



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

“AJUSTE DE UBICACIÓN EN DATOS DE POSICIONAMIENTO  
GLOBAL”

AUTOR: ANA LUCÍA MORALES FONTE

DIRECTOR: CARLOS XAVIER ROSERO

IBARRA-ECUADOR

2021



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DEL AUTOR</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100398062 – 8		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	MORALES FONTE ANA LUCÍA		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Los Galeanos y Las Dalias 2–47		
<b>EMAIL:</b>	almorales@utn.edu.ec - moralesanalucia258@gmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062632903	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0992154520
<b>DATOS DE LA OBRA</b>			
<b>TÍTULO:</b>	“AJUSTE DE UBICACIÓN EN DATOS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL”		
<b>AUTOR:</b>	ANA LUCÍA MORALES FONTE		
<b>FECHA (AAAA-MM-DD):</b>	2021-10-05		
<b>SÓLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>			
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO		
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERO EN MECATRÓNICA		
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	CARLOS XAVIER ROSERO CH.		

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 5 días del mes de Octubre de 2021.



Ana Lucía Morales Fonte  
C.I.: 100398062 – 8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
CERTIFICACIÓN

En calidad de director del trabajo de grado “AJUSTE DE UBICACIÓN EN DATOS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL”, presentado por el egresado ANA LUCÍA MORALES FONTE, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, Octubre de 2021

Carlos Xavier Rosero  
DIRECTOR DE TESIS

## **Agradecimiento**

En primer lugar agradezco a Dios ya que gracias a él todo es posible.

A mi director Carlos Xavier por su apoyo, paciencia, tiempo y sobre todo por los conocimientos que día a día a compartido.

A mis padres ya que sin su apoyo esto no habría sido posible, por su comprensión, apoyo y porque son un pilar fundamental en mi vida.

A mis hermanos porque sin duda alguna ellos han estado ahí para aconsejarme y apoyarme en cada uno de mis pasos, me han cuidado y consentido siempre, hasta ahora.

A mi esposo e hijos que me han apoyado en cada momento y han estado ahí en los momentos difíciles.

A mis compañeros porque han sido una grata compañía en todo el tiempo de estudio, por su apoyo, jovialidad y consejos en los momento pertinentes.

A la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería Mecatrónica y a sus respectivas autoridades, por acogerme el tiempo de estudios de esta etapa de mi vida.

*Ana Morales*

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres Delia y Luis, a mi esposo Jefferson, mis hijos Alexander y Anthony, y a mis hermanos Sandra, Irma, Jonny, Lili, Marcelo, Graciela y Nicolás.

*Ana Morales*

# Resumen

Sin duda la geolocalización se ha convertido en un tema recurrente en la actualidad, en el transporte ha tenido una especial acogida, para entregas en lugares específicos, optimizar tiempos, etc. El servicio más conocido es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que permite ubicar un objeto, lugar o persona en cualquier parte del mundo, éste varían su resultado dependiendo del dispositivo en el que sea utilizado.

El mapa que muestra el GPS delimita los sectores transitables, sin embargo al ir en un vehículo existen intervalos de tiempo que muestra datos inexactos, es decir, coloca la ubicación sobre edificios, aceras, parques, etc. Ésto puede pasar por diversos factores como la señal, el receptor, el rendimiento del dispositivo y/o la densidad de edificaciones, estructuras o fauna en la que se esté transitando.

A lo largo de los años el estudio para disminuir dicho error ha llevado a diversas soluciones, desde las más complejas hasta las más sencillas, dependiendo el momento que se decida trabajar con los datos, es decir durante la toma de los mismos o después de ser obtenidos. Las aplicaciones basadas en algoritmos matemáticos es una de las soluciones para mitigar el error siempre que los datos ya estén previamente obtenidos, además se hace uso de un mapa de referencia cuyos datos se pueden adquirir por distintos medios.

El presente trabajo ofrece una un algoritmo matemático que permite trabajar con datos previamente obtenidos y un mapa de referencia segmentado de acuerdo a la geografía de la zona

a trabajar. El algoritmo consta de dos partes que se aplican consecutivamente, empieza con la toma de datos mediante un dispositivo GPS, en zonas con redondeles, calles con un ángulo entre ellas, rectas y mixtas, en la primera parte se evalúan los valores con cada uno de los segmentos del mapa de referencia, la clasificación de los datos al segmento que corresponden se realiza con una comparación de proximidad, para posteriormente en la segunda parte del algoritmo, ser ubicados en el segmento correspondiente. Cabe recalcar que antes de trabajar con los datos es necesario cambiar su formato de coordenadas geográficas a coordenadas UTM para trabajar los algoritmos.

# Abstract

Geolocation has undoubtedly become a recurring theme nowadays, in transport it has had a special welcome, for deliveries in specific places, optimizing times, etc. allows to locate an object, place or person anywhere in the world, this varies its result depending on the device in which it is used.

The map shown by the GPS delimits the passable sectors, however when going in a vehicle there are time intervals that show inaccurate data, that is, it places the location on buildings, sidewalks, parks, etc. This can happen due to various factors such as the signal, the receiver, the performance of the device and / or the density of buildings, structures or fauna in which it is traveling.

Over the years, the study to reduce this error has led to various solutions, from the most complex to the simplest, depending on when it is decided to work with the data, that is, during the collection or after being Applications based on mathematical algorithms is one of the solutions to mitigate the error provided that the data is already previously obtained, in addition to using a reference map whose data can be acquired by different means.

The present work offers a mathematical algorithm that allows working with previously obtained data and a segmented reference map according to the geography of the area to be worked on. The algorithm consists of two parts that are applied consecutively, it begins with data collection using a GPS device, in areas with rounds, streets with an angle between them, straight lines

and mixed, in the first part the values are evaluated with each of the segments of the reference map, the classification of the data to the corresponding segment is carried out with a proximity comparison, for later in the second part of the algorithm, to be located in the corresponding segment. It should be noted that before working with the data it is necessary to change its format from geographic coordinates to UTM coordinates to work the algorithms.

# Índice general

<b>Índice general</b>	<b>XI</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>XIV</b>
<b>Lista de Programas</b>	<b>XVI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Problema . . . . .	1
1.2. Alcance . . . . .	3
1.3. Objetivos . . . . .	3
1.3.1. Objetivos específicos . . . . .	3
1.4. Justificación . . . . .	4
<b>2. Revisión Literaria</b>	<b>5</b>
2.1. Sistema de Posicionamiento Global (GPS) . . . . .	5
2.2. Métodos de Corrección de Datos GPS . . . . .	5
2.2.1. Reducción de Errores a través de una Unidad Inercial . . . . .	6
2.2.2. Coincidencia de Mapas para Aplicaciones de Transporte . . . . .	6
2.2.2.1. Proceso para la Coincidencia de Mapas . . . . .	7
2.2.2.2. Ponderación por Proximidad de un Punto a un Enlace . . . . .	8
2.2.3. Coincidencia de Datos GPS con Mapas Digitales . . . . .	9
2.2.3.1. Dispositivo de Localización del Usuario . . . . .	9

2.2.3.2.	Mapa Digital . . . . .	10
2.2.4.	Niveles de Algoritmos de Correspondencia de Mapas . . . . .	10
2.2.4.1.	Primer Nivel . . . . .	11
2.2.4.2.	Segundo Nivel . . . . .	11
2.2.4.3.	Tercer Nivel . . . . .	11
2.3.	Algoritmo de Correspondencia de Mapas . . . . .	12
2.4.	Propuesta . . . . .	13
<b>3.</b>	<b>Metodología</b>	<b>14</b>
3.1.	Descripción del Algoritmo . . . . .	14
3.2.	Declaración del Problema . . . . .	14
3.2.1.	Coincidencia de Mapas . . . . .	15
3.2.2.	Método Geométrico . . . . .	16
3.3.	Algoritmo Propuesto . . . . .	17
3.3.1.	Adquisición de Datos . . . . .	18
3.3.2.	Procesamiento de Datos . . . . .	19
3.3.3.	Identificación de Datos . . . . .	20
3.3.4.	Aplicación del Algoritmo . . . . .	20
3.3.4.1.	Primer Algoritmo . . . . .	21
3.3.4.2.	Segundo Algoritmo . . . . .	21
3.3.5.	Datos Filtrados . . . . .	22
3.3.6.	Transformación de Datos UTM . . . . .	22
3.3.7.	Datos en Coordenadas Geográficas . . . . .	22
<b>4.</b>	<b>Pruebas y Análisis de Resultados</b>	<b>24</b>
4.1.	Corrección de Datos en Secciones Rectas . . . . .	24
4.2.	Corrección de Datos en Secciones Mixtas . . . . .	26
4.3.	Corrección de Datos en Secciones Rectas con Ángulo de Inclinación entre calles	29

<b>5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FINAL</b>	<b>32</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	32
5.2. Trabajo futuro . . . . .	33
<b>Bibliografía</b>	<b>34</b>
<b>Apéndice</b>	<b>38</b>
.A. Aplicación en python . . . . .	38

# Índice de figuras

2.1. Satélites del Sistema de Posicionamiento Global [11] . . . . .	6
2.2. Diagrama de correspondencia de mapas [13] . . . . .	7
2.3. Distancia perpendicular [14] . . . . .	8
2.4. Geometría de la distancia perpendicular [15] . . . . .	12
3.1. Ejemplo datos erróneos obtenidos por un dispositivo GPS . . . . .	15
3.2. Diagrama del algoritmo geométrico . . . . .	17
3.3. Datos tomados con el dispositivo GPS . . . . .	18
3.4. Mapa de referencia Graphhoper . . . . .	18
3.5. Mapa de referencia Google Maps . . . . .	19
3.6. Coordenadas UTM . . . . .	19
3.7. Coordenadas UTM . . . . .	20
3.8. Datos del receptor GPS coordenadas geográficas. . . . .	21
3.9. Datos filtrados coordenadas UTM . . . . .	22
3.10. Coordenadas geográficas filtradas . . . . .	23
4.1. Datos GPS y mapa de referencia. . . . .	25
4.2. Datos GPS. . . . .	25
4.3. Datos GPS y el mapa de referencia. . . . .	26
4.4. Datos GPS proyectados en el mapa de referencia . . . . .	26
4.5. Datos GPS y mapa de referencia . . . . .	27

4.6. Datos GPS proyectados en el mapa de referencia . . . . .	28
4.7. Datos GPS y el mapa de referencia. . . . .	28
4.8. Datos GPS proyectados en el mapa de referencia. . . . .	29
4.9. Datos GPS y el mapa de referencia . . . . .	30
4.10. Datos GPS y el mapa de referencia . . . . .	30
4.11. Datos GPS y el mapa de referencia . . . . .	31

# Lista de Programas

1.	Código de la aplicación . . . . .	38
----	-----------------------------------	----

# Capítulo 1

## Introducción

Éste trabajo de grado presenta una alternativa para mitigar el error de los dispositivos GPS al mostrar la ubicación de un objeto o persona sobre una zona. Existen errores por factores externos e internos, ya sea por la calidad de recepción del dispositivo o la señal.

