



# **Desarrollo de una aplicación web para procesamiento de datos satelitales mediante la técnica denominada “procesamiento por punto preciso”.**

**Wilmar Fernando Pineda Rojas**

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Ingeniería Catastral y Geodesia  
Bogotá D.C., Colombia  
Año 2014



# **Desarrollo de una aplicación web para procesamiento de datos satelitales mediante la técnica denominada “procesamiento por punto preciso”.**

**Wilmlar Fernando Pineda Rojas**

Anteproyecto para trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Catastral y Geodesta**

Director:  
Ph.D., Ruben Javier Medina Daza

Grupo de Investigación:  
Grupo GNU/Linux de La Universidad Distrital - Semillero En Tecnología Libre

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Ingeniería Catastral y Geodesia  
Bogotá D.C., Colombia  
Año 2014



# Contenido

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1. Formulación del problema</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivo General . . . . .	3
2.2. Objetivos específicos . . . . .	3
<b>3. Hipotesis</b>	<b>4</b>
<b>4. Justificación</b>	<b>5</b>
<b>5. Contexto Teórico</b>	<b>6</b>
5.1. Sistema GPS (Global Positioning System) . . . . .	6
5.2. GLONASS . . . . .	7
5.3. GNSS . . . . .	8
5.4. Datos RINEX y Efemérides Precisas SP-3 . . . . .	9
5.5. Procesamiento por Punto Preciso . . . . .	9
5.6. GPSTK (GPS ToolKit) . . . . .	10
5.7. Ruby on Rails . . . . .	12
5.8. Bootstrap . . . . .	12
5.9. Antecedentes . . . . .	13
<b>6. Diseño Metodológico</b>	<b>17</b>
6.1. Definición de Requerimientos y licencia de la Aplicación . . . . .	19
6.2. Elaboración de Arquitectura . . . . .	20
6.3. Definición de algoritmos y Desarrollo de la Aplicación . . . . .	20
6.4. Documentación de la Aplicación . . . . .	21
6.5. Pruebas y Validación . . . . .	21
6.6. Cronograma de Actividades . . . . .	23
<b>A. Anexo: Figuras del Árbol de Objetivos y El Árbol de Problemas</b>	<b>24</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>26</b>

# Lista de Tablas

- 5-1.** Comparación de los tipos de corrección utilizados por la técnica PPP y diferencial de posicionamiento. [20] . . . . . 11
- 6-1.** Componentes estándar IEEE 830 . . . . . 19

# Lista de Figuras

<b>5-1.</b>	Inclinación Satélite . . . . .	8
<b>5-2.</b>	Aplicación de PPP del CSRS . . . . .	13
<b>5-3.</b>	Aplicación de PPP del IBGE . . . . .	14
<b>5-4.</b>	Aplicación de PPP del Dep Geodesy and Geomatics . . . . .	15
<b>5-5.</b>	Aplicación de PPP de la NASA . . . . .	16
<b>6-1.</b>	Metodología del Proyecto . . . . .	17
<b>6-2.</b>	Proceso de Pruebas y Validación . . . . .	22
<b>6-3.</b>	Gráfico tabular de Actividades . . . . .	23
<b>6-4.</b>	Diagrama Gantt Actividades . . . . .	23
<b>A-1.</b>	Árbol de Problemas . . . . .	24
<b>A-2.</b>	Árbol de Objetivos . . . . .	25





# Introducción

El presente proyecto maneja una perspectiva diferente de las desarrolladas hasta la época en el ámbito del procesamiento de datos Rinx, es un planteamiento que se ha venido dando en los últimos años con la aparición del termino y las ideas de la web 2.0 tambien llamada web participativa. En esta se plantea que el conocimiento se puede poner en la web y diferentes actores pueden hacer uso de este. De esta idea de la web deriva la importancia que tiene este proyecto, al constituirse como el primero que presenta a los usuarios de habla hispana que permite este tipo de procesamiento de datos.

En otros países ya se han comenzado a desarrollar varios proyectos de este tipo, algunos ya se encuentran en un estado de madures que parece imposible dado su corto tiempo de desarrollo, pero este hecho casi siempre esta dado por grandes inversiones de capital o el entusiasmo de la comunidad que lo desarrolla. También esta el aspecto teórico, en el cual se plantea usar una técnica que ofrece personalización avanzada del procesamiento de los datos, lo cual hasta el momento solo se ha usado para investigación pero se pretende cambiar ese paradigma.

El objetivo del proyecto es proporcionar a los usuarios que no tienen la posibilidad de adquirir una aplicación avanzada o comercial para procesamiento de datos satelitales, quienes no tienen el tiempo o la disposición para aprender una libre que puede ser algo mas compleja y finalmente a quienes no tienen estaciones de trabajo lo suficientemente poderosas para hacer este tipo de procesamiento.

Se espera que esta aplicación llegue a todas aquellas personas que requieren usar procesamiento de datos satelitales, pero también a las industrias que quieran apoyar la iniciativa en el futuro y finalmente a las comunidades que deseen desarrollar nuevas funcionalidades y proporcionar soporte. La gran limitación que se presenta es la oposición que pueden llegar a generar las viejas tecnologías al desarrollo de esta.

En la parte de desarrollo de la aplicación se pretende usar una metodología ágil que permita avanzar de la mejor manera posible y por parte de las pruebas la metodología es comparativa dado que se plantea usar unos datos de prueba y correr los mismos procesos de esta aplicación en otras que existen en el mercado.

# 1. Formulación del problema

Para la realización del contenido de este capítulo se define primero el árbol de problemas, el cual se presenta en la Figura(A-1), dentro del cual se expone el problema general de manera resumida, para que posteriormente sea mas sencilla la explicación detallada tanto del mismo como de sus causas y sub-causas las cuales serán expuestas en los párrafos que se presentan a continuación.

En vista de los desarrollos que se presentan hoy en día en el área de la geodesia satelital, es importante tener en cuenta que una actividad crucial para el desarrollo de los procesos que son ejecutados en esta rama de la geodesia están vinculados principalmente con el procesamiento posterior de los datos que son obtenidos por el sistema global de navegación por satélite. Motivo por el cual es imprescindible que en cada proceso de análisis realizado en el tema de la geodesia satelital se deba contar con datos post-procesados o en su defecto que se tengan que procesar por medios propios para poder hacer un análisis.

Generalmente no se cuenta con un software que permita el procesamiento de este tipo de datos, entonces cabe la posibilidad de comprar un programa que permita este tipo de procesos a los distribuidores privados o en su defecto usar uno libre, pero siempre estará el impedimento generado porque este programa debe ser instalado primero en el ordenador que se desea hacer el procesamiento, donde caben dos posibilidades generalmente si es libre no se puede instalar de una forma intuitiva y fácil y de ser privativo sólo se podría instalar de forma legal en un computador en el cual se tenga acceso a la licencia.

La motivación que conlleva a la elección de este tema para el proyecto, es principalmente que se presenta en como una necesidad latente en el medio de la geodesia satelital el hecho de tener a la mano de forma ágil, gratuita y accesible un medio para poder realizar el procesamiento de datos de estaciones continuas, entonces se desea realizar el desarrollo de una solución a esta necesidad. La cual a grandes rasgos es una aplicación open source de tipo web que permita acceder a una herramienta de procesamiento de datos de GNSS (Global Navigation Satellite System), pero sin necesidad de tener que realizar una instalación en el equipo y desde cualquier lugar que se encuentre siempre y cuando tenga acceso a una conexión de internet.

## 2. Objetivos

El desarrollo de una aplicación web para realizar el procesamiento de datos satelitales en formato RINEX mediante la técnica denominada *procesamiento por punto preciso*, que permita un fácil acceso y manejo amigable para los usuarios es una necesidad que se ha hecho primordial en el mercado de las soluciones para el procesamiento de datos y objetivo fundamental del presente proyecto.

### 2.1. Objetivo General

- Diseñar, desarrollar e implementar un software que permita un fácil acceso al procesamiento de datos satelitales del GNSS en formato RINEX.

### 2.2. Objetivos específicos

- Establecer las condiciones para una aplicación que no tenga costo alguno y de licencia libre, que permita procesamiento de datos GNSS en formato RINEX.
- Seleccionar un algoritmo apropiado para procesar datos satelitales, explicación teórica del mismo y búsqueda de coherencia del algoritmo con el desarrollo del software.
- Desarrollar un software tipo web, para facilitar el acceso a los usuarios y que la capacidad de procesamiento no dependa de estos.

