



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN

Sistema colaborativo para el monitoreo de tráfico vehicular

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

PRESENTA:

ING.XÓCHITL OLVERA BERNARDINO

DIRECTORES DE TESIS:

DR. ROLANDO QUINTERO TÉLLEZ

DR. JOSÉ GIOVANNI GUZMÁN LUGO



JULIO 2014



SIP-14 bis

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 10:00 horas del día 05 del mes de junio de 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del:

Centro de Investigación en Computación

para examinar la tesis titulada:

"Sistema colaborativo para el monitoreo de tráfico vehicular"

Presentada por la alumna:

OLVERA

Apellido paterno

BERNARDINO

Apellido materno

XÓCHITL

Nombre(s)

Con registro:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | 2 | 0 | 4 | 1 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|

aspirante de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

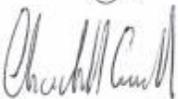
LA COMISIÓN REVISORA
 Directores de Tesis


 Dr. José Giovanni Guzmán Lugo


 Dr. Rolando Quintero Téllez


 Dr. Cornelio Yáñez Márquez


 Dr. Miguel Jesús Torres Ruiz


 M. en C. Chadwick Carreto Arellano

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


 Dr. Luis Alfonso Milla Vargas





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 12 del mes de Junio del año 2014, la que suscribe OLVERA BERNARDINO XÓCHITL alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN, con número de registro A12418, adscrita al Centro de Investigación en Computación, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) Dr. José Giovanni Guzmán Lugo y Dr. Rolando Quintero Téllez y cede los derechos del trabajo titulado Sistema colaborativo para el monitoreo de tráfico vehicular, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones clarkyx31@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Xóchitl Olvera Bernardino
Nombre y firma del alumno(a)

RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología para tecnologías móviles la cual tiene como propósito la detección de tránsito vehicular, que sea de fácil uso y que le ayude al usuario a tomar una decisión evitando congestionamientos viales; utilizando información histórica o en tiempo real según sea su necesidad. Este sistema tiene una forma de trabajar inspirada en el monitoreo colaborativo y de masas, ya que toda la información es proporcionada por cada usuario que utilice el sistema.

La metodología que se propone se divide en tres módulos: el primero tiene como nombre “*Recolección de datos*” el cual es a través de un monitoreo móvil de multitudes, esto significa que los usuarios comparten voluntariamente lecturas de ubicación y velocidad de forma automática en función del tránsito en las zonas en las que se trasladan, los datos que se obtienen son los siguientes: ubicación, la fecha, la hora, el IMEI de cada móvil y es almacenado directamente en una base de datos espacial, a través del protocolo de comunicación.

El segundo módulo tiene como nombre “*Análisis de datos*”, se lleva a cabo en dos órdenes diferentes de tiempo: a corto y a largo plazo. El análisis a corto plazo se utiliza cuando tenemos lecturas de velocidad en tiempo real de algunas calles; el análisis a largo plazo se utiliza para determinar las tasas históricas que presentan las vialidades tomando aspectos de granularidad temporal, es decir se pueden hacer consultas por tiempo, horario y temporadas. En este mismo módulo se obtiene la velocidad de cada punto geográfico y después es clasificado en alguna de las siguientes clases: vialidad fluida, vialidad densa y congestionamiento vial.

El tercer módulo tiene como nombre “*Resultados*” en donde se realiza la visualización del comportamiento vial representada en un mapa utilizando líneas de colores diferentes para la representación del estado de las vialidades.

Finalmente con la unión de los tres módulos da como resultado un sistema colaborativo para la detección de tránsito vehicular.

ABSTRACT

This work presents a methodology for mobile technologies which will be used to detect vehicular traffic. The methodology must be easy for the user in the process of make a decision to avoid traffic congestion, due to the use of historical and real-time data.

This system has a particular way of working because all the information is provided by each user through a mobile application, this means that the system is collaborative.

The framework for this methodology proposed consists of three stages. The first one is Data collection, where a mobile sensing is done automatically from user applications taking into account the traffic in the area in which they travel. The data obtained by the application are: location, date, time and the IMEI number of each phone; all this information is stored in a spatial database using the HTTP communication protocol.

The second stage is Data analysis, in which there are two types of time-based analysis. The first is a short-term analysis that is used when there are constant velocity readings about streets; the second is a long-term analysis that is used to determine historical rates presented in the streets, all of this through the queries by time, schedule and season allowed by the application. In this stage is also obtained the speed of each geographical point and then is classify it in one of the following parameters: fluent road, dense road and traffic congestion.

The third stage is about results, where the visualization of traffic behavior is presented on a map using colored lines to represent the behavior of roadways is made.

Finally, the link of the three stages give as a result, a collaborative system to detect vehicular traffic.

AGRADECIMIENTOS

A mis papás que no sería nadie sin su educación y amor.

A mis amigos de esta aventura que sin ellos no hubiera logrado este gran reto.

A dos personitas que las amo con todo mi corazón y que todo lo hago y haré por ellos.

A mis maestros por brindarme su ayuda, paciencia y conocimientos para el desarrollo de este trabajo.

Al Instituto Politécnico Nacional y a CONACYT por el apoyo brindado

A todos ellos..... ¡GRACIAS!

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| Resumen | iii |
| Abstract..... | iv |
| Agradecimientos..... | v |
| Lista de Figuras..... | x |
| Capítulo 1..... | x |
| Capítulo 2..... | x |
| Capítulo 3..... | x |
| Capítulo 4..... | xi |
| Capítulo 5..... | xi |
| Anexos..... | xii |
| Lista de tablas | xii |
| Capítulo 4..... | xii |
| Capítulo 5..... | xii |
| Anexos..... | xiii |
| Algoritmos..... | xiii |
| Lista de ecuaciones | xiii |
| Capítulo 1 | 1 |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1 Descripción del Problema..... | 3 |
| 1.2 Propuesta de Solución..... | 4 |
| 1.2.1 Hipótesis | 6 |
| 1.3 Justificación | 6 |
| 1.4 Objetivos..... | 6 |
| 1.4.1 Objetivo General..... | 6 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos | 7 |
| 1.5 Organización del documento | 7 |
| Capítulo 2 | 8 |
| 2. Estado del arte..... | 8 |
| 2.1 Sistemas que utilizan tecnología móvil y GPS..... | 8 |
| 2.1.1 Evaluación de los datos de tránsito obtenidos a través de GPS | 8 |

| | |
|--|----|
| Comentarios | 9 |
| 2.1.2 Investigación de un SIG web para el control de tránsito | 9 |
| Comentarios | 9 |
| 2.1.3 Conjunto de filtrado kalman para la estimación de tránsito en carreteras . | 9 |
| Comentarios | 10 |
| 2.1.4 Monitorización del tránsito urbano en tiempo real con vehículos equipados con GPS | 10 |
| Comentarios | 11 |
| 2.1.5 Teléfonos móviles como base para la información geográfica | 11 |
| Comentarios | 11 |
| 2.1.6 Estimación de congestión de tránsito utilizando velocidad del vehículo ... | 11 |
| Comentarios | 12 |
| 2.2 Uso de información geográfica voluntaria (VGI) | 12 |
| 2.2.1 Uso de Móvil utilizando VGI para un SIG | 12 |
| Comentarios | 13 |
| 2.2.2 Los ciudadanos como sensores: el mundo de la geografía voluntaria | 13 |
| Comentarios | 14 |
| 2.2.3 El potencial de VGI en aplicaciones para la salud | 14 |
| Comentarios | 14 |
| 2.2.4 VGI: Investigación Futura motivadas por la crítica participativa | 14 |
| Comentarios | 14 |
| 2.3 Aplicaciones comerciales..... | 15 |
| 2.3.1 Google maps Navigation..... | 15 |
| Comentarios | 15 |
| 2.3.2 Waze | 15 |
| Comentarios | 16 |
| 2.3.3 TomTom | 16 |
| Comentarios | 17 |
| 2.3.4 NDRIVE..... | 17 |
| Comentarios | 18 |
| Capítulo 3 | 19 |
| 3 Marco Teórico | 19 |

| | | |
|------------|---|----|
| 3.1 | Sistema de Información Geográfica..... | 19 |
| 3.1.1 | Datos geográficos | 20 |
| 3.2 | Monitoreo de Multitudes (Mobile Crowd Sensing)..... | 21 |
| 3.2.1 | Características de MCS | 22 |
| 3.3 | Información Geográfica Voluntaria (VGI)..... | 24 |
| 3.4 | Sistemas colaborativos..... | 24 |
| 3.5 | Supervisión vehicular basada en posición..... | 26 |
| 3.5.1 | GPS..... | 26 |
| 3.6 | Análisis espacial | 27 |
| 3.7 | Base de datos espaciales | 28 |
| 3.8 | Flujo Vehicular..... | 29 |
| 3.8.1 | Velocidad..... | 29 |
| 3.8.1.1 | Velocidad promedio de viaje | 29 |
| 3.9 | Cálculo de distancia entre dos puntos geográficos | 30 |
| 3.10 | Herramientas utilizadas | 31 |
| 3.10.1 | Postgres sql | 31 |
| 3.10.2 | Postgis | 31 |
| 3.10.3 | Apache tomcat | 32 |
| 3.10.4 | IDE Android | 32 |
| 3.10.5 | API google Maps | 32 |
| Capítulo 4 | | 33 |
| 4 | Metodología..... | 33 |
| 4.1 | Diseño de prototipo | 33 |
| 4.1.1 | Arquitectura del sistema..... | 33 |
| 4.2 | Marco de Trabajo..... | 34 |
| 4.3 | Módulo recolección de datos | 36 |
| 4.3.1 | MCS y VGI..... | 36 |
| 4.3.1.1 | Proceso de status de conexión | 37 |
| 4.3.2 | Almacenamiento | 37 |
| 4.4 | Módulo análisis de datos..... | 42 |
| 4.4.1 | ANÁLISIS A Corto Plazo | 42 |

| | | |
|------------|--|----|
| 4.4.2 | A Largo Plazo | 42 |
| 4.4.2.1 | Margen de Error | 48 |
| 4.4.3 | Clasificación de datos | 50 |
| 4.5 | Módulo de resultados | 51 |
| Capítulo 5 | | 52 |
| 5 | Resultados | 52 |
| 5.1 | Diseño del Sistema | 52 |
| 5.1.1 | Diagrama Casos de Uso..... | 52 |
| 5.1.1.1 | Diagrama de casos de uso General..... | 52 |
| 5.1.1.2 | Diagrama Casos de uso: Modificar Configuración | 53 |
| 5.1.2 | Diagrama de Secuencia..... | 54 |
| 5.1.3 | Diagrama de Clases | 56 |
| 5.1.4 | Diagrama de Componentes | 57 |
| 5.1.5 | Diagrama de Despliegue..... | 58 |
| 5.2 | Pruebas y Resultados | 59 |
| 5.2.1 | Inicio de sistema | 60 |
| 5.2.2 | Monitorear | 61 |
| 5.2.2.1 | Activación de GPS y Red..... | 61 |
| 5.2.3 | Sincronizar | 62 |
| 5.2.4 | Tarea en Background | 63 |
| 5.2.5 | Funcionamiento de Configuración | 64 |
| 5.2.5.1 | Detección de ubicación por GPS móvil | 65 |
| 5.2.5.2 | Prueba de consulta General | 67 |
| 5.2.5.3 | Prueba dentro del vehiculo | 68 |
| 5.2.5.4 | Prueba Tiempo Real e Histórico..... | 69 |
| 5.2.5.5 | Prueba modo Automático | 70 |
| 5.2.5.6 | Prueba con ragos de Horario..... | 72 |
| 5.2.6 | Uso de datos de internet | 73 |
| 5.3 | Comparación de resultados | 74 |
| Capítulo 6 | | 77 |
| 6 | Conclusiones..... | 77 |

| | |
|---|----|
| 6.1 Alcances y Limitaciones | 78 |
| 6.2 Trabajo a futuro | 79 |
| Referencias..... | 80 |
| Anexos | 84 |
| Telefonía Móvil en México..... | 84 |
| Vialidad en la Cd. de México..... | 86 |
| Vialidades con Mayor Saturación Vehicular | 86 |
| Estadísticas viales..... | 89 |

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

| | |
|--|---|
| Figura 1. 1 Descripción del problema | 3 |
| Figura 1. 2 Ciclo del Sistema | 5 |

CAPÍTULO 2

| | |
|--|----|
| Figura 2. 2 Google Maps Navigation | 15 |
| Figura 2. 3 Waze | 16 |
| Figura 2. 4 TomTom | 17 |
| Figura 2. 5 Ndrive | 18 |

CAPÍTULO 3

| | |
|--|----|
| Figura 3.1 Partes de un Sistema de Información Geográfica..... | 20 |
| Figura 3. 2 Funcionamiento de MCS | 23 |
| Figura 3. 3 GPS | 26 |
| Figura 3. 4 Etapas de análisis espacial | 27 |

CAPÍTULO 4

| | |
|---|----|
| Figura 4.1 Modelo Arquitectura del Sistema | 33 |
| Figura 4.2 Representación del Sistema | 34 |
| Figura 4. 3 Marco de Trabajo | 35 |
| Figura 4. 4 Módulo recolección de datos..... | 36 |
| Figura 4. 5 Diseño lógico de la Base de Datos | 38 |
| Figura 4. 6 Representación de una calle | 44 |
| Figura 4. 7 Representación de una calle con puntos (posición) | 44 |
| Figura 4. 8 Representación de dos buffers | 45 |
| Figura 4. 9 Representación de los buffers analizados..... | 45 |
| Figura 4. 10 Representación de pocos puntos..... | 46 |
| Figura 4. 11 Distancia entre dos puntos | 46 |
| Figura 4. 12 Dibujado de líneas a partir de puntos..... | 46 |
| Figura 4. 13 Puntos asociados | 48 |
| Figura 4. 14 Recta que se ajusta al conjunto de puntos..... | 49 |

CAPÍTULO 5

| | |
|---|----|
| Figura 5. 1 Diagrama Casos de Uso General | 53 |
| Figura 5. 2 Diagrama Casos de uso: Modificar Configuración | 54 |
| Figura 5. 3 Diagrama de Secuencia General..... | 55 |
| Figura 5. 4 Diagrama de Clases..... | 56 |
| Figura 5. 5 Diagrama de componentes | 57 |
| Figura 5. 6 Diagrama de Despliegue | 58 |
| Figura 5. 7 a) Inicio del Sistema- b) Menú del Sistema | 60 |
| Figura 5. 8 a) Mensaje requiere activar GPS b) Mensaje requiere activar GPS | 61 |
| Figura 5. 9 Archivo Generado en el Teléfono | 62 |
| Figura 5. 10 Proceso en Background..... | 63 |
| Figura 5. 11 Mensaje cuando se elige monitoreo por Distancia..... | 64 |
| Figura 5. 12 Item de Configuración | 64 |
| Figura 5. 13 Obtención de ubicación actual..... | 65 |
| Figura 5. 14 Visualiza un panorama más amplio | 66 |
| Figura 5. 15 Prueba de Consulta General | 67 |
| Figura 5. 16 Prueba dentro del vehículo | 68 |
| Figura 5. 17 Prueba en Tiempo Real e Histórico..... | 69 |
| Figura 5. 18 Tabla de Temporadas..... | 70 |
| Figura 5. 19 Tabla de Horarios | 70 |

| | |
|--|----|
| Figura 5. 20 a) Consulta en Temporada Semana Santa, b) Consulta en Temporada Normal Laboral..... | 71 |
| Figura 5. 21 Consulta por día y rango de tiempo | 72 |
| Figura 5. 22 Datos utilizados por SINTRA | 73 |
| Figura 5. 23 Comparación de Resultados | 74 |
| Figura 5. 24 Comparación de Resultados con Waze | 75 |
| Figura 5. 25 Comparación de Resultados en la Ciudad de Guadalajara | 76 |

ANEXOS

| | |
|--|----|
| A. 1 Suscripciones por cada 100 habitantes | 84 |
| A. 2 Suscripciones de las principales ciudades del año 2012-2013 | 85 |
| A. 3 Saturación vehicular de 6:30 a 9:30 am..... | 86 |
| A. 4 Saturación vehicular de 12:00 pm a 15:00pm | 87 |
| A. 5 Saturación Vehicular de 18:30 a 21:30 pm..... | 88 |

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 4

| | |
|---------------------------------|----|
| Tabla 4. 1 Tabla Viaje | 39 |
| Tabla 4. 2 Tabla Posición | 40 |
| Tabla 4. 3 Tabla calle | 40 |
| Tabla 4. 4 Tabla Temporal..... | 40 |

CAPÍTULO 5

| | |
|--|----|
| Tabla 5. 1 Características de dispositivos de prueba | 59 |
|--|----|

ANEXOS

| | |
|--|----|
| Tabla A. 1 Características de movilidad e infraestructura vial | 89 |
|--|----|

ALGORITMOS

| | |
|---|----|
| Algoritmo 4. 1 Pseudocódigo para el análisis de velocidad en un segmento de calle | 47 |
| Algoritmo 4. 2 Pseudocódigo para definición de parámetros | 50 |

LISTA DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1 Velocidad Promedio de Viaje. | 29 |
| Ecuación 2 Aceleración en función con la velocidad. | 30 |
| Ecuación 3 Distancia entre dos puntos. | 30 |
| Ecuación 4 Promedio Geométrico. | 42 |
| Ecuación 5 Velocidad Instantánea. | 43 |
| Ecuación 6 Ecuación de recta. | 49 |
| Ecuación 7 Ecuación de pendiente. | 49 |
| Ecuación 8 Ecuación de recta lineal. | 50 |

CAPÍTULO 1

En este capítulo se presentan las generalidades de la tesis; así como los objetivos de la misma. Además se describe el enfoque de la investigación, la justificación del trabajo y la descripción del problema.

1. INTRODUCCIÓN

En el siglo XX en la Cd. De México se inaugura el primer tranvía eléctrico, la ciudad tenía un transporte colectivo eficiente con una trama ortogonal de líneas que permitía abordarlos con un máximo de 300 metros en cualquier dirección. En 1925, con la llegada de la primera fábrica de automóviles a la capital, se dio inicio a una época de auge del automóvil particular; época que aún no ha terminado. Años después, a la par del proceso de industrialización se dio la segunda gran etapa de expansión de la ciudad. Durante las décadas de los cuarentas a los setentas, la ciudad se desbordó hacia el Estado de México. En esta época se desarrolló también un sistema de transporte de carácter mixto: automóvil privado y camiones de propiedad privada que ocuparon el espacio que dejó el tranvía. Con la aparición y desarrollo de grandes grupos de líneas y rutas concesionadas de camiones urbanos de propiedad privada, se desarrolló el llamado “el pulpo camionero”¹[1]. El trolebús, que surge en el año de 1950 administrado por el Departamento del Distrito Federal². Poco después se creó la empresa pública de Autotransporte Urbano Ruta 100 dando origen a un nuevo esquema de participación del Estado en la prestación del servicio del transporte. El Metro continuó creciendo a un ritmo lento hasta su estancamiento en 1998, que no se construyó ninguna línea. Es hasta 2009 cuando se toma la importante decisión de construir la Línea 12 que unirá el muy poblado sector suroriente con el poniente de la ciudad. El Metro hoy en día es el pilar del sistema de transporte público de la ciudad, principalmente para los sectores socioeconómicos de menores ingresos, con un movimiento promedio en día laborable de 4 millones y medio de pasajeros.

¹ El “pulpo camionero” se forma a partir de la Alianza de Camioneros de México A.C. Que existía desde 1923. Estaba integrado por 20 grupos y 76 empresas, con 7 000 autobuses a principios de los años ochenta.

² Bernardo Navarro y Manuel Vidrio. El transporte en el Siglo XIX. En Gustavo Garza Coordinador. La Ciudad de México en el fin del Segundo Milenio. El Colegio de México. México 2000.

La expansión urbana trajo como consecuencia el crecimiento de la demanda de viajes, pero no la mejoría de la infraestructura de transporte. De esta manera, la movilidad en la Ciudad de México se ha enfrentado a insuficiencias tanto en los modos de transporte como en la red vial disponible. En particular resalta que la movilidad en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se sustenta actualmente en una estructura modal distorsionada, que tiene su mayor potencial de traslado en transporte de baja capacidad -colectivos, taxis y autos particulares- con desorden en las rutas y de inseguridad para los usuarios.

La otra problemática para la movilidad es una red vial deficitaria, rebasada en una capacidad con fallas de integración para facilitar transferencias en los modos de transporte y entre las vialidades primarias y las secundarias, donde a su saturación se le suman las deficiencias en la administración, control y regulación del tránsito, así como una escasa cultura vial que colaboran a acentuar los congestionamientos. El resultado es una sistemática saturación y la consiguiente reducción de velocidad junto a un mayor impacto ambiental. De esta forma la tendencia al incremento de los viajes en toda la zona metropolitana se enfrenta a déficits, insuficiencias y distorsiones de la red vial y de la red de transporte.

En 2008 se elaboró el Plan Estratégico de la Red de Ciclo vías en la Ciudad de México, en donde se buscó construir una red de 60 kilómetros. Esto con la finalidad de promover el transporte no motorizado, reducir emisiones contaminantes, agilizar el tránsito vehicular e incentivar la actividad física.

Actualmente en la ciudad de México existe la problemática del exceso de automóviles y de todo tipo de servicio público, como se menciona anteriormente se ha tratado de solucionar este detalle, pero mientras sigue pasando el tiempo crece el congestionamiento vehicular debido a la presencia del deficiente transporte concesionado de baja capacidad que, además de provocar caos vial, desalienta el uso de transporte público y por ende fomenta el uso de vehículos particulares, con sus consecuencias en el tránsito.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Hoy en día la mayoría de las personas que cuentan con un vehículo propio, no necesariamente cuentan con un dispositivo GPS por sí sólo y mucho menos con una herramienta que ayude a determinar el estado de congestión de las zonas que se desea viajar. La mayoría de las personas que viaja en su vehículo la mayor parte del día, quisieran tomar una buena decisión basada en el comportamiento de la ruta en la que se desea transitar y una manera de tener esa información es cuando la persona ya se encuentra en el caos vehicular, pero si esta persona compartiera esa información con otros conductores que, de otra forma tomarían esa ruta; estos podrían buscar alternativas para evitar los atascos de tránsito.



Figura 1. 1 Descripción del problema

El problema es contar con esa herramienta intermedio entre el conductor que está en el congestionamiento y el sistema que ayude a tomar la decisión del comportamiento de la ruta deseada. El ayudar a otras personas comunicándoles el estado de tránsito en una zona determinada sería útil para otros conductores para disminuir sus tiempos de recorrido, al saber un usuario que fue beneficiado por otra persona, lo menos que se hace es colaborar con la misma información y así poner en marcha el dicho ganar - ganar.

Actualmente existen sistemas para teléfonos móviles que brindan ese tipo de servicios. Algunos de ellos tienen la capacidad de detectar el tránsito haciendo uso de un SmartPhone, creando una red social la cual los interesados puedan consultar, la desventaja de este tipo de sistemas es que el usuario que va en su automóvil tiene que hacer el reporte de la congestión publicándolo en su red social, el cual es un peligro para la persona que va conduciendo, ya que puede causar algún accidente u otra cosa de mayor circunstancia. Otros sistemas sólo dan la mejor ruta basados en distancias cortas, pero eso no significa que sea la mejor, una buena ruta no es aquella de menor distancia, si no aquella en la que el tiempo sea el mínimo, el sistema dará un mejor resultado dependiendo de la ayuda que el usuario proporcione.

1.2 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Este trabajo de tesis tiene como propósito el desarrollo de un sistema para la detección de tránsito vehicular, mediante el uso de un dispositivo móvil (SmartPhone), con el objetivo de ayudar a los usuarios a tomar una mejor decisión de la ruta destino.

La solución que se pretende es implementar un sistema colaborativo que realice un análisis de tránsito vehicular mediante un dispositivo móvil, el cual permitirá conocer la velocidad del conductor en tiempo real, utilizando su sensor GPS. Con este componente se realizará una aplicación con una interfaz gráfica la cual tendrá las siguientes características:

- Obtener la posición cada cierto tiempo.
- Sólo se activará una sola vez al ingresar al vehículo para calcular la velocidad y su ubicación.
- Se visualizará comportamiento del tránsito.
- Tendrá un histórico sobre la congestión vial apoyado en el análisis temporal.

Para su realización, el sistema será instalado en un dispositivo móvil, puesto que los teléfonos móviles son herramientas que actualmente tienen una gran penetración en el mercado, que es una de las ventajas de la utilización de la tecnología móvil para la estimación de los parámetros relacionados con el tránsito.

Una de las ventajas de este sistema es que el usuario no sólo podrá compartir información si no que podrá ver en el histórico del comportamiento del congestionamiento a partir de diferentes consultas de tiempo, como por ejemplo por días o por horarios, por temporadas entre otras.

Una de las desventajas de este sistema móvil es que ocupará parte del ancho de banda, para la visualización de los esquemas de mapas que estarán en un servidor, el cual estará recibiendo información como la velocidad, su ubicación, la dirección y la circulación del usuario.

Con esta información recabada se mandará al teléfono móvil el análisis de tránsito y sus históricos de datos obtenidos. Toda esa información estará almacenada en una base de datos geoespacial por tiempo definido. En la Figura 1.2 se muestra el ciclo del sistema.

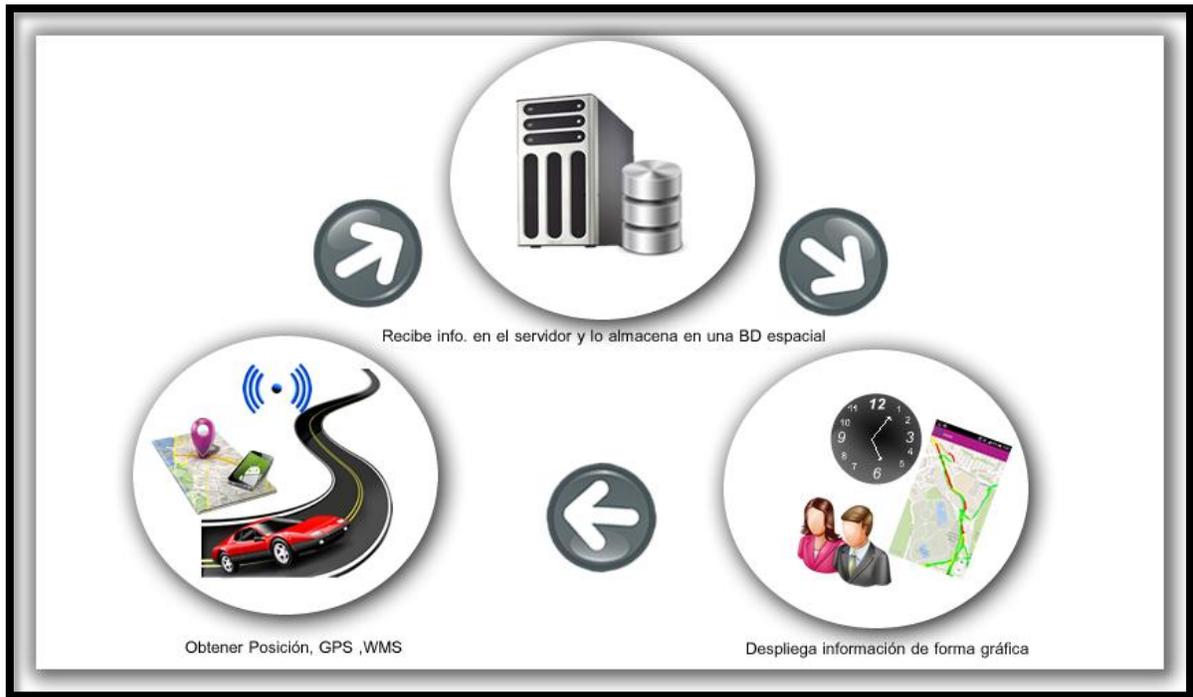


Figura 1. 2 Ciclo del Sistema

El sistema estaría compuesto de tres partes fundamentales:

- **Recuperación de Información:** La información será recuperada a través de la herramienta móvil, y será enviada a un servidor donde es almacenada en una base de datos geoespacial.
- **Análisis de la información.** Una vez obtenida la información ésta se analizará en el servidor para que sea desplegada; en el teléfono móvil.
- **Visualización de información:** La forma en la cual se mostrará los resultados será a partir de un mapa obtenido del servidor Google Maps, y el dibujado de líneas de colores, simulando la aglomeración, los colores serán verde que significa fluido, amarillo significa denso, y rojo que significa congestión.

