

Movilidad inteligente, una alternativa sostenible para una ciudad en desarrollo. Estudio de caso: Azogues, Ecuador

Smart mobility, a sustainable alternative for a developing city. Case study: Azogues, Ecuador

Juan-Carlos Ortega-Castro¹, Patricia González-Pinos², Andrés Sebastián Quevedo Sacoto³, Ronald Raúl Criollo Bonilla⁴.

¹ Universidad Católica de Cuenca.

<https://orcid.org/0000-0001-6496-4325>

² Universidad Católica de Cuenca.

<https://orcid.org/0000-0001-6714-4779>

³ Universidad Católica de Cuenca.

<https://orcid.org/0000-0001-5585-0270>

⁴ Universidad Católica de Cuenca.

<https://orcid.org/0000-0001-7103-6869>

Correspondencia:

Juan-Carlos, Ortega-Castro. Universidad Católica de Cuenca - Ecuador.
jcortegac@ucacue.edu.ec

RESUMEN

En contexto, calles críticas de la ciudad de Azogues, ciudades en vías de desarrollo y sustentabilidad en el mejoramiento y escalabilidad en aplicaciones de vehículos eléctricos. Porcentajes altos de congestión por falta de control en el tráfico vehicular en las principales calles de la ciudad, contaminación ambiental y ruido. El objetivo es planificar la red de telecomunicaciones que permita la implementación de un sistema de semaforización inteligente, con el análisis de los elementos necesarios para su correcto funcionamiento y la disminución del congestionamiento vehicular, en las principales calles del centro de la ciudad de Azogues, además, implementar mejoras sobre un vehículo eléctrico básico, que permitan mediante el uso de sensores y actuadores, mejorar su performance y seguridad. Metodología de tipo científica y experimental, se utilizaron técnicas de observación, simulaciones y pruebas de funcionamiento. Con análisis de prueba y error hasta ofrecer un sistema eficaz. Experimento: Creación de una aplicación Web, luego, una tabla en MySQL, la cual contiene a todos los usuarios que pueden ingresar a la aplicación para poder manipularla. Seguido de la creación de la tabla de control de usuarios, se realiza el control y monitoreo de la semaforización inteligente, desarrollada en PHP, con la intención de visualizar de forma gráfica el sistema, es decir, esta pantalla debe estar en la capacidad de indicar los semáforos que están siendo monitoreados, el estado en el que se encuentran y botones con los cuales se puede controlar la semaforización. Se comprobó que la manera más adecuada de configurar la velocidad de un módulo WiFi es mediante comandos AT, que son compatibles con Arduino y con los cuales dicha configuración permite que el módulo opere al 99,9% de su rendimiento. En el vehículo eléctrico se desarrolló la programación y activación de los diferentes sensores, que utilizan librerías ya desarrolladas para la activación de cada uno de ellos. Se utilizó Arduino debido a que es de código autónomo, las librerías necesarias para este proyecto se alojaron en GitHub. La conexión eléctrica se realizó mediante cables y relés, para la activación automática de los sensores, la señal se obtuvo directamente de la tarjeta de control.

Palabras clave: Movilidad inteligente, red de telecomunicaciones, aplicación web, semáforos, sensores.

ABSTRACT

In context, main streets of Azogues city, developing and sustainable cities in the improvement and development in electric vehicles applications. High percentages of congestion due to lack of control in vehicular traffic in the city main streets, environment pollution and noise. The aim is that Telecommunications network planning allows the smart traffic lights implementation, with the analysis of the necessary elements for its correct operation and the vehicular congestion reduction in the main streets of the Azogues city center. Besides, the implementation of improvements on a basic electric vehicle allows, by means of sensors and actuators, to improve its performance and security. Scientific and experimental methodology, used observation techniques, simulations and operation tests, with test and error analysis until getting an efficient system. Experiment: Creation of a Web application integrated with a MySQL database, which contains all the users who can access the application to be able to manipulate it. Followed by the development of user control tables, the control and monitoring of the smart traffic lights was carried out, developed on PHP, with the purpose of graphically visualizing the system; that is, this screen must be capable of indicating the traffic lights that are being monitored, the state they are in, and buttons with which the traffic lights can be controlled. It was found that the most appropriate way to configure the speed of a WiFi module is through AT commands, which are compatible with Arduino and with which said configuration allows the module to operate at 99.9% of its performance. In the electric vehicle, the programming and activation of the different sensors were developed, which use libraries already developed to activate each of them. Arduino was used because it is self-contained. The libraries needed for this project were hosted on GitHub. The electrical connection was made using cables and relays, for the automatic activation of the sensors, and the signal was obtained directly from the control card.

Keywords: Smart Mobility, telecommunication network, Web application, traffic lights, sensors.

I. INTRODUCCIÓN

La provincia del Cañar, con su capital, el cantón Azogues, limita al norte con la provincia de Chimborazo, al sur con la provincia del Azuay, al este con las provincias del Azuay y Morona Santiago y al oeste con la provincia de Guayas (Inicio, n.d.). La extensión del cantón Azogues se encuentra dividida en doce parroquias cuatro urbanas y ocho rurales.

Ahora bien, este artículo detalla una alternativa de movilidad sustentable, con el análisis de mejoramiento de un vehículo eléctrico, con el uso de sensores y actuadores, y, la propuesta de semaforización inteligente eficiente, para el casco urbano de la ciudad, lugar donde existe mayor concurrencia de turistas, tráfico vehicular, y, por ende, congestión (Turismo Azogues Información Sitios Turísticos, n.d.). Por ello el acceso a diferentes zonas de la localidad resulta complicado, sobre todo si se lo realiza con el uso de medios de transporte como buses, automóviles, etc.

El desarrollo de la tecnología, las redes de comunicaciones y los enlaces de transmisión de datos, permite integrar nuevas alternativas de solución a problemas que se presentan en ciudades en vías de desarrollo, con el objetivo de integrarlas al concepto de ciudades inteligentes. La ciudad objeto de estudio encuentra ubicada en la zona sur de Ecuador, con aproximadamente 70.064 habitantes, y sus coordenadas geográficas son $2^{\circ}44''S$ $78^{\circ}50''O$ y altitud de 2518msnm, ha aumentado no solamente en su población, sino que también en su parque automotor, economía e infraestructura (INEC, 2010).

Los datos estadísticos del crecimiento que ha tenido, durante la última década, muestran que no ha sido proporcional al mejoramiento en su infraestructura, pues su semaforización es deficiente, existiendo congestión vehicular en varios puntos de esta, lo que genera molestias en la ciudadanía, tanto para los peatones como para conductores, además, los vehículos que en ella se trasladan son en un 90% de combustión, por lo que impulsar el uso de vehículos eléctricos, mejorando sus características, contribuye directamente al cuidado ambiental debido a reducciones de emisión de gases contaminantes.

Todo esto se debe a una falta de planificación por parte de los organismos encargados de la movilidad local, y, sobre todo, la desincronización en los semáforos, con tiempos diferentes para cada uno de ellos, en virtud de que su activación diaria es de manera manual, los tiempos de espera en los lugares de aglomeración vehicular son demasiados altos para una ciudad de esta envergadura. Además, la contaminación ambiental también se ve incrementada, pues en el análisis de este documento se observa que en el centro de la ciudad es donde mayor condensación de vehículos existe, provocando la emanación de gases de efecto invernadero, afectando la salud de la población.

