmente se tienen los promedios de todos los datos (línea de color verde) su pico máximo es de 0.045 Mbps el día viernes, el pico mínimo de los promedios es de 0.03408 Mbps el día lunes, el promedio total de ancho de banda es de 0.03995 Mbps.

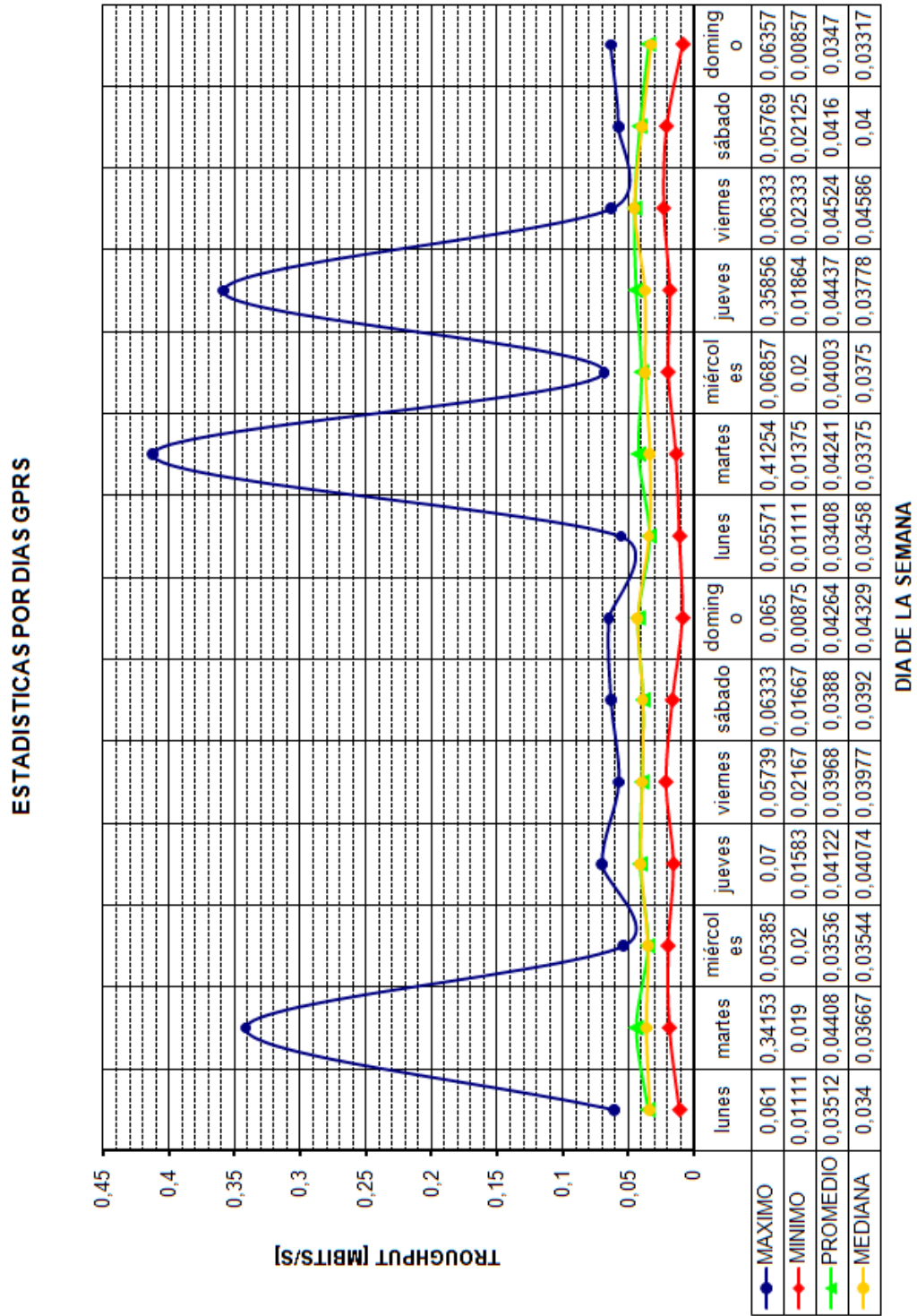
En la figura 30 se observan los datos de throughput versus el promedio durante 24 horas consecutivas para cada día de la semana en que se desarrolló la prueba. Una gráfica similar es la figura 31 donde igualmente se muestran los promedios de throughput por horas del día, sin embargo esta última es el promedio de todos los días, visualizando la mediana, máximos y mínimos y su promedio total. En cuanto a datos máximos promedios de throughput por horas (línea de color azul) su pico más alto es 0.412 Mbps a las 4:30 am a 5:00 am, el pico mínimo de los máximos es de 0.040 Mbps de 12:30 pm a 01:00 pm.

En cuanto a valores mínimos por hora del día (línea roja) su pico máximo es de 0.035 Mbps de 3:30 am a 4:00 am, su pico mínimo es de 0.00857 Mbps de las 09:30 pm a 10:00 pm. Referente a promedios totales por horas del día (línea de color verde) su pico máximo es de 0.0729 Mbps de 04:30 am a 5:00 am. En cuanto al promedio mínimo es de 0.0274 Mbps de 09:30 am a 10:00 am.

Finalmente, en un análisis cualitativo, se observa que hay muy pocas

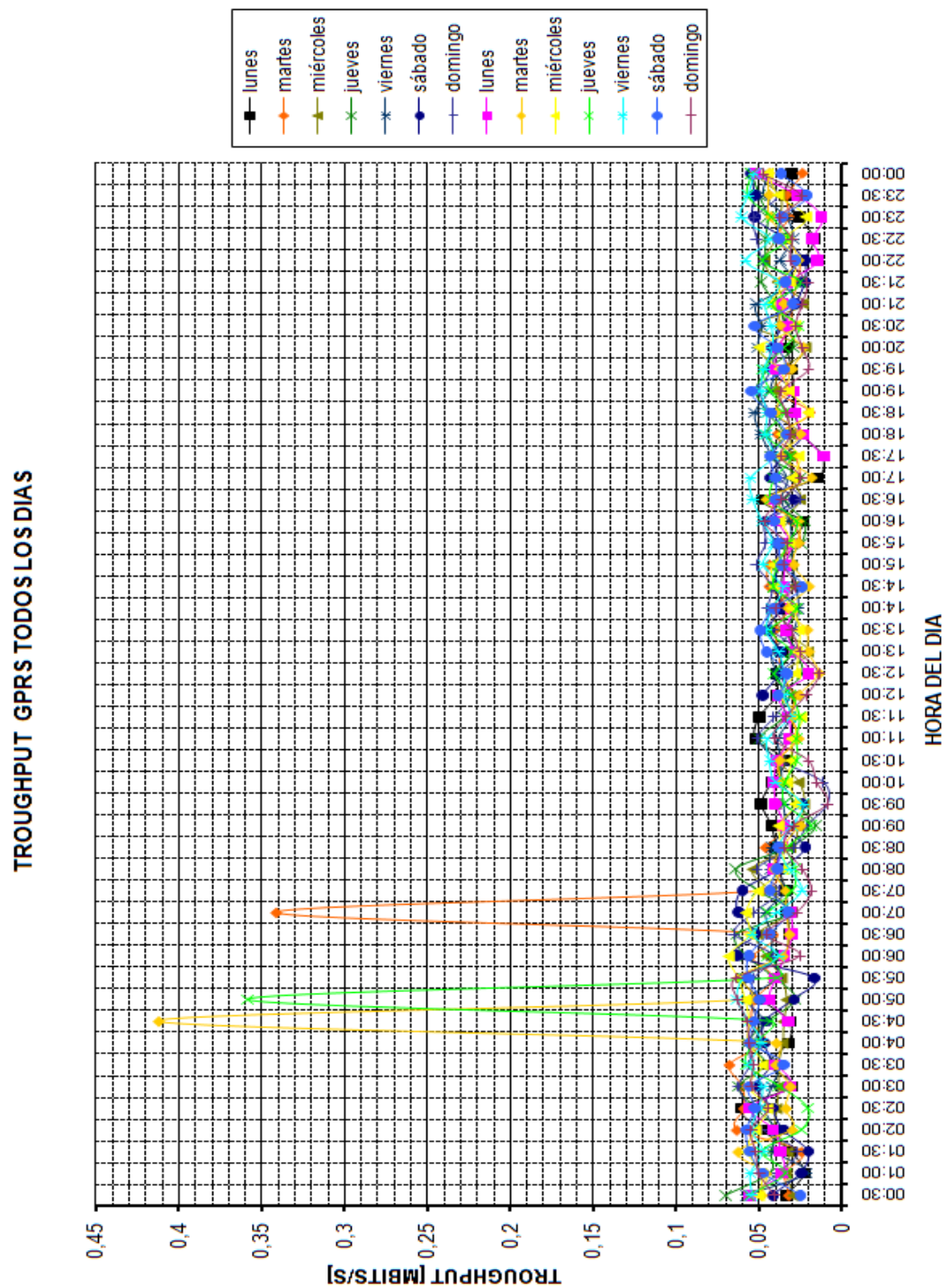
fluctuaciones del throughput que decaen el día lunes y martes aunque no es tan significativo. Así mismo su tendencia hacia un valor máximo se observa los días viernes y jueves. En cuanto a horas del día hay un máximo durante las 04:00 am y las 6:00 am como se observa en figura 31.