1.2.1 HIPÓTESIS

Después de analizar la descripción del problema con detalle, la hipótesis planteada en esta investigación es que a través de esta propuesta se puede solucionar la problemática.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Las razones por las que se propone esta solución es debido a la cantidad de vehículos [2], la problemática del congestionamiento diario y la pérdida de tiempo por el tránsito vehicular que existen en la Ciudad de México, ya que sería deseable contar con un sistema que ayude a determinar en qué zonas existe comportamiento de congestión.

Existen sistemas que determinan el tránsito, pero no existe ningún sistema que le dé seguimiento a toda esa información reunida, que es lo que se pretende en el sistema móvil [3] que se desea desarrollar y del que se habla en este documento.

Un sistema como el que se presenta en este trabajo de tesis sería de mucha ayuda para aquellas personas que transitan en las calles de mayor aglomeración, con el fin de elegir la ruta más óptima y la que tenga mejor vialidad.

Cabe destacar que el principal objetivo del sistema es sólo mostrar el comportamiento del congestionamiento, no de calcular una ruta específica, ya que no es objetivo del trabajo por lo que esa decisión la tomará personalmente el usuario o conductor apoyado en la información que le brindará el sistema.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e Implementar un sistema colaborativo móvil para la detección del tránsito vehicular, de fácil uso para cualquier usuario, que le ayude a tomar una decisión evitando congestionamientos mediante un análisis histórico de un conjunto de datos proporcionados por los mismos usuarios.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener información a través de un monitoreo móvil-colaborativo.
- Almacenar la información en una base de datos geoespacial, desde el dispositivo móvil de forma transparente para el usuario.
- Brindar al conductor un entorno gráfico de fácil uso, para que tome la mejor decisión del viaje a donde se desea dirigir.
- Obtener información sobre tránsito en diferentes lugares, fechas y temporadas.
- Determinar de manera automática los requerimientos del usuario con base en su ubicación y el tiempo en el que se utiliza el sistema.

1.5 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

El resto del documento se encuentra organizado de la siguiente manera, el Capítulo 2 trata sobre el estado del arte, en él se presentan los trabajos que sirven como base para esta investigación.

En el Capítulo 3 se presenta el marco teórico, en donde se presentan las herramientas utilizadas, conceptos y características sobre el trabajo de tesis.

En el Capítulo 4 se describe la metodología propuesta para el análisis de la información recabada y como es que se hace el análisis, para mostrar el resultado esperado.

El Capítulo 5 trata sobre los experimentos realizados, los resultados que se obtuvieron y la implicación que esto conlleva. De igual manera, se muestra una comparación en tiempo real de los resultados con una herramienta comercial reconocida.

Finalmente, en el Capítulo 6 se presentan las conclusiones del trabajo así como la propuesta de trabajos de investigación a futuro.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se aborda el estado del arte relacionado con el trabajo de tesis. De igual forma se exploran los resultados de distintas investigaciones, proyectos y aplicaciones comerciales realizados por diversas instituciones, así como por científicos dentro del área de computación. Al término de cada descripción de los artículos, encontraremos una serie de comentarios con respecto a su contenido haciendo énfasis en el apoyo de esta tesis. Este capítulo se divide en tres secciones importantes: (1) los artículos en los que se utiliza algún dispositivo móvil para el uso del GPS y que ayudan la detección de tránsito, (2) las investigaciones para la ayuda de colaboración de información basados principalmente en el concepto VGI, y por último (3) la sección de sistemas comerciales que ayudan a la toma de decisiones basados en tiempo real y con algoritmos de ruteo.

2.1 SISTEMAS QUE UTILIZAN TECNOLOGÍA MÓVIL Y GPS

En este apartado se presentará algunos sistemas que utilizan tecnología móvil para la detección de tránsito vehicular, con ayuda de GPS.

2.1.1 EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE TRÁNSITO OBTENIDOS A TRAVÉS DE GPS

Este trabajo [4] presenta un experimento de campo llamado “Siglo Mobile”, que fue concebido como una prueba de concepto de un sistema de este tipo. Primero se solicitaron 100 vehículos que transportan un Nokia N95 (teléfono de conducción con GPS) activado en un tramo de 10 millas, cerca de Union City, California, durante 8 hrs. Los datos fueron recolectados a través de líneas de viaje virtuales, que son marcadores geográficos almacenados en el teléfono que probabilísticamente desencadenan posición y velocidad. El sistema prototipo proporcionó datos suficientes para fines de control de tránsito. Los datos obtenidos en el experimento fueron procesados en tiempo real y transmitidos con éxito en la Internet, lo que demostró que el sistema de supervisión de tránsito en tiempo real propuesto, tiene futuro en investigaciones posteriores. Los resultados sugieren que una penetración 2-3 % de los teléfonos celulares en la población conductor es suficiente para proporcionar mediciones precisas de la velocidad del flujo de tránsito.

COMENTARIOS

Este artículo hace énfasis a las nuevas tecnologías que nos proporcionan los teléfonos móviles, y que cuentan con un GPS, pueden ayudar a la detección de tránsito vehicular, haciendo uso de mucha información en conjunto de las personas que cuenten con un vehículo.

2.1.2 INVESTIGACIÓN DE UN SIG WEB PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO

Este sistema [5] es un servicio de información geográfica, está basado en un SIG que está montado en una plataforma Web, con ayuda de un dispositivo móvil que cuenta con un GPS. Este sistema está dirigido al gobierno para la toma de decisiones para el control de tránsito vehicular, no solo para implementar la gestión dinámica del vehículo con mayor eficiencia y un menor costo, sino que también proporciona al público accesos en tiempo real de la información del posicionamiento y de información administrativa y sin ningún costo.

Este artículo habla sobre las ventajas del sistema, ya que es gratuito y se puede visualizar en cualquier navegador, sin embargo se menciona el problema del ancho de banda y el cuello de botella que existe al momento de obtener demasiada información de la localización de cada usuario y al momento de tener múltiples accesos el cálculo de parte del servidor se presenta inestable. Para resolver esos problemas dividieron los servidores en tres grupos: el primero se encarga del almacenamiento y recepción de los datos de posicionamiento; el segundo al almacenamiento de los mapas geográficos y entrega de datos y el tercero el procesamiento de datos.

COMENTARIOS

Este artículo es interesante ya que para poder llegar a la conclusión de los problemas, tuvieron que poner en práctica el sistema en tiempo real, de esta manera después de la práctica el sistema alcanzó un equilibrio entre la eficiencia computacional y la velocidad de transmisión en Internet ya que se tomaron decisiones para la actualización del sistema.

2.1.3 CONJUNTO DE FILTRADO KALMAN PARA LA ESTIMACIÓN DE TRÁNSITO EN CARRETERAS

En este trabajo [6] trata sobre la tendencia que tienen los dispositivos móviles y la gran ventaja que tienen, ya que actualmente cuentan con GPS, de esta manera pueden ser aprovechados como sensores de tránsito esto con el fin de cambiar fundamentalmente el

tipo y la calidad de los datos de tránsito que son recogidos en gran escala. Los autores mencionan que los modelos de tránsito y algoritmos de asimilación de datos deben ser desarrollados para transformar eficientemente estos datos.

El principal objetivo de este trabajo es la presentación de una nueva ecuación diferencial parcial (PDE) basado en la Lighthill - Whitham - Richards PDE [7] [8], que sirve como un modelo de flujo para la velocidad.

Se formula un esquema Godunov de discretización para emitir el PDE en una celda de velocidad Modelo de transmisión (CTM-V), que es sistema dinámico no lineal con una matriz de observación variable en el tiempo. El Conjunto de filtrado de Kalman (EnKF) [9] es una técnica que se aplica a la CTM-V para estimar el campo de velocidad en la carretera a partir de los datos que obtuvo del dispositivos GPS.

COMENTARIOS

En esta propuesta los autores abordan un problema significativo que es la característica común de un sistema de supervisión vehicular actual en carretera es una gran inversión de infraestructura al momento de desarrollar, implementar y mantener. Se comenta que hoy en día la parte que puede ser menos costosa es la obtención de un dispositivo móvil que cuente con un GPS integrado, ya que es una pieza importante para la recolección de datos y evitar la realización de la obtención de localización utilizando otros métodos como por ejemplo trilateración. Se concluye que al recoger los datos históricos, la precisión del modelo se puede mejorar, mediante el cálculo de ruido y de observación de las matrices de covarianza utilizando un modelo dinámico.

2.1.4 MONITORIZACIÓN DEL TRÁNSITO URBANO EN TIEMPO REAL CON VEHÍCULOS EQUIPADOS CON GPS

En [10] se trata sobre las condiciones que tiene el tránsito en tiempo real y que la información de esos acontecimientos sería útiles para las adaptaciones del tránsito. Se presenta un enfoque para el seguimiento en tiempo real del posicionamiento global del tránsito utilizando la herramienta GPS con la que cuentan los vehículos, para recoger datos reales de rastreo en la red vial urbana. Ya que se menciona en el artículo que el GPS se está convirtiendo en uno de los principales fuentes de datos para la investigación de tránsito [11]. Para la recolección de datos se utilizan Cluster's para la recopilación de datos que son obtenidos por varios minutos, calcula el espacio estimado de velocidad media y los traduce para visualizar los índices que denota las condiciones de tránsito. El trabajo está dividido en tres etapas la etapa uno aplica un método para agrupar los datos de rastreo GPS; la etapa dos excluye de la señal de tránsito influencias engañosas sobre estimación de condiciones del tránsito y la etapa tres según las condiciones de tránsito

hace una estimación de flujo de tránsito crítico. Este trabajo fue un experimento basado en los datos de taxis con GPS de la ciudad de Shanghai.

COMENTARIOS

Este trabajo presenta una aproximación en tiempo real del monitoreo del tránsito urbano a través de vehículos equipados con estos sistemas, para dicho estudio se equipó un determinado número de taxis, teniendo como principal inconveniente la necesidad de los vehículos de contar con este equipamiento.

2.1.5 TELÉFONOS MÓVILES COMO BASE PARA LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

En [12] se describe una metodología para generar la información del estado del tránsito basada en teléfonos móviles utilizándolos como sensores móviles. El experimento fue ejecutado en la zona de Viena, donde los teléfonos inteligentes detectaban transiciones de células.

Un servidor deduce información de tránsito a partir de una serie de transiciones de células geo-referenciadas. Los tiempos de viaje ideales se oponen a los tiempos de viaje en el flujo de tránsito. El sistema operativo de los teléfonos móviles que se utilizan es Symbian, por su gama de herramientas de desarrollo.

COMENTARIOS

En este trabajo de investigación los autores mencionan que utilizar la tecnología móvil como sensores es una forma útil y técnicamente posible, por las características que hoy día cuentan dichos dispositivos.

2.1.6 ESTIMACIÓN DE CONGESTION DE TRÁNSITO UTILIZANDO VELOCIDAD DEL VEHÍCULO

Este estudio [13] investiga una forma alternativa para estimar los grados de congestión del tránsito por carretera basados en GPS haciendo mediciones de las principales carreteras en las zonas urbanas de Bangkok, Tailandia. Primero se definen tres niveles de congestión de tránsito de acuerdo a las medias móviles exponenciales y también de la percepción humana. El algoritmo comienza mediante la aplicación de promedio ponderado exponencial para suavizar velocidades instantáneas. Utilizando una simple técnica de umbral, las velocidades medias se clasifican en tres niveles de congestión inicial, es decir, rojo, amarillo y verde. Por último, los niveles de congestión finales se determinan mediante la eliminación eventos transitorios de congestión sobre la base de la duración de la congestión. El artículo menciona que actualmente, no existe un método estándar de medición de la congestión en las carreteras y en las intersecciones [14]. Existen estudios que desarrollan métricas para las medidas de congestión. Los dos más citados informes de

Movilidad Urbana del Instituto de Transporte de Texas [15] y la Cooperativa Nacional de Carreteras de Investigación Informe del Programa de 398 [16]. Ejemplos de parámetros utilizados que indican la congestión incluyen la demora de viaje, el índice de tiempo de viaje, la tasa viajes, el índice de tipo de viaje y el índice de reducción de velocidad. Por otra parte, una sola medición generalmente no es suficiente para expresar todos los aspectos cruciales y accidentales de congestión.

COMENTARIOS

Este artículo se enfoca en tomar consideración de aspectos acerca de cómo definir los parámetros de velocidad, para que algoritmo fuera evaluado se determinaron dos grupos de sujetos de humanos independientes, unos para visualizar el comportamiento y el otro grupo para validar el algoritmo, se determinó que el algoritmo puede estimar caso de congestión con el error entorno al nivel de congestión. Este trabajo es muy interesante la desventaja es que no se puede determinar fácilmente el valor de los tres niveles, ya que cada ciudad del mundo tiende a tener un comportamiento diferente a nivel de comportamiento vehicular. Este trabajo tomó como caso de estudio la ciudad de Bangkok ya que es de las ciudades de mayor flujo vehicular en el mundo.

2.2 USO DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA VOLUNTARIA (VGI)

2.2.1 USO DE MÓVIL UTILIZANDO VGI PARA UN SIG

En [17] se hace el análisis de la importancia de que los móviles contengan un sistema geográfico y que sirvan como referencia para obtener información de forma voluntaria (VGI) por los usuarios. Un SIG móvil es explotado como una herramienta de adquisición, proporcionando a los usuarios la capacidad de recoger la información geográfica, actualizar al servidor, y demostrar a través de las aplicaciones Web. Hace algunos años para visualizar los límites de una ciudad se tenía la necesidad de mirar un mapa en un papel, pero hoy en día los móviles cuentan con un sensor GPS que con ayuda de sistemas geográficos realizan una tarea sencilla para la detección de ubicaciones y visualizaciones de información de mapas. La parte central de VGI es obviamente la contribución voluntaria de los usuarios, por lo que el compartir y consumir herramientas son muy importantes.

En dicha investigación se propone una posible solución, utilizando un SIG móvil y como proveedor de información VGI, para el acceso y actualización de la información geográfica a través de un servicio Web. El sistema se divide en 3 partes fundamentales 1) el cliente móvil, 2) Servidor, y 3) Las aplicaciones Web. En la Figura 2.1 se muestra la arquitectura del sistema.

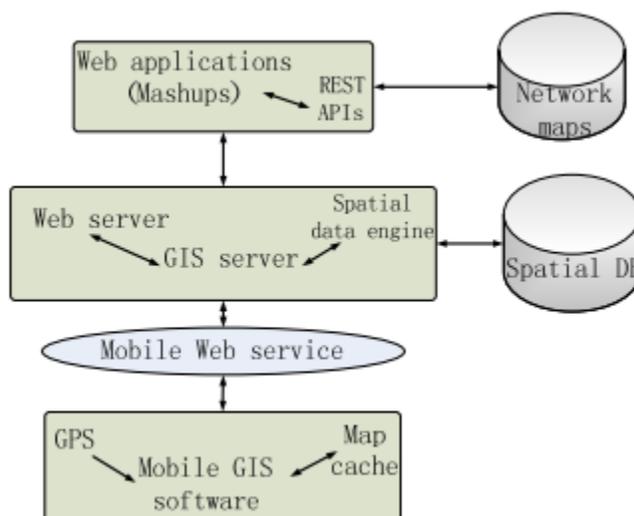


Figura 2. 1 Arquitectura del Sistema VGI

COMENTARIOS

Como principal aportación en este artículo que mencionan que un gran aporte que tienes los teléfonos móviles es que se puede obtener información geográfica de forma voluntaria por parte de los usuarios para la creación de sistemas geográficos, esta investigación trataba de que un usuario compartía información de lugares que visitaba agregando en el sistema móviles algunas características como por ejemplo su ubicación y una fotografía que posteriormente eran subidas al servidor y visualizadas en un servicio web.

2.2.2 LOS CIUDADANOS COMO SENSORES: EL MUNDO DE LA GEOGRAFÍA VOLUNTARIA

En el trabajo de investigación [18] se presenta una de las primeras investigaciones que menciona el concepto VGI, siendo popularizada por Goodchild, M. F. en el 2007. Lo que trata este artículo es que en ese momento se había producido una explosión de interés en el uso de la Web para crear, reunir y difundir la información geográfica suministrada voluntariamente por los individuos. Sitios como Wikimapia y OpenStreetMap entre otros sitios. Wikimapia por su parte es un ejemplo convincente de VGI ya que se adapta algunos de los procedimientos que han tenido tanto éxito en la creación de la Wikipedia enciclopedia y las aplica a la creación de un diccionario geográfico dando a los usuarios que de forma voluntaria puedan enviar información a través del servidor Web. El valor más importante de VGI puede estar en lo que se puede decir acerca de las actividades locales en varias ubicaciones geográficas que pasan desapercibidas por el mundo y los medios de comunicación.

COMENTARIOS

Este artículo el autor expone varios ejemplos de la utilización de VGI para los sistemas geográficos y menciona que es un concepto importante, ya que lo mismos usuarios que voluntariamente compartan información se llegan a convertir en sensores humanos que como menciona el artículo pueden proporcionar información útil de algún lugar donde no haya sido registrado por ningún servidor de mapas, o algún lugar de interés entre otras ventajas.

2.2.3 EL POTENCIAL DE VGI EN APLICACIONES PARA LA SALUD

En [19], los autores describen el potencial para el uso de VGI en aplicaciones de computación de salud generalizada. La informática de salud generalizada se esfuerza por proporcionar cuidado de la salud (servicios o información) a cualquier persona, en cualquier momento y cualquier lugar mediante la eliminación de las restricciones de tiempo y lugar. Usando el Proyecto OpenStreetMap (OSM) como un caso de estudio de un proyecto VGI de éxito. Se analizaron los puntos fuertes de OSM, su aplicabilidad actual a la computación de la salud penetrante, y se determinó que es una opción sostenible para su uso como una fuente de información espacial para las tecnologías de computación ubicua, en particular en las zonas donde el acceso a la información sobre los servicios de salud es limitado o difícil.

COMENTARIOS

El artículo concluye con un resumen de las ventajas y los desafíos de la integración VGI en salud la generalizada así como los cuidados que se deben de tener cuando se habla de información para temas de salud.

2.2.4 VGI: INVESTIGACIÓN FUTURA MOTIVADAS POR LA CRÍTICA PARTICIPATIVA

Este [20] se examina el nuevo fenómeno que causa el concepto VGI y menciona que existe bastante trabajo de investigación de dicho concepto ya que cubre diferentes aspectos, como por ejemplo la veracidad que tiene la información de forma voluntaria que es proporcionada por los usuarios. Principalmente mencionan algunos detalles para identificar algunos aspectos de VGI haciendo principal hincapié en cómo se pueden examinar los impactos sociales de los servicios de VGI y la información que se utilizan para recopilar, producir y difundir.

COMENTARIOS

Los autores de este trabajo hacen énfasis en que si la información ofrecida voluntariamente va hacer utilizada, se deben considerar los modelos para la práctica democrática que son eficaces en la cara de la incertidumbre, la contradicción y la diversidad en espacial conocimientos y datos espaciales.

2.3 APLICACIONES COMERCIALES

En este apartado se presenta un listado de sistemas comerciales referentes al trabajo propuesto en este documento y al final se agrega una serie de comentarios de cada uno.

2.3.1 GOOGLE MAPS NAVIGATION

Google Maps Navigation, un sistema que permite la búsqueda y comandos por voz en español así como la opción para ver mapas en vista satelital y modo tránsito durante el recorrido (este último en tiempo real).

En la Figura 2.2 se muestra un ejemplo de búsqueda de una ruta en la Ciudad de México indicando la distancia y un aproximado en tiempo para llegar al destino deseado. Los únicos campos que posee corresponden al inicio y al destino de la ruta, además del tipo de ruta que puede ser en automóvil o caminando. Existe un apartado en donde la colorea dependiendo el tránsito con el que se encuentre en ese momento [21].



Figura 2. 1 Google Maps Navigation

COMENTARIOS

Del servicio que nos ofrece Google Maps es que gracias a su amplia cobertura de calles en distintas ciudades, te permite con facilidad llegar a cualquier destino, sin embargo no tiene muchas consideraciones sobre el tránsito ya que su principal objetivo es dar la ruta más corta de cualquier destino.

2.3.2 WAZE

Waze es una aplicación multiplataforma de navegación GPS gratuita que incorpora características de navegación desarrollada por la empresa israelí Waze Mobile, hoy en día Google la absorbió con el propósito de mejorar su contenido. Waze difiere del software GPS tradicional en que es una aplicación mantenida por la comunidad de usuarios y que aprende de las rutas recorridas por sus usuarios para proveer información de enrutamiento

y actualizaciones de tránsito en tiempo real. Es un producto gratuito para utilizar donde las personas puedan reportar accidentes, congestiones de tránsito, controles de velocidad, puntos de interés, entre otros, además actualizar las carreteras, señales, números de casas y nombres de las calle. Además de ser un navegador GPS, Waze envía constantemente información sobre la velocidad de desplazamiento y ubicación de los usuarios a su base de datos para mejorar el servicio [22], ver Figura 2.3.



Figura 2. 2 Waze

COMENTARIOS

Waze ofrece una solución novedosa al incluir la información de los usuarios para la obtención de rutas, esto es interesante porque los usuarios son beneficiados con su misma información. Waze no maneja consultas del comportamiento vehicular que es lo que se pretende realizar en este trabajo.

2.3.3 TOMTOM

TomTom es una compañía originaria de los Países Bajos, fabricante de sistemas de navegación par automóviles y teléfonos móviles. Algunas de las tecnologías propias de TomTom que calcula la ruta más rápida a cualquier hora del día, basándose en la experiencia de conducción de millones de usuarios propios, permite predecir la duración

del recorrido de la ruta y estimar retrasos, en base a la medición de la velocidad en distintas vías. También permite a los usuarios corregir, de manera gratuita, los datos de los mapas. Algo interesante del Servicio de TomTom es que está basado en mediciones anónimas de teléfonos móviles acerca de su velocidad de desplazamiento. El análisis de estos datos facilita recopilar información de las carreteras principales y secundarias. [23]. Véase Figura 2.4.



Figura 2. 3 TomTom

COMENTARIOS

TomTom, ofrece una plataforma para implementar un servicio de ruteo sin conexión a un servidor, debido a que todo el proceso de obtención de la mejor ruta se realiza en el mismo dispositivo, la desventaja es que no recibe actualizaciones de la ruta sobre factores que la afecten en ese momento como congestiones de tránsito, en algunos modelos se debe comprar aparte un dispositivo para recibir actualizaciones del tránsito vía radio. Es una opción bastante buena pero no existe en muchas ciudades.

2.3.4 NDRIVE

NDrive es una aplicación de paga para dispositivos móviles que brinda las funcionalidades de un navegador GPS, como instrucciones de navegación por voz, búsquedas por categorías diferentes modos de rutas, puntos de interés, entre otras. Actualmente está disponible para teléfonos con diferentes plataformas. Esta aplicación tiene como objetivo principal mejorar la interfaz gráfica de los mapas que son mostrados al usuario, mediante vistas en

3D o visualización de los edificios más representativos así como instrucciones de giro amigables por medio de flechas o instrucciones por voz [24]. Véase Figura 2.5.



Figura 2. 4 Ndrive

COMENTARIOS

NDrive es es una aplicación interesante en cuanto al desarrollo gráfico que ha presentado, ya que es de mucha utilidad conocer algún edificio o monumento que de referencia sobre la ruta marcada sin embargo una desventaja es que dentro del sistema móvil ya que su ambiente grafico ocupa gran cantidad de memoria, y al momento de instalar es tardado. En este momento está disponible para Android e IOS.

CAPÍTULO 3

3 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se aborda algunas definiciones necesarias para la comprensión del trabajo, así como las herramientas utilizadas para la realización de la tesis. Se presenta la introducción de lo que significa un sistema colaborativo y la forma en que los usuarios de forma voluntaria enriquecen con información al sistema. Por otro lado se hace una explicación extensa de cómo organizar y ponderar los datos que serán utilizados para hacer el análisis correspondiente. Se mencionan las herramientas y una explicación breve de por qué fueron elegidas para este trabajo de investigación.

3.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

El trabajo está basado en la descripción de un Sistema de Información Geográfica (SIG) , el cual tiene una característica particular: los datos que se utilizan tienen dos componentes, una espacial que se refiere a la localización y una descriptiva que es la información recabada y analizada.

La Figura 3.1 se muestra el modelo holístico propuesto por Tomlinson [25]; se almacena la información en bases de datos espaciales, donde a través de funciones interactivas, dicha información es transformada para generar productos informativos como por ejemplo: listas, mapas y esquemas. La fuente de la información pueden ser mapas impresos o algún tipo de archivo digital.

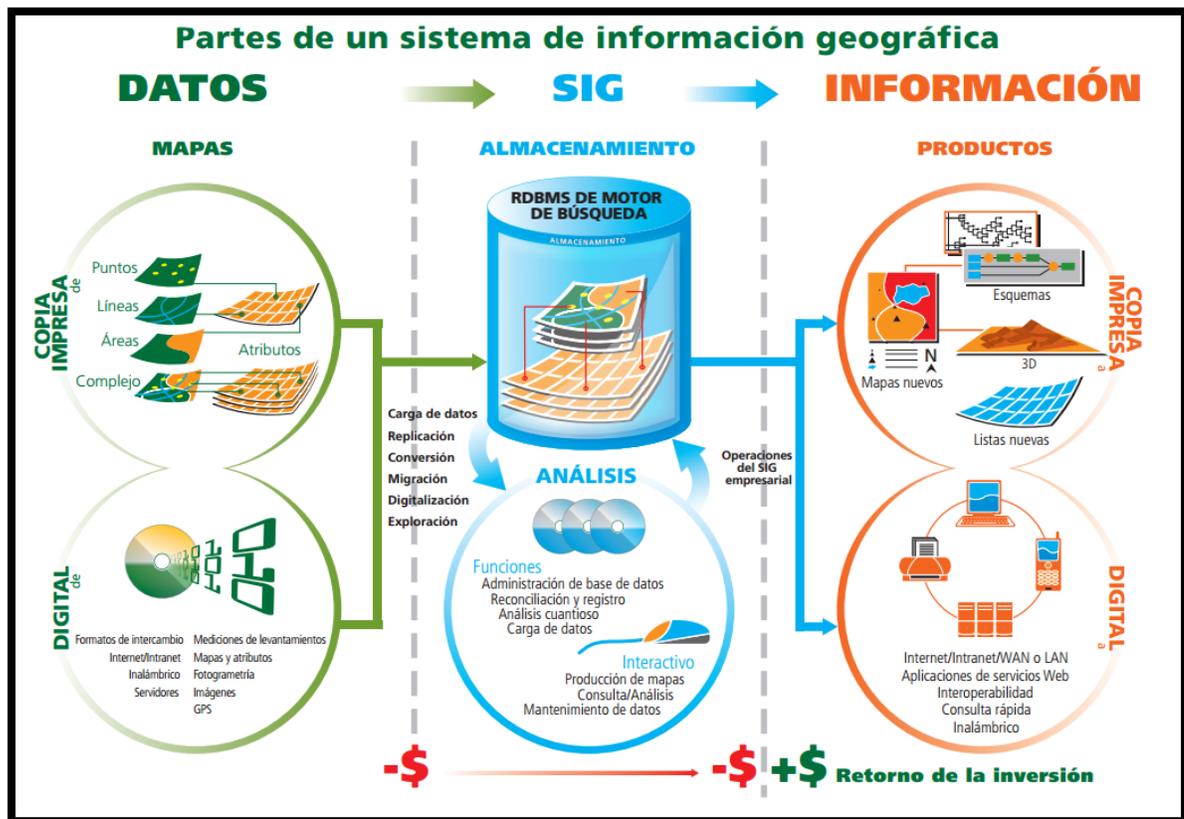


Figura 3.1 Partes de un Sistema de Información Geográfica

3.1.1 DATOS GEOGRÁFICOS

Un SIG, por su parte, almacena y gestiona información, entre otras características; por tanto, los datos geográficos son la parte fundamental del SIG mediante el cual representamos la realidad y, a su vez, nos permiten enlazarla con situaciones y aplicaciones específicas. Los datos son una abstracción de la realidad y los almacenamos como códigos digitales en bases de datos.