Esta emanación de gases hacia la atmósfera, aumenta los índices permitidos en los niveles de medición de CO y CO₂, cómo lo manifiestan (Ortega Castro & García Abad, 2014) en su trabajo sobre la medición de niveles de contaminación, donde presentan un sistema que permite mitigar el efecto invernadero que provocarían estas emanaciones.

En las horas pico el problema aumenta de manera considerable, afectando a la salud emocional de los conductores, pues, al ser un sistema deficiente, no existe fluidez en el tráfico y su enrutamiento, todo esto desencadena también en aumentos en los índices de tolerancia de ruido, conflictos, impaciencia, entre otros. Bajo este contexto, el implementar un sistema de semaforización inteligente, tributaría a mitigar estos inconvenientes, permitiría controlar el

tráfico de la ciudad de una manera adecuada y se evitaría el congestionamiento vehicular, sobre todo en horas pico.

A nivel mundial, la tendencia apunta hacia la convergencia de tecnologías en los entornos de las ciudades llamadas inteligentes, donde deben integrarse diferentes ámbitos tecnológicos para brindar cada una de las opciones que se requieran para automatizar los procesos, con la intención de lograr: ciudadanía, economía, medio ambiente y movilidad “inteligente”, entre otras. Por ello, las empresas públicas deben participar activamente, impulsando proyectos de impacto en la sociedad, generando beneficios a la ciudadanía.

Con estos antecedentes, las redes de comunicaciones entran a jugar un papel predominante en el desarrollo de aplicativos para ciudades inteligentes, tecnologías como IoT, Ciberseguridad, Comunicaciones Vehiculares, 5G, etc., deben converger para aportar soluciones a las necesidades generadas de automatización en estos lugares, ante esto, es necesario contar con una red robusta e inteligente, que le permita escalabilidad al proyecto para mejoras en investigaciones futuras.

Según (Reinoso & Ortega, 2020) los vehículos de combustión interna son la principal fuente de contaminantes en la atmósfera de las ciudades, ya que emiten más de 1000 sustancias nocivas. El CO₂ producido por fuentes térmicas para recargar la batería de los vehículos eléctricos es apenas la tercera parte del CO₂ que produce un motor de combustión interna.

Como lo expresa (Ye et al., 2019) dado que la información de los vehículos debe comunicarse al controlador central para resolver el problema de optimización de la asignación de recursos, la sobrecarga de transmisión es grande y crece dramáticamente con el tamaño de la red, lo que evita el uso de métodos de escalar a grandes redes.

En (Icaza et al., 2021) existe evidencia de cambios acelerados en la normativa legal, incluida la construcción de varias plantas de generación de energía eléctrica. Este cambio en la matriz productiva nacional implica, entre otros, la implementación de vehículos eléctricos y el cambio de cocinas de gas natural por eléctricas, incorporando generación de energía 100% renovable, que proporcionaría calor en áreas urbanas y urbanas marginales.

Todos los sistemas creados en Ecuador, como calefacción, refrigeración, transporte, seguridad, etc., permitirán una penetración creciente de las energías renovables hasta llegar al 100%.

Azogues, está conformada por varias calles llamadas longitudinales o preferenciales (la recorren de norte a sur), y, transversales o secundarias (que van de oriente a occidente).

Tiene una extensión de 1550 kilómetros cuadrados (Historia de Azogues | La Historia Más Importante de Azogues, n.d.). Su sistema de semaforización no tiene ningún tipo de estudio previo, para que en base a una planificación haya sido implementado, este artículo, en su desarrollo, presenta una propuesta para eliminar el atascamiento existente y mejorar la imagen de la ciudad a nivel social y económico.

Socialmente, además, se contribuye a la disminución en la contaminación ambiental, aspecto de suma importancia ya que es tendencia a nivel mundial el cuidado del ambiente en el que vivimos, más aún cuando la ciudad de Azogues todavía cuenta con espacios verdes, su contaminación es baja comparada con otras ciudades a nivel regional, nacional y mundial; es por esto que cuidar su medio ambiente aporta directamente a la prevención de riesgos y el mejoramiento en la salud de la población.

El objetivo de este proyecto fue planificar la red de telecomunicaciones que permita la implementación de un sistema de semaforización inteligente, con el análisis de los elementos necesarios para su correcto funcionamiento y la disminución del congestionamiento vehicular, en las principales calles del centro de la ciudad de Azogues, además, implementar mejoras sobre un vehículo eléctrico básico, que permitan mediante el uso de sensores y actuadores, mejorar su performance y seguridad.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección II, se introduce el modelo de la red de comunicaciones, los equipos utilizados y los métodos empleados. En la sección III, el experimento y las pruebas para la optimización del sistema propuesto, además de la simulación y la discusión de los resultados obtenidos, para finalmente extraer las conclusiones en la sección IV.

II. PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

Los semáforos inteligentes están integrados por tres elementos: los semáforos, los sensores o cámaras y la central de control.

Los sensores son los que se encargan de receptar la situación del tránsito de la vía de interés, para después enviarlas a la central de control, la cual analizará estos datos para colocar el tiempo óptimo de circulación, ayudando a disminuir el tránsito, ahorrar combustible y reducir la contaminación (Camarena et al., 2018).

El sistema implementado en el vehículo eléctrico prioriza y se basa en protocolos de seguridad y automatización, con el objetivo de facilitar la operación y funcionamiento de algunos componentes del vehículo, además, se intervino en su sistema eléctrico de control y potencia, ingresando datos digitales al controlador, los mismos que actúan sobre los componentes electrónicos del vehículo, funcionando y reportándose en tiempo real, transmitiendo los datos recopilados hacia un monitor, que se encuentra ubicado en el tablero del automóvil, el entorno de desarrollo se ejecuta en el software Arduino, el cual controla los datos de ingreso y salida de los diferentes sensores, para la visualización de estos se utilizó una tarjeta RaspberryPi.

Para el desarrollo de esta propuesta, se utilizó una metodología de tipo científica y experimental, se utilizaron técnicas de observación, simulaciones y pruebas de funcionamiento. El desarrollo del dispositivo se realizó mediante un proceso de pruebas y recopilación de errores, para ofrecer un sistema eficaz, con su funcionamiento establecido en solventar los objetivos planteados.