Los datos previamente obtenidos en latitud y longitud se filtrarán a través de un algoritmo matemático que utiliza coordenadas universal transversal de Mercator (UTM), clasificando a través de una comparación de distancias entre los puntos obtenidos y las diferentes secciones del mapa de referencia, proyectando cada punto en la trayectoria correspondiente.

### 1.1. Problema

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS, Global Positioning System) tiene como objetivo determinar las coordenadas espaciales de un punto específico respecto a un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier parte del planeta y en cualquier momento, además pueden estar tanto estáticos como en movimiento [1].

Este sistema de navegación consiste en una constelación de 24 satélites que se encuentran orbitando la tierra, ubicados en 6 planos orbitales, con cuatro satélites por plano, de forma

que desde cualquier punto del planeta hay al menos cuatro satélites visibles [2]. El sistema fue instaurado completamente en 1995 por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (EE.UU) y en principio, tenía fines militares. Desde sus inicios se permitió su uso público, eso sí, con una versión no tan precisa que incluía ruido para que el error cometido fuera mayor. Desde el año 2000, se permitió el acceso abierto a la versión con mayor número de prestaciones, aunque el gobierno de EE.UU se reserva el derecho de limitar la versión sin errores a los ciudadanos en caso de guerra o similar [2].

La precisión del posicionamiento de GPS es obtenida con dos factores principales: la precisión de envío y recepción de señal, y la geometría de los satélites involucrados en el posicionamiento [3]. Debido a la baja calidad de la señal, desfase en el reloj del satélite y pérdidas del seguimiento continuo del receptor, se pueden producir errores en las coordenadas (lugares con poca disponibilidad de recepción de señal) [4].

Muchos servicios inteligentes del sistema de transporte están haciendo uso de la información de posición y hora del vehículo para ayudar a administrar la congestión del tráfico y en el caso del transporte público, mejorar fiabilidad del servicio [5]. Los datos de posición, al ser obtenidos por distintos dispositivos, pueden variar su rendimiento dando como resultado posiciones erróneas en puntos no accesibles por un vehículo: edificaciones, parques y veredas. Para esto se necesita realizar el emparejamiento de los datos obtenidos por el dispositivo GPS, con los mapas satelitales mediante la aplicación de algoritmos geométricos, ajustando así los datos a posiciones acordes a la realidad.

Dichos errores pueden ser mitigados de manera que se pueda precisar la ubicación de datos. Si estos errores son continuos pueden distanciar la realidad, de lo que muestra el GPS en cualquier dispositivo, causando ubicaciones erróneas. En la actualidad existen librerías para el uso de módulos GPS, por ejemplo en [6], mismas que no implementan un método de reducción de errores.

## **1.2. Alcance**

Se desarrollará una solución de software matemático libre al problema planteado. Este programa recibirá datos con errores, tomados desde un dispositivo GPS o desde un repositorio digital, empleará un procedimiento geométrico para emparejamiento de mapas y producirá datos de posicionamiento de los objetos sobre sitios transitables. Se utilizará sólo la información de las coordenadas ingresadas y no se asumirá conocimiento alguno de una ruta de viaje prevista.

Se aplicará un procedimiento de coincidencia de mapas que constará de dos algoritmos independientes. El primer algoritmo buscará una coincidencia inicial, para posteriormente aplicar el segundo algoritmo que emparejará los mapas a través de razonamiento topológico para coincidencia de puntos [7].

Como resultado se obtendrá el posicionamiento correcto de objetos móviles solamente sobre zonas accesibles (calles, carreteras). Dicho resultado podrá observarse sobre una interfaz gráfica que muestre tanto la trayectoria con errores, como la trayectoria ajustada, todo esto sobre mapas de Google Maps.

## **1.3. Objetivos**

Ajustar la ubicación en datos de posicionamiento global sobre mapas satelitales.

### **1.3.1. Objetivos específicos**

- Proponer la solución al problema mediante un método matemático obtenido de la literatura.
- Implementar el método matemático en el desarrollo de una librería para software libre.
- Validar la solución implementada a través de pruebas de campo.

## 1.4. Justificación

El GPS se ha convertido en una herramienta indispensable que se ha vuelto popular en la navegación a nivel mundial, siendo usada para el desarrollo de sistemas inteligentes en transporte público y particular [8].

Existen sistemas que son utilizados de forma cotidiana, constan de software de navegación y mapas que están cambiando la forma de viajar, determinando el tiempo de demora para el destino deseado. El GPS es por tanto una alternativa para optimizar los resultados ante ésta y muchas situaciones más.

La disponibilidad de datos de la red de carreteras espaciales digitales debería permitir obtener la posición real del vehículo en un camino determinado, sin embargo esto no sucede [9].

Es necesario mitigar los errores que tiene un GPS, especialmente porque la variación de los datos de posición pueden ser erróneos, causando ubicaciones diferentes a la realidad. Si éstos no son reducidos se puede llegar a perder la localización del objeto móvil aunque el GPS esté en uso.

# Capítulo 2

## Revisión Literaria

Los dispositivos GPS varían su rendimiento por varios factores, que concluyen con la ubicación errónea en espacios no transitables, diversas propuestas para mitigar este problema se realizan mediante el uso de sus datos previamente obtenidos.

### 2.1. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El GPS (Global Positioning System) es un sistema que permite determinar las coordenadas espaciales de un objeto, persona, vehículo o lugar específico en la tierra respecto a un sistema de referencia mundial. Para la obtención de coordenadas usa la red de 24 satélites como se observa en la figura 2.1 que orbitan a 20.200 kilómetros de altura sobre la Tierra aproximadamente [10], las distancias se obtienen a partir de señales emitidas por cuatro satélites (como mínimo), que son receptadas por dispositivos diseñados [1], disponibles celulares, en vehículos o relojes.

### 2.2. Métodos de Corrección de Datos GPS

Existen varios métodos matemáticos para la corrección de datos de ubicación propocionados por dispositivos GPS, a continuación se detallan algunos de ellos.

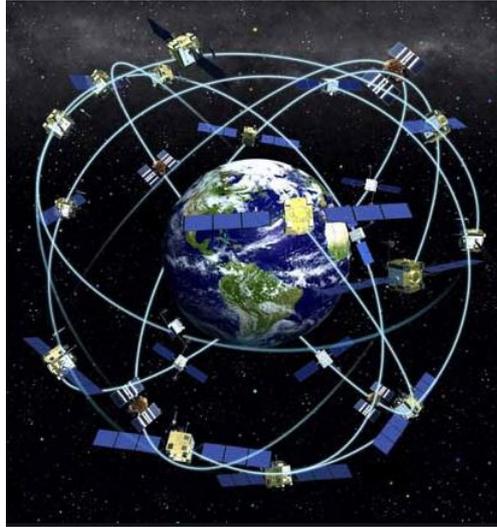


Figura 2.1: Satélites del Sistema de Posicionamiento Global [11]

### **2.2.1. Reducción de Errores a través de una Unidad Inercial**

Los GPS son muy útiles en la vida cotidiana, especialmente, en grandes ciudades para orientar a las personas. Sin embargo, existe cierto margen de error al presentar la posición del objeto. Para reducir el error en la Universidad Carlos III realizó una investigación que logra reducir el error de 15 metros a 2 metros, para ésto adhirió al GPS una unidad de medición inercial que detecta cambios en la velocidad y maniobras de un vehículo gracias a tres acelerómetros e igual cantidad de giroscópios y un potente algoritmo que se encarga de eliminar las desviaciones instantáneas ocasionadas por la degradación de las señales recibidas en el receptor GPS o la pérdida total o parcial de la señal de los satélites [12].

### **2.2.2. Coincidencia de Mapas para Aplicaciones de Transporte**

El algoritmo de coincidencia de mapas busca corregir deficiencias al mostrar un punto u objeto ubicado en el espacio. Las características básicas del algoritmo incluye el uso de la salida del algoritmo GPS / DR que incluye la posición, velocidad y tiempo. La información sobre la trayectoria del vehículo se usa para evitar errores al cambiar repentinamente de ubicaciones mapeadas entre enlaces de carreteras desconectadas. Los aspectos topológicos de la red de ca-

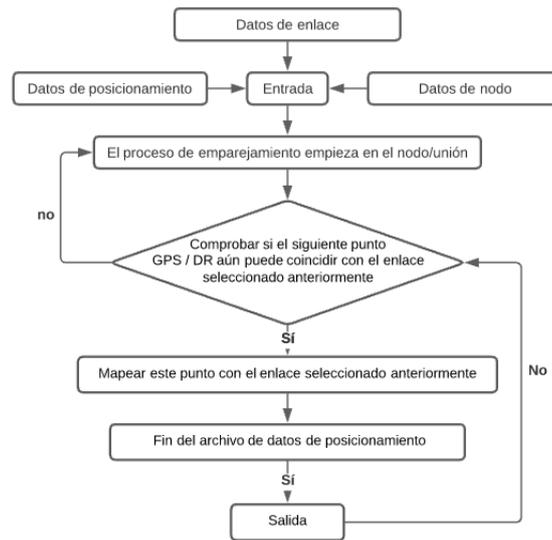


Figura 2.2: Diagrama de correspondencia de mapas [13]

reteras, el rumbo GPS y la información de velocidad permiten mejoras en el rendimiento del algoritmo. Seleccionar el enlace correcto entre los enlaces candidatos, especialmente en las intersecciones. Además, la ubicación física del vehículo en el enlace seleccionado se determina a partir de los promedios ponderados de las determinaciones de dos estados [13].