### 3. Hipotesis

Primero que todo es necesario definir las hipótesis para poder realizar una comparación posterior con los resultados obtenidos, de esta manera realiza una ponderación de los resultados. las hipótesis iniciales se listan a continuación:

1. La creación de una aplicación para procesamiento de datos satelitales en formato RINEX, que permita acceso a la misma en línea, que no tenga asociado costo alguno y que además proporcione acceso al código fuente para que pueda ser mejorada por medio de forks. Generaría un aumento en la utilización de alternativas libres y además de eso mejores herramientas de fácil acceso para los actores de las comunidades científicas que basan sus estudios en el procesamiento de datos RINEX.
2. Un algoritmo que permita obtener los mejores resultados en cuanto a una mejor precisión en el procesamiento de los datos, que este totalmente explicado en sus aspectos teóricos y que además este implementado en una plataforma que permita mejorarlo haciendo inclusión o cambios en las variables que necesita. Sería claramente una mejora en los procesos de investigación sobre modelos de carga oceánica y carga lunar.
3. Al desarrollar una aplicación que sea de acceso en línea que permita a los usuarios procesar sus datos sin que la carga del proceso recaiga sobre sus equipos, generaría un aumento paulatino en el interés de los usuarios que requieren procesar datos satelitales.

Teniendo estas hipótesis iniciales se deben hacer las pruebas pertinentes sobre el sistema para poder determinar si se cumplen, lo cual proporcionará como resultado la bondad del proceso de la aplicación. En el desarrollo del proyecto también es necesario definir las estrategias que serán usadas para el fin de comprobar estas hipótesis.

## 4. Justificación

Con el fin de proporcionar una nueva alternativa para el procesamiento de datos en formato Rinex se desea realizar el presente proyecto. Las mejoras que el proyecto tendrá sobre las alternativas existentes en el mercado actual serán adiciones como la opción de personalizar los insumos que se ingresan al programa por parte del usuario, no solo los datos y las efemérides.

También es menester realizar este proyecto como una forma de facilitar el acceso a las instituciones que se dedican a investigación referente a los datos de satélites, sus órbitas y las condiciones del entorno que pueden afectar las señales que estos emiten.

No solo las investigaciones que lleven a cabo las instituciones sino también se desea enfatizar en el aspecto de la docencia y la investigación docente, los cuales muchas veces se ven forzados a hacer uso de software de difícil acceso y que no les permite hacer una personalización total de los parámetros de entrada de sus procesamientos. Aspecto por el cual las investigaciones se pueden ser limitadas a un rango determinado de variables y condiciones impuestas por dichos programas.

Los estudiantes que asta ahora empiezan en el procesamiento de datos Rinex verán en esta herramienta la facilidad de poder dedicar su tiempo al entendimiento de la teoría y la explicación de fenómenos a partir de la misma. Porque se pretende que la aplicación sea amigable y que el usuario no tenga que preocuparse de la legalidad o de las capacidades de sus estaciones de trabajo.

## 5. Contexto Teórico

En este capítulo se realiza una somera exposición acerca de los temas principales y conceptos teóricos más relevantes relacionados con el desarrollo del trabajo, la explicación de algunos conceptos que resultan esenciales para que se pueda entender cómo se realiza la interacción de los elementos que componen al desarrollo que se desea realizar, siendo estos de dos áreas muy diferentes pero como pretende este trabajo demostrar complementarias.

Como primera medida se realiza la exposición los principales conceptos de geodesia satelital referentes al sistema global de navegación por satélite GNSS (Global Navigation Satellite System), posteriormente se presenta el proceso que se pretende analizar más a fondo con el procesamiento de datos como es la técnica de posicionamiento por punto preciso y para finalizar el capítulo una explicación de las herramientas que serán evaluadas en la etapa de la arquitectura del sistema en el desarrollo metodológico del trabajo.

### 5.1. Sistema GPS (Global Positioning System)

Se presenta en este ítem una introducción a lo que son los aspectos más relevantes del sistema de posicionamiento global, como lo son quien fue el que lo financió y desarrollo, cuantos satélites lo componen, la longitud de onda en que transmite la señales y sus aplicaciones primarias. con el fin de dar a conocer un pequeño resumen de este sistema antes de entrar en el tema de los datos que este proporciona y el uso de estos.

Un resumen muy elemental pero que cumple con el propósito de explicar sistema de posicionamiento global (GPS) es el siguiente: Perteneciente al gobierno de los estados unidos, este provee una señal de uso civil. Esta señal es transmitida de manera simultánea por una constelación compuesta de 32 satélites, cada uno de estos se transporta sobre una órbita de 12 horas, generalmente desde cualquier posición se puede tener como visibles de 8 a 12 satélites del total que componen esta constelación, lo cual es un elemento que facilita la captura de datos en un proceso de obtención de datos con un receptor para el fin de tener observaciones de navegación con la cuales poder trabajar posteriormente y de esta forma que no se presenten rastros de intermitencia en la señal provocados por una no transmisión de datos o pérdida de calidad en la información al no haber suficientes satélites [2, 6].

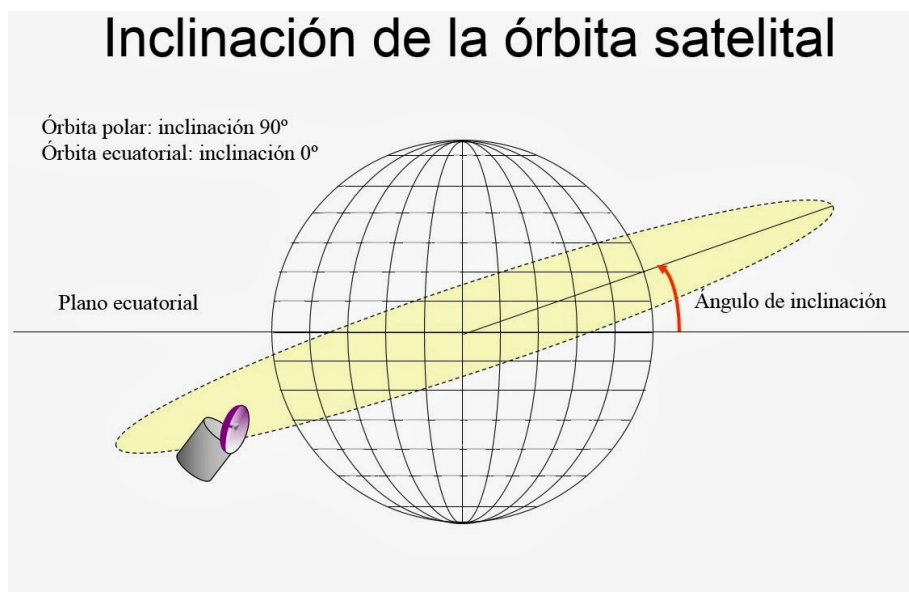
Cada uno de los satélites transmite una señal en el espectro electromagnético, estas señales son propagadas a 1575.42 y 1227.6 MHz, son llamadas  $L_1$  y  $L_2$  respectivamente. En la actualidad la señal civil es ta designada únicamente a  $L_1$ , la señal de  $L_2$  es usada para aplicaciones militares. La señal civil tiene dos componentes, un código de tiempo y un mensaje de navegación. Por diferenciación del código de tiempo recibido con el código de tiempo interno el receptor es capaz de determinar la distancia, o el rango, que esta señal ha viajado. Este rango de observación es afectado por errores en el reloj del receptor, por lo que se llama un pseudorango. El mensaje de navegación contiene las efemérides de satélite, las cuales representan un modelo numérico de la órbita del satélite [2, 6, 24].

## 5.2. GLONASS

GLONASS por sus sigla en ruso Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, es similar en sus características técnicas al GPS, este es un sistema Ruso que actualmente se encuentra activo, proporciona a la comunidad civil que hace uso de sus datos una precisión en cuanto a posicionamiento absoluto relativamente mejor que el sistema GPS, este hecho es debido a la degradación intencionada de la información denominada Disponibilidad Selectiva (SA - Selective Availability) [4].