Figura 29. Estadísticas de Throughput con protocolo TCP



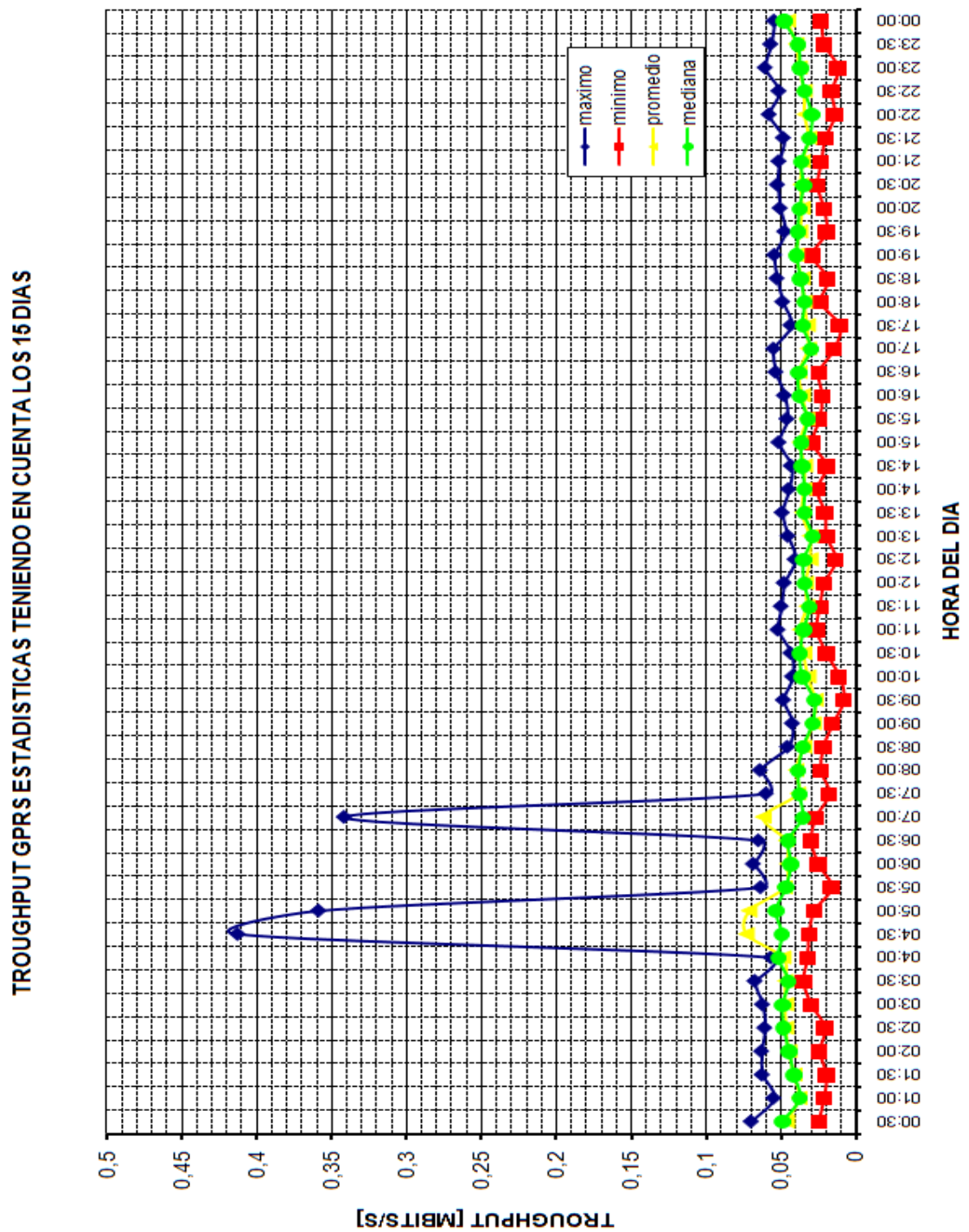
Fuente: Autor.

Figura 30. Estadísticas de Throughput en GPRS, presentado todos los días simultáneamente.



Fuente: Autor.

Figura 31. Estadísticas de Throughput para protocolo TCP por hora del día.



Fuente: Autor.

3.3.7 Resultado de pruebas de latencia en TCP. En la figura 32 los resultados para medidas de retardos, en especial para latencia TCP, están ordenados por los días de la semana. Se puede observar en la línea roja, que representa los valores mínimos de latencia, un alcance máximo de 780223.6 μs día lunes y el valor mínimo es de 666676 μs el día lunes, el promedio de todos los mínimos más bajos es de 741636.5 μs .

En cuanto a los máximos valores de latencia (línea color azul), su mayor pico lo alcanza con una latencia de 10000056.3us el día lunes, su mínimo es de 1768900.8 μs el día sábado y el promedio de máximos es de 4724713.59 μs .

Referente a los promedios totales (línea verde), se observa que su máximo de latencia es de 1418228.58 μs el día lunes, el mínimo valor es de 914331.18 μs el día sábado. Por último, el promedio total de latencia es de 1117759.22 μs .

Finalmente, en cuanto a la mediana (línea de color amarillo), su máximo latencia pico es de 966338.2 μs el día martes, el mínimo es de 803814 μs el día viernes y el promedio de mediana es de 857480.89 μs .

Referente a la figura 33 se observa que los datos de latencia están ordenados por horas, mostrando para cada día de la semana, así mismo en la figura 34 se observan las estadísticas de latencia promediado de todos los días, visualizando su máximo, mínimo, promedio y mediana de la cual se puede concluir lo siguiente: para el mínimo valor de latencia por hora del día, línea roja de la figura 34 el valor pico mínimo es de 666676 μs en el horario de 07:30 pm a 08:00 pm. En cuanto a su máximo es de 834793.49 μs de 13:30 pm a 14:00 pm.

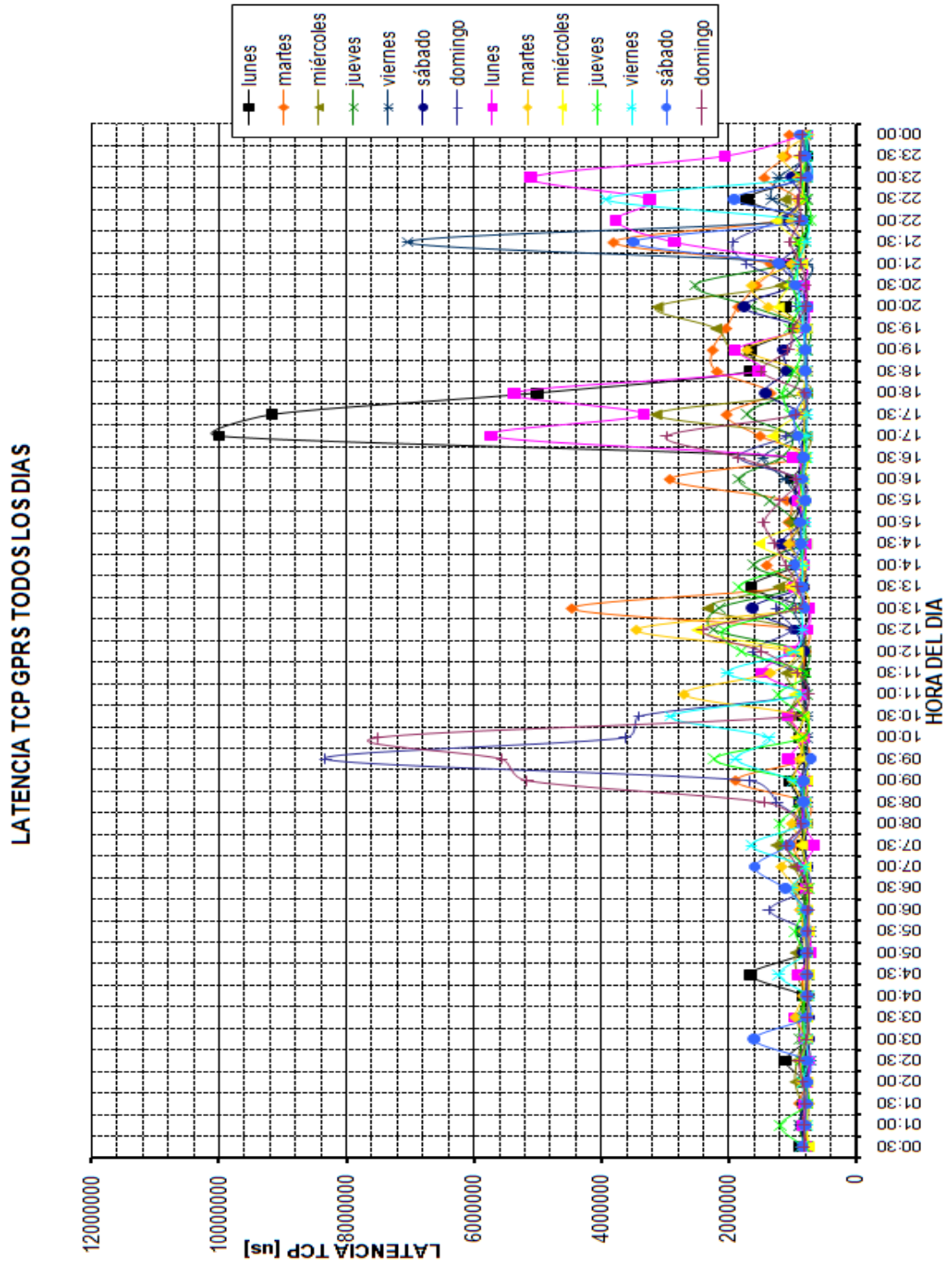
La línea azul que corresponde a los valores máximos de latencia, tiene un máximo es de 10000056 μs en el horario de 17:00 pm a 17:30 pm, de forma similar un mínimo de 845038.84 μs de 04:00 pm a 04:30 pm.

Lo concerniente al promedio de datos de latencia referenciado con la línea verde, se observa un mínimo en 790800.17 μs en el horario de 05:00am a 5:30am y un máximo 2112226.83 μs de 17:00 a 17:30.

La mediana tiene un máximo de 1032215.8 μ s de 20:00 pm a 20:30 pm y un mínimo de 773621.6 μ s de 05:00 am a 05:30 am.

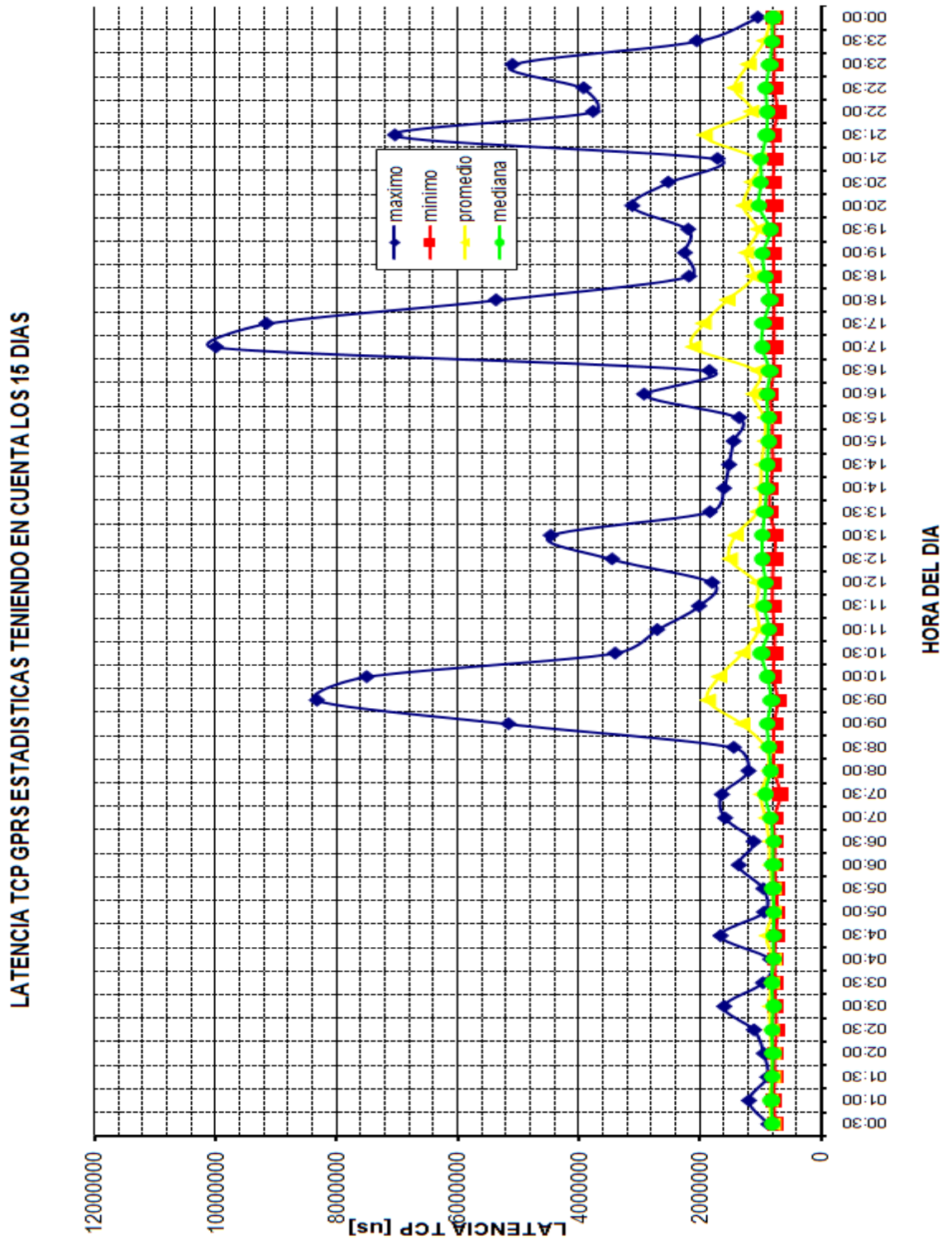
Finalmente un análisis cualitativo arroja una latencia con tendencia a mantenerse constante, con pequeñas fluctuaciones de crecimiento los domingo, lunes y martes. En cuanto a horas del día en la figura 34 se observa una latencia con pocas fluctuaciones excepto por un valor no tan significativo de ascenso de 8:30 am a 10:30 am y de 16:30 pm a 18:00 pm.

