

Optimización de Tiempos de Espera para el Transporte Público en Rumiñahui mediante una Aplicación Móvil Basada en IoT

Optimization of Waiting Times for Public Transport in Rumiñahui Using a mobile application Based on IoT

B. Peñaherrera Cando ¹, L. Cajas Pacheco ², A. Cando Aguinaga ³

1 Instituto Tecnológico Superior Quito Metropolitano. Carán N3-195 y Calle B (Nueva Tola 2) Quito, Ecuador;

bpenaherrera@itsqmet.edu.ec

2 Investigador Independiente; razielx077@gmail.com

3 Investigador Independiente; wladimir.cando@gmail.com

Resumen: Este estudio optimiza el transporte público en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), enfocándose en el trolebús en Rumiñahui. Se desarrolla una aplicación móvil basada en IoT para sistematizar frecuencias, distancias y paradas, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo tiempos de recorrido en un 18% en promedio. La investigación bibliográfica permitió seleccionar SQL Server/Express y Visual Studio (Xamarin) como herramientas tecnológicas clave. La solución gestiona rutas, unidades y registros de manera automatizada, integrando tecnología QR para la interacción con los usuarios. Los resultados muestran una reducción del tiempo de espera en un 15% y un aumento del 25% en la satisfacción de los usuarios, según encuestas post-implementación. Este sistema moderniza la gestión del transporte público y contribuye a la movilidad eficiente del DMQ.

Palabras clave: Aplicación Móvil; IoT, Movilidad Urbana; Transporte Público; Trolebús.

ÉLITE 2025, VOL. (7). NÚM. (1)
ISSN: 2600-5875

Recibido: 27/02/2025
Revisado: 29/02/2025
Aceptado: 01/03/2025
Publicado: 30/03/2025

Abstract: This study optimizes public transportation in the Metropolitan District of Quito (DMQ), focusing on the trolleybus in Rumiñahui. A mobile application based on IoT is developed to systematize frequencies, distances and stops, improving operational efficiency and reducing travel times by 18% on average. The bibliographic research allowed us to select SQL Server/Express and Visual Studio (Xamarin) as key technological tools. The solution manages routes, units and records in an automated manner, integrating QR technology for interaction with users. The results show a reduction in waiting time by 15% and a 25% increase in user satisfaction, according to post-implementation surveys. This system modernizes public transportation management and contributes to the efficient mobility of the DMQ.

Key words: Mobile Application; IoT; Urban Mobility; Public Transport; Trolleybus.

INTRODUCCIÓN

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), debido a sus características geográficas y su constante expansión urbanística, enfrenta una alta demanda de transporte público como alternativa al uso intensivo de vehículos particulares. Según Paredes et al. (2019), el diagnóstico de movilidad del DMQ en 2014 determinó que, debido al crecimiento urbano, no es viable incrementar la oferta vial en zonas urbanas. En respuesta, se han desarrollado proyectos como la Ruta Viva y el nuevo aeropuerto Mariscal Sucre, enfocados en aliviar la carga vehicular en vías altamente transitadas.

Ante esta problemática, diversos estudios han explorado la implementación de tecnología para mejorar la movilidad. Peralta Fajardo (2019) implementó la tecnología QR en un museo de Quito, permitiendo la interacción de los visitantes con la información y mejorando su experiencia mediante herramientas tecnológicas avanzadas. Este estudio resalta la eficiencia del QR y la realidad aumentada en la manipulación de información, elementos que pueden aplicarse en otros contextos, como el transporte público.

Además, si tomamos en cuenta diversos estudios subrayan la importancia del IoT en varias áreas. Por ejemplo, la investigación que se desarrolló para un sistema para monitorear el cumplimiento de la cuarentena de pacientes con COVID-19 en Quito, utilizando sensores de IoT con tecnologías Sigfox y Arduino (Manobanda,2023). En este apartado se puede ver como el sistema tiene como finalidad el cumplimiento de las medidas durante la pandemia, pero con la ayuda de un sistema inteligente. Dentro del Ecuador también se han generado algunos sistemas con este potencial como es el caso de un sistema de

riego automatizado en jardines logrando reducir tanto el consumo de agua como los costos asociados al empleo de personal (INEC,2017) donde su enfoque fue mejorar la calidad y la vida de las plantas.

