

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Diseño de un modelo de procesamiento de datos GPS que mejora y agiliza la georreferenciación en el territorio colombiano en la web

Leonardo Alexander Cardona Piedrahíta

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Maestría en Ciencias de la Información y las comunicaciones, Énfasis en Geomática
Bogotá, Colombia
2021

Diseño de un modelo de procesamiento de datos GPS que mejora y agiliza la georreferenciación en el territorio colombiano en la web

Leonardo Alexander Cardona Piedrahíta

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en ciencias de la información y las comunicaciones.

Director: Álvaro Espinel Ortega

Doctor en Ingeniería de Software.

Magister en teleinformática.

Ingeniero electricista

Codirector: Héctor Mora Páez

Doctor en Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente

Magister en ciencias

Ingeniero catastral y geodesta

Línea de Investigación: Geodesia espacial, Ciencias de la información

Grupos de Investigación:

Grupo de Investigación en Gestión de Sistemas Energéticos con Base en Tecnologías de Información y Comunicación

Grupo de Investigación y Desarrollo en Aplicaciones Satelitales para el estudio de la Dinámica de la Tierra

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Maestría en Ciencias de la Información y las comunicaciones, Énfasis en Geomática

Bogotá, Colombia

2021

1 corintios 13 …

Dedico este trabajo a mi país. El país que espero algún día su gente pueda vivir en paz y en justicia.

Hay más dicha en dar que en recibir...

Agradecimientos

Agradezco a Dios por cada día de vida que me ha brindado, también a mis directores de tesis, los doctores Álvaro Espinel y Héctor Mora Páez. Su invaluable conocimiento y paciencia fueron vitales para llevar a buen término esta investigación.

También al grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales del Servicio Geológico Colombiano, por su apoyo en el suministro de datos necesarios para el desarrollo este proyecto.

Por último, y no menos importante, quiero expresar agradecimientos a mi esposa, mis padres y amigos, muy especialmente a Fabian Castellanos, Iván Carrillo, Jonathan Fandiño, Yuli Corchuelo. Por ser una voz de aliento y animo en los momentos más difíciles.

Resumen

En los últimos años las tecnologías geoespaciales han tenido un vertiginoso desarrollo, una prueba de ello es la tecnología GPS la cual hace parte del cotidiano vivir de personas, empresas, países. La presente investigación aborda análisis, diseño e implementación de un modelo de procesamiento de datos GPS el cual permita mejorar y agilizar a un bajo costo, el proceso de georreferenciación a través de la web. Con el fin de alcanzar los objetivos se analizan diferentes técnicas de posicionamiento GPS, entre ellas DGPS y PPP. También se realizó el levantamiento de requerimientos, diseño e implementación de la solución la cual fue desarrollada bajo la filosofía de software libre. Finalmente se realizó el procesamiento de 82 archivos RINEX con el fin de validar la precisión y exactitud del modelo de procesamiento propuesto.

Palabras clave: Posicionamiento, Estación de referencia de funcionamiento continuo (CORS), GPS, servicio de procesamiento en la Web, Servicio GNSS internacional (IGS), Posicionamiento preciso de punto (PPP), GPS diferencial (DGPS), Formato de Intercambio Independiente del receptor (RINEX).

Abstract

In recent years geospatial technologies have had a vertiginous development, a proof of this is the GPS technology, which is part of the daily life of people, companies, countries. The present research deals with the analysis, design and implementation of a GPS data processing model which allows to improve and speed up, at a low cost, the georeferencing process through the web. To achieve the objectives, different GPS positioning techniques are analyzed, among them DGPS and PPP. The definition of the requirements, design and implementation of the solution was also carried out, which was developed under the philosophy of free software. Finally, 82 RINEX files with known coordinates were processed to validate the precision and accuracy of the proposed processing model.

Keywords: Positioning, Continuously Operating Reference Station (CORS), GPS, Online processing services, International GNSS Service (IGS), Precise Point Positioning (PPP), Differential Global Positioning Systems (DGPS), Receiver INdependent EXchange (RINEX)Positioning, Continuously Operating Reference Station (CORS), GPS, Online processing services, International GNSS Service (IGS), Precise Point Positioning (PPP), Differential Global Positioning Systems (DGPS), Receiver INdependent EXchange (RINEX)

Contenido

Pág.

Introducción 3
Problema de investigación 3
Formulación del problema 6
Sistematización del problema 6

Justificación 7
Justificación teórica 7
Justificación practica 7

Preguntas y/o Hipótesis 10
Preguntas 10
Hipótesis 10

Objetivos 12
Objetivo general 12
Objetivos específicos 12

Marco teórico 13
Posicionamiento satelital GNSS 13
Receptor GPS 13
Tipos de receptores GPS 13
Redes geodésicas 14
Red geodésica del Servicio Geológico Colombiano – GeoRED 14
Red geodésica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi MAGNA-ECO 15
Métodos de posicionamiento GNSS 16
Según el sistema de referencia 17
Según el método de observación 21
Según el método de posicionamiento 21
Según el modo de disponibilidad de la solución 24
Exactitud y precisión 25
Precisión y exactitud de las coordenadas 26
Software de procesamiento de datos GPS 28
Preprocesamiento de datos 28
Postprocesamiento de datos 29
Servicios de procesamiento de datos GPS 32
Transformación digital 43

Metodología 44

Fase 1: Administración de requerimientos y fuentes de datos 44
Requerimientos no funcionales 44
Requerimientos funcionales 46
Selección de la técnica de procesamiento de datos GPS 48
Selección del software de procesamiento de datos GPS 49
Fuentes de datos y parámetros de procesamiento 49
Fase 2: Diseño 50
Arquitectura 50
Modelamiento estático y dinámico 52
Diseño de interfaces gráficas 55
Diseño de reporte de resultados 55
Fase 3: Implementación 57
Implementación del Componente de gestión de datos 58
Implementación del componente de gestión del procesamiento 58
Implementación del componente de gestión de tareas 61
Fase 4: Pruebas y análisis de resultados 62

Conclusiones y recomendaciones 67
Conclusiones 67
Recomendaciones 68

Lista de figuras

Pág.

Figura 1 *Estaciones CORS redes del IGAC, IGS y el SGC*..... 5
Figura 2*: Solicitudes de datos RINEX realizadas al Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales (GIGE) por usuarios nacionales.* 8
Figura 3 Distribución de las estaciones CORS proyecto GeoRED. 15
Figura 4 Distribución de las estaciones CORS red MAGNA SIRGAS ECO. 16
Figura 5 *Clasificación de los métodos de posicionamiento GNSS según el sistema de referencia.* 17
Figura 6 *Fuentes de errores de la señal GPS desde que es emitida por el satélite hasta llegar al receptor.*..... 19
Figura 7 *Esquema que describe: a) el posicionamiento relativo; b) el posicionamiento absoluto.*..... 20
Figura 8 *Precisión versus exactitud****.*** 25
Figura 9 *Error planimétrico del posicionamiento GPS.* 28
Figura 10 *Interfaz del servicio de procesamiento AUSPOS.* 34
Figura 11 *Interfaz del servicio de procesamiento OPUS.* 35
Figura 12 *Interfaz del servicio de procesamiento SCOUT.* 36
Figura 13 *Interfaz del servicio de procesamiento GAPS.* 37
Figura 14 *Interfaz del servicio de procesamiento APPS.* 38
Figura 15 *Interfaz del servicio de procesamiento CSRS-PPP.* 39
Figura 16 *Requerimientos no funcionales*..... 44
Figura 17 *Diagrama de casos de uso.* 48
Figura 18 *Diagrama de componentes.* 52
Figura 19 *Diagrama de secuencia.* 53
Figura 20 *Diagrama de actividades.* 54
Figura 21 *Interfaz del servicio de procesamiento.* 55
Figura 22 *Repositorio en GitHub del servicio de procesamiento de datos GPS.* 58
Figura 23 *Reporte de procesamiento de datos: Informe de coordenadas.* 59
Figura 24 *Reporte de procesamiento de datos: Información general.* 60
Figura 25 *Reporte de procesamiento de datos: Gráfica variación de coordenadas.* 60
Figura 26 *Manejo de solicitudes de procesamiento con RabbitMQ.* 61
Figura 27 *Recepción del reporte de procesamiento de datos GPS.* 61
Figura 29 *Interfaz de usuario del servicio de procesamiento COLPOS.* 63
Figura 28 *Estaciones GPS utilizadas en el procesamiento.* 64

Figura 30 *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de productos.* 69
Figura 31 *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de tareas.* 74
Figura 32 *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de procesamiento.* 79
Figura 33 *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de aplicación.* 84

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1 Métodos de adquisición de datos GPS 24
Tabla 2 Exactitud de productos IGS 27
Tabla 3 *Software de postprocesamiento de datos GPS* 32
Tabla 4 *Comparación de servicios de procesamiento de datos GPS en la web* 41
Tabla 5 *Lista de casos de uso* 47
Tabla 6 Fuentes de datos a usar en el procesamiento 49
Tabla 7 *Reporte de procesamiento de datos GPS* 57
Tabla 8 *Resumen estadístico de la precisión de las coordenadas obtenidas con COLPOS* 64
Tabla 9 *Resumen estadístico del tiempo de procesamiento empleado por COLPOS* 65
Tabla 10 *Variación de las coordenadas entre COLPOS y GIGE* 65
Tabla 11 *Variación de las coordenadas entre COLPOS y NRCAN* 66
Tabla 12 *Caso de uso CU001.1* 70
Tabla 13 *Caso de uso CU001.2* 71
Tabla 14 *Caso de uso CU001.3* 72
Tabla 15 *Caso de uso CU001.4* 73
Tabla 16 *Caso de uso CU002.1* 74
Tabla 17 *Caso de uso CU002.2* 75
Tabla 18 *Caso de uso CU002.3* 76
Tabla 19 *Caso de uso CU002.4* 77
Tabla 20 *Caso de uso CU003.1* 79
Tabla 21 *Caso de uso CU003.2* 80
Tabla 22 *Caso de uso CU003.3* 81
Tabla 23 *Caso de uso CU003.4* 82
Tabla 24 *Caso de uso CU003.5* 82
Tabla 25 *Caso de uso CU004.1* 84
Tabla 26 *Caso de uso CU004.2* 85
Tabla 27 *Caso de uso CU004.3* 86
Tabla 28 *Coordenadas obtenidas con usando COLPOS* 89
Tabla 29 *Coordenadas oficiales publicadas por el grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales del Servicio Geológico Colombiano* 91
Tabla 30 *Coordenadas obtenidas usando el servicio online CSRS-PPP de la agencia de recursos naturales de Canadá,* 93

Tabla 31 *Diferencias en el procesamiento COLPOS - GIGE* 95
Tabla 32 *Diferencias en el procesamiento COLPOS - NRCAN*..... 97

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
APREF	Asia Pacific Reference Frame
CDDIS	Crustal Dynamics Data Information System
COLPOS	Servicio Online de procesamiento de datos GPS Colombiano
CORS	Continuously Operating Reference Stations
DGPS	Differential Global Positioning System
GIGE	Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IGS	International GNSS Service
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
JPL	Jet Propulsion Laboratory
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OSO	Onsala Space Observatory
PPP	Precise Point Positioning
RINEX	Receiver INdependent EXchange
SGC	Servicio Geológico Colombiano

Introducción

La tecnología GPS está presente en la vida cotidiana de las personas como una herramienta de navegación y posicionamiento por más de tres décadas. Esta tecnología ha venido madurando para proporcionar información valiosa a una amplia gama de áreas que requieren determinar la ubicación de puntos sobre la superficie terrestre con una alta precisión y exactitud, como sucede en los estudios geodinámicos y geofísicos, los levantamientos topográficos y geodésicos, la generación de cartografía y el monitoreo de amenazas geológicas.

Debido a que el software de procesamiento de datos GPS en muchas ocasiones es costoso o muy difícil de utilizar, varias instituciones de investigación y universidades han optado por implementar sus propios servicios de procesamiento de datos GPS, a través de los cuales los usuarios puedan realizar el procesamiento de sus datos de forma sencilla y ágil.

Si bien es cierto que existen varios servicios de procesamiento de datos GPS en la web, en la actualidad no existe ningún modelo de procesamiento de datos GPS de acceso público, que pueda ser adoptado por cualquier organización que requiera implementar su propio servicio de procesamiento GPS de bajo costo.

En respuesta a esta necesidad, la presente investigación busca realizar el diseño de un modelo de procesamiento de datos GPS en la web, capaz de adaptarse a las necesidades de las organizaciones públicas o privadas que así lo requieran, con el fin brindar a la comunidad colombiana un servicio de posicionamiento web que utilice la infraestructura geodésica disponible en el país.

Así, entidades como el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se verán beneficiadas debido a que podrán implementar el modelo propuesto y con esto brindar nuevas herramientas a sus usuarios.

El modelo de procesamiento de datos GPS que se pretende diseñar aborda únicamente el procesamiento de datos GPS recolectados de forma estática y no el procesamiento de los datos GPS recolectados de forma cinemática; se espera que el procesamiento de dichos datos pueda ser abordados en futuras investigaciones.

Introducción

Problema de investigación

Actualmente, el país cuenta con diferentes redes de estaciones de referencia de operación continua CORS (Continuously Operating Reference Stations) (Martínez & Sánchez, 2009; Mora-Páez, Peláez, Diederix et al. 2018), por sus siglas en inglés, las cuales son desplegadas para propósitos de georreferenciación así como para el estudio de la dinámica terrestre, la materialización del marco de referencia terrestre, el estudio de la ionosfera y la troposfera, entre otros.

Entidades como el SGC y el IGAC ponen a disposición de los usuarios las coordenadas y archivos RINEX (Receiver Independent Exchange Format) (Gurtner & Estey (2009) de las estaciones CORS como respuesta a las solicitudes realizadas, para brindar apoyo a las actividades de georreferenciación desarrolladas en el territorio nacional.

Cuando un usuario desea determinar la ubicación de un punto sobre el terreno usando la tecnología GPS (Global Positioning System), realiza el rastreo con un equipo GPS en el punto de interés, procesa los datos recolectados y define las coordenadas. Para poder determinar las coordenadas un usuario puede utilizar el postprocesamiento de los datos recolectados utilizando las técnicas PPP (Precise Point Positioning) o DGPS (Differential Global Positioning System), siendo esta ultima la más utilizada debido a que permite determinar las coordenadas con mayor precisión en el menor tiempo posible.

La determinación de las coordenadas del punto utilizando la técnica DGPS requiere la utilización de los datos recolectados por estaciones GPS que hallan rastreado de forma simultánea, para lo cual la mayoría de los usuarios utilizan las estaciones CORS más cercanas como estaciones de referencia. En la mayoría de los casos, los usuarios utilizan los datos recopilados por las estaciones CORS del SGC y el IGAC y las coordenadas determinadas por estas instituciones como insumo para la determinación de las

coordenadas precisas del sitio de interés debido a que esto les ahorra costos operacionales, ya que no tienen que instalar una estación GPS como referencia de forma simultánea para poder determinar las coordenadas del punto de interés.

Con el fin de procesar los datos GPS y analizarlos, un usuario debe adquirir software especializado, los cuales además de tener altos costos de licenciamiento, también requieren de un proceso de capacitación en el uso de la herramienta (Ocalan, Erdogan & Tunalioglu (2013), que representa un aumento en los costos operacionales de una empresa.

En la actualidad existen varios servicios de procesamiento de datos GPS en la web a nivel mundial, como se puede ver en la **Tabla 4**, desarrollados por entidades públicas y privadas que permiten realizar el procesamiento de los archivos RINEX y obtener las coordenadas precisas de los sitios de interés. Dichos servicios brindan a los usuarios una herramienta de procesamiento sin costo y con acceso ilimitado las 24 horas del día, y la condición para hacer uso de ellos es contar con acceso a internet y disponer de una cuenta de correo electrónico (Dawson, Govind & Manning (s.f); Ghoddousi-Fard & Dare (2005); Soler, Weston, Snay, Mader, & Foote, 2005). Para realizar el procesamiento de los datos, los servicios disponibles en la actualidad utilizan la técnica de posicionamiento DGPS (Differential Global Positioning System) o la técnica de posicionamiento PPP (Precise Point Positioning) (Ocalan, Erdogan, Tunalioglu (2013),

siendo DGPS la técnica de posicionamiento que permite obtener la mayor precisión en el menor tiempo posible (Berber, Ustun, & Yetkin (2012). Existe una gran variedad de servicios que implementan esta técnica, en donde una de las consideraciones a tener en cuenta en la precisión que se puede obtener es la distancia de separación de la estación GPS del usuario con respecto a las estaciones CORS de referencia a utilizar en el procesamiento. El efecto de los errores orbitales en el posicionamiento DGPS es dado (Parkinson, Spilker, Axelrad, & Enge, 1996):

$$\varepsilon \leq \left(\frac{d}{r}\right) * \delta_r \qquad (1)$$

Donde:

- d es la distancia de línea base (distancia entre la estación GPS del usuario y la estación CORS en kilómetros).
- r es la distancia al satélite (20.000 km).
- δ_r es la magnitud del error transmitido por la efeméride (2,6 metros).