Para la semaforización inteligente y la red de comunicaciones, se procedió con el levantamiento de información y la solicitud a la Dirección de Movilidad del Municipio de Azogues, de los estudios previos sobre el flujo vehicular, donde se indiquen las intersecciones de mayor tráfico, para definir como sitio de estudio las intersecciones de las calles Malo y Serrano. Estableciendo el modelo de la siguiente manera (figura 1):

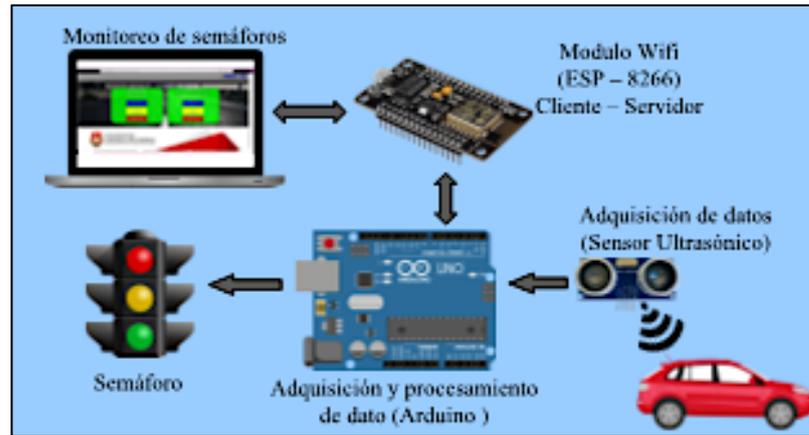


Figura 1. Esquema general de funcionamiento del sistema de semaforización.

Para desarrollar la propuesta se establecieron diferentes fases:

1. Revisión del estado del arte.
2. Metodología.
3. Adquisición de los materiales o equipos.
4. Conexión y acoplamiento de los equipos.
5. Diseño de la programación del microcontrolador.
6. Diseño del panel de control del vehículo eléctrico.
7. Distribución de los sensores en el vehículo.
8. Diseño de la aplicación.
9. Instalación de la aplicación en el teléfono inteligente.
10. Visualización de datos en tiempo real.
11. Pruebas de funcionamiento y corrección de errores.
12. Resultados.
13. Conclusiones.

En la figura 2, se presenta la metodología utilizada para su desarrollo:

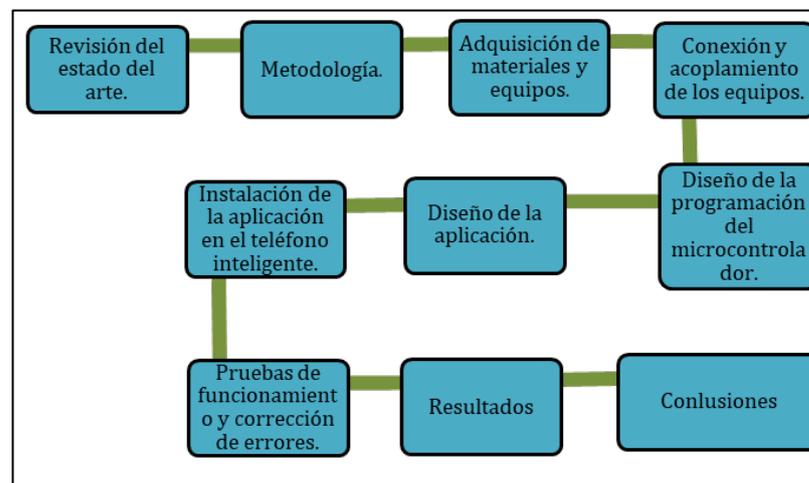


Figura 2. Metodología de trabajo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inicialmente, la figura 3 presenta el esquema general de la implementación a nivel físico para el sistema de semaforzación inteligente.

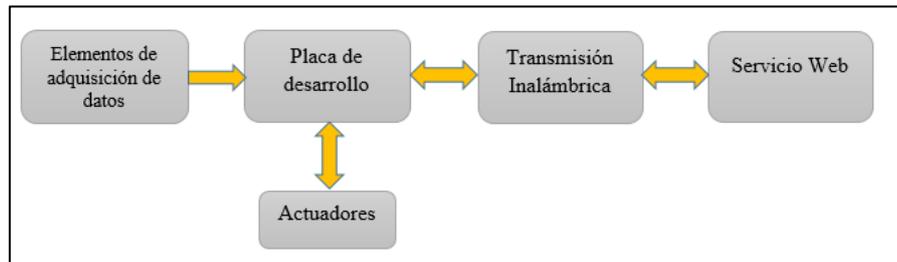


Figura 3. Diagrama de bloques general de semaforzación inteligente.

El esquema anterior, describe a través de bloques el procedimiento que se lleva a cabo para conseguir la semaforzación inteligente, cada uno de ellos para su correcto funcionamiento poseen dispositivos electrónicos que se interconectan a nivel lógico y de hardware, como se observa en la figura 4.

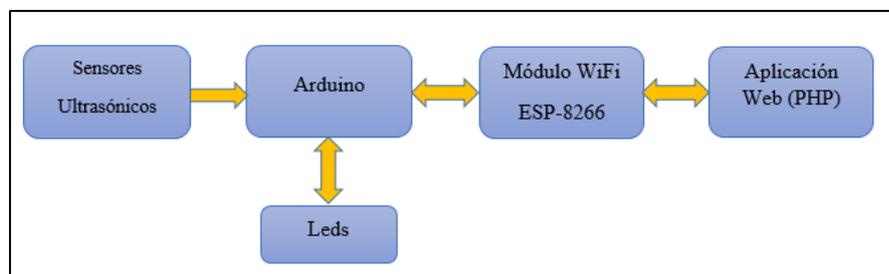


Figura 4. Diagrama de bloques de dispositivos para semaforzación inteligente.

El esquema global de la solución con la tecnología en la cual el sistema de telecomunicaciones es propuesto para semaforzación inteligente en la calle Malo y Serrano se presenta en la figura 5.

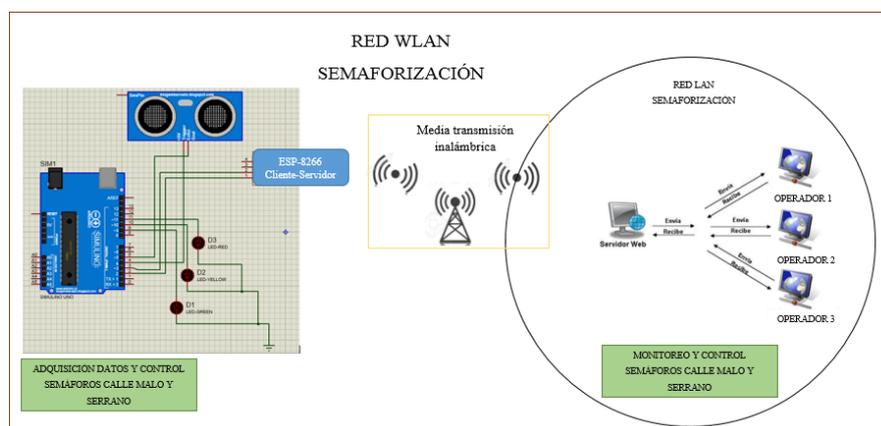


Figura 5. Esquema general para semaforzación inteligente (un PC).

La solución propuesta, permite obtener datos mediante un sensor ultrasónico, los mismo que son procesados a través de la placa de desarrollo Arduino y controlados mediante una aplicación Web desarrollada en PHP. En la siguiente figura se observa el esquema de gestión y control de semaforización inteligente.

