



## Red WAN para gestión de flota de autobuses de transporte público

Wide Area Network to manage the public transit bus fleet

Fernando Melean  
Consultor Externo  
[fermelean90@gmail.com](mailto:fermelean90@gmail.com)

Junior Briceño  
Poliolefinas Internacionales, C.A. (POLINTER)  
[juniorbriceno1994@gmail.com](mailto:juniorbriceno1994@gmail.com)

### RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue proponer el diseño de una red WAN para la gestión de la flota de autobuses de transporte público en la ciudad de Cabimas. Dentro del contexto de la red, se contempl  además el diseño de un sistema de paradas inteligentes que comparten comunicación con los equipos de rastreo de la flota de autobuses y un centro de monitoreo-gestión desde donde se centraliza toda la información recibida desde vehículos y paradas, permitiendo a los usuarios el acceso a la data y posicionamiento de los autobuses de transporte público en tiempo real, logrando conocer la hora estimada de llegada del transporte, pronósticos de tiempo, entre otras solicitudes. Desde el punto de vista metodológico, se utilizó una metodología de estudio tipo descriptivo, documental y no experimental; las bases teóricas se sustentaron en varios autores como Arias (2012), Yin (2012) y Barrera (2013) para su validación. Concretamente, el estudio se desarrolló en cinco fases las cuales comprendieron la determinación de los requerimientos del sistema, selección de los componentes, diseño de los sistemas inteligentes que se interconectaron por medio de la red WAN, simulación de la red y un análisis de costos. Por lo tanto, se identificó la topología de red a utilizar, el modelo de capa OSI y la red física la cual fue diseñada mediante el software Packet Tracer de Cisco para comprobar su funcionamiento en un entorno virtual. Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos, se finiquitó la topología WAN de la red evidenciando la funcionalidad de la misma dentro del sistema de gestión de transporte inteligente, permitiendo brindar al usuario final un servicio de traslado urbano de calidad, optimizando el transporte de la ciudad y ayudando de esa manera al crecimiento tecnológico local de acuerdo con el concepto de ciudades inteligentes.

**Palabras clave:** Red WAN, simulación de redes, transporte público, transporte inteligente, ciudades inteligentes.



### ABSTRACT

The main objective of this research was to propose the design of a Wide Area Network to manage the public transit bus fleet in the city of Cabimas. In the context of this network, it was contemplated the design of a smart system for bus stops which share communication with the Global Positioning System installed in the bus fleet and a monitoring-management center from where all the information is to be received from vehicles and bus stops in order for it to be centralized, allowing users to access data and positioning of public transport buses in real time, detailing the vehicle's estimated time of arrival, weather forecasts, among others requests. From a methodological standpoint, the methodology used was that of a descriptive, documentary and non-experimental study, and theoretically supported by several authors such as Arias (2012), Yin (2012) and Barrera (2013) for its validation. The research was executed through five phases, starting by determining the system requirements, followed by the selection of main components, then the design of the intelligent systems to be interconnected through the WAN, the simulation of said network and finishing with a cost analysis. Therefore, the network topology to be used, the OSI layer model and the physical topology were all identified and simulated using Cisco's Packet Tracer software to observe its operation in a virtual environment. Lastly, from the results obtained, the WAN's logical and physical topologies were accomplished, evidencing its functionality through simulation and within the intelligent transport management system, making it possible to provide the end user with a quality urban transit service, optimizing transportation within the city and thus assisting the technological growth of the locality in accordance with the concept of smart cities.

**Key words:** Wide Area Network, network simulation, public transportation, intelligent transport system, smart cities.

### Introducción

Para aquellas ciudades que cuentan con un alto nivel de población, los servicios de transporte público juegan un rol fundamental, facilitando a los ciudadanos medios con los que trasladarse para llevar a cabo sus actividades económicas y sociales, características fundamentales para una ciudad autosuficiente. Sin embargo, los sistemas de transporte urbano se enfrentan a una multitud de desafíos: retrasos en la llegada/salida de los vehículos, falta de rutas de transporte en zonas menos pobladas, horarios poco flexibles, entre otros factores que afectan negativamente el desempeño de los vehículos de oferta pública, y obligan a la población a optar por medios de transporte más costosos y con mayores efectos contaminantes a largo plazo.



Como respuesta a estos retos para el transporte público, se presentan como alternativa las ciudades inteligentes, un marco compuesto por Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), para desarrollar, implementar y promover prácticas de desarrollo sostenible para los crecientes desafíos de la urbanización. Para esto se emplea información procedente de sensores integrados en los objetos cotidianos para que estos últimos puedan conectarse a Internet a través de redes inalámbricas y fijas, lo cual permite obtener información en tiempo real para el monitoreo y control de los diferentes equipos, al tiempo que proporciona a técnicos y operarios la capacidad de observar de manera concisa sistemas amplios y complejos.

En el ámbito expuesto anteriormente, enfocado en el transporte urbano, se sustentan entonces las implementaciones TIC dirigidas a las ofertas de transporte público disponibles en la región, a modo de facilitar a ciudadanos y usuarios finales servicios más flexibles y actualizados a la realidad interconectada de hoy día, permitiendo ofrecer medios de posicionamiento, reservación y administración de la oferta de transporte por zona, incrementando la accesibilidad del servicio y acercándolo aún más a la población, todo esto de acuerdo al modelo de ciudades inteligentes.

### **Planteamiento del problema**

Desde el punto de vista de Yin (2012), los autobuses son la columna vertebral del sistema de transporte y representan aproximadamente la mitad de todos los viajes en transporte público solo en los Estados Unidos. Motivo de estas estadísticas, el servicio de autobús se presenta como una opción de transporte público flexible y de relativo bajo costo, así como una que se está volviendo más amigable con el medio ambiente.

Sin embargo, para poder aportar estos beneficios a la población, es necesario que los sistemas de transporte público puedan gestionar sus servicios de manera eficiente, transparente y atractiva. De lo contrario, sin una buena oferta de transporte, las ciudades se paralizarían y no podrían realizar ni siquiera sus funciones más básicas, debido a que el transporte local no es capaz de cubrir las necesidades de la comunidad, forzándolos a recurrir a otras alternativas más costosas y con potencialmente mayores efectos adversos para el medio ambiente.