Figura 33. Estadísticas de latencia en GPRS, presentado todos los días simultáneamente



Fuente: Autor.

Figura 34. Estadísticas de Latencia para protocolo TCP por hora del día



Fuente: Autor.

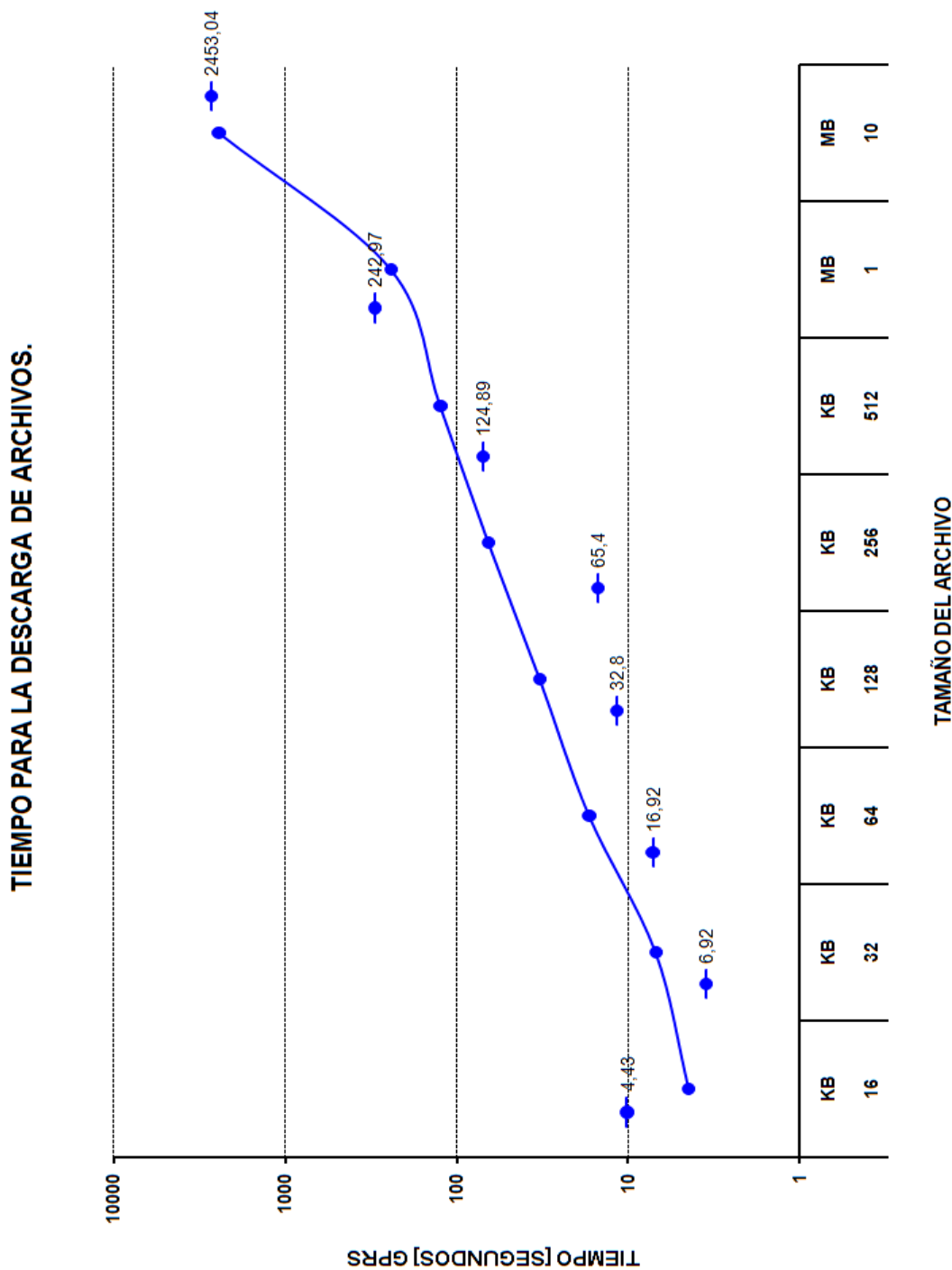
3.4 RESULTADOS DE PRUEBAS AL ENVIAR ARCHIVOS DE DIVERSOS TAMAÑOS

3.4.1 Resultados de tiempo transcurrido para el envío de archivos de diferentes tamaños. Como se observa en la figura 35 el tiempo transcurrido versus el tamaño archivo que se va a enviar, se comporta tendiente a una línea recta con pendiente positiva, como respuesta al cambio del tamaño de archivo de interés. Como se puede ver, cuando el tamaño del archivo pasa de 64KB a 128 KB se duplica su tiempo transcurrido de 16.92 s a 32.8 s, con tendencia similar para los demás archivos, debido a que su ancho de banda envía a una tasa con pocas fluctuaciones como se visualiza en la siguiente prueba. El cambio abrupto de crecimiento en el intervalo de 1 MB a 10 MB, se debe por incrementar el tamaño del archivo en 10 veces, como respuesta, el retardo se incrementa de 242.97 s a 2453.04 s.

3.4.2 Resultados del ancho de banda para descarga de archivos a diferentes tamaños. Como se observa en la figura 36 el ancho de banda decreció al incrementar el tamaño de envío de los archivos. La tasa se mantiene en 51.22 kbps, sin mayor cambio durante el envío de los cuatro primeros archivos 16 KB, 32 KB, 64 KB y 128 KB, esto debido a que el desempeño de la red tiene un buen comportamiento para archivos de reducido tamaño. Luego hay un descenso en el ancho de banda a 32.5 kbps para los tamaños de archivo entre 128 KB a 512 KB y se mantiene sin muchos cambios hasta alcanzar los 10 MB.

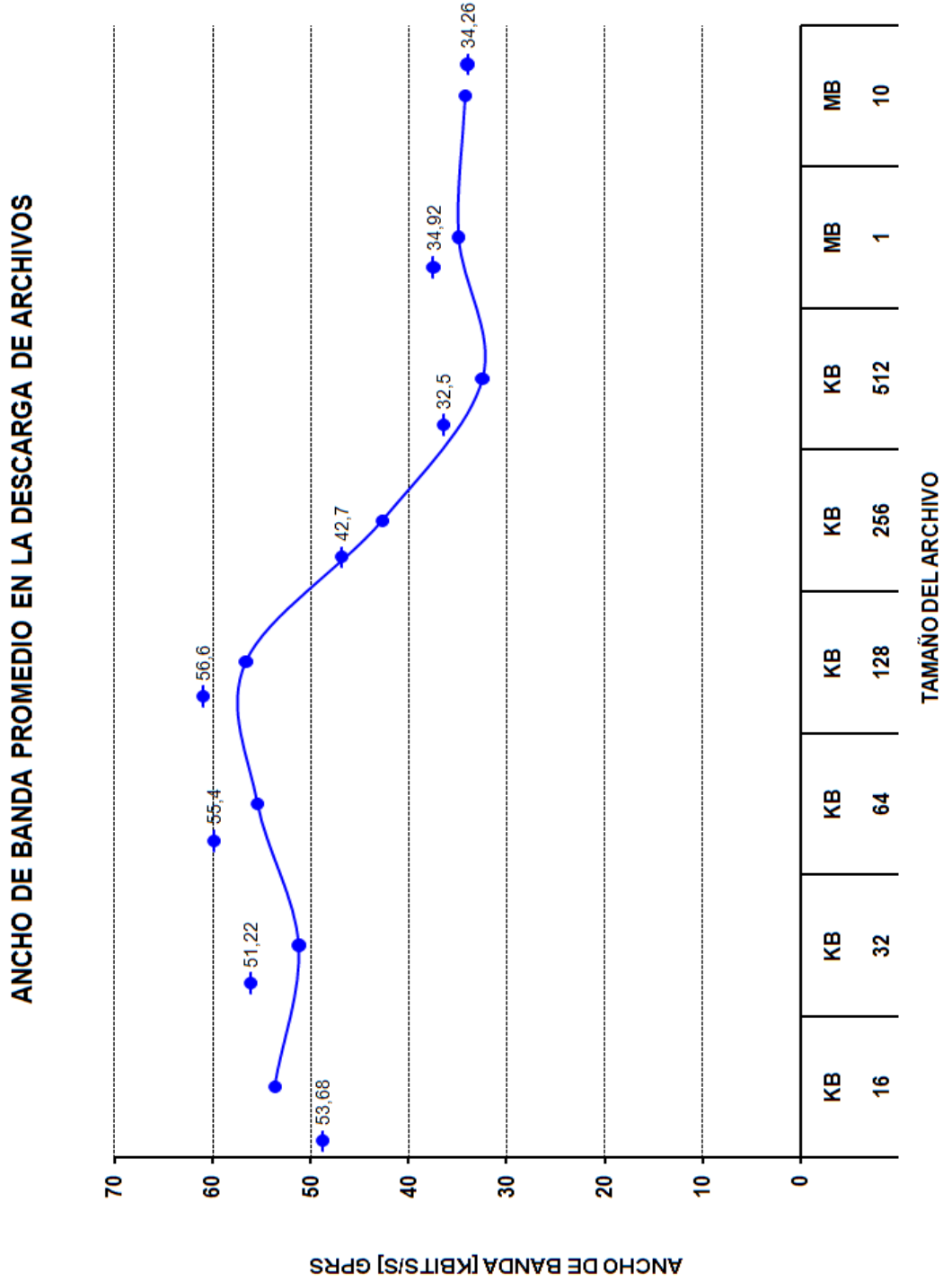
Esta reducción de un 36% en el ancho de banda al enviar archivos en protocolo TCP se debe a una desmejora del desempeño de la red, al enviar archivos tamaño considerable para GPRS.