Por lo tanto, podemos considerar los datos geográficos como valores, cadenas de caracteres o símbolos que proporcionan a quien los use, información sobre la localización geográfica de entidades del mundo real. Los datos geográficos presentan tres tipos de componentes:

1. Una componente espacial.

La localización geográfica hace referencia a la posición de los objetos sobre la superficie de la Tierra, utilizando, por ejemplo, coordenadas geográficas o

direcciones postales. Además, dependiendo de sus dimensiones espaciales, los objetos pueden tener cierto tamaño: la longitud de una carrera, el área de un bosque o el volumen de una masa de agua.

La localización de los objetos en el espacio se realiza mediante un sistema de coordenadas y varía según el tipo de datos presentados:

- Modelo vectorial: representación de las entidades del mundo real mediante puntos, líneas y polígonos.
 - Punto: localizado en el espacio por un par de coordenadas X e Y
 - Línea: localizada a partir de las coordenadas de los puntos que la definen
 - Polígono: localizado a partir de las coordenadas de las líneas que lo cierran.
- Modelo raster: representación mediante una malla regular de celdas, en donde la localización de los objetos se realiza en dos pasos y por medio de filas y columnas.

2. Una componente atributiva.

Se refiere a las características de los objetos presentados en un SIG utilizados para representar el mundo real. Estas características se conocen como los atributos o variables de una base de datos. Los objetos con los que se representa la variación que se produce en el mundo real poseen unas determinadas características que se conocen como atributos

3. Una componente temporal que lleva asociada información del tiempo.

3.2 MONITOREO DE MULTITUDES (MOBILE CROWD SENSING)

Los teléfonos inteligentes (Smartphones) de hoy no sólo sirven para la comunicación telefónica entre dispositivos móviles, sino que también viene con un amplio conjunto de sensores embebidos, tales como el GPS, cámara, micrófono etc. Colectivamente, estos sensores permiten nuevas aplicaciones a través de una amplia variedad de los dominios, como lo son la salud, las redes sociales, la seguridad y el transporte, y dan un nuevo lugar a un área de investigación llamada sensor de teléfono móvil. Todo esto es a causa de grandes avances tecnológicos algunos aspectos importantes a destacar son los siguientes:

La primera que se debe mencionar en la integración de sensores dentro del dispositivo móvil esto permite hacer aplicaciones con diferentes campos de investigación e incluso hacer aplicaciones que interactúen en tiempo real. La segunda es que los teléfonos inteligentes son abiertos y programables en código.

Mobile Crowd Sensing (MCS) [26] presenta un nuevo paradigma de detección basado en el poder de los diversos dispositivos móviles. El gran número de usuarios de dispositivos móviles y su movilidad inherente permite un nuevo crecimiento en el paradigma de detección: la capacidad de adquirir el conocimiento local a través de los dispositivos móviles y sus sensores mejorados, por ejemplo la ubicación, el contexto personal y los alrededores, el nivel de ruido, las condiciones del tránsito, entre otros .

Numerosos desafíos de investigación surgen del paradigma de detección multitud que van desde la recolección participativa y oportunista de datos, como la comunicación de red y el gran procesamiento de datos. Al contar con la participación humana otras cuestiones salen a relucir en este tema como por ejemplo la ubicación puede ser revelada y esos temas deben ser tratados con cuidado, este problema proporciona la oportunidad para que los investigadores y desarrolladores de aplicaciones revisen y discutan el estado de las técnicas de MCS.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DE MCS

Mobile Crowd Sensing (MCS) consta de las siguientes tres características [27]:

- Promover enfoques inéditos y técnicas de recolección participativa y oportunista de datos, comunicación, análisis y visualización;
- Para identificar los problemas abiertos que siguen siendo un desafío hacia la convergencia de las tecnologías de la información y de la comunicación, los métodos de protección de la privacidad, las teorías sociales y psicológicas en la MCS;
- Para explotar nuevas áreas de aplicación y demostrar los beneficios de MCS en contraste con los enfoques de detección estáticas tradicionales.

En la Figura 3.2 se muestra el funcionamiento típico MCS.

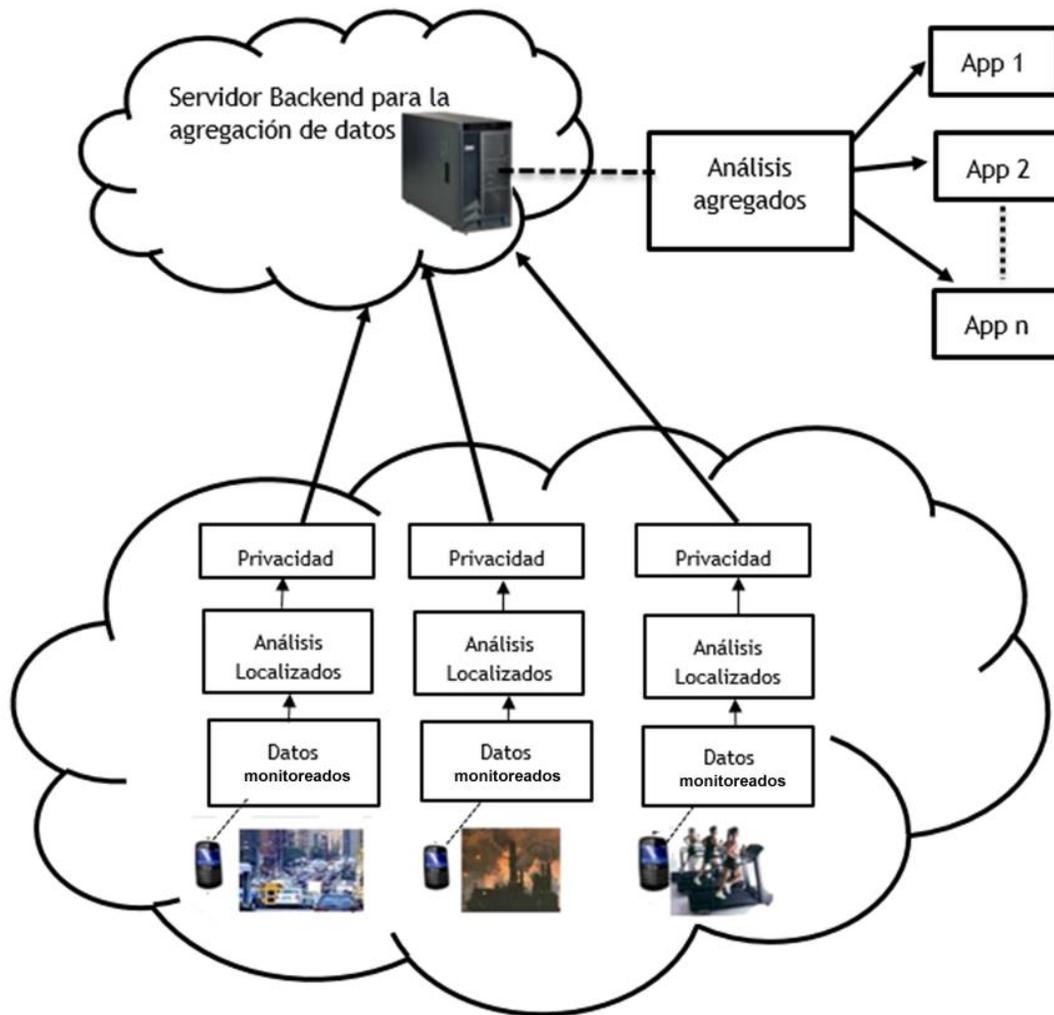


Figura 3. 2 Funcionamiento de MCS

Los datos de detección que se recogen en los dispositivos, son analizados localmente con el fin producir datos de consumo para aplicaciones de diferente rubro. Después de la preservación de privacidad, los datos se envían en forma transparente y son agregados los análisis que se procesarán hacia diferentes aplicaciones.

3.3 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA VOLUNTARIA (VGI)

Información Geográfica Voluntaria (VGI) [18] o *crowd-sourcing* geoespacial, es donde los ciudadanos (voluntarios) aportan datos e información acerca de la tierra (ubicaciones, lugares etc.) y el medio ambiente que está georeferenciada y luego explícita o implícitamente difundida a través de proyectos de colaboración, como OpenStreetMap o redes sociales como Flickr, Twitter y Facebook entre otras.

Uno de los conceptos más difundidos de *crowd-sourcing* es el presentado por Howe 2008 [28], el cual consiste en tomar una tarea normalmente llevada a cabo por un agente asignado (empleado, contratista, etc.) y externalizarla por medio de una llamada abierta a una multitud no definida de personas. El *crowd-sourcing* permite que el poder de la multitud realice lo que antes era de entero dominio de los expertos.

El *crowd-sourcing* ha traído como ventaja el crecimiento del software, el aumento de la disponibilidad de herramientas de producción y el crecimiento de comunidades auto organizadas centradas en personas que comparten los mismos intereses.

VGI y su popularidad se debe en gran parte a los ciudadanos haciendo uso de los dispositivos de consumo, como teléfonos inteligentes, para recoger información de localización cada vez más precisa y otra es para información ambiental. Con la aparición del GPS que mandando señales al satélite podrían darte de manera detallada la cartografía por donde ibas circulando, calculando el tiempo, recorrido hacia tu destino entre otras utilidades.

Principalmente en este trabajo este concepto nos dará la pauta para la colaboración voluntaria de los usuarios que utilicen el sistema, ya que el usuario podrá compartir al servidor su ubicación cada cierto tiempo según le sea conviene.

3.4 SISTEMAS COLABORATIVOS

Los sistemas colaborativos son aquellos sistemas que integran la participación en un mismo proyecto a muchos usuarios que pueden encontrarse en distintos lugares en diversas estaciones de trabajo conectados a través de una red. La tecnología involucrada se le denomina *groupware*, sistemas *groupware* o sistemas colaborativos [29].

El requerimiento principal de los sistemas colaborativos es precisamente el soportar la interacción entre los usuarios del sistema como una actividad grupal y no como actividades en un contexto individual. Y para satisfacer este requerimiento, los sistemas colaborativos, tendrán que cubrir tres áreas centrales la comunicación, coordinación y colaboración [30].

La comunicación basada en computadora ha mejorado mucho en los últimos años, hoy en día ya hay una gran variedad de herramientas que permiten comunicar a un grupo de usuarios en forma sincrónica y enviando distintos tipos de información. Con la vanguardia de dispositivos móviles se puede realizar esta tarea ayudándose de un servidor *web* y con soporte de *jsp*, para poder hacer la parte de la comunicación.

La colaboración requiere que los usuarios accedan a información compartida y que los usuarios participen en colaborar accediendo a los sistemas.

Finalmente, la efectiva colaboración y comunicación puede ser mejorada con una buena coordinación, ya que sin coordinación los miembros del grupo podrán entrar en conflicto accediendo a los mismos recursos compartidos.

La construcción de sistemas colaborativos es una tarea compleja por el hecho de que involucra la iteración intensiva entre actores que están dispersos en diferentes lugares. Independientemente de la arquitectura, el sistema deberá controlar la participación de cada actor sobre el conjunto de objetos compartidos y mantener actualizado a todos los participantes de cada actor sobre el conjunto de información compartida.

La actividad geográfica hoy en día es rica y variada: se hace prácticamente de todo y los colectivos que participan son muy diversos. Somos capaces de identificar diferentes características o datos de interés para sistemas diversos.

Un modelo colaborativo es aquel enriquecido de forma participativa por personas que tienen un interés en común, en este trabajo de investigación se pone a prueba los conceptos que son MCS y VGI que fueron expuestos anteriormente. En conjunto con un sistema colaborativo se pueden hacer bastantes enriquecimientos de información con ayuda de lo que hoy en día contamos el GPS móvil para la recuperación de la posición.

Como se menciona en el Capítulo 2, hay algunos trabajos de investigación que hablan sobre la veracidad que pueden tener los datos obtenidos voluntariamente por los usuarios, sin embargo en este trabajo no se deja desapercibido dicha cuestión, la forma en la que los usuarios harán su aportación voluntaria es a través del sistema de monitoreo de tránsito con ayuda del sensor GPS, lo que nos garantiza que los datos recolectados únicamente serán las posiciones en diferentes tiempos, es decir que la información es de cierta forma siempre será verdadera.

3.5 SUPERVISIÓN VEHICULAR BASADA EN POSICIÓN

Hablar sobre el monitoreo es mencionar la herramienta del GPS.

3.5.1 GPS

El sistema de posicionamiento Global (GPS) es un sistema de satélites usando en navegación que permite determinar la posición las 24 horas del día, en cualquier lugar de la Tierra y en cualquier condición climatológica. Este sistema consiste en un conjunto de 24 satélites que orbitan la tierra y envían señales de radio a su superficie. Un receptor GPS es un artefacto electrónico pequeño, que permite recibir las señales de los satélites. Este receptor utiliza señales de radio para calcular su posición, que es facilitada como un grupo de números y letras que corresponden a un punto sobre un mapa.

El cálculo de la propia posición, usando señales GPS, se realiza por triangulación, lo que significa que sabiendo la distancia a tres puntos fijos, podemos obtener la propia posición. El receptor mide la distancia desde el satélite A, lo que representa que el navegante está en algún lugar del círculo que rodea el satélite A. Después de ese suceso el satélite mide la distancia al satélite B. El receptor está en algún lugar de los dos círculos que rodean a los dos satélites como se muestra en la Figura 3.2. Únicamente hay dos posiciones en las que el receptor puede estar y son donde los dos círculos intersectan. A continuación, el receptor mide la distancia del satélite C y del mismo modo que antes, sabe que su posición esta donde los tres círculos intersecta, así de esta manera ocurre que solo se intersectan en un sólo punto [31], véase Figura 3.3.

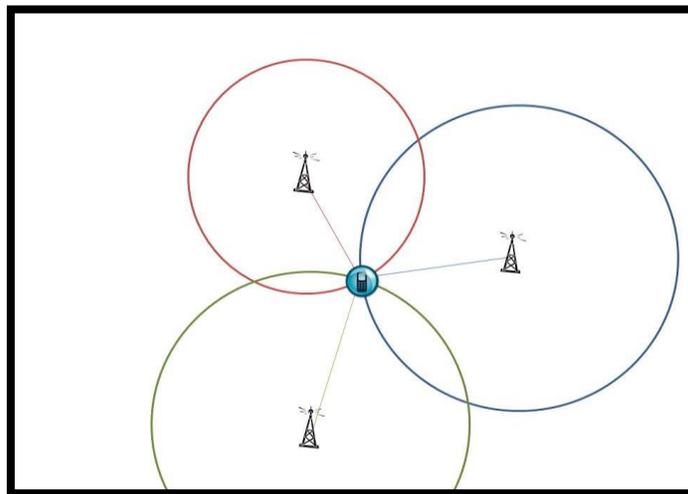


Figura 3. 3 GPS

3.6 ANÁLISIS ESPACIAL

Los datos espaciales contienen información sobre la localización y el tiempo, hay datos que para algunos atributos son almacenados en diferentes localizaciones y esas localizaciones son codificadas como parte del dato.

El análisis espacial es en general un término que describe un conjunto de técnicas y modelos que utilizan explícitamente la referencia espacial de cada caso de datos, para entender mejor los procesos que generan los valores de los atributos observados.

Ejemplos comunes de análisis espacial incluyen: monitoreo de datos, tránsito vehicular, localización de servicios, distribuciones de fenómenos o eventos, etc. Algunos datos son recolectados manualmente, mientras que otros pueden ser recolectados por diferentes tipos de sensores, la localización por ejemplo, es cada vez más recolectada por diferentes tecnologías como: GPS, WiMAX, LiDAR y RFID.

Las etapas que tiene un análisis espacial se describen en la Figura 3.4 [32].

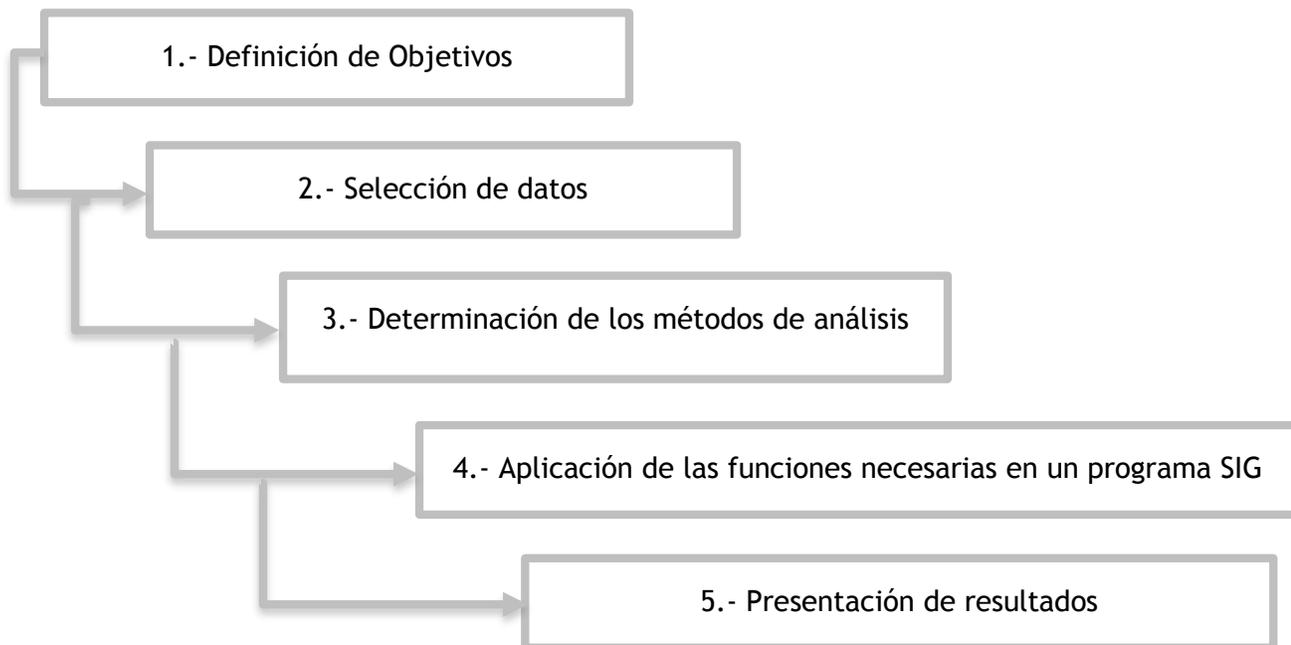


Figura 3. 4 Etapas de análisis espacial

La primera etapa por lo general es la especificación clara de las interrogantes que se van a investigar, después de haber identificado y formulado el problema a resolver.

La segunda etapa, una vez que los datos se han obtenido y aceptado como aptos para el propósito, es a menudo exploratoria. Esto puede implicar: simple mapeo de los datos, puntos, líneas, regiones, redes, superficies, cálculo de tasas, índices, densidades, pendientes, tendencias direccionales, etc., o de exploración más compleja y dinámica de los datos.

La tercera etapa dependerá del objetivo del análisis. En muchos casos, la presentación de los resultados de análisis exploratorio en forma de comentarios, mapas, estadísticas descriptivas y documentos asociados, completa el proceso.

La cuarta etapa es la que culmina que funciones de análisis serán utilizadas, son los modos de aplicación que varían en cada programa SIG, en esta etapa es necesario conocer bien las transformaciones que se aplican a los datos.

La quinta etapa implicará el desarrollo y pruebas de hipótesis sobre los patrones recolectados, y/o el modelado de los datos con el fin de realizar un poco de ejercicio predictivo. Con frecuencia, el resultado de este proceso es una serie de resultados (posibles escenarios) que a su vez deben ser resumidos y presentados para el análisis final y la toma de decisiones por parte de grupos de interés. El proceso puede entonces iterar hasta que se consiga un flujo estable y robusto.

3.7 BASE DE DATOS ESPACIALES

Una base de datos espacial es una colección de datos espacialmente referidos que actúan como un modelo de la realidad. Un SIG puede controlar y manejar todas las tareas relacionadas al almacenamiento y procesamiento de la información espacial, por lo tanto su núcleo puede ser visto como un Sistema Manejador de Base de Datos, el cual nos permite interactuar con ellos.

Ventajas de utilizar una base de datos espacial son:

- Permiten definir las relaciones espaciales existentes entre los objetos geográficos (topología).
- Mejoran la seguridad de los datos, ya que permiten la creación de permisos a usuarios y grupos de usuarios.
- Proveen facilidades para la manipulación de grandes volúmenes de datos.
- Organizan los datos de manera íntegra evitando redundancias.

Para su manipulación existen varios SMBD que tienen módulos para procesar y almacenar datos espaciales como Oracle Spatial, Postgres (PostGIS), SQL Server Spatial, entre otros [33].

3.8 FLUJO VEHICULAR

El flujo vehicular, es representado por sus tres variables principales: el flujo, la velocidad y la densidad. Mediante la deducción de las relaciones entre ellas, se pueden determinar las características de la corriente de tránsito. A su vez, estas tres variables pueden ser expresadas en términos de otras, llamadas variables asociadas. El volumen, el intervalo, el espaciamiento, la distancia y el tiempo.

En este trabajo se trabajará con una de ellas que es la velocidad de cada automóvil que será un factor importante.

3.8.1 VELOCIDAD

La velocidad es definida como una razón de movimiento en distancia por unidad de tiempo, generalmente como kilómetros por hora (km/h). El HCM 2000 usa la velocidad promedio de viaje como la medida de velocidad, ya que es fácil de calcular observando cada vehículo dentro del tránsito y es la medida estadística más relevante en relación con otras variables [35].

3.8.1.1 VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE

La velocidad promedio de viaje es una medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje en una longitud dada de carretera. Se calcula como la longitud del segmento dividido entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento, incluyendo todos los tiempos de demoras por paradas.

La velocidad promedio de viaje se calcula dividiendo el largo de la carretera, sección o segmento bajo consideración entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento. La Ecuación 3 expresa la velocidad promedio de viaje.

$$S = \frac{L}{t_a} \quad (1)$$

Donde:

L = Longitud del segmento de carretera (km)

t_a = Tiempo promedio de viaje en el segmento (hr)

S = Velocidad promedio de viaje km/hr

La aceleración de un automóvil juega un papel importante ya que es muy importante en determinar la velocidad y la posición del auto [36]. De acuerdo a la cinemática se sabe que hay una relación entre la aceleración, velocidad, distancia y tiempo. Si se considera la aceleración como una función de la velocidad se tiene:

$$\frac{d u_t}{dt} = \alpha - \beta u_t \quad (2)$$

Donde α y β son constantes y u representa la velocidad del vehículo.

3.9 CÁLCULO DE DISTANCIA ENTRE DOS PUNTOS GEOGRÁFICOS

El cálculo de la distancia entre dos puntos que se encuentran ubicados sobre un plano se obtiene a partir del teorema de Pitágoras. Es decir, la distancia euclidiana entre dos puntos P1 y P2 de coordenadas cartesianas (x_1, y_1) y (x_2, y_2) , y está definida por la Ec.5:

$$d(P1, P2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3)$$

Cuando se desea trabajar con coordenadas geográficas se debe de tomar en cuenta que sobre la superficie de la Tierra ningún objeto se mueve un plano recto. Por lo tanto, todos los cálculos de distancia deben considerar el arco que describe el recorrido entre dos puntos [37].

Por esta razón, se hace uso de la Fórmula del Haversine [38], la cual es una ecuación utilizada en la navegación astronómica para el cálculo de la distancia entre dos puntos de la Tierra conociendo su latitud y longitud. Se define de la siguiente manera:

Siendo la Tierra una esfera de radio R y teniendo dos pares de coordenadas $P1(x_1, y_1)$ y $P2(x_2, y_2)$; la fórmula de Haversine es definida de la siguiente manera:

$$d_{lon} = y_2 - y_1 \quad (3.1)$$

$$d_{lat} = x_2 - x_1 \quad (3.2)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{dlat}{2}\right) + \cos x1 * \cos x2 * \sin^2\left(\frac{dlon}{2}\right) \quad (3.3)$$

$$c = 2 * \arcsin(\min(1, \sqrt{a})) \quad (3.4)$$

$$distancia = R * c \quad (3.5)$$

Donde:

$R = 6378.137 \text{ km}$, radio de la Tierra en kilómetros.

3.10 HERRAMIENTAS UTILIZADAS

3.10.1 POSTGRES SQL

PostgreSQL es una base de datos objeto relacional de código abierto, que cuenta con una extensión que añade soporte de objetos geográficos a PostgreSQL y permite realizar un análisis mediante consultas SQL espaciales o mediante conexión a aplicaciones GIS [39].

3.10.2 POSTGIS

Es un módulo que añade soportes de objetos geográficos a la base de datos objeto-relacional PostgreSQL, convirtiéndola es una base de datos espacial para utilización en Sistemas de Información Geográfica de forma similar a la extensión de Oracle [40].

Sus características principales son:

- Se trata de un software libre.
- Es compatible con los estándares de OGC.
- Soporta diferentes tipos de datos espaciales, además de índices espaciales y posee cientos de funciones espaciales
- Permite importar y exportar datos.
- Es una alternativa real al software propietario superándole en estabilidad y rapidez.
- Actualmente es la base de datos espacial de código abierto más ampliamente utilizada.
- Existen diferentes software libres o de código abierto que pueden visualizar datos almacenados enPostGIS además de otros formatos. (*QGIS, gvSIG, OpenJUMP, Kosmo, etc.*).

3.10.3 APACHE TOMCAT

Tomcat es usado como servidor *web* autónomo en entornos con alto nivel de tránsito y alta disponibilidad, ya que es un contenedor de servlets que se utiliza en la referencia oficial de la implementación para Java Servlet y JavaServer Pages (JSP).

Una ventaja de Tomcat es que fue escrito en Java, de esta manera funciona en cualquier sistema operativo que disponga de la máquina virtual Java [41].

3.10.4 IDE ANDROID

La plataforma para desarrollar aplicaciones en el sistema operativo Android se compone del conjunto de herramientas de desarrollo SDK (Software Development Kit).

El SDK de Android, incluye un conjunto de herramientas de desarrollo. Comprende un depurador de código, biblioteca, un simulador de teléfono basado en QEMU, documentación, ejemplos de código, tutoriales y está programado en java [42].

3.10.5 API GOOGLE MAPS

La API de *Google Maps* utiliza las herramientas y los servicios de Google para crear innovadoras aplicaciones basadas en la ubicación ,crea aplicaciones de alto rendimiento que funcionen en distintos dispositivos móviles con imágenes satelitales, Street View, perfiles de elevación, indicaciones para llegar a un destino, mapas con estilos, demografías, análisis y una amplia base de datos de ubicaciones [43].

CAPÍTULO 4

4 METODOLOGÍA

En las secciones anteriores se han descrito, a grandes rasgos, algunos aspectos a desarrollar en este trabajo. Así mismo, se han presentado diferentes conceptos para el entendimiento del presente capítulo, en donde se abordará con más detalle la metodología propuesta para la solución de este trabajo, dividida en tres módulos, que posteriormente serán detallados. Así como el marco de trabajo, propuesto con la unión de estos módulos.

4.1 DISEÑO DE PROTOTIPO

Para implementar la metodología se diseñó y desarrolló una aplicación para dispositivos móviles que soportan el sistema operativo Android 4.1. Dicha aplicación, arquitectura y funcionamiento son descritos en los siguientes apartados.