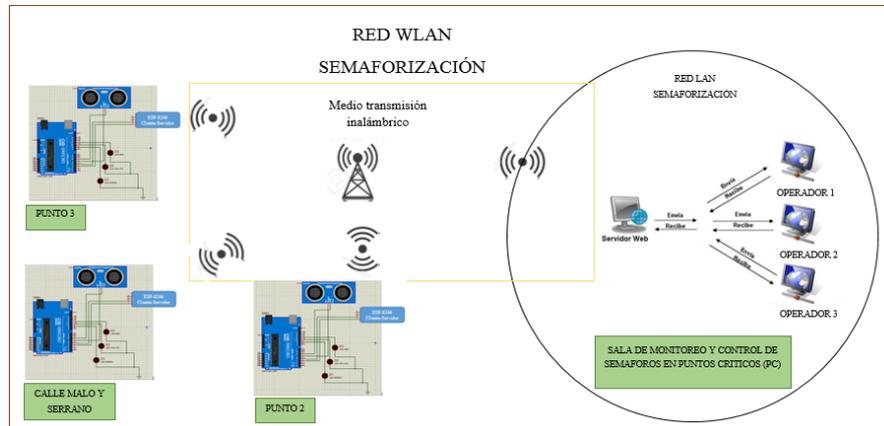


Figura 6. Esquema general semaforización inteligente (varios PC).

La implantación, al usar un hardware de bajo costo, tiene que ser compensada con un alto costo a nivel de programación, para procesamiento de datos adquiridos, transmisión (Tx) y recepción (Rx) de datos. haciendo uso de la arquitectura cliente-servidor para el diseño de la red de telecomunicaciones.

Los lenguajes de programación y donde son implementados para obtener resultados eficientes y eficaces se visualizan en la figura 7.

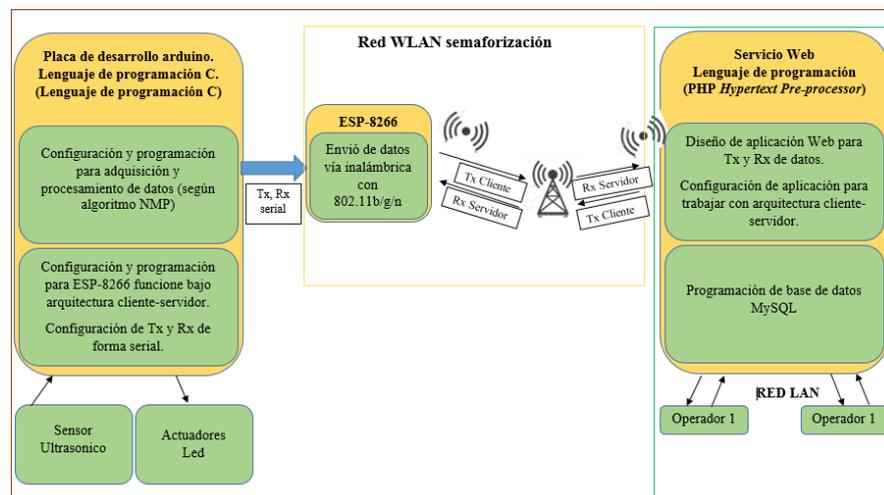


Figura 7. Esquema lógico para semaforización inteligente.

En resumen, lo que la figura anterior muestra, es el detalle de la programación que debe encontrarse embebida en la placa de desarrollo Arduino para poder ésta enviar los datos hacia la aplicación Web. Los datos desde que son adquiridos por el sensor ultrasónico cumplen el recorrido que se detalla en la figura 8.

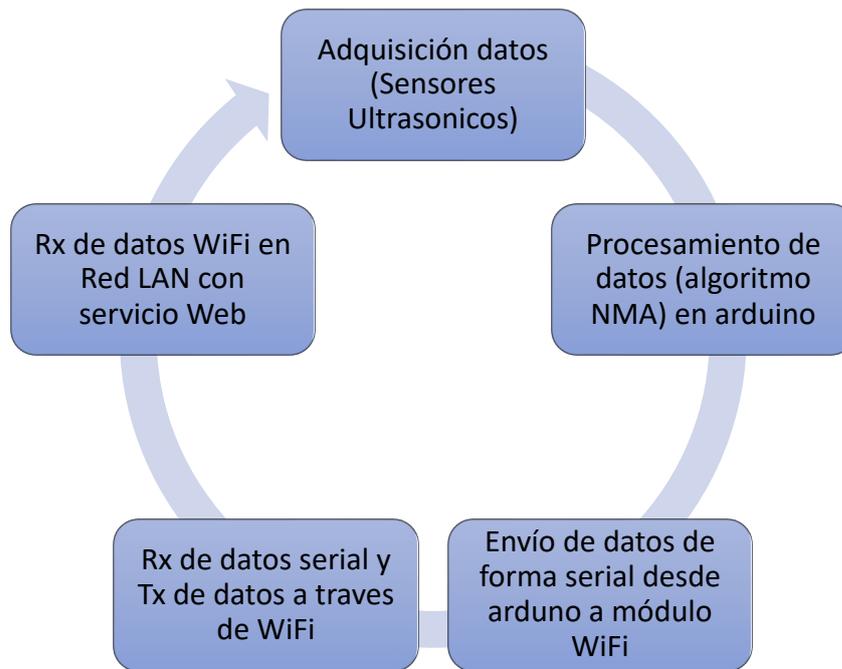


Figura 8. Encaminamiento de datos adquiridos por sensores.

El valor de Rx de pulso que viaja desde el sensor hasta Arduino se guardó en una variable, ya que esta tiene el tiempo que dura en llegar el eco del ultrasonido, una vez obtenido el tiempo, el siguiente paso fue calcular la distancia entre el sensor ultrasónico y el objeto, para ello utilizamos la siguiente fórmula:

$$Velocidad = \frac{distancia}{tiempo} \quad (1)$$

Donde Velocidad es la velocidad del sonido 340m/s, tiempo es el tiempo que demora en llegar el ultrasonido al objeto y regresar al sensor y la distancia recorrida es dos veces la distancia hacia el objeto, reemplazando en la fórmula, despejando la distancia y teniendo en cuenta que se trabajó en unidades centímetros y microsegundos:

$$340 \frac{m}{s} * \frac{1s}{1000000\mu s} * \frac{100cm}{1m} = \frac{2d}{t} \quad (2)$$

$$d (cm) = \frac{t (\mu s)}{59} \quad (3)$$

Finalmente, se envía serialmente (si es en 1 o 0) y se almacena en una variable temporal el valor de la distancia, este proceso se lo realiza cada 100ms. Una vez que se tiene la distancia se acuerda la velocidad para conocer si los objetos se encuentran en movimiento o no, en este caso de estudio el parámetro principal fue la velocidad, sin embargo, al tener sensores ultrasónicos que no nos entregan la velocidad como tal a la que se mueve un objeto, se propuso la creación de un algoritmo, el cual permitió identificar 3 estados (presencia de objeto, no

presencia de objeto y objeto en movimiento). Dichos objetos fueron identificados como automóviles, para ello los 3 estados manejados:

a = No presencia de autos.

b = Movimiento de autos.

c = Autos sin movimiento

Al ser el porcentaje de tráfico el factor principal para poner en funcionamiento la semaforización inteligente, se creó un algoritmo desarrollado en base a los datos conocidos y que hasta el momento los sensores ultrasónicos entregan. Por lo tanto, a continuación, se explica la metodología que se utilizó para calcular cada uno de los estados y su valor, los mismos que utilizan el valor de la distancia calculada entre el sensor de proximidad y un objeto frente a él (un auto), descritas en base a las ecuaciones 1-3.