Con este objetivo en mente, las redes de área amplia (WAN, por sus siglas en inglés) se presentan como una alternativa viable, puesto que cuentan con la capacidad de interconectar sistemas, dispositivos y equipos que se encuentran distribuidos en áreas geográficas extensas, facilitando la administración y gestión de estos recursos. En este contexto, y de acuerdo con la definición de Edwards, y Bramante (2009), una red WAN es capaz de enlazar otras redes de área entre sí, proporcionando una forma de transmitir



datos hacia y desde usuarios en otros lugares. Una WAN también garantiza que se mantenga el direccionamiento de los puntos extremos para que sepa dónde deben ir los datos para llegar a su destino previsto.

Estas capacidades de conexión y direccionamiento a larga distancia, abren la posibilidad del desarrollo de sistemas de gestión para servicios destinados a cubrir grandes extensiones de territorio. Específicamente, en el ámbito de los sistemas de autobús para transporte público, la implementación de una red WAN para el manejo y administración de la flota de vehículos, proporcionará los modelos adecuados para planificar el sistema de transporte, ofreciendo herramientas para la gestión de rutas y horarios, rastreo de unidades urbanas, alerta de retrasos, entre otros beneficios basados en el desarrollo de ciudades inteligentes y TIC, tanto en vehículos como en paradas de autobús, constituyendo esto el objetivo de esta investigación.

### **Metodología de la investigación**

Tal y como lo expone el autor Arias (2012), el tipo de una investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda el fenómeno u objeto de estudio. Al respecto, Barrera (2013) define la investigación proyectiva como una modalidad de la ciencia determinada por el propósito de elaborar propuestas susceptibles de ser llevadas a término, es decir, contempla la generación de la propuesta, más no su ejecución.

En el contexto de la presente investigación, esta queda enmarcada en el tipo proyectiva puesto que se basa en el desarrollo de una propuesta para red WAN destinada a la gestión de flota de autobuses de transporte público. En este sentido, la investigación contempla el diseño de la red, la definición de los equipos y medios de comunicación, y demás factores que conforman la iniciativa para el mejoramiento de la gestión de transporte público local.

En conjunto con el tipo de investigación, se presenta también el diseño de la misma que, según Arias (2012) consiste en la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En este sentido, para el autor antes mencionado, la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales, siendo su propósito el aporte de nuevos conocimientos.

A razón de esta definición, la presente investigación queda clasificada como de diseño documental, puesto que durante su desarrollo se emplearon textos, gráficos y demás material pedagógico de autores expertos en las materias de transporte urbano y diseño e implementación de arquitecturas de redes de computación e informáticas, entre otros temas que se consideraron esenciales para el cumplimiento de los objetivos de diseño planteados.



Similarmente al respecto del diseño de investigación, Hernández, Fernández y Baptista (2014) definen la investigación no experimental transeccional como aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables, es decir, estudios en los que no se hace variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras, y donde los datos son recolectados en un solo momento, esto es, en un tiempo  nico.

De acuerdo con esta descripción, la presente investigación también se enmarca en un diseño no experimental transeccional, puesto que la investigación no comprende modificar la realidad objeto de estudio, sino que busca caracterizar la situación de los sistemas de autobús destinados al transporte público tal y como se presentan en la realidad y son percibidos por los usuarios finales, todo esto durante un periodo de tiempo contenido.

Finalmente, la investigación también se clasifica como de campo puesto que tal y como lo define Arias (2012), consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos, siendo en este caso la realidad objeto de estudio los sistemas de transporte urbano de v hculos autobuses, haciendo especial énfasis en la gestión del servicio para la mejora de las condiciones de oferta a ciudadanos.

### Desarrollo de la propuesta

Para dar con el objetivo propuesto en el contexto de la presente investigación, se contempl  el desarrollo de cinco (05) fases de diseño empleadas para garantizar el respaldo de la red y los sistemas de rastreo/gestión en paradas y autobuses, buscando que la propuesta pueda satisfacer las necesidades del proyecto, y en base a consideraciones de costos actuales. A continuación, se presenta una descripción de dichas fases:

#### FASE I: Determinación de los requerimientos del sistema

Con el objeto de poder definir satisfactoriamente en fases posteriores los componentes físicos y comportamiento lógico por los que se debe regir el sistema de red WAN propuesto, es necesario determinar aquellos requerimientos a partir de las funciones objetivos que se espera la red y sus sistemas sean capaces de soportar. Estos requerimientos del sistema se listan en el cuadro a continuación:

Cuadro 1  
Análisis de requerimientos del sistema

	FUNCIONES OBJETIVO	REQUERIMIENTOS
<b>Autobús</b>	- Envío de ubicación del v�hculo en tiempo real.	- Unidad de procesamiento central (CPU). - Módulo de geolocalización.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Autonomía del sistema de posicionamiento con el vehículo apagado/sin batería.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Módulo de comunicación inalámbrico.</li> <li>- Sistema de energía DC interrumpible (UPS).</li> </ul>
<b>Parada inteligente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualización de mapa con rutas de transporte urbano.</li> <li>- Visualización de horarios de rutas de transporte urbano.</li> <li>- Visualización de ubicación de cualquier vehículo de la flota.</li> <li>- Visualización de tiempos estimados de llegada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitor interactivo (HMI).</li> <li>- Unidad de procesamiento central (CPU).</li> <li>- Módulo de comunicación.</li> </ul>
<b>Central de control</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recepción de ubicaciones de toda la flota de vehículos en tiempo real.</li> <li>- Procesamiento de datos de ubicación, predicción y gestión de horarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidades de procesamiento central (CPUs).</li> <li>- Servidores.</li> <li>- Módulos de comunicación.</li> </ul>


Fuente: Briceño y Melean (2021)



## FASE II: Selección de componentes

En base a los requerimientos determinados en la fase anterior y tomando en consideración la data de proveedores y catálogos disponibles en el mercado actualmente, a continuación, se presenta una selección de componentes por sistema, capaces de proveer a la red WAN propuesta de las funciones objetivo previstas para la gestión de la flota de autobuses para transporte público.