### 2.2.2.1. Proceso para la Coincidencia de Mapas

El proceso se muestra en la Fig.2.2. Las tres fuentes de datos descritas anteriormente son los datos de enlace, nodo y los datos de posicionamiento. El proceso inicia con coincidencia del nodo para identificar un enlace correcto y las determinaciones de la ubicación física del punto GPS / DR en ese enlace. El siguiente paso analiza si el siguiente punto GPS / DR puede coincidir con el enlace identificado en el paso anterior y luego determina su ubicación física en el enlace. Es vital llevar a cabo el primer paso con cuidado para disminuir el número de enlaces candidatos [13].

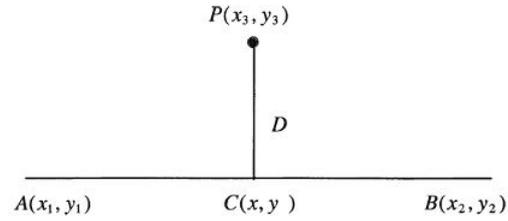


Figura 2.3: Distancia perpendicular [14]

### 2.2.2.2. Ponderación por Proximidad de un Punto a un Enlace

Utilizan dos tipos de puntajes de ponderación para la prueba de proximidad. El primero se basa en la distancia perpendicular desde el GPS / DR apunta al segmento, como se puede ver en la Fig.2.3 [14]

Luego la distancia perpendicular desde este punto hasta el segmento está dada por la ecuación [14]

$$D = \frac{x_3 \cdot (y_1 - y_2) - y_3 \cdot (x_1 - x_2) + (x_1 \cdot y_2 - x_2 \cdot y_1)}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} \quad (2.1)$$

A medida que disminuye la distancia perpendicular  $D$ , aumenta la proximidad, entonces la puntuación de ponderación para la distancia perpendicular se ve en la ecuación

$$WS_{PD} = \frac{A_P}{D} \quad (2.2)$$

Donde  $WS_{PD}$  es el puntaje de proximidad del punto al segmento de calle,  $D(> 0)$  es la distancia perpendicular desde el GPS / DR apunta al segmento de carretera, y  $A_P(> 0)$  es el parámetro de ponderación que controla el valor de  $WS_{PD}$ . Ninguna se puede tomar el valor de  $A_P$  para determinar  $WS_{PD}$ .

Cuanto menor es la distancia perpendicular, mayor es la puntuación, es decir, si el punto  $P$  está cerca del segmento  $i$ , entonces hay un mayor probabilidad de que el segmento sea correcto

[14]

Al conocer el segmento de calle en el que va a transitar el vehículo se puede referenciar los datos que se han obtenido y rectificado.

### **2.2.3. Coincidencia de Datos GPS con Mapas Digitales**

Para realizar la coincidencia de mapas es necesario dos componentes esenciales: un mapa digital y un dispositivo que proporcione datos geográficos para localizar al usuario [15].

#### **2.2.3.1. Dispositivo de Localización del Usuario**

En esencia, hay tres métodos diferentes de determinar la localización con un dispositivo [15]

##### **■ Primer Método**

Se usa un dispositivo DR en el que la velocidad y la dirección del movimiento del usuario sean continuamente utilizados para actualizar su ubicación. Muchos sistemas DR utilizan una brújula y o un sistema giroscópico para aumentar la determinación del rumbo absoluto. que muestra la velocidad y dirección del usuario de manera continua aunque este puede variar su precisión de acuerdo a sus componentes [15].

##### **■ Segundo Método**

Se utiliza algún tipo de base terrestre de Radio Frecuencia que transmite su ubicación a usuarios cercanos . Las señales recibidas se utilizan para triangular la posición del usuario. Este sistema es un esquema absoluto, por lo tanto, la precisión no se degrada con tiempo. Sin embargo, el uso de dicho sistema está limitado a áreas que están dentro de la visibilidad de la torres que emiten las señales de difusión [15].

### ■ Tercer Método

El tercer método para determinar la ubicación del usuario es utilizar algún tipo de sistema de posicionamiento por radio satélite como el Sistema de Posicionamiento Global GPS [15].

#### 2.2.3.2. Mapa Digital

El segundo elemento necesario es el mapa digital, mismo que ofrece a los usuarios un espacio referencia para su ubicación. Permite a los usuarios asociar su posición observada con una ubicación física en el mundo real. Para que una Asistente de Navegación Personal sea efectiva, la ubicación indicada en el mapa digital debe corresponder a la posición actual del usuario. Si tanto el mapa digital como la ubicación del GPS fueran perfectamente precisos, esto habría sido una tarea sencilla. Todo lo que tiene que hacer es ajustar la ubicación obtenida del GPS al red de calles [15].

Sin embargo, el GPS puede tener errores de ubicación y el mapa digital puede tener información incompleta, como segmentos de calles faltantes, etc. Para que funcione eficazmente debería mejorar las precisiones del mapa y desarrollar algoritmos que son capaces de determinar la ubicación correcta del usuario incluso con datos de red inexactos [15].

#### 2.2.4. Niveles de Algoritmos de Correspondencia de Mapas

Los algoritmos de correspondencia de mapas se utilizan para conciliar datos de ubicación inexactos con un redes de calles. La sofisticación de los algoritmos de correspondencia de mapas depende de la naturaleza de la aplicación. y los datos disponibles. Hay tres niveles de complejidad que un algoritmo de correspondencia de mapas tiene que resolver [15].

#### **2.2.4.1. Primer Nivel**

El algoritmo más directo es utilizado cuando el usuario viaja en una red fija. Por ejemplo, un bus viaja en segmentos de calles conocidos, por lo tanto, todo lo que se necesita es ubicar el autobús en uno de los segmentos de calles que constituye su ruta. Es decir, el dominio de búsqueda de un segmento de calle como candidato de coincidencia es muy limitado, si el autobús tomara un segmento de calle diferente al de la ruta establecida éste no podría ser ubicado, ya que la calle no está dentro de los parámetros de su posterior comparación [15].

#### **2.2.4.2. Segundo Nivel**

Se necesita un segundo nivel de algoritmos de correspondencia de mapas cuando el usuario ingresa un destino y el Asistente de Navegación Personal determina una ruta de viaje sugerida. En esta aplicación, el algoritmo supone que el usuario sigue la ruta sugerida y que la coincidencia se realiza con esa ruta. Si el usuario se desvía de la ruta previamente establecida, el sistema detecta un error y calculará una nueva ruta [15].

El principal inconveniente de utilizar la información de "ruta conocida" es que puede dar lugar a una coincidencia incorrecta si el usuario se desvía ligeramente de su ruta conocida". Por ejemplo, si el usuario elige viajar en una calle paralela cercana, la mayoría de estos algoritmos determinarán que el usuario está viajando en la ruta conocida", sin ser esto correcto, corregir este tipo de errores se considera difícil ya que erróneamente creería que está dentro de los parámetros [15].

#### **2.2.4.3. Tercer Nivel**

El tercer y más general algoritmo de correspondencia de mapas no asume ningún conocimiento o información previa con respecto a la ubicación esperada del usuario. Utiliza solo coordenadas como x, y o Latitud, Longitud y la red de calles relevante para ubicar al usuario [15].

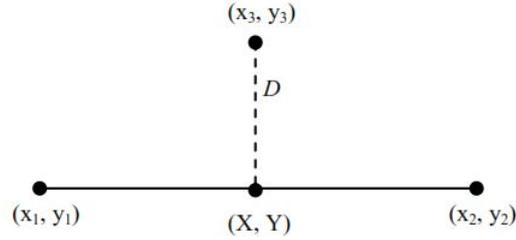


Figura 2.4: Geometría de la distancia perpendicular [15]

### 2.3. Algoritmo de Correspondencia de Mapas

El enfoque más intuitivo para resolver el problema de correspondencia de mapas proyectar los puntos tomados con el dispositivo GPS con un mapa de referencia de la red de calles correspondiente a dichos puntos como se ve en la Fig.2.4.

Para esto se usan las ecuaciones 2.3 , 2.4 , 2.5 y 2.6 que se muestran a continuación:[15]

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (2.3)$$

$$X = \frac{m \cdot (y_3 - y_1 + m \cdot x_1) + x_3}{m^2 + 1} \quad (2.4)$$

$$Y = y_1 + m \cdot (X - x_1) \quad (2.5)$$

$$D = \sqrt{(X - x_3)^2 + (Y - y_3)^2} \quad (2.6)$$

Donde los puntos  $P_1(x_1, y_1)P_2(x_2, y_2)$  son nodos del mapa de referencia y el  $P_3(x_3, y_3)$  es el dato tomado con el dispositivos GPS.  $X$  y  $Y$  son los valores que toma cada punto  $P_3$  al ser proyectado al mapa de referencia de la red de calles previamente establecida,  $D$  es la distancia perpendicular desde el punto tomado con el dispositivo GPS al segmento de la red de calles como se ve el la Fig.2.4 y  $m$  es la pendiente del segmento de calle del mapa de referencia.

## **2.4. Propuesta**

Considerando la información previamente analizada se propone implementar un algoritmo matemático de Tercer Nivel usando datos geográficos adquiridos con un dispositivo GPS como describe el Tercer Método, mismos que presentan errores de manera que causan visualizaciones erróneas de objetos sobre lugares o sitios no transitables.

El algoritmo usado produce una proyección de los puntos tomados sobre el mapa de referencia establecido previo al emparejamiento con la sección de calle más cercana dependiendo de la distancia. Los datos filtrados serán visualizados sobre un mapa que muestre tanto los datos con errores como los datos correctos.