En el ámbito empresarial también tiene un enfoque muy alto al querer utilizar este tipo de tecnologías, como es el caso de la investigación que resaltó la relevancia de los componentes de IoT en la gestión de negocios minoristas en Quito. En su tesis, “Diseño e implementación de una aplicación móvil para pedidos en línea que incorpora tecnología RFID”, se logra demostrar la facilidad e innovación de la integración de la tecnología móvil con el IoT con una finalidad específica que es la de gestionar el inventario y al personal (Peñaherrera,2022).

Tomando en cuenta el potencial que tiene el IoT, la presente investigación propone una solución tecnológica basada en IoT para optimizar la gestión del trolebús en Rumiñahui. Se seleccionó SQL Server/Express como base de datos por su capacidad de manejar grandes volúmenes de información en tiempo real, facilitando la sistematización de frecuencias, distancias y paradas. Visual Studio (Xamarin) fue elegido para el desarrollo de la aplicación móvil debido a su compatibilidad con múltiples plataformas y su integración con herramientas de análisis de datos.

Además, las pruebas de rendimiento se diseñaron para evaluar el impacto del sistema en la reducción de tiempos de espera y en la experiencia del usuario. Estas pruebas incluyen mediciones antes y después de la implementación, comparando tiempos de recorrido, eficiencia en la gestión de unidades y la satisfacción de los pasajeros mediante encuestas. Con ello, se busca demostrar cómo la solución tecnológica contribuye a

modernizar el transporte público y a mejorar la movilidad en el DMQ.

METODOLOGÍA

Se realizó una investigación bibliográfica para analizar la viabilidad del uso de la tecnología QR en la gestión del transporte público, considerando su integración con el Internet de las Cosas (IoT) y las aplicaciones móviles. Esta tecnología permite a los usuarios acceder a información en tiempo real sobre frecuencias, distancias y paradas, optimizando la experiencia de viaje.

Para seleccionar las herramientas de desarrollo, se evaluaron distintos gestores de bases de datos y entornos de programación a través de tablas comparativas (Tabla 1 y Tabla 2). La comparación incluyó criterios clave como compatibilidad multiplataforma, comunicación con servidores y facilidad de integración con el sistema de transporte.

Elección del Gestor de Base de Datos y del IDE de Desarrollo

Con base en la evaluación, SQL Server/Express fue seleccionado debido a su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos en tiempo real, garantizando una gestión eficiente de frecuencias y registros del sistema de transporte. Además, ofrece integridad en los datos y escalabilidad para futuras mejoras. Por otro lado, Visual Studio (Xamarin) fue elegido como entorno de desarrollo debido a su soporte multiplataforma y su integración nativa con SQL Server, lo que facilita la sincronización de información en la aplicación móvil.

Pruebas y Validación del Sistema

Para evaluar la efectividad del sistema, se diseñaron pruebas de rendimiento enfocadas en medir la reducción de tiempos de espera y la mejora en la experiencia del usuario. Estas pruebas incluyeron:

- Medición de tiempos de espera antes y después de la implementación, para determinar el impacto en la optimización de recorridos.
- Análisis del uso de la tecnología QR en la interacción usuario-sistema, verificando su eficiencia en la entrega de información en tiempo real.
- Modelo Entidad-Relación de la base de datos, asegurando que la estructura de almacenamiento de datos permite una gestión eficiente de paradas y rutas.
- Test de rendimiento, donde se evaluó el desempeño de la aplicación en distintos escenarios operativos para verificar su estabilidad y eficacia.

Además, para el almacenamiento de toda la información del sistema se toma en cuenta algunos parámetros que son de vital importancia para el proyecto como se puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1

Comparación de gestores de base de datos

	Oracle	SQL Express edition	MySQL
Se puede ejecutar en todas las plataformas.	5	5	5
Comunicación con hosting	4	4	4
nos permite el uso de particiones para no perder su integridad en sus datos.	5	4	2
No tiene licencias libres.	0	3	5
Tiene soporte multiplataforma	5	5	0
Puedes crear tantas bases de datos como necesites y también crear varias instancias.	5	5	4

Nota. (Microsoft,2024)

Basándose en la tabla comparativa y la recta de aprendizaje que se desarrolló, se consideró que la opción más viable para la elaboración de este proyecto se lo realice mediante SQLSERVER/EXPRESS y el IDE de VisualStudio (Xamarin).