Figura 35. Tiempo transcurrido versus envío de archivos de tamaños diversos.



Fuente: Autor.

Figura 36. Ancho de banda versus envío de archivos de diversos tamaños



Fuente: Autor.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL ENLACE, DISPONIBILIDAD Y SERVICIO

4.1 MATERIALES

Para la implementación requerida en la realización y puesta en servicio del sistema de comunicaciones punto a punto para el sistema SITELRED, se observa en la tabla 4 que la instalación está conformada por el sistema de adquisición de datos (equipo de medida de la calidad de energía eléctrica, gateway ZigBee), acometida eléctrica de potencia (líneas de energía eléctrica, toma múltiple y fusibles), el sistema de comunicación (Gateway y router Lynksys para acceso inalámbrico al equipo), cada sistema es resguardado en una caja, con las correspondientes bisagras para asegurar el lugar.

Tabla 4. Implementos requeridos para la implementación del sistema.

NOMBRE DEL MATERIAL	CANTIDAD
Gateway GPRS Viola Artic	1
Equipos medidores de calidad	2
Router Wi-Fi Linksys	2
Cajas Herméticas 43*43*20 marca TablePlast	4
Cable UTP categoría 5	40[m]
Riel Din	4 [m]
Acople metálico de soporte para cajas.46*46*20	2
Tubo de silicona líquida	1
Porta fusible de 3 fusibles	4
Regleta eléctrica de 4 puestos para empalme de cables.	2
Muticoma de 5 puestos.	2
Alambre calibre 12 Centelsa	20 [m]
Alambre calibre 10 Celtensa	40 [m]
Amarretes plásticos de 15cm	50
Tornillos, tuercas y arandelas de 3pulgadas	50
Tornillos golosos de ¾ de pulgada con arandela	50

Fuente: Autor.

4.2 IMPLEMENTACIÓN AL SITELRED

Los implementos requeridos para el montaje en la caja del sistema SITELRED, están dispuestos en la tabla 4. El prototipo consta de una caja 46*46*20 de dos compartimentos, por un lado se aloja el sistema de calidad figura 37 y por el otro el sistema de comunicaciones figura 38.

Figura 37. Prototipo del sistema de comunicación, modem y router.



Fuente: Autor.

Figura 38. Prototipo de analizador de redes eléctricas y acometidas.



Figura 39. Implementación del prototipo final sistema de comunicación y de calidad de energía



Fuente: Autor.

Finalmente, se dispone implementar el prototipo en un poste de distribución de energía eléctrica (ver Figura 39).

4.3 DISPONIBILIDAD DE LA RED GPRS EN BUCARAMANGA

4.3.1 Generalidades de planificación de redes de telefonía móvil. Los criterios que permiten evaluar la calidad de servicio de una red celular depende según Ceria y Sassano[8]:

- a. El proveedor garantice cobertura, es decir, un porcentaje de territorio al que llega señal de las antenas celulares.
- b. Nivel de señal/ruido que puede presentarse debido a la interferencia entre antenas.

Por lo cual es imprescindible para un sistema de telemetría conocer la cobertura para garantizar la implementación del enlace de medida donde se requiera.

Cuando se conoce la situación geográfica y los parámetros eléctricos de radio de las antenas se fijan por adelantado, la relación SNR depende de las frecuencias

asignadas a la red. En general el nivel de señal SA/NB, donde SA (señal emitida por la antena A) y SB (ruido generado por la antena B), aumenta con la distancia entre las frecuencias asignadas a las antenas A y B.

Por lo cual es necesario utilizar herramientas que permitan optimizar estas frecuencias y la cobertura, con el propósito de maximizar los índices de calidad del servicio QoS.

En la tabla 5 se presenta un listado con algunas de las herramientas software más conocidas a nivel mundial para realizar planificación de redes móviles. Se hace una pequeña descripción de las características básicas de las herramientas y de las tecnologías que soportan. Se incluye además los URL para ampliar la consulta.

Para la simulación se utilizan diversos modelos de propagación en función del entorno sea urbano, rural, interior exterior tales como: UITR-1546, UITE-56, Hata, COST-231 y Xia-Bertoni entre otros.

Uno de los criterios a tener en cuenta en la simulación para la cobertura es que existe una relación entre pérdidas de paquetes y la distancia de la micro-celdas de las estaciones bases involucradas. Si la micro-celda opera en insolución, su área de servicio será definida por el superficie que ofrece mayor pérdida de paquetes ver Gould P. R. [11].



El procedimiento para ejecutar un simulador de planeación celular es:



1. Disponer de equipos informáticos.
2. Ubicar la situación geográfica de las radio bases en un mapa.
3. Ingresar los parámetros radio eléctrico de las antenas.
4. Asignación de frecuencias.
5. Herramientas de simulación tales como: Radio Earth, Signal Pro EDX, TEMS CellPlanner. Ver tabla 5



6. Seleccionar Modelos de propagación.
7. Ejecuta simulador.
8. Generación de base de datos, con coberturas radio eléctricas de potencia, mapas de densidad de potencia o de campo eléctrico.
9. Realizar campaña de medidas (verifica simulaciones).



En cuanto a la cobertura que arroja un simulador, se incluye un ejemplo del resultado de una simulación de cobertura para una red de telefonía móvil para un área urbana la cual utiliza predicciones Cost-Hata (Figura 40.a) y predicción WaveSight (Figura 40.b)

Tabla 5. Herramientas de planeación y simulación de redes celulares.

Simulador	S.O	Descripción	Aplica para las tecnologías	URL
<p><u>AIRCOM</u> <u>ASSET</u></p> 	Windows Vista/7, 64 bit,	Diseña, planifica y optimiza la integración de redes, maximiza la calidad de servicio de la red ,analiza la cobertura, las interferencias y tráfico, planifica y organiza relaciones vecinas, analiza los escenarios actuales y futuros de capacidad con simuladores estáticos y dinámicos, ver los escenarios de la capacidad de planificación.	GSM, EGPRS, UMTS FDD, Mobile/Fixed WIMAX/BWA, CDMA2000, EV-DO Rev 0 /Rev A, DVB-H, TETRA,AMPS/TDMA, LTE.	http://www.aircominternational.com/products/asset
<p><u>Optimi</u> <u>xWizard</u></p> 	Windows 98/XP/vista	Múltiples tecnologías para soluciones de planificación de redes, funcionalidades avanzadas para predicción de propagación, análisis de rendimiento, simulación de red,	iDEM, TDMA, GSM, cdma2000, UMTS/HSPA, WIMAX, LTE.	http://www.optimi.com/products_xWizard.php

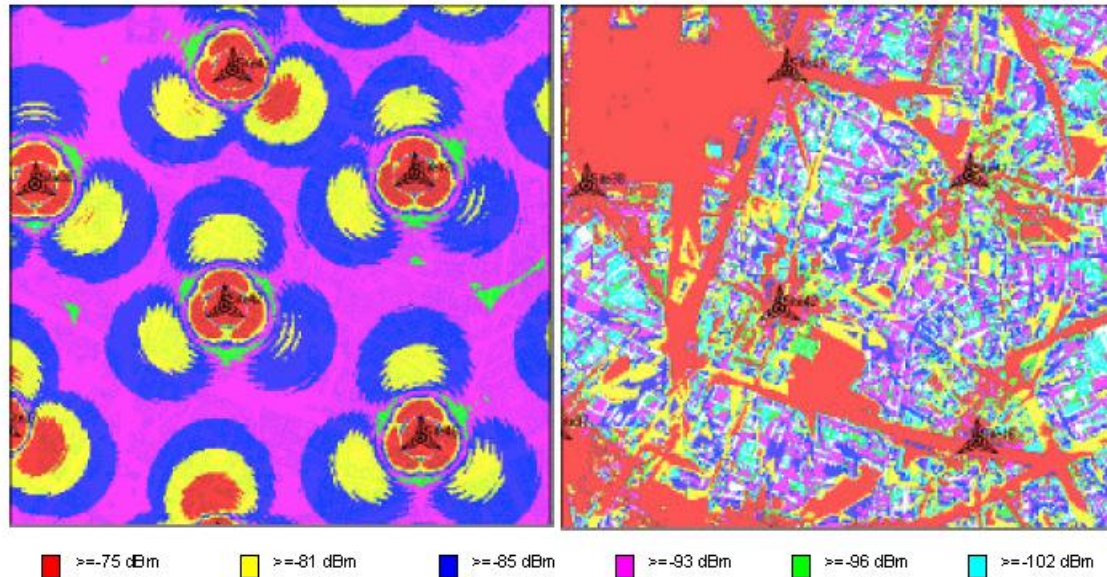
<u>EDX Signal Pro</u> 	Windows 98/NT/2000/xp/	Estudios de propagación por área de servicio, capacidad, enrutador y análisis de servicios punto a punto ó multipunto entre otras, disponibilidad tasa de datos basados sobre calidad de canal y Eb/No, antenas adaptativas.	Banda ancha inalámbrica Wimax, wi-fi, LTE GPRS, UMTS, y otros sistemas de radiocomunicación celular.	http://www.edx.com/products/signalpro_ndm.html
<u>ascom TEMS CELL PLANNER</u> 	Windows vista/7	Planifica, diseña y redes, analiza la cobertura e interferencia, planifica y optimiza con interferencia en vivo y trafico, Realiza la planificación de frecuencias automático (AFP), revisión de la capacidad de planificación y optimización de servicios de voz y datos, analiza archivos TEMS de registro de datos y modelos de propagación autoajustable.	WCDMA, GSM, WIMAX, EDGE y GPRS, HSPA, WCDMA, PUSC	http://www.ascom.com/en/index/products-solutions/our-solutions/solution/ant-planning-and-design/product/tems-cellplanner-2/solutionloader.htm
<u>ICS telecom V9</u>	Windows XP/vista 64 bit	Análisis de cobertura, cálculos de cobertura (cálculo del tiempo de optimización requerido sobre una	Redes celulares 3G, Wimax móvil , PMR&TETRA, RADAR,	http://www.atdi.es/

		estación por estación base), cálculo de la interferencia en modo cobertura, asignación de frecuencia, cobertura de satélite.	Microwave backbones, indoor/outdoor, WIFI.	
<u>WinPro</u> 	Windows Vista/XP/2000 /NT4/ME/98/95. Emuladores plataforma Unix	Adecuado para planificación macro-, mini-, micro-, y pico celdas, asignación de celda, superposición de portadoras, cobertura y numero de receptores/transmisores, número máximo de velocidad de transmisión	2G/2.5G GSM, GPRS/EDGE 3G y LTE , UMTS, HSDPA, WIMAX, TETRA.	http://www.awe-communications.com/
<u>RadioEarth</u>	Soporta todos los Windows	Coberturas de potencia, campo eléctrico, o de densidad de potencia, interferencia entre coberturas.	GMS, UMTS, TETRA, LMDS, MMDS, TDT, WI-FI.	http://www.radiatio.com/paginainicioradioearth.php
<u>CelPlanner</u>	Windows Vista/XP/ME 95/98/2000	Planificación, diseño y optimización. Aprovecha la disponibilidad de anchos de banda de canales múltiples y detalla los procesos de simulación de tráfico.	UMTS,HSPA+ WI-FI/WIMAX, LTE, Y DVB-H/SH, GPRS/EDGE GSM.	http://www.celplan.com/Products/CP.asp?Plan=true

