

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO

**CARRERA:
INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
Ingenieros de Sistemas**

**TEMA:
ALGORITMO DE BÚSQUEDA HEURÍSTICO PARA DETERMINAR
LA UNIDAD DE TAXI EJECUTIVO MÁS PRÓXIMA AL USUARIO,
HACIENDO USO DE LA TECNOLOGÍA GPS Y GSM.**

**AUTORES:
JORGE LUIS ALAVA SOLÓRZANO
CARLOS HUMBERTO PARRA SARMIENTO**

**TUTORA:
LINA PATRICIA ZAPATA MOLINA**

Quito, agosto 2019


CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Jorge Luis Alava Solórzano, con documento de identificación N° 0922451497 y Carlos Humberto Parra Sarmiento, documento de identidad N° 1715358246, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación con el tema: **“ALGORITMO DE BÚSQUEDA HEURÍSTICO PARA DETERMINAR LA UNIDAD DE TAXI EJECUTIVO MÁS PRÓXIMA AL USUARIO, HACIENDO USO DE LA TECNOLOGÍA GPS Y GSM”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIEROS DE SISTEMAS, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



CARLOS HUMBERTO
PARRA SARMIENTO
C.C. 1715358246




JORGE LUIS
ALAVA SOLORZANO
C.C. 0922451497

Quito, agosto 2019

DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DE LA TUTORA

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, con el tema **“ALGORITMO DE BÚSQUEDA HEURÍSTICO PARA DETERMINAR LA UNIDAD DE TAXI EJECUTIVO MÁS PRÓXIMA AL USUARIO, HACIENDO USO DE LA TECNOLOGÍA GPS Y GSM”**, realizado por Jorge Luis Alava Solórzano y Carlos Humberto Parra Sarmiento, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo de titulación.

Quito, agosto de 2019



LINA PATRICIA ZAPATA MOLINA
C.C. 0501877278

Dedicatoria:

Dedico este trabajo principalmente a Dios, mi esposa e hijos por su paciencia y colaboración durante las largas horas de investigación que conllevó realizarlo, me han impulsado a no declinar y fortalecido para obtener mis metas.

A mi mamá por su ánimo, confianza y por el cuidado que ha brindado a mi familia durante cada uno de mis viajes hacia la ciudad de Quito al momento de presentar mis avances investigativos.

A mi tía Narcisa Solórzano por acogerme en su casa durante el tiempo que curse mis estudios y todo su amor de madre que me brindó y fortaleció en todo momento.

A mi tío Hugo Solórzano por su apoyo económico, moral y afectivo durante toda mi vida, especialmente en esta etapa académica en donde espero no haberlo decepcionado.

Y al resto de mi familia que me animaron y colaboraron para poder alcanzar esta meta.

Jorge Luis Alava Solórzano

Dedico este trabajo muy especialmente a mi familia:

A mi mamá, Ruth Sarmiento, por ser la mujer más hermosa que me ha dado todo de sí sin guardarse absolutamente nada. Te amo mamá.

A mi papá Washington Humberto, por su presión y consejos para empujarme a seguir a delante cada día y buscar siempre lo mejor.

A mis hermanos Elizabeth, Daniel y Emilio, por sus sonrisas, locuras, alegrías, golpes, compañía y abrazos que sé que siempre estarán ahí,

Y muy especialmente a mi esposa Karla Cedeño por convertirse en mi compañera de batallas y de vida, y a mis hijas Bianca Sofía y Dana Camila, por darme la oportunidad de querer ser el padre que quiero ser para ustedes. ¡¡¡LAS AMO INFINITAMENTE!!!

Carlos Humberto Parra Sarmiento.

Agradecimientos:

Agradezco a Dios por siempre escucharme y permitirme seguir con vida para cumplir mis metas, a toda mi familia por siempre estar presente con todo su ánimo, fe, lágrimas, consejos, presión y alegrías e impulsarme a seguir a delante. A la Universidad Politécnica Salesiana, a mis profesores, a mis compañeros y amigos por haberme brindado los conocimientos, guías, consejos, alegrías y disgustos para poder cumplir a cabalidad con todos aquellos trabajos que ayudaron a formar mi perfil como estudiante y persona, agradezco a todas aquellas personas que he conocido que creyeron en mí y a las que no también, ya que fueron un impulso para probarme a mí mismo que soy fuerte que no debo dejarme derrotar y que puedo alcanzar todo lo que deseo.

Finalmente agradezco al Instituto Geográfico Militar en especial al Ing. Edison Bravo e Ing. Mauricio Albán, por toda su ayuda constante, paciencia y darme la oportunidad de investigar y enriquecer aún más mis conocimientos como profesional.

Carlos Humberto Parra Sarmiento.

ALGORITMO DE BÚSQUEDA HEURÍSTICO PARA DETERMINAR LA UNIDAD DE TAXI EJECUTIVO MÁS PRÓXIMA AL USUARIO, HACIENDO USO DE LA TECNOLOGÍA GPS Y GSM.

JORGE ALAVA SOLÓRZANO¹, CARLOS PARRA SARMIENTO², LINA ZAPATA³

Resumen

La presente investigación se centra en el diseño de un algoritmo de búsqueda heurístico complementado con la lógica de funcionamiento del algoritmo Dijkstra, para determinar cuál es el taxi más próximo hacia un usuario a través de una aplicación móvil para smartphone's. La arquitectura de software utilizada es cliente-servidor, en la que interviene la tecnología GPS de los smartphone's, para la georreferenciación de los actores y su visualización sobre un mapa, así como el trazado de rutas, todo esto a través de las plataformas de Servicios Web de Mapas, GeoServer y OpenLayers.