4.1.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En la Figura 4.1 se representa la arquitectura general del prototipo; se trata de un modelo Cliente -Servidor, el cual cuenta en el lado del servidor, con un contenedor de aplicaciones tipo Java, el cual reside de un servicio Web que permite la comunicación a través de Internet por el protocolo http, la interfaz es consumida por dispositivos móviles.



Figura 4.1 Modelo Arquitectura del Sistema

En la Figura 4.2 se puede apreciar una representación del prototipo, se cuenta con una aplicación móvil desarrollada en el sistema operativo Android, el dispositivo almacena directamente los datos monitoreados en una base de datos espacial, estos datos son

enviados a un servidor a través de internet, el servidor recibe los datos, los procesa y envía un mensaje de estatus de la operación al dispositivo una vez que ha terminado.

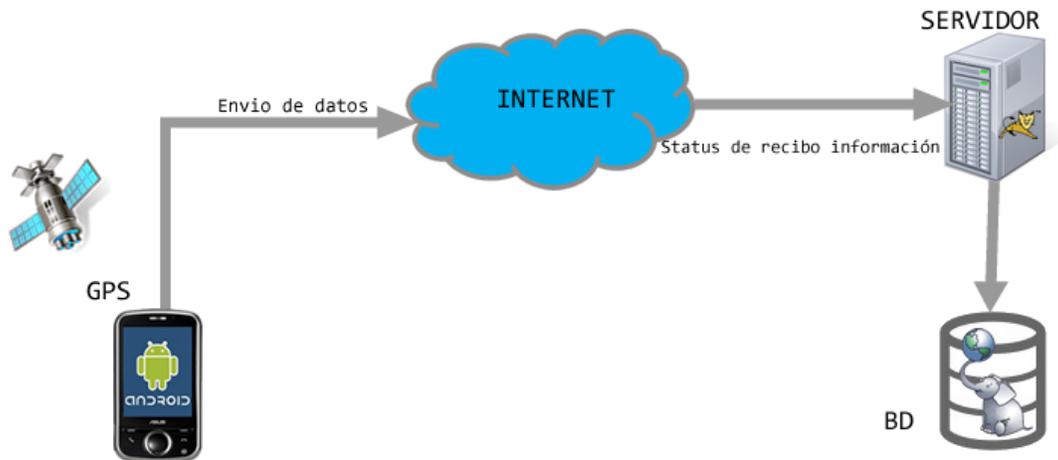


Figura 4.2 Representación del Sistema

4.2 MARCO DE TRABAJO

Como se mencionó anteriormente, la metodología se divide en tres módulos: el primero es de recolección de datos el cual se realiza a través de un monitoreo proporcionado por el dispositivo móvil, el segundo módulo se encarga del análisis de los datos en el cual los estos son analizados, calculados y se obtienen una tripleta de parámetros para la velocidad. Por último, el módulo de resultados en donde se hace la visualización de los datos procesados. El esquema general consiste en la unión de estos tres módulos para generar un sistema de apoyo a la toma de decisiones para evitar problemas de congestión vehicular. En la Figura 4.3 se muestra el marco de trabajo general propuesto para esta metodología.

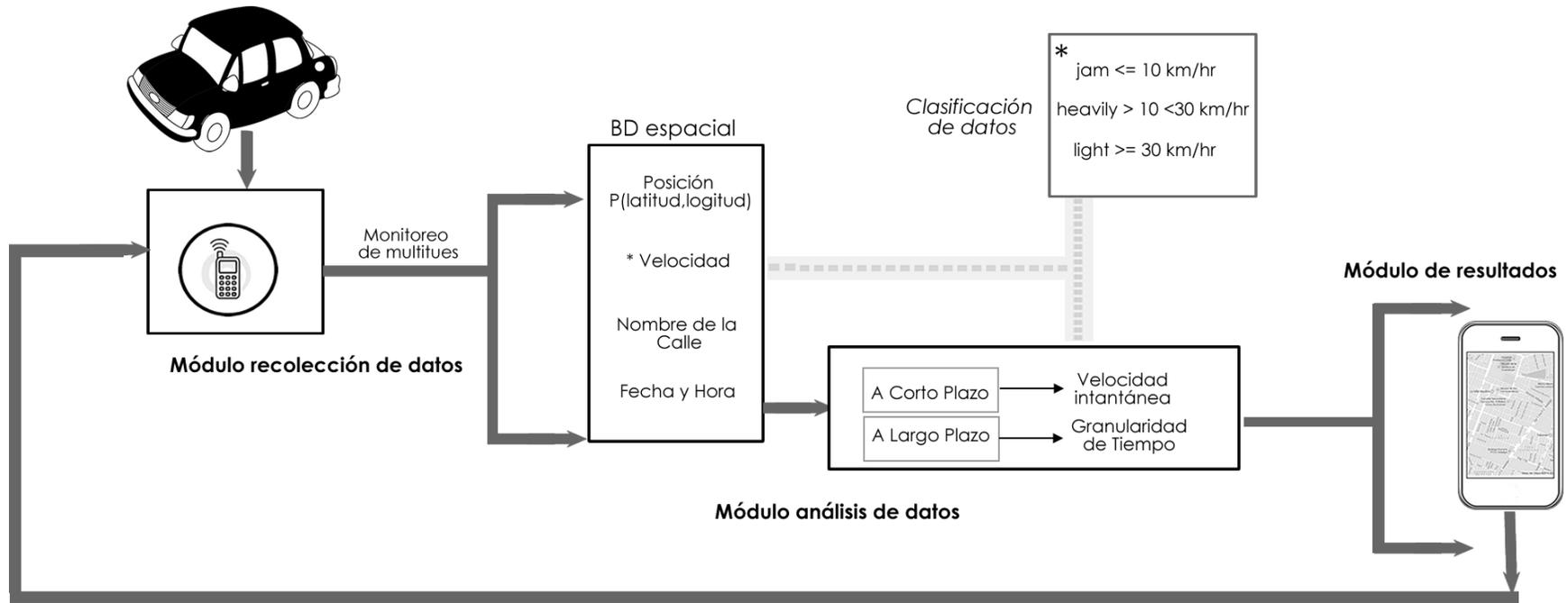


Figura 4. 3 Marco de Trabajo

4.3 MÓDULO RECOLECCIÓN DE DATOS

Este módulo tiene como propósito la obtención de los datos referentes a los recorridos de los viajes que los usuarios realicen, los cuales son representados por puntos. Dichos puntos representan las posiciones monitoreadas por el dispositivo móvil en coordenadas geográficas <latitud, longitud>.

En este módulo principalmente nos basaremos en el concepto MCS que nos servirá como base para el monitoreo de forma voluntaria por parte de los usuarios (VGI). Estas dos definiciones como se mencionan anteriormente en el trabajo nos ayudarán a la construcción del sistema colaborativo con el fin de monitorear datos útiles para el comportamiento de tránsito vehicular.

En este módulo se pretende capturar los recorridos de forma transparente para los usuarios, se opta por el uso de tecnologías móviles, permitiendo al usuario la utilización de sus aplicaciones y cualquier actividad que requiriera hacer con su dispositivo, ya que la aplicación que hace la recolección de datos está programada en un proceso en segundo plano desde el teléfono móvil, de esta manera es invisible la forma de recolectar la información necesaria.

En la figura 4.4 se muestra el módulo recolección de datos, se divide en dos etapas el monitoreo de datos y el almacenamiento de los mismos.



Figura 4. 4 Módulo recolección de datos

4.3.1 MCS Y VGI

Se aplica un análisis de tránsito basado en el monitoreo de multitudes (MCS). Se trata de una detección voluntaria donde diferentes usuarios comparten sus lecturas de forma automática en función del tránsito en las zonas por las que transitan. La forma en que los usuarios hacen estas lecturas voluntarias es a lo que conocemos como información geográfica voluntaria (VGI), el sistema proporcionará la tarea sencilla para que el usuario

pueda hacer sus aportaciones de forma colaborativa, es decir se tiene el mismo fin, que es conocer el comportamiento vial.

Esta información se concentra en un sistema central donde se procesa y se analiza para establecer una imagen del tránsito dentro de la zona de interés. Esto se hace mediante el uso de un sensor móvil donde la posición, la fecha, la hora, la velocidad y el nombre de la calle, se obtienen desde el vehículo en movimiento.

Para que esta tarea se lleve a cabo de manera correcta es necesario tener en cuenta los siguientes requisitos:

El usuario deberá ir a la sección Servicios de ubicación y activar la opción satélite GPS, esto dentro de ajustes del dispositivo móvil. Esta tarea tiene como objetivo realizar la captura de los datos sobre la localización de los usuarios a través del sensor GPS del dispositivo móvil. Dichos datos se refieren a las coordenadas geográficas en formato de <latitud, longitud>, así como la componente temporal (fecha y hora). Esta información se envía periódicamente a la central de tránsito monitoreando el sistema, donde se almacena en una base de datos para su posterior análisis.

Es necesario contar con un plan de datos, ya que el envío de información se realiza por medio de una comunicación utilizando el protocolo http [44].

4.3.1.1 PROCESO DE STATUS DE CONEXIÓN

La aplicación tiene la ventaja que cuenta con un proceso que constantemente está al pendiente de la conexión hacia la base de datos, en el caso de que no tuviera respuesta del servidor, esta tarea guarda los datos en un archivo de texto dentro del dispositivo móvil, cuando se reanude la conexión a internet el usuario contará con un botón que le permita enviar ese archivo, para posteriormente registrar esos datos en forma manual, es decir que la tarea no es automática.

4.3.2 ALMACENAMIENTO

El proceso de almacenamiento consiste en guardar los datos capturados respecto a los viajes que realizan los usuarios desde su vehículo que se hicieron a partir del monitoreo de multitudes en una base de datos espacial. El diseño lógico se muestra en la Figura 4.5.

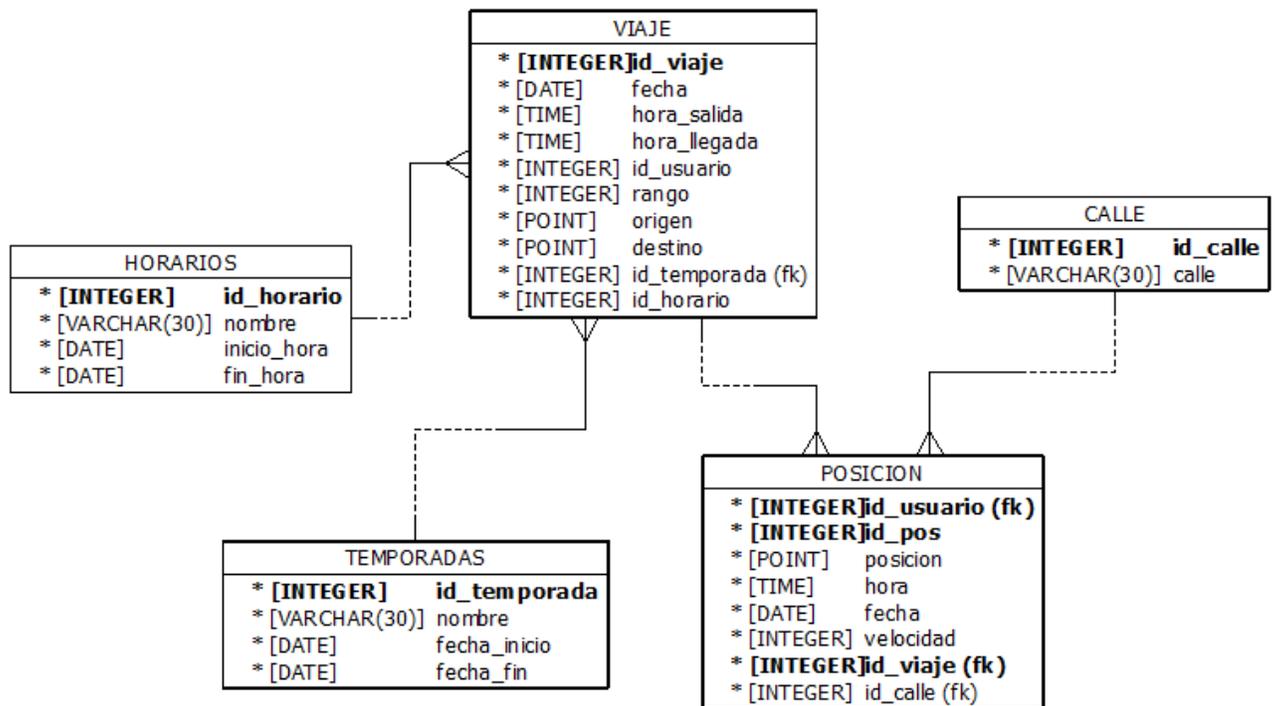


Figura 4. 5 Diseño lógico de la Base de Datos

La tabla 4.1 describe la estructura de la tabla Viaje, indicando los tipos de datos de los campos y la descripción de cada uno de ellos.

| Campo | Tipo de dato | Descripción |
|-----------------------------|--------------|---|
| <u>Id_viaje (PK)</u> | Integer | Llave primaria de la tabla viaje. Tendrá un valor único. |
| Fecha | date | Almacena la fecha en formato YYYY-MM-DD |
| Hora_salida | Time | Almacena la hora de salida desde que comienza a correr la aplicación. |
| Hora_llegada | Time | Almacena la hora de llegada cuando se detiene la aplicación. |
| Id_usuario | Integer | Almacena el IMEI (Identidad Internacional de Equipo Móvil) del usuario. |

| | | |
|-------------------|---------|---|
| Rango | Integer | Almacena el valor del rango correspondiente a la velocidad. Por ejemplo una velocidad 60 km/hr tiene el valor de rango 3. |
| Origen | Point | Almacena el punto de origen en formato <latitud, longitud> |
| Destino | Point | Almacena el punto del destino en formato <latitud, longitud> |
| Id_temporada (FK) | Integer | Llave foránea de la tabla Viaje que es referenciada a la tabla Temporada, permitiendo la asociación de que la fecha de un viaje a que temporada es correspondiente. |

Tabla 4. 1 Tabla Viaje

En la tabla 4.2 se muestra los atributos que tiene la tabla Posición y su descripción.

| Campo | Tipo de dato | Descripción |
|------------------------|--------------|---|
| <u>Id_usuario (FK)</u> | Integer | Llave foránea de la tabla Posición que es referenciada a la tabla viaje, permitiendo la asociación de cada IMEI correspondiente al usuario. |
| <u>Id_pos (PK)</u> | Integer | Llave primaria de la tabla posición. |
| Posición | Point | Almacena el punto en formato <latitud, longitud>.Obtenida por el sensor GPS del dispositivo móvil, cada ciertos segundos. |
| Hora | Time | Almacena la hora de cada punto geográfico guardado. |
| Fecha | Date | Almacena la fecha en formato YYYY-MM-DD. |
| Velocidad | Integer | Almacena la velocidad de cada punto geográfico obtenido desde el sistema móvil. |

| | | |
|----------------------|---------|---|
| Id_viaje (FK) | Integer | Llave foránea de la tabla Posición que es referenciada a la tabla viaje, permitiendo la asociación de cada punto con un único viaje. |
| Id_calle | integer | Llave foránea de la tabla Posición que es referenciada a la tabla Calle, permitiendo la asociación de los nombres de las calles respecto a cada punto geográfico. |

Tabla 4. 2 Tabla Posición

En la tabla 4.3 se muestra los atributos que tiene la tabla calle y su descripción.

| Campo | Tipo de dato | Descripción |
|----------------------|--------------|---|
| Id_calle (PK) | Integer | Llave primaria de la tabla calle. |
| Calle | Varchar (30) | Almacena el nombre de la calle de cada punto y esta información es proporcionada por el servicio geocodig de Google Maps. |

Tabla 4. 3 Tabla calle

En la tabla 4.4 se muestra los atributos que tiene la tabla Temporadas y su descripción.

| Campo | Tipo de dato | Descripción |
|--------------------------|--------------|--|
| Id_temporada (PK) | Integer | Llave primaria de la tabla Temporada. |
| Nombre | Varchar (30) | Almacena el nombre de la temporada. |
| fecha_inicio | Date | Almacena la fecha de inicio que abarcará la temporada. |
| fecha_fin | Date | Almacena la fecha final de la temporada. |

Tabla 4. 4 Tabla Temporal

En la tabla 4.5 se muestra los atributos que tiene la tabla Horarios y su descripción.

| Campo | Tipo de dato | Descripción |
|--------------------|--------------|--|
| Id_hora(PK) | Integer | Llave primaria de la tabla Hoarios. |
| Nombre | Varchar (30) | Almacena el nombre del horario. |
| Inicio_hora | Date | Almacena la fecha de inicio que abarcará el horario. |
| Fin_hora | Date | Almacena la fecha final del horario. |

Tabla 4. 5 Tabla Horario

4.4 MÓDULO ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de datos se realiza en el sistema central, tales tareas de análisis consisten en determinar el tránsito en las calles donde se tomaron las lecturas. Este análisis se lleva a cabo en dos órdenes diferentes de tiempo: a corto y a largo plazo.

4.4.1 ANÁLISIS A CORTO PLAZO

El análisis a corto plazo es el que se realiza en tiempo real, en el momento que se está ejecutando el monitoreo, se utiliza cuando se tienen lecturas de velocidad constante y real en algunas calles y avenidas.

Para calcular la velocidad de un tramo de camino se utilizará el promedio geométrico, el cual nos permite hacer actualizaciones de estado sólo teniendo en cuenta el tránsito acumulado y la nueva información. De este modo se utiliza la ecuación (Ec. 4), de modo que no es necesario utilizar todos los datos acumulados para tener una estimación de la velocidad.

$$V_i = \alpha \bar{V}_i + (1 - \alpha)V_{i-1} \quad (4)$$

Donde:

α Indica el peso dado en el pasado y el presente del promedio geométrico.

V_i Indica la el promedio de la velocidad de la muestra i

\bar{V}_i Indica la i -ésima muestra de la velocidad.

Al finalizar, el resultado obtenido se realiza la clasificación de estos datos representados en un sub-módulo llamado clasificación de datos.

4.4.2 A LARGO PLAZO

El análisis a largo plazo se utiliza para determinar las tasas históricas que presentan las carreteras ya avenidas.

En este módulo los datos son analizados calculando la velocidad instantánea a partir de la ecuación. (Ec. 5), propuesta en [45]:

$$\bar{V} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (5)$$

Donde:

V es la velocidad media en el momento.

Δr es el desplazamiento.

Δt es el tiempo.

Como parte del monitoreo de multitud se deben analizar los datos procedentes de los distintos usuarios para establecer un escenario de la situación del tránsito, con base en las diferentes lecturas de la misma. El análisis de largo plazo se realiza utilizando las estadísticas sobre los históricos de las velocidades sobre un camino, pero teniendo en cuenta perspectivas de granularidad temporal, es decir, un promedio por semana-día (tránsito medio los lunes), por el horario (tránsito medio en las noches entre 18 y 20 horas) y la temporada (que aumenta el tránsito de la temporada de Navidad).

Con ayuda de las operaciones espaciales con las que cuenta el propio gestor de la base (Postgis) se hace un análisis de todos los puntos geográficos y como resultado el comportamiento vial de las calles de las que se obtenga información.

Como se menciona a lo largo del documento la información se envía cada cierto tiempo hacia la base de datos espacial, es mucha información la que se almacena, pero el problema más importante es darle al usuario valores útiles acerca del comportamiento vial.

El análisis se realiza de la siguiente manera: primero se debe hacer un buffer de la calle, para determinar qué puntos pertenecen a dicha calle; por ejemplo, en la Figura 4.6 se muestra una calle de nombre Calle 2, la cual únicamente tiene datos monitoreados en una parte de su calle. Sería incorrecto darle valor a toda la calle si únicamente es un segmento de vía contiene información.

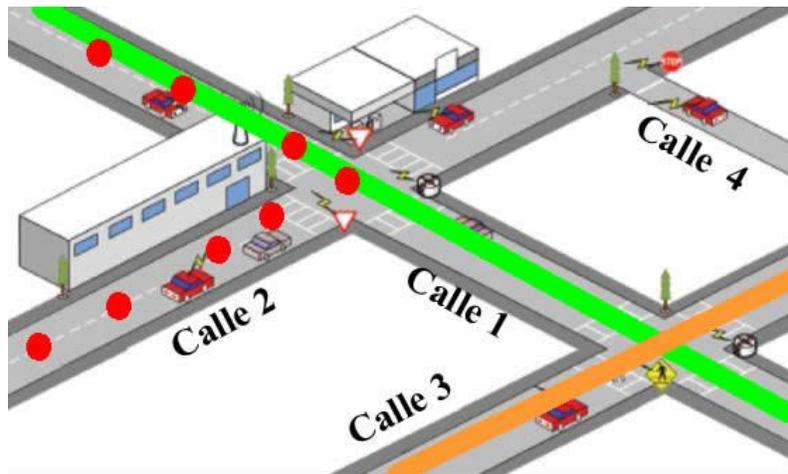


Figura 4. 6 Representación de una calle

En la Figura 4.7 se muestra un segmento de una vía con muestras (puntos) de diferentes viajes de usuarios. Los puntos tienen como característica su posición, la velocidad media y el nombre de la calle a la cual pertenecen, el primer punto que aparece en la calle será el punto que servirá para aplicarle un buffer.

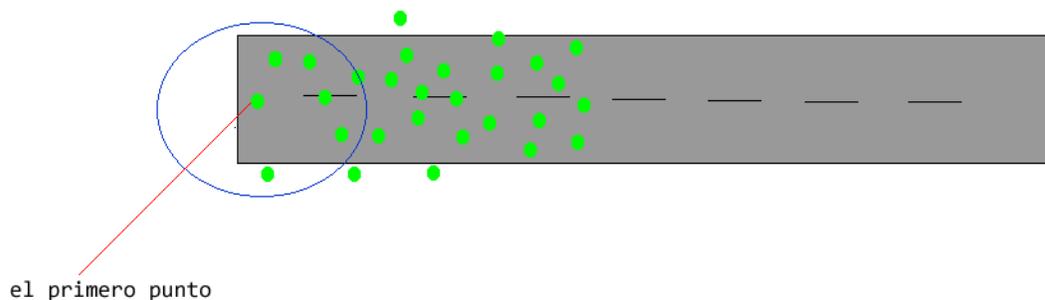


Figura 4. 7 Representación de una calle con puntos (posición)

Al hacer el buffer de ese punto apoyado de la operación *within*, se eliminan los puntos que estén dentro de la zona y realiza el promedio, quedándose únicamente con el punto de referencia con el que se comenzó el análisis, en la Figura 4.8 se muestra que el siguiente punto para ser analizado es el más cercano. Así esta tarea se realiza con el fin de obtener únicamente un punto e ir eliminando los que estén en el rango.

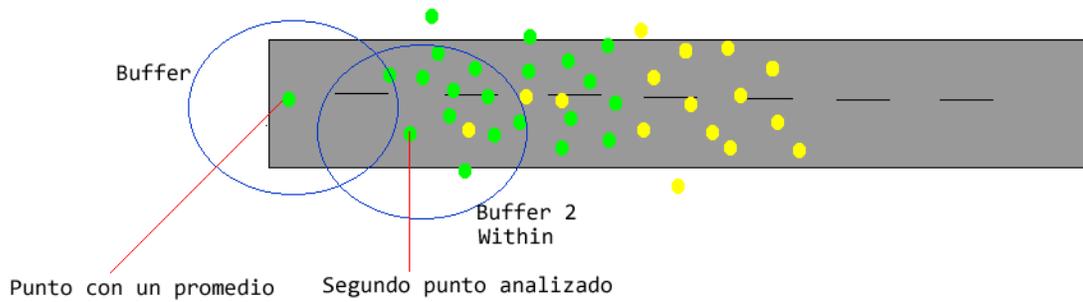


Figura 4. 8 Representación de dos buffers

Como se muestra en la Figura 4.9 se van eliminando los puntos analizados, sin embargo habrá puntos que no lleguen a cubrir el buffer, a esto se llama margen de error, ya que esos puntos no serán tomados en cuenta en promedio, para determinar la velocidad.

Margen de error son aquellos puntos que el GPS detecta en rangos que no pertenecen a ninguna calle, este problema se debe a variaciones ambientales que afectan en el momento de detectar un punto, por ejemplo puentes, árboles, clima etc.

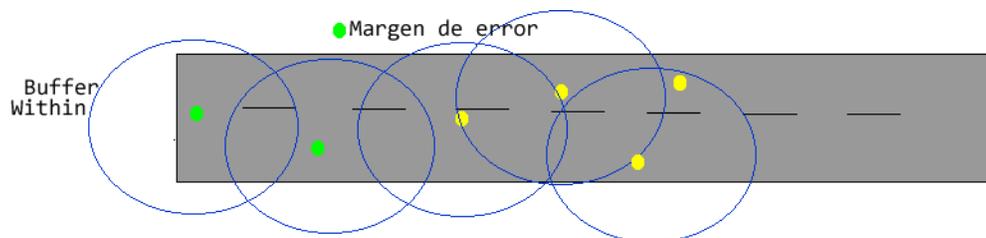


Figura 4. 9 Representación de los buffers analizados

La clasificación del número de buffers al analizar por tramo de calle, es un parámetro configurable dentro del sistema. Este parámetro debe ser variable ya que, en una calle con muchos puntos se debería utilizar un número de puntos mayor, de esta manera para que sea más preciso el análisis que sea requerido. Sin embargo en una calle que tenga pocos puntos le conviene más tener un análisis con una cantidad menor de puntos como se muestra en la Figura 4.10.

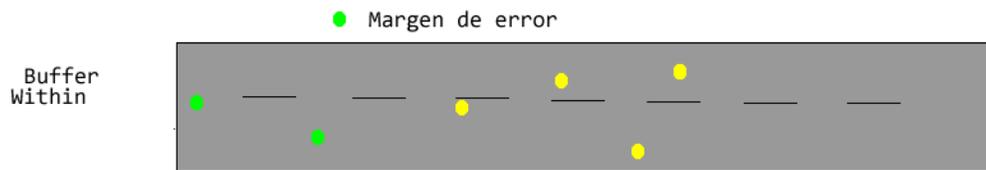


Figura 4. 10 Representación de pocos puntos

Al tener únicamente los puntos que sirven de referencia para el análisis, es más sencillo manipularlos: se identifican las distancias entre cada uno como se muestra en la Figura 4.11, esta tarea se realiza con la ayuda de la Fórmula del Haversine [38], para determinar la distancia entre dos puntos y se continúa con el proceso del dibujado de líneas.

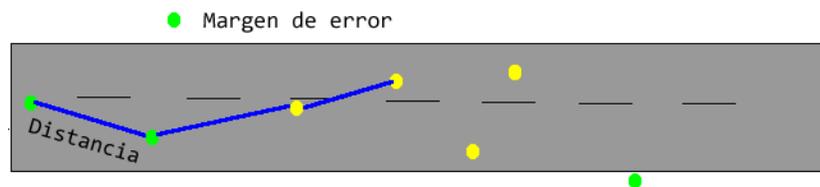


Figura 4. 11 Distancia entre dos puntos

Para este ejemplo se toman de cinco en cinco puntos para hacer el dibujado de las líneas, y la distancia menor a 80 m, ya que una calle puede tener diferentes comportamientos, sea vialidad ligera como un congestionamiento, el valor que toma la línea está definida por el promedio de los 5 puntos apoyándose de los 3 parámetros que se definen en el módulo de clasificación de datos dibujado por líneas de color verde, amarillo y rojo según la conducta vial [46] como se muestra en la Figura 4.12.

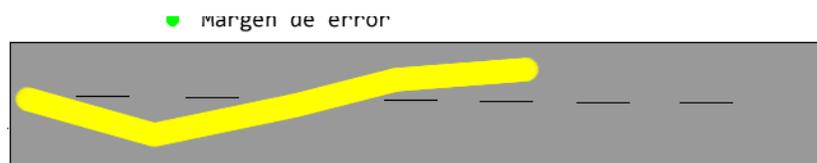


Figura 4. 12 Dibujado de líneas a partir de puntos

Al finalizar el resultado obtenido por el análisis anterior se tendrá que hacer la clasificación de estos datos representados en un sub-módulo llamado clasificación de datos.