# Capítulo 3

## Metodología

Este capítulo describe brevemente el funcionamiento del Algoritmo de Correspondencia de Mapas y los pasos necesarios para filtrar los datos.

### 3.1. Descripción del Algoritmo

Se implementa el algoritmo matemático basado en la proyección de los puntos tomados con el GPS sobre el mapa de referencia establecido, el primero busca la sección del mapa de referencia, mediante una comparación de distancias buscando la sección más próxima al punto evaluado, el segundo proyecta los valores de cada punto evaluado en la sección correspondiente de la red de calles.

### 3.2. Declaración del Problema

Un objeto se encuentra en movimiento a lo largo de varias secciones del sistema de calles del mapa de referencia, un dispositivo GPS proporciona una estimación de la localización en un determinado número de puntos.



Figura 3.1: Ejemplo datos erróneos obtenidos por un dispositivo GPS

La localización de cada uno de estos puntos está denotado por  $P$ , dichos puntos presentan errores al mostrarse en el dispositivo como se puede observar en la Fig. 3.1, existen datos que se muestran sobre veredas o casas, estos datos son definidos como  $P_3$ .

### 3.2.1. Coincidencia de Mapas

La coincidencia de mapas es un método basado en el uso de datos tomados desde un dispositivo GPS y un mapa de referencia. Varía dependiendo de la necesidad y/o los recursos con los que cuente el usuario tanto para adquirir datos como para procesarlos. Existen métodos que requieren de datos previos[7] y la ruta que sigue dicho objeto en determinada red de calles.

El enfoque de este algoritmo no necesita datos previos de rutas establecidas, simplemente hace uso de información geométrica de los datos adquiridos y la red de calles de referencia que están representados por los puntos  $P_1, P_2$ .

### 3.2.2. Método Geométrico

El enfoque para resolver el problema es hacer coincidir un dato inicial con la sección de calle de un mapa de referencia, éste se ajusta a la ubicación de los datos tomados por el dispositivo GPS, si estos son puntos que cuentan con una sola trayectoria o con dos se aplica la ecuaciones 3.1 , 3.2 , 3.3 y 3.4 que se muestran a continuación:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3.1)$$

$$X = \frac{m \cdot (y_3 - y_1 + m \cdot x_1) + x_3}{m^2 + 1} \quad (3.2)$$

$$Y = y_1 + m \cdot (X - x_1) \quad (3.3)$$

$$D = \frac{x_3 \cdot (y_1 - y_2) - y_3 \cdot (x_1 - x_2) + (x_1 \cdot y_2 - x_2 \cdot y_1)}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} \quad (3.4)$$

Donde  $m$  es la pendiente que corresponde en este caso al mapa de referencia,  $X$  y  $Y$  son los valores proyectados de el punto  $P_3$ , en este caso todos los datos adquiridos con el dispositivo GPS. La  $D$  es la distancia perpendicular entre el mapa de referencia del segmento de calle y el punto tomado con el dispositivo GPS.

Las ecuaciones que componen el algoritmo matemático se muestran en las ecuaciones 3.1 , 3.2 , 3.3 y 3.4, cada una se aplica en determinado momento de acuerdo al grupo de datos que se vayan a filtrar.

Los datos de los puntos  $P_1, P_2 P_3$  están definidos por los valores  $X_n$  y  $Y_n$ .

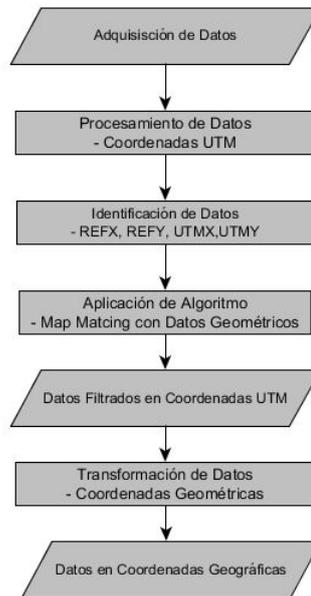


Figura 3.2: Diagrama del algoritmo geométrico

### 3.3. Algoritmo Propuesto

El algoritmo de ajuste de datos se muestra en el diagrama de flujo de la Fig. ???. Se inicia con la adquisición de datos de posicionamiento de un receptor GPS, los datos en su mayoría se obtienen en el formato de coordenadas geográfico es decir en latitud y longitud, para usar el algoritmo matemático es necesario tener estos datos en formato UTM es decir en  $X$  y  $Y$ , por lo que se realiza la transformación para aplicar las ecuaciones para la proyección de datos, en el caso de tener más de un segmento de calles se hace uso de la  $D$  distancia perpendicular para clasificar los datos dependiendo de la proximidad a la sección del mapa de referencia y posteriormente proyectar los datos en segmento que corresponde. Al finalizar, los datos filtrados están dados en coordenadas UTM, para la visualización sobre un mapa se necesita valores en Coordenadas Geográficas, se aplica una transformación inversa para obtener los datos en dicho formato y visualizarlos sobre un mapa.



Figura 3.3: Datos tomados con el dispositivo GPS

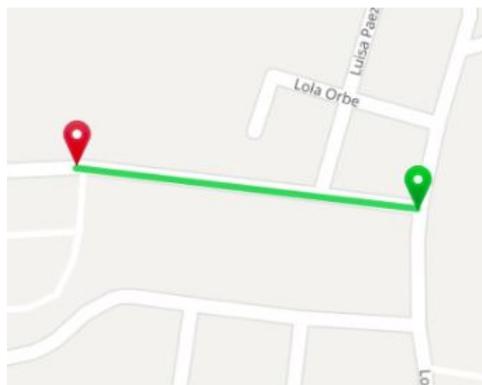


Figura 3.4: Mapa de referencia Graphhoper

### 3.3.1. Adquisición de Datos

Para adquirir los datos se necesita un dispositivo receptor GPS para obtener los datos de posicionamiento. Se hace uso de un teléfono celular que cuenta con la aplicación GPSLogger disponible en PlayStore. Los datos se tomaron en una recta como se puede visualizar en Fig.3.3. Mientras que los datos para el mapa de referencia se obtienen con el uso de la herramienta Graphhoper como se visualiza en Fig.3.4, los datos proporcionados están dados en coordenadas geográficas y si se requiere se puede exportar en un documento con formato gpx para visualizarlo en google maps como en la Fig.??

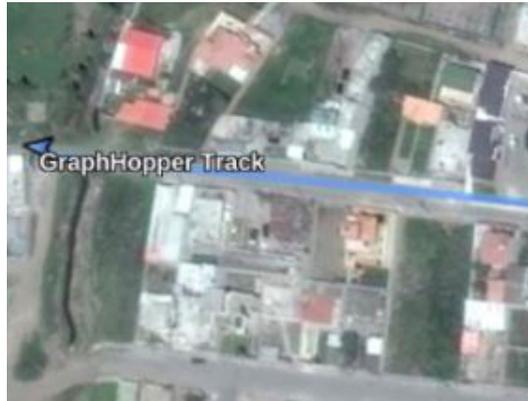


Figura 3.5: Mapa de referencia Google Maps

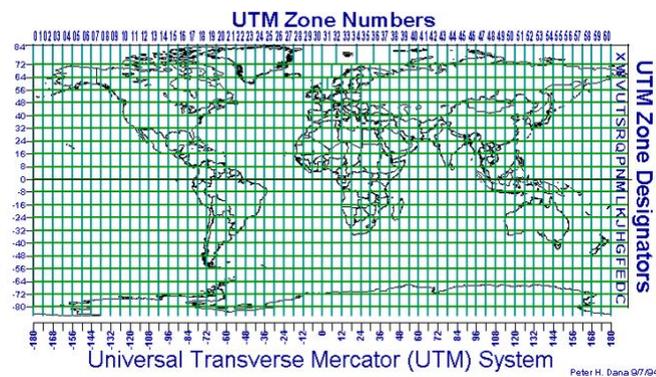


Figura 3.6: Coordenadas UTM

### 3.3.2. Procesamiento de Datos

Los datos que se usan del archivo CSV obtenido por la aplicación son la latitud y longitud que son los datos de la posición tomada por el receptor, como los nombres de las columnas indica los datos están tomados en coordenadas geográficas por lo que es necesario transformarlas a coordenadas cartesianas o UTM (Universal Transverse Mercator), que es un sistema basado en cuadrículas como se observa en la Fig. 3.6 con el que se puede referenciar un objeto sobre la superficie terrestre en valores de  $X$  y  $Y$ . La librería `utm` [31], disponible para python, permite transformar coordenadas geográficas a Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) y con la ayuda de la librería `Matplotlib` [29] podemos visualizar los datos obtenidos en gráficas en función de los valores.



Figura 3.7: Coordenadas UTM

En la Fig.3.7 se observa los datos obtenidos y el mapa de referencia sobre el que los valores deben ajustarse de acuerdo a su ubicación.

### 3.3.3. Identificación de Datos

Los datos ya obtenidos y anteriormente filtrados son colocados en vectores para la posterior aplicación de las ecuaciones. Se necesita los valores tomados del archivo CSV que describen la posición en la longitud y la latitud y del mapa de referencia se toma los datos del mismo nombre. Al transformarse los datos a coordenadas UTM se crean nuevos valores en formato  $X$  y  $Y$  los datos del receptor GPS se considera como puntos  $P_3$  como se ve en la Fig.3.8, del mapa de referencia se obtienen dos puntos un inicial  $P_1$  y un final  $P_2$  que se usará para obtener  $m$  de la ecuación 3.1 y para la proyección de los puntos  $P_3$  sobre el mapa de referencia. Todos los puntos  $P_n$  están dados por  $X_n$  y  $Y_n$ .

### 3.3.4. Aplicación del Algoritmo

Los datos obtenidos por el dispositivo viene dado en coordenadas de Latitud y Longitud, inicialmente se realiza una lectura de los datos tanto del mapa de referencia como los datos previamente obtenidos, para realizar cada uno de los algoritmos es necesario trabajar en coordenadas UTM, es decir en valores dados en  $X$  y  $Y$ .