Para la comunicación y pruebas se utilizaron las redes de comunicación móvil WCDMA-GSM (3G) y LTE (4G). El desarrollo e implementación del algoritmo heurístico se realizó a través de la herramienta AppInventor sobre Android, complementado con JavaScript y PHP. En los resultados obtenidos se evidenció que la aplicación funciona de mejor manera bajo redes 4G en comparación a la 3G referente a los tiempos de respuesta obtenidos.

Palabras Clave: Algoritmo, Heurística, Android, PostGIS, GeoServer, 3G, 4G.

Abstract

This research focuses on the design of a heuristic search algorithm complemented with the operating logic of the Dijkstra algorithm, to determine which taxi is closest to a user through a mobile application for smartphone's. The software architecture used is client-server, in which the smartphone's GPS technology is involved, for the georeferencing of the actors and their visualization on a map as well as the route mapping, all this through the Web Services platforms of Maps, GeoServer and OpenLayers.

For communication and testing, WCDMA-GSM (3G) and LTE (4G) mobile communication networks were used. The development and implementation of the heuristic algorithm was carried out through the AppInventor tool on Android, complemented with JavaScript and PHP. The results obtained showed that the application works best under 4G networks compared to 3G regarding the response times obtained.

Keywords: Algorithm, Heuristics, Android, PostGIS, GeoServer, 3G, 4G.

¹ Estudiante de la carrera de Ingeniería de Sistemas, Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito
Autor por correspondencia: jalava@est.ups.edu.ec

² Estudiante de la carrera de Ingeniería de Sistemas, Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito
Autor por correspondencia: cparra@est.ups.edu.ec

³ Docente de la carrera de Ingeniería de Sistemas, Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito.

1. Introducción.

El desarrollo de tecnologías es la clave para obtener un Sistema de Transporte Inteligente a través del uso de dispositivos móviles, combinados con los sistemas de posicionamientos globales y los algoritmos de planificación de rutas, ayudando eficazmente a los conductores a elegir las rutas y reducir costo de viaje [1] [2].

Actualmente muchas de las compañías de taxis en la ciudad de Quito, aún siguen utilizando las llamadas telefónicas a través de un operador en una central y la intercomunicación de la misma con las distintas unidades de taxi a través de radio frecuencia, lo que muchas veces puede resultar en un proceso lento, engorroso, estresante y que en horas pico o muy entrada la noche, no transmite una sensación de seguridad para el usuario al momento de solicitar una unidad de taxi para transportarse, haciendo que este proceso resulte en la pérdida de clientes para la compañía.

El presente trabajo busca integrar la tecnología GPS, la georreferenciación de objetos sobre un mapa [3], y la implementación de un algoritmo de búsqueda heurístico para determinar la unidad de taxi ejecutivo más próximo al cliente en función de su disponibilidad, tiempo y distancia [4]; lo que implica un trabajo de investigación sobre cómo integrar estos tres componentes con el fin de mejorar el proceso de servicio de taxi y la presentación de una alternativa tecnológica a la actualmente vigente en la ciudad de Quito

Por medio de la automatización del proceso de solicitud de taxi, se busca canalizar la comunicación entre el usuario con el conductor del taxi a través de una aplicación Android para smarthphone's, manejando dos tipos de perfiles: conductor de taxi y cliente. La aplicación permitirá la geolocalización de

la unidad de taxi y del usuario mediante el uso del dispositivo GPS incorporado en los celulares, su ubicación se representará respectivamente sobre un mapa virtual cargado en un visor geográfico, haciendo uso de la librería de JavaScript de OpenLayers [5] junto con los servicios web de mapas (WMS) de un servidor GeoServer [6], el cálculo de la ruta más corta desde la ubicación del taxi hasta la ubicación del cliente se lo hará mediante la función pgRouting para Dijkstra a través de una base de datos Postgres-PostGIS [7], la misma que a su vez se utilizará para el almacenamiento de información de los clientes, conductores, calles de la ciudad de Quito, y mediante la programación de funciones PSQL permitirá implementar un algoritmo de búsqueda heurística que determinará la unidad de taxi más próxima al cliente mediante el cálculo de áreas de proximidad cada 30 segundos.

La selección de taxis se basa en aquellos que se encuentren dentro del perímetro de búsqueda y con menor tiempo de respuesta, calculadas desde el punto de solicitud generada por el cliente por medio de la aplicación para celular.

Posteriormente el sistema se encargará de notificar al usuario qué unidad acogió su solicitud y el tiempo de atención.

Para la presente investigación se tomará como caso de estudio el servicio de taxi ejecutivo para la ciudad de Quito y no se ah tomado en cuenta factores como tráfico, semaforización, limites de velocidad ni señales de transito.

Luego de las pruebas realizadas se constata que la aplicación funciona de manera fluida bajo la tecnología de red móvil 4G(LTE) en comparación con la red 3G (WCDMA-GSM) evidenciandose un menor tiempo de carga de la aplicación y respuestas más rápidas en su funcionamiento.

2. Investigaciones Relacionadas.

El campo de la optimización de caminos mínimos, ha sido muy desarrollado en los últimos tiempos, varias investigaciones han complementado y demostrado lo eficiente que pueden ser ciertos algoritmos al realizar búsquedas heurísticas y meta heurísticas para obtener una solución óptima. Gran parte de estas aplicaciones se desarrollan para rastrear y monitorear vehículos [8] [9], otras enfocadas a resolver problemas de descongestionamiento vehicular en horas pico [10], en la seguridad vehicular, para el control de robo de vehículos [11], en la comercialización de productos de primera necesidad como el gas doméstico [12].