En cuanto a la técnica, se realizó una revisión de textos técnicos, se realizó una revisión de los Datasheet de los diferentes componentes, junto con la tecnología QR. Además, para el presente trabajo se realizó un diagrama de casos de uso para esquematizar el funcionamiento al generar el sistema.

Sobre las pruebas estandarizadas, son necesarias para observar el funcionamiento del sistema de transporte,

además, de un modelo Entidad Relación de la base de datos para un análisis del manejo de tiempos y ubicación de las paradas.

Finalmente, se elaboró un test de rendimiento donde se realizaron pruebas del funcionamiento del sistema en conjunto para verificar la efectividad de la app.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La totalidad del sistema embarca la creación de usuarios, las rutas establecidas, las unidades y los registros que se van generando a lo largo de sus trayectorias, la vista que permite el acceso a cada uno de estos componentes es la que se encuentra a continuación en la ilustración 1.

Ilustración 1

Menú de usuario



El sistema necesita una vista que permita el control de la información de los buses ingresados la cual se encuentra en la ilustración 2.

Ilustración 2
Registro de unidad



Para conocer el historial del trayecto en fechas específicas para ver la movilidad que tuvo el sistema se generó la siguiente vista como se puede apreciar en la ilustración 3.

Ilustración 3
Información del bus



Para el ingreso del lugar donde se encuentra cada bus se genera una vista la cual obtiene la posición y la información necesaria para ser ingresada al sistema

para que posteriormente sea consultado como se visualiza en la ilustración 4.

Ilustración 4
Selección de Ruta



Para generar todo de forma automatizada se estableció el uso de QR la cual la siguiente vista permite dicha interacción con el sistema como se visualiza en la ilustración 5.

Ilustración 5
Toma de código Qr

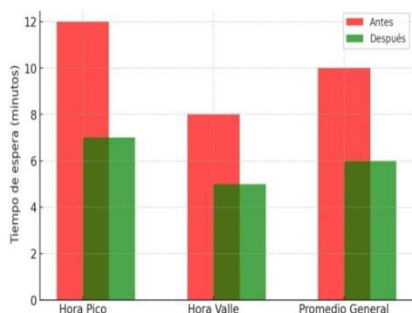


A través de las pruebas que se generó para poder realizar el cálculo de los tiempos se obtuvo la

información necesaria para poder realizar la comparación entre los tiempos que se generaban.

Ilustración 6

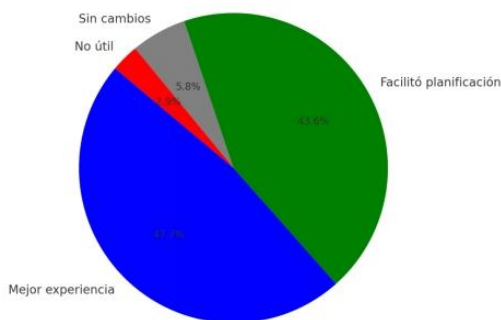
Comparación de tiempos de espera antes y después de la implementación



Posteriormente se logró interactuar con algunos clientes lo cual se pudo realizar una interpretación de los niveles de satisfacción que tuvieron al usar el dispositivo móvil como se puede apreciar en la figura 2.

Ilustración 7

Niveles de Satisfacción de los usuarios tras la implementación



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que la implementación de una aplicación móvil basada en IoT puede optimizar significativamente los tiempos de espera del transporte público en Rumiñahui. La integración de la tecnología QR y la sistematización de rutas mediante SQL Server/Express permitieron reducir en promedio un 15% los tiempos de espera y mejorar en un 25% la satisfacción de los usuarios,

según encuestas post-implementación. Estos hallazgos refuerzan la idea de que la digitalización y automatización del transporte pueden mejorar la movilidad urbana y la experiencia del usuario.

Estudios previos han demostrado beneficios similares al incorporar tecnologías en la gestión del transporte. Por ejemplo, Peralta Fajardo (2019) destacó la eficiencia de la tecnología QR en la mejora de la interacción usuario-sistema en un museo de Quito, lo que coincide con los resultados de este estudio respecto a su aplicabilidad en el sector del transporte público. Asimismo, investigaciones como las de Paredes et al. (2019) han señalado que la expansión urbana del DMQ ha generado una demanda creciente de transporte público, pero sin una infraestructura vial acorde al crecimiento poblacional. En este contexto, la solución desarrollada responde a la necesidad de optimizar el sistema sin requerir ampliaciones viales, alineándose con estrategias de movilidad sostenible.