No presencia de autos (a): la distancia previamente calculada deber ser mayor a un umbral (valor determinado).

Auto en movimiento (b): para determinar si un auto se encuentra en movimiento se calcularon distancias en un lapso de tiempo, es decir, al tener dos distancias, que al ser restadas se obtiene una distancia final, misma que al ser dividida para un tiempo específico nos da la velocidad para saber si el objeto está en reposo o en movimiento.

Auto en reposo (c): si d_1 es menor a un primer valor de umbral y la diferencia de distancias (d_1 y d_2)

En base a la metodología mencionada, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de tráfico (\%)} = \frac{\left(a + \frac{b}{2}\right) * 0,3 + \left(c + \frac{b}{2}\right) * 0,7}{a + b + c} * 100 \quad (3)$$

Luego, se pudo observar a simple vista cuando existe o no tráfico, sin embargo, estos datos hay que sustituirlos en la ecuación 4 y verificar que el algoritmo que se implementa a nivel de programación en Arduino es el más adecuado para determinar el porcentaje de tráfico, los cálculos se detallan a continuación.

$$\% \text{ tráfico exp. 1} = \frac{\left(6 + \frac{8}{2}\right) * 0,3 + \left(3 + \frac{8}{2}\right) * 0,7}{6 + 8 + 3} * 100 \quad (4)$$

$$\% \text{ tráfico exp. 1} = 46,47$$

$$\% \text{ tráfico exp. 2} = \frac{\left(8 + \frac{5}{2}\right) * 0,3 + \left(4 + \frac{5}{2}\right) * 0,7}{8 + 5 + 4} * 100 \quad (5)$$

$$\% \text{ tráfico exp. 2} = 45,29$$

$$\% \text{ tráfico exp. 3} = \frac{\left(0 + \frac{6}{2}\right) * 0,3 + \left(11 + \frac{6}{2}\right) * 0,7}{0 + 6 + 11} * 100 \quad (6)$$

$$\% \text{ tráfico exp. 3} = 62,94$$

Una vez reemplazados los datos se pudo verificar que efectivamente la ecuación 4 funciona para determinar este porcentaje de tráfico, ya que el umbral manejado fue del 50%, es decir, si el porcentaje calculado es menor al 50% no existe congestión vehicular por lo tanto la semaforización debe funcionar normalmente, pero si éste excede de 50% se tiene que poner en

funcionamiento la parte de semaforización inteligente para descongestionar la calle Malo y Serrano. Es importante mencionar que para cualquier tipo de prueba experimental la ecuación creada funciona y que ha sido desarrollada con esa finalidad.

En la tabla 1 se muestran los diferentes campos que se llenan a partir del número de semáforos y la ubicación de estos, con los cuales se hace posible la semaforización inteligente, es importante recalcar que en esta investigación se realizó el estudio de un solo punto crítico, el cuál se encuentra en las calles Malo y Serrano, sin embargo, para investigaciones futuras se deja código abierto para poder escalar el número de semáforos en el centro de la ciudad.

Id.	N°	Ubicación	Dirección IP	% de tráfico	Estado actual
1		Malo Serrano	192.168.0.115	67	Verde
2		Emilio Abad y Sucre	192.168.0.116	35	Rojo

Tabla 1: Detalle de semáforos en MySQL

Como se detalla, existe un campo en el que se incluye la dirección IP que no es la del semáforo, sino del servidor Arduino, ya que se toma en cuenta que si el sistema de semaforización hace alusión a una transversal se tiene un solo servidor que es la del semáforo sobre el cual se implementa semaforización inteligente y los otros semáforos presentes en la transversal serán lo inverso al principal para así minimizar el congestionamiento.

Luego de realizar la tabla de semáforos, se creó la aplicación Web, primeramente, en una pantalla se permite ingresar usuario y contraseña, para luego, crear otra tabla en MySQL, la cual contiene a todos los usuarios que pueden ingresar a la aplicación para poder manipularla.

Seguido de la creación de la tabla de control de usuarios, se realiza el control y monitoreo de la semaforización inteligente, desarrollada en PHP, con la intención de visualizar de forma gráfica el sistema, es decir, esta pantalla debe estar en la capacidad de indicar los semáforos que están siendo monitoreados, el estado en el que se encuentran y botones con los cuales se puede controlar la semaforización.

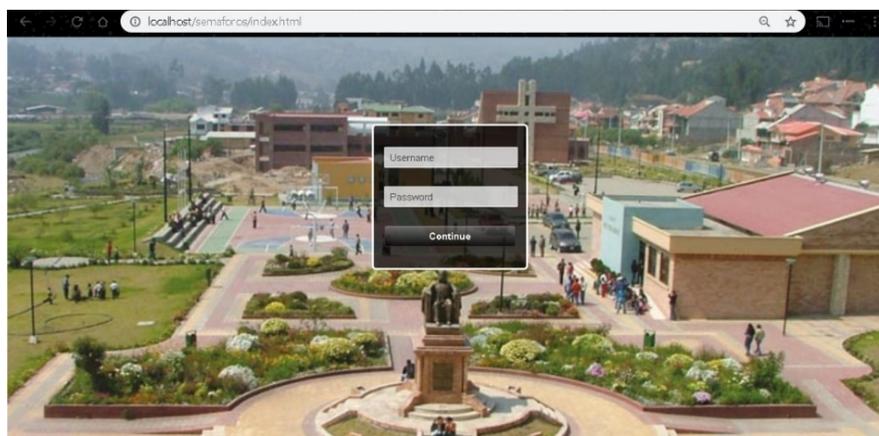


Figura 9. Control y login de usuarios.

En la figura 9 se puede presentar el interfaz gráfico creado bajo PHP y JavaScript para el control de usuarios que pueden acceder al monitoreo de semaforización inteligente, en caso de uno de estos no constar en la base de datos no puede hacer uso de la aplicación.

El desarrollo de la interfaz de control o logIn de usuarios se desarrolló con la finalidad de brindar seguridad y limitar el acceso a los diferentes usuarios que hagan uso de esta aplicación, las figuras 10 y 11 presentan la ventana de acceso al sistema y la página principal del mismo.



Figura 10. Página de control de semaforización (estado en verde).



Figura 11. Página de control de semaforización (estados diferentes).

En la pantalla se visualizan 3 botones para cada semáforo, el primero permite monitorear y visualizar en tiempo real el porcentaje de tráfico, el segundo permite controlarlo para que trabaje en estado normal, es decir, si en un determinado momento se está haciendo uso de semaforización inteligente y el congestionamiento ha sido controlado en su totalidad se puede poner a funcionar a los semáforos como se encontraban previo a la automatización, desarrollado para ser implementado al tener en cuenta que en la madrugada no existe congestionamiento; el último botón permite cambiar el color del semáforo dependiendo del estado actual en el que este se encuentre.

En base al cálculo de porcentaje de tráfico realizado y luego de conocer como este es enviado e interpretado, se obtiene el resultado mostrado en la figura 12:



Figura 12. Monitoreo de control de tráfico en tiempo real.