Por lo tanto, el error esperado en la posición para las líneas base de 100, 500 y 1000 kilómetros no es mayor a 1,3, 6,5 y 13 cm, respectivamente (Waypoint Consulting Inc. (2005). De este modo, cuando se procesan los datos GPS utilizando la técnica DGPS es conveniente tener estaciones CORS cercanas a la estación GPS del usuario ya que la precisión en la determinación de las coordenadas disminuye con el aumento de la distancia de separación de la estación GPS del usuario y la estación CORS.

Para poder realizar el procesamiento de los datos empleando uno de los servicios existentes mediante la técnica DGPS se requiere entre 3 y 4 estaciones CORS (Ghoddousi-Fard & Dare (2005). Dichas estaciones CORS son obtenidas de la infraestructura geodésica mundial que provee el IGS (International GNSS Service) cómo se aprecia en la **Figura 1**. Actualmente Colombia cuenta con una estación CORS de la red IGS, encontrándose la estación más cercana a una distancia mayor a 500 kilómetros, lo cual conlleva a que la exactitud en la determinación de las coordenadas utilizando un servicio de procesamiento web que implemente la técnica DGPS sea menor al que se podría obtener si se hiciere uso de la infraestructura de estaciones CORS disponibles en el país, la cual es más densa y su distancia de separación mucho menor.

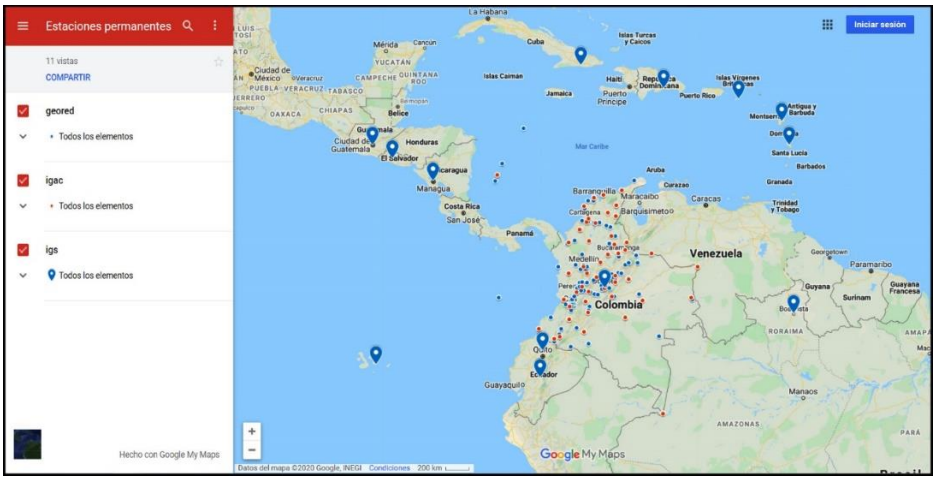


Figura 1 *Estaciones CORS redes del IGAC, IGS y el SGC*
Cardona, L. A. (2017, 26 enero). *Estaciones CORS redes del IGAC, IGS y el SGC* [Impresión de pantalla]. Mapa de las estaciones permanentes del IGAC, ISG y SGC. https://www.google.com/maps/d/edit?mid=12b6C7jKi1oNHMhg5a77omW4nbBzvwMga&usp=sharing

Formulación del problema

La siguiente pregunta define exactamente el problema de investigación que la presente investigación busca resolver:

¿Cómo debería ser el modelo de procesamiento de datos GPS en la web que permita mejorar la precisión en la determinación de las coordenadas, en comparación con los servicios de procesamiento de datos GPS existentes, con el fin de agilizar y reducir el costo de la georreferenciación de un punto en el territorio colombiano?

Sistematización del problema

Para resolver la pregunta de investigación planteada es imprescindible dar respuesta a una serie de inquietudes que de ella se desprenden y que el desarrollo de esta investigación busca responder.

- ¿Cuál debería ser la técnica de procesamiento de datos GPS que se debería emplear en un servicio de procesamiento de datos GPS en la web, capaz determinar de forma más ágil y precisa las coordenadas de un sitio en el territorio colombiano?
- ¿Cómo debería ser el modelo estático y dinámico de un servicio de procesamiento de datos GPS en la web?
- ¿Cómo estimar el error en las coordenadas obtenidas a través del modelo de procesamiento de datos GPS diseñado e implementado?
- ¿Cómo evaluar la exactitud en la determinación de las coordenadas a partir de la comparación con los patrones y sistemas existentes?
- ¿En qué medida se reducen los costos con el modelo propuesto?

Justificación

Justificación teórica

Con la presente investigación se busca contribuir con el análisis, diseño y desarrollo del modelo estático y dinámico de un servicio de procesamiento datos GPS en la web, el cual utilice las técnicas de procesamiento de datos GPS que permitan obtener la mayor exactitud en el menor tiempo posible.

Se busca además proponer un modelo de procesamiento de datos GPS en la web, que sirva como referente a cualquier usuario o entidad que desee implementar y disponer a sus usuarios un servicio de procesamiento de datos GPS en la web con la finalidad de poder realiza el procesamiento de sus datos de una forma estandarizada, ágil y gratuita.

Justificación practica

Como se puede apreciar en la Figura 2, EL Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales del Servicio Geológico Colombiano ha experimentado anualmente un aumento gradual en el número de solicitudes de datos RINEX por parte de la comunidad que utilizan esta tecnología, concordante con el incremento en el número de estaciones. Contar con un modelo de procesamiento de datos GPS en la web de acceso libre que pueda ser implementado por ser implementado por el SGC o el IGAC impulsa la transformación digital de las mismas, contribuyendo a prestar un mejor servicio a los usuarios lo cual les permita aumentar la productividad en el desarrollo de sus actividades.

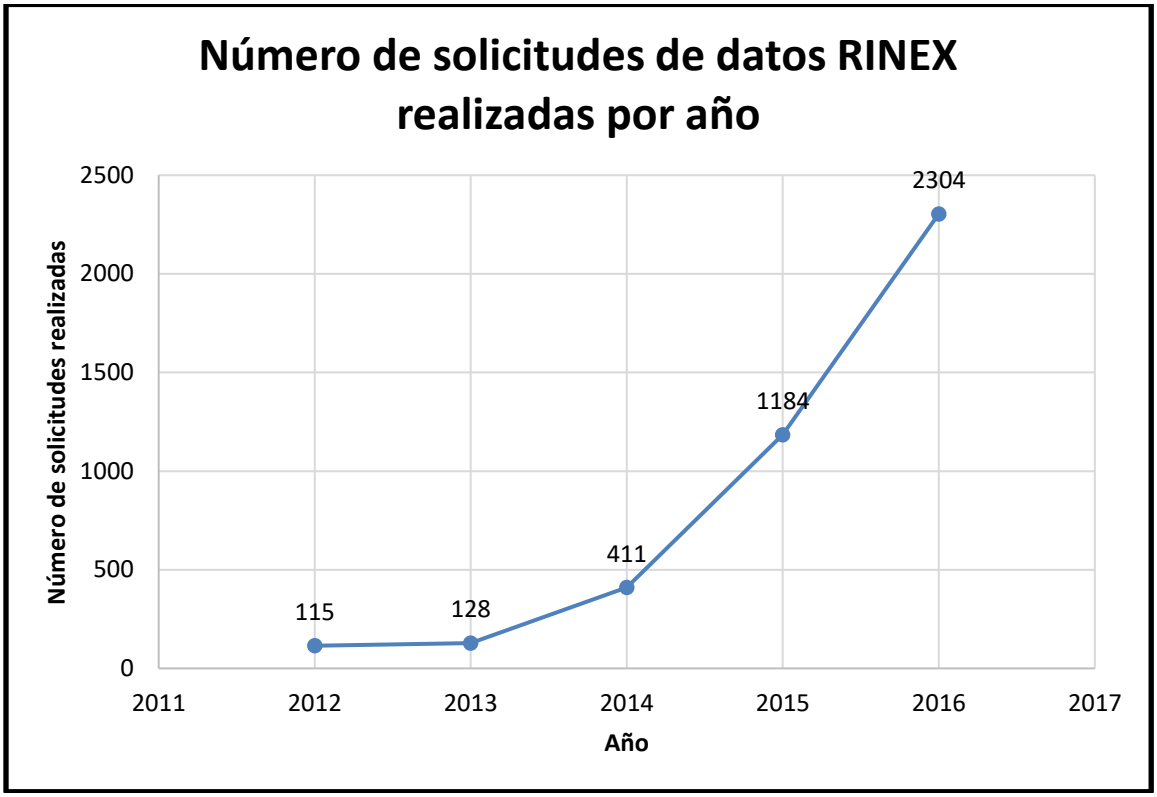


***Figura 2**: Solicitudes de datos RINEX realizadas al Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales (GIGE) por usuarios nacionales.*
Cardona, L. A. (2020, 10 enero). *Solicitudes de datos RINEX realizadas al Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales (GIGE) por usuarios nacionales* [Gráfica].

La implementación de un modelo de procesamiento de datos GPS en la web permitiría a los usuarios de geodesia, topografía, cartografía y SIG procesar sus archivos propios RINEX y obtener coordenadas de alta precisión de una forma rápida y eficiente, permitiéndole a los usuarios reducir los costos asociados a la adquisición de un software de procesamiento junto con su respectiva capacitación de los usuarios, y los costos asociados al equipo de cómputo en donde se realizaría el procesamiento de los datos (Ocalan, Erdogan, Tunalioglu (2013).

Sin lugar a duda, contar con un servicio de procesamiento datos GPS brindaría apoyo a otras actividades llevadas a cabo en el país, como por ejemplo la definida en el CONPES 3589, según el cual se debe realizar la implementación del catastro multipropósito en el ámbito Rural-Urbano, ya que en la actualidad el 28% del territorio nacional no cuenta con información catastral.

Adicionalmente, contar con un servicio de procesamiento de datos GPS en la web brindaría apoyo a un sin número de investigaciones como por ejemplo, los estudios de remoción de masa, los cuales en ocasiones no son realizados porque los usuarios no cuentan con la experticia necesaria para realizar el procesamiento de los datos GPS (Wang & Soler (2012).

Preguntas y/o Hipótesis

Las preguntas y/o hipótesis que han permitido construir claramente el objetivo que persigue el presente proyecto se exponen a continuación:

Preguntas

- ¿Es posible implementar un modelo de procesamiento de datos GPS online que permita a un usuario reducir tiempos y costos en el procesamiento de datos GPS RINEX?
- ¿Cuál es la mejor técnica de procesamiento de datos GPS a utilizar en un servicio de procesamiento de datos en la web?

Hipótesis

- La técnica de procesamiento de datos GPS Posicionamiento de Punto Preciso (PPP) es la mejor técnica para emplear en un servicio de procesamiento de datos GPS.
- La implementación de un servicio de procesamiento de datos GPS en la web permitirá agilizar y reducir los costos en la georreferenciación de un levantamiento GPS.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un modelo de procesamiento de datos GPS, con el fin de mejorar, agilizar y reducir costos en el proceso de georreferenciación en la Web de un lugar geográfico, utilizando las redes geodésicas colombianas existentes en beneficio de las organizaciones públicas y/o privadas del país.

Objetivos específicos

- Analizar las técnicas existentes de procesamiento de datos GPS con el fin de seleccionar la técnica que permita determinar las coordenadas de un sitio de la forma más rápida y precisa.
- Realizar el levantamiento y análisis de requerimientos como fundamento del proceso de modelado del sistema.
- Realizar el diseño e implementación del modelo de procesamiento de datos GPS en la web.
- Realizar las pruebas y el análisis de resultados con el fin de evaluar el modelo propuesto y validar su operación, para considerar la viabilidad de disponerlo al servicio de la comunidad.

Marco teórico

Posicionamiento satelital GNSS

El sistema global de navegación por satélite (GNSS) hace referencia a la constelación de satélites que transmiten una señal de posición y tiempo desde el espacio a un receptor GNSS. Los receptores luego usan estos datos para determinar la ubicación en el espacio.

El GNSS provee una cobertura global y está conformado por varias constelaciones de satélites entre las que encontramos la constelación GPS (Global Positioning System) de los Estados Unidos de América, GLONASS (Global Navigation Satellite System) de la Federación Rusa, Galileo de la Unión Europea, etc. (European Global Navigation Satellite Systems Agency (2017).

El posicionamiento por satélite constituye un sistema para la transferencia precisa de tiempo, actualización directa de cartografía, sistemas de guiado automático de vehículos, combinación con sensores inerciales para la determinación de posición y orientación de sensores aerotransportados, medición de la deformación terrestre, entre otros.

Receptor GPS

Es un dispositivo electrónico que permite recibir la señal de posición y tiempo trasmitida por los satélites GPS. Utilizando el software adecuado permite determinar la posición de un usuario y el tiempo.

Tipos de receptores GPS

En la actualidad existen una gran variedad de receptores GPS en el mercado, los cuales se pueden clasificar en función de su aplicación, enfocándonos en la funcionalidad que un usuario puede obtener del uso de la herramienta.

- Navegadores GPS
- Receptores Topográficos con medición código y fase en L1
- Receptores Geodésicos de Doble Frecuencia
- Receptores Militares

Redes geodésicas

Una red geodésica es un conjunto de puntos materializados sobre la superficie terrestre para los cuales se ha determinado su posición geodésica en la componente horizontal (latitud y longitud) y la componente vertical (altura) con una gran precisión y exactitud a partir de diferentes técnicas de posicionamiento. Estas pueden ser de dos tipos normalmente complementarios; las redes pasivas, compuestas por mojones o pilastras cuya posición geodésica es obtenida mediante ocupaciones periódicas de campo y las redes activas, cuya estructura incluye la adaptación de instrumental GPS de precisión para el rastreo permanente de datos de posición obtenidos por satélite.

Las redes geodésicas son una herramienta muy útil para el estudio de la forma y figura de la tierra, así como también para la medición de la deformación terrestre y la planeación, diseño y ejecución de cualquier tipo de infraestructura.

Red geodésica del Servicio Geológico Colombiano – GeoRED

El Servicio Geológico Colombiano a través del grupo GIGE (Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales) ha realizado la implementación de la red de estaciones de monitoreo continuo para el estudio y análisis de la deformación de la corteza terrestre en Colombia conocida como GeoRED (Geodesia: Red de Estudios de Deformación). Dicha red está conformada por más de 120 estaciones CORS distribuidas en todo el territorio nacional como se puede apreciar en la **Figura 3****Figura 3**, de las cuales muchas cuentan con sistema de transmisión de datos en línea. La monumentación de las estaciones, instaladas sobre la superficie terrestre, es de gran calidad y altos estándares en su construcción, y su continua línea de tiempo de rastreo son ideales como estaciones de referencia.