La constelación del sistema GLONASS está compuesta por 24 satélites contenidos en tres planos orbitales, que tienen un nodo ascendente (o inclinación de la órbita como se ve en la Figura (5-1)) de  $120^\circ$  y un argumento en latitud de  $15^\circ$ . Cada uno de los planos orbitales aloja un total de 8 satélites de la constelación espaciados de forma regular, con un argumento en longitud de  $45^\circ$ . Estos planos están inclinados un con respecto al Ecuador cerca de  $64.8^\circ$ . Los satélites de esta constelación se encuentran aproximadamente a una distancia de 19100 Km de la tierra en órbitas casi circulares, tiene un periodo orbital de 675.8 minutos (aproximadamente 11 horas y 26 minutos), esto quiere decir que se garantiza un mínimo de 5 satélites visibles, con los cual se puede concluir que la constelación de GLONASS está en capacidad de proporcionar una cobertura continua y global para fines de ejecución de observaciones de navegación [4].

La constelación de satélites GLONASS transmite en las bandas  $L_1$  y  $L_2$  las cuales están aproximadamente distribuidas de la siguiente forma,  $L_1$  es transmitida en una longitud de onda que se encuentra entres los 1598.0625 - 1604.25 MHz, mientras que  $L_2$  lo hace en la longitud aproximada de 1242.9375 - 1247.75 MHz. Por estas bandas GLONASS transmite el código  $P$ , mientras que el código  $C/A$  de momento esta solo en la banda  $L_1$ , pero se pensó que también esté disponible en la banda  $L_2$  para uso civil, que con la entrada en funcionamiento de la constelación GLONASS-M en 2005 este hecho se hace realidad, aumentando la calidad de los datos obtenidos en cuanto a mejores prestaciones en precisión de los datos y calidad de la señal [2, 4, 6].



**Figura 5-1.:** Inclinación orbital de un satélite

### 5.3. GNSS

Sistema global de navegación por satélite, en sus siglas en inglés GNSS (Global Navigation Satellite System), es el término genérico estándar para sistemas de navegación por satélite que proporcionan cobertura global de posicionamiento de manera autónoma, el cual tiene sus orígenes con GPS de origen militar desarrollado por el departamento de defensa de los Estados Unidos, durante los años 70 del siglo XX, que empieza a utilizarse con usos civiles a mediados de los años 90 [19].

GNSS, permite determinar la posición (longitud, latitud, altura) y el tiempo, a través de las constelaciones de satélites, receptores y vigilancia de la integridad del sistema con el aumento requerido en la operación prevista. (Anexo 10 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, 2006) Primera fase (GNSS-1): Formado por los dos sistemas de navegación por satélite operativos actuales (el GPS estadounidense y el GLONASS ruso), junto con los sistemas de aumento: SBAS, GBAS, ABAS [3].

Segunda fase (GNSS-2): Formado por el nuevo sistema Galileo, el reciente COMPASS chino y las actualizaciones de los actuales GPS y GLONASS [3].

- **Precisión:** grado de coincidencia entre la posición y/o Velocidad estimada o medida con respecto a la Posición y/o velocidad real.
- **Integridad (incluyendo tiempo hasta alerta):** La seguridad de que todas las funciones de un sistema son realizadas dentro de los límites operacionales, proporcionando el sistema de na-



vegación las alarmas correspondientes con el tiempo suficiente al usuario cuando el sistema no deba usarse para la navegación o una operación dada.

- Continuidad de servicio: Es la posibilidad de que el sistema de navegación proporcione el servicio sin interrupción durante una operación dada.
- Disponibilidad del servicio: Es la posibilidad de que el sistema pueda realizar su función al inicio de una operación dada.

## 5.4. Datos RINEX y Efemérides Precisas SP-3

El formato de intercambio independiente del receptor como sería la traducción literal de sus siglas en inglés (The Receiver INdependent EXchange), también llamado RINEX en el ámbito de los profesionales en el área de navegación satelital y afines. Este formato permite estandarizar los datos para que sea posible por medio de los programas especializados hacer lectura y uso de los mismos.

El formato RINEX fue desarrollado por el Servicio Geodésico Nacional (NGS) en los Estados Unidos y la Universidad de Berna en Suiza. RINEX son realmente tres definiciones de formato que permiten el almacenamiento de observaciones GPS, información del mensaje de navegación GPS, y datos meteorológicos asociados con observaciones GPS. La biblioteca GPSTk contiene clases para leer y escribir datos RINEX en su version 2.1 y 3, de todos los tipos (observados, mensajes de navegación y meteorológicos) [6].

Por otra parte se hace necesaria una definición del contenido de los ficheros SP-3, los cuales son usados para almacenar información referente a las efemerides de los satélites. Usualmente esta información está asociada a las efemerides precisas. La librería que se usará para el desarrollo de la parte de procesamiento de datos GPSTK, tiene la capacidad de manipular archivos de tipo SP-3a y SP-3-c. El formato SP-3 fue diseñado originalmente por el Servicio Geodésico Nacional (NGS) de los Estados Unidos [6].

## 5.5. Procesamiento por Punto Preciso

Precise Point Positioning (PPP) es un método de posicionamiento que utiliza los productos extensamente y fácilmente disponibles de órbitas y correcciones de reloj del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), por ejemplo, obtenidos a través del Servicio Internacional de GNSS<sup>1</sup>, pa-

---

<sup>1</sup>IGS (02-03-2014)- <http://igs.org>

ra realizar el posicionamiento de un punto utilizando tan solo un único receptor GNSS. [13,20,28].

En [12] se dice que el modelo usado por el PPP es a grandes rasgos similar al que utiliza el servicio de posicionamiento estándar ofrecido por el GPS. También se puede destacar con respecto al procesamiento por punto preciso que el procesamiento de un día completo de observaciones estáticas de alta receptores de frecuencia dual con un software de procesamiento de PPP produce mayor precisión posicional hasta nivel de centímetro, tanto horizontal como verticalmente. Acortar el período de tiempo de observaciones continuas y pasar de modo estático a cinemático disminuirá la precisión. Por ejemplo 6 horas de observaciones cinemáticas suelen dar precisión a nivel de unos pocos centímetro, mientras que 1 hora de las observaciones da precisión a nivel de decímetro [18].

El algoritmo para procesamiento por punto preciso PPP fue desarrollado para trabajar en base solo a observaciones del sistema GPS. La precisión, disponibilidad y fiabilidad de los resultados del PPP sin embargo son bastante dependientes del número de satélites visibles. Bajo entornos como zonas urbanas en barrancos, montañas y minas a cielo abierto, por ejemplo, el número de satélites GPS visibles es a menudo insuficiente para la determinación de la posición [26]. Además, incluso en el área abierta donde los satélites GPS disponibles son suficientes, la exactitud y la fiabilidad pueden todavía ser insuficientes debido a una mala geometría satelital PPP. Una posible forma de aumentar la disponibilidad de satélites, así como la fiabilidad de los resultados de posicionamiento es integrar las observaciones GPS y GLONASS. El beneficio de esta integración es evidente sobre todo para aplicaciones en zonas urbanas de difícil acceso, montaña y entornos de minería a cielo abierto [5].

Finalmente es necesario agregar que existen algunas diferencias que hacen al procesamiento por punto preciso sea la técnica que se selecciona para el desarrollo de este trabajo, como que el PPP difiere de la técnica diferencial de GNSS en que para la segunda es necesario tener acceso a observaciones de una o más estaciones de referencia con coordenadas conocidas [9].

Adicionalmente como se muestra en la tabla 5-1 que expresa en forma resumida las diferencias que existen entre los tipos de correcciones usados por la técnica de PPP y diferencial respectivamente, esta comparación sirve como punto de partida para la selección de la que se considera la mejor técnica de procesamiento para implementar en el desarrollo de la aplicación.

## 5.6. GPSTK (GPS ToolKit)

El objetivo principal del proyecto de desarrollo de GPSTk es proporcionar una librería de código abierto y adicionalmente a ella un conjunto de aplicaciones disponibles en la comunidad de personas que hacen uso de datos correspondientes a navegación por satélite, con el fin de facilitar a los investigadores un libre desempeño para centrarse en la investigación y no en la codificación de bajo nivel para poder realizar el procesamiento de sus datos [6].