Otras investigaciones no relacionadas a la gestión de la movilización vehicular, pero que sin embargo han contribuido al estudio de los algoritmos de búsqueda heurística son, simulaciones y análisis de redes con propagaciones de señales a través del algoritmo Dijkstra [13], en la modelación de redes y búsqueda de caminos óptimos para sistemas de información geográfica [14].

Además, varios emprendimientos empezaron a ganar mercado debido a la utilización de este tipo de aplicaciones, algunos ejemplos son, cadenas de comida rápida (UberEats, Mandy, Glovo), prestaciones de servicios de taxis (Easy Taxy, Uber, Cabify, SaferTaxi) y cada vez se sigue explotando por parte de las empresas el campo de las búsquedas heurísticas para ofrecer mejores prestaciones y servicios a sus clientes.

3. Metodología.

3.1. Arquitectura de la Aplicación

La Figura 1, representa de manera gráfica la arquitectura cliente servidor, que se utilizó para la representación, cálculo y visualización de los distintos componentes involucrados en el proceso

de identificación de la unidad de taxi más próxima al usuario; estos son:

- a. **Aplicación web:** La aplicación web permite ingresar mediante navegador a la visualización de los usuarios y taxis que se encuentran georreferenciados dentro del mapa del distrito metropolitano de Quito, así como la visualización del trazado de la ruta del taxi que se encuentre disponible y más próximo al usuario.
- b. **Aplicación celular:** Aplicación Android encargada de registrar usuarios como clientes o conductores de taxi.

En caso de registrarse como cliente tendrá las siguientes funciones:

- Registrarse como usuario cliente.
- Geolocalizar su ubicación y visualizarlo dentro de un mapa mediante GPS del dispositivo móvil.
- Visualización de taxis próximas a su ubicación.
- Solicitar unidad de taxi más próximo a su ubicación.
- Visualización de la ruta desde la ubicación del taxi hasta la ubicación del cliente.
- Cancelar petición de taxi.
- Salir del sistema.

En caso de registrarse como conductor tendrá las siguientes funciones:

- Registrarse como conductor.
- Geolocalizar su ubicación y visualizarlo dentro de un mapa mediante GPS del dispositivo móvil.

- Seleccionar su estado entre disponible y no disponible.
- Recibir solicitud de taxi de parte del cliente y enviar mensaje de confirmación.
- Trazar ruta desde su ubicación como punto de partida, hasta la ubicación del cliente.
- Salir del Sistema.

c. **Servidor Apache/php:** Servidor que permite el alojamiento y publicación de las aplicaciones web y archivos PHP para la comunicación con la base de datos Postgres/PostGIS.

d. **Base de datos PostgreSQL / PostGIS:** Base de datos relacional de código abierto que permite el almacenamiento y manejo de información espacial y geográfica, así como consultas de ubicación bajo lenguaje SQL. Aquí se almacenaron los datos de los usuarios registrados, así como su posición y ruta transada al momento de generarse la petición entre el cliente y el usuario.

e. **GeoServer:** Este servidor permite a los usuarios compartir y editar datos geoespaciales, tanto para aplicaciones web como de escritorio, a través de interfaces basadas en el estándar WMS (Servicio web de mapas).

f. **OpenLayers:** Es una librería de JavaScript, que incorpora un visor para la visualización de

información geográfica [15], Se utilizó esta librería para incorporar un mapa virtual en el visor geográfico donde se ven referenciados e identificados los usuarios y conductores de taxi haciendo uso del servicio WMS del GeoServer.

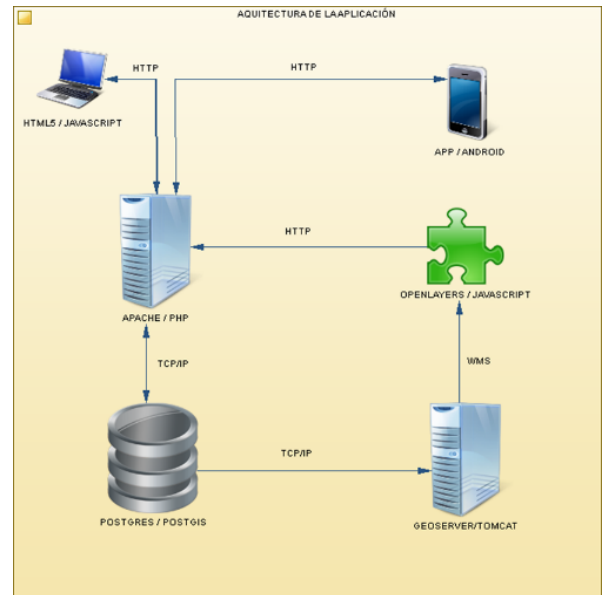


Figura 1. Arquitectura empleada para el desarrollo del sistema

3.2. Diseño del algoritmo de búsqueda

3.2.1. Cálculo de la ruta más corta

Para determinar la técnica a utilizar al determinar la ruta óptima, sometimos a los algoritmos planteados anteriormente a diversas métricas a fin de analizar el que más se ajusta a los requerimientos básicos para cumplir con los objetivos de la investigación, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de algoritmos para el cálculo de caminos cortos

| Métricas / Algoritmos | Algoritmo de Dijkstra | Programación dinámica | Programación lineal entera | Algoritmo A* | Colonia de hormigas |
|---|-----------------------|-----------------------|----------------------------|--------------|---------------------|
| Menor Costos de Recursos computacionales | | * | | * | |
| Siempre encuentra la ruta Optima | * | | | | |
| Aplicación de Meta heurística en su proceso | | | * | | * |
| Aplicación para grafos extensos | * | | | | * |
| Menor tiempo en ejecución | | * | | * | |
| Búsqueda en forma descendente la solución | | | | * | * |
| Búsqueda en forma horizontal la solución | * | | * | | |
| Permite costos negativos en el grafo | | * | * | | * |
| Funciones pre establecidas en PostGIS | * | | | * | |
| Permite lectura de datos geo referenciados | * | * | * | * | |
| Permite cuantificar la solución | * | * | * | * | * |