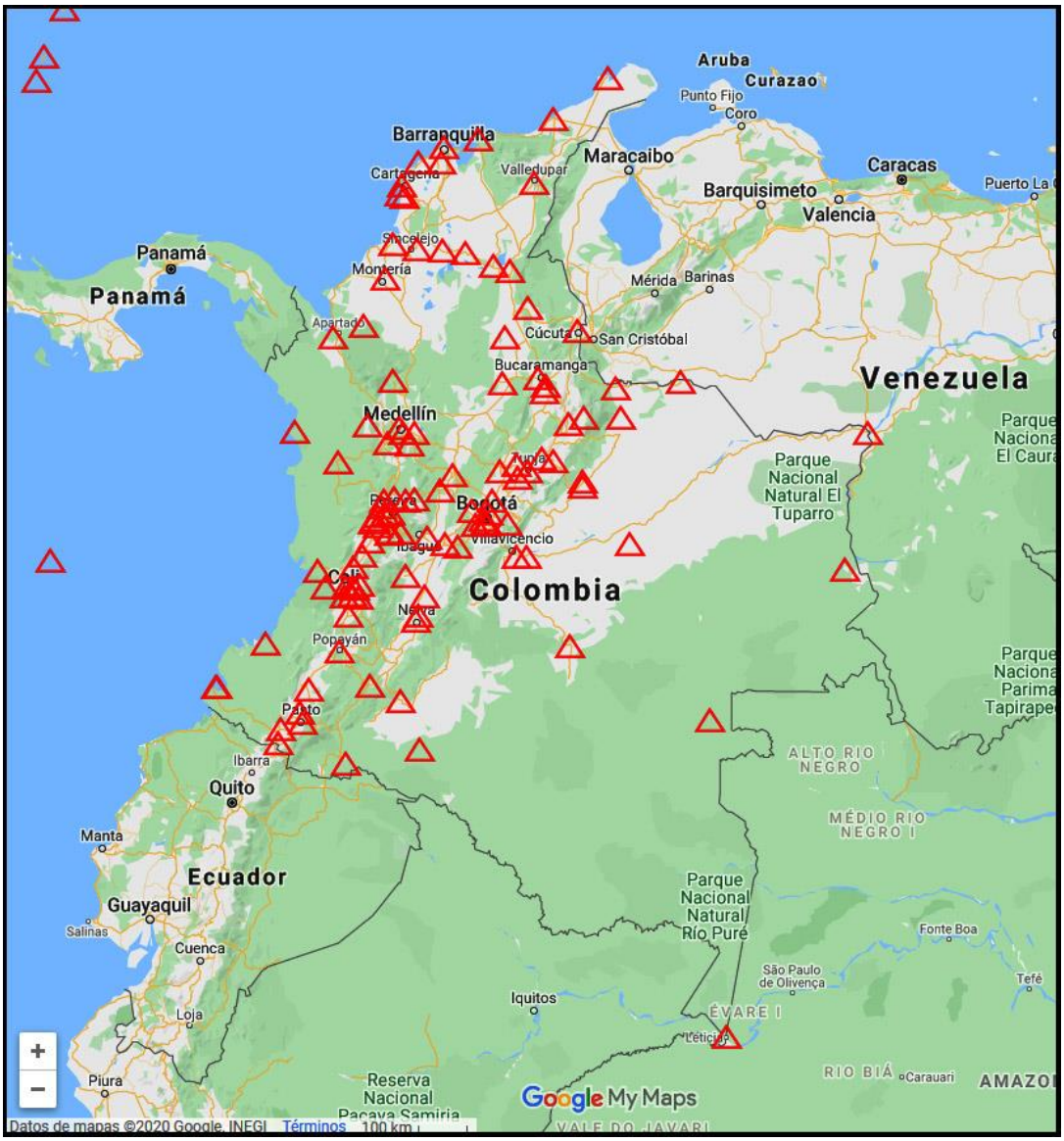


Figura 3 Distribución de las estaciones CORS proyecto GeoRED.
Servicio Geológico Colombiano. (s. f.). *Distribución de las estaciones CORS proyecto GeoRED* [Impresión de pantalla]. Red GNSS permanentes. https://geored2.sgc.gov.co/redgnss/redPermanente/Paginas/default.aspx

Red geodésica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi MAGNA-ECO

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi, entidad gubernamental encargada de los sistemas geodésicos nacionales de referencia, a través de la dirección de geografía y cartografía ha trabajado en la construcción de la red geodésica nacional conocida como MAGNA SIRGAS ECO, utilizada como referencia para los levantamientos geodésicos y topográficos realizados en el país y que se puede apreciar en la **Figura 4**.

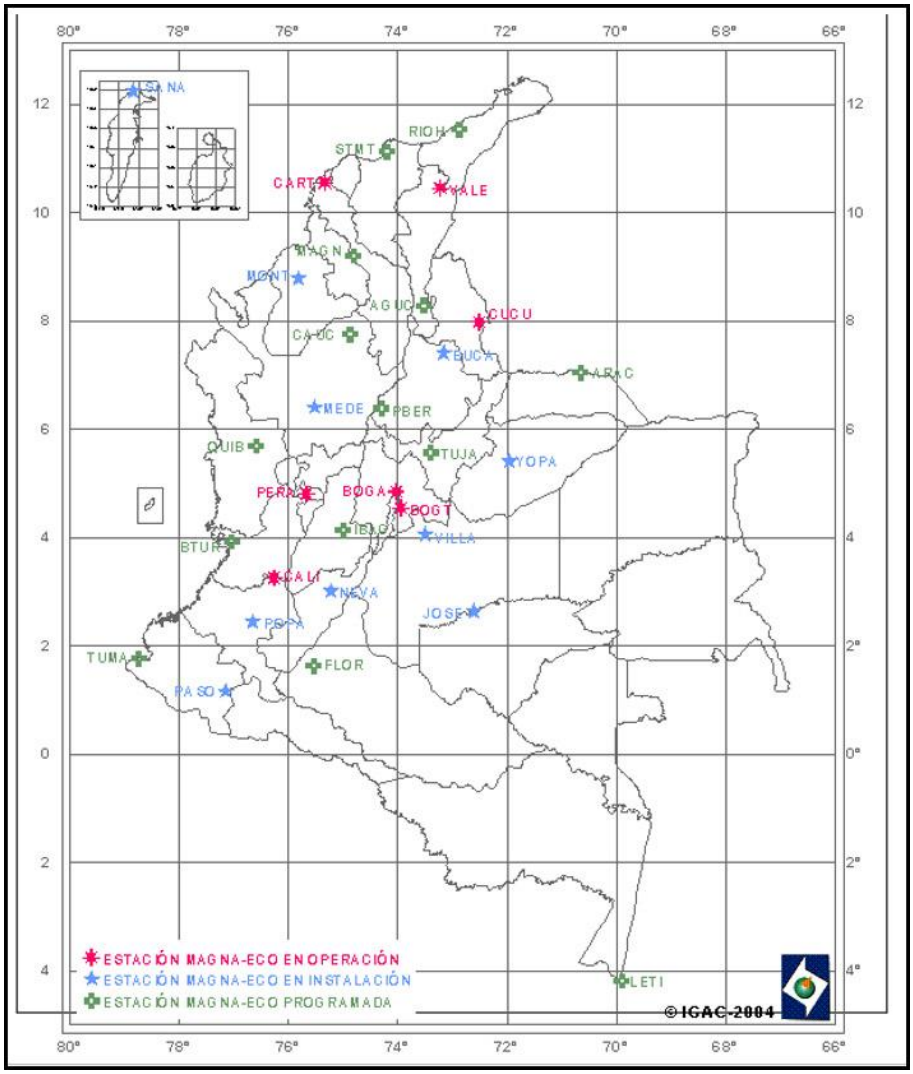


Figura 4 Distribución de las estaciones CORS red MAGNA SIRGAS ECO.
Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s. f.). *Distribución de las estaciones CORS red MAGNA SIRGAS ECO* [Impresión de pantalla]. MAGNA-SIRGAS. https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/magna-sirgas

Métodos de posicionamiento GNSS

Los métodos de posicionamiento GNSS se pueden clasificar considerando varios factores tales como el sistema de referencia, el método de observación y la técnica de procesamiento de los datos. A continuación, se abordan cada una de las clasificaciones:

Según el sistema de referencia

De acuerdo con el sistema de referencia en el que son obtenidas las coordenadas, los métodos de posicionamiento GNSS se pueden agrupar en dos grandes grupos. El posicionamiento absoluto y posicionamiento relativo como se puede ver en la ***Figura 5***.

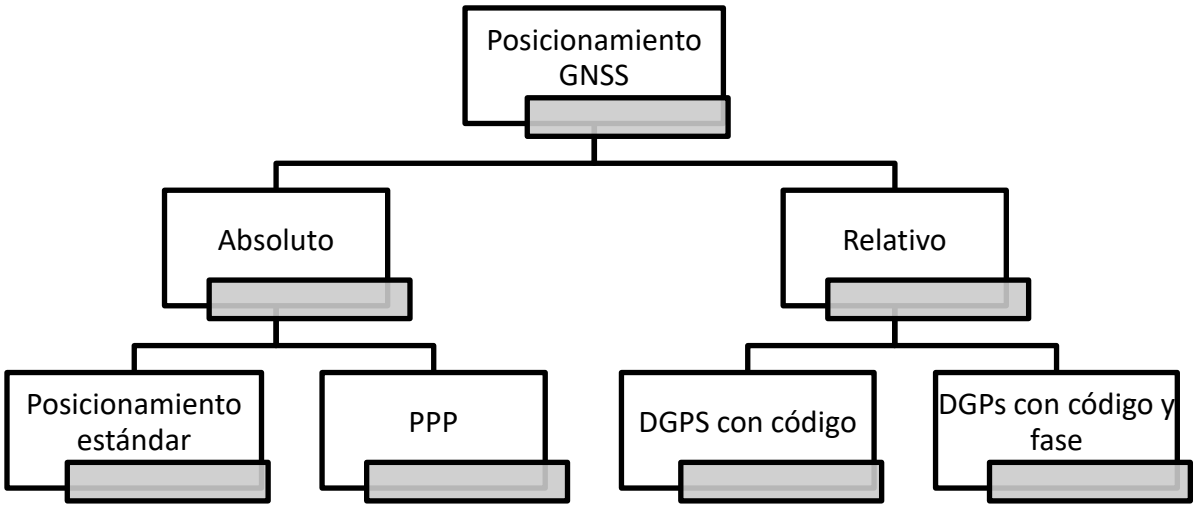


Figura 5 *Clasificación de los métodos de posicionamiento GNSS según el sistema de referencia.* Cardona, L. A. (2017, 17 febrero). *Clasificación de los métodos de posicionamiento GNSS según el sistema de referencia* [Gráfica].

Posicionamiento absoluto

Se denomina posicionamiento absoluto cuando se determina la posición de un punto mediante el uso de un receptor GPS que realiza la observación de al menos cuatro satélites **Figura 7**, y mediante el procesamiento de la pseudodistancia del código y/o la fase se logra determinar la posición absoluta respecto al sistema de referencia fijado en el sistema GNSS (usualmente el elipsoide de referencia GRS80). El posicionamiento absoluto se puede agrupar en el posicionamiento estándar y el posicionamiento de punto preciso.

Posicionamiento estándar

Cuando en un levantamiento se emplea un receptor GPS de una sola frecuencia, solo tiene sentido emplear el posicionamiento estándar. El principio de esta técnica consiste en una trilateración en el espacio. Para este tipo de posicionamiento el sistema GPS provee dos

niveles de servicio: (1) el servicio de posicionamiento estándar (SPS) con acceso el público civil y (2) el servicio de posicionamiento preciso (PPS) con acceso para usuarios autorizados.

- Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS, Standard Positioning Service). Precisión normal de posicionamiento civil obtenida con la utilización del código C/A de frecuencia simple.

- Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS, Precise Positioning Service). Este posicionamiento dinámico es el de mayor precisión, basado en el código P de frecuencia dual, y solo está accesible para los usuarios autorizados. Este servicio de posicionamiento esta principalmente diseñado para el ejército de los estados unidos (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins (2012).

En este tipo de posicionamiento incluso después de varias horas de observación, la precisión absoluta alcanzable no es mejor que varios metros.

Posicionamiento de punto preciso (PPP)

Esta técnica permite obtener coordenadas con precisión centimétrica de un lugar mediante el uso de un único receptor GNSS doble frecuencia y la aplicación de diferentes correcciones a los datos. Para determinar las coordenadas se debe corregir todos los errores que degradan la precisión de la señal GPS desde su emisión del satélite hasta llegar al receptor ***Figura 6***. Para poder corregir la señal se emplean los datos de observación del código y la fase de la señal GPS, las efemérides satelitales GPS, las correcciones de los relojes satelitales y de estación de referencia en tierra, corrección por cargas oceánicas, corrección por efectos troposféricos, así como modelos de fuerza que permiten corregir los efectos que tienen las fuerzas físicas sobre la señal GNSS.

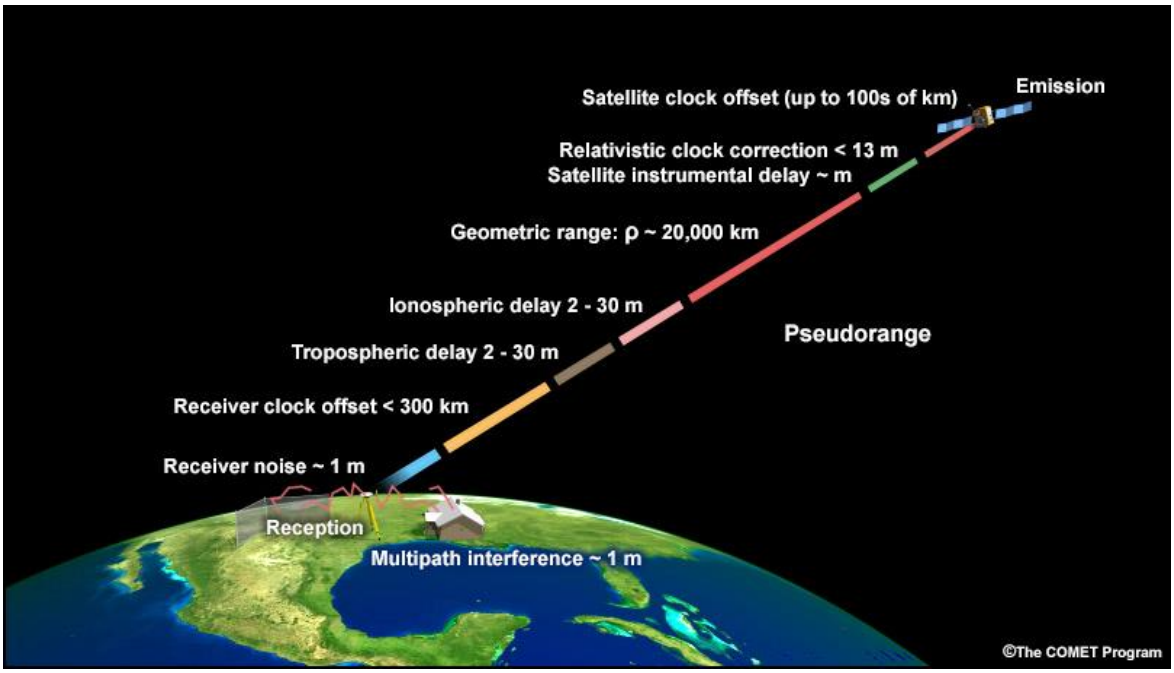


Figura 6 *Fuentes de errores de la señal GPS desde que es emitida por el satélite hasta llegar al receptor.*
@The COMET Program. (s. f.). *Fuentes de errores de la señal GPS desde que es emitida por el satélite hasta llegar al receptor* [Gráfico]. COMET MetEd. https://www.meted.ucar.edu/GIS/GNSS_positioning/media/graphics/gps_error_sources.jpg

Las coordenadas resultantes del posicionamiento utilizando la técnica PPP están expresadas en el mismo marco de referencia de las órbitas de los satélites. Las efemérides son generadas por la IGS y se encuentran referidas en la actualidad al Marco de Referencia Terrestre Internacional ITRF2014, el más actual desarrollado a la fecha.

Algunas de las ventajas de utilizar la técnica PPP son:

- Operación de un solo receptor (bajo costo).
- Puede aplicarse en cualquier lugar y en cualquier momento bajo diferentes dinámicas (áreas remotas, aplicaciones espaciales, etc.).
- No limitado por la longitud de la línea base como ocurre en las técnicas relativas.
- Independiente de una estación GPS de referencia.
- Se puede aplicar en levantamientos estáticos y cinemáticos.

Posicionamiento relativo

Esta técnica de posicionamiento consiste en la determinación de la posición de un receptor GPS a partir de la transferencia de las correcciones en posición de una estación con

coordenadas conocidas **Figura 7**. Las coordenadas obtenidas se encuentran referidas a las estaciones permanentes que transfirieron las correcciones en la posición; esta técnica de posicionamiento se puede emplear con los receptores que recepcionan la pseudodistancia como la fase.

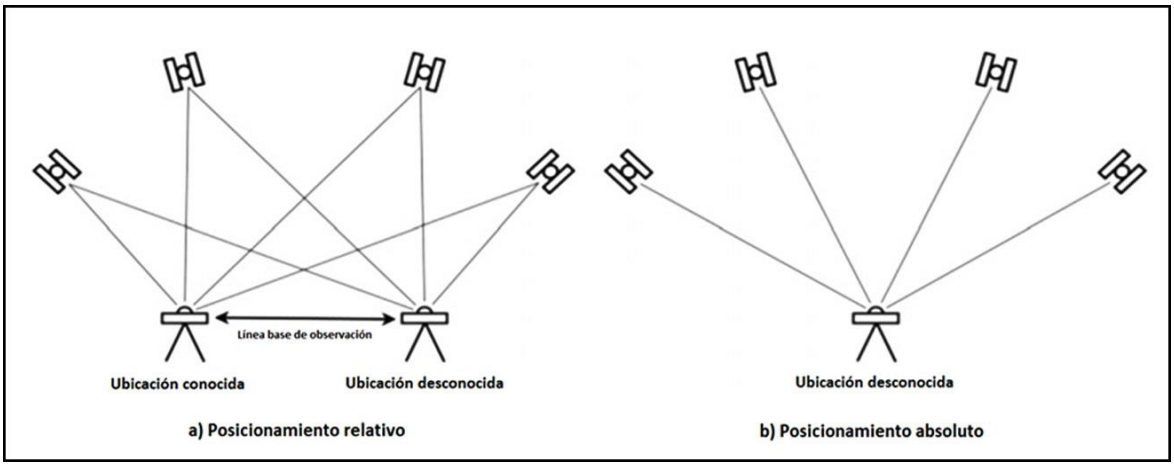


Figura 7 *Esquema que describe: a) el posicionamiento relativo; b) el posicionamiento absoluto.* Cardona, L. A. (2017, 17 febrero). *Esquema que describe: a) el posicionamiento relativo; b) el posicionamiento absoluto.* [Gráfica].