Tabla 2

### *Selección de componentes para sistema de rastreo de autobús*


COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
	<p>Un ordenador de bajo coste y tamaño reducido. Se utiliza en proyectos de electrónica y para tareas básicas que haría cualquier ordenador de sobremesa como navegar por internet, hojas de cálculo, procesador de textos, reproducir vídeo en alta definición, entre otras funciones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LAN inalámbrica 4,1 b/g/n.</li> <li>- Bluetooth 802,11.</li> <li>- 1 GHz CPU.</li> <li>- 512 MB de RAM.</li> <li>- Mini puertos HDMI y USB On-the-Go.</li> <li>- Entrada de poder micro USB con voltaje 5V.</li> <li>- Cabezal de 40 pines compatible con módulos HAT.</li> </ul>


<p>ZeroLemon Solar Juice 8000mAh External Battery</p> 	<p>Una batería portátil con capacidad de carga solar para propósitos en exteriores. Buena opción para destinos remotos sin acceso a toma de corriente o para cargado en movimiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de 8000mAh.</li> <li>- Entrada de poder micro USB con voltaje 5V.</li> <li>- Voltaje de salida 5V 2,4A.</li> <li>- 2 puertos USB.</li> <li>- Soporte de <i>pass-through charging</i> para carga y descarga simultáneas.</li> <li>- Panel solar integrado.</li> <li>- Resistencia al agua.</li> </ul>
<p>SIM7600A-H 4G HAT</p> 	<p>Este módulo se puede utilizar para conectarse por 4G con computadoras para navegar por internet, posee una antena con conexión inalámbrica y un GPS el cual puede ofrecer posicionamiento global del dispositivo al cual se encuentre instalado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compatible con Raspberry Pi Zero W.</li> <li>- Ranura para tarjeta SIM.</li> <li>- Soporte para marcado telefónico, SMS, MMS, correo, TCP, UDP, DTMF, HTTP, FTP.</li> <li>- Soporte para GPS.</li> <li>- Interfaz USB On-the-Go.</li> <li>- Voltaje de entrada configurable a 3.3V o 5V.</li> </ul>
<p>Módulo convertidor DC-DC de 12V a 5V Micro USB</p> 	<p>Dispositivo que convierte un voltaje de corriente continua a otro voltaje de corriente continua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protección contra sobretensión, sobrecorriente, sobretensión y cortocircuito.</li> <li>- Impermeable, a prueba de golpes, humedad y polvo.</li> <li>- Voltaje de entrada: DC 8-20V, 12V cambia a 5V.</li> <li>- Parámetro de salida: DC 5V 3A, 15W.</li> </ul>

Fuente: Briceño y Melean (2021)

Tabla 3

*Selección de componentes para sistema de parada inteligente*

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
<p>Elo 3243L 32-inch LCD Open-frame Touchmonitor</p> 	<p>Monitor táctil delgado de última generación con retroiluminación LED, compatible con aplicaciones en entornos de acceso público exigentes y uso industrial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensiones de 747.3 x 452.7 x 55 mm.</li> <li>- Resolución nativa 1920 x 1080px a 60Hz.</li> <li>- Video VGA analógico, HDMI 1.3 y DVI digital.</li> <li>- Tiempo medio entre fallos de 50.000 horas.</li> </ul>
<p>Quantum Byte</p>	<p>PC Windows para usar como centro multimedia y una PC de oficina. El pequeño factor de forma y la salida HDMI lo convierten en un gran</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intel Atom Z3735F.</li> <li>- 2GB de DDR3L RAM.</li> <li>- 32GB de memoria integrada.</li> <li>- Tarjeta gráfica Intel HD.</li> </ul>

	<p>centro multimedia que se adapta a diferentes lugares.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puertos VGA, USB y HDMI integrados.</li> <li>- Wi-Fi 802,11 b/g/n.</li> <li>- Bluetooth 4,0.</li> </ul>
---	--	--

Fuente: Briceño y Melean (2021)

### FASE III-a: Diseño de sistemas inteligentes a interconectar por medio de la red WAN

#### *Diseño de sistema de rastreo de autobuses*

Como elemento principal para el sistema de monitoreo instalado en los autobuses se hará uso de una placa Raspberry Pi Zero W, la cual se hará cargo de las labores de procesamiento y, con ayuda de los demás componentes, de establecer la comunicación con la central de control. Este computador es de bajo costo y pequeño, perfecto para este tipo de proyectos puesto que ofrece diferentes opciones de conectividad y es altamente modulable.

Aprovechando estos beneficios, el Raspberry Pi estará conectado por medio de su pin GPIO con un módulo SIM7600A-H 4G HAT, el cual proveerá al sistema de capacidades de comunicación inalámbricas GPS y LTE. Específicamente, el módulo HAT viene equipado con un receptor GPS que permitirá comunicarse por medio del protocolo NMEA con el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) para acceder a la ubicación de los vehículos de la flota en tiempo real. NMEA es un protocolo de transmisión de datos para equipos marítimos y terrestres, de los más utilizados por las marcas de GPS, volviéndolo perfecto para los servicios de geo-localización de los buses.

En el mismo contexto, el módulo HAT también viene equipado con soporte para SIM y una antena que conectará inalámbricamente con la sala central por medio del protocolo de comunicación LTE. La red 4G LTE es la red más rápida y eficiente disponible en la actualidad en Venezuela, por esta razón se implementará en este estudio con el protocolo permitiendo el máximo rendimiento de procesamiento, alcanzando velocidades de acceso de hasta 150 Mbps con las capacidades del hardware seleccionado.