PSEUDOCÓDIGO PARA ANÁLISIS DE VELOCIDAD EN UN SEGMENTO DE CALLE

Por cada viaje

Obtener todos los puntos geográficos con sus velocidades

Por cada punto P obtenido, se obtiene su velocidad

Si velocidad de P es == 0 o P ha sido analizado antes

Se descarta P

SiNo

Realizar operación Buffer = x metros sobre P

promedioGral=0;

Por cada punto P2 que se encuentre dentro (within) del buffer y P2 pertenece a la misma calle que P

Marcar P2 como analizado

promedioGral+=velocidad de P2

FinPor

promedioGral = PromedioGral / puntos analizados

Velocidad de P = PromedioGral

FinSi

FinPor

FinPor

Algoritmo 4. 1 Pseudocódigo para el análisis de velocidad en un segmento de calle

4.4.2.1 MARGEN DE ERROR

El margen de error como se menciona anteriormente son aquellos puntos que por alguna variación climática sea ubicado en un lugar que no pertenece a una vialidad, sin embargo esto puede ser reducido utilizando el algoritmo de regresión lineal [47].

El algoritmo de regresión lineal determina la ecuación de regresión de una recta para minimizar la distancia de los puntos asociados como se muestra en la Figura 4.13.

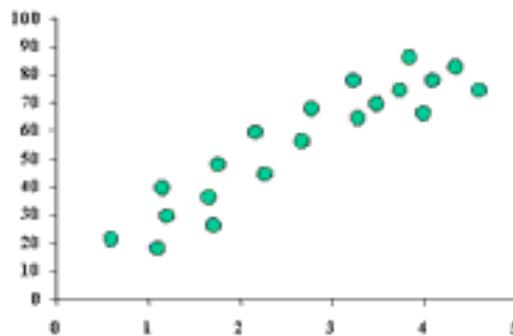


Figura 4. 13 Puntos asociados

El coeficiente de correlación lineal nos permite determinar si, efectivamente, existe relación entre las dos variables. Una vez que se concluye que sí existe relación, la regresión nos permite definir la recta que mejor se ajusta al conjunto de puntos como se muestra en la Figura 4.14.

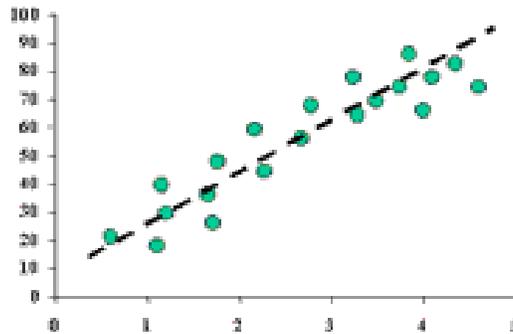


Figura 4. 14 Recta que se ajusta al conjunto de puntos

Una recta viene definida por la siguiente fórmula:

$$y = mx + b \quad (6)$$

Donde " y " sería la variable dependiente, es decir, aquella que viene definida a partir de la otra variable " x " (variable independiente). Para definir la recta hay que determinar los valores de los parámetros " b " y " m ":

El parámetro " b " es el valor que toma la variable dependiente " y ", cuando la variable independiente " x " vale 0, y es el punto donde la recta cruza el eje vertical.

El parámetro " m " determina la pendiente de la recta, su grado de inclinación.

La regresión lineal nos permite calcular el valor de estos dos parámetros, definiendo la recta que mejor se ajusta a esta nube de puntos.

El parámetro " m " viene determinado por la siguiente fórmula:

$$m = \frac{\frac{1}{n} * \sum(x_i - x_m) * (y_i - y_m)}{\frac{1}{n} * \sum(x_i - x_m)^2} \quad (7)$$

Los puntos que se tienen están definidos por las coordenadas geográficas <longitud ,latitud> en formato decimal, que en la ecuación son representados como (x_i, x_m) . De esta manera es la covarianza de las dos variables, dividida por la varianza de la variable " x ".

El parámetro " b " viene determinado por:

$$b = y_m - (m * x_m) \quad (8)$$

En la ec 8 finalmente es representada la ecuación de la recta lineal. Se definen sus distancias entre el punto y la recta y se determina que puntos no deben pertenecer a la vialidad y de esta forma minimizar el margen de error.

4.4.3 CLASIFICACIÓN DE DATOS

Este sub-módulo se hará cargo de la clasificación de los resultados obtenidos en donde a partir de la velocidad media obtenida, definiendo 3 parámetros [14][17].

```

PSEUDOCÓDIGO DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

De una nueva línea
Se obtiene el promedio de las velocidades
Si el promedio es < x entonces
    Clasifica como jam
SiNo
    Si el promedio es < y entonces
        Clasifica como heavily
    SiNo
        Clasifica como light
FinSi

```

Algoritmo 4. 2 Pseudocódigo para definición de parámetros

La clasificación de los tres parámetros es variable dentro del código de tal forma que se pueden definir otros valores independientes al caso de estudio presentado. Los tres

parámetros que fueron definidos a partir de las pruebas de campo que se realizaron a lo largo del trabajo, son las siguientes:

- El primero se le denomina *jam* con un valor menor a 10 km/h.
- El segundo se le denomina *heavily* con un valor mayor que 10 km/h menor que 30 km/h.
- El tercer parámetro se le denomina *light* con un valor mayor a 30 km/h.

Es importante mencionar que estos parámetros se definieron a partir de pruebas realizadas en la Cd. De México.

4.5 MÓDULO DE RESULTADOS

En este módulo se presenta la información en un mapa utilizando el servicio que proporciona Google Maps y empleando líneas de colores que corresponden a los 3 parámetros definidos en la sección anterior. El valor de los colores y su significado se muestra en la Tabla 4.6. Los colores fueron seleccionados de esta manera haciendo referencia al artículo [17].

| Color | | Significado |
|----------|---|---------------------------------------|
| Verde |  | Vialidad fluida (<i>light</i>) |
| Amarillo |  | Vialidad densa (<i>heavily</i>) |
| Rojo |  | Congestionamiento vial (<i>jam</i>) |

Tabla 4.6 Tabla

La representación de estos colores le dará al usuario una mejor percepción del comportamiento vial, ya que por sentido común nosotros representamos esos colores en base al tránsito de manera sencilla, de esta forma será de fácil entendimiento a los usuarios que utilicen el sistema tomar una decisión basada en una visualización de un mapa y con ayuda de los tres parámetros ya mencionados anteriormente.

CAPÍTULO 5

5 RESULTADOS

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos aplicando la metodología que se explica en el capítulo 4, en la primera sección de este apartado se mostrará el diseño del sistema con algunos diagramas UML y una breve explicación de los mismos.

Al final del capítulo se muestra una comparativa con algunos sistemas comerciales que son mencionados en el estado del arte, con lo que se podrán determinar las diferencias y limitantes, así como las ventajas con las que cuenta el sistema.

5.1 DISEÑO DEL SISTEMA

El Diseño del sistema estará representado a través de los diagramas UML (*Unified Modeling Language*) con el objetivo de tener una idea más clara del funcionamiento de la aplicación, así como de la interacción del usuario con el sistema.

5.1.1 DIAGRAMA CASOS DE USO

5.1.1.1 DIAGRAMA DE CASOS DE USO GENERAL

En la Figura 5.1 se muestra el diagrama de casos de uso general del sistema móvil, donde se muestran las principales funciones que realiza el usuario a través del sistema.

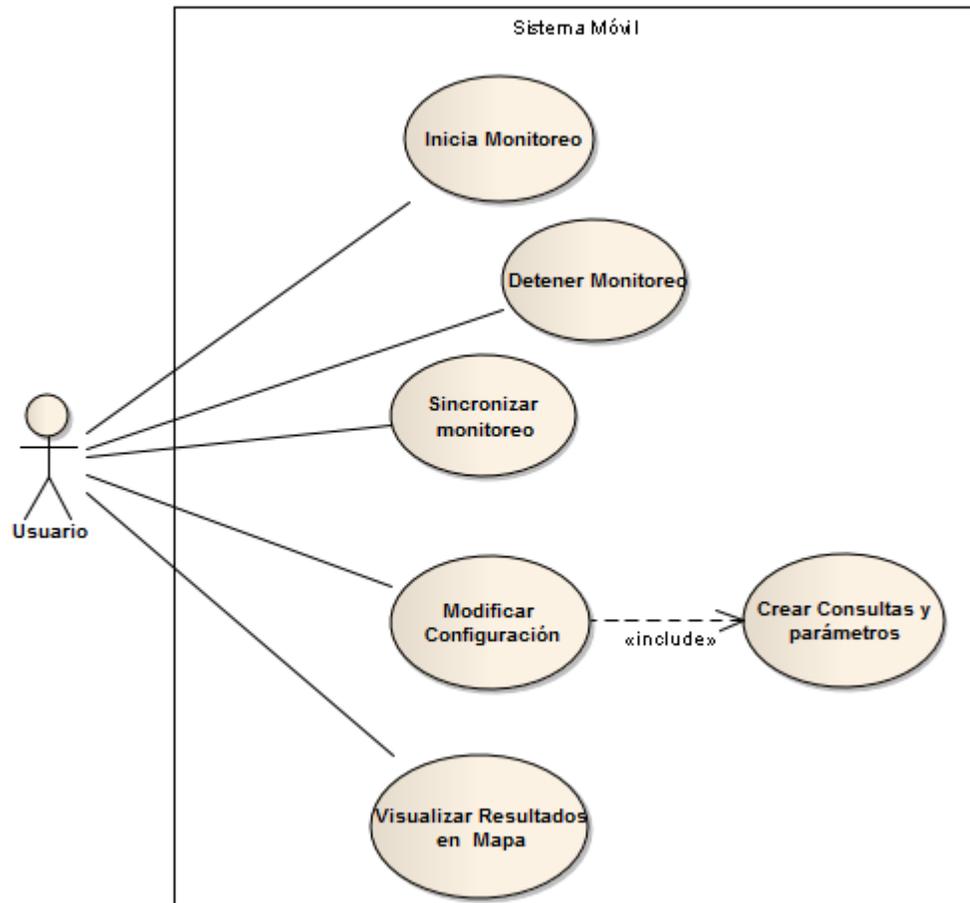


Figura 5. 1 Diagrama Casos de Uso General

5.1.1.2 DIAGRAMA CASOS DE USO: MODIFICAR CONFIGURACIÓN

En la Figura 5.2 se presenta el diagrama de casos de uso del caso: modificar configuración, este principalmente tiene como objetivo brindarle apoyo al usuario para la configuración de monitoreo, ya sea que elija por tiempo o por distancia, y las consulta que sean de su preferencia, el usuario podrá modificar los campos y crear sus propias consultas.

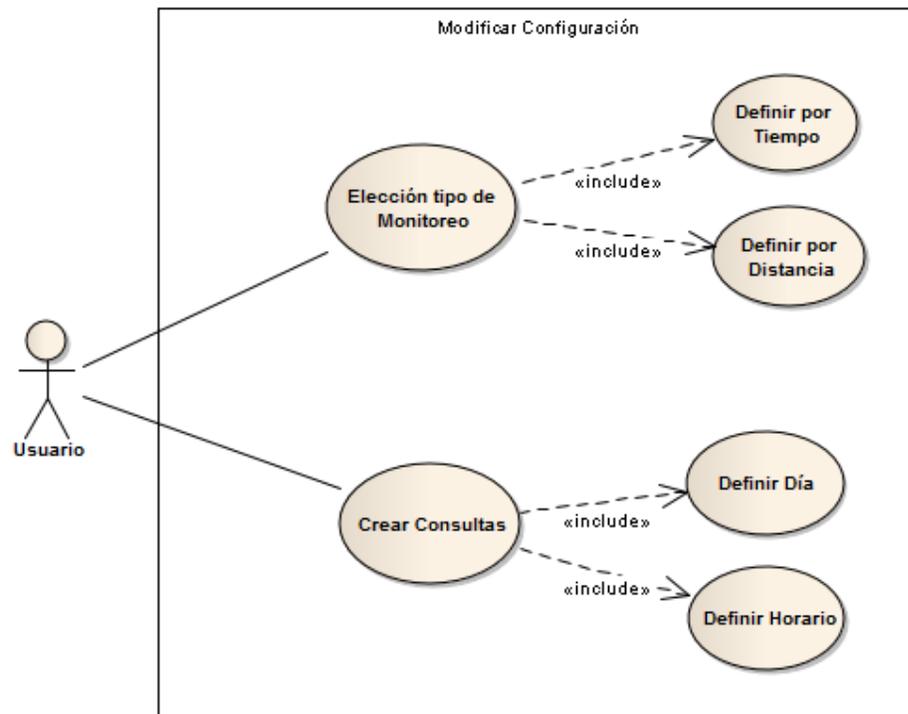


Figura 5. 2 Diagrama Casos de uso: Modificar Configuración

5.1.2 DIAGRAMA DE SECUENCIA

Los diagramas de secuencia ayudan a entender mejor la relación que existe entre los objetos del sistema así como sus actividades, en la Figura 5.3 se muestra el diagrama general de la aplicación móvil.

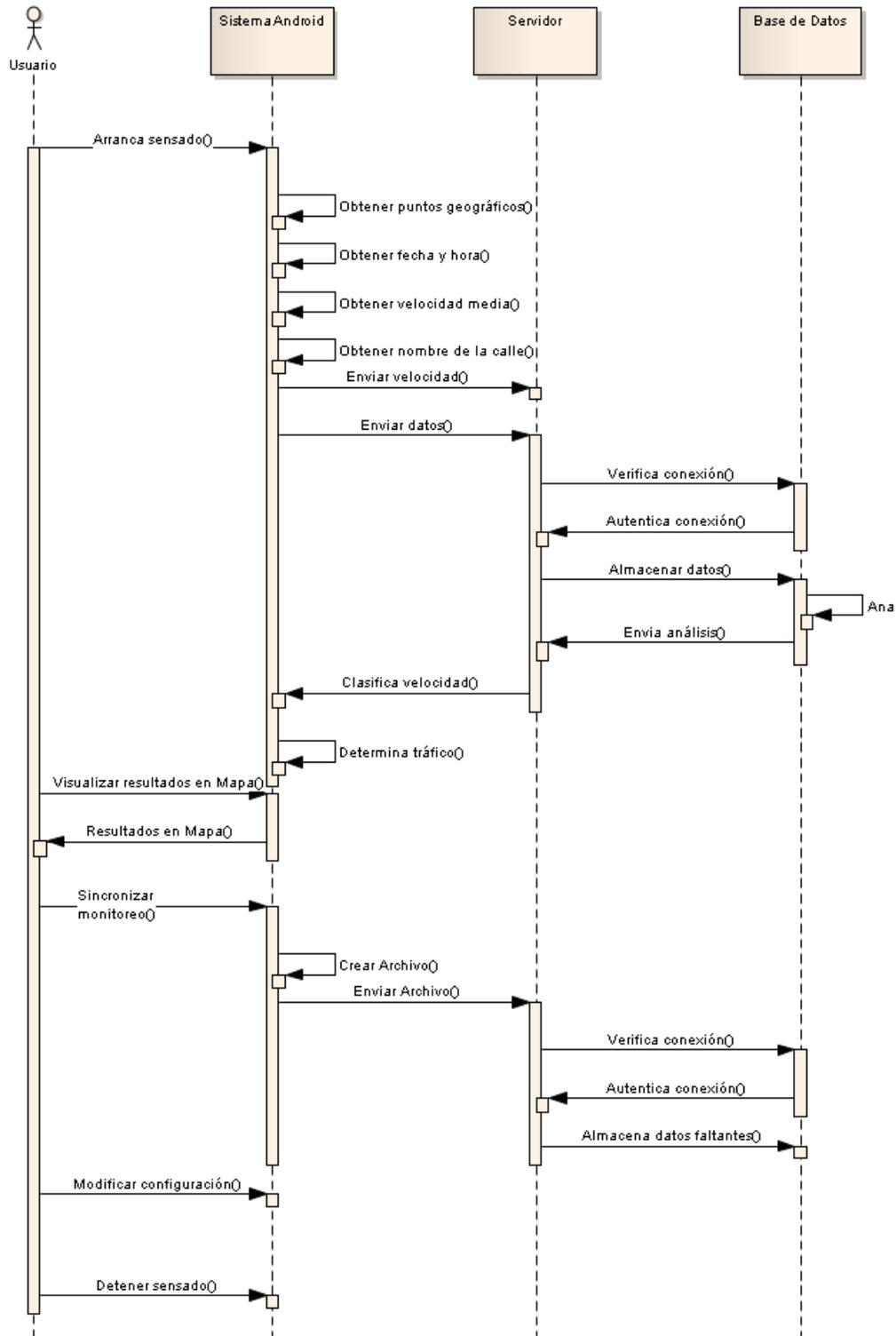


Figura 5. 3 Diagrama de Secuencia General

5.1.3 DIAGRAMA DE CLASES

En la Figura 5.4 se muestra el diagrama de clases de la aplicación móvil.

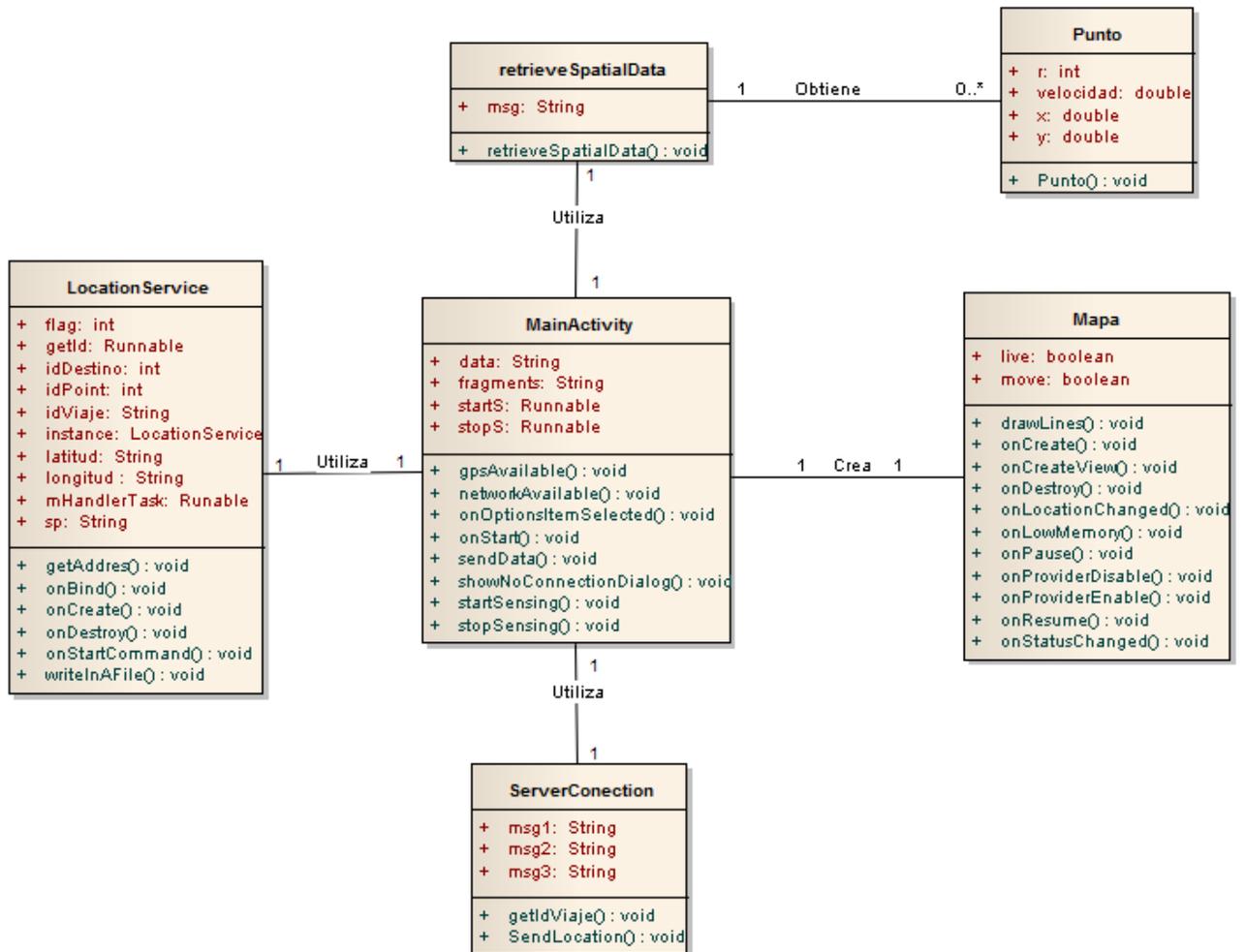


Figura 5. 4 Diagrama de Clases

5.1.4 DIAGRAMA DE COMPONENTES

El diagrama de componentes sirve para describir los elementos físicos del sistema, todos los elementos de software que entran en el desarrollo del sistema y sus relaciones.

En la Figura 5.5 se pueden observar algunos componentes físicos como el GPS con el que cuenta el móvil, la Base de datos. Los componentes de software son la aplicación que permite el monitoreo y recolección de datos, y el administrador de resultados que se compone por dos componentes de software que son la API de Google Maps y el Servicio Web.

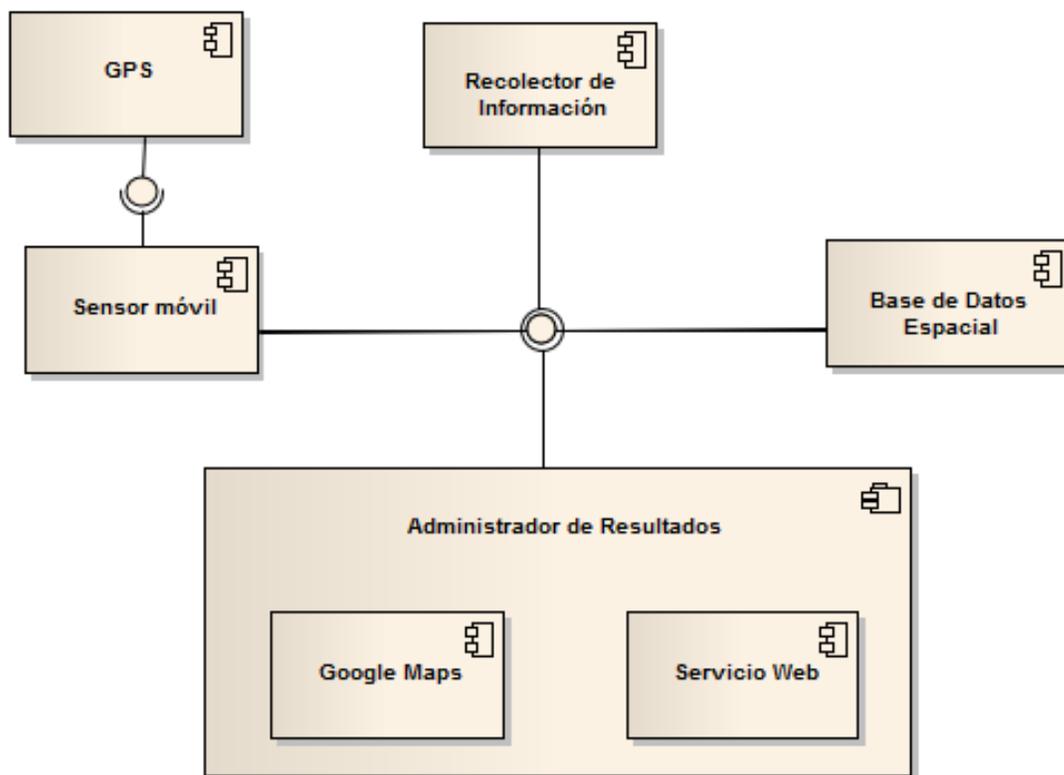


Figura 5. 5 Diagrama de componentes

5.1.5 DIAGRAMA DE DESPLIEGUE

El diagrama de despliegue se utiliza para modelar la disposición física de los artefactos software en nodos, la vista de despliegue representa la disposición de las instancias de componentes de ejecución en instancias de nodos conectados por enlaces de comunicación, un nodo puede ser representado por dispositivos, procesadores y memoria.

En la Figura 5.6 se muestran tres nodos, uno es representado por la aplicación móvil que tiene conexión(TCP /IP) a otro nodo que es la Base de datos con un componentes Postgis y conexión(HTTP) con otro nodo que representa al Servicio Web con un componente Tomcat.

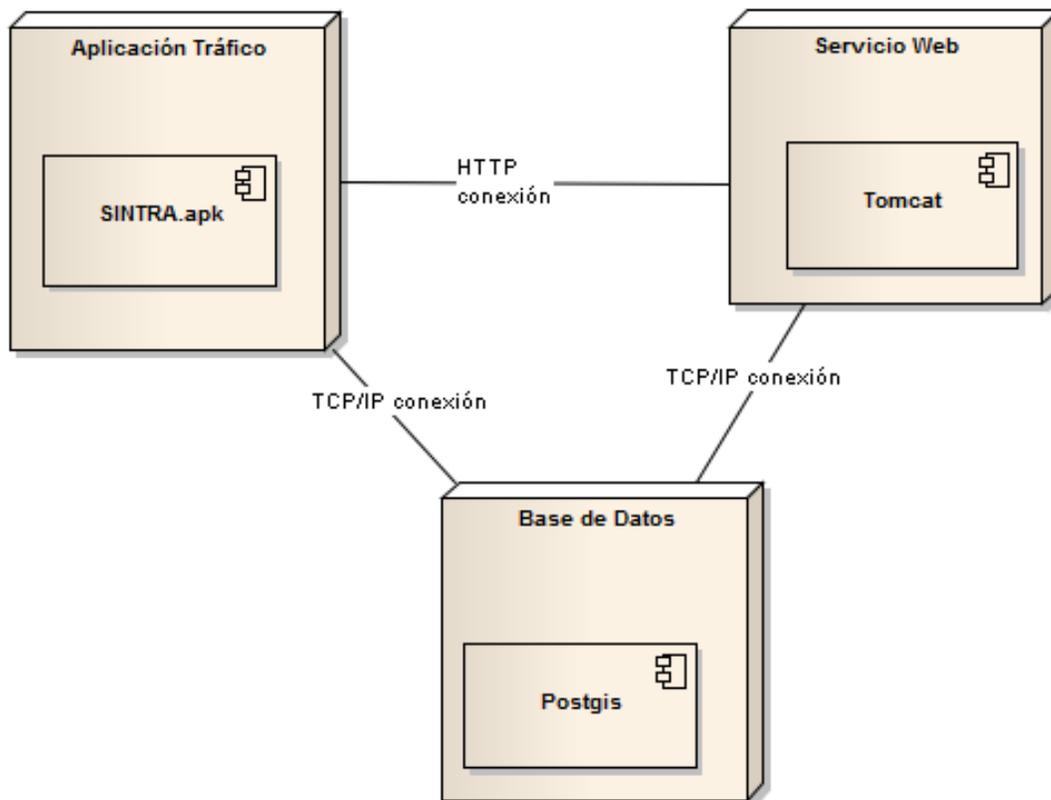


Figura 5. 6 Diagrama de Despliegue

5.2 PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas fueron realizadas en diferentes equipos con el sistema operativo android, es importante mencionar que para que la aplicación funcione correctamente es necesario contar con una versión del Sistema Operativo mayor a 4.0, ya que para su programación se utilizó un menú llamado Navigation Drawer junto con un componente conocido como fragments que sólo se pueden visualizar después de la versión mencionada.

Los datos que se utilizaron para la realización de pruebas los primeros datos fueron recolectados de 6 meses atrás a partir de la fecha actual.