Posicionamiento diferencial GPS

Debido a la degradación de la señal GPS por parte del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el cual tenía como objetivo reducir la exactitud en la determinación de la posición del sistema GPS, se desarrolló la técnica de posicionamiento diferencial GPS, la cual permitía eliminar el error asociado a la degradación de la señal.

Esta técnica se basa en el uso de dos o más receptores GPS, donde un receptor de referencia se encuentra ubicado en un punto con coordenadas conocidas y los demás receptores se encuentra ubicados en los lugares donde se desea determinar la posición. Para calcular las posiciones desconocidas de los receptores GPS, se utilizan las coordenadas conocidas, las cuales permiten calcular las correcciones de la posición derivadas de las observaciones GPS. Esta técnica permite obtener una mejor exactitud que el obtenido con la técnica de posicionamientos de punto.

Esta técnica requiere dos métodos de corrección. En el primero el receptor de referencia ubicado en una posición conocida calcula su posición utilizando el mismo conjunto de satélites que la estación con posición desconocida. La diferencia entre la posición conocida

y la calculada da lugar a una corrección de la posición. El valor obtenido se utiliza como una corrección en el cálculo de la posición del receptor con coordenadas desconocidas, permitiendo obtener una mejora en la determinación de la posición. El segundo método está basado en las correcciones del pseudorango que se derivan de la diferencia entre los rangos calculados y los observados (código y la fase) del pseudorango en la estación de referencia. La técnica de posicionamiento diferencial GPS es usada para incrementar la exactitud en la determinación de la posición de un usuario.

El posicionamiento diferencial con código permite obtener precisiones en el rango de 0,3 metros hasta 2 metros, mientras que el posicionamiento diferencial con medida de fase permite obtener presiones en el rango de 5 a 30 milímetros. La precisión alcanzada dependerá de la distancia a las estaciones de referencia, de la calidad de las correcciones y de la geometría de los satélites principalmente.

Esta técnica tiene la ventaja de eliminar los errores (atmosféricos: troposféricos y ionosféricos, errores en las orbitas y los relojes de los satélites) generados al momento de la recepción los datos GPS cuando se realiza el procesamiento.

Según el método de observación

Según el método de observación, los métodos de posicionamiento GNSS se pueden clasificar en métodos estáticos y métodos cinemáticos.

Según el método de posicionamiento

Según el método de posicionamiento se puede clasificar en métodos de posicionamiento relativo y absolutos.

Posicionamiento relativo (Berber, Ustun, & Yetkin (2012).

A continuación, se describen brevemente los métodos de recolección de datos GPS para en un posicionamiento relativo.

Posicionamiento estático

Este tipo de posicionamiento consiste en poner a rastrear de forma simultánea dos o más receptores GPS, un receptor GPS se llamará la estación base y deberá tener coordenadas conocidas y los demás equipos GPS serán los puntos a los cuales se desea determinar

sus coordenadas. El tiempo de observación será de una hora o más dependiendo de la distancia de las líneas base.

Posicionamiento estático rápido

Este tipo de posicionamiento es similar al estático, excepto que un receptor permanece siempre en una estación de base mientras que el otro se mueve progresivamente de un punto desconocido al siguiente. Se deberán realizar varias sesiones de toma de datos por un periodo de tiempo 5 a 20 minutos, con el propósito de obtener una configuración de satélites óptima. Para realizar este tipo de posicionamiento se sugiere que se tengan en cuenta buenas prácticas como por ejemplo no deben existir construcciones o objetos que obstruyan la visibilidad, redes de alta tensión, no debe haber tormentas eléctricas o solares y la distancia de las líneas base sean menores a 25 metros.

Posicionamiento pseudo cinemático

Al igual que los demás métodos de posicionamiento estático este método requiere como mínimo de dos receptores. Debemos tener un receptor GPS en una estación base, mientras que las estaciones móviles van a cada uno de los puntos con coordenadas desconocidas. El tiempo de toma de datos será de 5 minutos.

El lapso entre la primera sesión de toma de datos y su repetición no debe ser inferior a una hora. Esto aumenta la precisión de las coordenadas debido al cambio en la geometría de los satélites que se produce durante el lapso de toma de datos.

Posicionamiento cinemático

El método posicionamiento cinemático, es en principio, similar al posicionamiento estático; requiere de receptor GPS que actuará como estación base y un receptor móvil para el cual se determinarán sus coordenadas. La diferencia es que el receptor ahora es móvil, es decir, no permanece en una misma posición durante toda la medición, sino que cambia su posición.

Para empezar, el receptor GPS móvil debe ser inicializado para poder determinar la ambigüedad de ciclo inicial de cada pseudorango. Después de que se haya completado la inicialización, se establecerá la comunicación entre el receptor GPS móvil y el receptor GPS estático, y después se podrá empezar a realizar el recorrido. Ambos receptores deben

estar recepcionando cuatro satélites GPS durante toda la sesión de toma de datos, en caso de no ser así se debe reinicializar el posicionamiento.

Posicionamiento absoluto (UNAVCO (2010)

Posicionamiento continuo

Este método de recolección de datos consiste en establecer de forma permanente una estación GPS para que recolecte datos por un largo periodo de tiempo, meses a años. El tipo de monumentación debe asegurar que en el terreno las estaciones tengan autonomía energética y la capacidad de transferir los datos recolectados a un centro de procesamiento.

Posicionamiento estático

Este método de recolección de datos consiste en establecer de forma temporal una estación GPS para que recolecte datos por un periodo mínimo de 6 horas diarias en varios días consecutivos si es posible. La instalación de la estación GPS es portable y la exactitud típica es de 0,5 cm a 2,5 cm.

Posicionamiento estático rápido

Este método de recolección de datos consiste en poner a rastrear una estación GPS por algunos minutos en puntos a los que se le desee determinar las coordenadas. El tiempo de rastreo debe ser el suficiente para estar en la capacidad de resolver las ambigüedades de la fase portadora. Una regla general es recopilar datos durante un mínimo de 10 minutos por punto.

Posicionamiento cinemático

Hace referencia a la toma de datos con equipos móviles en un área local donde las distancias no exceden los 10 km. Este tipo de toma de datos se lleva a cabo cuando se busca obtener posiciones de puntos donde una precisión centimétrica es suficiente.

Tabla 1 Métodos de adquisición de datos GPS

	Exactitud típica	Tiempo de ocupación	Aplicaciones típicas
	< 0,5 cm	Meses o más	Deformación de la corteza, geofísica, estaciones de referencia.
	0,5 cm – 2,5 cm	De horas a días	Deformación de la corteza terrestre, puntos de control geodésicos, geofísica.
	1 cm – 3 cm	Minutos	Glaciología.
	1 cm – 5 cm	Segundos	Posicionamiento de vehículos, SIG y cartografía.

Cardona, L. A. (2020, 20 enero). *Métodos de adquisición de datos GPS* [Tabla]. Adaptado de: Blume, F. (2010, 25 febrero). *GPS Data Collection Methods* [Gráfico]. UNAVCO. https://kb.unavco.org/kb/article/gps-data-collection-methods-70.html

Según el modo de disponibilidad de la solución

Dependiendo del modo en que se obtengan los resultados de la observación GPS tenemos dos tipos de observación:

Post Procesamiento (PP)

La determinación de las coordenadas de posicionamiento se realiza luego de la toma de datos. Para ello se debe realizar la descarga de los datos, obtener los insumos necesarios y utilizar software especializado de post procesamiento de datos GPS para poder

determinar las coordenadas. Este modo permite obtener coordenadas precisas, pero requiere mayor tiempo para conocer los resultados.

Tiempo real (RTK)

Esta técnica de posicionamiento permite obtener coordenadas precisas en tiempo real, pero se requiere que el equipo GPS con el que se realiza el levantamiento tenga incorporado un equipo de comunicación que le permita obtener en tiempo real las correcciones de la posición, que son enviadas desde otra estación referencia con coordenadas conocidas y un módulo de cálculo que permite realizar el procesamiento y obtener las coordenadas precisas.

Exactitud y precisión

La exactitud define que tan cerca está la posición estimada de la posición real. La precisión define qué tan cerca están las estimaciones de la posición realizadas de forma consecutivas entre sí. (Petrovski & Tsujii, 2012) En la Figura 8 se puede observar una comparación entre la precisión y la exactitud de la posición.

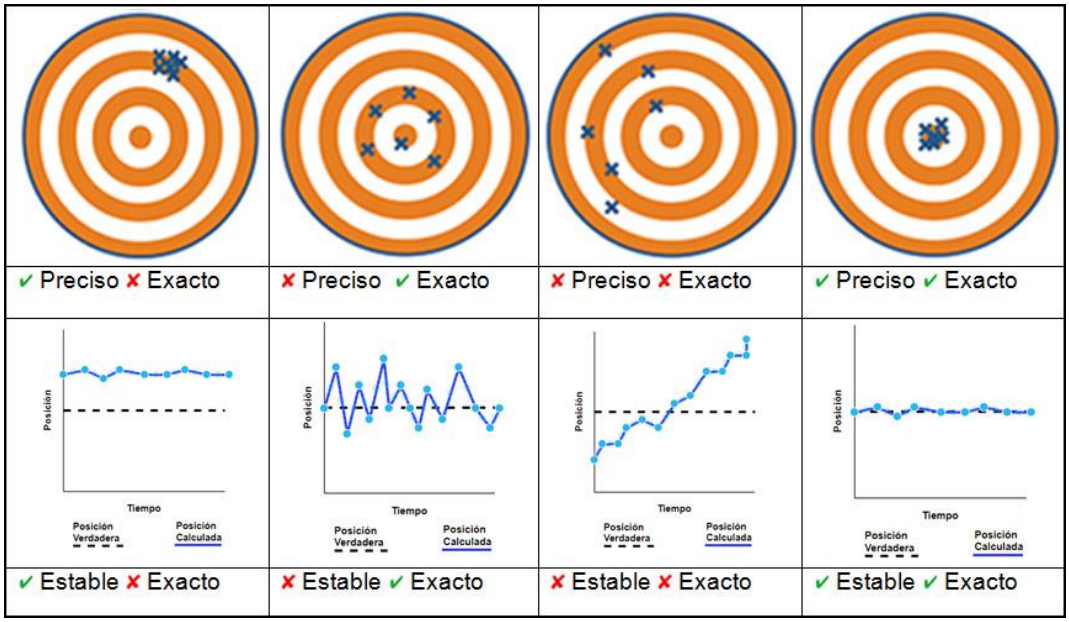


Figura 8 *Precisión versus exactitud.*
Cardona, L. A. (2017, 17 febrero). *Precisión versus exactitud.* [Gráfica].

Precisión y exactitud de las coordenadas

Un factor fundamental en todo procesamiento de datos GPS es la precisión y exactitud con la que son calculadas las coordenadas. Dependiendo de la técnica de procesamiento a emplear los factores que impactan la precisión van a variar.

Precisión y exactitud de las coordenadas técnicas DGPS

La exactitud del procesamiento de los datos GPS está dado por dos factores, el primero es la distancia de separación entre la estación GPS de referencia y la estación GPS del usuario y el segundo factor está dado por el tiempo de observación de la estación GPS del usuario.

La precisión y exactitud de las coordenadas está expresada en función de la distancia de separación de la estación GPS de referencia y la estación GPS del usuario, y exactitud está dada por la siguiente fórmula (Parkinson et al., 1996):

$$\varepsilon \leq \left(\frac{d}{r}\right) * \delta_r \qquad (2)$$

Donde:

- d es la distancia de línea base (distancia entre la estación GPS del usuario y la estación CORS en kilómetros).
- r es la distancia al satélite (20.000 km).
- δ_r es la magnitud del error transmitido por la efeméride.

El segundo factor corresponde al tiempo de rastreo realizado por el usuario, en donde T corresponde al tiempo de rastreo realizado con el GPS por el usuario expresado en horas y k es un parámetro libre en unidades de $cm * \sqrt{horas}$ (Eckl, Snay, Soler, Cline, & Mader, 2001).

$$RMS(cm) = \frac{k}{\sqrt{T}} \begin{Bmatrix} k = 1.0;\ posicionamiento\ horizontales \\ k = 3.7; posicionamiento\ vertical \end{Bmatrix} \qquad (3)$$

Precisión y exactitud de las coordenadas técnicas PPP

La precisión y exactitud de las coordenadas obtenidas utilizando la técnica PPP depende de la exactitud de insumos utilizados para el procesamiento como lo son las orbitas GPS, la corrección de los relojes de los satélites y por el tiempo de observación de la estación GPS del usuario. En la **Tabla 2** se puede apreciar la exactitud de las orbitas GPS y relojes de los satélites publicados por la IGS.

Tabla 2 Exactitud de productos IGS

Tipo		**Exactitud**	**Latencia**	**Actualización**	**Intervalo de muestreo**
Transmitida	Orbitas	~100 cm	Tiempo real	--	Diariamente
	Sat. relojes	~5 ns RMS			
		~2.5 ns SDev			
Ultra Rápida (Mitad predicha)	Orbitas	~5 cm	Tiempo real	a las 03, 09, 15, 21 horas UTC	15 min
	Sat. relojes	~3 ns RMS			
		~1.5 ns SDev			
Ultra Rápida (Mitad observada)	Orbitas	~3 cm	3 - 9 horas	a las 03, 09, 15, 21 horas UTC	15 min
	Sat. relojes	~150 ps RMS			
		~50 ps SDev			
Rápida	Orbitas	~2.5 cm	17 - 41 horas	a las 17 horas UTC diariamente	15 min
	Sat. & Stn. Relojes	~75 ps RMS			5 min
		~25 ps SDev			
Final	Orbitas	~2.5 cm	12 - 18 días	Cada jueves	15 min
	Sat. & Stn. Relojes	~75 ps RMS			Sat.: 30s
		~20 ps SDev			Stn.: 5 min

Cardona, L. A. (2020, 20 enero). *Exactitud de productos IGS* [Tabla]. Adaptado de: International GNSS Service. (s. f.). *Exactitud de productos IGS.* [Impresión de pantalla]. http://www.igs.org/products

La presión de las coordenadas obtenidas del posicionamiento GPS está en función de múltiples factores como lo es el tipo de instrumental GPS utilizado, el tipo de posicionamiento utilizado, el tiempo de rastreo. En la Figura 9 se puede apreciar el error planimétrico promedio obtenido dependiendo la técnica posicionamiento utilizada.

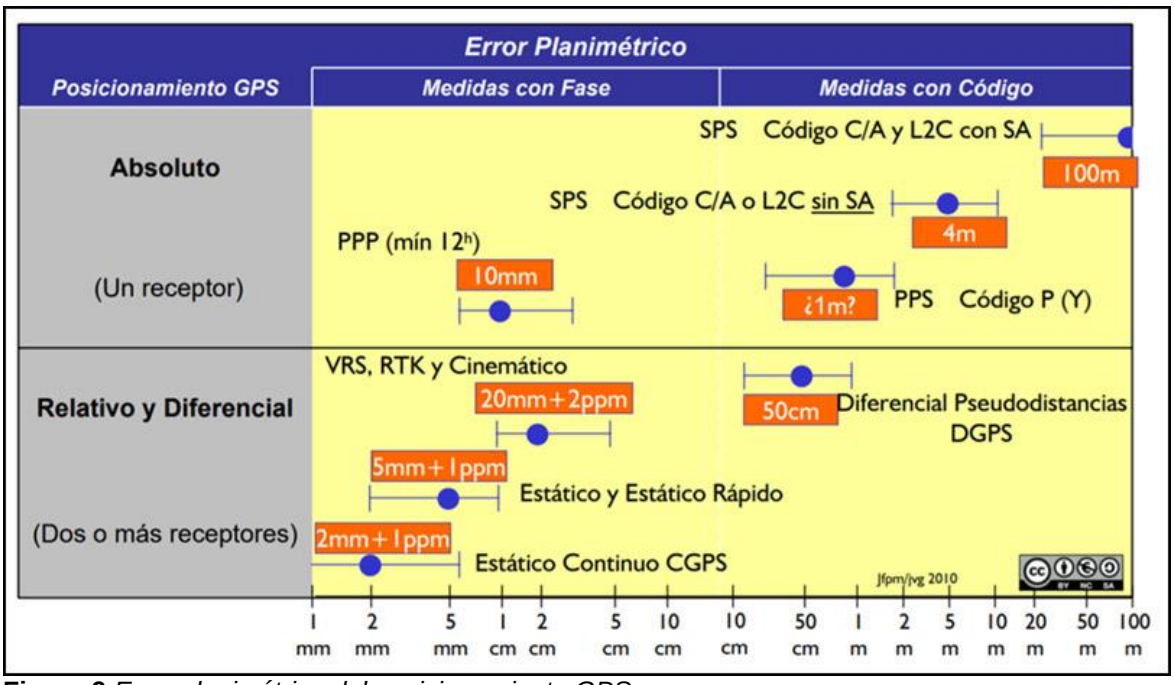


Figura 9 *Error planimétrico del posicionamiento GPS.*
VII Curso GPS en Geodesía y Cartografía - AECI. (2006, 16 junio). *Error planimétrico del posicionamiento GPS* [Impresión de Pantalla]. Métodos de observación GPS. https://es.slideshare.net/rey_arevalo/mtodos-de-observacin-gps

Software de procesamiento de datos GPS

A continuación, se presentan algunos de los softwares de preprocesamiento y procesamiento de datos GPS más utilizados a nivel mundial.