Correction Type	PPP	Differential GNSS
Satellite Specific errors	✓	×
Precise satellite clock corrections	✓	
Satellite antenna phase centre offset	✓	✓
Satellite antenna phase centre variations	✓	✓
Precise satellite orbits	✓	✓/×
Group delay differential	✓ (only L1)	×
Relativity	✓	×
Satellite antenna phase wind-up error	✓	×
Receiver Specific Errors		
Receiver antenna phase centre offset	✓	✓
Receiver antenna phase centre variations	✓	✓
Receiver antenna phase wind-up	✓	×
Geophysical Models		
Solid earth tide displacements	✓	×
Ocean loading	✓	×
Polar tides	✓	×
Plate tectonic motion	✓	×
Atmospheric Modelling		
Troposphere	✓	✓
Ionosphere	✓ (only L1)	×

**Tabla 5-1.:** Comparación de los tipos de corrección utilizados por la técnica PPP y diferencial de posicionamiento. [20]

Los usuarios de GPS emplean prácticamente todas las arquitecturas de cómputo y versiones de sistemas operativos. Por lo tanto el diseño de la librería GPSTk tiene que dar como resultado un conjunto de software tan independiente de la plataforma como sea posible. La independencia de la plataforma se consigue a través del uso del lenguaje de programación estándar ISO C++. Los principios de la programación orientada a objetos que son utilizados en GPSTk se usan principalmente con el fin de asegurarse de que el código es modular, extensible y mantenible [6].

El conjunto de herramientas GPSTk consta de una biblioteca núcleo, bibliotecas auxiliares, y un conjunto de aplicaciones. GPSTk también proporciona una amplia gama de funciones que resuelven problemas de procesamiento asociados con GPS, así como el procesamiento utilizando formatos estándar: como RINEX. Las bibliotecas son la base de las aplicaciones más avanzadas que son distribuida de manera conjunta con el conjunto que conforma GPSTk [6].

El conjunto de software que conforma GPSTk es patrocinado por el Laboratorio Espacial y de Geofísica, que hace parte de los Laboratorios de Investigación Aplicada de la Universidad de Texas en Austin. GPSTk es el producto de la investigación realizada en GPS ARL: UT desde antes del primer satélite lanzado en 1978, es el esfuerzo conjunto de muchos ingenieros de software y científicos. En 2003, el personal de investigación en ARL: UT decidió promover como código abierto gran parte de su software de procesamiento para GPS como producto de ese evento nace GPSTk [6].

## 5.7. Ruby on Rails

Ruby on Rails, generalmente abreviado como Rails, es un completo framework de desarrollo para aplicaciones web, escrito en el lenguaje de programación Ruby. el uso de este framework depende mucho de la experiencia que se tenga en el ámbito de la programación. Este framework tiene que ser visto desde el contexto del desarrollo de aplicaciones web si realmente se quiere apreciar su potencialidad [14].

En el desarrollo de este trabajo se pretende realizar una aplicación que siga el modelo vista controlador, este es el mismo que utiliza ruby on rails, por ese motivo es que se ha hecho la elección del mismo, que en este caso va a desempeñar la labor de controlador. Desempeñando la función de Recibir los datos y enviarlos para que sean procesados, luego de este proceso los datos los enviara vía correo electrónico a el usuario que se realice la solicitud, de esta forma el usuario tendrá procesados sus datos por medio de la técnica de procesamiento por punto preciso y sin antes haber tenido que instalar un programa especializado para este tipo de labor.

## 5.8. Bootstrap

Bootstrap es un producto de código abierto desarrollado por Mark Otto y Jacob Thornton, quienes cuando fue hicieron el primer lanzamiento de este producto aún eran empleados de twitter. Había una necesidad de estandarizar el conjunto de herramientas que eran usadas por los ingenieros en toda la compañía para el desarrollo de la interfaz [14].

En forma más explícita Bootstrap es un conjunto de estilos y funciones que permiten un desarrollo ágil de la interfaz de un sitio web, este concepto permite poder hacer ese desarrollo usando funcionalidades que actualmente son estándar en esta área del desarrollo web. Este aspecto permite que quien realiza su aplicación pueda prestar los servicios de la misma para diferentes tipos de dispositivos, no solo computadores de escritorio sino también tabletas y dispositivos móviles.

Por las razones expuestas anteriormente es que se recurre a esta tecnología como herramienta para realizar el desarrollo de la interfaz web de la aplicación que sera el producto del proyecto.

## 5.9. Antecedentes

En la actualidad se ha dado mucha importancia a las aplicaciones web, en vista al futuro próximo donde la mayoría de los procesos van a estar orientados a la web, muchos de los grandes productores de software han ido tomando parte en la red para distribuir sus servicios de esta manera, en ese sentido las aplicaciones relacionadas con el concepto de procesamiento de datos no has sido la excepción y muchos distribuidores y entidades relacionadas con el tema ya empezaron su producción.

Uno de los casos más notables lo propone la División de navegación Geodésica del departamento de recursos naturales de Canadá. Lanzando en Noviembre de 2003 dentro del CSRS-PPP que por sus siglas Canadian Spatial Reference System, como un servicio web<sup>2</sup> que permite este tipo de procesamiento por punto preciso, una imagen de la aplicación se puede ver en la Figura(5-2).

**Figura 5-2.:** Aplicación web PPP del CSRS

De la misma forma el IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística pone en funcionamiento su servicio de procesamiento de datos en línea<sup>3</sup>, el cual se muestra en la Figura(5-3) y funciona a

<sup>2</sup>CSRS-PPP (02-03-2014)-<http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>

<sup>3</sup>IBGE PPP (02-03-2014)- <http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>

partir de un archivo que el usuario sube a la red, el cual posteriormente es procesado y el producto de este procesamiento es puesto a disposición para que el usuario lo descargue.

**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**

**IBGE**  
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**ORDEM E PROGRESSO**

**Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)**

ESTA OPÇÃO NÃO É OBRIGATÓRIA.  
Por favor, caso tenha feito o levantamento em uma estação do Sistema Geodésico Brasileiro, preencha o campo abaixo.

Coloque o código da estação que está estampado na chapa do marco: (por exemplo: 1120R)

Selecione um arquivo RINEX:

Selecione o Modo de Processamento:  
☐ Estático ☒ Cinemático

OS VALORES SELECIONADOS AQUI SERÃO ADOADOS PARA TODOS RINEX QUE ESTEJAM COMPRIMIDOS EM UM ÚNICO ARQUIVO.

Tipo de Antena:

Altura da antena (m):  ☐ O valor para altura da antena somente será adotado se esta caixa estiver marcada.

E-mail válido, para onde será enviada a resposta.  
O e-mail não poderá conter espaços no nome:

Nota: O processamento iniciará após a transferência do arquivo, o que pode demorar alguns minutos.  
Caso o resultado não seja enviado em 24 horas, por favor reprocesse.

[Página Inicial](#) | [A Instituição](#) | [Locais de Atendimento](#) | [Estatísticas do Cite](#) | [Edições e Lotações](#)

**Figura 5-3.:** Aplicación web PPP del IBGE

Otro de los casos de éxito a destacar en cuanto a las aplicaciones que prestan el servicio de posicionamiento por punto preciso es el desarrollado en el departamento de ingeniería de geodesia y geomática en la University of New Brunswick, ubicada en Fredericton - Canadá. Esta Aplicación se llama GAPS<sup>4</sup>, por sus siglas en ingles GPS Analysis and Positioning Software.

Al ser una aplicación de tipo web también es un gran antecedente para el trabajo que se desea desarrollar, se incluye en la Figura (5-4) una vista de la pagina web en la que se aloja la aplicación.

En el campo del procesamiento de datos satelitales para determinar la posición de un punto, la NASA no podía quedarse atrás y también implementa su aplicación para procesamiento de datos, denominada Automatic Precise Positioning Service<sup>5</sup> de la cual se adjunta una vista en la Figura(5-5).

Como estas aplicaciones hay muchas, tanto de proveedores públicos como de empresas privadas. Lo que hace innovador este proyecto es ser el primero que se realiza de este estilo en un país de habla hispana y además que se realiza bajo la filosofía del software libre, donde las personas que deseen pueden descargar el código y contribuir con el programa para que este con el futuro pueda prestar mayores servicios a los relacionados en este proyecto.