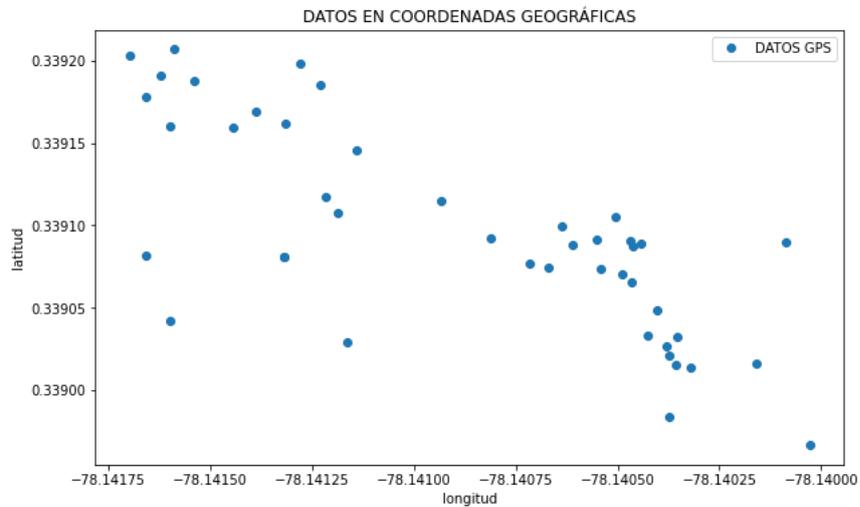


Figura 3.8: Datos del receptor GPS coordenadas geográficas.

### 3.3.4.1. Primer Algoritmo

Con los valores transformados en coordenadas UTM se aplica la ecuación 3.4 que involucra valores de los puntos  $P_1$  y  $P_2$  que son los extremos de cada sección del mapa de referencia y  $P_3$  que son los valores adquiridos. Cabe recalcar que las distancias obtenidas son de cada uno de los puntos a cada una de las secciones del mapa de referencia para posteriormente realizar una comparación de los valores de las distancias y clasificar cada punto de acuerdo a la proximidad a la sección,

### 3.3.4.2. Segundo Algoritmo

Los valores de  $P_1$  y  $P_2$  requeridos para calcular la mínima distancia con  $P_3$  serán los mismos que se aplicarán para poder encontrar los puntos que corresponden a cada sección del mapa de referencia.

Se aplica la ecuación 3.1 para obtener la pendiente que posteriormente será utilizada para realizar la proyección de los puntos  $P_3$ , para esto se aplica las ecuaciones 3.2 y 3.3 que nos da los valores ya filtrados  $X$   $Y$  de cada  $P_3$  sobre el mapa de referencia.

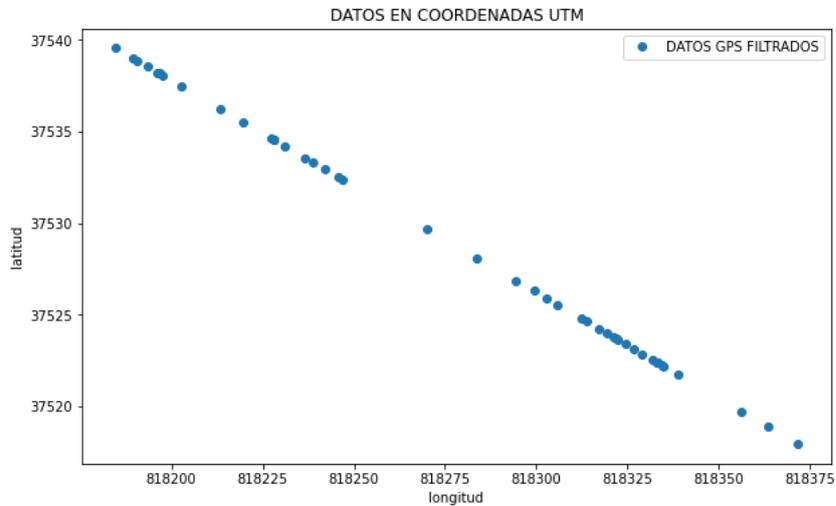


Figura 3.9: Datos filtrados coordenadas UTM

### 3.3.5. Datos Filtrados

Los datos al pasar por el algoritmo geométrico se encuentran en coordenadas UTM, éstos datos se pueden visualizar mediante la librería matplotlib haciendo uso de las gráficas en función de  $X$  y  $Y$ . Sin embargo para la visualización sobre un mapa se necesita las coordenadas geográficas de dichos puntos ya filtrados en este caso, como se ve en la Fig.3.9.

### 3.3.6. Transformación de Datos UTM

Para visualizarlos sobre un mapa los valores filtrados se necesitan coordenadas geográficas en función de latitud y longitud. La librería pyproj [19] que mediante el uso de datos del sistema geodésico mundial de 1984 (WGS84) realiza la transformación de datos UTM nuevamente para lo cual se necesita datos como el huso horario en el que se encuentran los datos WGS84, los datos se cambian de  $X$  y  $Y$  a coordenadas geográficas.

### 3.3.7. Datos en Coordenadas Geográficas

Al obtener los datos filtrados y en formato de coordenadas geográficas se realiza la visualización sobre un mapa para lo cual se hace uso de la librería folium [18], para la creación del

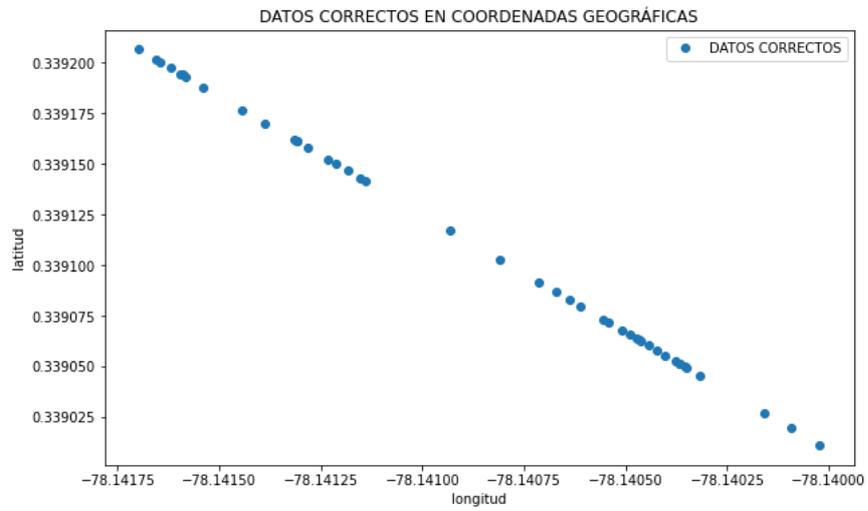


Figura 3.10: Coordenadas geográficas filtradas

mapa en determinado lugar y se utiliza los marcadores con los que cuenta la misma librería para visulizar los datos como se ve en la Fig.3.10.

# Capítulo 4

## Pruebas y Análisis de Resultados

En esta sección se realizan la corrección de datos en diferentes trayectorias sean éstas rectas, curvas y mixtas.

### 4.1. Corrección de Datos en Secciones Rectas

Los datos se tomaron en una trayectoria recta en la Calle Las Dalias, en la ciudad de Ibarra, en el sector conocido como Urbanización San Patricio, estos datos fueron tomados con diferencia de 1 segundo de punto a punto, en la Fig.4.4 podemos observar de color azul los datos del mapa de referencia y de color anaranja se representan los datos tomados en valores en Latitud y Longitud. Éstos valores también se puede graficar sobre un mapa como se ve en la Fig.4.2.

El algoritmo realiza las comparaciones respectivas y la asignación de los datos a cada una de las secciones del Mapa de Referencia, dependiendo de la proximidad que representa la mínima distancia entre el  $P_3$  y la sección más cercana del mapa de referencia.

En la Fig.4.3 podemos observar los datos filtrados de color azul y el mapa de referencia de color naranja, como se puede observar la proyección sobre el mapa de referencia fue la correcta ya que ningún dato quedo fuera de la sección como también se puede ver en la Fig.4.4 que está

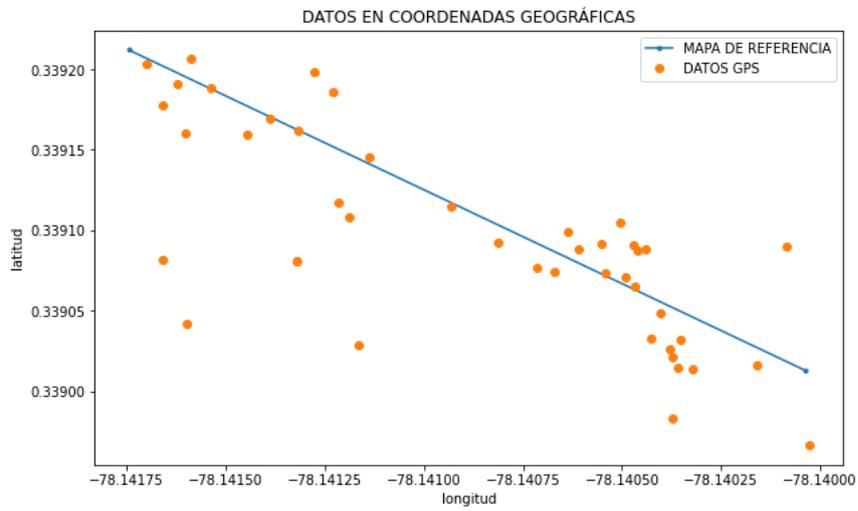


Figura 4.1: Datos GPS y mapa de referencia.