El monitoreo de tráfico vehicular inicia una vez que se presiona el botón de monitoreo, diseñado para que, mediante su análisis, presentar al operador o usuario el porcentaje de tráfico en tiempo real, una vez que se conozca este el operador está en la capacidad en conjunto con la aplicación Web de cambiar el color del semáforo para que este entregue prioridad a la calle congestionada y pueda ser inmediatamente descongestionada, de igual forma el operador puede parar el monitoreo y también poner al semáforo en funcionamiento normal. Importante pues, esta data permite la elaboración de estadísticas, y toma de decisiones sobre el sistema para su escalabilidad.

No siempre es necesario tener en funcionamiento la semaforización inteligente, como se muestra en la figura 13 con indicadores de funcionamiento normal.

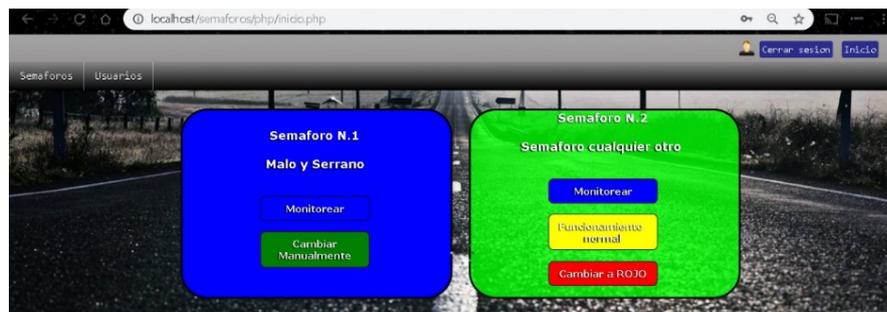


Figura 13. Funcionamiento normal de sistema de semaforización.

Finalmente, en el sistema de semaforización inteligente, se realizó la medición del tráfico vehicular en una semana, resultando como datos los mostrados en la figura 14.

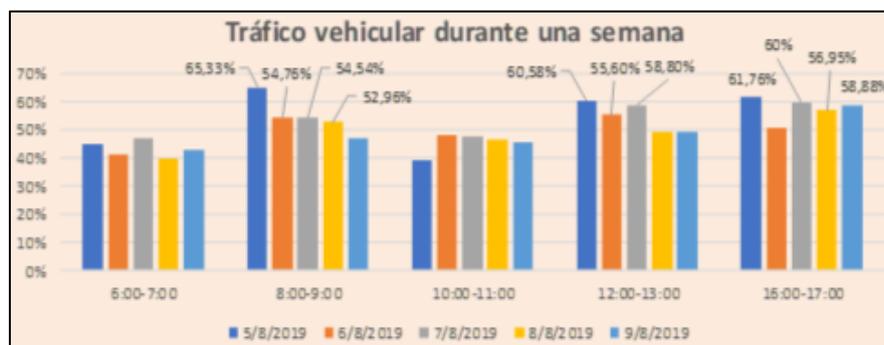


Figura 14. Porcentaje de tráfico medido en la semana del 05/08/2019 al 09/08/2019.

Y el porcentaje de tráfico medido fue el siguiente (figura 15):

	6:00-7:00	8:00-9:00	10:00-11:00	12:00-13:00	16:00-17:00
5/8/2019	45%	65,33%	39,33%	60,58%	61,76%
6/8/2019	41,57%	54,76%	48,09%	55,60%	50,76%
7/8/2019	47,14%	54,54%	47,64%	58,80%	60%
8/8/2019	40%	52,96%	46,66%	49,23%	56,95%
9/8/2019	43%	47,27%	45,55%	49,46%	58,88%

Figura 15. Porcentaje de tráfico medido en la semana del 05/08/2019 al 09/08/2019.

En el vehículo eléctrico se desarrolló la programación y activación de los diferentes sensores, que utilizan librerías ya desarrolladas para la activación de cada uno de ellos. Se utilizó Arduino debido a que es de código autónomo, las librerías necesarias para este proyecto se alojaron en GitHub, al cual se accede y se descarga los ejemplos realizados, y mediante este se obtuvieron métodos para el desarrollo y activación de los diferentes equipos a usarse.

El código fuente se aplicó bajo la licencia general de GNU, el IDE de Arduino admite los lenguajes C y C++ utilizando reglas especiales de estructuración de códigos, el cual administra bibliotecas de software del proyecto wiring, con procedimientos comunes de ingreso y salida de datos, el código desarrollado por el usuario solo requiere dos funciones para iniciar el boceto y el ciclo principal del programa, el cual se compila y vincula con un apéndice de programa de nombre “main”. El IDE de Arduino emplea el programa avrdude para convertir el código ejecutable en uno de texto en código ejecutable en un archivo de texto en codificación hexadecimal que se carga en la placa mediante un programa de carga en el firmware de la placa.

La conexión eléctrica se realizó mediante cables y relés, para la activación automática de los sensores, la señal se obtuvo directamente de la tarjeta de control, activándolo y haciendo variar la velocidad del limpiaparabrisas de acuerdo a la cantidad de lluvia que detecta el sensor conectado en la parte izquierda del vehículo, como se aprecia en la figura 16. Para que el sistema automático funcione se conectaron los cables a la palanca de activación de los limpia parabrisas, la cual ingresa los datos a la memoria del vehículo.

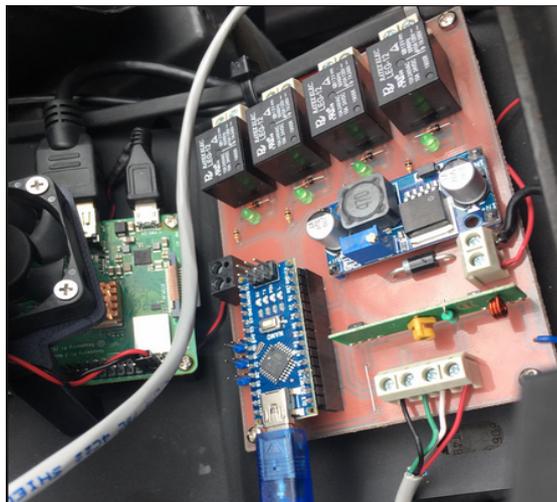


Figura 16. Placa de control.

El interfaz de funcionamiento se basó en los datos que obtiene el sensor, los cuales son reflejados en la pantalla del ordenador, como se aprecia en la figura 17.

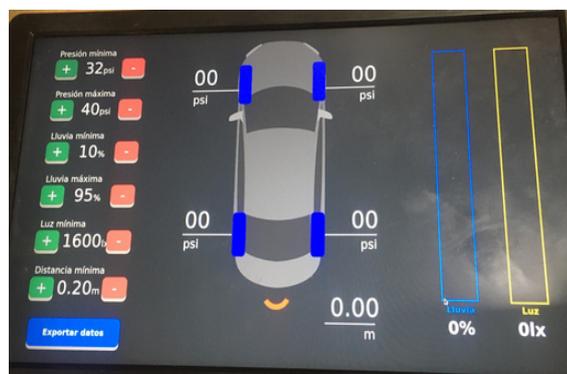


Figura 17. Datos reflejados de los sensores.