<p><u>SIRADEL</u> <u>Vocano</u></p> 	<p>Windows NT/2000/2003/XP Soporta Citrix/Termin al server</p>	<p>Medio ambiente de múltiples conformidad (zonas rurales a urbanos densos), simulaciones de entorno cerrado hacia entorno al aire libre, modelo automático de sintonización, kit de herramientas de análisis de desempeño, simulaciones avanzadas (Power delay profile, retardar la propagación el factor de ortogonalidad)</p>	<p>VHF a SHF, 2G, 3G, WIMAX, , DVB, LTE</p>	<p>http://www.siradel.com/1/8.aspx</p>
<p><u>Teleplan</u> <u>ASTRIX</u></p> 	<p>Window XP/vista/7</p>	<p>Predicción de propagación, cobertura de red combinada, análisis de tráfico, modelo de propagación de sintonización de sintonizar herramientas, simulación con numerosos servicios activos</p>	<p>GSM/GPRS/EDGE, TETRA, UMTS, LTE, Microwave</p>	<p>http://www.teleplanglobe.com/</p>

Fuente: Autor

Figura 40. Cobertura utilizando el modelo Hata y Wavesight



Fuente: Tomado del simulador Asset.

Es evidente que el modelo empírico no tiene en cuenta los edificios, sin embargo WaveSight visualiza el efecto del cañón de las calles y el impacto de las estructuras físicas (edificios) en la propagación.

4.3.2 Disponibilidad de las redes móviles en la ciudad de Bucaramanga. En la ciudad de Bucaramanga se cuenta con el servicio de acceso a internet celular, por parte de los siguientes operadores: Tigo, Movistar y Comcel como se observa en la tabla 6.

Con la finalidad de conocer la disponibilidad y cobertura para la implementación de un prototipo de telemedición empleando esta tecnología se tramitaron varias solicitudes con los operadores que ofrecen el servicio de planes de datos GPRS en la ciudad de Bucaramanga. Se realizó la solicitud considerando las ubicaciones de todos los transformadores de la red de distribución de la empresa electrificadora de Santander. Los resultados de disponibilidad se observan en la tabla 6.

Tabla 6. Operadores de celular en la ciudad y disponibilidad.

Operador Celular	Tecnología ofrecida En Bucaramanga	Trámite de disponibilidad
Tigo	HSDPA, UMTS 3.5g y GPRS EDGE 2.5g	Ofrece el servicio 100% en el área metropolitana
Movistar	UMTS 3.5g y GPRS EDGE	Se tramitó sin respuesta
Comcel	UMTS 3.5g y GPRS EDGE	Se tramitó sin respuesta

Fuente: Autor

Los operadores no facilitaron la información técnica de ubicación geográfica de las radio bases, ni de las características técnicas de sus radios, por considerarla información confidencial y estratégica. Razón por la cual fue imposible hacer las simulaciones de cobertura, para conocer la disponibilidad.

Sin embargo el operador Tigo en el área metropolitana de Bucaramanga, cuenta - según lo hizo saber- con la respuesta a la solicitud con un 100 % de cobertura outdoor, para tecnología GSM. Esta información se ratifico al adjuntar en la solicitud la ubicación geográfica de cada transformador en la ciudad, confirmado la disponibilidad para cada uno de ellos. En lo referente a Comcel y Movistar mantuvieron una posición de reserva a la solicitud.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 CONCLUSIONES

En el presente proyecto se planteó y aplicó una metodología de mediciones para un enlace de telemetría mediante el Gateway Viola GPRS. Se ajustaron unas herramientas de desempeño y se utilizó un procedimiento para ejecutar dos tipos de pruebas tendientes: evaluar el desempeño de un nodo GPRS durante catorce días y unas pruebas de envío de archivos.

Las conclusiones más relevantes se catalogaron por el tipo de pruebas realizadas así:

1. pruebas de optimización de parámetros
2. pruebas sobre los retardos
3. pruebas de ancho de banda y throughput
4. Pruebas de envío de archivos

Finalmente es presentado conclusiones sobre cobertura y disponibilidad de la telefonía móvil en la ciudad.

En cuanto a las pruebas de optimización de los parámetros de red se concluye que:

- Al hacer un barrido con diferentes tamaños de ventana en las herramientas se encontró un máximo ancho de banda de carga y descarga de 41 kbps y 90 kbps, respectivamente para el tamaño de ventana 128 KB.
- Los valores donde se obtuvo un mejor desempeño tanto de ancho de banda como de RTT es para el tamaño de segmento de 1024 Bytes con 75 kbps y 4.7 s respectivamente.

Entre los resultados obtenidos de la evaluación realizada al enlace GPRS sobre los retardos se destaca:

- El sistema se caracteriza por un alto RTT con un valor promedio de 10,5 segundos para TCP.
- El comportamiento para los días lunes, martes y miércoles tuvo un ligero incremento aproximado de 9.7% en el valor de RTT, con respecto a los valores obtenidos el resto de días de la semana.
- Se obtuvo una latencia promedio de 1,1 segundos. En consecuencia la red GPRS es inadecuada para aplicaciones donde los retardos son relevantes.

En cuanto al ancho de banda, el enlace se caracteriza por:

- Mediciones de carga y descarga promedio fueron de 22,63 kbps y 87,81 kbps respectivamente.
- Interrupciones del enlace GPRS para los días lunes, martes y sábado.
- Las tasas de ancho de banda son similares a los valores promedios que el fabricante del VIOLA ARTIC GATEWAY proporciona en sus características técnicas del equipo.

Referente al throughput se destacan las siguientes conclusiones:

- El throughput máximo promedio lo alcanza el día viernes con 0.045 Mbps, su mínimo 0.034 Mbps el día lunes y un promedio total de 0.039 Mbps.
- Se observan leves fluctuaciones con descenso aproximado los días lunes y miércoles del 11.7%, y un valor máximo con incremento aproximado de 10.85% los días viernes y jueves.

- Alcanza máximo valores de throughput durante las horas del día de 4:00 am a 6:00 am con un promedio aproximado de 0.0601 Mbps.

Las conclusiones para la prueba de envío de archivos es la siguiente:

- Para el envío de archivos de diferentes tamaños el tiempo de descarga se duplica de forma proporcional al tamaño del archivo.
- El ancho de banda desciende al incrementar el tamaño de envío de archivos.

Finalmente en cuanto a la cobertura y disponibilidad se concluye:

- Realizar un estudio de cobertura se necesita conocer la situación geográfica y los parámetros eléctricos de radio de las antenas, necesario para utilizar herramientas de simulación. Sin embargo los operadores de telefonía celular no facilitan esta información por considerarla de carácter confidencial, por lo cual no es posible obtener información técnica de la cobertura de los operadores en la ciudad.
- En Bucaramanga el operador de telefonía celular Tigo proporcionó información comercial de la cobertura outdoor, garantizando 100 % para tecnología GSM en el área metropolitana.

5.2 TRABAJO FUTURO

El presente trabajo fue orientado en la implementación del enlace para el sistema de telemetría, por lo cual, se establecieron ciertas condiciones para la realización de las pruebas, tales como un escenario estático y los protocolos evaluados. Por lo tanto, para trabajos futuros es posible hacer pruebas en diferentes escenarios: estático y movimiento en entornos cerrado o abiertos. De igual forma, ampliar las pruebas para evaluar el protocolo UDP y algunas pruebas en la capa de aplicación con WAP, FTP, WWW.

Así mismo, con la tendencia actual de utilizar la red celular para transferencia de datos, se puede plantear un proyecto más ambicioso tendiente a proporcionar información de QoS (Calidad de servicio) en tiempo real de una red celular, mediante la ubicación de dispositivos en cada radio base que evalúen el comportamiento de los principales indicadores de desempeño; por lo cual este sistema garantizaría que un enlace de datos celular proporcione en el tiempo los valores reales de tasas de transferencia y reportes de caídas de red entre otros, certificando a los operadores, facilitando su labor a las empresas reguladoras y, finalmente, mejorando el servicio a los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Alessio Botta, Alberto Dainotti, Antonio Pescapè,**. *Multi-protocol and multi-platform traffic generation and measurement*. Anchorage (alaska, usa) : INFOCOM 2007 DEMO Session,, May 2007.
- [2] **Andrade Gonzales, Dayro Jose.** *Administración de Ancho de Banda*. Bucaramanga : Proyecto Pos-Grado Universidad Industrial Santander , 2004.
- [3] **Arenas, Matias, et al** *Análisis de Tasa Efectiva de Servicio y Retardo de GPRS y EDGE.*. 2005.
- [4] **Benko, P., Malicsko, G and Veres.** *measuring QoS for GPRS Mobile Networks*. 19. *A Large-scale, Passive Analysis of End-to-End TCP Performance over GPRS*. 2004.
- [5] **Borsos, T, Wieland, J and Zarandy, P.** *A Measurement Based Solution for Service Quality Assurance in Operational GPRS Networks*. 2006.
- [6] **Calveras, A., Paradells, J. and Gómez, C.** *Optimizing TCP/IP parameters over GPRS and WLAN networks*.
- [7] **Casanova, Maria, Florez, Adriana and Rodriguez, Yesid.** *Diseño e implementación de una Metodología para la Evaluación de Desempeño de una red Inalámbrica (WLAN 802.11b)*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 2005.
- [8] **Ceria S. A. Sassano** Planning tools help designers optimize cellular networks April 1999
- [9] **Forero, César and Velazco, Daniel** *Introducción al Funcionamiento de la Telefonía Celular, GPRS.*. Bucaramanga : s.n., 2008, Universidad Industrial de Santander.
- [10] **Gómez, G.** *End-to-end Quality of Service over Cellular Networks*. s.l. : England: Wiley., 2005.
- [11] **Gould P. R.** Radio planning of third generation network in urban areas 3G mobile communication technologies may 2002.
- [12] **Gualdrón, O.** *Generalidades redes de comunicaciones*. Bucaramanga :

Universidad Industrial de Santander, 2008.

[13] **Higuera, C. and Reslen A.** *Evaluación de desempeño de las tecnologías ADSL y cable modem.*, Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 2009.