Con este análisis se escogió el algoritmo Dijkstra, debido a que se adapta a nuestra necesidad de compatibilidad con la base de datos Postgres-PostGIS y su función pgRouting, cuya finalidad será la de trazar el camino más corto desde la ubicación del taxi hasta la ubicación del usuario tomando como datos las coordenadas GPS de ambos actores.

3.2.2. Cálculo del área de los taxis más próximas

En Figura 2, se representa mediante un diagrama de flujo, la lógica de funcionamiento del algoritmo heurístico que hemos implementado en nuestro sistema, para determinar la unidad de taxi más próxima a un usuario.

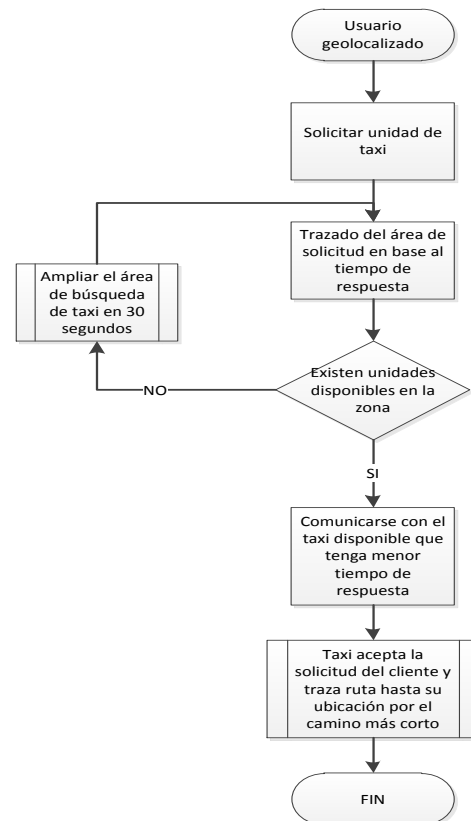


Figura 2. Diagrama de flujo – lógica de funcionamiento del algoritmo.

- **Precondiciones**

Antes de implementar el algoritmo, se vio necesario determinar una serie de precondiciones o requisitos con los cuales se debe contar, estos son:

- a. **Conocer red de grafos (red de calles).**

La red de calles permitirá determinar las rutas y puntos en la que se encuentran los taxis y usuarios en la ciudad de Quito.

- b. **Ubicación de los clientes y taxis.**

Será prescindible conocer la ubicación de cada cliente y taxi en función de las coordenadas GPS de cada uno de ellos (Latitud y Longitud)

- c. **Conexión a internet móvil 3G-4G.**

Al tratarse de una aplicación móvil, es necesario contar con una conexión de datos móviles para celular, independiente de la compañía telefónica bajo la que se trabaje, se recomienda trabajar bajo redes 3G y G4, vigentes actualmente en Ecuador.

- d. **Características de los celulares.**

Para un correcto funcionamiento de la solución, es necesario contar con dispositivos móviles o celulares que cuenten con las siguientes características:

- Conectividad 3G, 4G,
- Conectividad GPS para geolocalización.
- Memoria RAM de 2GB.
- Sistema operativo Android 5.0 o superior.

- **Lógica de funcionamiento (Algoritmo de búsqueda heurístico)**

Para el proceso de búsqueda se estableció como punto inicial la ubicación del cliente, el resto de nodos de la malla lo conformarán las unidades de taxi que se encuentren cercanas al cliente, así se obtendrá un grafo tal como se indica en la Figura 3.

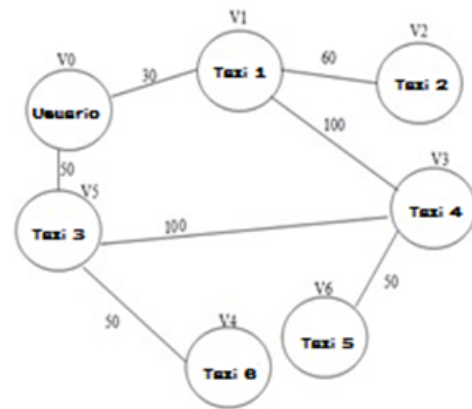


Figura 3. Representación de un Grafo

El algoritmo está compuesto por una serie de pasos, mismos que se describen a continuación:

Paso 1. Localizar la ubicación del cliente y los taxis dentro de la red de calles de la ciudad de Quito.



Figura 4. Localización del cliente en base al vértice o nodo más cercano de la red de calles.

Paso 2. El cliente solicitará un taxi mediante la aplicación móvil para celular.

Paso 3. Se trazará un área de búsqueda a un minuto de distancia de los taxis que se encuentren disponibles.