El sensor de luz funciona como dispositivo esclavo tanto para I2C, como para SMBus, para establecer la comunicación, el sensor primero inicia un comando de inicio I2C, usando una dirección de esclavo de siete bits, para minimizar la cantidad de acoplamiento en las líneas

de comunicación, existen dos formas de conectar la una es de forma capacitiva y la otra es mediante comunicación de las fuentes evitando que ingrese ruido al sistema, a continuación, se aprecia los conectores en la figura 18.

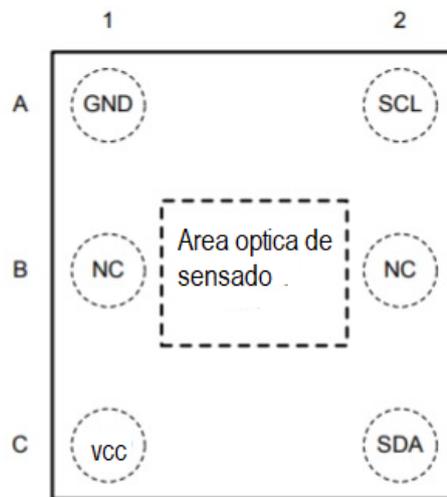


Figura 18. Diagrama de puertos del sensor.

El sistema de control de presión de los neumáticos sirve para alertar al conductor en el caso de que una de las ruedas no tenga la presión adecuada, se instalan en los neumáticos y se los configuró haciéndolos que coincidan en frecuencia, para que transmitan los datos de presión de los diferentes neumáticos del vehículo, figura 19.

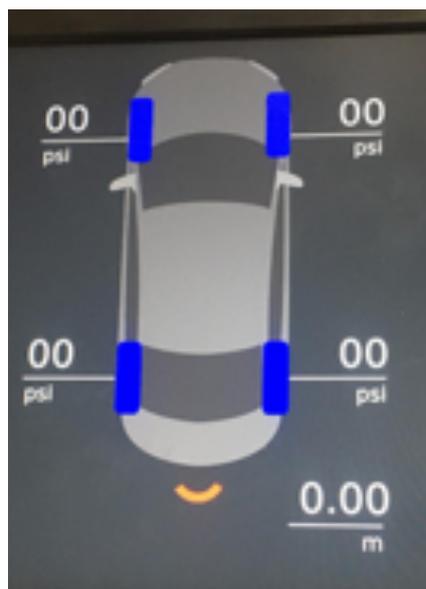


Figura 19. Pantalla de registro de presión de los neumáticos.

Por su parte, el sensor ultrasónico está compuesto por un monitor que incluye sensores en el exterior colocados en la parte trasera del vehículo, permitiendo tener un registro de los obstáculos que se pueden encontrar, el sistema de ayuda al aparcamiento por ultrasonidos, el cual indica con toda precisión la distancia hasta el obstáculo cuando da marcha atrás, está

formado por una unidad central que se instala en el maletero trasero y una pantalla en el cual se reflejan los análisis de datos.

La visualización y selección de la pantalla, se ajustó a la tarjeta Raspberry Pi, la cual se encuentra conectada a la tarjeta de control, el monitor visualizó la información multimedia integrada para diferentes medios los cuales reciben comandos completos, un sistema desde la propia pantalla facilita la ejecución de tareas del sistema.

Puede ser conectada a un microcontrolador utilizado, los ocho bits del bus de datos o solamente los cuatro bits más significativos, al emplear los ocho bits, estos deberán conectarse a un solo puerto, nunca en diferentes, si se trabaja solo con los cuatro bits más significativos, estos deberán ser conectados a los bits más significativos del puerto seleccionado.

El circuito de control del vehículo comienza a funcionar con las condiciones requeridas, la condición establecida enciende el sistema, tiende a estabilizarse, activar los sensores y los pone en línea, ya estable el sistema, este tiende a operar y refleja los datos obtenidos de los diferentes sensores, la capacidad de este sistema varía según el modelo del microcontrolador, estabilizando los voltajes, esta placa de control se visualiza en la figura 20.

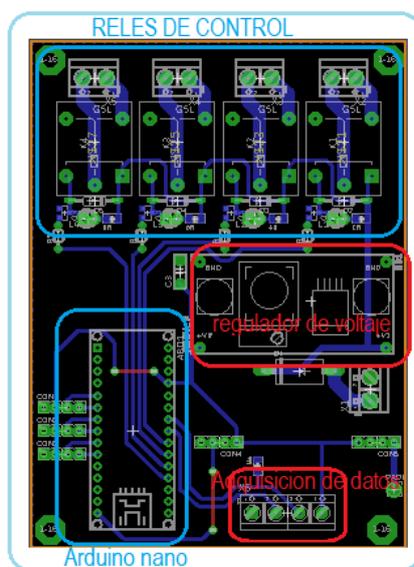


Figura 20. Circuito de control.

La mayoría de los sensores van conectados al sistema de control o a un adaptador de señal, ya que internamente llevarán la electrónica necesaria para integrarse en la red de control, la mayoría de estos equipos se conectan mediante cables, pero existen muchos que incorporan electrónica para comunicaciones inalámbricas, a continuación, se aprecia el diseño general en la figura 21.

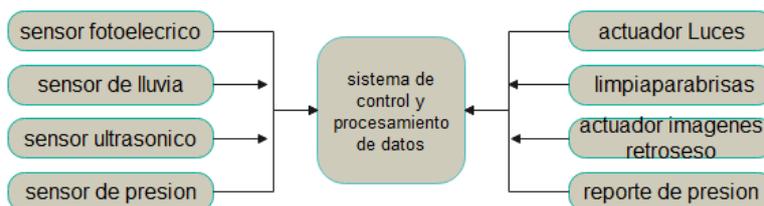


Figura 21. Diseño general.

La información proviene directamente de los diferentes sensores que se ubicaron en el vehículo, los datos que se obtienen actúan sobre los diferentes componentes del mismo, se

intervino mediante un controlador Arduino nano y una serie de relés, los cuales ingresaron una señal eléctrica a los actuadores, las pruebas y los datos se analizaron en el monitor, como se observa en la figura 22.