<sup>4</sup>GAPS PPP (02-03-2014) - <http://gaps.gge.unb.ca/About.html>

<sup>5</sup>NASA PPP (02-03-2014) - [http://apps.gdgps.net/apps\\_file\\_upload.php](http://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php)



### What about GAPS?

Precise point positioning (PPP) is one of the existing techniques for determining point coordinates using a GPS receiver. In this technique, observations produced by a single receiver are used to determine the receiver's location as well as other parameters such as receiver clock and total neutral atmosphere delay. The GPS Analysis and Positioning Software (GAPS) was initially developed at the University of New Brunswick by Rodrigo Leandro. Additions to the source code of the online version have been made by Landon Urquhart and Carlos Alex Garcia.

Although mainly used for positioning, GAPS was designed and built as a veritable "Swiss Army Knife" for GPS data processing, allowing the user to estimate ionospheric delays, code biases, satellite clock errors and code multipath.

For a more detailed description of GAPS, and its capabilities go [here](#). For a list of papers about GAPS go [here](#).


GAPS's development is an on-going project at UNB. Work is currently being done to improve error modeling and prepare GAPS for the future of multi-constellation GNSS positioning.

For more information or questions, please contact: [Carlos Alex Garcia \(c.agarcia@unb.ca\)](mailto:c.agarcia@unb.ca)

**Figura 5-4.:** Aplicación web PPP del Departamento de ingeniería de geodesia y geomática en la University of New Brunswick


Para finalizar este ítem del capítulo también se destaca el uso de herramientas que estos proyectos anteriormente mencionados no ha puesto en práctica en su desarrollo. Como son la extensión de ruby llamada rails para desarrollar las vistas y el controlador de la aplicación, bootstrap para el diseño de la interfaz de usuario y la biblioteca para desarrollo de aplicaciones satelitales GPSTK, la cual está escrita en lenguaje C++.

Es esperado realizar un trabajo que sea medianamente parecido a todos estos grandes desarrollos que preceden a la aplicación de la cual es tema este proyecto, pero se es consciente que esta será desarrollada por una sola persona al principio y por su licencia es posible que en el futuro se unan más desarrolladores para poder dar un mejor soporte a la misma.


**Jet Propulsion Laboratory**  
 California Institute of Technology

[+ View the NASA Portal](#)

[JPL HOME](#)
[EARTH](#)
[SOLAR SYSTEM](#)
[STARS & GALAXIES](#)
[TECHNOLOGY](#)



The Automatic Precise Positioning Service  
of the  
Global Differential GPS System

[Home](#)
[Unique Features](#)
[About GDGPS](#)
[How to use APPS](#)
[Under The Hood](#)
[Instant Positioning](#)
[Registered Users](#)
[Register](#)

**Instant Positioning**

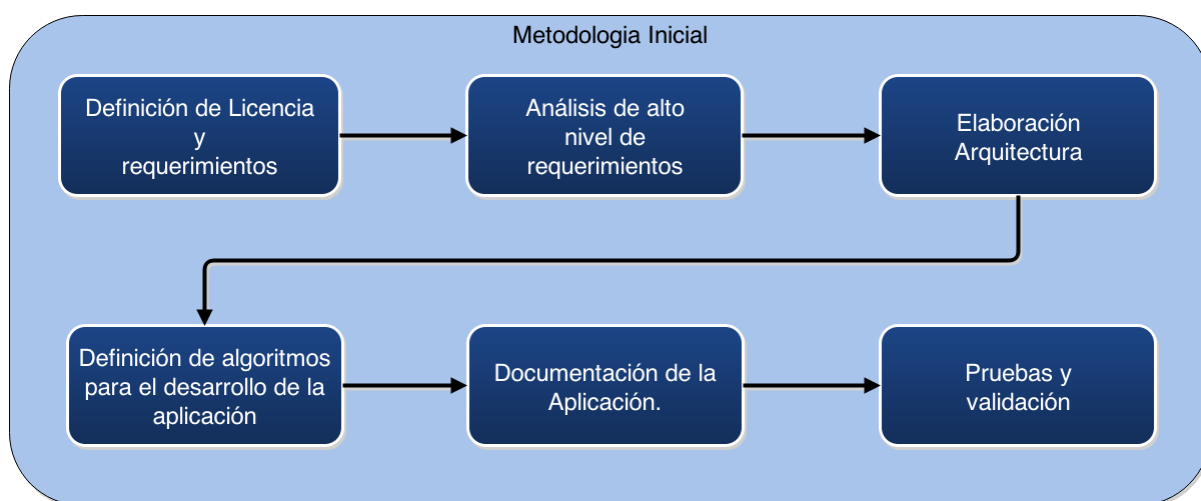
APPS Options	
Processing Mode	<input checked="" type="radio"/> Static <input type="radio"/> Kinematic
Measurement Type	<input type="radio"/> Single Frequency <input checked="" type="radio"/> Dual Frequency
Orbits/Clocks used	JPL Final: Data prior to 2014-02-15 JPL Rapid: Data from 2014-02-15 to 2014-02-25 JPL Ultra R/T: Data from 2014-02-25 to present
L1 Code	<input type="radio"/> CA Code <input checked="" type="radio"/> P Code
Model Pressure Data?	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No
Elevation Dependent Data Weighting	<input checked="" type="radio"/> Flat <input type="radio"/> Sin <input type="radio"/> Sqrt(sin)
Advanced Options	<div> <input type="text" value="7.5"/> Elevation Angle Cutoff           </div> <div> <input type="text" value="300"/> Solution Output Rate (seconds)           </div>

**Figura 5-5.:** Aplicación web PPP desarrollado por la NASA



## 6. Diseño Metodológico

El proyecto es concebido como una oportunidad para poner en práctica los conocimientos obtenidos en algunas de las diferentes asignaturas vistas en el transcurso de la carrera, haciendo uso de el conocimiento proporcionado por estas como la herramienta fundamental para poder realizar la estructura de una aplicación que pretende dar solución a una problemática que se presenta en la actualidad, como es el uso de software propietario y de difícil acceso en el área del post procesamiento de datos Rinex. Por tal motivo es indispensable hacer una recopilación de las dificultades más conocidas que se presentan al momento de post-procesar datos satelitales por el método de punto preciso. A esta parte en el desarrollo de la metodología del proyecto haciendo alusión al desarrollo de software se de denominará según los estándares de ahora en adelante la etapa de *Definición de Requerimientos*, esta definición es ampliamente usada en [1, 11, 16].



**Figura 6-1.:** Gráfico Metodología del Proyecto

Por definición de requerimientos se entiende la etapa o el proceso que constituye la principal fuente de información a partir de la cual se diseña, implementa y prueba el sistema [1]. Tiende a ser uno de los procesos más delicados en el desarrollo de un proyecto, esta etapa no se realiza en su totalidad al principio del proyecto sino que es incremental aun cuando el proyecto ya ha comenzado a desarrollarse.

En otros aspectos también es importante tener en cuenta el diseño de lo que será definir la *Elaboración de Arquitectura del Sistema* [10,22,27]. la que tendrá que ser acorde con los requerimientos primarios del sistema para que pueda dar solución a estos y de esta forma se cumpla con el propósito de la aplicación. Es indispensable que para que se tenga coherencia con el título del proyecto que los actores involucrados en la arquitectura pertenezcan a la misma familia de software que se pretende desarrollar, tanto las librerías de procesamiento de datos satelitales como las librerías y lenguajes para el desarrollo de la aplicación y la interfaz web.

la etapa posterior a la definición de la arquitectura del sistema es el *Diseño y Desarrollo del Sistema* [27]. Que para el caso de este proyecto ha sido denominado Definición de algoritmos y Desarrollo de la Aplicación, estando definidas las herramientas que compondrán el sistema y los niveles en los cuales van a actuar cada una de estas se procede a establecer un diseño preliminar y selección tanto de los algoritmos matemáticos como de programación con el fin de empezar la etapa de desarrollo de la aplicación.

Dentro la etapa de diseño y desarrollo se establece como prioridad el uso de patrones de diseño de software, para que el desarrollo de la aplicación esté acorde con las características que deben seguir los patrones de desarrollo de software tales como: que sea comprobable la efectividad del desarrollo en la resolución del problema para el cual se diseñó, como también el hecho de que el desarrollo debe ser reutilizable para que el uso o implementación de este en otros problemas similares sea posible aun bajo distintas circunstancias [7, 8, 15].