Por su parte, para mantener la autonomía del Raspberry Pi Zero W y sus módulos, con lo que garantizar el continuo funcionamiento del GPS para monitorear las unidades de transporte, el sistema propuesto estará conectado por medio de USB a una batería portátil dedicada que ejecutará la función de UPS, garantizando la disponibilidad del sistema de rastreo aun si el vehículo se queda sin carga en la batería principal del motor.

Para alimentar el UPS, el mismo estará conectado a la batería del autobús con ayuda de un convertidor de 12V a 5V, gracias a que el UPS cuenta con



capacidad *pass-through charging* para carga y descarga simultáneas, esto permitirá que el sistema de rastreo opere principalmente con la energía que provee la batería del autobús y el UPS solo entrará en acción en casos donde la batería del motor deje de enviar carga o el vehículo este apagado.

Adicionalmente, como sistema de carga de respaldo, el UPS viene equipado con un panel solar para recargarse con ayuda de la luz del sol. Esta batería dedicada posee una capacidad de 8000 mAh lo cual, para un consumo aproximado del equipo de 1.5A, da como resultado una autonomía de aproximadamente 5.3 horas en días nublados y horarios de transporte nocturnos; cuando se cuenta con suficiente luz solar, esta autonomía se ve extendida. En la figura 1 se puede apreciar un diagrama de conexión de este sistema de rastreo propuesto.

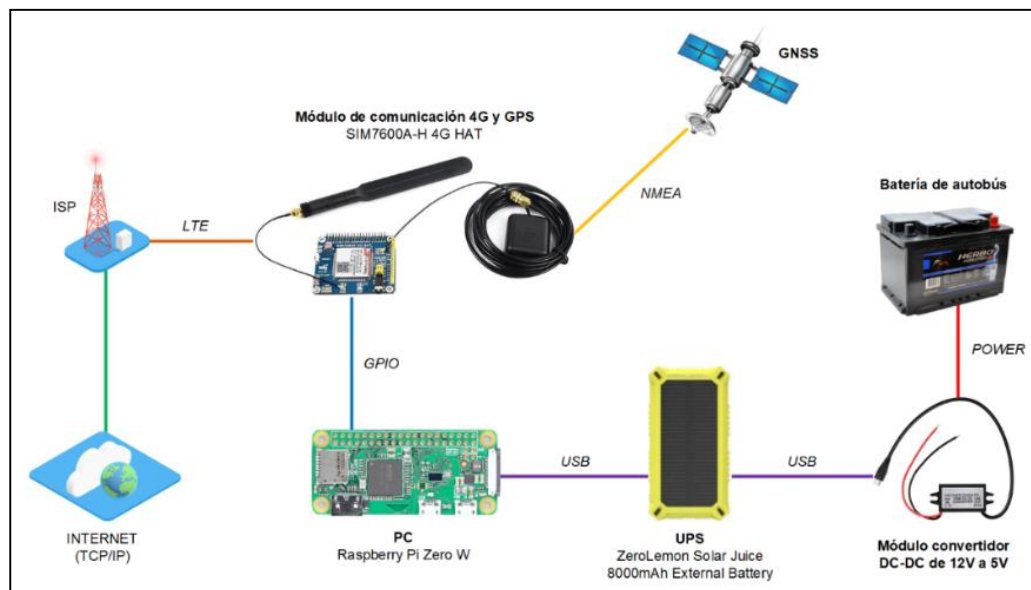


Figura 1. Diagrama de sistema de rastreo para flota de autobuses  
Fuente: Briceño y Melean (2021)

### **Diseño de sistema de parada inteligente**

En el caso de la propuesta de parada de autobuses inteligente, para poder brindar a los usuarios que se acerquen a la parada la información referente a las rutas y horarios planificados, tiempo estimado de llegada del transporte y pronósticos de tiempo, se dispondrá en sitio de una pantalla táctil que funcionará como interfaz humano-maquina o HMI, lo que permitirá a los usuarios interactuar directamente con una versión limitada del sistema de gestión de flota de autobuses, facilitándoles la información de las unidades de transporte.

El monitor seleccionado es de la marca Elo, modelo 3243L 32" LCD táctil de marco abierto para usos industriales, que como su nombre lo indica posee un tamaño nominal de 32 pulgadas y admite conexión por medio de HDMI para ofrecer una resolución de hasta 1920x1080px a 60Hz, en cuanto al control táctil, este se aporta mediante una conexión por USB al computador principal que gestionará la señal de video.

Con respecto al modelo de ordenador seleccionado para las paradas, se optó por computador portátil Quantum Byte el cual es compatible con sistemas operativos Windows y posee conectividad inalámbrica. Dicho computador se encargará de proporcionar la señal de video para la pantalla táctil mediante HDMI y gestionar por medio de su sistema operativo y capacidad de conectividad Ethernet el envío y recepción de datos desde y hasta la central de control principal.

Adicionalmente, el ordenador también proveerá información al enlazarse mediante conectividad *wireless* con módulo de comunicación inalámbrica del Raspberry Pi Zero W, permitiendo detectar cuando un autobús de la flota está en rango o ha llegado al área de la parada. Como se mencionó anteriormente, para realizar la comunicación con la sala central el sistema se conecta por Ethernet al proveedor de servicios de internet (ISP), quien posteriormente se encarga de transferir la información a internet empleando el protocolo TCP/IP. La figura 2 mostrada a continuación muestra las conexiones del sistema descrito.