Preprocesamiento de datos

TEQC (Translation, Editing and Quality Checking)

Esta herramienta permite realizar la conversión de formato de los datos recolectados por los diferentes receptores GPS y convertirlos al formato estándar RINEX, corregir los metadatos, filtrar o remover observaciones, definir la ventana de observación y generar un reporte de calidad de los datos que permite evaluar la calidad de los mismos (Estey & Meertens (1999).

HATANAKA

Yuki Hatanaka (hatagsi.go.jp) (GSI) escribió y mantiene rnx2crx y crx2rnx, lo que permite al usuario comprimir / descomprimir, respectivamente, un archivo de observación RINEX

en un formato ASCII más pequeño. La versión en formato ASCII comprimido de Hatanaka de un archivo de observación RINEX se usa con frecuencia junto con la compresión UNIX, zip, gzip u otras utilidades de compresión generalizadas para crear un archivo muy pequeño para la transferencia de Internet.

Postprocesamiento de datos

Los softwares de postprocesamiento de datos GPS se pueden agrupar en tres grandes grupos como se puede apreciar en la **Tabla 3**.

Software de postprocesamiento de GPS/GNSS a nivel de investigación

El Software de postprocesamiento de GPS/GNSS a nivel de investigación puede ser utilizado por universidades y organismos de gobiernos para cualquier fin no comercial.

GAMIT/GLOBK/TRACK

GAMIT/GLOBK/TRACK forman un completo conjunto de programas para analizar las mediciones GPS, principalmente para estudiar la deformación de la corteza terrestre. El software ha sido desarrollado por el MIT, el Instituto Scripps de Oceanografía y la Universidad de Harvard con el apoyo de la Fundación Nacional de Ciencias.

GAMIT es una colección de programas utilizados para el análisis de datos GPS. Utiliza la fase portadora de transmisión GPS y los pseudorango observables para estimar las posiciones relativas tridimensionales de las estaciones terrestres y las órbitas de los satélites, los retrasos en el cenit atmosférico y los parámetros de orientación de la tierra. El software está diseñado para ejecutarse en cualquier sistema operativo UNIX.

GLOBK es un filtro de Kalman cuyo objetivo principal es combinar varias soluciones geodésicas como los experimentos GPS, VLBI y SLR. Acepta como datos o "cuasi-observaciones", las estimaciones y las matrices de covarianza para las coordenadas de la estación, los parámetros de orientación de la tierra, los parámetros orbitales y las posiciones de origen generadas a partir del análisis de las observaciones primarias. Las soluciones de entrada generalmente se realizan con incertidumbres a priori sueltas asignadas a todos los parámetros globales, de modo que las restricciones se pueden aplicar de manera uniforme en la solución combinada.

TRACK es un programa de posicionamiento cinemático de fase diferencial GPS. TrackRT es un programa de procesamiento cinemático GPS en tiempo real.

GIPSY-OASIS II

Es un paquete de software de procesamiento de datos de GPS automatizado, rápido y de alta precisión, con un estricto control de calidad de los datos que utiliza la técnica PPP para la determinación de las coordenadas precisas. Es desarrollado por el JPL (Jet Propulsion Laboratory), y mantenido por los grupos de Aplicaciones y Sistemas de Seguimiento de la Tierra Cercana de la NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Software de postprocesamiento GPS/GNSS de código abierto

RTKLIB

RTKLIB es un paquete de programas de código abierto para el posicionamiento estándar y preciso con GNSS. El RTKLIB consiste en una biblioteca de programas portátil y varios AP (programas de aplicación) que utilizan la biblioteca. Las características de RTKLIB son:

- Soporta algoritmos de posicionamiento estándar y precisos con: GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou y SBAS.
- Soporta varios modos de posicionamiento con GNSS tanto en tiempo real como en postproceso: Simple, DGPS/DGNSS, Cinemático, Estático, Móvil-Base, Fijo, PPP-Cinemático, PPP-estático y PPP-Fijo.
- Soporta varios formatos y protocolos propietarios de receptores GNSS.
- Soporta la comunicación externa a través de: Serial, TCP/IP, NTRIP, archivo de registro local (grabación y reproducción) y FTP/HTTP (descarga automática).
- Proporciona muchas funciones de biblioteca y API para el procesamiento de datos GNSS.

GPSTk

Los Laboratorios de Investigación Aplicada de la Universidad de Texas en Austin han establecido un proyecto de software de código abierto multiplataforma llamado GPSTk o GPS Toolkit. Este software proporciona una biblioteca de código abierto C++ y un conjunto de aplicaciones para resolver problemas de procesamiento de GPS. El código se publica bajo los términos de la Licencia Pública GNU. El GPSTk admite una amplia gama de

funcionalidades. Esto incluye leer y escribir los datos GPS en formatos estándar, como RINEX, BINEX y SP3, evaluación de efemérides, determinación de posición, monitoreo de integridad autónoma del receptor, modelamiento de retardo atmosférico, detección y corrección de deslizamiento de ciclo y generación de código P.

Software comercial de postprocesamiento GPS/GNSS

Bernese

Bernese es un paquete de postprocesamiento de datos GPS/GLONASS científico de alto rendimiento, precisión y flexibilidad. El modelado de vanguardia, el control detallado sobre todas las opciones de procesamiento, las herramientas de automatización de rendimiento, el cumplimiento de los estándares internacionales adoptados y la flexibilidad inherente debido a un diseño altamente modular son características del software que lo hacen atractivo.

Trimble Business Center

Es el software de postprocesamiento de datos GNSS producido por la empresa Trimble, el cual corre sobre el sistema operativo de Windows. Esta herramienta permite realizar la conversión, edición de los datos GPS y realizar su postprocesamiento utilizando la técnica PPP o DGPS. Las funcionalidades disponibles dependerán del nivel de licenciamiento adquirido.

RTNet

Es un software comercial de procesamiento de datos GNSS producido por la empresa GPS Solutions. Este software está diseñado principalmente para el procesamiento de los datos en tiempo real, pero también es posible realizar el postprocesamiento de los datos GNSS. Este software permite realizar el procesamiento de los datos utilizando la técnica PPP o DGPS.

La **Tabla 3** presenta a manera de resumen los diferentes softwares de postprocesamiento de datos GPS, así como las diferentes técnicas de procesamiento que incorporan.

Tabla 3 *Software de postprocesamiento de datos GPS*

Software de postprocesamiento de GPS/GNSS a nivel de investigación		
Software	**Desarrollado por**	**Técnica de procesamiento**
GAMIT/GLOBK/TRACK	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	DGPS
GIPSY-OASIS II	Jet Propulsion Laboratory (JPL)	PPP
Software de postprocesamiento GPS/GNSS de código abierto		
Software	**Desarrollado por**	**Técnica de procesamiento**
RTKLIB	T. Takasu	DGPS/PPP
GPSTk	Applied Research Laboratories (ARL), University of Texas at Austin	DGPS/PPP
Software comercial de postprocesamiento GPS/GNSS		
Software	**Desarrollado por/Compañía**	**Técnica de procesamiento**
Bernese	Astronomical Institute of the University of Bern (AIUB)	DGPS
Trimble Business Center	Trimble	DGPS/PPP
RTNet	GPS Solutions	DGPS/PPP

Cardona, L. A. (2020, 20 enero). *Software de postprocesamiento de datos GPS* [Tabla].

Servicios de procesamiento de datos GPS

A nivel mundial existen diversas organizaciones que han desarrollado y puesto a disposición de los usuarios servicios de procesamiento de datos GPS en la web, los cuales permiten a un usuario determinar la posición de un receptor GPS mediante el procesamiento, utilizando la técnica de posicionamiento absoluto o el diferencial. Los servicios que emplean la técnica de posicionamiento absoluto utilizan el método PPP para determinar la posición (Zumberge, Heftin, Jefferson, Watkins, & Webb (1997). Mientras que los servicios que emplean la técnica relativa emplean el método DGPS para determinar la posición utilizando las mediciones realizadas por las redes de estaciones CORS disponibles y sus coordenadas asociadas.

En la actualidad existen varios servicios de procesamiento de datos GPS de acceso libre a nivel mundial y cada vez son más las instituciones que trabajan en la construcción de sus propios servicios de procesamiento de datos GPS en la web, los cuales aprovechan

las bondades de su infraestructura geodésica para obtener mejores resultados en el cálculo de las coordenadas, así como generar resultados asociados a su propio marco de referencia (Maraş, Şanlioğlu, & Aktuğ, 2011; Pearson, Crook, Jordan, & Denys, 2015). A continuación, se presentan algunos de los servicios de posicionamiento más utilizados (Gakstatter (2013):

Servicios de posicionamiento relativo

A continuación, se presentan algunos de los servicios de acceso libre que utilizan el posicionamiento relativo para entregar a sus usuarios soluciones en la determinación de las coordenadas.

AUSPOS (Australia's on-line static GPS)

Es un servicio gratuito de procesamiento de datos de GPS en línea, creado por Geoscience Australia desde finales de 2000. Solo procesa datos de la constelación GPS en modo estático, recolectados en cualquier lugar del mundo y que hayan utilizado equipos de posicionamiento de doble frecuencia por lo menos durante una hora. Los datos recolectados en modo cinemático no pueden ser procesados utilizando este servicio.

Cuando el archivo RINEX se envía al servicio para ser procesado, el servicio utiliza las estaciones de referencia internacionales de la IGS y las estaciones de referencia de la APREF (Asia Pacific Reference Frame), así como las efemérides de la constelación GPS generadas por la IGS para poder realizar el procesamiento y de esta forma generar un reporte estadístico con los resultados del procesamiento en el cual se detalla los parámetros bajo la cual fue realizado el procesamiento.

El servicio AUSPOS aplica el modelo de variación del centro de fase de la antena IGS14. También utiliza la combinación del modelo lineal libre de ionosfera de L1 y L2, y el modelo troposférico a priori de la Función Mapeo Global (GMF). El software utilizado para el procesamiento es Bernese GNSS, el cual es un software científico de licencia comercial para el procesamiento de datos GNSS, desarrollado por la universidad de Berna. A través del siguiente enlace puede ingresar al sitio web del servicio de procesamiento: http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl

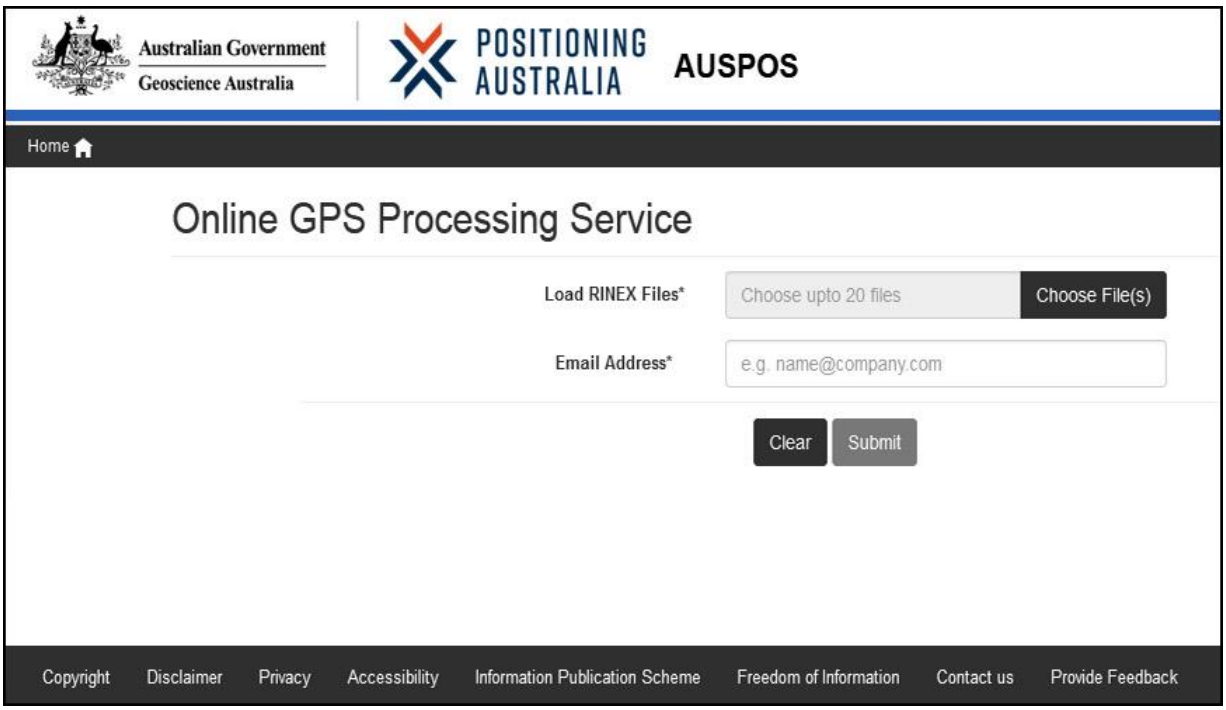


Figura 10 *Interfaz del servicio de procesamiento AUSPOS.*
Interfaz del servicio de procesamiento AUSPOS (s. f.). [Impresión de pantalla]. Online GPS Processing Service. https://gnss.ga.gov.au/auspos

OPUS (online processing user service)

Es el servicio de procesamiento de datos GPS en el web más utilizado en Estados Unidos. Fue desarrollado por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), el cual tiene cobertura global, la técnica de procesamiento empleada es DGPS y el software de procesamiento es propio y fue desarrollado por la NOAA.

Para realizar el procesamiento de los datos RINEX enviados este servicio utiliza la red de estaciones de referencia global de la IGS y la infraestructura geodésica de estados unidos, con lo cual logra brindar a los usuarios una excelente precisión en la determinación de las coordenadas.

El reporte del procesamiento es enviado al correo electrónico suministrado por el usuario en formato plano. En el reporte se pueden consultar las coordenadas finales obtenidas referidas al ITRF2014 y NAD 83 (Datum Norteamericano de 1983). A través del siguiente enlace se puede ingresar al servicio de procesamiento: https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/.