En la tabla 5.1 se detallan las características de los dos dispositivos que se utilizaron de prueba tanto su software como hardware.

| Dispositivos de Prueba | |
|---|--|
| Xperia Z | Xperia S |
| Pantalla <ul style="list-style-type: none"> TFT de 5 pulgadas, 1920 x 1080 píxeles y 16.777.216 colores Memoria <ul style="list-style-type: none"> RAM: 2 GB Flash memory: 16 GB Ranura de expansión: tarjeta microSD, hasta 32 GB Procesador de cuatro núcleos Qualcomm APQ8064+MDM9215M de 1,5 GHz Ubicación <ul style="list-style-type: none"> GPS disponible Software <ul style="list-style-type: none"> Google Android 4.4 (Kitkat) Wi-Fi disponible | Pantalla <ul style="list-style-type: none"> 720 x 1280 píxeles, 4.3 pulgadas Memoria <ul style="list-style-type: none"> RAM :1 GB Flash memory: 16 GB Ranura de expansión: tarjeta microSD, hasta 32 GB Procesador Qualcomm MSM8260 dual-core de 1,5 GHz Adreno 220 Ubicación <ul style="list-style-type: none"> GPS disponible Software <ul style="list-style-type: none"> Google Android 4.1.2 (Jelly Bean) Wi-Fi disponible |

Tabla 5. 1 Características de dispositivos de prueba

Es importante dar énfasis a las características de los dispositivos donde se probó la aplicación, ya que no se tuvo ningún inconveniente desde su utilización gracias a los componentes internos como la memoria RAM.

5.2.1 INICIO DE SISTEMA

En la Figura 5.7 a) se puede observar la primera interacción del usuario con el sistema mostrando tres botones el de comenzar el monitoreo, parar el monitoreo, y el de sincronizar datos.

En la Figura 5.7 b) se puede observar el menú con el que cuenta el sistema conformado por: un ítem de Configuración, Mapa y Mi Mapa.



Figura 5. 7 a) Inicio del Sistema



b) Menú del Sistema

5.2.2 MONITOREAR

En botón Amarillo es principalmente para comenzar a enviar los datos a la base de datos espacial, con ayuda del protocolo de comunicación http, por tal motivo es importante mencionar que necesario tener activados los datos del celular.

5.2.2.1 ACTIVACIÓN DE GPS Y RED

Como se muestra en la Figura 5.8 a) el usuario al comenzar a utilizar la aplicación si la red no está activada, el sistema tiene la validación para obligar al usuario a encender sus datos. En la Figura 5.8 b) el usuario debe activar el GPS de su móvil ya que es el componente importante para la ubicación del automóvil, esta validación proporciona la seguridad de que le GPS este activado.

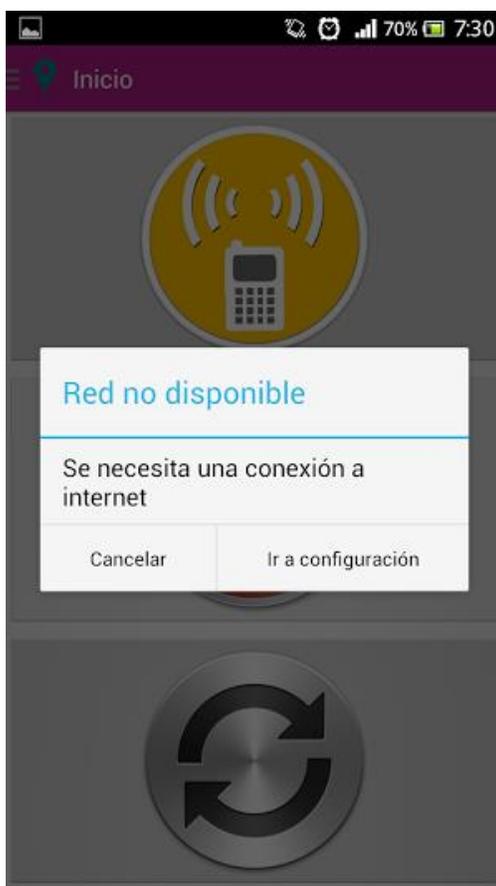
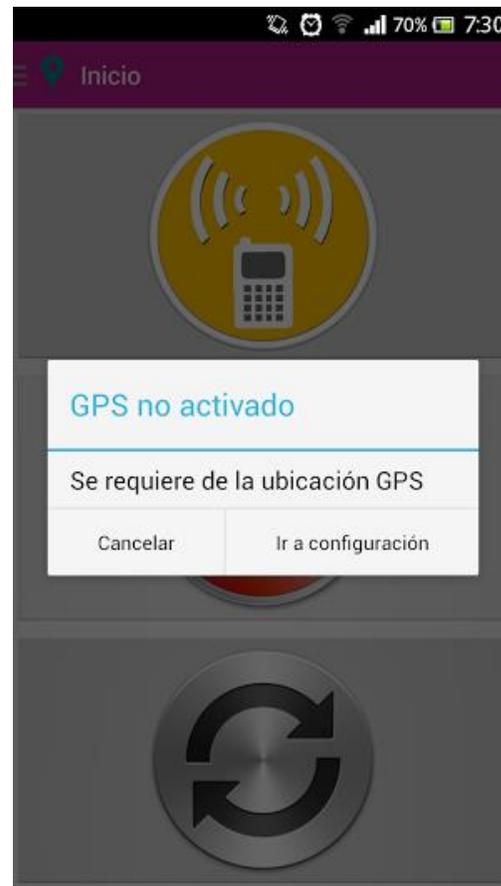


Figura 5. 8 a) Mensaje requiere activar GPS



b) Mensaje requiere activar GPS

5.2.3 SINCRONIZAR

El botón sincronizar tiene objetivo recuperar los datos que no han sido enviados al servidor de manera correcta durante el trayecto del usuario, por alguna razón, como puede ser falta de cobertura de red o alguna característica de la naturaleza que es independiente del sistema.

La forma es capturar esos datos dentro del teléfono y generar un archivo de texto, como se muestra en la Figura 5.9. Al terminar el recorrido y se ejecute el botón sincronizar se enviará el archivo directamente al servidor, para después ser almacenados los datos en la base de datos espacial. Para que la información sea manejada de una manera fácil se optó por separar los datos por punto y coma.

```

1 358092050574263;1;(19.37191704,-99.20031326);10:50:51;2014-01-27;22.36068;2;Rosa Damasco
2 358092050574263;2;(19.37191704,-99.20031326);10:50:55;2014-01-27;22.36068;2;Rosa Damasco
3 358092050574263;3;(19.37160906,-99.20038345);10:50:58;2014-01-27;27.294687;3;Rosa Negra
4 358092050574263;4;(19.37145875,-99.20050744);10:51:01;2014-01-27;23.345236;3;Rosa Negra
5 358092050574263;5;(19.37129415,-99.20050808);10:51:04;2014-01-27;20.396078;3;Rosa Negra
6 358092050574263;6;(19.37121357,-99.20055269);10:51:08;2014-01-27;11.7046995;3;Rosa Negra
7 358092050574263;7;(19.37121745,-99.20058459);10:51:11;2014-01-27;6.4031243;1;Rosa Negra
8 358092050574263;8;(19.37116399,-99.20066761);10:51:15;2014-01-27;12.649111;1;Rosa Negra
9 358092050574263;9;(19.37120683,-99.20084471);10:51:19;2014-01-27;19.416489;1;Rosa Vulcano
10 358092050574263;10;(19.3712158,-99.20101653);10:51:22;2014-01-27;26.305893;1;Rosa Amarilla
11 358092050574263;11;(19.37122502,-99.20119199);10:51:25;2014-01-27;12.649111;1;Rosa Vulcano
12 358092050574263;12;(19.37121586,-99.20134306);10:51:34;2014-01-27;18.439089;1;Rosa Vulcano
13 358092050574263;13;(19.37121304,-99.20152339);10:51:37;2014-01-27;18.439089;1;Rosa Vulcano
14 358092050574263;14;(19.37124366,-99.20183515);10:51:41;2014-01-27;19.416489;1;Rosa Vulcano
15 358092050574263;15;(19.37128227,-99.20198689);10:51:44;2014-01-27;21.377558;2;Rosa Vulcano
16 358092050574263;16;(19.37131974,-99.20210641);10:51:47;2014-01-27;15.524175;2;Rosa Venus
17 358092050574263;17;(19.37134868,-99.20218706);10:51:51;2014-01-27;11.7046995;3;Rosa Venus
18 358092050574263;19;(19.37141141,-99.20257909);10:52:02;2014-01-27;11.7046995;3;Rosa Carmesí
19 358092050574263;20;(19.37143264,-99.20264955);10:52:05;2014-01-27;10.770329;3;Rosa Carmesí
20 358092050574263;24;(19.37112541,-99.20311182);10:52:39;2014-01-27;17.464249;3;Rosa Violeta
21 358092050574263;25;(19.37095849,-99.20327509);10:52:49;2014-01-27;12.649111;3;Cerrada Violeta
22 358092050574263;26;(19.37098389,-99.20336282);10:52:58;2014-01-27;12.649111;3;Cerrada Violeta
23 358092050574263;27;(19.37100484,-99.20355317);10:53:04;2014-01-27;12.649111;3;Cerrada Violeta
24 358092050574263;28;(19.37103332,-99.20365618);10:53:07;2014-01-27;7.2111025;3;Cerrada Violeta
25 358092050574263;29;(19.37105757,-99.20366745);10:53:12;2014-01-27;4.472136;3;Alta Tensión
26 358092050574263;30;(19.37111802,-99.20370193);10:53:16;2014-01-27;15.524175;3;Alta Tensión
27 358092050574263;31;(19.37138491,-99.20369773);10:53:21;2014-01-27;41.19466;3;Alta Tensión

```

Figura 5. 9 Archivo Generado en el Teléfono

5.2.4 TAREA EN BACKGROUND

En la Figura 5.10 se muestran con claridad el funcionamiento de la aplicación móvil la cual tiene como característica relevante trabajar en Background es decir, es un proceso que trabaja independiente de otros procesos que se estén ejecutando en el Sistema Operativo del móvil, como un proceso en segundo plano. De esta manera el usuario no tendrá que cancelar sus actividades en su celular y seguir colaborando monitoreando su ubicación.

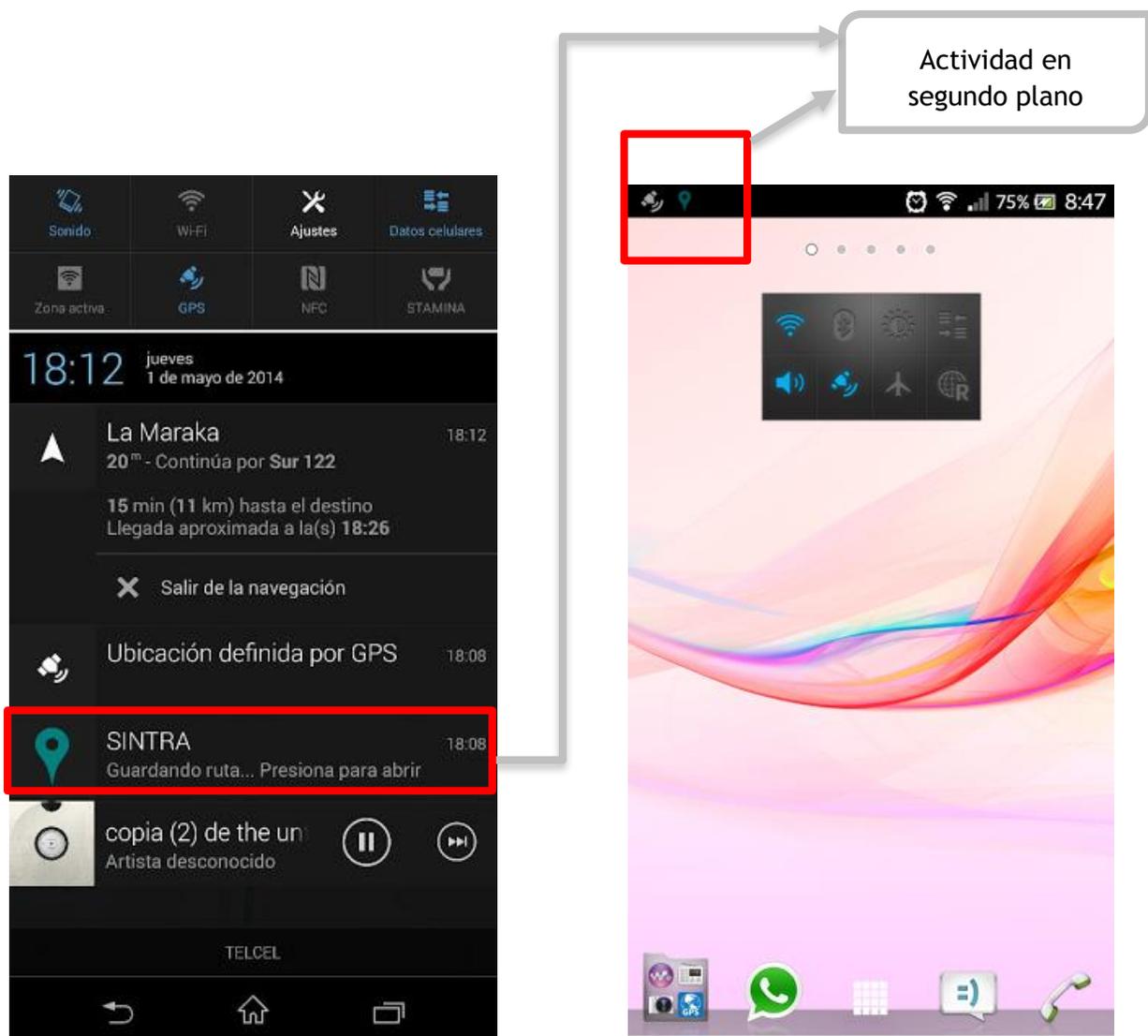


Figura 5. 10 Proceso en Background

5.2.5 FUNCIONAMIENTO DE CONFIGURACIÓN

En el ítem de configuración el usuario podrá definir cómo es que prefiere realizar el monitoreo si por tiempo que como se menciona en el capítulo cuatro se maneja por cada un valor variable en segundos o por distancia que se maneja de igual manera de forma variable, esta última opción tiene la desventaja que captura menos datos en el caso de que el vehículo este atascado en un congestionamiento vial, en la Figura 5.11 se muestra el mensaje que se le muestra al usuario cuando elige esa opción.

Esta opción tiene menor precisión en los datos capturados

Figura 5. 11 Mensaje cuando se elige monitoreo por Distancia

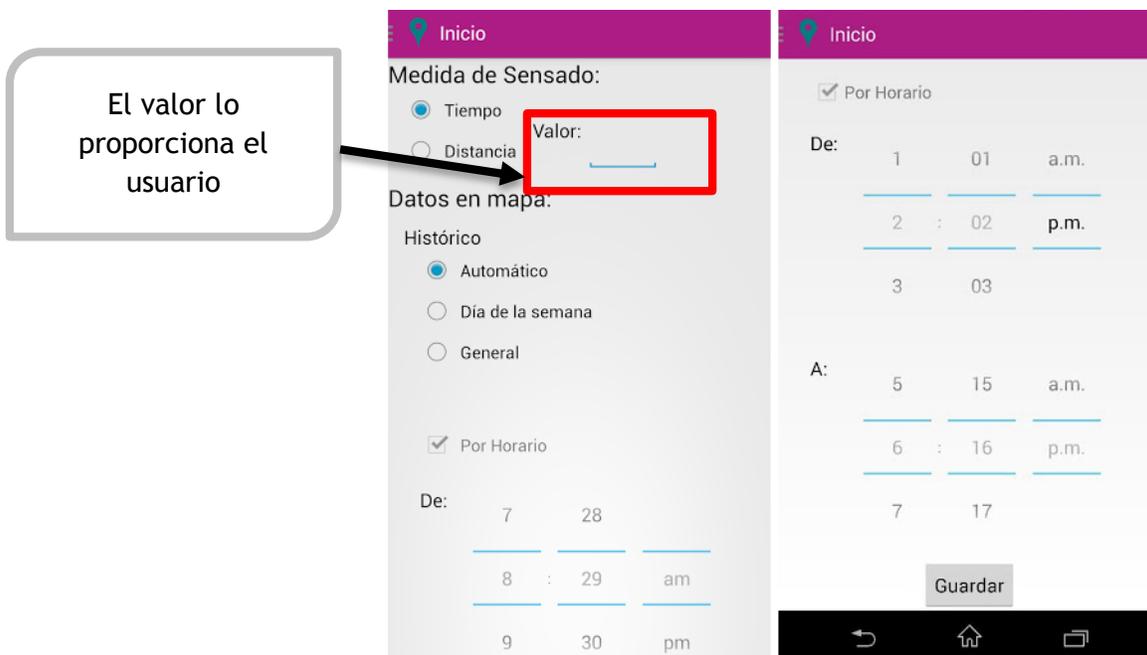


Figura 5. 12 Ítem de Configuración

En la Figura 5.12 se muestran las opciones que tiene el usuario para determinar sus consultas dependiendo el interés personal como por ejemplo, se puede crear una consulta por día de la semana eligiendo un hora en específico, otra opción es general, el cual obtiene los datos monitoreados de todos los usuarios haciendo una gran consulta hacia la

base de datos, otra opción es elegir por horario en donde el usuario tendrá que colocar dos rangos de hora para crear la consulta y visualizarla en el mapa. La configuración es almacenada en un archivo dentro del dispositivo móvil para ser cargada cada que el usuario visualice el mapa.

5.2.5.1 DETECCIÓN DE UBICACIÓN POR GPS MÓVIL

El sistema tiene un botón en la parte superior que indicará la ubicación en ese momento en donde se ejecute el sistema, en la Figura 5.13 se observa que al inicio el mapa se muestra en un punto de la ciudad de México y que posteriormente al seleccionar el botón *obtener ubicación actual* mueve la cámara del celular a la posición actual.

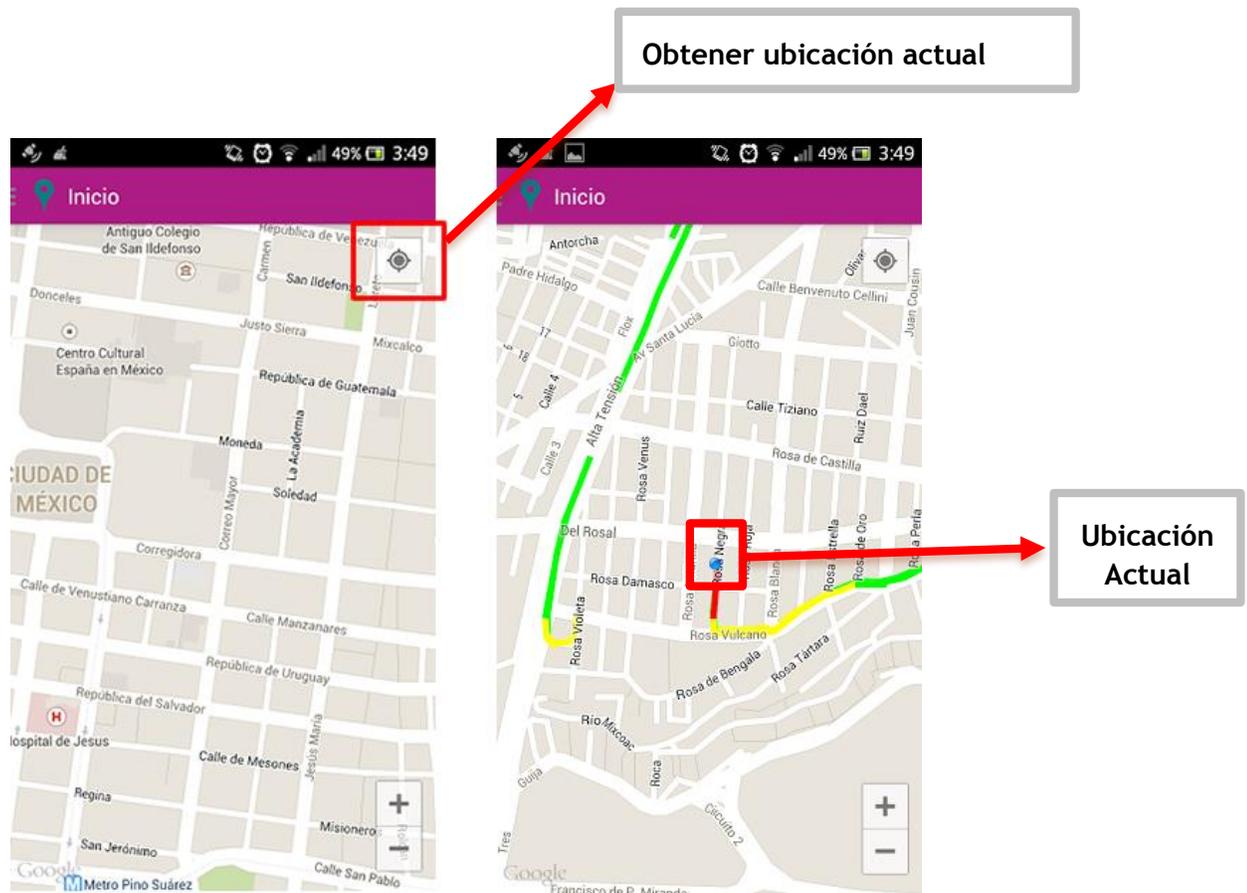


Figura 5. 13 Obtención de ubicación actual

Si se desea visualizar más cobertura en el mapa en la pantalla del móvil, el botón para *obtener ubicación actual* cuenta con una función que permitirá ver el panorama más grande, únicamente se debe de seleccionar una vez más, es decir dos veces, para que permita que el usuario navegue sobre todo el mapa y tener una visualización más amplia. Como se muestra en la Figura 5.14 el puntero de la ubicación actual se encuentra en la parte inferior de la pantalla del móvil. De no hacer ese procedimiento el puntero siempre será visualizado en el centro de la pantalla del móvil y no le permitirá al usuario observar más allá de lo que cubra la pantalla a partir de su ubicación.

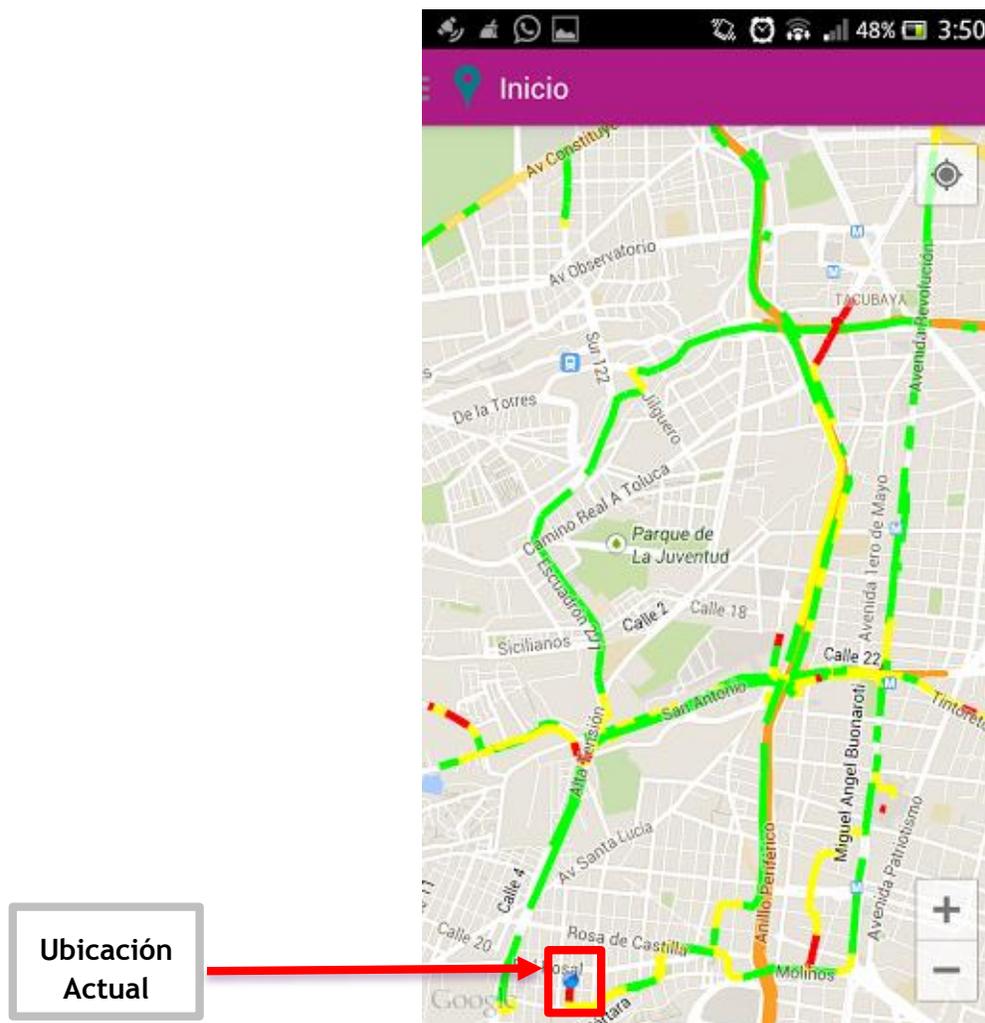


Figura 5. 14 Visualiza un panorama más amplio

5.2.5.2 PRUEBA DE CONSULTA GENERAL

En la Figura 5.15 se muestra un ejemplo al realizar la configuración General que significa hacer el análisis de todos los datos monitoreados hasta ese momento esta prueba se realizó el 15 de Abril del 2014. La desventaja de este sistema es que tarda varios minutos en realizar el análisis, por el problema que persiste de la optimización de la base de datos.

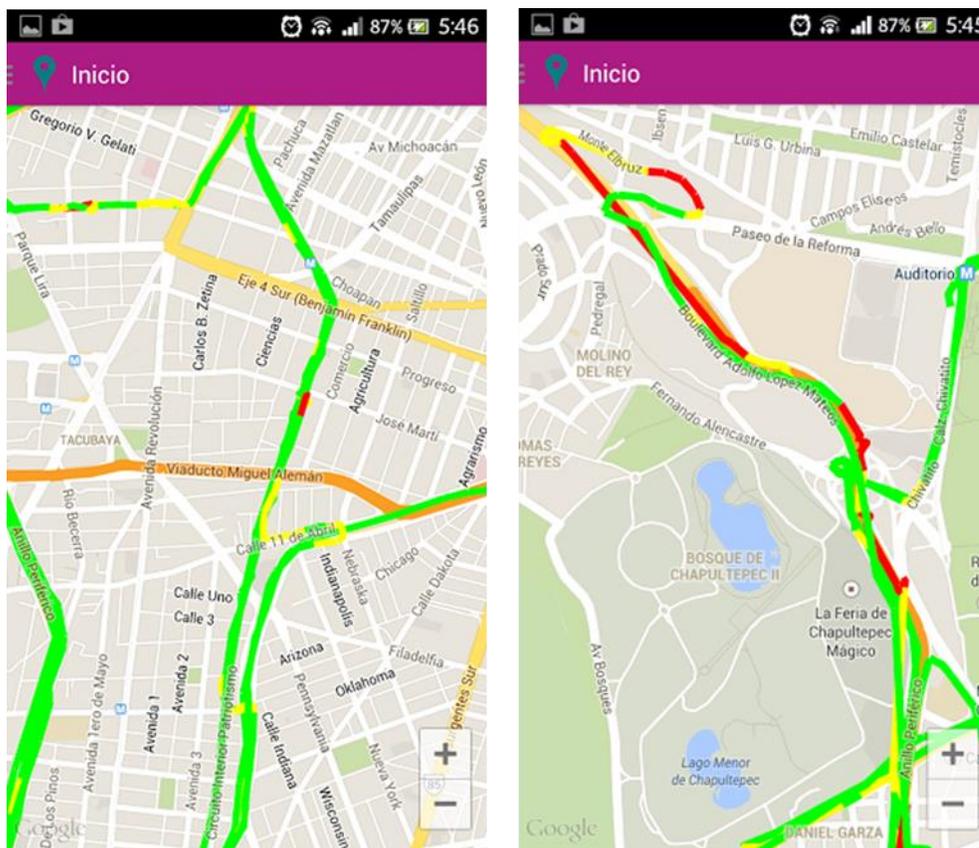


Figura 5. 15 Prueba de Consulta General

5.2.5.3 PRUEBA DENTRO DEL VEHICULO

En la Figura 5.16 se puede observar que son tres momentos diferentes que se puede verificar por la hora en que fueron capturadas las pantallas, con el fin de visualizar la prueba dentro del vehículo, la configuración que tiene es de todos los datos monitoreados hasta ese momento, es decir General, la única diferencia es que se eligió analizar los datos que sólo el usuario haya monitoreando durante el tiempo que utilizo el sistema en este caso se eligió el ítem “Mi Mapa”. Esto con el fin de brindar al usuario información de utilidad que él mismo haya proporcionado al sistema. La ventaja de esta consulta es que el sistema no pide ningún dato adicional para evitar problemas de seguridad, el sistema obtiene el IMEI del celular y con ese dato se determina que información le pertenece al usuario sin saber de quién se trate.