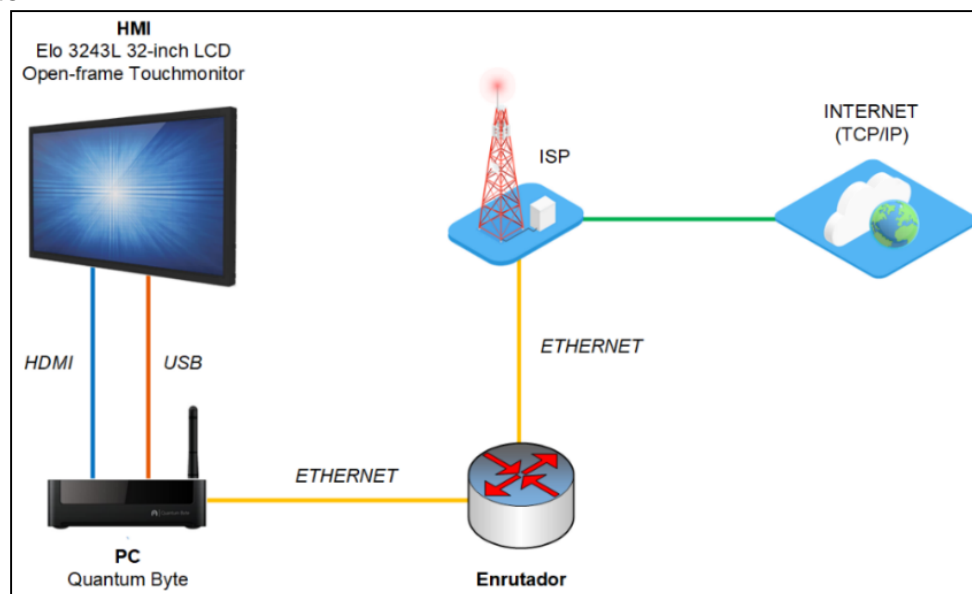


Figura 2. Diagrama de sistema para parada inteligente.  
Fuente: Briceño y Melean (2021)



### **FASE III-b: Diseño de red WAN para centro de gestión de flota de autobuses**

El diseño de red propuesta se llevó a cabo por medio de una definición topológica, tanto física como lógica, de la configuración, con el objeto de describir de manera efectiva el medio que permite a los dispositivos mantener una comunicación constate entre ellos. En este sentido, la topología física de la red está compuesta por la disposición de aquellos equipos de red, dispositivos finales y de infraestructura, como routers, hubs o switches. Por su parte, la topología lógica se compone de la manera en la cual los dispositivos se comunican o transfieren datos de un nodo al siguiente por medio de conexiones virtuales entre ellos, esto a través de los protocolos de capa de enlace de datos.

#### ***Topología física***

Para el diseño de la topología física de la red se optó por una implementación de tipo mixta, puesto que permite aprovechar los beneficios de distintas topologías y adaptarlas a la infraestructura del recinto de central de control. Específicamente hablando, para la interconexión de los distintos equipos finales (computadores y servidores) que se encuentran agrupados en diferentes del edificio central, se emplea un conjunto de redes estrellas con lo que los hosts se conectan a un dispositivo central, en este caso un switch, a través del cual fluye todo el tráfico, concentrándolo en un solo punto. En total se cuentan con tres switches, cada uno generando su propia red estrella.

Mas adelante, los switches se conectan secuencialmente en forma de cadena siguiendo una topología de anillo cerrado a través del cual fluye todo el tráfico de la red. A su vez, uno de estos switches se encuentra conectado al router principal del recinto, el cual gestionará la conexión con el proveedor de servicios de internet (ISP) para conectar toda la red a Internet. Adicionalmente, el router principal cuenta con un firewall integrado para proteger y gestionar el tráfico hacia la red interna.

Es importante señalar que, para la topología propuesta, se utiliza una configuración de conexión de doble canal por agregación de enlace entre los tres switches de la red, esto permite aumentar la capacidad del canal de comunicación entre switches, admitiendo que los dos enlaces físicos (Ethernet) actúen juntos, como uno solo, y duplicando la velocidad de transferencia soportada. El estándar que soporta esta implementación de agregación de enlaces en la red propuesta es IEEE 802.1ad, a través del Protocolo de Control de Agregación de Enlaces (LACP).

En la figura 4 se muestra el esquema de red de la central de control a ser utilizada para la supervisión y monitoreo de la flota de autobuses de transporte urbano. En esta central, se recibe la señal de ubicación que los vehículos de

la flota de autobuses envían a través de LTE, así como las señales remitidas por las paradas inteligentes cuando un usuario interactúa con ellas. Para ambos casos, estos paquetes de información se reciben desde Internet gracias al ISP que los transmite a la red LAN local del edificio.

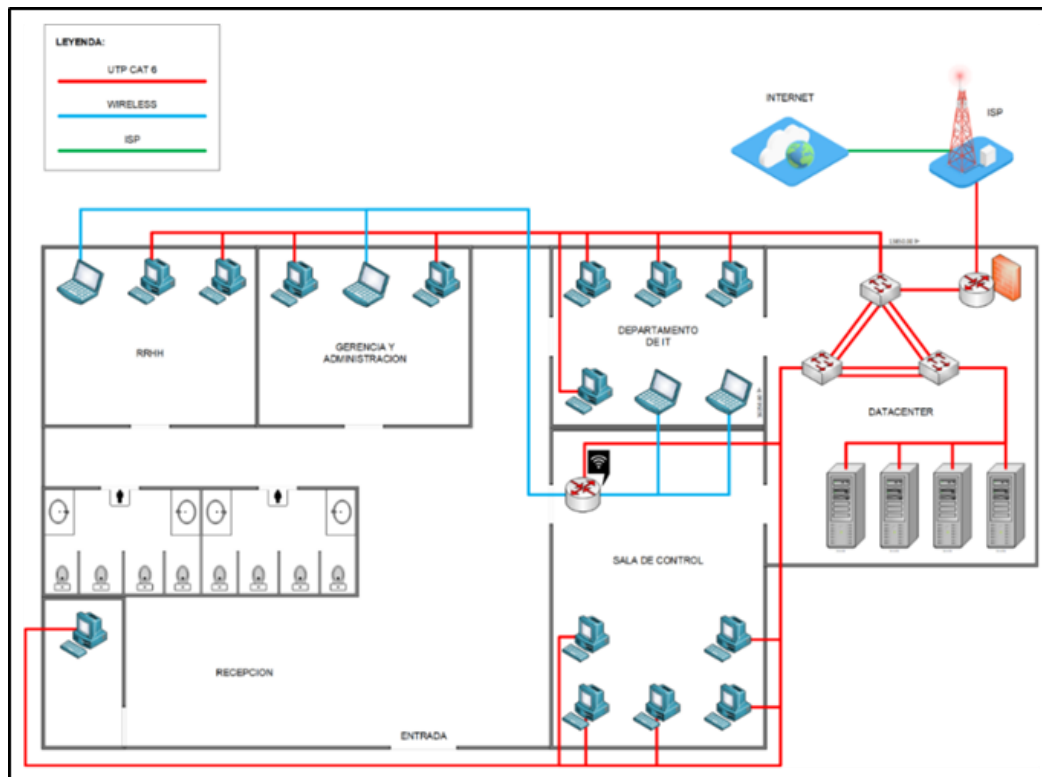


Figura 4. Topología física de la central de control.  
Fuente: Briceño y Melean (2021)