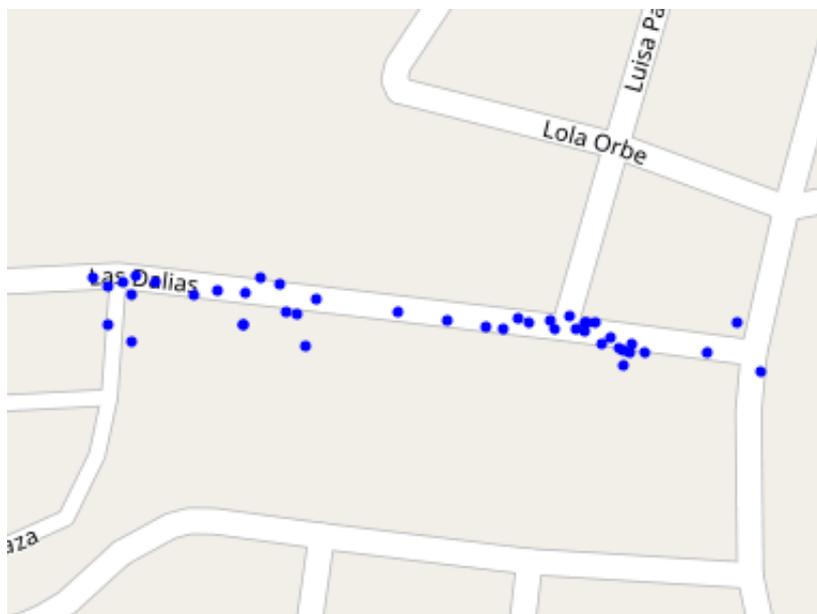


Figura 4.2: Datos GPS.

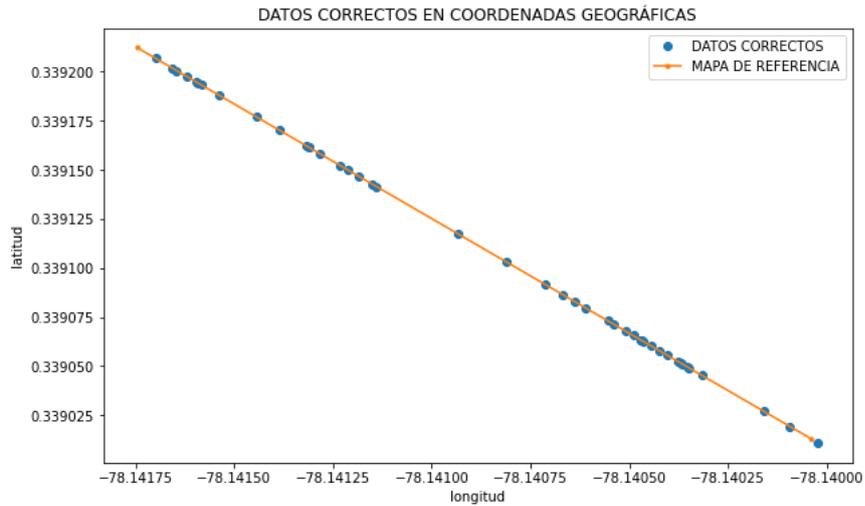


Figura 4.3: Datos GPS y el mapa de referencia.

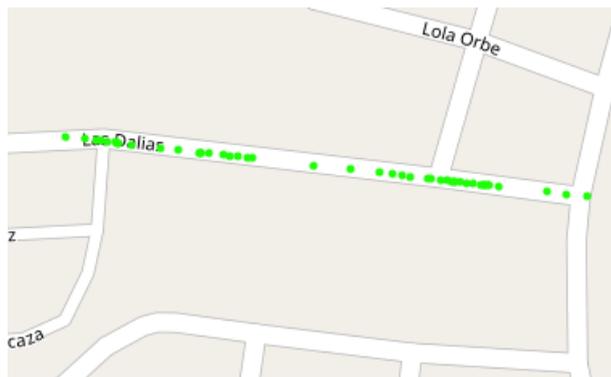


Figura 4.4: Datos GPS proyectados en el mapa de referencia

representada sobre un mapa.

## 4.2. Corrección de Datos en Secciones Mixtas

Los puntos tomados por el GPS se realiza en una trayectoria compuesta de secciones rectas y curvas como es el Redondel de la Madre ubicado en la ciudad de Ibarra, los datos fueron tomados con un intervalo de 2 segundo.

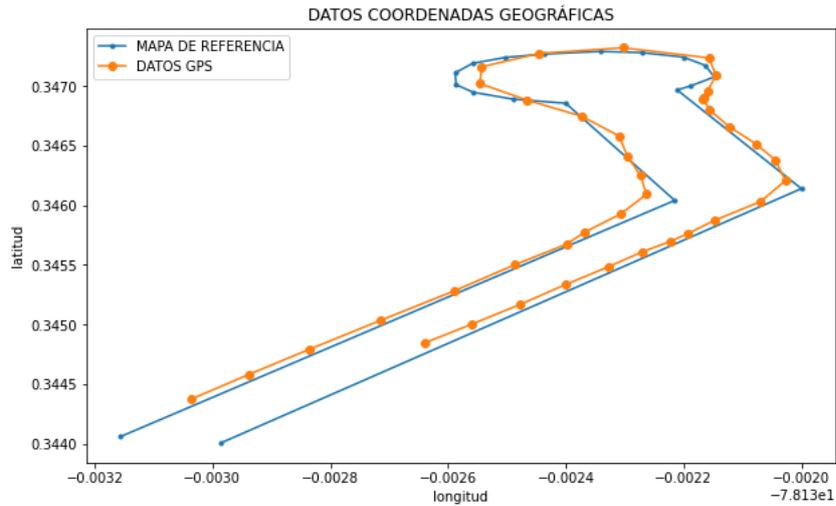


Figura 4.5: Datos GPS y mapa de referencia

En la Fig.4.5 se puede apreciar dos tipos de datos de color azul se observa el mapa de referencia y sobre el mismo están los datos tomados con el dispositivo GPS.

Después de filtrar los datos obtenemos la Fig.4.6 en la que están representados, el mapa de referencia de color azul y los datos obtenidos con el GPS corregidos de color naranja.

En ésta última figura podemos observar que existe un error de parte de algunos puntos, ya que no están correctamente ubicados en las secciones del mapa de referencia, los datos presentan éste tipo de error en los intervalos que los datos están muy seguidos.

Ahora si se toma nuevamente los datos GPS pero con un intervalo de 3 segundos, ya no tiene el problema de los puntos consecutivos que se encontraban en algunas secciones, las gráficas varían como podemos ver en la Fig.4.7, nuevamente se muestran los datos del mapa de referencia en color azul y los datos tomados el color naranja.

Los datos se filtran y se obtiene los resultados que muestra la Fig.4.8.

Los Errores que presentaba esa sección ya no aparecen, por lo que se ve una corrección de puntos más óptima.

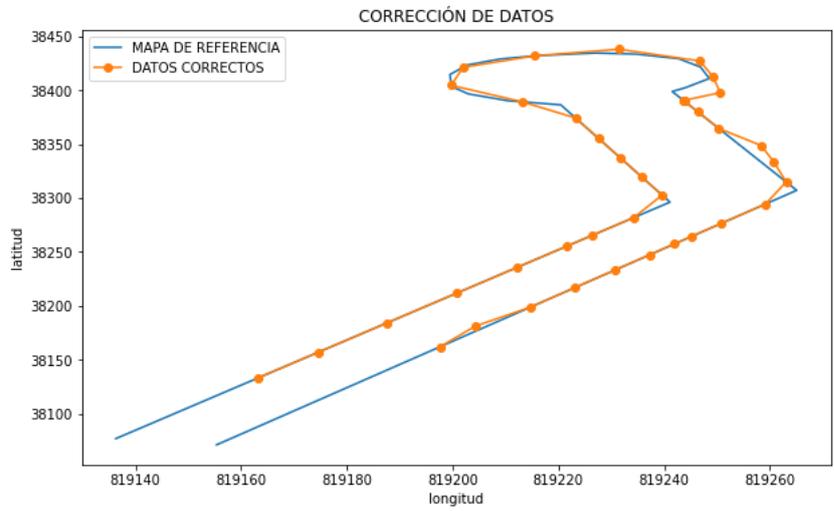


Figura 4.6: Datos GPS proyectados en el mapa de referencia

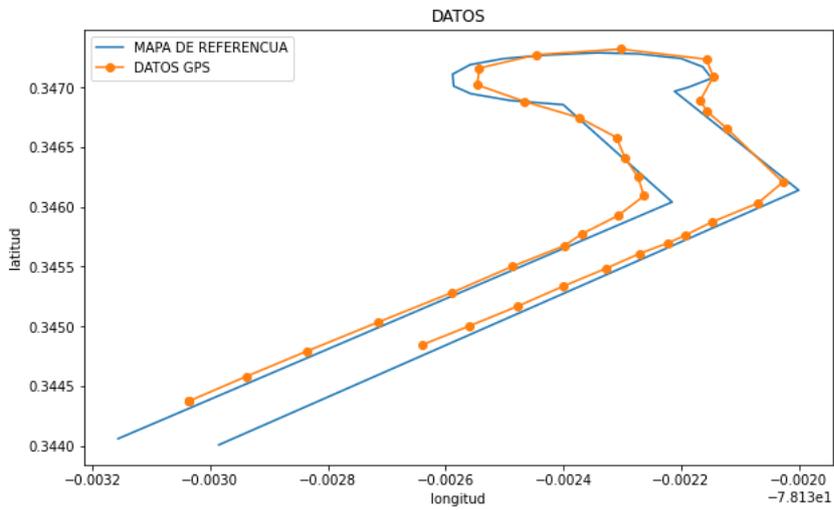


Figura 4.7: Datos GPS y el mapa de referencia.