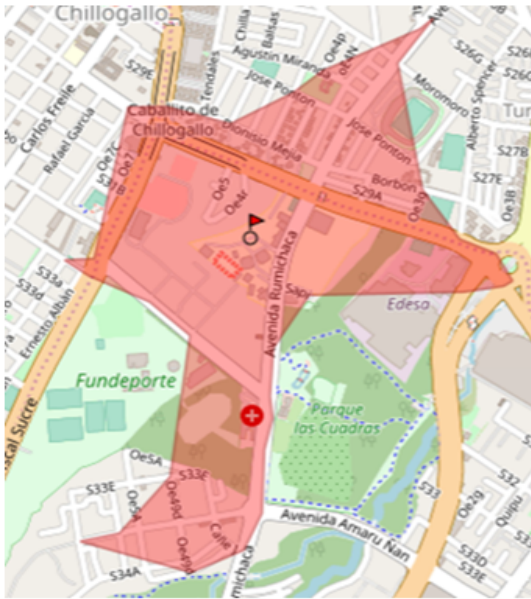


Figura 5. Trazado del área de búsqueda de taxis en función de la posición del cliente.

Paso 4. En caso de no existir taxis disponibles se ampliará el área de búsqueda en 30 segundos, este proceso será repetitivo hasta encontrar un taxi disponible o se cumplan 20 minutos, luego de lo cual se informará al cliente que no existen taxis en la zona.



Figura 6. Ampliación del área de búsqueda para localizar un taxi.

Paso 5. Si existe algún taxi disponible se aceptará la petición del cliente y se le enviará los datos del taxi, así como el tiempo de llegada.

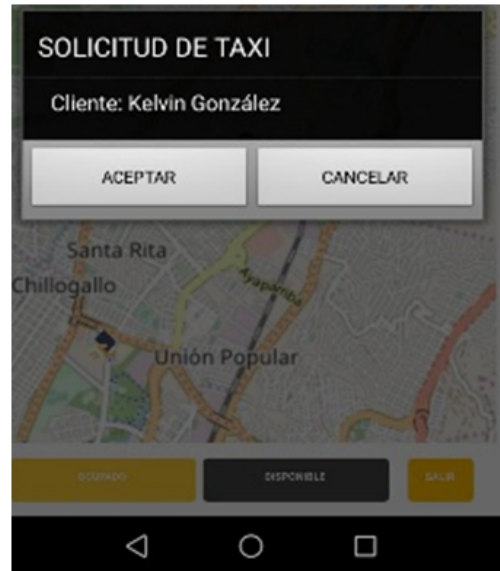


Figura 7. Solicitud de taxi de parte del cliente

Paso 6. En caso de concretarse la carrera, se traza la ruta desde la ubicación del taxi hasta el cliente.

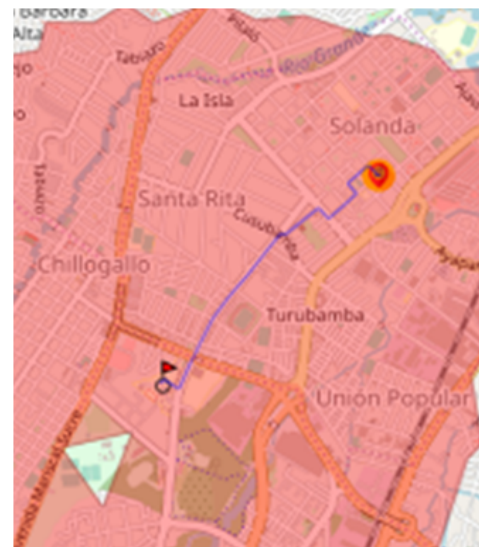


Figura 8. Trazado de ruta desde la ubicación del taxi hasta el cliente.

4. Pruebas y Resultados

Con el fin de determinar el comportamiento del algoritmo planteado para la localización del taxi más próximo al usuario se utilizaron varios tipos de celulares con distintas propiedades de hardware y software que se describen en la Tabla 2, midiéndose el tiempo de

respuesta que tiene cada equipo en distintas etapas de funcionamiento del sistema, bajo las redes de comunicación móvil GSM – WCDMA (3G) y LTE (4g), indistintamente de la operadora celular bajo la cual funcionan.

Tabla 2. Características de hardware y software de los smarthphone's ocupados.

| | CPU | RAM | CONECTIVIDAD | RAM | ANDROID |
|----|------------------------|------|----------------|-------|---------|
| | KIRIN 658 | | 2G, 3G,4G | | |
| C1 | 2.1 GHZ OCTA CORE | 3GB | GPS (Con AGPS) | 32 GB | 8.0 |
| | KIRIN 625 | | 3G, 4G, | | |
| C2 | 1.3 GHZ OCTA CORE | 2GB | GPS (Con AGPS) | 16 GB | 5.0.1 |
| | ARM CORTEX A53 2Ghz | | 3G, 4G | | |
| C3 | QUAD CORE | 2GB | GPS (Con AGPS) | 16 GB | 6.0 |
| | Snapdragon 425 | | 3G, 4G | | |
| C3 | 1.4 GHZ QUAD CORE | 2 GB | GPS (Con AGPS) | 16 GB | 8.0 |
| | KRAIT | | 2G, 3G | | |
| C3 | 1GHZ DUAL-CORE | 1 GB | GPS (Con AGPS) | 8 GB | 4.1.2 |
| | MediaTek | | 3G, 4G | | |
| C3 | 1.5 GHZ QUAD CORE | 1.GB | GPS (Con AGPS) | 16 GB | 8.1 |

Nota: C, representa el acrónimo para celular.

4.1. Medición del tiempo de captura de la señal GPS

En la Figura 9, tenemos dos tipos de mediciones donde se representa del tiempo que demora cada celular en captar la señal GPS para su geolocalización dentro del visor geográfico del sistema, bajo los tipos de red de comunicación móvil 3G y 4G actualmente funcionando en el Ecuador. Al analizar los resultados de la prueba se visualiza que el componente GPS de los celulares

utilizados, funciona de manera más óptima bajo la red 4G obteniendo tiempos de captura menores en comparación a los tiempos obtenidos con la red 3G.