De esta manera, los datos pasan a ser gestionados por el router principal, el cual enruta los paquetes a través del arreglo de switches que luego los distribuyen a los diferentes dispositivos finales en los departamentos y sala de servidores de la central. Los operadores en la sala de control pueden observar y gestionar la flota de autobuses a través de sus equipos y sistemas, facilitándoles una visión del panorama completo en la ciudad, así como también la toma de decisiones.

Por otro lado, del lado de servidores, los datos recibidos interactúan con los sistemas automatizados para enviar información actualizada a las paradas inteligentes. Para casos en los que un usuario realice una consulta a través del HMI ubicado en la parada, los datos de consulta son recibidos por los servidores que gestionan qué información enviar en respuesta a dicha

solicitud, y que se verá reflejada en la pantalla del HMI desde la locación del usuario (ver figura 5).

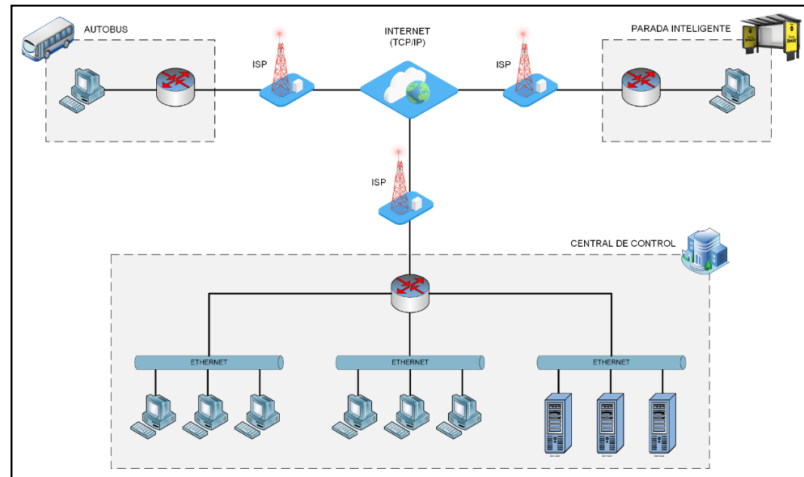


Figura 5. Topología de red WAN para gestión de flota de autobuses.  
Fuente: Briceño y Melean (2021)

### Topología lógica

Para el diseño de la topología lógica de la red, se seleccionaron una serie de protocolos destinados a proveer a la red con los patrones lógicos a seguir para establecer comunicación entre los diferentes dispositivos conectados. En este apartado, se empleó el modelo OSI para facilitar la definición de los protocolos a utilizar, puesto que las redes WAN pueden ser representadas cómodamente por las cuatro capas inferiores del modelo OSI, siendo estas: (1) capa física, (2) capa enlace de datos, (3) capa de red y (4) capa de transporte; con la definición de la lógica de comunicación llevándose a cabo específicamente dentro de las capas 2, 3 y 4.

Comenzando con la capa 4, capa de transporte, sus protocolos se encargan de preservar la integridad y secuenciación de datos, así como el control de flujo de los mismos. En esta capa, se seleccionó el Protocolo de Control de Transmisión (TCP), el cual está orientado a la conexión responsable de la entrega de paquetes IP, garantizando que los datos lleguen intactos y en el mismo orden en que se enviaron. Adicionalmente, TCP permite que el sistema de gestión de flota de vehículos maneje tiempos de espera de paquetes y retransmisiones de datos, además de proporcionar multiplexación, lo que significa que se pueden combinar y transportar múltiples flujos de datos de capa superior a través de la misma conexión.

Siguiendo con la capa 3, capa de red, esta será la responsable de determinar el mejor método para transferir tráfico (paquetes de datos) entre los nodos de la red. Dentro de esta capa, la red tiene a su disposición dos tipos



de protocolos: los protocolos de enrutado (*routed protocol*) y los protocolos de enrutamiento (*routing protocol*). Específicamente, el protocolo de enrutado se encarga de asignar la interfaz en el router y determinar el método de entrega de paquetes. Por su parte, el protocolo de enrutamiento se encarga de determinar la ruta de los paquetes a través de la red.

Para el protocolo de enrutado, se seleccionó en primera instancia el Protocolo de Internet (IP), puesto que corresponde al estándar más popular para enlaces WAN, estando incluido en la familia de protocolos TCP/IP. Dentro de la red propuesta, IP se encarga de enrutar los datos dentro de paquetes que contienen la información de dirección y control para transferirlos a través de mecanismos de entrega de mejor esfuerzo hasta los terminales correspondientes. Esto significa además que la red opera con direcciones IP de red y de host, asignándoles códigos de cuatro octetos de longitud.

Operando paralelamente a IP como protocolo de enrutado, se hace uso igualmente del Protocolo de Mensajes de Control de Internet (ICMP), el cual se encarga de informar de los errores que puedan ocurrir durante la transmisión de los datos, y así proveer a la red de capacidades de autodiagnóstico y corrección de fallos. Es decir, si no llega un paquete IP a su host destino, entonces ICMP utiliza para devolver el paquete IP al host de origen con un mensaje de error como: "host de destino inalcanzable" y "tiempo de respuesta excedido".