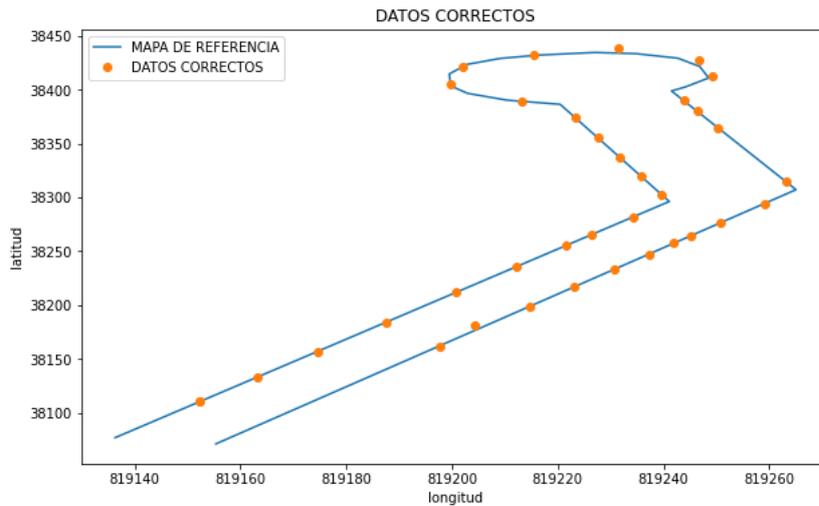


Figura 4.8: Datos GPS proyectados en el mapa de referencia.

### 4.3. Corrección de Datos en Secciones Rectas con Ángulo de Inclinación entre calles

No toda las calles se encuentran de forma perpendicular una con otra, existen calles que presentan variaciones en su rectitud creando inclinaciones entre ellas, una muestra está en la calle Las Dalias que al pasar al sector las odilas su extensión tiene un ángulo de inclinación por lo que no es una recta como tal. Los datos que se adquirieron en éste sector están tomados con un intervalo de 2 segundos, en la Fig. 4.9 se muestra el mapa de referencia de color azul y los datos del GPS en color naranja.

Luego del proceso de correspondencia de mapas se obtiene la grafica Fig. 4.10 en el que se visualizan dos datos el primero en color azul es el mapa de referencia y los valores de color naranja son los valores corregidos del GPS.

En la Fig.4.11 se puede visualizar las 3 gráficas para poder comparar los resultados obtenidos con los datos adquiridos. Como se puede observar existe un error de 6 puntos que están fuera del mapa de referencia, éstos errores por lo general se ven al tomar datos muy seguidos.

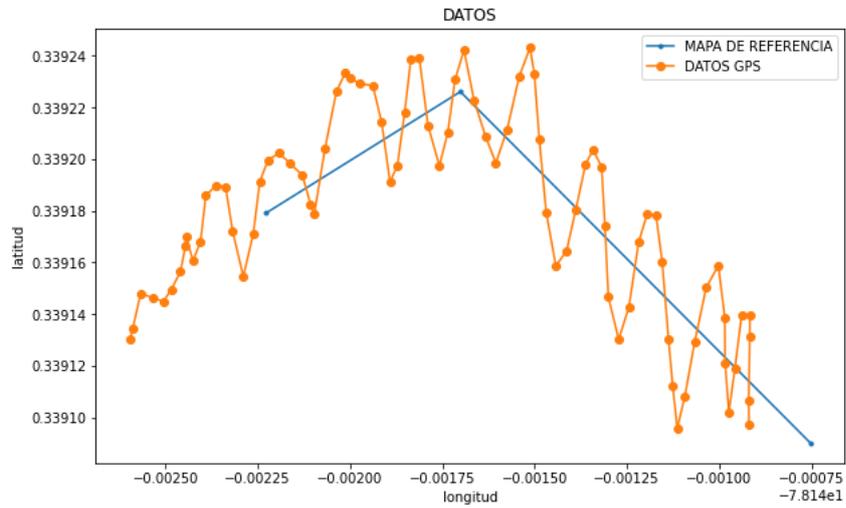


Figura 4.9: Datos GPS y el mapa de referencia

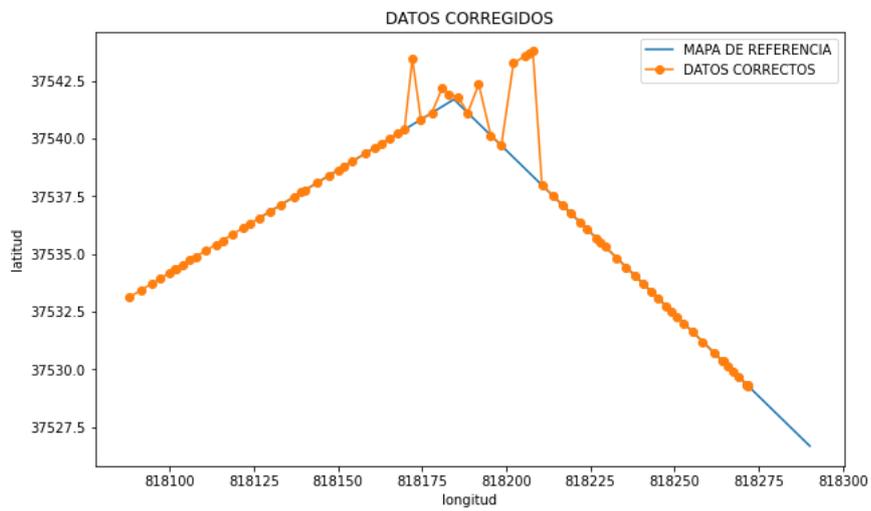


Figura 4.10: Datos GPS y el mapa de referencia

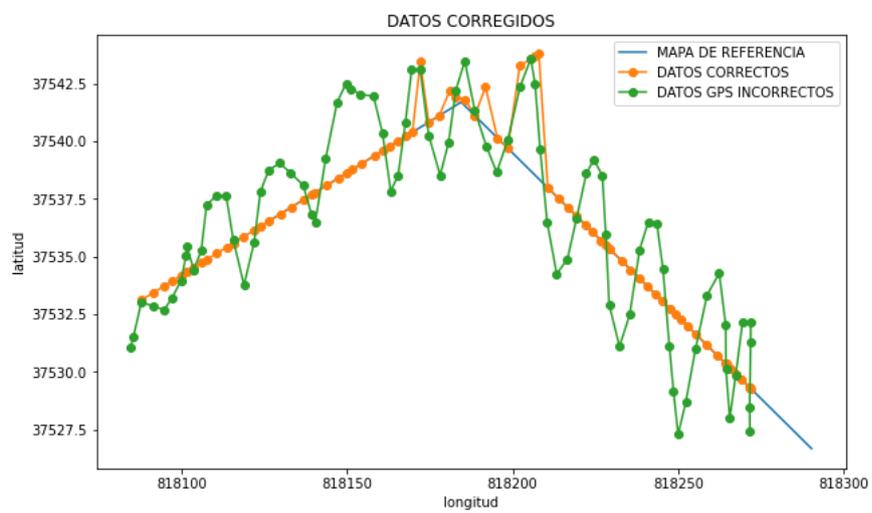


Figura 4.11: Datos GPS y el mapa de referencia

## Capítulo 5

# CONCLUSIONES Y TRABAJO FINAL

Este capítulo muestra las conclusiones del presente proyecto y propone algunas opciones de trabajo futuro.

### 5.1. Conclusiones

- La aplicación desarrollada permite proyectar puntos tomados con el GPS sobre un mapa de referencia que contiene datos de los puntos de intersección de las calles. Usando algoritmos matemáticos previamente probados en diferentes entornos que se aplican consecutivamente para la selección del segmentos de calle.
- Los datos GPS vienen dados en coordenadas geográficas (latitud y longitud) y para ser procesados tienen que estar en coordenadas UTM (X y Y), por lo que tienen que ser transformados.
- Para poder realizar la corrección de datos en zonas curvas, la trayectoria debe ser dividida en secciones que posteriormente se evalúan para determinar el segmento del mapa de referencia que corresponde cada punto.
- El método geométrico al ser aplicado en diferentes escenarios varía sus resultados en especial si los datos son tomados con intervalos de tiempo cortos o largos. Si los tiempos

son cortos existen puntos que no se proyectan correctamente y si son largos la totalidad de los puntos se proyectan hacia en el segmento que le corresponde luego de evaluar la proximidad.

## **5.2. Trabajo futuro**

Este trabajo muestra valores filtrados a través de un método geométrico de proyección de puntos sobre un mapa de referencia. Para poder mejorar los resultados se propone:

- Evaluar los intervalos de tiempo en los que son tomados los datos ya que el resultado varía, si los intervalos de tiempo son cortos presentan errores al proyectar algunos puntos, mientras que si son largos los puntos son proyectados correctamente.

# Bibliografía

- [1] E. Huerta, A. Mangiaterra, G. Noguera “GPS Posicionamiento Satelital”, in *Computer*, pp. 12, 2005.
- [2] M. Martínez, “Sistemas de Posicionamiento Global y Teoría de la Relatividad”, in *Computer*, Murcia , 2014.
- [3] X. Lin, H. Chen, D. Jicheng and W. Xin “Implementation of GPS High-Precision Positioning Post-Processing Technique”, *IEEE Access*, 2009.
- [4] J. Prieto and J. Velasco, “Errores y Presición de las observaciones GPS”, in *Notas y gráficos para la asignatura Aplicación del GPS en la geomática*, pp. 80, 2014.
- [5] M. Abdolreza, “Vehicle Route Prediction and Time of Arrival Estimation Techniques for Improved Transportation System Management”, in *IEEE Access*, 2003.
- [6] Arduino, “.ARDUINO”, 12 Agosto 2015. [Online]. Available: <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=341410.0>, [Accessed 27 Julio 2018].
- [7] J. Greenfeld, ”Matching GPS Observation to Locations on a Digital Map”, in *New Jersey Institute of Technology*, pp. 14, 2002.
- [8] R. Kamalamba, ”Map Matching Algorithms in GPS Navigating System and Their Function”, in *Kajamalai: International Jurnal of Computer Science and Mobile Applications*, 2014.