Por último pero no menos importante esta la etapa de *Pruebas y Validación* de la aplicación, la cual tiene como propósito realizar una evaluación al desarrollo de la aplicación y de esta forma establecer si esta cumple o no con los los objetivos propuestos. En la etapa de pruebas se deben proponer una hipótesis que posteriormente serán las que nos darán la medida de bondad para el desarrollo realizado. También se debe tener en cuenta un modelo general de pruebas para poder comparar los resultados obtenidos con los que existen y de esta forma poder corroborar la validez de las hipótesis propuestas.

Es necesario tener en cuenta que para las pruebas que se debe realizar estas de manera ordenada y lo más precisa posible, para que en caso tal que se presenten errores se pueda reportar estos de forma fácil tanto en la etapa de identificación como en la de solución de los mismos. Como desde el principio se pretende que para el desarrollo de la aplicación se aplique un modelo que sea iterativo e incremental esta etapa de pruebas debe estar lo mejor diseñada posible para que las iteraciones del sistema no afecten el desarrollo de toda la aplicación.

La etapa de documentación no es incluida dentro de las etapas maestras por que no es de gran relevancia en el desarrollo teórico del proyecto, pero si se coloca en el documento porque es esencial para el desarrollo práctico del proyecto.

## 6.1. Definición de Requerimientos y licencia de la Aplicación

Esta sección generalmente suele denominarse también Especificación de requisitos de software, la cual esta definida por el estándar de 830 de la IEEE [1]. en el cual se presenta el procedimiento que se debe realizar para poder desarrollar un buen documento de requerimientos, el cual es esencial y se quiere desarrollar una buena aplicación.

El documento de requerimientos según el estándar de la IEEE debe estar compuesto por un mínimo de items, los cuales se pueden ver de forma reducida en la Tabla(6-1).

<b>Documento de Requerimientos</b>
1. Introducción
1.1 Propósito
1.2 Alcance
1.3 Definiciones, siglas, y abreviaciones
1.4 Referencias
1.5 Apreciación global
2. Descripción global
2.1 Perspectiva del producto
2.2 Funciones del producto
2.3 Características del usuario
2.4 Restricciones
2.5 Atención y dependencias
3. Los requisitos específicos
Apéndices
Indice

**Tabla 6-1.:** Componentes mínimos del Documento de requerimientos definido por el estándar IEEE 830 [1]

Para esta etapa de la metodología se pretende realizar este documento de requerimientos definido por el estándar de la IEEE [1], pero que resulte acorde a la aplicación objetivo de este proyecto.

## 6.2. Elaboración de Arquitectura

En el ámbito del desarrollo de software al proceso inicial de diseño que identifica los subsistemas y establece un marco para el control y comunicación de los subsistemas se llama diseño arquitectónico. El resultado de este proceso de diseño es una descripción de la arquitectura de software [23]. Casi siempre la etapa de diseño es confundida y en algunos casos combinada con la con la “etapa de Definición de Requerimientos”, pero aun cuando tienen algunas cosas que se pueden llegar a tomar como comunes a ambas etapas conviene mantener la de diseño mas estrechamente ligada a la arquitectura del software.

Entiéndase por *Arquitectura de Software* a la representación de alto nivel de la estructura de un sistema o aplicación, que describe las partes que la integran, las interacciones entre ellas, los patrones que supervisan su composición, y las restricciones presentes a la hora de aplicar estos patrones [21].

Entendiendo estos dos importantes conceptos previos ahora se puede decir que esta parte del proyecto sera en la cual se realice el diseño de alto nivel de la aplicación. Teniendo en cuenta las entidades que serán parte de la aplicación, como debe efectuarse la comunicación entre estas partes, si las mismas deben seguir patrones previamente definidos o si se desarrollaran algunos nuevos para tal fin, finalmente como se van al organizar las entidades y su representación gráfica para facilitar el desarrollo de la aplicación.

Es importante también tener en cuenta que si en la etapa anterior se hace una exhaustiva labor al definir los requerimientos esta etapa no sera tan compleja, dado que dependiendo de la forma como se tengan los requerimientos se puede implementar una arquitectura de software ya definida.

## 6.3. Definición de algoritmos y Desarrollo de la Aplicación

Es esencial al desarrollar una aplicación el conocer los algoritmos matemáticos que esta va a implementar. Para este proyecto no es la excepción, lo primero que se debe hacer en esta etapa es una revisión bibliográfica acerca del desarrollo teórico para algoritmo de procesamiento tentativamente propuesto en el desarrollo del proyecto.

Es de suma importancia la explicación del desarrollo matemático y finalmente su modelado computacional para transformarlo de un algoritmo matemático a uno de computación, el cual pueda ser escrito en un lenguaje de programación para que finalmente pueda ser interpretado por el computador.

Realizada la identificación y explicación del o los algoritmos debe empezar a desarrollarse la aplicación y según los lineamientos de la arquitectura de software [21] a crear los patrones y las relaciones entre estos y las demás partes de la aplicación.

## 6.4. Documentación de la Aplicación

Suele suceder que algunos desarrollos no están acompañados de una buena documentación, lo cual implica que el software dependiendo el caso puede tornarse difícil de comprender, solo utilizable por aquellos quienes los desarrollaron y aun mas importante difícil de modificar. Para evitar todos estos inconvenientes es necesario definir un proceso de documentación muy bien estructurado y acorde al proyecto [25].

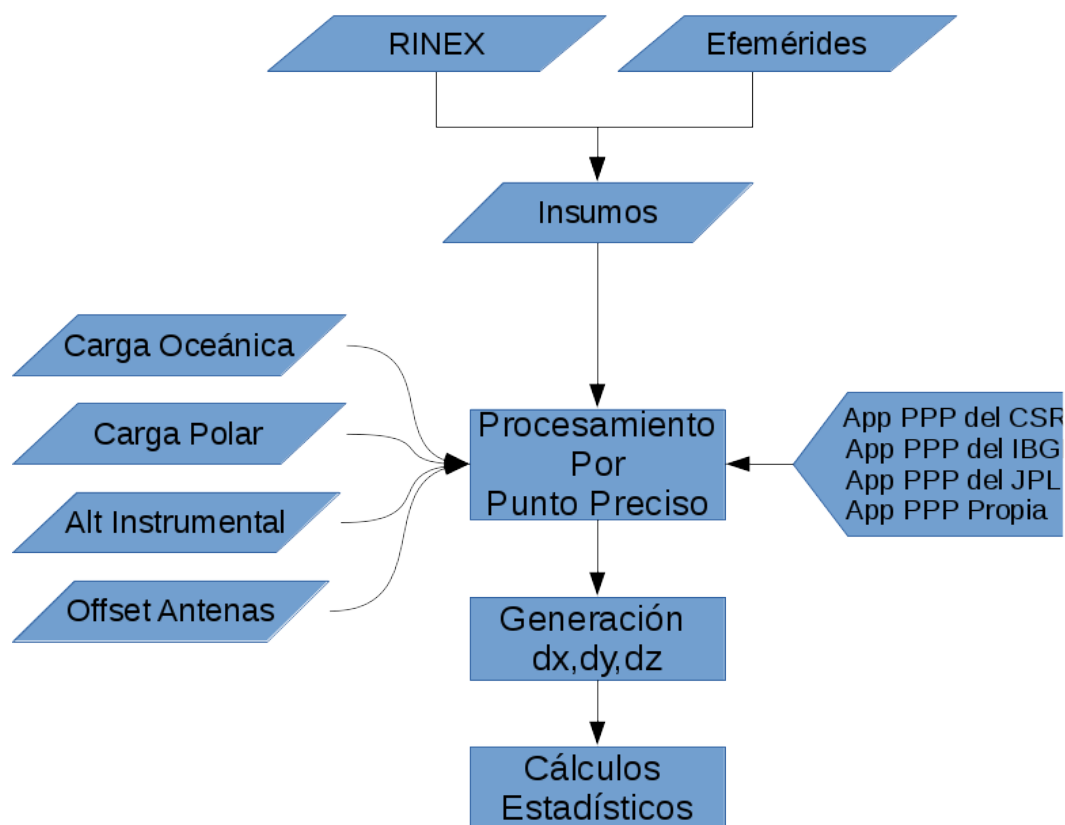
Dado que es un proceso tedioso (menos creativo) el de documentar la aplicación es necesario que cumpla por lo menos con las características mínimas porque es esencial para el mantenimiento de la aplicación. La documentación debe describir la manera de usar el programa, las razones que motivaron la creación del programa, las técnicas usadas para el desarrollo del mismo y cualquier aspecto que no sea muy claro en el desarrollo [17].