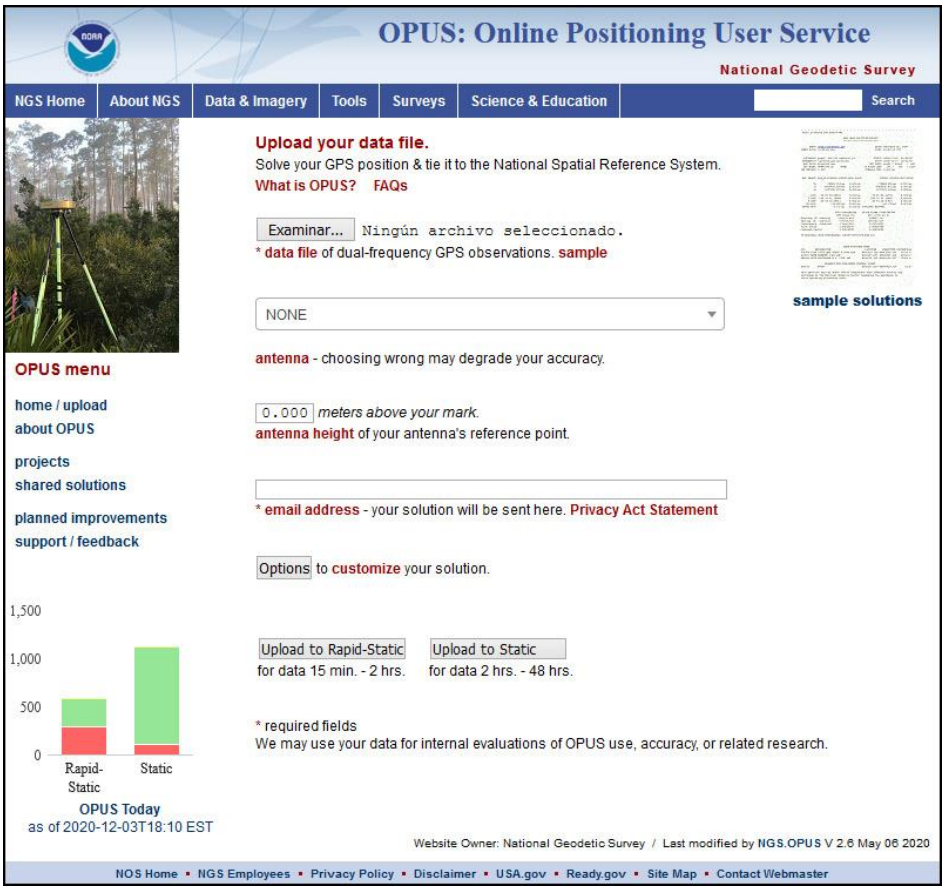


Figura 11 *Interfaz del servicio de procesamiento OPUS.*
Interfaz del servicio de procesamiento OPUS. (s. f.). [Impresión de pantalla]. OPUS: Online Positioning User Service. https://geodesy.noaa.gov/OPUS/

SCOUT (Scripps Coordinate Update Tool)

Servicio de procesamiento de datos GNSS desarrollado por SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) de la universidad de San Diego de California, este servicio procesa los archivos RINEX utilizando la técnica DGPS la cual implementa a través del software GAMIT/GLOBK. A través del siguiente enlace puede ingresar al servicio de procesamiento: http://sopac.ucsd.edu/scout.shtml

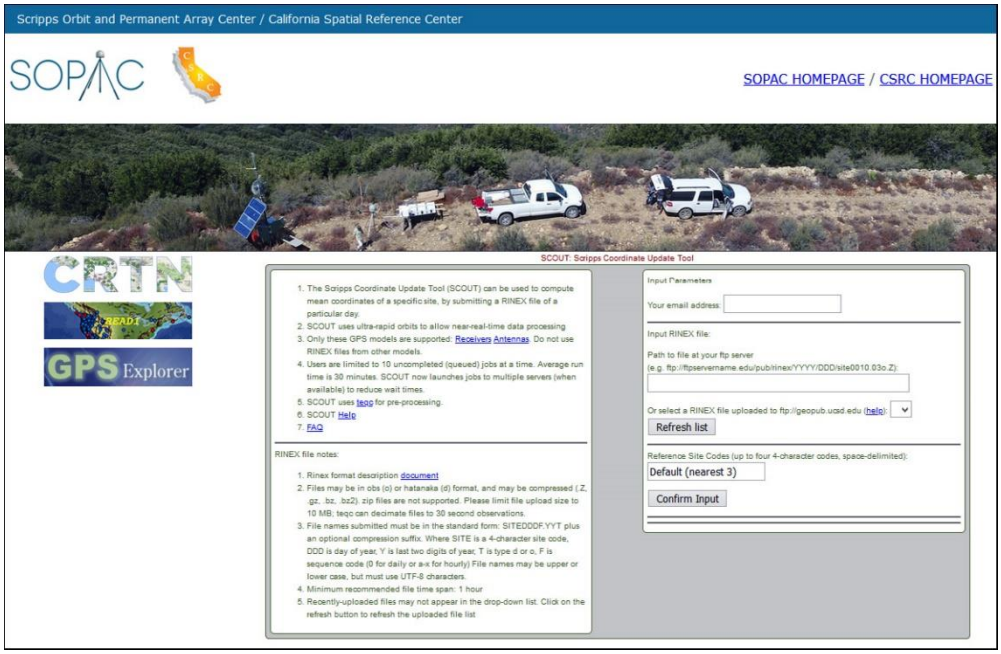


Figura 12 *Interfaz del servicio de procesamiento SCOUT.*
California Spatial Reference Center. (s. f.). *Interfaz del servicio de procesamiento SCOUT* [Impresión de pantalla]. Scripps Orbit and Permanent Array Center / California Spatial Reference Center. http://sopac-old.ucsd.edu/scout.shtml

Servicios de posicionamiento absoluto

Los siguientes servicios de procesamiento de datos utilizan la técnica PPP para realizar la determinación de las coordenadas finales.

GAPS (GNSS analysis and positioning software)

Este servicio de procesamiento fue desarrollado y es mantenido por el Departamento de Geodesia e Ingeniería Geomática de la Universidad de New Brunswick. El servicio web utiliza la técnica PPP para realizar el procesamiento de los datos GNSS y el software empleado es GAPS 6.0 el cual fue desarrollado por la universidad.

Para realizar el procesamiento de los datos este servicio brinda dos modos, un modo básico en el cual se utilizan los parámetros por defecto para realizar el procesamiento y un modo avanzado en el cual el usuario tiene la posibilidad de seleccionar los parámetros a usar en el procesamiento, como lo son los tipos de efemérides, modelo corrección troposférica, modelo de calibración de antenas y constelación GNSS a procesar.

Como resultado del procesamiento se obtiene un reporte el cual es enviado al usuario al correo electrónico suministrado. A través del siguiente enlace puede ingresar al sitio web del servicio de procesamiento: http://gaps.gge.unb.ca/submitadvanced.php

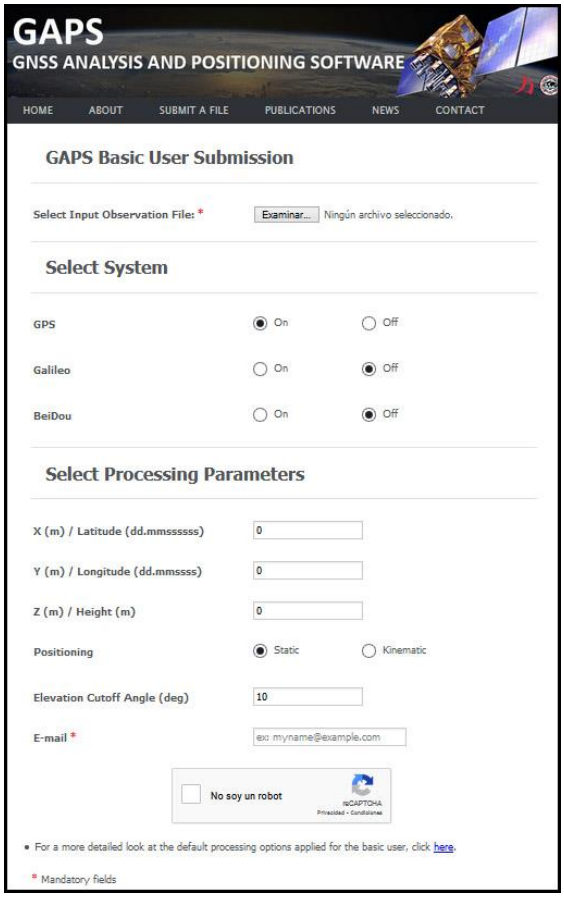


Figura 13 *Interfaz del servicio de procesamiento GAPS.*
Departamento de Geodesia e Ingeniería Geomática de la Universidad de New Brunswick. (s. f.). *Interfaz del servicio de procesamiento GAPS* [Impresión de pantalla]. GNSS Analysis and Positioning Software. http://gaps.gge.unb.ca/submitbasic.php

APPS (Automatic Precise Positioning Service)

Es el servicio de procesamiento de datos GNSS desarrollado por JPL. El servicio tiene una cobertura global y puede no tiene ningún costo, no es necesario registrarse para usar del servicio, pero al estar registrado se tiene acceso a mayores funcionalidades. La estrategia de procesamiento de los datos es PPP y es realizada utilizando el software GIPSY OASIS 6.4. El servicio web soporta como dato de entrada los archivos RINEX y cuando este es procesado, el resultado es mostrado en la interfaz web. A través del siguiente enlace puede ingresar al sitio web del servicio de procesamiento: http://apps.gdgps.net/



Figura 14 *Interfaz del servicio de procesamiento APPS.*
NASA Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology. (s. f.). *Interfaz del servicio de procesamiento APPS* [Impresión de pantalla]. The automatic precise positioning service. https://apps.gdgps.net/

Trimble RTX (Trimble Center Point)

Es un servicio de corrección de posicionamiento absoluto que brinda a los usuarios de sistemas GNSS, correcciones en tiempo real de alta precisión vía internet utilizando la técnica PPP. Este servicio tiene cobertura global y para realizar el procesamiento se utilizan las efemérides, las estaciones de referencia de la IGS y estaciones propias. Este servicio no es gratuito, pero a través del registro en su plataforma se puede tener un tiempo de prueba para probar el servicio. A través del siguiente enlace puede ingresar al sitio web del servicio de procesamiento: https://positioningservices.trimble.com/services/rtx/centerpoint-rtx/

CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System - Precise point positioning)

Es un servicio web de procesamiento de datos GNSS desarrollado por el Departamento de Recursos Naturales de Canadá, para usar este servicio el usuario deberá registrarse para obtener una cuenta gratuita. Este servicio puede procesar datos de frecuencia única y doble de los satélites GPS y GLONASS con cualquier período de observación y este procesamiento está disponible después de aproximadamente una hora y media de la recogida de datos sobre el terreno. Para realizar el procesamiento es empleada la técnica PPP y el software de procesamiento es de elaboración propia. A través del siguiente enlace puede ingresar al sitio web del servicio de procesamiento: https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php

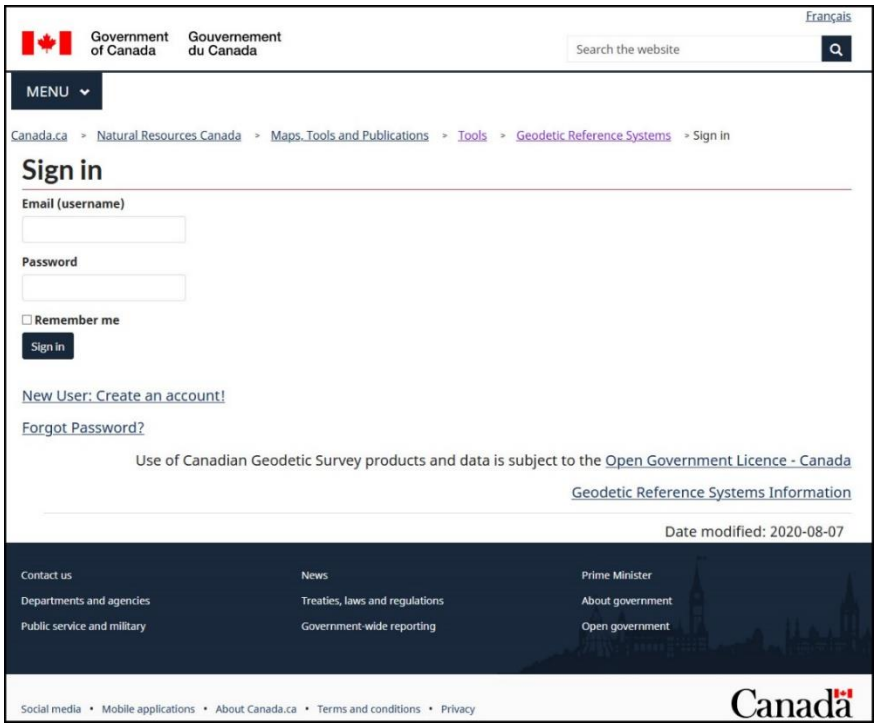


Figura 15 *Interfaz del servicio de procesamiento CSRS-PPP.*
Departamento de Recursos Naturales de Canadá. (s. f.). *Interfaz del servicio de procesamiento CSRS-PPP* [Impresión de pantalla]. Geodetic Tools and Applications. https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/maps/tools-applications/10925#ppp

En la **Tabla 4** se puede realizar una comparación de los servicios de procesamiento web que actualmente se encuentran disponibles. Se puede apreciar características técnicas como por ejemplo la técnica de procesamiento que implementa, constelaciones de GNSS soportadas, tiempo de observación mínimo requerido para poder procesar un archivo RINEX

Tabla 4 *Comparación de servicios de procesamiento de datos GPS en la web*

Servicio	**AUSPOS**	**OPUS**	**SCOUT**	**GAPS**	**APPS**	**Trimble RTX**	**CRS-PPP**
Proveedor	Agencia de geociencias de Australia	NOAA	Universidad de California en San Diego	Universidad de Nuevo Brunswick	NASA/JPL	Trimble	Departamento de Recursos Naturales de Canadá
Software de procesamiento	Bernese GNSS	Software propietario	GAMIT GLOBK	Software propietario	GIPSY OASIS X	Software propietario	Software propietario
Tipo GNSS	GPS	GPS	GPS	GPS, Galileo, BeiDou	GPS	GPS, GLONASS, QZSS, BeiDou	GPS, GLONASS
Técnica de procesamiento	DGPS	DGPS	DGPS	PPP	PPP	PPP	PPP
Procesamiento estático	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Procesamiento cinemático	NO	NO	NO	SI	SI	NO	SI
Constelación GNSS	GPS	GPS	GPS	GPS, Galileo, BeiDou	GPS	GPS, GLONASS, QZSS, BeiDou	GPS, GLONASS
Usa modelos de antenas	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Efemérides	IGS	IGS	IGS	IGS NRCan	JPL finales	Trimble	IGS NRCan
Tiempo de observación requerido	Mayor a 1 hora (Recomendado 2 horas)	Para procesamiento estático: Mayor a 2 horas. Procesamiento rápido	Mayor a 1 hora	Cualquier duración de tiempo	Cualquier duración de tiempo	Mayor a 10 minutos	Cualquier duración de tiempo

		estático: 15 minutos					
Limitaciones	Archivos con más de 7 días de observación. No acepta datos del mismo día de la observación		Tiempo de observación no mayor a las 24 horas	Se permite un archivo RINEX de máximo 10 MB		Tiempo de observación no mayor a las 24 horas	
Tiempo medio de ejecución y entrega de resultados	75 minutos por correo	5 minutos por correo	30 minutos por correo	25 minutos por correo	Instantánea en la página web del servicio	1 minuto por correo	1 minuto por correo
Angulo de eliminación de datos	7°	10°	10°	7°	7.5°	N/A	10°
Parámetros de entrada	Altura instrumental Tipo de Antena Correo electrónico	Tipo de antena Altura instrumental Correo electrónico	Tipo de antena Tipo de receptor GPS Correo electrónico	Ángulo de elevación Coordenadas a priori Constelación GNSS Correo electrónico	Ángulo de elevación Frecuencia de muestreo	Sistema de coordenadas Correo electrónico	Correo electrónico
Cobertura	Global	Global	Global	Global	Global	Global	Global

Cardona, L. A. (2020, 20 enero). *Comparación de servicios de procesamiento de datos GPS en la web.* [Tabla]. Adaptado de: El Shouny, A., Miky, Y. (2019). *Accuracy assessment of relative and precise point positioning online GPS processing services.* Journal of Applied Geodesy, 13, 215-227. 2020, noviembre 16, Recuperado de https://doi.org/10.1515/jag-2018-0046

Transformación digital

Los gobiernos deben propender por el mejoramiento de la vida de sus ciudadanos y la tecnología es un pilar esencial para lograrlo, brindando servicios que les faciliten la vida contribuye a impulsar el desarrollo y permitir la inclusión. La confianza de los ciudadanos es muy difícil de construir y, en un paisaje que cambia de manera rápida, es aún más difícil de mantener. El deseo de construir esa confianza es un aspecto que dirige la transformación digital en los gobiernos.

> “Cuando la mayoría de las personas están acostumbradas a realizar sus tareas diarias en un eficiente entorno digital, desde banca en línea a realizar compras, esperan que su experiencia con los gobiernos sea la misma. Cuando las organizaciones de gobierno cumplen esta demanda de frente, al brindar experiencias digitales positivas y más eficientes para los ciudadanos, se genera esa importante confianza ciudadana.”

(Reyes, M. (2019) La transformación digital ayuda a los gobiernos a ser más inclusivos. Microsoft News Center Latinoamérica. Recuperado de https://news.microsoft.com/es-xl/la-transformacion-digital-ayuda-a-los-gobiernos-a-ser-mas-inclusivos/)

Actualmente el gobierno colombiano cuenta con dos redes geodésicas que son estratégicas para el desarrollo del país, las cuales no están siendo utilizadas por los usuarios en su máximo potencial, debido a que no se cuentan con servicios que permitan tener acceso a la información de una forma más eficiente, así como servicios de procesamiento de datos que contribuyan a una rápida, eficiente y precisa georreferenciación. Contar con un servicio de procesamiento de datos GPS en línea contribuye a mejorar la competitividad de los usuarios de las tecnologías geoespaciales en Colombia, ya que estos no tendrían que acceder a software especializados para realizar el procesamiento de los datos y se reduciría el tiempo de espera en el proceso de georreferenciación de los datos GPS.

Metodología

Fase 1: Administración de requerimientos y fuentes de datos

En esta fase se realiza el análisis de los requerimientos a tener en cuenta para la implementación del servicio de procesamiento de datos GPS, se identifican los requerimientos funcionales y no funcionales, los casos de uso, así como la selección de la selección de la técnica y el software de procesamiento a utilizar.

Requerimientos no funcionales

Se entienden como requerimientos no funcionales aquellas restricciones a los servicios o funciones que ofrece el sistema, explicadas y documentadas en términos del tiempo, procesos y estándares. Normalmente dichas restricciones aplican a todo el sistema y su especificación no hace referencia a funciones o servicios específicos.