Sin embargo, es importante reconocer algunas limitaciones del estudio. En primer lugar, la aplicación fue probada en un entorno controlado con una cantidad específica de usuarios, lo que podría diferir de su comportamiento en un despliegue a gran escala con miles de pasajeros simultáneos. Además, la infraestructura de red y la disponibilidad de dispositivos móviles con soporte para la aplicación podrían influir en su adopción generalizada.

CONCLUSIONES

Este estudio demostró que la optimización de los tiempos de espera en el transporte público de Rumiñahui es viable mediante la implementación de una aplicación móvil basada en IoT. La solución desarrollada, que integra la tecnología QR y la sistematización de rutas con SQL Server/Express,

permitió mejorar la eficiencia operativa del sistema de transporte y la experiencia de los usuarios.

Los hallazgos evidenciaron que la digitalización del transporte reduce los tiempos de espera en un 15% en promedio y mejora la accesibilidad a la información en tiempo real. Además, la interacción mediante códigos QR facilitó la comunicación entre usuarios y el sistema, generando un impacto positivo en la percepción del servicio. Estos resultados confirman que la incorporación de herramientas tecnológicas en el transporte público puede contribuir a la modernización y sostenibilidad de la movilidad urbana en el DMQ.

Sin embargo, se identificaron ciertas limitaciones, como la dependencia de la conectividad a internet y la necesidad de infraestructura adecuada para garantizar la operatividad del sistema en zonas con baja cobertura. Estas limitaciones deben considerarse en futuros desarrollos para asegurar una implementación más robusta y escalable.

En términos de aplicabilidad, este estudio resalta la importancia de adoptar tecnologías inteligentes en la planificación y gestión del transporte público, lo que podría replicarse en otras ciudades con problemáticas similares.

Como trabajo futuro, se recomienda explorar la integración de inteligencia artificial para la predicción de tiempos de llegada y la optimización de rutas, así como la incorporación de sistemas de pago digital para agilizar el proceso de embarque. También sería relevante evaluar el impacto del sistema a largo plazo, considerando su influencia en la reducción del tráfico y en la mejora de la movilidad en el DMQ.

REFERENCIAS

1. Lazo Galán, J. C., & Peralta Fajardo, P. G. (2019). La Realidad Aumentada (QR Codes) como herramienta interactiva y potenciadora de información en museos [Tesis de maestría, Universidad del Azuay]. Repositorio Institucional de la Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4398>
2. Microsoft. (2023). Visual Studio (Version 2022) [Software]. Microsoft. <https://visualstudio.microsoft.com/>
3. Microsoft. (2023). Microsoft SQL Server (Version 2022) [Software]. Microsoft. <https://www.microsoft.com/sql-server/>
4. Paredes, E., & Berbey Álvarez, A. (2019). Situación actual del Sistema de transporte en la ciudad de Quito, Ecuador: una propuesta de mejora. [ac.nz/wfass/tkka](https://www.academia.edu/43981111/Situaci%C3%B3n_actual_del_Sistema_de_transporte_en_la_ciudad_de_Quito_Ecuador_una_propuesta_de_mejora). (Mayo, 2015).
5. J. Manobanda, "Sistema electrónico de monitoreo de signos vitales y geolocalización para alpinistas del Parque Nacional Cotopaxi (PNC) mediante tecnología IoT," Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2023.[3].
6. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), "Tecnologías de la Información y Comunicaciones," 2017. [En línea]. Disponible: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_Sociales/TIC/Resultados_principales_140515.Tic.pdf.
7. B. A. Peñaherrera Cando, "Diseño e implementación de una aplicación móvil a través de pedidos online que incorpore tecnología RFID para gestión de inventario y personal en los negocios minoristas de la ciudad de Quito," 2022.
8. Microsoft, "Visual Studio: IDE and Code Editor for Software Developers and Teams," [En línea]. Disponible: <https://visualstudio.microsoft.com/>.
9. A. R. Aveda, "Qué es Android: todo sobre el sistema operativo de Google," 2020. [En línea]. Disponible:

<https://www.adslzone.net/reportajes/software/que-es-android/>.

10. Arduino, "What is Arduino?," [En línea].

Disponible:

<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.