Figura 5. 16 Prueba dentro del vehiculo

5.2.5.5 PRUEBA MODO AUTOMÁTICO

El modo automático es aquel que trabaja con un triplete de datos que son horarios, horas y temporadas, estos horarios y temporadas están guardados directamente en la base de datos espacial como se muestra en la Figura 5.18 y Figura 5.19. Se pueden agregar más temporadas, pero para este caso de estudio se optó por manejar 7 tipos de horarios y 8 temporadas.

| | id_temp [PK] integer | fecha_inicio date | fecha_fin date | nombre_temp character(30) |
|---|-------------------------|----------------------|-------------------|------------------------------|
| 1 | 1 | 2014-05-10 | 2014-05-10 | dia_madres |
| 2 | 2 | 2014-05-15 | 2014-05-15 | dia_maestro |
| 3 | 4 | 2014-05-01 | 2014-05-01 | dia_trabajo |
| 4 | 3 | 2014-04-13 | 2014-04-25 | semana_santa |
| 5 | 5 | 2014-07-15 | 2014-07-31 | vacaciones_de_verano |
| 6 | 6 | 2014-04-28 | 2014-07-15 | pos_vacaciones |
| 7 | 7 | 2014-12-24 | 2014-12-25 | navidad |
| * | 8 | 2014-12-12 | 2014-12-12 | guadalupe |

Figura 5. 18 Tabla de Temporadas

| | inicio_hora time without | fin_hora time without | nombre_hora character(30) | id_hora [PK] integer |
|---|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1 | 05:00:00 | 09:00:00 | manana | 1 |
| 2 | 09:01:00 | 12:00:00 | medio_dia | 2 |
| 3 | 12:01:00 | 15:00:00 | tarde | 3 |
| 4 | 15:01:00 | 19:00:00 | medio_tarde | 4 |
| 5 | 19:01:00 | 23:00:00 | noche | 5 |
| 6 | 23:01:00 | 02:00:00 | medio_noche | 6 |
| 7 | 02:01:00 | 04:59:00 | madrugada | 7 |
| * | | | | |

Figura 5. 19 Tabla de Horarios

En la Figura 5.20 a) se muestra una consulta que se realizó en la temporada de vacaciones de semana santa, y los resultados que se obtuvieron a partir de los datos monitoreados, fue que las vialidades estaban con una conducta libre de congestionamientos sin embargo En la Figura 5.20 b) Se puede observar una consulta sobre la misma avenida en temporada laboral normal en la mañana. Se puede notar que las consultas en temporadas tienen gran utilidad para los usuarios que desearan saber comportamientos en vías de interés en temporadas específicas.

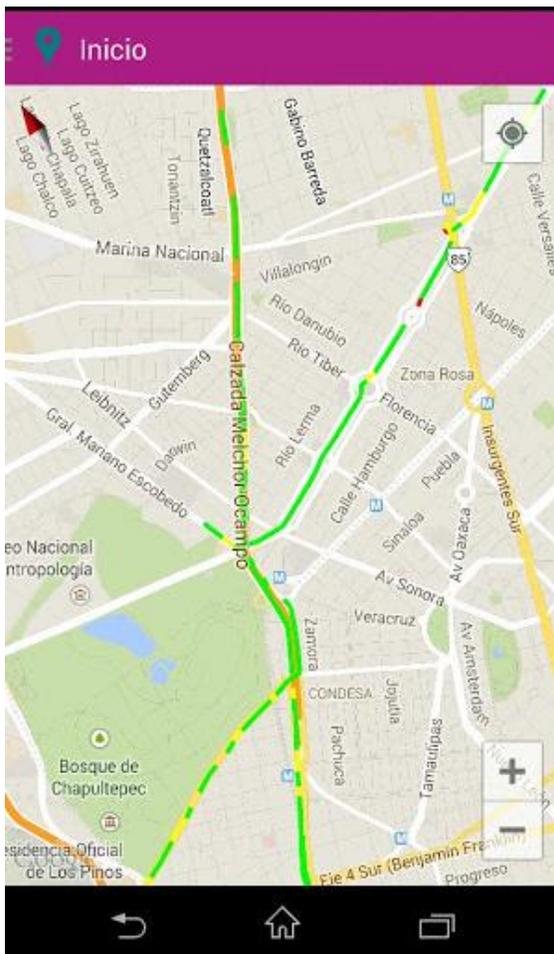
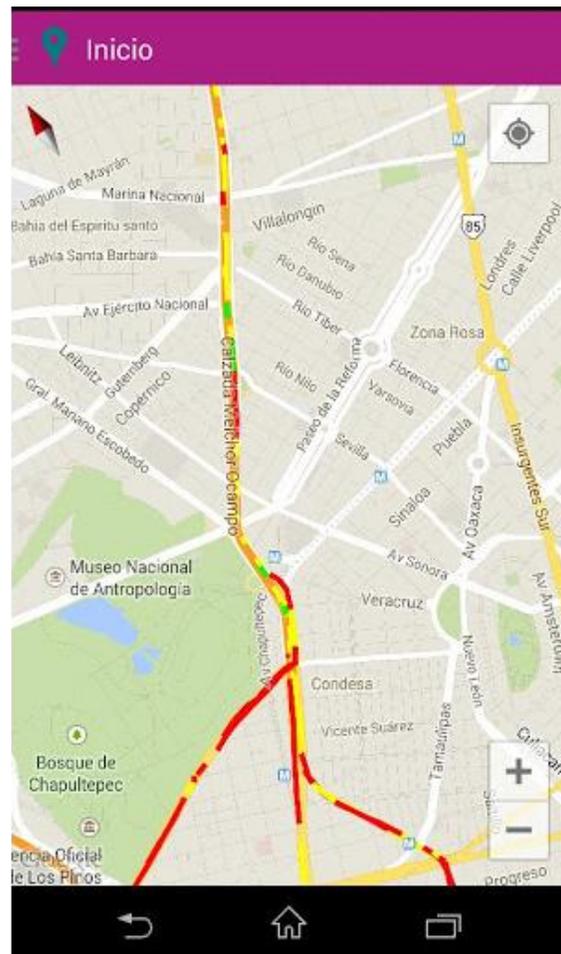


Figura 5. 20 a) Consulta en Temporada Semana Santa



b) Consulta en Temporada Normal Laboral

5.2.5.6 PRUEBA CON RAGOS DE HORARIO

En la Figura 5.21 se realizó una prueba utilizando la configuración por día y por rango de tiempo, esta consulta desea saber cómo es el comportamiento los días lunes de las 8:06 de la mañana a las 12:16 de la tarde. Y el resultado que arroja es un poco de congestión vehicular en algunas avenidas.

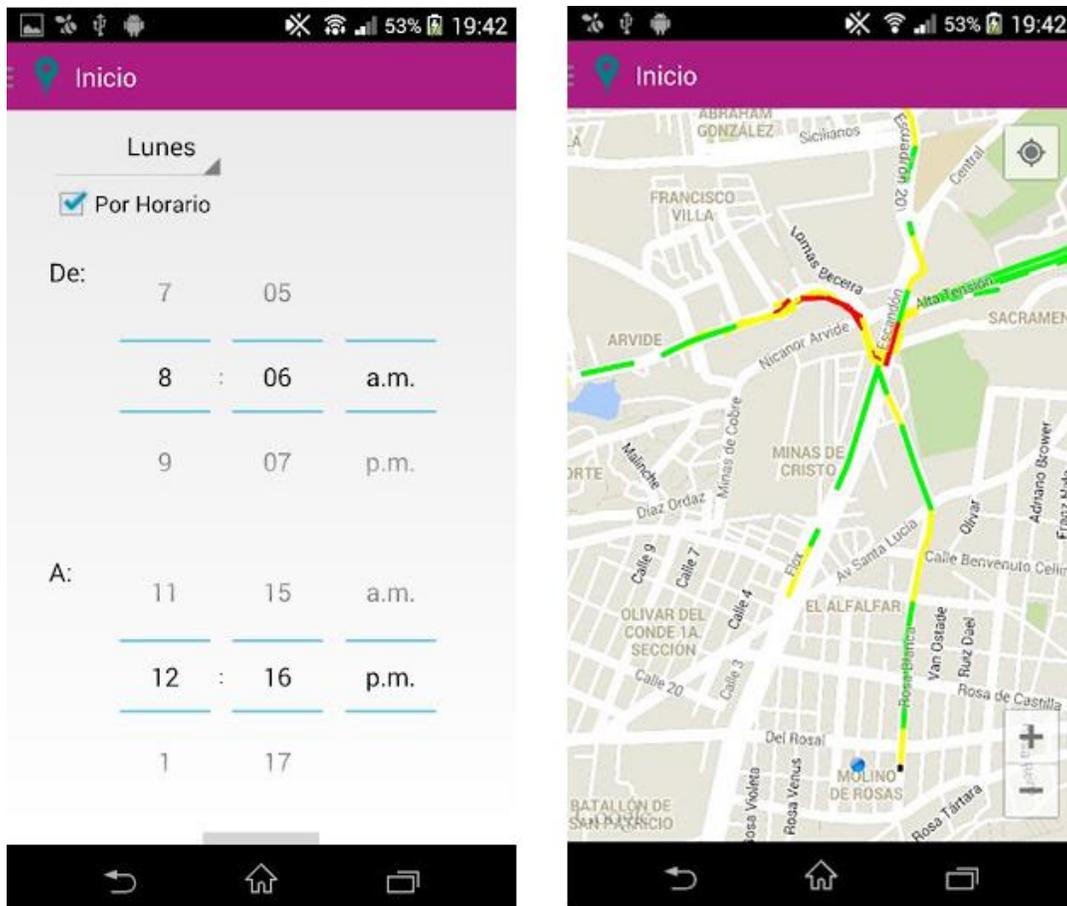


Figura 5. 21 Consulta por día y rango de tiempo

5.2.6 USO DE DATOS DE INTERNET

Es importante mencionar que una de las características importantes de esta aplicación es que el usuario utilice el sistema sin tener la preocupación de los datos móviles de red que utilice durante el monitoreo y durante la consulta, se puedan consumir fácilmente. En la Figura 5.22 se puede mostrar las estadísticas de un celular que he utilizado durante 10 días seguidos para monitorear y hacer consultas y los resultados fueron los siguientes:

Del 26 de abril al 6 de mayo del 2014 únicamente gasto 1.09 MB en segundo plano y en primer plano 20.52KB haciendo un total de 1.11 MB.



Figura 5. 22 Datos utilizados por SINTRA

5.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

La comparación de resultados se hizo con el sistema móvil Waze [22], Google Maps [21], que se menciona en el estado del arte como aplicaciones comerciales, la característica que tiene Waze es que indica el tránsito en tiempo real utilizando propios del sistema y Google maps recolecta información con ayuda del sistema Navigation entre otras fuentes.

Para realizar la comparación se tomó una captura de pantalla del día 26 de mayo del 2014 en un horario de 06:48 pm, En la Figura 5.23 se muestran primero el sistema conocido waze, en la siguiente Google Maps y al final el sistema referente a este trabajo. Como se puede observar en los tiempos se tomaron las capturas al mismo tiempo ya que el sistema también funciona e tiempo real.

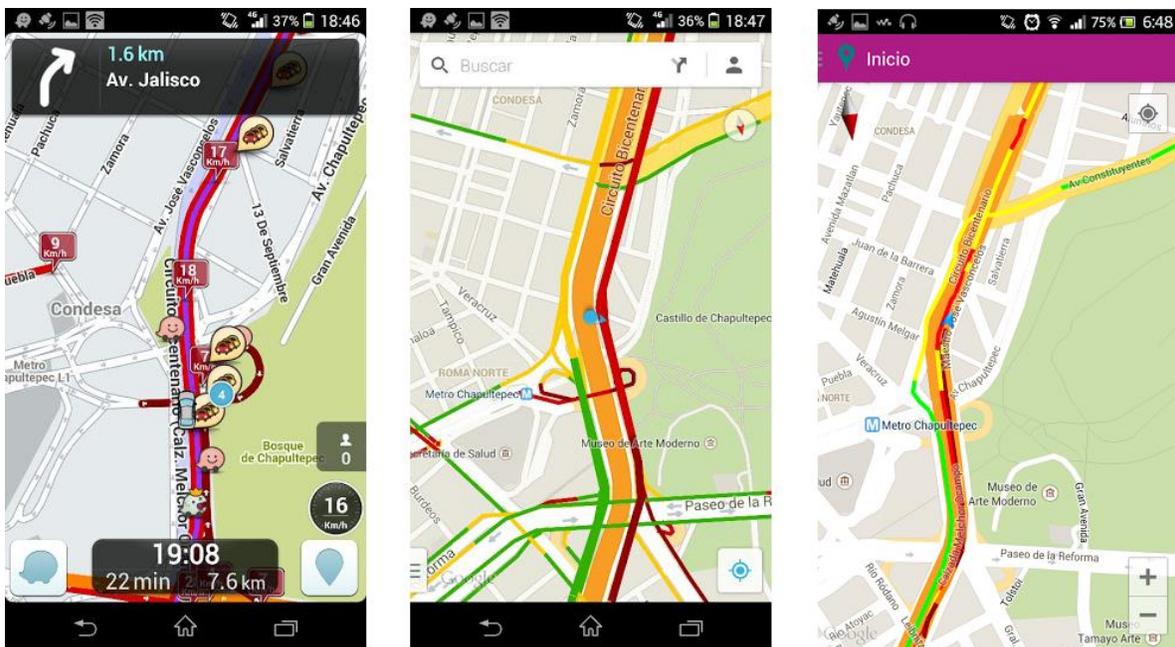


Figura 5. 23 Comparación de Resultados

En la Figura 5.24 se puede visualizar una consulta del día 24 de abril del 2014 a las 09:11 am en la Ciudad de México utilizando el sistema comercial Waze [22], realizando la consulta en el sistema con los mismos datos temporales, la conclusión fue que el sistema realizo el análisis y la interpretación fue semejante.

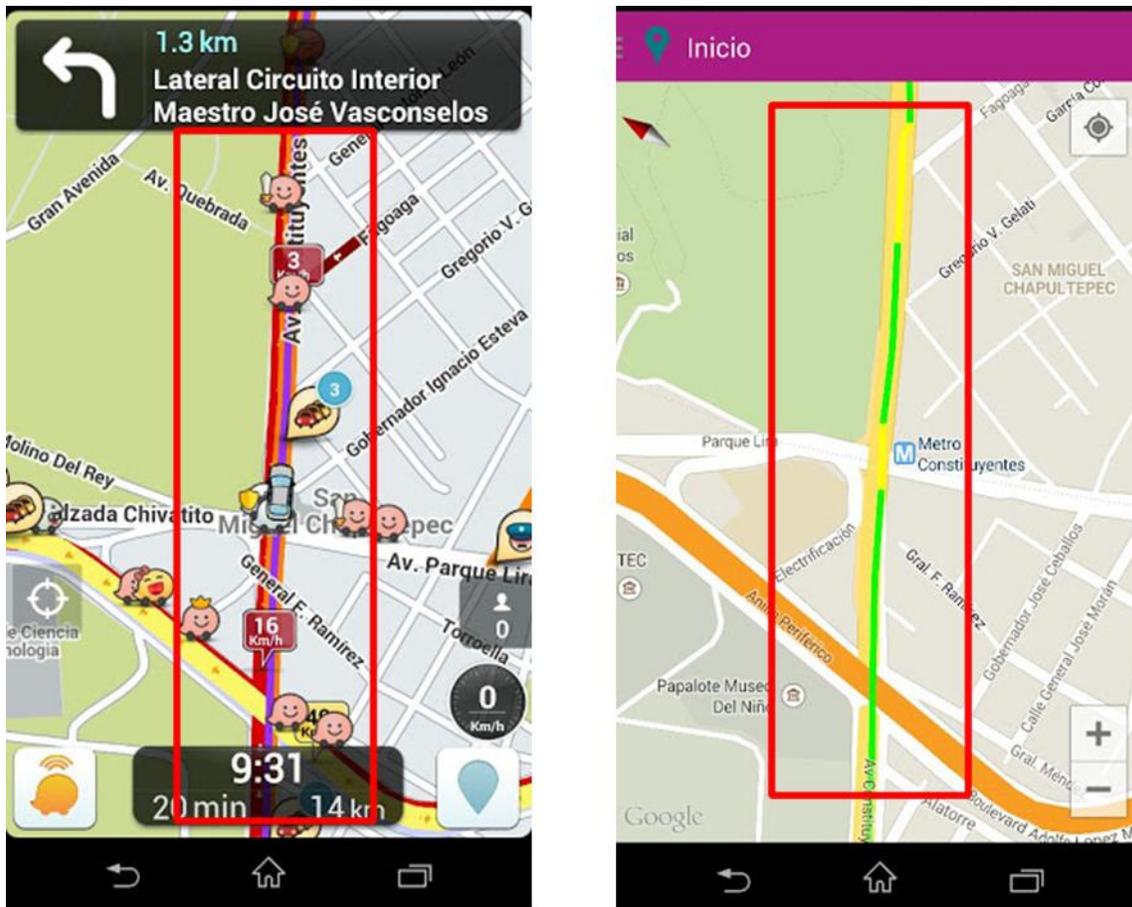


Figura 5. 24 Comparación de Resultados con Waze

En la Figura 5.25 se puede visualizar una consulta del día 16 de mayo 2014 a las 19:11 am en la Ciudad de Guadalajara utilizando la aplicación comercial que se menciona en el estado del arte Navigation Drawer [21], realizando la consulta en el sistema con los mismos datos temporales, la conclusión fue que cada ciudad tiene un comportamiento diferente respecto al tránsito, y el análisis que obtuvo el sistema mencionado en este trabajo no tiene una semejanza, ya que el sistema comercial marcaba en su línea de color rojo una aglomeración vial, sin embargo SINTRA lo analizó como tránsito denso (línea amarilla).

Como conclusión esta prueba nos muestra que cada ciudad tiene sus diferentes comportamientos viales, es por la tal razón que los tres parámetros que definen el flujo vehicular son variables.

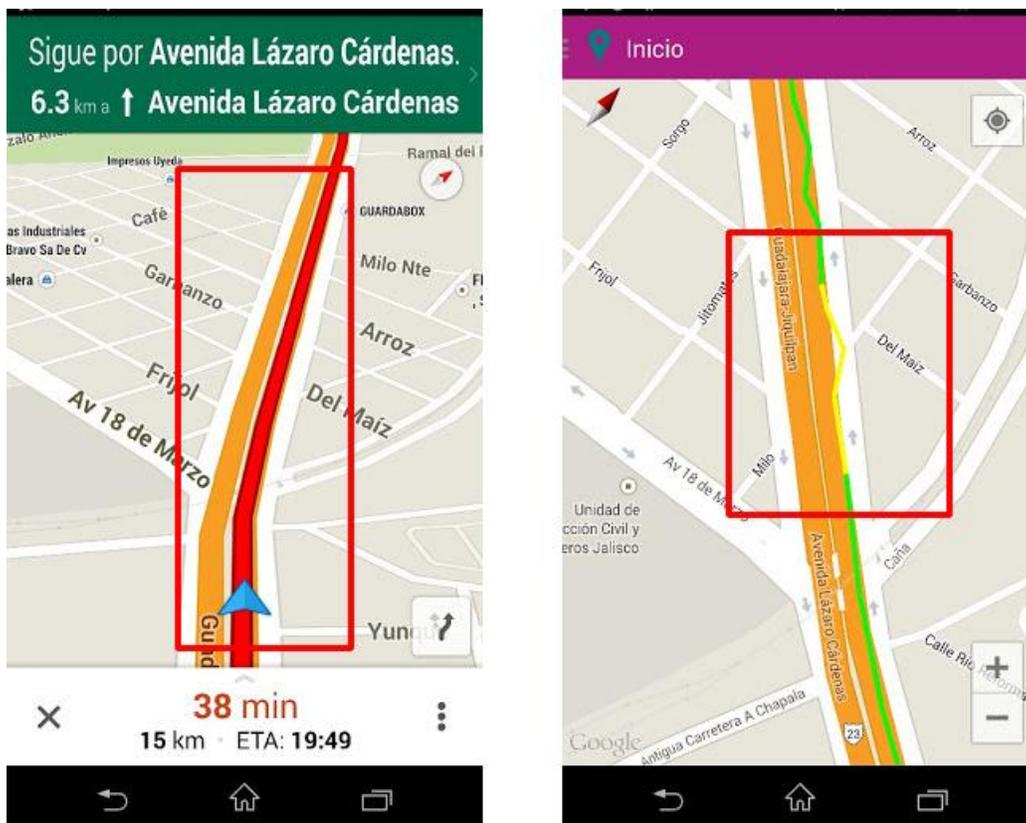


Figura 5. 25 Comparación de Resultados en la Ciudad de Guadalajara

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES

En el presente trabajo de tesis hemos presentado una metodología para desarrollar un sistema colaborativo móvil para la detección de tránsito vehicular, que sirve de apoyo en la toma de decisiones evitando congestionamientos, mediante un análisis histórico de un conjunto de datos proporcionados por los mismos usuarios. Dicha metodología consta de tres módulos: Recolección de datos, Análisis de datos y Resultados.

Como parte del caso de estudio, se proporcionó el sistema a varios compañeros del laboratorio para realizar las pruebas y el valor que se determinó para el monitoreo de puntos fue de 3 segundos, porque se obtuvieron mejores resultados al realizar el análisis y el valor del buffer que se determinó fue de 60 metros de radio, de igual manera que se obtuvieron mejores resultados.

De los objetivos específicos planteados para la presente tesis, todos los objetivos fueron cumplidos satisfactoriamente.

- Se realizó una aplicación móvil que contenía la comunicación entre el dispositivo y el servidor y poder monitorear su ubicación cada cierto tiempo, y almacenada directamente a la base de datos espacial.
- Se propuso un proceso en *background* dentro del sistema para que el usuario pueda hacer cualquier actividad en su teléfono móvil es decir, el usuario no interrumpirá ninguna actividad externa y el sistema seguirá monitoreando los puntos de forma transparente.
- Se propuso utilizar tecnologías que ya existían para que la visualización del usuario fuera de fácil uso, por ejemplo el servidor de Google Maps para la parte de la visualización del mapa en conjunto con una API propia de Google Maps para dibujar las líneas y algunas herramientas para crear menús en el sistema operativo android. Con el fin de que el usuario que utilice el sistema, le sea fácil comprender su funcionamiento.
- Se definieron varios tipos de consultas para un mejor análisis temporal dentro del sistema, como por rangos de horarios, días de la semana y por temporadas, este último fue definido en el sistema como Automático, el cual le brindará al usuario el tránsito de la zona que este a sus alrededores y el horario en que se realice la consulta por ejemplo en la mañana, en la tarde o en la noche, cual sea el caso.

La metodología presentada está basada en los conceptos de VGI y de MCS que en conjunto tienen la ventaja para el enriquecimiento de información geográfica con ayuda de los teléfonos móviles que hoy en día sirven de sensores para la recolección de información. Con estos dos conceptos referenciados hacia un modelo de colaboración pueden tener muchas ventajas para el análisis de algún tipo de interés, extendiendo la forma antigua en que se hacían los sistemas, es decir, que cualquier persona pueda aportar con apoyo de sistemas geográficos móviles información útil para la ayuda de diferentes casos de estudio, en este trabajo los usuarios comparten su posición ayudados con el sistema colaborativo, que al final los usuarios que compartan su información serán beneficiados en los resultados finales, colaborando de forma voluntaria.

6.1 ALCANCES Y LIMITACIONES

En el presente trabajo tiene información de históricos recolectados desde hace ocho meses y hasta la fecha actual, de diferentes puntos de la Ciudad de México, en diferentes horarios. Se obtuvieron resultados esperados después de realizar el análisis mencionado propuesto, en la sección de comparación de resultados se puede visualizar cierto parecido en los resultados, destacando que los datos de los otros sistemas eran superiores.

La tarea en segundo plano tiene la ventaja de que el usuario no se limite en ningún momento a usar el sistema e interrumpir sus actividades.

Con las consultas en el apartado de configuración del sistema, el usuario puede obtener información tanto en tiempo real como en tiempos pasados, según sea su interés de consulta, es decir a un usuario sólo le interesa saber cómo es el comportamiento de los días viernes después de las 6 de la tarde. Consultas de ese tipo pueden manifestarse en este trabajo de investigación sin dejar de mencionar las consultas por temporadas, ya que podemos consultar el tránsito en temporada navideña o en semana santa, por ejemplo. Con este sistema se pueden hacer diferentes consultas de interés que es uno de los principales objetivos de esta investigación.

En parámetro para determinar si el usuario va realizar el monitoreo por distancia o por tiempo, no está definido *a priori*; la ventaja que el sistema tiene, es que el valor lo puede proporcionar el usuario según le convenga directamente en la configuración del sistema.

En este trabajo de investigación trabaja con un modelo colaborativo que está definido por un monitoreo móvil de multitudes (MCS) y la forma en que se obtienen los datos que es de forma voluntaria por los usuarios que utilicen el sistema (VGI). En este trabajo se hace hincapié que los sistemas que utilicen este modelo para realizar análisis es de gran ventaja

para la conclusión de los resultados y aportación de los usuarios que tendrán el papel más importante, que es monitorear su información.

El sistema presentado en este trabajo no tiene el análisis de rutas dependiendo el tránsito, únicamente servirá de apoyo a las decisiones de los usuarios que utilicen el sistema.

Una característica importante que debe ser mencionada es que el sistema únicamente está desarrollado para el sistema operativo Android y podrá ser utilizado a teléfonos que tengan instalado la actualización posterior a la versión de Android 4.0.

6.2 TRABAJO A FUTURO

Como consecuencia de los alcances y limitaciones que hemos presentado, es posible puntualizar algunos aspectos que un futuro deben ser desarrollados:

La optimización de las consultas se haga en un proceso dentro el servidor que ayuden a que la consulta sea más rápida.

Un aporte a futuro importante es que el sistema deberá agregar un módulo dedicado a implementar el ruteo origen-destino del usuario, utilizando la información que se tenga almacenada en la base de datos.

Otra característica importante es que con ayuda del MCS se pueden obtener otra información independiente de la posición para el análisis por ejemplo compartir imágenes de tránsito en ese momento o de manifestaciones, baches entre otras ventajas, que tiene el concepto MCS para que el sistema se enriquezca con más información y se haga un análisis más detallado.

Por último es que se debe implementar este sistema para cualquier teléfono móvil que cuente con un sensor GPS, es decir que se puede programar para diferentes sistemas operativos móviles. Adicionalmente hacer un portal web WMS (Web Map Services) donde se puedan hacer las mismas tareas que en el dispositivo.