## 6.5. Pruebas y Validación

Para la realización de la etapa de pruebas sera necesario comparar los resultados obtenidos con la aplicación desarrollada y algunas de las alternativas similares que se listaron en el apartado de antecedentes, con el fin de poder hacer una evaluación comparativa con respecto a otras aplicaciones que tienen una mayor trayectoria en el procesamiento de datos RINEX.

Precisamente para poder hacer efectiva la etapa de pruebas y validación de los resultados obtenidos se hace necesario definir un procedimiento estándar que permita hacer la comparación de la forma mas imparcial posible y que evalúe las mismas capacidades en cada uno de los casos. Todo esto con el fin de hacer la comparación de la mejor manera posible.

Para el caso que compete a este proyecto se ha definido un proceso que se puede definir como lo mas sencillos posible en el cual intervienen los factores mas relevantes en el procesamiento de datos satelitales y se ha realizado el diagrama que se muestra en la Figura(6-2). El cual se llamara *Diagrama del Proceso de Pruebas y Validación* y sera el punto de control para las pruebas y validación de resultados de la aplicación desarrollada.



**Figura 6-2.:** Diagrama del Proceso de Pruebas y Validación

Como se puede ver en el Diagrama de la Figura (6-2) se tomarán como datos de entrada unos archivos Rinex cualquiera y las efemérides correspondientes a la fecha de toma de esos datos, estos archivos van a constituir los insumos de pruebas. Sumado a estos estarán los modelos que tienen información que mejora la precisión de los datos debido al algoritmo que se pretende utilizar, estos son el modelo de carga oceánica y el modelo de carga polar acordes a los datos, también la altura instrumental y finalmente el offset de la antena del equipo.

6.6. Cronograma de Actividades

A continuación se muestran las actividades que deben ser desarrolladas para la ejecución del proyecto, ordenadas en una tabla (6-3) y su respectivo gráfico de Gantt (6-4).

		Nombre	Durac...	Inicio	Terminado	Predecesores	Nombres del Recurso
1		licencia de la Aplicación	2 days	10/04/14 08:00 AM	11/04/14 05:00 PM		
2		Elaboración de Arquitectura	5 days	10/04/14 08:00 AM	16/04/14 05:00 PM		
3		Definición de algoritmos	5 days	17/04/14 08:00 AM	23/04/14 05:00 PM	2	
4		Desarrollo de la Aplicación	30 days	5/05/14 08:00 AM	13/06/14 05:00 PM	3	
5		Documentación de la Aplicación	30 days	14/04/14 08:00 AM	23/05/14 05:00 PM	1	
6		Pruebas y Validación	10 days	16/06/14 08:00 AM	27/06/14 05:00 PM	4	
tesis							