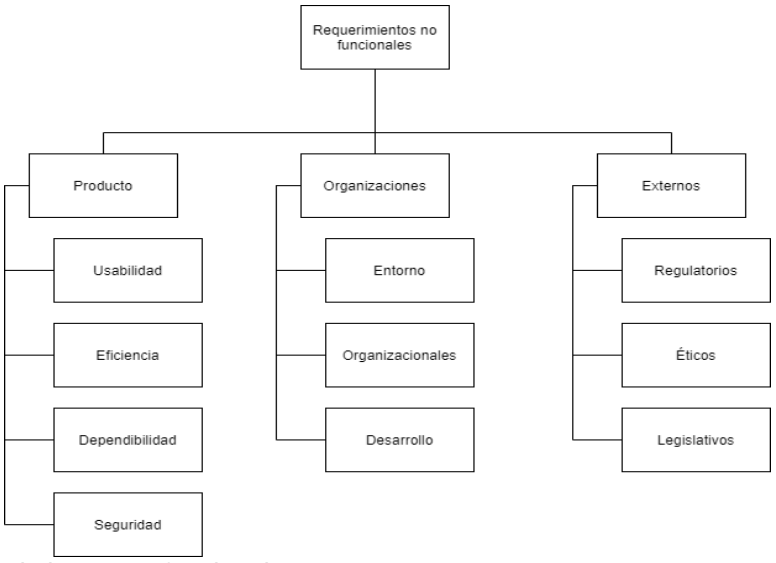


Figura 16 *Requerimientos no funcionales*
Cardona, L. A. (2020, 20 enero). *Requerimientos no funcionales***.** [Gráfica]. Adaptado de: Sommerville, I.(2011) *SOFTWARE ENGINEERING Ninth Edition* [archivo PDF].

Producto

- ***Usabilidad***

El servicio de procesamiento propuesto se podrá a través de una aplicación web y el desarrollo de sus interfaces tendrán un diseño web adaptativo.

- ***Eficiencia - Desempeño***

La velocidad de ejecución del aplicativo web depende directamente de la velocidad y calidad de la conexión a internet, pues para poder realizar el procesamiento de los datos estos deben ser subidos a la nube.

El procesamiento de los datos se realizará de forma síncrona, y cuando se genere una cola de solicitudes de procesamiento, el orden que se seguirá para dar respuesta a las solicitudes es FIFO (first in first out) primero en entrar, primero en salir.

- ***Dependencia***

En términos de la dependencia de componentes estos están limitados al ambiente de ejecución en un navegador web moderno (Chrome V40, Firefox V35, Safari V6). No obstante, a la descripción anterior la aplicación se desarrolla como una aplicación web basada en los lenguajes HTML5, CSS3 y JavaScript.

- ***Seguridad***

La aplicación no usará ningún esquema de autenticación de usuarios para ninguna de las funcionalidades.

- ***Idioma***

La interfaz gráfica se presentará en el idioma español. El idioma está asociado a los elementos de la interfaz gráfica y el menú de herramientas, no aplica para los datos, ni elementos derivados de conjuntos de datos como los gráficos, puesto que la fuente de datos se puede encontrar en un idioma diferente y no se incluye dentro del proyecto la traducción de dichos conjuntos de datos.

Organizacionales

- ***Ambiente de Ejecución***

El patrón de arquitectura de software a utilizar es modelo, vista y controlador. La vista de la aplicación se desarrolla como una aplicación web basada en los lenguajes HTML5,

CSS3 y JavaScript, por lo cual su ambiente de ejecución es un navegador. El control de la aplicación se desarrollará utilizando el lenguaje de programación Python y tcsh. La persistencia de los datos se tendrá en una base de datos PostgreSQL.

El desarrollo de la aplicación se realizará utilizando software libre. El sistema operativo sobre el cual se realizará el despliegue de la aplicación es Ubuntu Server.

- ***Operación***

El funcionamiento de la plataforma depende de los insumos que son publicados por las diferentes agencias de investigación. El desarrollo de la aplicación no abarca la verificación de los insumos utilizados para el procesamiento de los datos. Únicamente empleara los insumos disponibles para realizar el procesamiento de los datos.

- ***Desarrollo***

El desarrollo de la interfaz gráfica del servicio de procesamiento se realizará utilizando HTML5, CSS3 y Javascript; los servicios de procesamiento de datos serán desarrollados usando Python, TCSH, SQL, Node JS.

Externos

- ***Aspectos Éticos***

Respecto a los derechos de autor, los derechos patrimoniales le corresponden a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y los derechos morales se mantienen en cabeza de las personas que participaron en el desarrollo del proyecto.

- ***Legislativos***

La licencia del desarrollo generado y su código fuente será la de código abierto de libre distribución (GNU GPL 3). Siempre se deberán reconocer los derechos morales del mismo

Requerimientos funcionales

Los requerimientos funcionales son aquellos requerimientos definidos en función de las necesidades de los usuarios de una aplicación. Se expresan inicialmente en términos del lenguaje natural para luego ser traducidos a diagramas y especificaciones técnicas, los cuales tienen el doble propósito de precisar los detalles para el desarrollo y codificación, además de permitir la comprensión de los usuarios no técnicos.

Inicialmente se presenta un diagrama de casos de uso donde se precisan los actores que interactúan con el sistema, los casos de uso y sus relaciones; a continuación, se presentan las especificaciones técnicas de cada uno de los casos de uso presentados

Casos de uso

A continuación, se presentan los casos de uso generales que se desarrollaran. Los casos de uso se encuentran agrupados en los módulos de gestión de insumos, gestión de tareas y gestión de procesamiento. Para revisar los casos de uso específicos consultar el **Error! Reference source not found.**.

Tabla 5 *Lista de casos de uso*

Código	Grupo	Caso de uso
CU001.1	Gestión de insumos	Descarga de efemérides GPS (finales, rápidas y ultra rápidas)
CU001.2		Descarga de archivos de corrección troposférica
CU001.3		Descarga de archivos RINEX
CU001.4		Actualización de parámetros
CU002.1	Gestión de tareas	Controlar cargas de trabajo
CU002.2		Análisis de calidad de los datos
CU002.3		Generar reporte de resultados
CU002.4		Enviar reporte de resultados
CU003.1	Gestión de procesamiento	Obtener coordenadas a priori
CU003.2		Seleccionar técnica de procesamiento
CU003.3		Seleccionar estaciones CORS de referencia
CU003.4		Obtener cargas oceánicas
CU003.5		Obtener coordenadas finales
CU004.1	Gestión de aplicación	Enviar archivo RINEX
CU004.2		Ver mapa con la ubicación
CU004.3		Conversión de coordenadas

Cardona, L. A. (2020, 20 enero). *Lista de casos de uso.* [Tabla].

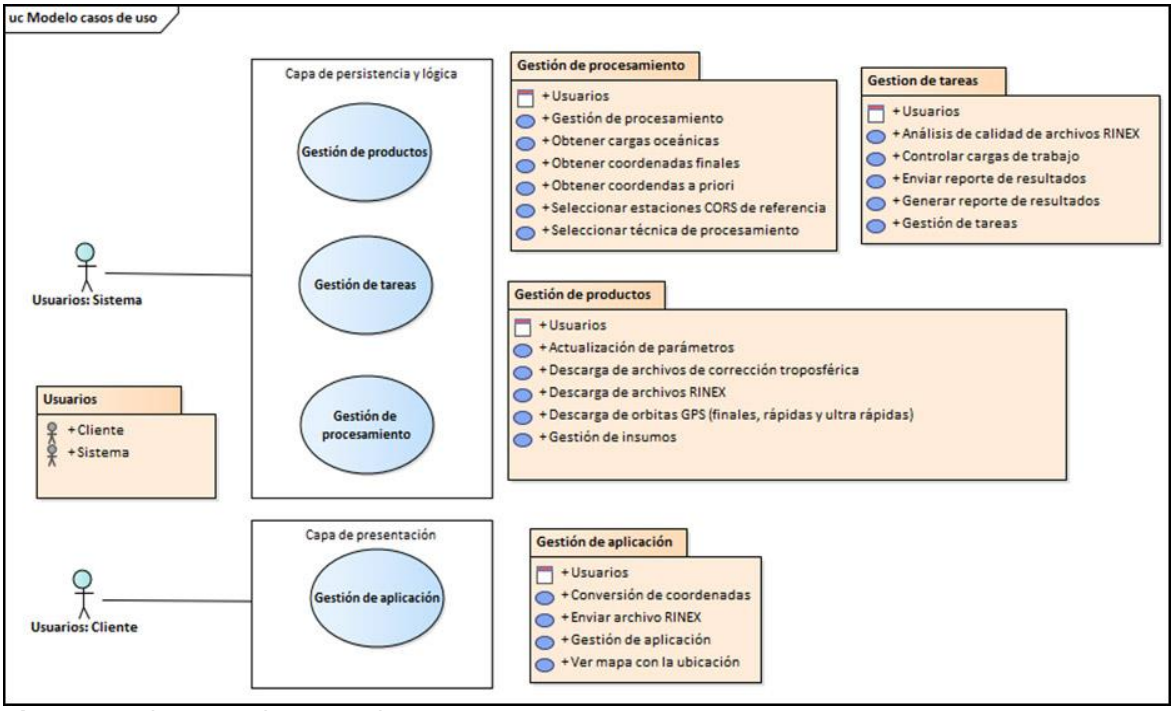


Figura 17 *Diagrama de casos de uso.*
Cardona, L. A. (2020, 15 marzo). *Diagrama de casos de uso.* [Gráfica].

Selección de la técnica de procesamiento de datos GPS

Una vez realizada la revisión bibliográfica de los diferentes Métodos de posicionamiento GNSS Se determina que el mejor método de procesamiento depende de las condiciones en que fue realizado el levantamiento de los datos. La técnica de procesamiento de datos que permite obtener las mayores precisiones es DGPS, pero para poder utilizar esta técnica se debe tener acceso a los datos de las estaciones de referencia cercanas que hayan rastreado simultáneamente con la estación para la cual deseamos determinar las coordenadas, pero en muchas ocasiones esto no es posible debido a que no se cuentan con estaciones de referencia cercanas a la zona en el que se realizó el levantamiento GPS, o porque las estaciones de referencia no cuentan con sistema de comunicación que permita tener acceso a los datos de forma oportuna. Por lo anterior puede ser más oportuno y apropiado utilizar la técnica de procesamiento de datos PPP, que para ser utilizada requiere únicamente los parámetros de corrección generados por los laboratorios internacionales sin retraso alguno.

Por lo anterior se decide que el modelo de procesamiento de datos GPS deberá contemplar la utilización de la técnica DGPS y PPP para el procesamiento de los datos y que la técnica

a utilizar estará en función de la disponibilidad de los datos requeridos, o porque el usuario decida utilizar una técnica específica para el procesamiento de sus datos.

Realizar un modelo de procesamiento de datos GPS que contemple la utilización de la técnica DGPS y la técnica PPP es de gran beneficio para los usuarios debido a que en la revisión de los Servicios de procesamiento de datos GPS no se encontró ningún servicio que implemente al tiempo las técnicas DGPS y PPP para realizar el procesamiento de los datos.

Selección del software de procesamiento de datos GPS

En el marco teórico se presentaron diferentes **Error! Reference source not found.** los cuales tienen sus ventajas y desventajas. Por ejemplo, para esta investigación no se utilizarán softwares comerciales debido a que no se cuentan con los recursos económicos para adquirir una licencia, que suelen costar varios miles de dólares.

Debido a que se desea realizar la implementación de un prototipo funcional del modelo de procesamiento de datos GPS, se decide seleccionar un software que tenga entre sus capacidades la posibilidad de realizar el procesamiento de los datos GPS utilizando la técnica PPP y DGPS, por lo cual el mejor software de las opciones que tenemos disponibles es RTKLIB, el cual, además de ser Open Source, brinda un API que permite realizar de forma rápida y parametrizable el procesamiento de los datos.

Fuentes de datos y parámetros de procesamiento

Para el procesamiento de los datos se han considerado varias correcciones las cuales son generadas por diferentes centros de investigación a nivel mundial. En la **Tabla 6** se pueden apreciar las diferentes fuentes de datos a utilizar.

Tabla 6 Fuentes de datos a usar en el procesamiento

Insumo	**Proveedor**	**Formato**	**Enlace**
Orbitas GPS	CDDIS	.sp3	https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/orbit_products.html
Parámetros ionosféricos	CDDIS	.i	https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/atmospheric_products.html#iono

Parámetros de rotación de la tierra	CDDIS	.erp	https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/orbit_products.html
Corrección de relojes	CDDIS	.clk	https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/clock_products.html
Corrección por cargas oceánicas	OSO	.blq	http://holt.oso.chalmers.se/loading/
Corrección de antenas satelitales y receptores	IGS/NOAA	.atx	https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadFile?file=ngs14.atx
Archivos RINEX estaciones de referencia	UNAVCO	.rnx	ftp://data-out.unavco.org/pub/rinex

Cardona, L. A. (2020, 15 marzo). *Lista de casos de uso.* [Tabla].

Fase 2: Diseño

Arquitectura

La arquitectura que se propone para la construcción del servicio de procesamiento de datos GPS es la multinivel, en la cual se pueden distinguir las capas de presentación, negocio y persistencia.

En la **capa de presentación** se encuentran las interfaces necesarias para que el usuario pueda realizar la solicitud de procesamiento de datos GPS, la documentación y ayuda sobre el servicio web y pueda visualizar los resultados obtenidos del procesamiento. Los usuarios pueden tener acceso al servicio de procesamiento a través de un sitio web y lo único que se requiere es un navegador web con acceso a Internet.

La **capa de negocio** es la encargada de realizar el procesamiento de los datos GPS y retornar el reporte del procesamiento, así como las coordenadas obtenidas. Esta capa está integrada por el módulo de gestión de tareas, el módulo de gestión de datos y el módulo de gestión de procesamiento GPS como se puede apreciar en la **Figura 18**.

El módulo de gestión de datos es el encargado de realizar el control de calidad de los datos enviados por el usuario y validar si cumple con el tiempo de observación mínimo requerido,

tener el número de observaciones mínimas para poder ser procesadas, así como remover las observaciones registradas de satélites de otras constelaciones como GLONASS, GALILEO, BEIDU, SBAS.

Si los datos enviados por el usuario son válidos, el módulo de gestión de datos continua con la descarga de los insumos necesarios para ser el procesamiento como lo son: Orbitas GNSS, Parámetros ionosféricos, Parámetros de rotación de la tierra, Corrección de relojes de los satélites y estaciones en tierra, Corrección por cargas oceánicas, Corrección de antenas satelitales y receptores. La descarga de datos puede ser realizada de forma continua o por demanda.

Finalmente, si los insumos requeridos para realizar el procesamiento fueron descargados exitosamente, el módulo de gestión de datos realiza la búsqueda de las estaciones CORS más cercanas y con datos disponibles al lugar del levantamiento GPS. El resultado de la descarga de datos y análisis de calidad se notificará a la capa de persistencia.

El módulo de gestión de procesamiento GPS es el principal y se encarga de realizar el postprocesamiento de los datos GPS enviados por el usuario. El motor de procesamiento utilizado es RTKLIB, el cual brinda un API para realizar el procesamiento e interactuar con sus configuraciones. RTKLIB soporta el procesamiento utilizando la técnica DGPS o PPP, por defecto la técnica de procesamiento a emplear será DGPS, pero esta será utilizada únicamente si se cuenta con más de tres estaciones CORS con datos disponibles, de lo contrario la técnica de procesamiento a emplear será PPP. El módulo de gestión de procesamiento se comunica con el módulo de persistencia para conocer si los insumos fueron descargados exitosamente y están disponibles. Cuando el procesamiento de los datos ha finalizado, se notifica al módulo de gestión de tareas para informar que la tarea ha finalizado y los resultados del procesamiento se comunicarán a la capa de persistencia.

Nota: Todo el procesamiento de los datos se dejó integrado en un único módulo, del cual se podrán desplegar varias instancias en caso de requerirse dar soporte al procesamiento simultaneo de datos.

Cuando un usuario realiza la solicitud de procesamiento de datos, la tarea es enviada al módulo de gestión de tareas y se registra en una cola, el esquema de funcionamiento de colas es FIFO. El gestor de tareas es el encargado de orquestar el funcionamiento de los demás módulos para llevar a cabo la tarea de procesamiento, una vez el procesamiento

de los datos se ha realizado este módulo se encarga de generar el reporte de procesamiento y enviar al usuario un email notificando el resultado del procesamiento. El gestor de tareas también comunica al sitio web que el procesamiento de datos ha finalizado para que visualice en pantalla el resultado del procesamiento.

La capa de persistencia es el punto en común en el cual se registran todas las solicitudes de procesamiento de datos realizadas por el usuario, así como el resultado del procesamiento obtenido.

Nota: La comunicación entre las diferentes capas se realiza utilizando el Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet TCP/IP y el protocolo de mensajería SMPT para el envío de correos electrónicos.

Modelamiento estático y dinámico

En la **Figura 18** se puede ver como el servicio de procesamiento de datos GPS está dividido en módulos y las dependencias entre los componentes.