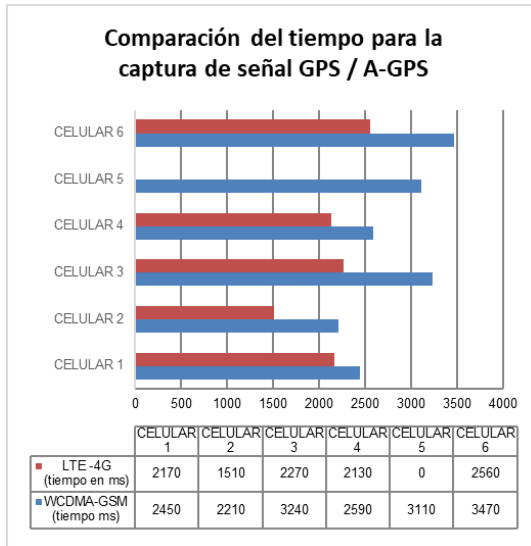


Figura 9. Medición del tiempo para la captura de señal GPS / A-GPS

4.2. Medición del tiempo de carga del mapa base de calles en la aplicación móvil

El mapa base de calles, representa la red sobre la cual se trazará las áreas de búsqueda de taxis y permitirá la representación de la ruta más óptima para atender la petición de taxi de un cliente.

En Figura 10, se representa la medición de los tiempos de carga del mapa base a través del visor geográfico de los celulares utilizados, se observa nuevamente que los celulares bajo la red móvil 4G funcionan más rápido que en la red 3G, pero se identifica que el celular 5, presenta errores al desplegar el mapa en el visor geográfico, impidiendo la visualización en pantalla del mismo. Para descartar que el problema provenga de la red de navegación 3G, se comprobó con otro celular en el cual la carga del mapa fue exitosa, por tal motivo se puede concluir que el problema está relacionado la versión del Android de dicho dispositivo o con la arquitectura de hardware del mismo.

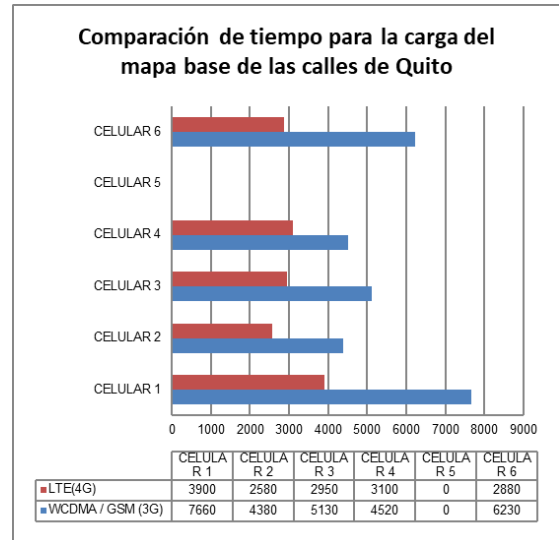


Figura 10. Medición del tiempo para la carga del mapa base de las calles de Quito

4.3. Pruebas de Carga y Rendimiento

Para estas pruebas utilizamos la herramienta Apache JMeter 5.1.1. que nos permite analizar y medir el desempeño de nuestros servicios web que proporciona nuestro servidor Apache.

La prueba consiste en simular la solicitud de taxis por parte de los usuarios. Los datos serán enviados al módulo “Solicitudes de unidades” por parte del software. Las pruebas se las hicieron con lapsos de 1 seg. en tiempos de envío y 200 bytes de información.

Tabla3. Tiempos obtenidos con 500 usuarios.

| # Muestra | Time carga (ms) | Latencia (ms) | Duración Conexión (ms) | Paquetes Perdidos |
|---------------|-----------------|---------------|------------------------|-------------------|
| Cientes 1-1 | 938 | 938 | 530 | 0 |
| Cientes 1-45 | 923 | 922 | 495 | 0 |
| Cientes 1-49 | 905 | 905 | 490 | 0 |
| Cientes 1-108 | 850 | 850 | 465 | 0 |
| Cientes 1-111 | 799 | 799 | 405 | 0 |
| Cientes 1-109 | 840 | 840 | 445 | 0 |
| Cientes 1-498 | 804 | 804 | 378 | 0 |
| Cientes 1-500 | 778 | 778 | 388 | 0 |

El rendimiento fue óptimo, no presentó pérdida de paquetes, el tiempo promedio de la entrega de paquetes fue de 1019 ms. En la Tabla 3. Se describe los resultados de la prueba y con esta información podemos concluir que cuando exista una carga de 500 usuarios conectados y enviando tráfico al servidor, este aún sigue trabajando de manera óptima y el tiempo promedio para cargar información a la base de datos bajo estas condiciones será igual al promedio descrito arriba.

Se realizaron 5 pruebas adicionales:

1. Simulación de 200 usuarios.
2. Simulación de 400 usuarios.
3. Simulación de 500 usuarios..
4. Simulación de 900 usuarios .
4. Simulación de 1000 usuarios .