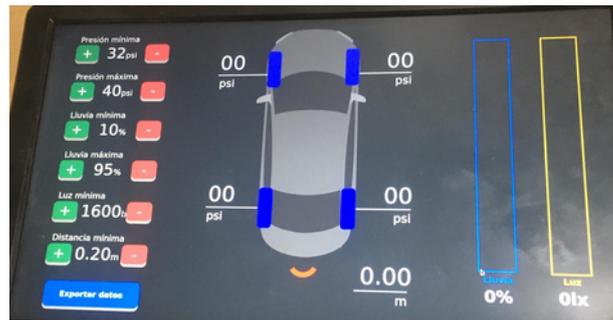
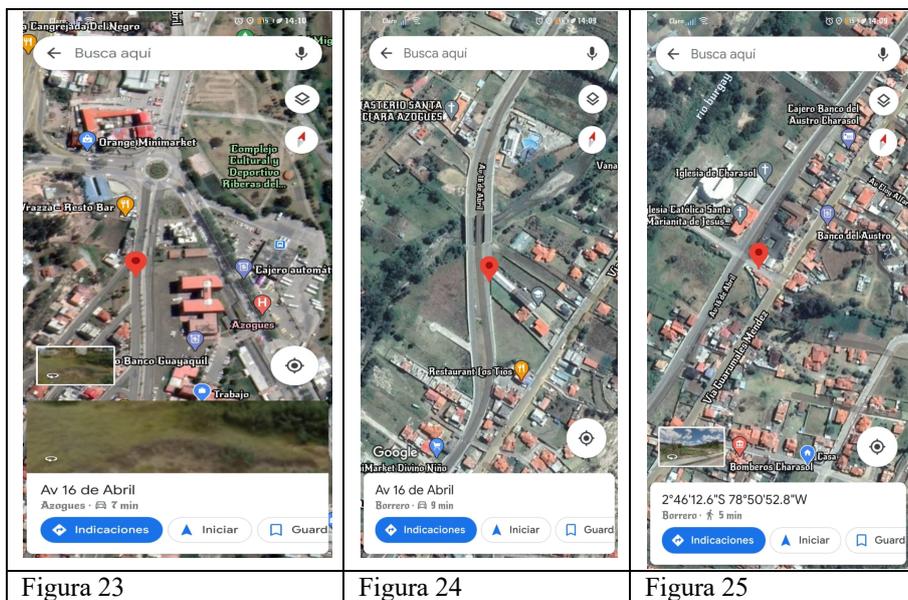


Figura 22. Monitor de análisis de los sensores.

Finalmente, las figuras 23, 24 y 25, muestran el interfaz del diseño de la aplicación web para registrar la ubicación del vehículo eléctrico en tiempo real.



Ubicación del vehículo en tiempo real a través de Google Maps.

IV. CONCLUSIONES

Se comprobó que el algoritmo implementado para cálculo de tráfico vehicular es eficiente y permite que la aplicación Web muestre todo su potencial al estar dentro de una red con arquitectura cliente-servidor, claro que para que esto la principal característica es que todos los dispositivos que se comunican entre sí, deben estar en la misma red, LAN para el servidor y WLAN para control de semáforos.

Se identificó que uno de los principales parámetros de comunicación para que el sistema no presente inconvenientes a nivel de Tx y Rx de datos, es la velocidad con la cual se configura el módulo ESP-8266 y la transmisión serial desde arduino hacia dicho modulo, ya que si esta no cumple 9600 baudios, la transmisión falla y por ende el servidor no puede cargar los datos en su aplicación Web.

Se comprobó que la manera más adecuada de configurar la velocidad de un módulo WiFi es mediante comandos AT, que son compatibles con Arduino y con los cuales dicha configuración permite que el módulo opere al 99,9% de su rendimiento.

Se demostró que la solución planteada en base a simulaciones permite minimizar el congestionamiento vehicular, además, con la aplicación Web desarrollada no solo es posible controlar el sistema de semaforización, sino también, mantenerlo constantemente monitorizado y poder extraer datos que permitan a los Municipios determinar con datos reales las calles más críticas en base a su tráfico vehicular.

La plataforma escogida para este desarrollo fue, Arduino vinculado con Raspberry Pi, ya que estas herramientas presentan muchas ventajas, principalmente, su bajo costo, además, de ser muy versátiles y fáciles de usar; su hardware es pequeño, por lo tanto, es posible adaptarlo a diversos modelos para la obtención de datos. Otra ventaja de estas plataformas es la amplia información existente en Internet, con contenido subido en diversos foros, por usuarios que vienen desarrollando distintos procedimientos y aplicaciones de los sensores.

En referencia al vehículo eléctrico, el éxito en la implementación de esta alternativa tecnológica está en monitorear todo el tiempo los siguientes aspectos: la presión de los neumáticos, la cantidad de lluvia, activación de los limpia parabrisas, el nivel de luz, brindando alertas al usuario de la inclemencia a la que se somete el vehículo.

Como investigación a futuro, se puede incursionar en el desarrollo de aplicaciones dentro de la tecnología V2X, o tecnología de vehículos conectados a todo, revolucionando a nivel país, pues no existe ninguna ciudad en Ecuador que aplique o tenga dentro de sus proyectos la inmersión en esta tecnología, permitiendo que los vehículos se comuniquen entre sí, es decir, que todos los vehículos estarán conectados con toda la infraestructura de tráfico, y así se puede realizar el intercambio de datos, incluyendo la ubicación del auto mediante GPS, la velocidad del mismo y la dirección entre ellos. Por lo tanto, el conductor tendrá conocimiento de un sinnúmero de aspectos que ayudarán a reducir la posibilidad de choques, evitar el tráfico o los cuellos de botella, reducir las emisiones de CO₂ en gran medida, ya que está directamente relacionado al alto tráfico en los embotellamientos e incrementar la seguridad. Trayendo consigo ventajas para los organismos urbanos, quienes, tendrán más información sobre el movimiento y el número de vehículos en las calles, se podrá planificar mejor y gestionar mejor el flujo de tráfico, y de esta forma optimizar semáforos para ubicarlos solo donde realmente sería necesario. Marcando así un hito en nuestro país y a nivel Latinoamérica.

V. CONFLICTO DE INTERÉS

El desarrollo de esta investigación se realizó con la contribución única de los autores, cuyo objetivo se fundamentó en convertir a la ciudad de Azogues, en una ciudad piloto, para aquellas en vías de desarrollo, en movilidad sustentable y semaforización inteligente.

VI. REFERENCIAS

Camarena, J., Contreras, L., Moreno, K., Rodríguez, M., & Salazar, C. (2018). Aplicaciones del IoT para el control de congestión vehicular. Memorias de Congresos UTP, 90–95. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1794>

-
- Historia de Azogues | La Historia mas importante de Azogues. (n.d.). Retrieved August 7, 2021, from <https://historiadeazogues1.wordpress.com/>
- Icaza, D., Borge-Diez, D., & Galindo, S. P. (2021). Proposal of 100% renewable energy production for the City of Cuenca- Ecuador by 2050. *Renewable Energy*, 170, 1324–1341. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.067>
- INEC. (2010). Fascículo provincial del Cañar. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos Del Ecuador, 8. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/canar.pdf>
- Inicio. (n.d.). Retrieved August 6, 2021, from <https://turismo.azogues.gob.ec/>
- Ortega Castro, J., & García Abad, R. (2014). Medición de los niveles de contaminación de CO y CO₂, a través de un sistema electrónico basado en PLC's, para el monitoreo de la calidad del aire en la Universidad Católica de Cuenca, Sede Azogues. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo - RIAT*, 10(2), 217–224. <https://doi.org/10.4067/riatvol10iss2pp217-224>
- Reinoso, L., & Ortega, J. (2020). Incremento de la autonomía de un vehículo eléctrico Dayang CHOK-S a través de la utilización de paneles solares. *NovasinerGía Revista Digital De Ciencia, Ingeniería Y Tecnología*, 3(2), 40–46. <https://doi.org/10.37135/ns.01.06.03>
- Turismo Azogues información sitios turísticos. (n.d.). Retrieved August 6, 2021, from <https://ec.viajandox.com/canar/azogues-C88>
- Ye, H., Li, G. Y., & Juang, B. H. F. (2019). Deep Reinforcement Learning Based Resource Allocation for V2V Communications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(4), 3163–3173. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2897134>.