Finalmente, trabajando como protocolo de enrutamiento, la red emplea *Open Shortest Path First (OSPF)*, un protocolo no propietario que detecta cambios de enrutamiento y fallas de enlace entre los nodos de la red, con lo que es capaz de autocorregirse dinámicamente de forma rápida. Gracias a este protocolo, todos los router en la central de control mantienen una base de datos actualizada que refleja la topología conocida de la red y sus nodos, la cual utilizan para calcular una ruta a través de la red que incurra en el menor costo posible, mejorando la eficiencia de la transferencia de datos entre hosts.

Culminando con la capa 2 del modelo OSI, los protocolos en la capa de enlace de datos verifican que los mensajes se transmiten a los dispositivos adecuados en la red a través del arreglo de switches instalados. En este contexto, se hace uso del protocolo de Control de Enlace de Datos de Alto Nivel (HDLC) para el empaquetado de los datos en tramas y su posterior envi  a través de la red con procesos de verificación de entrega. En la práctica, cuando se desea enviar un conjunto de datos a algún host de la red, HDLC encapsula dicha información a través de enlaces utilizando caracteres de entramado y sumas de verificación. Estas características proporcionan encuadre sincrónico y detección de errores en la red de gestión de flota de autobuses sin la necesidad de retransmisiones.

Adicionalmente, a nivel de capa 2 también se ejecuta el Protocolo de árbol de Extensión (STP), el cual permite el diseño de red con enlaces redundantes



en el arreglo de switches como se aprecia en la figura 4. Esta configuración de enlaces físicos junto con el protocolo STP garantiza que los datos lleguen a su destino aun si falla el enlace principal. Además, garantiza que no haya bucles en la red, que podrían introducirse con la adición de dichos enlaces redundantes.

### **Seguridad de la red**

Con el objeto de mitigar los riesgos relacionados a la seguridad de la red en caso de ataques maliciosos, además de la implementación de firewall mencionado anteriormente, se estableció una Lista de Control de Accesos IP (ACL) aplicada a la interfaz del router principal para expandir sus capacidades de filtrado de paquetes entrantes y/o salientes de la red, permitiendo especificar entre otras cosas la lista de terminales remotos o externos a la red local de la central de control que podrán tener acceso a la misma. El ACL creado funciona en las capas 2, 3 y 4 del modelo OSI de la red propuesta, y permite evitar que el tráfico entre y salga de la red, limitar la cantidad de tráfico en la red y evitar ataques de suplantación de IP o denegación de servicio (DoS).

### **FASE IV: Simulación de red WAN por Packet Tracer**

Mediante la implementación del software Cisco Packet Tracer 8.0 se procedió a simular el comportamiento de la red propuesta en un entorno virtual controlado. Para esto, se comenzó definiendo el direccionamiento IP a implementar dentro de los elementos finales del sistema. En este contexto, se hizo uso de un direccionamiento clase B para redes privadas debido a su amplio rango para redes de mediano a gran tamaño. Esto permitió además realizar un seccionamiento lógico de la red, generando un grupo de subredes para reducir los rangos de difusión y beneficiar la administración de la misma dentro del centro de control.

Tomando como condiciones iniciales la dirección 172.16.0.0 y su mascara de red genérica 255.255.0.0 (/16), se dividió la red en tres (03) subredes con un numero de host equitativo para cada subred. La tabla a continuación muestra de manera resumida el seccionamiento de las direcciones IP disponibles para los equipos de la red.

Tabla 4  
*Direccionamiento IP para red de centro de control*

	SUBRED 1	SUBRED 2	SUBRED 3
<b>Red</b>	172.16.0.0/18	172.16.64.0/18	172.16.128.0/18
<b>Broadcast</b>	172.16.63.255	172.16.127.255	172.16.191.255
<b>Primera IP</b>	172.16.0.1	172.16.64.1	172.16.128.1

Última IP	172.16.63.254	172.16.127.254	172.16.191.254
Hosts	16382	16382	16382

Fuente: Briceño y Melean (2021)

Finalmente, a partir de estas direcciones y con la topología física de la red mostrada previamente en la figura 4, se creó un modelo virtual del centro de control dentro del programa Cisco Packet Tracer, permitiendo la simulación del entorno y logrando establecer comunicación entre los diferentes equipos finales distribuidos a lo largo del sistema de gestión de flota de autobuses, tal y como puede apreciarse en las figuras 6 y 7 mostradas a continuación.

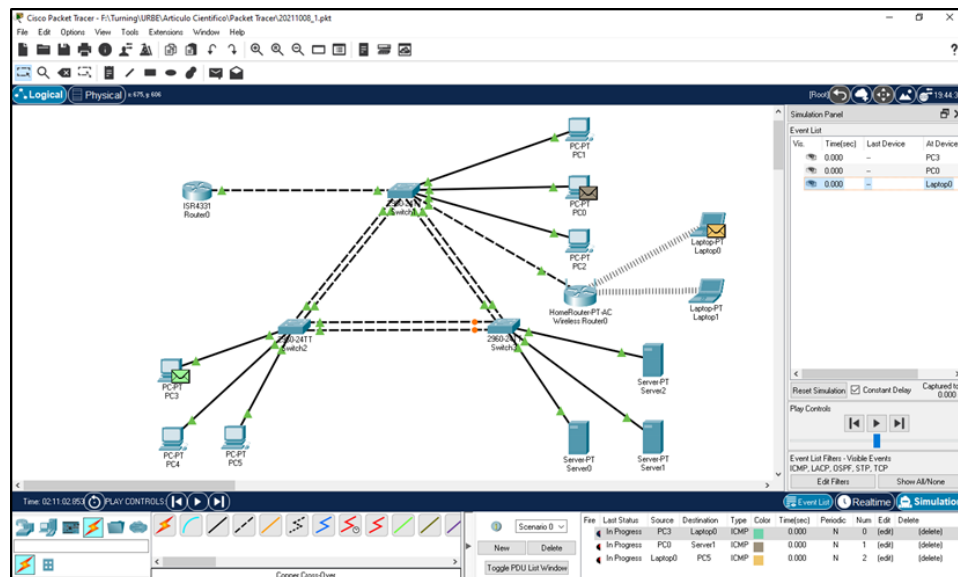


Figura 6. Simulación de red WAN para gestión de flota de autobuses a través de Ciscp. Packet Tracer 8.0.