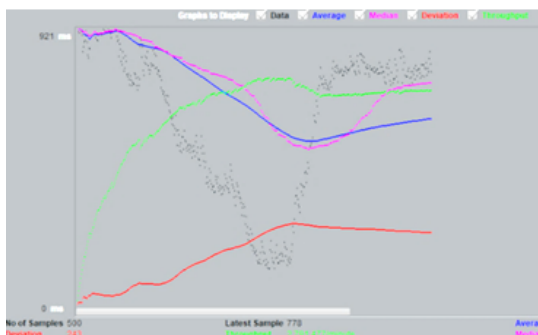


Figura 11. Representación gráfica de los tiempos obtenidos con peticiones a 500 usuarios.

Tabla4. Simulaciones según pruebas.

| Número de usuarios | Tiempo de carga (ms) | Latencia (ms) | Duración Conexión (ms) | Paquetes Perdidos | Estado |
|--------------------|----------------------|---------------|------------------------|-------------------|---------|
| 200 | 272 | 272 | 78 | 0 | ok |
| 400 | 431 | 431 | 108 | 0 | ok |
| 500 | 1019 | 1019 | 208 | 0 | ok |
| 900 | 1895 | 1895 | 753 | 0 | ok |
| 1000 | 1998 | 0 | 1270 | 88 | fallido |

En la Tabla 4, se observan los resultados de las pruebas realizadas hasta 900 usuarios concurrentes fueron satisfactorias, los tiempos se mantuvieron estables y no hubo pérdida de paquetes, mientras que con 1000 usuarios hubo pérdidas de datos, el tiempo promedio de la entrega de paquetes se alargó a 1998 ms, la latencia se fue a 0, provocando inestabilidad en el servidor. Por ello se

concluye que solo se pueden aceptar hasta 900 conexiones concurrentes por parte del servidor.

4.4. Prueba de Cálculo del tiempo de la ruta Óptima

El objetivo de esta prueba es medir la eficiencia del algoritmo al calcular la ruta óptima o camino menor y contrastarla con mediciones reales hechas con un

cronómetro. Para esta prueba utilizamos la aplicación Android desarrollada en el presente proyecto y se hicieron 7 solicitudes de taxis desde diferentes puntos del sur de la ciudad, los datos son presentados en la Tabla 5.

Los conductores de taxis por medio de la app receptaron las solicitudes de los

usuarios y las atendieron. El sistema devolvió los tiempos en que el taxista que acogió la solicitud llegaría a la ubicación del usuario para atender su petición, esos tiempos se los contrastaron con el tiempo cronometrado que nos tomó conducir hasta dichos puntos.

Tabla 5. Tiempo del sistema vs Tiempo Real

| # Prueba | Coordenadas Clientes | Coordenadas Taxi | T A (seg) | T R (seg) | Distancia (Km.) |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------------|
| 1 | -0.284707, -78.543044 | -0.277226, -78.546321 | 120 | 270 | 1.4 |
| 2 | -0.268010, -78.537756 | -0.265006, -78.525753 | 240 | 552 | 2.9 |
| 3 | -0.263827, -78.537486 | -0.273783, -78.522948 | 300 | 498 | 2.3 |
| 4 | -0.271047, -78.528935 | -0.245056, -78.503274 | 720 | 1344 | 5.9 |
| 5 | -0.254841, -78.530429 | -0.247889, -78.525697 | 60 | 207 | 1.3 |
| 6 | -0.255329, -78.546393 | -0.255039, -78.537619 | 120 | 317 | 1.5 |
| 7 | -0.281839, -78.549378 | -0.272259, -78.536151 | 240 | 504 | 2.3 |

Nota: Cuadro de pruebas de medición de tiempos obtenidos al desplazarse desde un punto A hasta punto B.
TA – Tiempo Algoritmo, TR – Tiempo Real

Como conclusión de esta prueba determinamos que el tiempo que arroja el algoritmo al cubrir la ruta siempre es menor al cronometrado, por la razón que el algoritmo calcula los costes de los vértices de la red de grafos bajo un escenario ideal sin obstáculos ni tráfico, mientras que, en un ambiente real, eso no es posible, pues existen diversos limitantes que consumen más tiempo en llegar al punto destino. Los resultados mencionados se representan en la Figura 12.

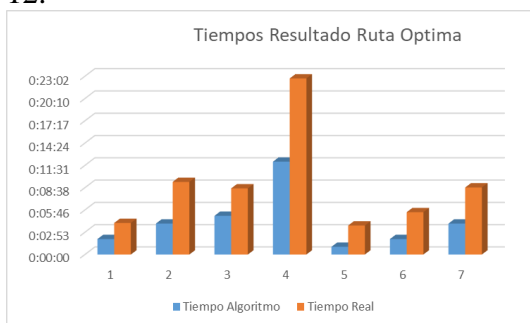


Figura 12. Resultado de las pruebas de medición de tiempos obtenidos al desplazarse desde un punto A hasta punto B (Tiempo del sistema vs Tiempo Real)

5. Conclusiones

El aplicativo funciona correctamente con redes 3G y 4G, pero en celulares con versiones de Android antiguas, presenta errores en su funcionamiento.

El IDE APP Inventor2 es una potente herramienta para desarrollo rápido de aplicaciones para celulares a nivel académico y ofrece herramientas de fácil acceso y configuración del hardware de los equipos celulares.

Herramientas OpenSource, como OpenLayer, GeoServer, brindan todas las funcionalidades y seguridades para desarrollar plataformas de geo referenciación, sin tener que caer en altos costos de licenciamiento.

Según pruebas realizadas el servidor permite hasta 900 usuarios recurrentes a la aplicación en los que se evidenció el correcto funcionamiento del equipo.

Se puede obtener una mejor gestión del tráfico vehicular urbano y del transporte público a través del desarrollo

e implementación de Sistemas de Transporte Inteligente, en el que la tecnología juega un papel muy importante y es indispensable.