[14] **Jyh-Cheng Chen and Chen, Wei-Ming.** *Design and Analysis of a Mobility Gateway.* s.l. : IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, SEPTEMBER 2007, Proceedings of ICCT2003.

[15] **Loukatos, D, L. S.** *Tools and practices for measurement-based network performance evaluation.* 2007.

[16] **Magnor B. Orstad, E. Reizer.** *End-to-end key performance indicators in cellular networks.* 2006.

[17] **Ministerio de TICs, Colombia.** *www.mincomunicaciones.gov.co.* Bogota : s.n., 2005.

[18] **Mishara, A.J.** *Advanced Cellular network, planning, and optimization.* s.l. : Wiley, 2007.

[19] **Navarro Cadavid, Andres.** *Radio Propagación para las Comunicaciones Inalámbricas Modernas.* Bucaramanga : s.n., 2009. 4 Congreso Internacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

[20] **Negreira, J. and Marín, J. P.** *Estimación de Performance en Enlaces GPRS-EDGE.* 2007.

[21] **Othman, , A. K.** *TCP Performance Measurement in Different GPRS Network Scenarios.* s.l. : Universiti Malaysia Sarawak, 2007.

[22] **Rajiv Chakravorty, Andrew Clark, and Ian Pratt.** *Optimizing Web Delivery Over Wireless Links: Design, Implementation, and Experiences.* 2005, IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS.

[23] **Stuckmann Peter, Christian Hoymann.** *Performance Evaluation of WAP-based Applications over GPRS.* 2002.

[24] **Stuckmann, P.** *GPRS Traffic Performance Measurements.* 2003.

[25] **Tropeano, Francisco.** *Mediciones Sobre Redes de Comunicaciones de Datos.* 2003, AHCNET, Revista de Telecomunicaciones, p. n° 95.

[26] **Viola, Sistem.** *Arctic User's Manual Arctic GPRS Gateway.* version 1.5, 2007.

[27] Xiaohua Chen, David J. Goodman. *Theoretical Analysis of GPRS Throughput and Delay*. 2004, IEEE International Conference on Communication.

ANEXOS

Anexo A. Principales Características Técnicas del Gateway Viola GPRS

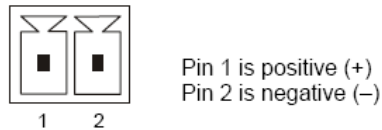
Este documento es un breve informe de las principales características del Gateway ARTIC GPRS, se exponen sus principales funciones, haciendo énfasis en la utilización práctica del mismo.

Detalles técnicos del modem Gateway GPRS

Este Gateway modem GPRS es completo, porque consta de un Puerto Ethernet y dos puertos RS-232 para el envío de datos. Es muy versátil para las diversas aplicaciones requeridas, además es de uso industrial.

Conectores de energía del gateway.

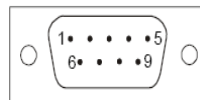
El ARTIC se alimenta con una fuente de corriente de 500mA una tensión de 10-26Vdc. El conector es el siguiente:



La potencia que consume es de 1 a 4 W, el adaptador al conectar con entrada externa es de 110-230 VAC con fusible de protección.

Puerto serial (RS-232, RS-422/485 conectores)

El ARTIC tiene dos puertos seriales, 1xmacho DB9 conector DTE, con una protección de corto circuito ESD de 15kV. La velocidad máxima del puerto es de 19200 bits/s, 8 bits de datos y un bit de parada. El conector macho es el siguiente:



La siguiente tabla resume la utilidad de cada pin.

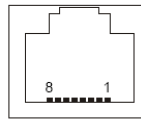
Tabla. A1.1 Utilidad para los pines del RS-232

Pin Number	Name	Direction	Explanation
1	DCD	IN	Data Carrier Detect
2	RXD	IN	Received Data
3	TXD	OUT	Transmitted Data
4	DTR	OUT	Data Terminal Ready. Handshake output
5	GND	-	Signal ground.
6	DSR	IN	Data Set Ready. Handshake input
7	RTS	OUT	Ready To Send. Handshake output
8	CTS	IN	Clear To Send. Handshake input
9	RI	IN	Ring Indicator

Puerto Ethernet (IEEE 802.3)

El ARTIC tiene un conector RJ45 para 10/100 Mbps, con un transformador de aislamiento de 1.5kV, la siguiente gráfica describe cada pin del RJ45.

Tabla. A1.2 Utilidad para los pines del puerto IEEE 802.3



Pin Number	Name	Direction	Explanation
1	Rx+	IN	Data Receive Positive
2	Rx-	IN	Data Receive Negative
3	Tx+	OUT	Data Transmit Positive
4	NC		
5	NC		
6	Tx-	OUT	Data Transmit Negative
7	NC		
8	NC		

Conector I/O (opcional)

El ARTIC dispone dos diferentes conectores I/O, la configuración básica es de 8 entradas digitales y dos salidas digitales.



Conector

Protocolos de red que soporta

Los protocolos de red que soporta son los siguientes:

PPP, IP, ICMP, UDP, TCP, ARP, DNS, DHCP,FTP, TFTP,HTTP.

Procesador y memoria

El ARTIC usa el procesador RISC 78Mhz de 23bit, así mismo tiene una memoria RAM de 32MB al igual que una memoria ROM Flash de 8MB.

Las especificaciones se pueden resumir en la siguiente tabla:

Tabla A1.3 Las principales características técnicas de VIOLA ARTIC GPRS

Processor	32-bit 48 MHz RISC Processor
Memory	32 MB RAM 8 MB Flash ROM
Network Interface	10/100 Base-T, Shielded RJ45 Ethernet (IEEE 802.3) 1.5 kV isolation transformer
Serial Device Interface	1 x Male DB9 connector DTE, 15kV ESD and short circuit protection RS-232, 19200 bit/s, 8 data bit, 1 stop bit, no parity (console)
Power Requirements	10 – 26 VDC, less than 500 mA (1–4 W power consumption) Resettable fuse and ESD protected input External 110–230 VAC adapter (optional)
Temperature Range	Operating: –20 to 70 °C Storage: –30 to 85 °C
Relative Humidity	Operating: 5 to 85 % RH non-condensing
Operating System	µCLinux embedded multitasking operating system
Network Protocols Supported	PPP, IP, ICMP, UDP, TCP, ARP, DNS, DHCP,FTP, TFTP, HTTP
Tunneling (VPN)	SSH-VPN client (requires Viola M2M Gateway) SSHv2 server and client SSHv1 server and client
Management	WWW, SSH, Telnet and console FTP, TFTP and HTTP software update
Routing and Firewall	Static routing, proxy ARP, port forwarding, IP masquerading/NAT, firewall
Serial Device Connectivity	Device server application (Serial GW) Simultaneous GPRS, CSD and SMS SMS configuration and status reporting
Dimensions and Weight	Models in aluminum frame: Size: 180 mm × 110 mm × 45 mm (W×L×H) Weight: 0.7 kg Attachment rail for optional and custom mounting

Conclusiones

- GPRS VIOLA es muy versátil en cuanto a los conectores para la captura de datos teniendo RS-232 al igual que Ethernet y I/O.
- La adaptabilidad del Viola por sus características particulares permite que sea muy usado para diversas aplicaciones de acceso o envío remoto de datos.
- Soporta una gran cantidad de protocolo de red lo cual lo hace muy compatible con diversas redes que en algún momento se conforme o se acceda.

Anexo B. Procedimiento para Evaluar el Desempeño de la Red GPRS para el SITELRED

Para llevar a cabo las pruebas de desempeño del enlace con GPRS se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Enlace para pruebas.
2. Configuración inicial de los equipos.
3. Instalación de los equipos en la ubicación correspondiente.
4. Comprobación/ Verificación del enlace.
5. Puesta en marcha del sistema de comunicación.
6. Establecer el tipo de prueba que se van a realizar.
7. Pruebas de optimización: definición del tamaño de segmento, ventana o buffer y su posible inclusión para las medidas.
8. Pruebas bajo condiciones controladas (script de pruebas).
9. Pruebas pilotos.
10. Caracterización del enlace de acuerdo a las medidas realizadas.
11. Conclusiones de las pruebas.

DESCRIPCIÓN DE CADA PUNTO

1. Enlace para pruebas

La arquitectura para un enlace de datos punto a punto, usando la tecnología GPRS dispuesto para el proyecto SILTELRED, inicia desde el lugar origen donde se encuentra el equipo Gateway GPRS y su correspondiente destino Gateway ADSL. Para un solo enlace de radio vía GPRS se dispone como se planteó en la figura 2.1.

2. Configuración inicial de los equipos de comunicación y de cómputo

En este nivel de la prueba plantea como objetivo configurar los equipos que son los dos PCs, el Viola ARTIC y el Gateway ADSL, para tal fin se instalan los sistemas operativos Linux Ubuntu a los dos PCs. El siguiente paso es configurar el Gateway GPRS, esto será explicado en un anexo posterior. En cuanto al ADSL

no se entrará en detalle.

3. Instalación de los equipos en la ubicación correspondiente

En primera instancia es necesario definir los equipos requeridos para las pruebas, son los siguientes:

- a)** 1 Viola Systems ARTIC.
- b)** 1 Fuente de energía 12V.
- c)** 2 PC portátiles.
- d)** Herramientas de mediada (Software).
- e)** Conectores y demás accesorios.

Este nivel del procedimiento pretende instalar los equipos en los diferentes lugares destinados para la realización de las pruebas, para tal fin se desplaza los Gateway a los escenarios de media que son:

- a)** La UIS, Laboratorio de pesados salón CPS, lugar cerrado, la radio base tiene la característica de entorno urbano.
- b)** Escenario servidor, ubicado en: 1km vía Floridablanca vereda La Cidra, se dispone de la tecnología ADSL.

Se procede a colocar el Gateway en el lugar escogido y luego conectarlo al equipo portátil, para establecer la conexión con la red GPRS, luego se procede de forma similar con el PC destino con acceso a la red ADSL.

4. Comprobación / Verificación del enlace

Esta fase es requerida en cuanto que es una prueba preliminar que busca comprobar la conexión de los equipos. Para tal fin se hace un ping entre el Gateway ADSL y el Gateway GPRS y se verifica que el enlace se estableció. Ésta prueba confirma que hay conexión. Luego se dispone a ejecutar las herramientas

de medida para verificar su funcionamiento.

Con las herramientas se detecta el ancho de banda, RTT y demás indicadores de desempeño, con el fin de comprobar que todas las herramientas y demás componentes del sistema se encuentren funcionando apropiadamente y así proceder con los ajustes necesarios y asegurar que todo trabaja debidamente.

Es necesario dedicar tiempo suficiente mientras se adquiere destreza con las herramientas, por lo tanto se dispone de un tiempo previo adicional en las primeras medidas. Cuando ya se ha adquirido la habilidad en la ejecución manual de las herramientas, se procede a elaborar un script (fase posterior) que sistematice el proceso y reducir las medidas al tiempo justo. De igual forma en el transcurso de esta fase, es necesario establecer entre las diversas herramientas cuál es la que mejor mide las condiciones reales de la red.