Fuente: Briceño y Melean (2021)

Fire	Last Status	Source	Destination	Type	Color	Time(sec)	Periodic	Num	Edit	Delete
	Successful	PC3	Laptop0	ICMP		0.000	N	0	(edit)	(delete)
	Successful	PC0	Server1	ICMP		0.000	N	1	(edit)	(delete)
	Successful	Laptop0	PC5	ICMP		0.000	N	2	(edit)	(delete)

Figura 7. Resultados de simulaciones de red a través de Cisco Packet Tracer 8.0.

Fuente: Briceño y Melean (2021)

### FASE V: Análisis de costos

Una vez comprobada la factibilidad técnica de la propuesta, gracias a las simulaciones competentes, resta comprobar la factibilidad económica de la



misma por medio de un análisis de costos para los sistemas de rastreo de vehículos, paradas inteligentes y equipos de conexión de red para la central de control. Con este objetivo en mente, a continuación, se presenta un análisis particular para cada uno de estos sistemas y su costo aproximado de acuerdo a las características del mercado a fecha de publicación del presente estudio.

Tabla 5  
*Análisis de costo para sistema de rastreo de autobús*

CANT.	TIPO	MODELO	PRECIO (USD)	SUB-TOTAL
01	PC	Raspberry Pi Zero W	\$10.00	\$10.00
01	UPS	ZeroLemon Solar Juice 8000mAh	\$84.93	\$84.93
01	Módulo de	SIM7600A-H 4G HAT	\$72.59	\$72.59
01	Convertidor de	CPT 12V-5V	\$8.99	\$8.99
			<b>TOTAL</b>	<b>\$176.51</b>

Fuente: Briceño y Melean (2021)

Tabla 6  
*Análisis de costo para sistema de parada inteligente*

CANT.	TIPO	MODELO	PRECIO (USD)	SUB-TOTAL
01	HMI	Elo 3243L 32-inch LCD Open-frame Touchmonitor	\$380.00	\$380.00
01	PC	Quantum Byte	\$99.00	\$99.00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$479.00</b>

Fuente: Briceño y Melean (2021)

Tabla 7  
*Análisis de costo para red de central de control*

CANT.	TIPO	MODELO	PRECIO (USD)	SUB-TOTAL
01	Router y firewall	Cisco Meraki Go GX20-HW-EU	\$123.26	\$123.26
01	Router	Linksys AC1200	\$66.99	\$66.99
03	Switch	Cisco Business CBS350-8P-E-2G	\$270.05	\$810.15
			<b>TOTAL</b>	<b>\$1,000.40</b>

Fuente: Briceño y Melean (2021)

Como se puede apreciar a través de los análisis de costos que se muestran en las tablas 5, 6 y 7, la mayor parte de la inversión inicial estará destinada a los dispositivos de red de la central de control, estrategia que es de esperarse dado que se refiere a la infraestructura principal que supervisará y gestionará toda la flota de vehículos, así como las instalaciones de paradas inteligentes distribuidas en la ciudad. Es importante señalar además que el análisis de costos para los equipos de rastreo que se instalarán en los autobuses y los sistemas de paradas inteligentes se realizaron con las



cantidades necesarias para un solo ensamblaje en cada caso, por lo que los costos finales deben de ser multiplicados por el número de autobuses y paradas distribuidos en el área de cobertura de transporte urbano.

### Conclusiones

Debido a su naturaleza, el presente estudio estuvo enfocado en dar una solución eficaz y factible a la ciudad de Cabimas con una propuesta de red WAN para la gestión del transporte público, el cual se llevó a cabo a través de cinco (05) fases de desarrollo y por medio de donde fue posible llegar a las siguientes conclusiones:

Tratando con la primera fase, se enfocó en determinar los requerimientos del sistema, esto permitió concluir cuales eran los servicios a ofrecer y las necesidades a cubrir para la constitución del sistema de gestión de vehículos y terminales ubicados en diferentes locaciones. En función de la segunda fase, se seleccionaron los componentes requeridos para lograr el funcionamiento de la red, en conjunto con el diseño físico de los sistemas inteligentes a ser interconectados, ofrecieron una visión crítica referente a la compatibilidad de tecnologías y módulos de comunicación destinados para cubrir grandes áreas.

En lo que corresponde a la tercera fase, la misma consistió en el diseño de las capas físico-lógicas de la red principal destinada para el centro de control y procesamiento de datos, con la cuarta fase destinada a su posterior simulación por medio del software Packet Tracer de Cisco, demostrando la practicidad técnica de la propuesta de acuerdo a los métodos de conexión y protocolos seleccionados. Finalmente, la quinta fase de análisis de costos, permitió constatar la factibilidad economía del sistema estudiado.

Por lo tanto, luego de realizar las selecciones, diseños y pruebas requeridas para verificar la correcta comunicación de la red WAN conformada por las paradas inteligentes, centro de control y flota de transporte público, fue posible concluir como la propuesta provee de un comportamiento inteligente al sistema de transporte urbano. Como resultado de esto se ofreció una solución moderna y viable para la población de la ciudad de Cabimas, capaz de solventar la problemática de transporte público de la región.

### Referencias bibliográficas

Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica*. Sexta edición. Editorial Episteme, C.A. Caracas, Venezuela.

Barrera, M. (2013). *La investigación proyectiva. Abstracción*. Recuperado de: <https://marfibamo.blogspot.com/2013/11/la-investigacion-proyectiva.html>



Edwards, J. y Bramante, R. (2009). *Networking Self-Teaching Guide*. Nueva Jersey, United States: Wiley Publishing, Inc.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta edición. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. México.

Yin, J. (2012). *Urban Planning*. Ontario, Canada: John Wiley & Sons Canada, Ltd.