A través del uso de grafos y análisis de iteraciones se obtienen resultados precisos al momento de localizar la ruta más óptima desde un punto A hasta un punto B.

6. Referencias

- [1] J. H. Gómez de Merodio, «Aplicación de los sistemas inteligentes de transporte a la seguridad Vial,» ITS España , Madrid, 2017.
- [2] L. F. P. V. Julián Rodrigo Quintero González, «SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE Y NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL CONTROL Y ADMINISTRACIÓN DEL TRANSPORTE.,» *PUENTE*, pp. 53-62, 2015.
- [3] A.-Á. R.-R. y J. A. Jesús Cascón-Katchadourian, «USOS Y APLICACIONES DE GEORREFERENCIACIÓN Y GEOLOCALIZACIÓN EN GESTIÓN DOCUMENTAL CARTOGRÁFICA Y FOTOGRAFÍA ANTIGUAS,» 15 11 2017. [En línea]. Available: http://www.elprofesionaldeinformacion.com/contenidos/2018/ene/19_esp.pdf. [Último acceso: 22 04 2019].
- [4] J. L. B. J. J. P. L. Y. Becerra, «scielo - COLOMBIA,» 13 ENERO 2017. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v11n21/1909-8367-ecei-11-21-00103.pdf>. [Último acceso: 11 02 2019].
- [5] G. Thomas, S. Paul y H. Erik, *OpenLayers 3 Beginner's Guide*, Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2015.
- [6] S. Iacovella y B. Youngblood, *GeoServer Beginner's Guide*, Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2013.
- [7] L. J. C. Martínez, *PostGIS 2 Analisis Espacial Avanzado*, Valencia: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013.
- [8] G. a. G. A. F. GONZALEZ VARGAS, «Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. Un caso de estudio: Parte 2: algoritmo genético, comparación con una solución heurística,» *SciELO Colombia*, vol. 27, n° 1, pp. 149-157, 2007.
- [9] R. Arango y L. G. J. Jiménez, «Búsqueda de la ruta óptima mediante los algoritmos: genético y dijkstra utilizando mapas de visibilidad,» *Scientia et Technica*, vol. 2, n° 51, pp. 101-112, 2012.
- [10] P. Mendoza y C. Villacis, *Análisis y solución al congestionamiento vehicular en horas pico utilizando una aplicación móvil con GPS*, Quito, 2014.
- [11] S. Andrade y M. Edwin, *Análisis y desarrollo de una aplicación para controlar los robos vehiculares utilizando GPS*, Guayaquil, 2013.
- [12] C. J. Acurio Acurio, *Desarrollo de una aplicación móvil que envíe una solicitud de requerimiento de gas doméstico*

- a los distribuidores o a los vehículos de distribución más cercanos a una ubicación en la ciudad de Quito mediante Georeferenciación, Quito, 2017.*
- [13] C. AGUILERA, *Simulación de una red de sensores inalámbricos con topología multi-hop, para el estudio de la propagación y distribución de la señal a través del algoritmo de dijkstra, utilizando el software matlab.*, Guayaquil, 2019.
- [14] R. y. L.-C. M. S. RODRIGUEZ-PUENTE, «Modelo para la representación de redes y búsqueda de caminos óptimos en Sistemas de Información Geográfica.» *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 21, n° 3, pp. 394-407, 2013.
- [15] A. Morales, «7 motivos para utilizar PostGIS,» 25 11 2016. [En línea]. Available: <https://mappinggis.com/2012/09/por-que-utilizar-postgis/>. [Último acceso: 2017 02 19].
- [16] A. Beriain Gil, «Matemáticas en un navegador GPS: algoritmos de camino más corto y calculo de posición,» Universidad de la Rioja, Logroño, 2015.
- [17] M. Sclar, «Camino mínimo en grafos,» Nacional OIA 2016, Buenos Aires, 2016.
- [18] D. J. MARCHENA PEJERREY, «Desarrollo de un Sistema para la Optimización de Rutas de Trabajo utilizando el algoritmo de dijkstra y diagramas de voronoi,» Universidad Señor de Sipan, Pimentel, 2015.
- [19] G. Torrubia y V. Terrazas, «Algoritmo de Dijkstra.Un Tutorial Interactivo,» Madrid, 2001.
- [20] M. A. C. S. T. H. S. S. a. S. A. H. JAAFAR, INTELLIGENT GUIDANCE PARKING SYSTEM USING MODIFIED DIJKSTRA'S ALGORITHM., *Journal of Engineering Science and Technology*, 2014.
- [21] P. Magalingam, Identifying a Criminal's network of trust, Tenth International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems., 2004.
- [22] X. K. W. a. C. Y. Shaochong LIN, A tabu search based metaheuristic for the network design problem with relays, Beijing: 11th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM). IEEE, 2014.
- [23] Y. Xiangguang He, Researching on AI Path-finding Algorithm in the Game Development, International symposium on Instrumentation and Measurement, Sensor Network and Automation, 2012.
- [24] T. Hidalgo, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE CURSOS VIRTUALES, MOOCS PARA FORTALECER LA VINCULACION DE LA ESPOCH.» Riobamba, 2017.
- [25] P. F. ERAZO GUERRA, «PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE REDES – CASO DE ESTUDIO

INSTITUCIÓN FINANCIERA
LOCAL,» Quito, 2016.

- [26] A. Morales, «MappingGIS,» MappingGIS, 09 Julio 2015. [En línea]. Available: <https://mappinggis.com/2013/04/como-crear-un-mapa-con-openlayers-3/>. [Último acceso: 11 07 2018].