Puesta en marcha del sistema de comunicación

Se establece una prueba en condiciones reales utilizando el VIOLA, con la ubicación de los equipos en el lugar piloto donde se realizaran las pruebas. Se usarán las herramientas iperf, ping, d-itg, netperf y netio comprobando su funcionalidad, es necesario para ello abrir los puertos del Viola GPRS y el ADSL, Las pruebas preliminares, permiten comprobar las condiciones en un ambiente real de trabajo.

a. Determinación de la hora de la prueba: Se realizaron pruebas con las herramientas, a una hora aleatoria verificando su funcionamiento con cada una de ellas.

b. Configuraciones necesarias para la puesta a punto del sistema: Para ello se verifica que la configuración del gateway esté funcional, se abrirán los puertos del modem GPRS y ADSL para la ejecución de las herramientas.

c. Ejecución de la herramienta en un determinado tiempo: Se ejecuta IPERF en TCP al igual que D-ITG Y NETPERF, así mismo se ejecuta la aplicación PING.

d. Toma de media de los parámetros: se realizan pruebas confirmando una estimación del ancho de banda del enlace, como mínimo se espera una tasa de 25 Kbytes/s, RTT= 100ms información comercial dada por operador móvil, estén dentro del rango esperado confirmando el buen funcionamiento de las herramientas.

e. Realización de informe: Se realiza un informe que sustente el funcionamiento de la herramienta.

5. Establecer el tipo de prueba que se va a realizar

Con las herramientas para evaluación de desempeño funcionando se establece el tipo de prueba a realizar. En primera instancia se diseña una prueba de optimización. Finalmente, se establece una metodología para la evaluación del desempeño de la red GPRS, para esta última se realizará una prueba extendida por catorce días y una prueba de envío de archivos.

6. Pruebas de optimización: definición del tamaño de segmento, ventana o buffer y su posible inclusión para las medidas

El máximo tamaño de segmento para TCP, el cual es el tamaño más grande de datos, en bytes, que un dispositivo de comunicaciones puede manejar en una única trama sin fragmentar. Es por ello que se hace indispensable definir el máximo tamaño de acuerdo con diferentes tecnologías de comunicación que se estén evaluando. Además, configurar el tamaño del buffer para la recepción de los paquetes de datos. Por lo tanto se diseñan unas pruebas variando estos parámetros, detectando el ancho de banda y RTT. Finalmente, se adoptan valores óptimos de tamaño segmento y ventana TCP.

7. Pruebas bajo condiciones controladas (script de pruebas)

Esta etapa pretende hacer un consenso de las herramientas requeridas, saber qué se puede variar en cada una de ellas, y determinar cómo se realizará el script de pruebas con base a esta información y posterior diseño de una grilla de pruebas. El script tendrá la siguiente estructura:

a. Definición cliente o servidor: Debido a que es un enlace punto a punto, es requerido configurar las herramientas seleccionadas un punto modo cliente y otro como servidor.

b. Verificar el enlace: Se utilizará la herramienta PING para confirmarlo.

c. Datos a ingresar al script: Se ingresan los datos relevantes como las IP del servidor, el tiempo de la prueba, tamaño que se va a variar ya sea de ventana, segmento o buffer.

d. Ejecución de las herramientas de desempeño: dentro del script se encuentran las instrucciones para la ejecución de las herramientas de desempeño, las cuales son las encargadas de generar los paquetes de datos, enviarlos, recibirlos y generar los reportes (según la configuración dada previamente). Se escribirán las líneas de comando, especificando el protocolo de la capa de transporte, los puertos para cada herramienta.

e. Exportación de los datos a una hoja de cálculo: Para tal fin se crean archivos que serán exportados en la hoja de datos, estos son para cada línea de ejecución de herramientas.

8. Pruebas pilotos

Esta prueba está destinada a evaluar el desempeño del enlace GPRS bajo condiciones controladas, como consecuencia, se establecen los siguientes ítems:

a) Determinación de la hora de la prueba: Corresponde al horario establecido dado por el tipo de prueba.

b) Configuración del tiempo de envío de la herramienta: el tiempo de envío

está determinada por el número de muestras requeridas para el análisis estadístico.

c) Configuración de los parámetros de las herramientas: De acuerdo al análisis de las herramientas y la decisión tomada en el ítem 7 y 8, para cambiar un parámetro en el script.

d) Realización de la pruebas con los principales indicadores de desempeño: Los parámetros más relevantes dados por los principales indicadores de desempeño son: throughput, ancho de banda, tasa de error de bytes y retardos (RTT y JITTER), que se estima para cada una de las pruebas.

e) Recepción y recopilación de datos: La recepción de los datos obtenidos en cada prueba se recopilan en una hoja de cálculo, Cabe aclarar que la adquisición de los datos está incluida en el script que permite trasladar la información obtenida del terminal a la hoja de cálculo para el respectivo tratamiento estadístico con su respectivas graficas.

9. Caracterización del enlace de acuerdo con las medidas realizadas

Luego de realizar las pruebas, se requiere que los datos obtenidos arrojen un análisis del comportamiento del enlace. Para ello se toma los resultados de las medias archivadas en una hoja de cálculo y se grafican mostrando estadísticas de media y desviación estándar, luego se analizan los datos obtenidos revisando las graficas para así caracterizar el enlace que se encuentra en evaluación.

10. Conclusiones de las pruebas

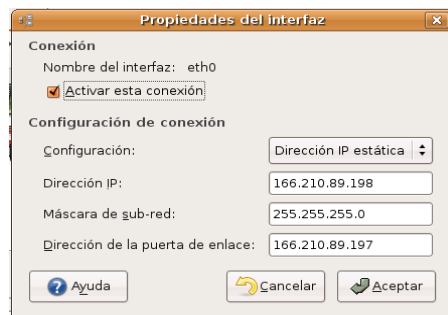
En este último punto se desglosa la información más relevante recopilada en todas las medidas y de la variación de alguno de los parámetros configurados. Esta parte debe escribir claramente las comparaciones realizadas entre las diferentes pruebas encontradas y las conclusiones del enlace real.

Anexo C. Configuración del Equipo, VIOLA ARTIC, GPRS

La configuración del equipo se llevó a cabo el día jueves 23 de abril de 2009. Se hizo la configuración del equipo y se abrieron los puertos, sin embargo, no se confirmó la apertura de los mismos.

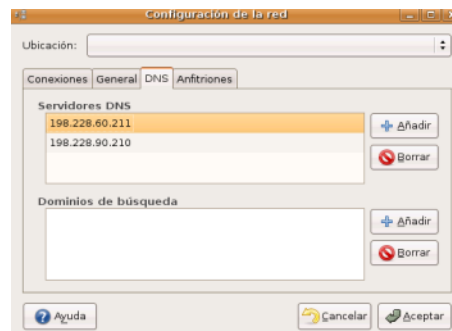
Previamente se configuró la ip en el administrador de redes en Linux para la red cableada eth0, se ingreso la ip 192.168.5.100 seguido se la máscara de subred 255.255.255.0 puerta de enlace 166.210.89.197.

Figura A3. 1 Interfaz gráfica para ingresar el address, netmask y network para el modem viola.



Seguido, se ingresa los servidores DNS, tanto el principal como secundario 198.228.90.211, 198.228.90.210 respectivamente.

Figura A3.2 Configuraciones de los DNS para nameserver principal como secundario.



Luego se ingresa al sistema de la siguiente forma

Tabla.A3.1 Configuración de ARTIC GPRS

Ingresar contraseña	Entrar al Viola en el área de systems, password nombre de usuario “admin” se asigna la contraseña cpsteam99
Configurar la IP que es asignada por el operador de red, ejemplo COMCEL 166.210.89.197	<p>Hay dos formas de hacerlo:</p> <p>Usando el navegador. Para tal fin se accede al equipo configurando una IP, por defecto es IP 10.10.10.10.</p> <p>Entra a NETWORK, ETHERNET y se asigna la IP en el espacio Ethernet IP address.</p> <p>Finalmente, aplicar Apply, commit y reset para actualizar la nueva configuración.</p> <p>Otra forma utilizando el puerto serial, puede usar Hércules y configurar hipertextual.</p>

Configurar el DNS que se necesitan para navegar por internet.	Con el navegador se accede a la IP asignada, se busca TOOLS y se accede a la pestaña system log y se buscan los DNS asignados (198.228.90.211 y 198.228.90.210) y se configura la tarjeta de red del equipo con las direcciones IP del Viola como puerta de enlace, máscara de red con la asignada por defecto. Y la IP del equipo que se asigna en el mismo dominio e igual DNS.
Verificar que el Viola envía datos	Verificar conexión a la red (internet)

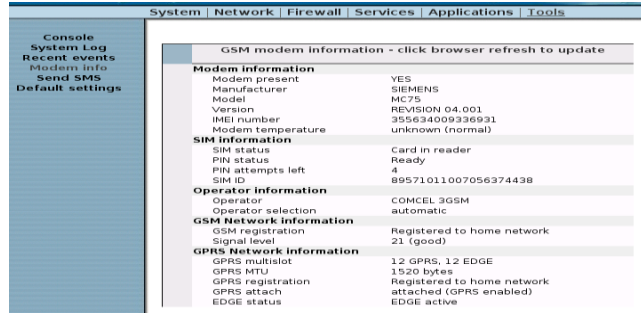
Lo correspondiente a la configuración de la red GPRS es la siguiente:

FiguraA3.3 Configuración del acceso a la red GPRS.

Donde se ingresa el correspondiente nombre del punto de acceso: internet.comcel.co así mismo, se especifica el DNS servidor correspondiente a una red GPRS, el PPP idle timeout 1800 y el máximo tamaño de segmento para TCP MTU de 1500 y se habilita el GPRS route por defecto.

Para verificar la conexión a la radio base, ir a opción de herramientas y luego modem info. donde se observa lo siguiente:

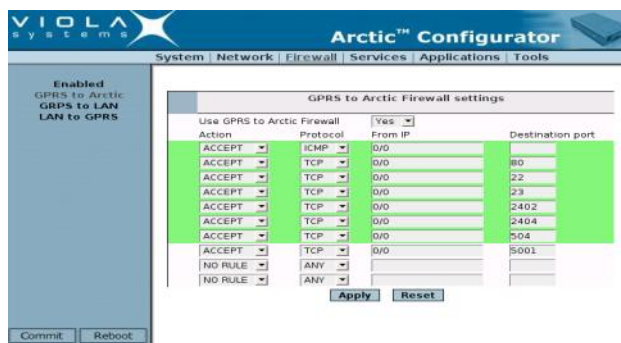
FiguraA3.4 Visualizar información de conexión.



Como podemos observar en la figura A3.4 aparecen datos como nivel de señal, información de la SIM, información del operador, información de la red GPRS e información general de modem.

Finalmente, para habilitar los puertos requeridos para las herramientas se va a la opción de fireware del GPRS y se escoge en el menú izquierdo la opción GPRS Artic.