- [9] C. Collier, "In Vehicle Route Guidance Systems Using Map Matched Dead Reckoning", in *IEEE Access*, pp. 5, 1990.
- [10] T. Giménes, M. Ros, "Sistema de Posicionamiento Global", in *Gravitación y Astrofísica*, pp. 2, 2010.
- [11] M. -J Presa, "Fundamentos GPS", [En línea]. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/actividadesdeusopublico/home/gps/fundamentos-del-gps>, 2014.
- [12] E. Martí, "Margen de error del GPS", 19 Febrero 2013. [Online]. Available: <https://noticias.universia.es/en-portada/noticia/2013/02/19/1005492/reducen-margen-error-gps.html> , [Accessed 27 Julio 2018], in *Universidad Carlos III*
- [13] A. Quddus, W. Yotto, L. Zhao and R. Noland, "A General Map Matching Algorithm for Transport Telematics Applications", in *Head of Engineering Geomatics Group, Department of Civil and matics applications. The proposed MM algorithm uses the Environmental Engineerin*, pp. 160, 2003.
- [14] A. Quddus, W. Yotto, L. Zhao and R. Noland, "A General Map Matching Algorithm for Transport Telematics Applications", in *Head of Engineering Geomatics Group, Department of Civil and matics applications. The proposed MM algorithm uses the Environmental Engineerin*, pp. 161, 2003.
- [15] J. Greenfeld, "Matching GPS Observation to Locations on a Digital Map", in *New Jersey Institute of Technology*, pp. 2-7 January, 2002.
- [16] J. Greenfeld, "Matching GPS Observation to Locations on a Digital Map", in *New Jersey Institute of Technology*, pp. 3 January, 2002.
- [17] S. Muhammad, N. Laghari, M. Ali, M. Farrukh, "GPS Estimation using Kalman Filter", in *International Journal for Scientific Research and Development*, 2018.

- [18] F. Crovo, “Análisis de trayectoria guiada por GPS utilizando métodos de estimación”, in *UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN*,2014
- [19] D. Jwo, C. Lai, “Unscented Kalman filter with nonlinear dynamic process modeling for GPS navigation”, in *GPS Solutions*,pp. 249-260, 2007
- [20] G. Welch, G. Bishop, “An Introduction to the Kalman Filter”, in *University of North Carolina*, 2006.
- [21] M. Laaraiedh, “Implementation of Kalman Filter with Python Language”,in *University of Rennes*,2012
- [22] A. Solera, “EL FILTRO DE KALMAN”,in *DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS*, 2003
- [23] M. Aranda, “Estudio y aplicación del Filtro de Kalman en fusión de sensores en UAVs”,in *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla*, 2017
- [24] M. Biezen, “The Kalman Filter”,in *www.ilectureonline.com*, 2016
- [25] S. Ibáñez, J. Gisbert, H. Moreno, “EL SISTEMA DE COORDENADAS UTM”,in *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural*, 2011
- [26] G. Rossum, F. Drake, “El tutorial de Python”, in *http://docs.python.org.ar/tutorial/*, 2017
- [27] P. S. Foundation, “Mathematical functions”, in *https://docs.python.org/2/library/math.html?highlight=r* 2019
- [28] P. Community, “Python Data Analysis Library”,in *https://pandas.pydata.org/*,2019
- [29] J. Hunter, D. Dale, E. Firing, M. Droettboom, “Matplotlib”,in *https://matplotlib.org/*,2019
- [30] E. Travis, “Numpy”,in *https://numpy.org/*,2019
- [31] T. Bieniek, B. Andel “utm”,in *https://github.com/Turbo87/utm*,2019

# Apéndice

## .A. Aplicación en python

### Programa 1: Código de la aplicación

---

```
#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8

# In[1]:

# #import librerias
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import math
import utm
import folium
import branca

GPSData = pd.read_csv('Escritorio/nuevo/redondell.csv', # datos GPS
                    header=0)
REFMAP = pd.read_csv('Escritorio/nuevo/REFredondell.csv', #mapa de referencia
                    header=0)

# VARIABLES datos GPS
latGPS = GPSData['lat'] # latitud Datos GPS
lonGPS = GPSData['lon'] # longitud Datos GPS
UTMX = [] # coordenadas X
UTMY = [] # coordenadas Y
# VARIABLES mapa de referencia
latRM = REFMAP['lat']
lonRM = REFMAP['lon']
REFX = []
REFY = []
m=[]
X.1=[]
Y.1=[]
X.2=[]
Y.2=[]
D=[]
d1=[]
d2=[]
```

```

d3=[]
d4=[]
d5=[]
d6=[]
d7=[]
d8=[]
d9=[]
d10=[]
d11=[]
d12=[]
d13=[]
d14=[]
d15=[]
d16=[]
d17=[]
d18=[]

#crea mapa si se quiere visualizar

data = pd.DataFrame(GPSData[:43], columns = ['lat','lon'])
data.head()

def colores(row):
    return 'blue'

data['color'] = data.apply(colores , axis=1)
data.head()

mapred_GPS = folium.Map(location=[0.339035,-78.140066], zoom_start=100)

data.apply(lambda row:folium.CircleMarker(location=[row["lat"], row["lon"]],
                                             radius=1, fill_color=row['color'], color=row['color']
                                             ])
           .add_to(mapred_GPS), axis=1)

#coordenadas Geograficas a UTM/GPS
def XY():
    for i in np.arange(0, len(lonGPS)):
        (x, y, zonanumber, zonaletter) = utm.from_latlon(latGPS.loc[i], lonGPS.loc[i])
        UTMX.append(x)
        UTMX.append(y)

```

```

# #coordenadas Geograficas a UTM / Mapa referencia (X1,Y1)(X2,Y2)
def XYR():#jupyter notebook paramyko libreria —>folium par grafiicar y crear mapas

    for i in np.arange(0, len(lonRM)):
        (x, y, zonanumber, zonaletter) = utm.from_latlon(latRM.loc[i], lonRM.loc[i]) #ix 2.7.
            loc 3.6
        REFX.append(x)
        REFY.append(y)

#primera parte

XYR()
#calcula pendiente
for i in range (0,18):
    X11=REFX[i]
    Y11=REFY[i]
    X22=REFX[i+1]
    Y22=REFY[i+1]
    m1=(Y22-Y11)/(X22-X11)
    m.append(m1)
    X_1.append(X11)
    Y_1.append(Y11)
    X_2.append(X22)
    Y_2.append(Y22)

XY()
X_3 = np.array(UTMX)
Y_3 = np.array(UTMY)

#calcula distancias
for i in range(0,18):
    X1=X_1[i]#los valores estaticos
    Y1=Y_1[i]
    X2=X_2[i]#los valores estaticos
    Y2=Y_2[i]
    for j in range(0,36):
        X3=X_3[j]#el que se mueve
        Y3=Y_3[j]
        #CORRECT DATA
        d=((X3*(Y1-Y2)-Y3*(X1-X2)+(X1*Y2-X2*Y1))/(math.sqrt(((X1-X2)**2)+((Y1-Y2)**2))))
        D.append(d)

```

```

D = np.absolute(D)
#agrupa valores por segmento
for k in range(0,648):
    df=D[k]
    if k<36:
        d1.append(df)
    if k>35 and k<72:
        d2.append(df)
    if k>71 and k<108:
        d3.append(df)
    if k>107 and k<144:
        d4.append(df)
    if k>143 and k < 180:
        d5.append(df)
    if k>179 and k < 216:
        d6.append(df)
    if k>215 and k < 252:
        d7.append(df)
    if k>251 and k < 288:
        d8.append(df)
    if k>287 and k < 324:
        d9.append(df)
    if k>323 and k < 360:
        d10.append(df)
    if k>359 and k < 396:
        d11.append(df)
    if k>395 and k < 432:
        d12.append(df)
    if k>431 and k < 468:
        d13.append(df)
    if k>467 and k < 504:
        d14.append(df)
    if k>503 and k < 540:
        d15.append(df)
    if k>539 and k < 576:
        d16.append(df)
    if k>575 and k < 612:
        d17.append(df)
    if k>611 and k < 649:
        d18.append(df)
#grafica datos GPS y mapa de referencia

plt.figure()

```

```

plt.plot(lonRM,latRM, '- ', label='Mapa de referencia')
plt.plot(lonGPS,latGPS, 'o-', label='Datos GPS')
plt.ylabel('latitud') # nombra el eje x
plt.xlabel('longitud') # nombra el eje y
plt.title('DATOS')
plt.legend()
plt.show()

```

```
# In [2]:
```

```
DC=[]#agrupa distancias por cada punto
```

```

for i in range(0,36):
    a_3=[d1[i],d2[i],d3[i],d4[i],d5[i],d6[i],d7[i],d8[i],d9[i],d10[i],d11[i],d12[i],d13[i],d14
        [i],d15[i],d16[i],d17[i],d18[i]]
    #a4=[L4[i+1],L5[i+1]]
    DC.append(a_3)

```

```
# In [3]:
```

```

#busca el menor valor de las distancias de cada punto
o1=[p for p, v in enumerate(DC[17]) if v == min(DC[17])]
#print(o1)
w=np.array(o1)
ww=np.int(w)
#print(DC[7])

```

```
# In [4]:
```

```

#agrupa valores minimos para saber numero de segmento
zk=[]
for j in range(0,36):
    o1=[p for p, v in enumerate(DC[j]) if v == min(DC[j])]
    # print(o1)
    w=np.array(o1)
    ww=np.int(w)
    zk.append(ww)

```

```

# In [5]:

#calcula la X & Y final proyectada en el mapa de referencia
Xff=[]
Yff=[]

for h in range (0,36):
    c=zk[h]
    XF1=X_1[c]
    XF2=X_2[c]
    YF1=Y_1[c]
    YF2=Y_2[c]
    XF3=X_3[h]
    YF3=Y_3[h]
    mf=m[c]
    XF=(mf*(YF3-YF1+(mf*XF1))+XF3)/((mf**2)+1)
    YF=YF1+(mf*(XF-XF1))
    Xff.append(XF)
    Yff.append(YF)

```

```

# In [6]:

#grafica los puntos proyectados sobre el mapa de referencia
plt.figure()
plt.plot(REFX,REFY, '-', label='Mapa de referencia')
plt.plot(Xff,Yff, 'o', label='Datos correctos')
plt.ylabel('latitud') # nombra el eje x
plt.xlabel('longitud') # nombra el eje y
plt.title('DATOS CORRECTOS')
plt.legend()
plt.show()

```

---