REFERENCIAS

- [1] C. Gershenson, A.J. Diamant, E. Negrete & L.Pineda. (2011,Febrero). *Evaluación del diseño e instrumentación de la política del transporte público colectivo de pasajeros en el Distrito Federal*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. (pp. 25-31).
- [2] SETRAVI (2013). “Estadísticas”. En *Vialidades*. Consultado el 16 de Octubre de 2013. Disponible en: <http://www.setravi.df.gob.mx/wb/stv/vialidades>.
- [3] COFETEL (2014). “Suscripciones móviles actuales ”. En *Telefonía móvil*. Consultado el 17 de febrero de 2014. Disponible en: www.cft.gob.mx/
- [4] Herrera, J. C., Work, D. B., Herring, R., Ban, X. J., Jacobson, Q., & Bayen, A. M. (2010). Evaluation of traffic data obtained via GPS-enabled mobile phones: *The Mobile Century field experiment*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(4), 568-583.
- [5] Tain J.,Gao L. ,Ren Y., Wu L.,Zhang F.,Sheng L. & Yang C. J. (2007). *Research on a Web Gis-based GPS Vehicle Monitoring: The State Key Laboratory of Remote Sensing Information Sciences*, Beijin (Vol. 6). Data Science Journal.
- [6] Work, D. B., Tossavainen, O. P., Blandin, S., Bayen, A. M., Iwuchukwu, T., & Tracton, K. (2008, December). An ensemble Kalman filtering approach to highway traffic estimation using GPS enabled mobile devices. In *Decision and Control, 2008. CDC 2008. 47th IEEE Conference on* (pp. 5062-5068). IEEE.
- [7] Lighthill, M. J., & Whitham, G. B. (1955). On kinematic waves. II. A theory of traffic flow on long crowded roads. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 229(1178), 317-345.
- [8] Richards, P. I. (1956). Shock waves on the highway. *Operations research*, 4(1), 42-51.
- [9] Wang, Y., & Papageorgiou, M. (2005). Real-time freeway traffic state estimation based on extended Kalman filter: a general approach. *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(2), 141-167.
- [10] Wang, Y., & Papageorgiou, M. (2005). Real-time freeway traffic state estimation based on extended Kalman filter: a general approach. *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(2), 141-167.

- [11] Byon, Y. J., Shalaby, A., & Abdulhai, B. (2006). Travel time collection and traffic monitoring via GPS technologies. In *Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC'06. IEEE* (pp. 677-682). IEEE.
- [12] Schneider, W. (2005, September). Mobile phones as a basis for traffic state information. In *Intelligent Transportation Systems, 2005. Proceedings. 2005 IEEE* (pp. 782-784). IEEE.
- [13] Pattara-Atikom, W., Pongpaibool, P., & Thajchayapong, S. (2006, June). Estimating road traffic congestion using vehicle velocity. In *ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conference on* (pp. 1001-1004). IEEE.
- [14] Medley, S. B., & Demetsky, M. J. (2003). *Development of congestion performance measures using ITS information* (No. FHWA/VTRC 03-R1,). Virginia Transportation Research Council.
- [15] Texas Transportation Institute (2014). "Texas transportation institute, urban mobility sutdy website ". En *Urban Mobility Report*. Consultado el 17 de Mayo de 2014. Disponible en: <http://mobility.tamu.edu/ums>
- [16] Lomax, T., Turner, S., Shunk, G., Levinson, H. S., Pratt, R. H., Bay, P. N., & Douglas, G. B. (1997). *Quantifying Congestion. Volume 1: Final Report* (No. Project 7-13 FY'92).
- [17] Weidong, S., & Guibo, S. (2009, December). Using mobile GIS as volunteered GI provider. In *Information Science and Engineering (ICISE), 2009 1st International Conference on* (pp. 2229-2232). IEEE.
- [18] Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211-221.
- [19] Mooney, P., Corcoran, P., & Ciepluch, B. (2013). The potential for using volunteered geographic information in pervasive health computing applications. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 4(6), 731-745.
- [20] Elwood, S. (2008). Volunteered geographic information: future research directions motivated by critical, participatory, and feminist GIS. *GeoJournal*, 72(3-4), 173-183.
- [21] Google Navigation (2014). "Google Maps". En *Android Developers*. Consultado el 15 de enero de 2014. Disponible en: <https://www.google.com/mobile/maps/>
- [22] Waze (2014). "Sobre nosotros". En *Acerca de*. Consultado el 15 de enero de 2014. Disponible en: <https://www.waze.com/es-419>
- [23] Tom Tom (2014). "TomTom Traffic Index". En *About Tom Tom*. Consultado el 15 de enero de 2014. Disponible en: http://www.tomtom.com/es_mx/

- [24] Ndrive (2014). “Ndrive”. En *About*. Consultado el 15 de enero de 2014. Disponible en: <http://www.ndrive.com/>
- [25] Tomlinson, R. F. (2007). *Thinking about GIS: Geographic information system planning for managers*. ESRI, Inc.
- [26] Lane, N. D., Miluzzo, E., Lu, H., Peebles, D., Choudhury, T., & Campbell, A. T. (2010). A survey of mobile phone sensing. *Communications Magazine, IEEE*, 48(9), 140-150.
- [26] L. Letham, de GPS fácil, *Uso del sistema de posicionamiento global*, Paidotribo, 2001, pp. 13-16.
- [27] Ganti, R. K., Ye, F., & Lei, H. (2011). Mobile crowdsensing: current state and future challenges. *Communications Magazine, IEEE*, 49(11), 32-39.
- [28] Geoinnovare (2014). “Crowdsourcing de información geografica”. En crowdsourcing. Consultado el 1 de junio de 2014. Disponible en: <http://geoinnovare.wordpress.com/>
- [29] Grudin, J., & Poltrock, S. E. (1997). Computer-supported cooperative work and groupware. *Advances in computers*, 45, 269-320.
- [30] Bibbó L.M.(2009). *Modelado de sistemas colaborativos* (Doctoral dissertation, Facultad de Informática): Universidad Nacional de la Plata Buenos Aires Argentina.
- [31] L. Letham, de GPS fácil, *Uso del sistema de posicionamiento global*, Paidotribo, 2001, pp. 13-16.
- [32] Fotheringham, S., & Rogerson, P. (Eds.). (2013). *Spatial analysis and GIS*. CRC Press.
- [33] Tolosa, J., Pulido, L., & Gamboa, C. BASE DE DATOS ESPACIALES.
- [34] Luna C.V.(2012). *Desarrollo de un algoritmo para rutas semánticamente ponderado*: Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Computación.
- [35] Gonzáles J.M.(2003). *Un modelo heurístico nuevo para el análisis del flujo vehicular*: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica México Puebla.
- [36] Garber, N., & Hoel, L. (2008). *Traffic & highway engineering*. Cengage Learning.
- [37] Mapanet (2014). Calculo de distancia entre dos coordenadas geográficas. En *Mapanet Geo Postal Codes Database*. Consultado el 17 de febrero de 2014. Disponible en <http://www.mapanet.eu/resources/Script-Distance.htm>.
- [38] Sinnott, R. W. (1984). Virtues of the Haversine. *Sky and telescope*, 68, 158.

- [39] PostgreSQL (2014). “Postgres SQL ”. En Spatial and Geographic objects for PostgreSQL. Consultado el 19 de febrero de 2014. Disponible en: <http://www.postgresql.org.es/>
- [40] Postgis (2014). “Postgis ”. En *Documentación*. Consultado el 19 de febrero de 2014. Disponible en: <http://postgis.net/>
- [41] Tomcat (2014). “Apache Tomcat”. En *Home*. Consultado el 19 de febrero de 2014. Disponible en: <http://tomcat.apache.org/>
- [42] Android Developers (2014). “ADT Plugin”. En *Developers*. Consultado el 19 de febrero de 2014. Disponible en: <http://developer.android.com/tools/sdk/eclipse-adt.html>.
- [43] Google Maps (2014). “API Google Maps”. En *Android Developers Map*. Consultado el 19 de febrero de 2014. Disponible en: <http://developer.android.com/google/play-services/maps.html>
- [44] JavaServer Pages Technology (2014). “ The Java EE 5 Tutorial”. En *Chapter 5 JavaServer Pages*. Consultado el 19 de febrero de 2014. Disponible en: <http://docs.oracle.com/javaee/5/tutorial/doc/bnagx.html>
- [45] Giancoli and C. Douglas, Física, Principios con aplicaciones, 6th. ed. México: Pearson Education, 2006, pp. 21-25.
- [46] Google Maps Shape (2014). “API Google Maps”. En Polyline. Consultado el 7 de marzo de 2014. Disponible en: <https://developers.google.com/maps/documentation/android/shapes>
- [47] Regresión lineal (2014). “Cursos”. En Regresión lineal. Consultado el 20 de marzo de 2014. Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/unvPortal/index.do>

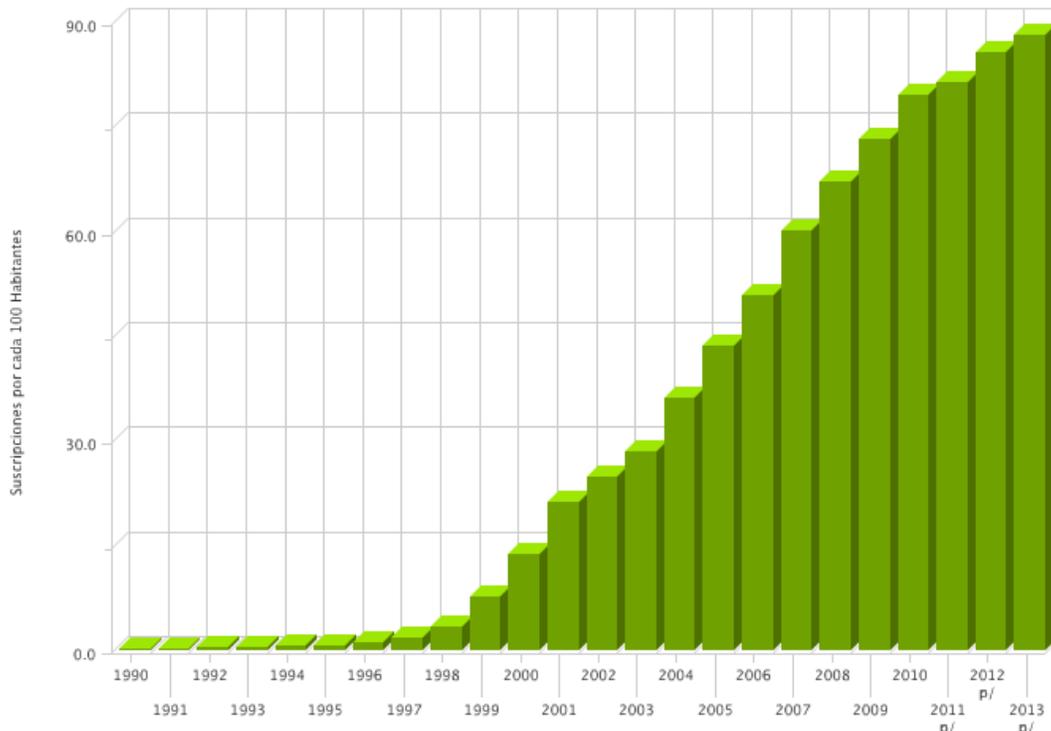
ANEXOS

En este apartado del documento se presenta información sobre telefonía móvil en México y el incremento de suscripciones en los últimos dos años, también contendrá información sobre las vialidades con mayor saturación y los horarios correspondientes a la Cd. De México.

TELEFONÍA MÓVIL EN MÉXICO

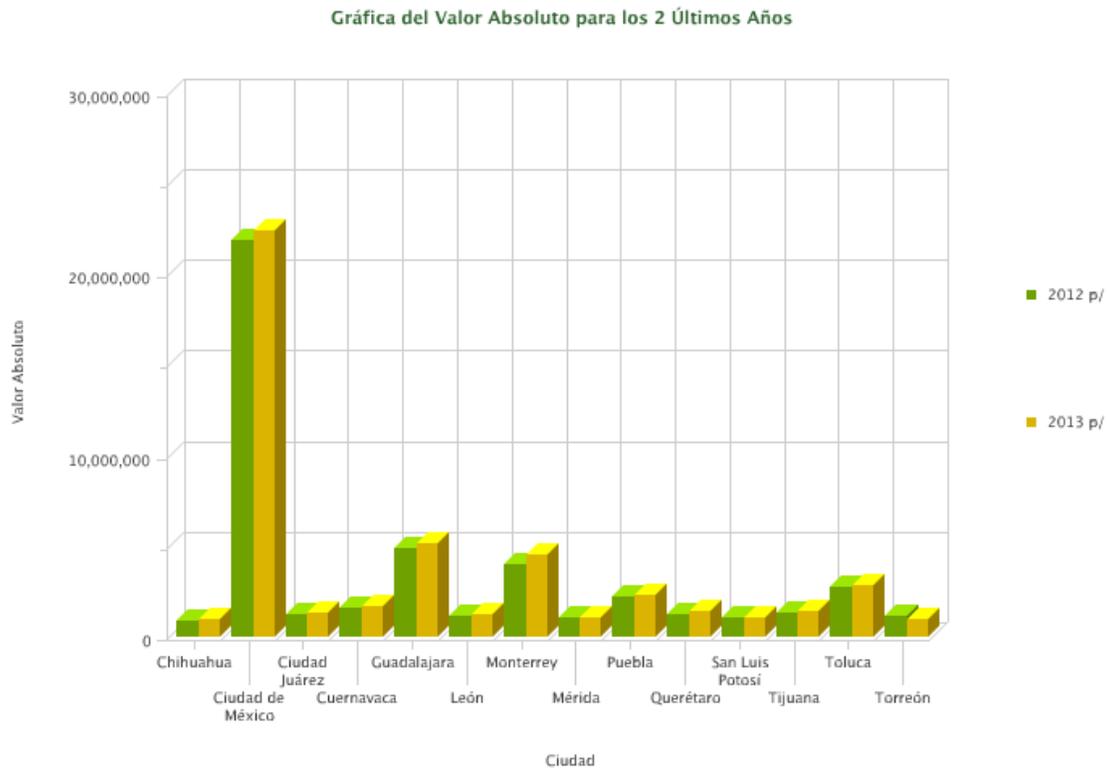
Al cierre del 2012 se cuentan con 100 millones 727 mil suscripciones a teléfonos celulares móviles, de las cuales 47.8% se ubican en las catorce principales ciudades del país. Durante el 2012 las suscripciones a teléfonos celulares móviles se incrementaron en 6 millones 144 mil [3].

En la Figura A.1 se muestra las suscripciones por cada 100 habitantes.



A. 1 Suscripciones por cada 100 habitantes

En la Figura A.2 se muestra la gráfica de las suscripciones de los últimos 2 años en los principales estados de México [3].



A. 2 Suscripciones de las principales ciudades del año 2012-2013

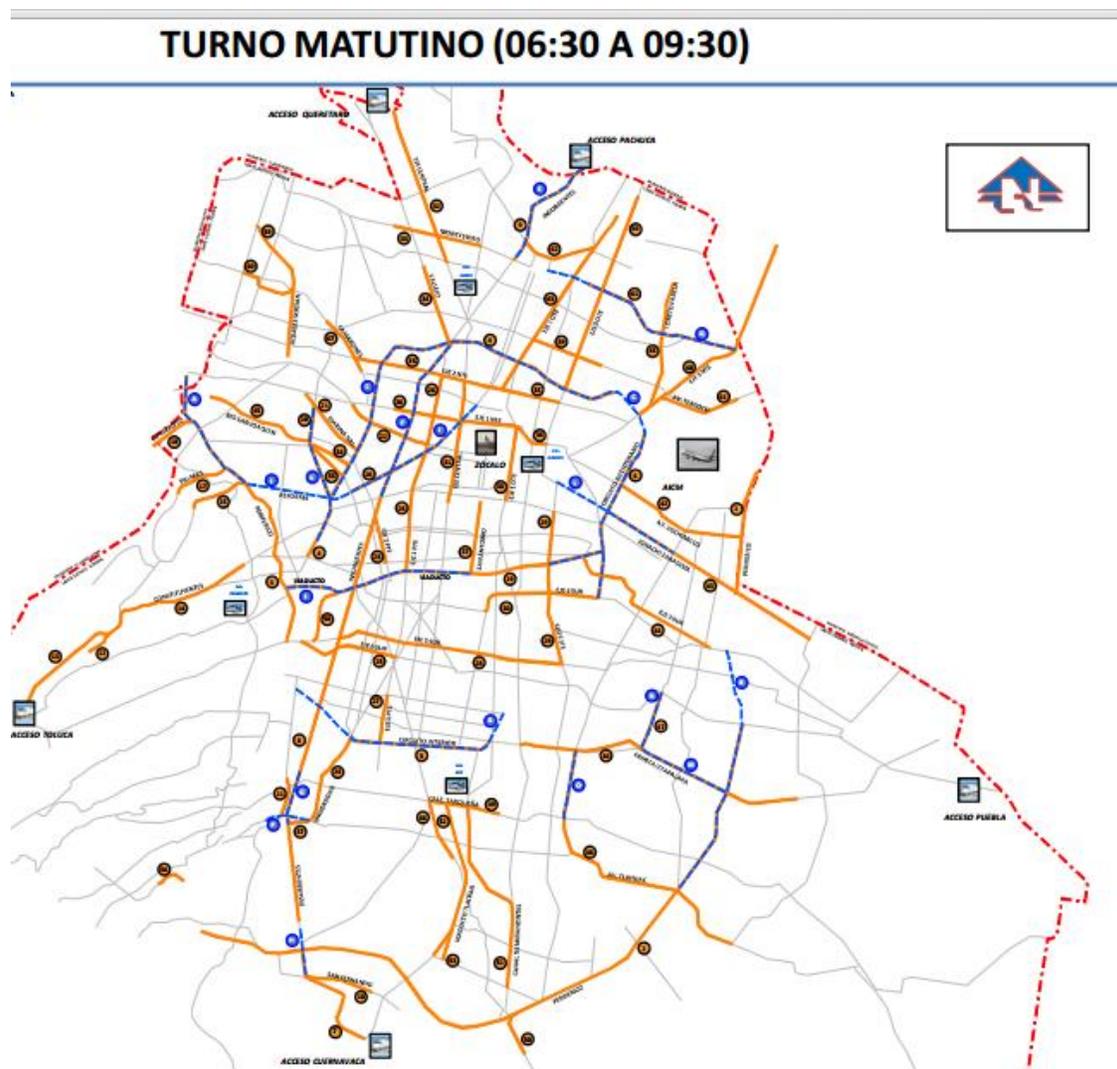
Esta información nos indica que a lo largo de estos años ha incrementado las suscripciones principalmente en la Ciudad de México, los teléfonos inteligentes se han convertido en accesorio de gran importancia en la sociedad ya que cuentan con herramientas de gran utilidad como acceso a internet, el auge de las redes sociales, el uso de ubicación utilizando el GPS entre otras actividades que se pueden realizar con los móviles.

VIALIDAD EN LA CD. DE MÉXICO

La Dirección General de Planeación y Vialidad, realizó una investigación con la idea de coadyuvar y apoyar al público que transita por las diferentes calles, arterias y avenidas del Distrito Federal, tomando en cuenta que la situación vial principalmente en la ciudad más grande del mundo, por su propia naturaleza no es estática y cambia de un momento a otro [2].

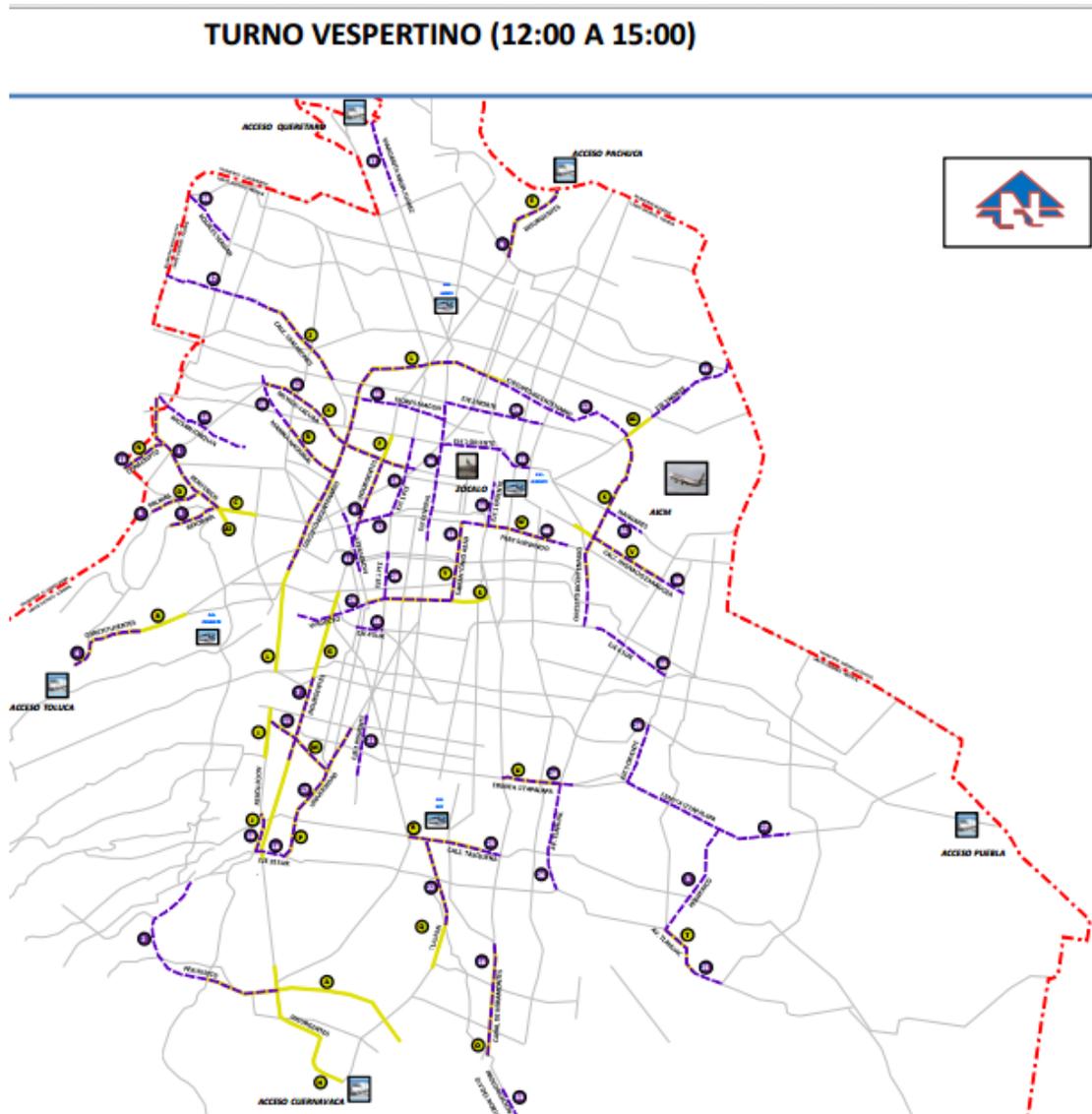
VIALIDADES CON MAYOR SATURACIÓN VEHICULAR

En la Figura A.3 se muestran las avenidas más saturadas en el horario matutino de la Ciudad de México. [2]



A. 3 Saturación vehicular de 6:30 a 9:30 am

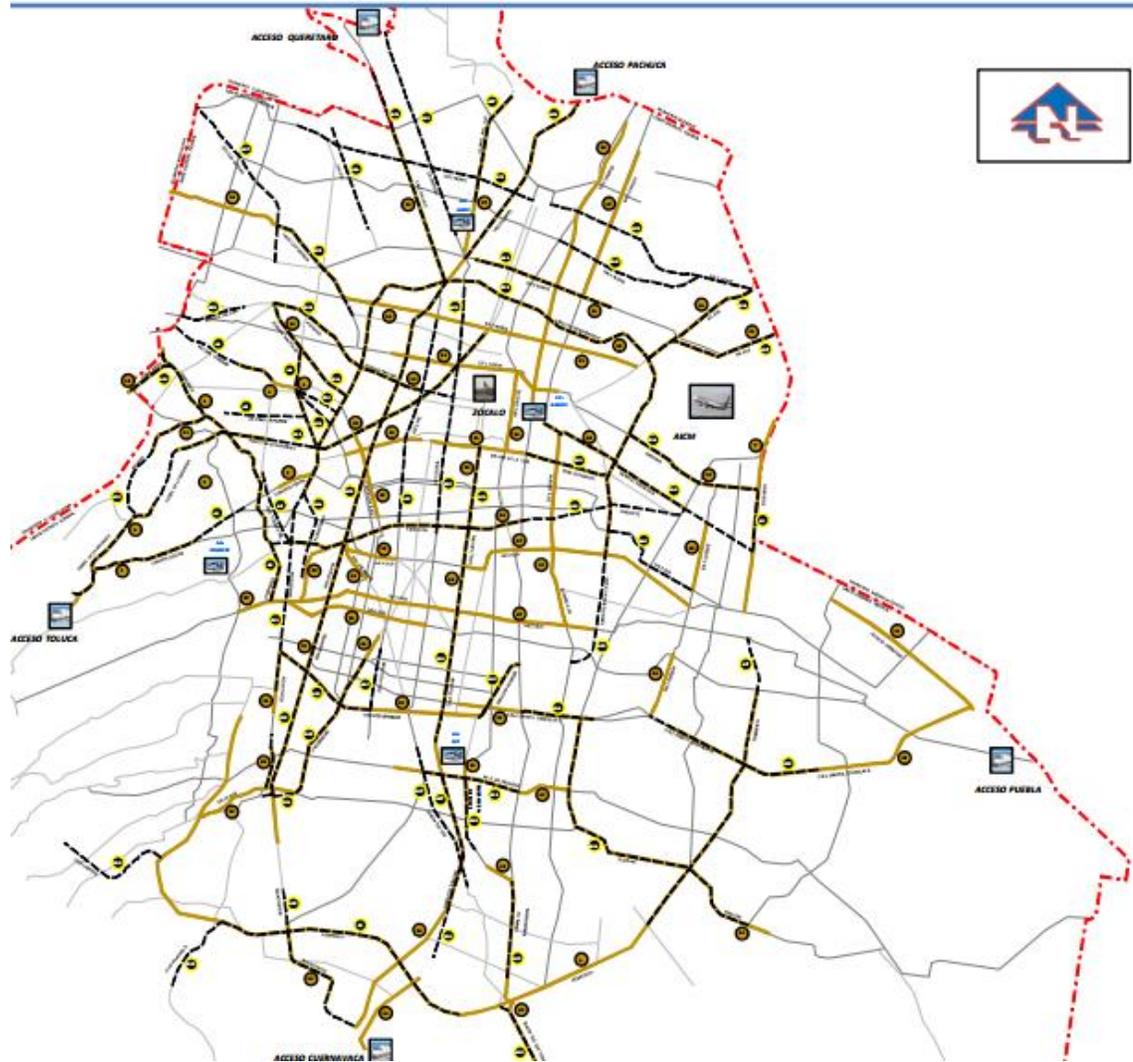
En la Figura A.4 se muestran las avenidas más saturadas en el horario vespertino de la Ciudad de México. [2]



A. 4 Saturación vehicular de 12:00 pm a 15:00pm

En la Figura A.5 se muestran las avenidas más saturadas en el horario nocturno de la Ciudad de México. [2]

TURNO NOCTURNO (18:30 A 21:30)



A. 5 Saturación Vehicular de 18:30 a 21:30 pm

ESTADÍSTICAS VIALES

Demanda de movilidad e Infraestructura Vial

| Características de la movilidad e Infraestructura Vial |
|--|
| - Número de viajes metropolitanos (cruzan el límite del DF y el Estado de México) por día: 4.2 millones [2]. |
| - Longitud total de la red vial en el Distrito Federal: 10 mil 200 Kilómetros. |
| - Longitud de vialidades primarias: 930 Kilómetros (9%). |
| - Longitud de vías de acceso controlado: 171.42 Kilómetros. |
| - Longitud de ejes viales: 421.16 Kilómetros. |
| - Longitud de arterias principales: 320.57 Kilómetros. |
| - Longitud de vialidades secundarias: 9 mil 229 Kilómetros. |
| - Ejes viales construidos en la ciudad de México: 31. |
| - Longitud de los ejes viales construidos: 328.60 Kilómetros. |
| - Red vial secundaria, longitud estimada: 9 mil 557 Kilómetros. |

Tabla A. 1 Características de movilidad e infraestructura vial