Figura A3.5 Configuración para habilitar los puertos.

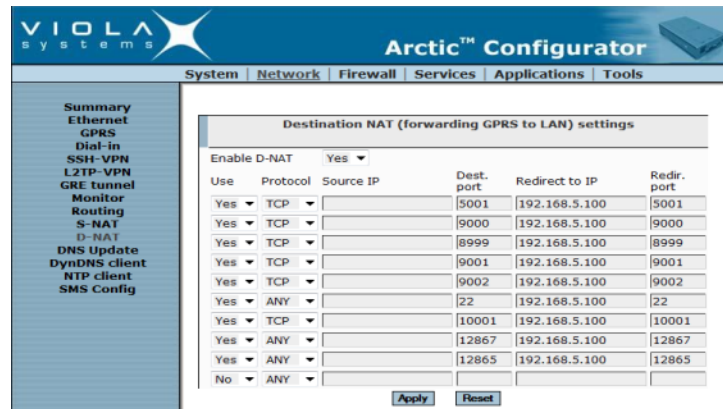


Se habilita la opción del puerto ENABLE, en la dirección IP se escribe 0/0 y el número del puerto que se habilitaron por ejemplo 5001. Sin embargo la anterior configuración no es necesaria si se deshabilita el fireware.

Re-direccionamiento de IP con D-NAT

El direccionamiento de IP permite además de crear una subred cambiar el puerto destino, en la figura A.3.6 se observa que se especifica el protocolo, luego la IP de origen (para este caso no especificado) seguido de la IP a re-direccionar, con la posibilidad de modificar cada uno de los puertos para cada IP.

FiguraA3.6 re-direccionamiento de IP con D-NAT.



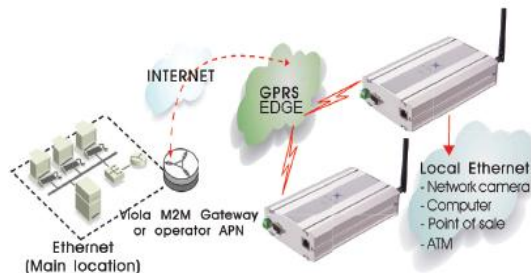
Configuración como Router

Interconectar redes físicas para formar lo que al usuario le parece una red única, se requiere de dos puntos de acceso a la red, uno correspondiente para el caso de este trabajo con la tecnología GPRS y otro punto para acceso a internet con la tecnología ADSL. Esto es posible mediante un ROUTER.

Router: Interconecta redes en el nivel de red y encamina paquetes entre ellas. Debe comprender la estructura de direccionamiento asociada con los protocolos que soporta y tomar la decisión de si los paquetes deben enviarse y cómo debe hacerse. Los routers son capaces de elegir las mejores rutas de transmisión así como tamaños óptimos para los paquetes. La función básica de encaminamiento está implementada en la capa IP. Por lo tanto, cualquier estación de trabajo que ejecute TCP/IP se puede usar como router. Un router es visible para IP. Es decir, cuando un host envía un datagrama IP a otro host en una red conectada por un router, envía el datagrama al router y no directamente al host de destino. La figura

A.3.7 muestra el Gateway M2M direcciona los paquetes hacia el Gateway GPRS.

FiguraA3.7 Enlace de datos del modem router Viola al Gateway M2M.



Tomado de www.violasistemas.com.

Para configurar se ingresa lo siguiente:

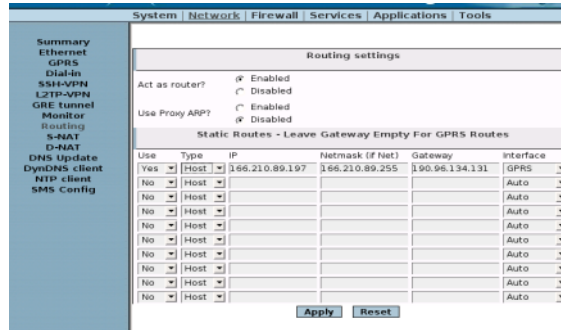
IP (dirección IP de la LAN): es la parte de la IP de la máquina común a todas las máquinas de la red.

Netmask (máscara de red de la LAN): es un número que establece qué parte de la IP de un host corresponde a la red y qué parte corresponde a la máquina. También nos indica la cantidad máxima de equipos que podemos tener en nuestra red.

Gateway (dirección de pasarela o puerta de enlace): es la IP de la máquina de nuestra LAN a través de la cual salimos hacia el exterior. Un Gateway es una máquina que tiene dos interfaces de red (una tarjeta conectada a nuestra LAN y la otra conectada a una red exterior), cada una de ellas con una IP, la que le corresponda en esa red. La IP del Gateway suele ser la primera IP.

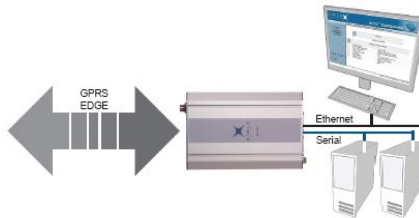
De forma que se indica la IP del modem al igual que la máscara de red y finalmente la dirección de destino del Gateway ver figura A.3.8.

FiguraA3.8 Configuración como router del Viola GPRS.



La configuración como gateway permite conectar varios PCs a los datos proveniente de la red externa.

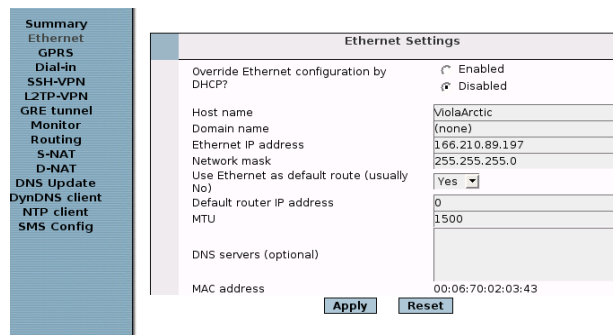
FiguraA3.9 Conexión del Viola GPRS como Gateway.



Tomado de www.violasistemas.com.

Para la salida dispone de dos puertos seriales para conectado PCs además de un puerto Ethernet para conectar otro adicional.

FiguraA3.10 Configuración del Puerto Ethernet.



La configuración del puerto Ethernet, la IP personal, la máscara de red, el máximo tamaño de segmento para TCP (MTU) de acuerdo con el protocolo utilizado de 1500 se observan en la figura A.3.9.

Anexo D. Cálculos Estadísticos

1.4.1. PROMEDIO O MEDIA ARITMÉTICA

La media o promedio es un conjunto de n valores resultado de la suma de todos ellos dividido por n .

Se tienen los valores $x_1, x_2 \dots x_n$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{n} \quad (7)$$

Una de las falencias que tiene esta operación es que, al ser un promedio, aquellas muestras que tienen valores fuera del rango previsible y que muchas veces son erróneas van a sumar al resultado final, por lo cual se estaría agregando errores en las medias.

1.4.2. MEDIANA

Es el valor de la variable que ocupa la posición central en un conjunto ordenado de datos. Si el número de observaciones es impar, la mediana es la observación central de los valores, una vez que éstos han sido ordenados en orden creciente o decreciente, se calcula así:

$$\text{mediana} = \bar{x} = \frac{x_{n+1}}{2} \quad (8)$$

Si el número de observaciones es par, se calcula como promedio aritmético de las dos observaciones centrales, su cálculo es así:

$$\bar{x} = \frac{\frac{x_n}{2} + \frac{x_{n+1}}{2}}{2} \quad (9)$$

En la mediana de un conjunto de datos única, es decir, no es sensible a la presencia de valores extremos.

1.4.3. VARIANZA

La varianza mide la mayor y menor dispersión de los valores de la variable respecto de la media aritmética. Cuanto mayor sea la varianza mayor dispersión existirá y por tanto menor representatividad tendrá la media aritmética.

$$\text{varianza} = s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (10)$$

La varianza se expresa en la misma unidad que la variable analizada, pero elevadas al cuadrado.

1.4.4. DESVIACIÓN ESTÁNDAR

La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza y mide la variación de los datos en términos absolutos y se puede interpretar como la distancia promedio de los datos a su media aritmética. La desviación estándar de una muestra se calcula así:

$$\text{desviación estándar} = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (11)$$

Sus unidades se expresan con las mismas unidades que las empleadas por los datos.

Anexo E. Ubicación de los niveles óptimos de señal para el GPRS ACTIC

Se realizaron unas pruebas tendientes a conocer el nivel de señal y ancho de banda para conocer el óptimo funcionamiento del Gateway GPRS, Para tal fin, se hizo un recorrido por diversos lugares dentro y fuera de la UIS. Haciendo seguimiento correspondiente al operador contratado y observando: el nivel de señal brindado por el Gateway y ancho de banda. El procedimiento ejecutado inicialmente se hizo una prueba dentro del laboratorio CPS que cuenta con una amplia ventana y se evaluó en el interior de la caja donde se implementa y adecua el equipo. Luego se trasladó la prueba hacia el primer piso y se inicio un recorrido desde el parqueadero de lab. Pesados siguiendo una ruta por los alrededores de la universidad partiendo de la carrera 24 hasta la carrera 30 recorriendo las calles 7, 8, 9, 10, 11. En las pruebas se observa que en lugares se alcanzan un nivel máximo de 31 pero el ancho de banda no es máximo, esto es debido a las condiciones de capacidad de la celda y de su dinámica de tráfico que es dependiente a la hora de tráfico. También se observa que el nivel de señal cambia y muchas veces la distancia de la radio base debería corresponder a un nivel de señal. Sin embargo por el entorno urbano las edificaciones genera obstáculo es por ello que en la carrera 29 con calle 11, el nivel de señal alcanza 31 su máximo equivalente al 100% de nivel, pero en tan solo dos cuadras calle 9 con carrera 30 en nivel del equipo cae a 22. En la tabla se observa los niveles de señal.

Tabla. A5.1 Lugares y niveles de señal óptimos para el Gateway GPRS

Ubicación del equipo	Nivel de señal	Ancho de banda
CPS	15	34
Cll 7 Crr. 24	31	33,65
Crr 24 Cll 8	31	44,65
Crr 24 Cll 9	20	27,75
Cll 9 Crr 23	23	51,4
Cll 23 Crr 11	24	28,65
Crr 25 Cll 11	31	18,45
Crr 26 Cll 11	29	58,9
Crr 27 Cll 11	29	47,5
Crr 29 Cll 11	31	46,85
Cll 9 Crr 30	22	32,05
Portería uis Crr 30	20	33,85
Edificio admin uis	25	55,5
Bienestar	13	35,27
Cancha de softbol	23	71,1
Parqueadero motos	22	37,05
Ing. Industrial	18	36,2
Beltrán Pinzón	21	32,25
Parqueadero Geología	25	47,1

Figura A5.1 Ubicación de los puntos donde se realizaron las pruebas de señal óptima del GPRS Artic. Realizada el día 12 mayo 2010 de 4pm a 5pm.



Tomado de google.maps.com con adaptaciones.