Figura 6-3.: Tabla cronograma de las actividades del proyecto,

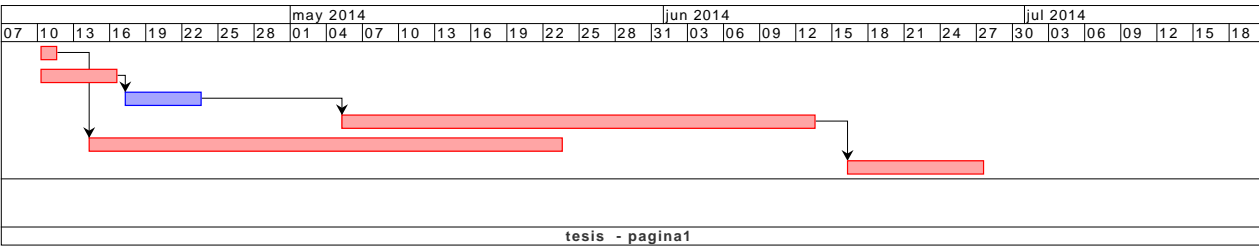


Figura 6-4.: Gráfico gantt de las actividades del proyecto,

## A. Anexo: Figuras del Árbol de Objetivos y El Árbol de Problemas

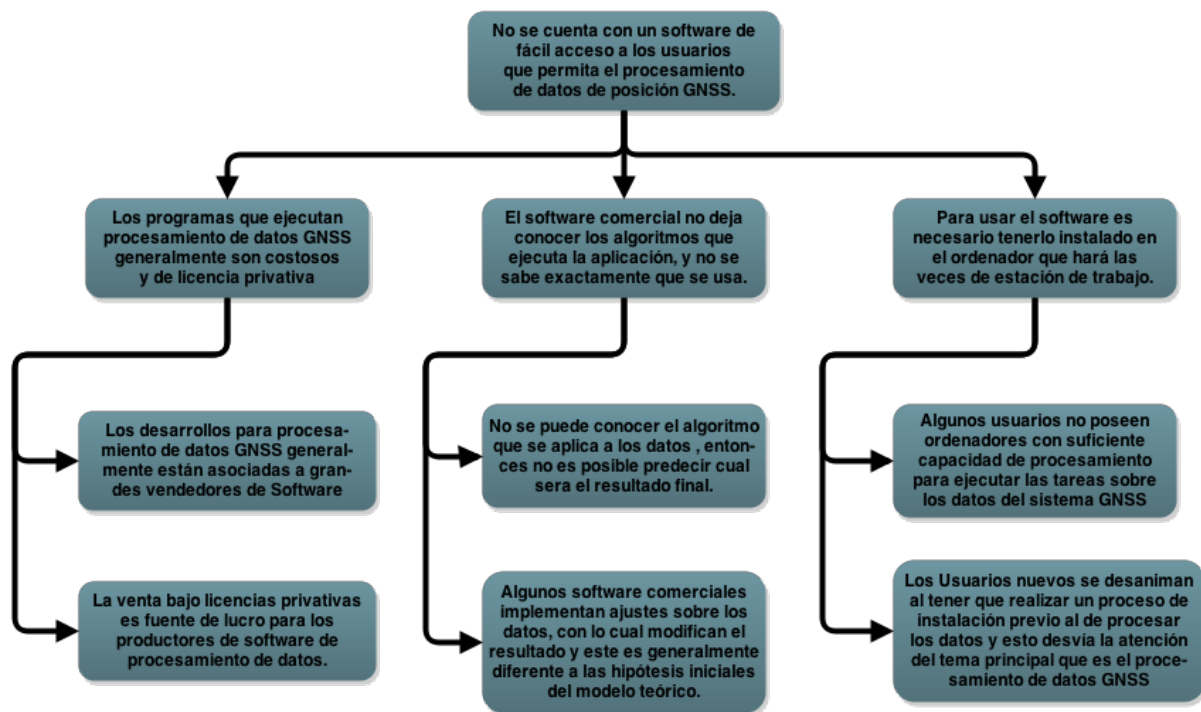


Figura A-1.: Gráfica del Árbol de Problemas



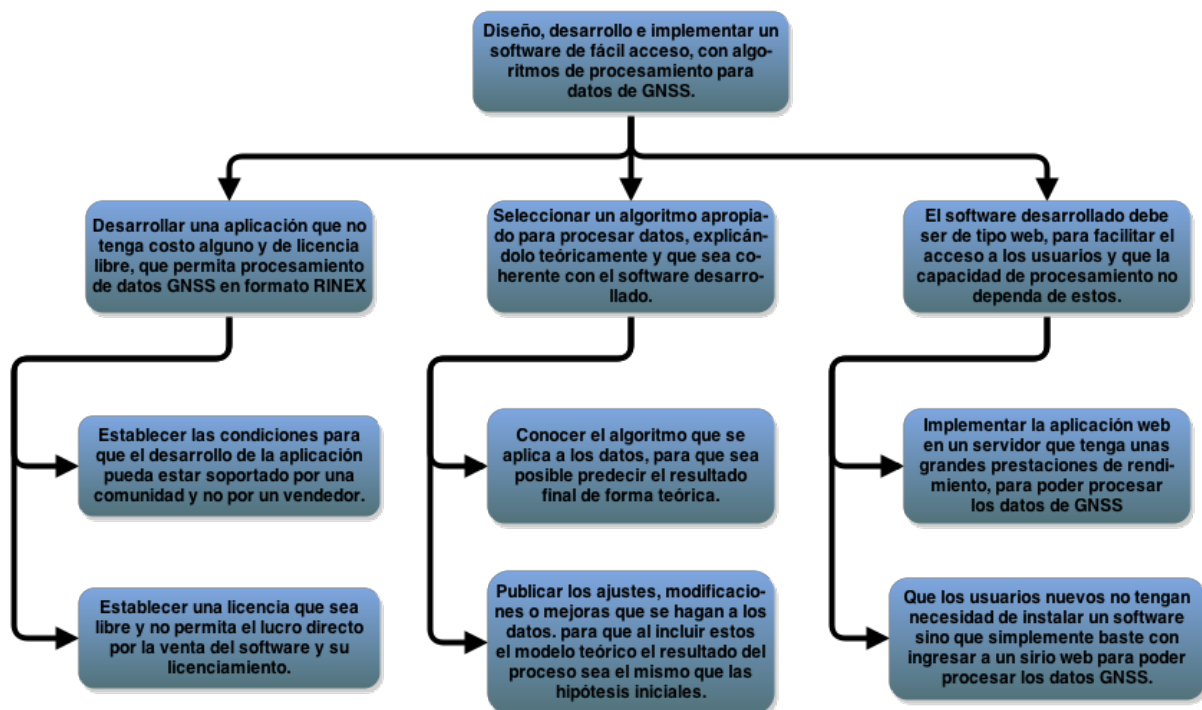


Figura A-2.: Gráfica del Árbol de Objetivos

# Bibliografía

- [1] IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications. En: *IEEE Std 830-1998* (1998), Oct, p. 1–40
- [2] BAKER, R.M.L. ; MAKEMSON, M.W.: *XIIth International Astronautical Congress, Washington, D. C., 1961: proceedings*. Academic Press, 1963 (XIIth International Astronautical Congress, Washington, D. C., 1961: Proceedings v. 1)
- [3] BARRAGÁN, Juan R. M.: *Desarrollo y Análisis de la Precisión de la Red de Antenas de Referencia GNSS de Extremadura. Trazabilidad de Flotas de Transporte Hortofrutícola*. Extremadura, Universidad de Extremadura, Tesis Doctoral, 2010
- [4] BLAS, M Paz H. ; ORTEGA, Juan Carlos B.: *GPS and GLONASS, Descripción y Aplicaciones*. Madrid, 1998
- [5] CHANGSHENG, Cai ; YANG, Gao: Precise Point Positioning Using Combined GPS and GLONASS Observations. En: *Journal of Global Positioning Systems* Vol.6, No.1 (2007), p. 13–22
- [6] CONN, Tracie ; GAUSSIRAN, Tom ; HARRIS, R. B. ; LITTLE, Jon ; MACH, Richard ; MUTTON, David ; RENFRO, Brent ; TOLMAN, Brian ; CRADDOCK, Timothy ; VERMEER, Martin: *The GPS Toolkit, A User's Guide for Scientists, Engineers and Students*. Texas : Applied Research Laboratories, The University of Texas at Austin and Department of Surveying, Helsinki University of Technology, 2007
- [7] DEITEL, H.M. ; DEITEL, P.J. ; ELIZONDO, A.V.R.: *Cómo programar en Java*. Pearson Educación, 2004 (Pearson Educación). – ISBN 9789702605188
- [8] GAMMA, E.: *Patrones de diseño: elementos de software orientado a objetos reutilizable*. Pearson Educación, 2002 (Addison-Wesley professional computing series). – ISBN 9788478290598
- [9] GRINTER, Thomas ; ROBERTS, Craig: Precise Point Positioning: Where are we now? En: *International Global Navigation Satellite Systems Society, IGNSS Symposium 2011, 15 ? 17 November, 2011*, p. 1–10
- [10] JACOBSON, I. ; BOOCH, G. ; RUMBAUGH, J.: *El proceso unificado de desarrollo de software*. Félix Varela, 2004 (The Addison-Wesley Object Technology Series)

- [11] JURISTO, N. ; MORENO, A.M. ; SANCHEZ-SEGURA, M.-I.: Guidelines for Eliciting Usability Functionalities. En: *Software Engineering, IEEE Transactions on* 33 (2007), Nov, Nr. 11, p. 744–758. – ISSN 0098–5589
- [12] KOUBA, Jan ; HÉROUX, Pierre. *GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products and GPS Solutions*. 2001
- [13] KOUBA, Jan ; HÉROUX, Pierre. *GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products*. 2002
- [14] LENZ, P.: *Simply Rails 2*. SitePoint Pty, Limited, 2008 (Safari Books Online). – ISBN 9780980455205
- [15] LÓPEZ, E.T. ; RAMON, A.O. ; SARROCA, E.M. ; SEONE, C.G.: *Diseño de sistemas software en UML*. Universitat Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica, 2004 (e-politext). – ISBN 9788498800753
- [16] MOORE, James W.: *Encyclopedia of Software Engineering - Software Engineering Standards*. United States - Hoboken : John Wiley and Sons, Inc, 2002
- [17] MUÑOZ, C.C. ; VELTHUIS, M.G.P. ; DE LA RUBIA, M.Á.M.: *Calidad del producto y proceso software*. RA-MA S.A. Editorial y Publicaciones, 2010. – ISBN 9788478979615
- [18] OVSTEDAL, Ola ; KJORSVIK, Narve S. ; GJEVESTAD, Jon Glenn O.: Surveying using GPS Precise Point Positioning. En: *TS 43 - GNSS Processing and Applications, Shaping the Change, XXIII FIG Congress, Munich, Germany, October 8-13,, 2006*, p. 1–10
- [19] RAMÍREZ, Nathalie S. ; REYES, Nohora M.: *Prototipo de Mapa de Riesgo Ionosferico como Soporte para el Desarrollo e Implementación de GBAS, Precisión de Aproximación Categoría I de una Región Colombiana*. Bogotá, Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil - Centro de Estudios Aeronáuticos, Pasantía, 2010
- [20] RIZOS, Chris ; JANSSEN, Volker ; ROBERTS, Craig ; GRINTER, Thomas: Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End? En: *FIG Working Week 2012, Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage, Rome, Italy, 2012*, p. 6–10
- [21] SALAVERTE, I.R. ; PÉREZ, M.D.L.: *Ingeniería del software y bases de datos: tendencias actuales*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2000 (Ciencia y técnica). – ISBN 9788484270775
- [22] SERRANO, J.F.V. ; ABRIL, A.P. ; BELLAS, F.G. ; CALLE, Á.S.: *Diseñar y programar, todo es empezar.: Una introducción a la programación orientada a objetos usando UML y Java*. Editorial Dykinson, S.L., 2010 (Colección Textos Docentes). – ISBN 9788499823454

- 
- [23] SOMMERVILLE, I. ; GALIPIENSO, M.I.A.: *Ingeniería del software*. Pearson Educación, 2005 (Fuera de colección Out of series). – ISBN 9788478290741
- [24] SÁNCHEZ, Guillermo. *Sistema posicionamiento global (GPS) y las teorías de la relatividad*. 2012
- [25] TATE, C.: *Lineamientos para documentación de software*. Secretaría de Ciencia y Técnica, Subsecretaría de Informática y Desarrollo, 1988 (Documento SID)
- [26] TSUJII1, Toshiaki ; HARIGAE1, Masatoshi ; INAGAKI1, Toshiharu ; KANAI, Tatsuo: Flight tests of GPS/GLONASS precise positioning versus dual frequency KGPS pro?le. En: *Earth Planets Space* Vol.52, No.1 (2000), p. 825–829
- [27] VOGEL, O. ; ARNOLD, I. ; CHUGHTAI, A. ; KEHRER, T.: *Software Architecture: A Comprehensive Framework and Guide for Practitioners*. Springer, 2011 (SpringerLink : Bücher). – ISBN 9783642197369
- [28] WITCHAYANGKOON, Boonsap: *Elements of GPS Precise Point Positioning*. Orono, Maine, The University of Maine, Tesis Doctoral, 2000