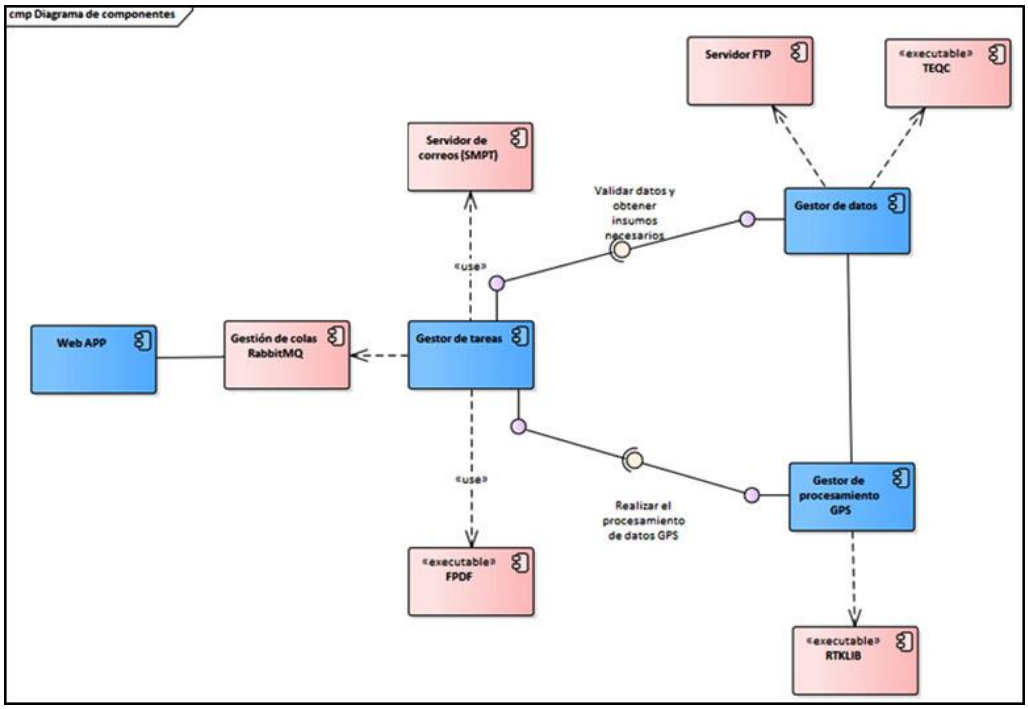


Figura 18 *Diagrama de componentes.*
Cardona, L. A. (2020, 15 marzo). *Diagrama de componentes.* [Gráfica].

La **Figura 19** representa el diagrama de secuencia y permite apreciar como interactúan los diferentes módulos que conforman el servicio de procesamiento a través del tiempo y los principales mensajes que intercambian durante la comunicación.

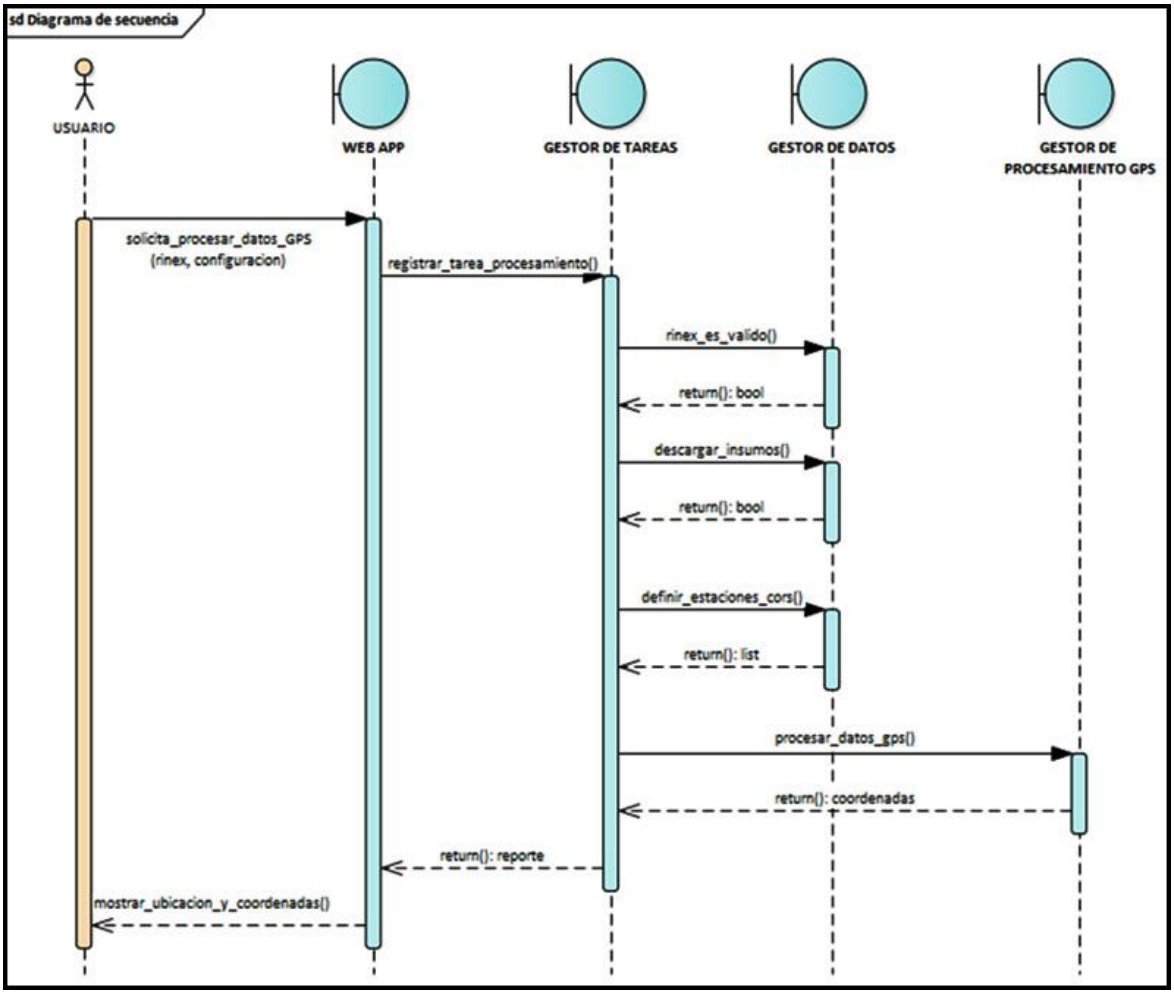


Figura 19 *Diagrama de secuencia.*
Cardona, L. A. (2020, 15 marzo). *Diagrama de secuencia.* [Gráfica].

Finalmente, a través de la **Figura 20** podemos apreciar el diagrama de actividades que ilustra de forma general el flujo de actividades llevadas a cabo desde el momento que un usuario solicita el procesamiento de los datos hasta que obtiene respuesta a la solicitud realizada.

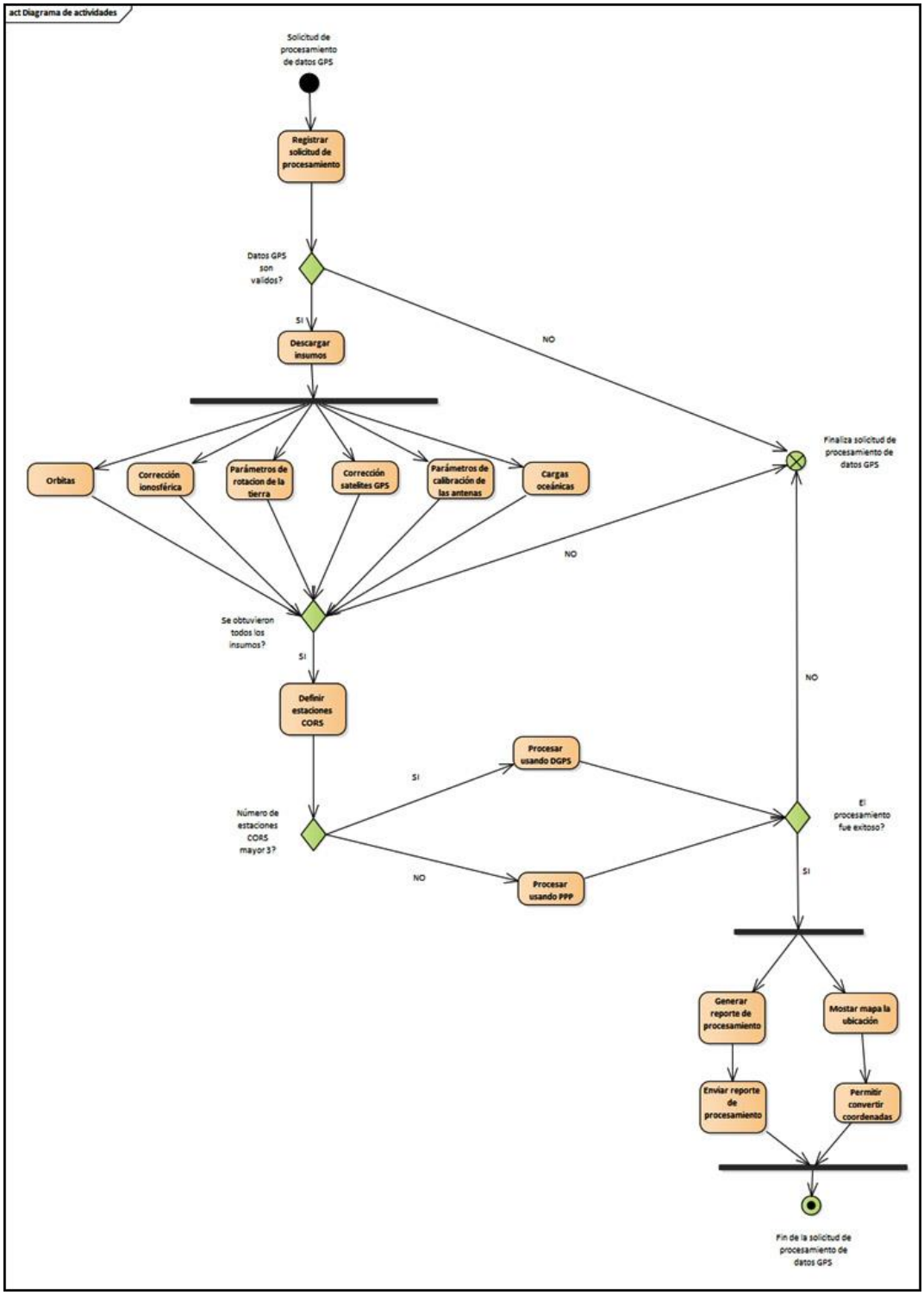


Figura 20 *Diagrama de actividades.*
Cardona, L. A. (2020, 15 marzo). *Diagrama de actividades.* [Gráfica].

Diseño de interfaces gráficas

El usuario podrá interactuar con el servicio de procesamiento a través un sitio web, a través del cual podrá realizar la solicitud de procesamiento de datos. En la **Figura 21** se puede apreciar la interfaz del servicio de procesamiento.

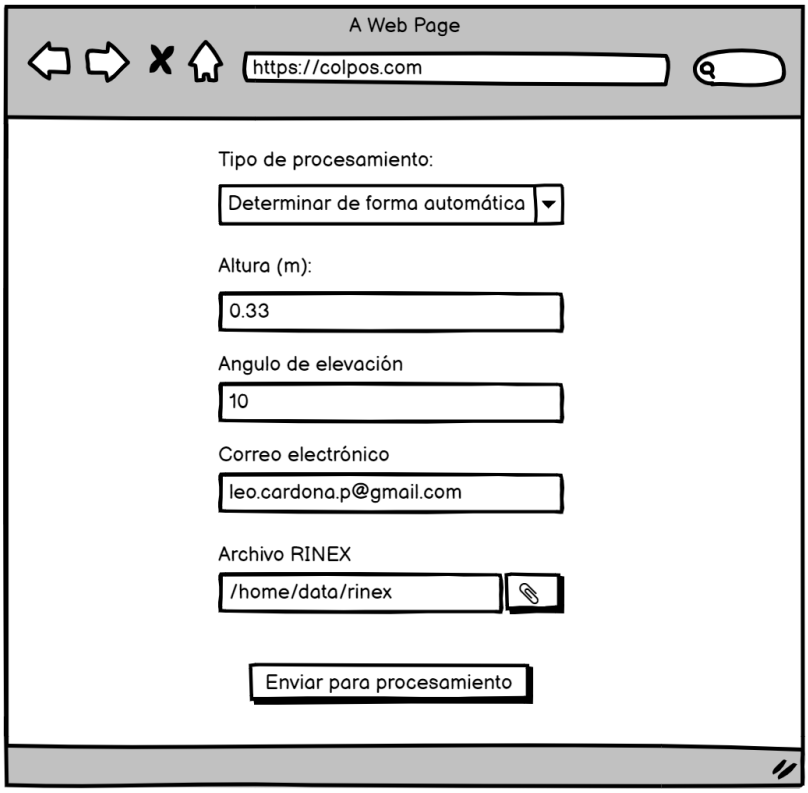


Figura 21 *Interfaz del servicio de procesamiento.*
Cardona, L. A. (2020, 15 marzo). *Interfaz del servicio de procesamiento.* [Gráfica].

Diseño de reporte de resultados

El reporte de resultados está compuesto por varias sesiones como se puede advertir en la **Tabla 7**, a continuación, se presentan una descripción de cada una de las sesiones:

Descripción de los datos

Esta sesión presenta de forma resumida una descripción de los datos enviados por el usuario al servicio de procesamiento, la información que la conforma es:

- Nombre: Nombre de la estación GPS
- Archivo: Nombre del archivo enviado RINEX
- Tipo de antena: Tipo de antena GPS con la cual fue realizada la georreferenciación.

- Altura de la antena: Altura de la antena en metros, se refiere a la distancia vertical desde la marca del suelo hasta el punto de referencia de la antena.
- Hora de inicio del rastreo: Hora en que inició el rastro de los datos, el formato de presentación es YYYY/MM/DD hh:mm:ss
- Hora final del rastro: Hora en que finalizó el rastreo de los datos, el formato de presentación es YYYY/MM/DD hh:mm:ss

Configuración del procesamiento

Esta sesión describe los parámetros utilizados para el procesamiento, así como los insumos utilizados para realizarlo.

- Tipo de procesamiento: Describe la técnica de procesamiento empleada para el procesamiento de los datos.
- Parámetros de procesamiento: Corresponde a los parámetros de procesamiento definidos por el usuario.
- Insumos utilizados: Lista los insumos utilizados para realizar el procesamiento.

Resultados del procesamiento

Esta sesión presenta los resultados del procesamiento, las coordenadas se expresan en ITRF 2014.

- Nombre: Nombre de la estación GPS
- Coordenada X: Valor numérico en metros de la coordenada X en el marco de referencia terrestre 2014.
- Coordenada Y: Valor numérico en metros de la coordenada Y en el marco de referencia terrestre 2014.
- Coordenada Z: Valor numérico en metros de la coordenada Z en el marco de referencia terrestre 2014.
- Incertidumbre de la coordenada X: Incertidumbre de la coordenada X en metros.
- Incertidumbre de la coordenada Y: Incertidumbre de la coordenada Y en metros.
- Incertidumbre de la coordenada Z: Incertidumbre de la coordenada Z en metros.

Tabla 7 *Reporte de procesamiento de datos GPS*

Descripción de los datos					
Nombre	**Archivo**	**Tipo antena**	**Altura antena (m)**	**Hora inicio**	**Hora final**
MITU	mitu1170.14o	TRM57971.00 NONE	0.035	2014/04/27 00:00:00	2014/04/27 23:59:30
Configuración del procesamiento					
Parámetros de procesamiento	Técnica de procesamiento	DGPS			
	Angulo de elevación	10º			
	Constelación	GPS			
Insumos	Orbitas GNSS	IGS Rápidas			
	Parámetros ionosféricos	ION CDDIS			
	Parámetros de rotación de la tierra	ERP CDDIS			
	Correcciones de relojes	IGS			
	Corrección por cargas oceánicas	FES2004			
	Correcciones de antenas	NOAA ANTCAL			
	Archivos RINEX estaciones de referencia	IGS			
Resultados del procesamiento					
Estación	**X (m)**	**Y (m)**	**Z (m)**		
MITU	2.156.697.315	-6.001.012.776	139.403.146		
Estación	**Incertidumbre X**	**Incertidumbre Y**	**Incertidumbre Z**		
MITU	0,005	0,003	0,010		

Cardona, L. A. (2020, 15 marzo). *Reporte de procesamiento de datos GPS.* [Tabla].

Fase 3: Implementación

La implementación del servicio de procesamiento de datos GPS denominado COLPOS fue desarrollado utilizando software libre, el cual se encuentra bajo licencia GPL-3.0. El repositorio de del proyecto se encuentra publicado en GitHub y es de acceso público. El servicio fue implementado utilizando Python3 y para su funcionamiento utiliza algunos componentes de software también de código abierto, la solución propuesta está diseñada para funcionar en servidores Linux.

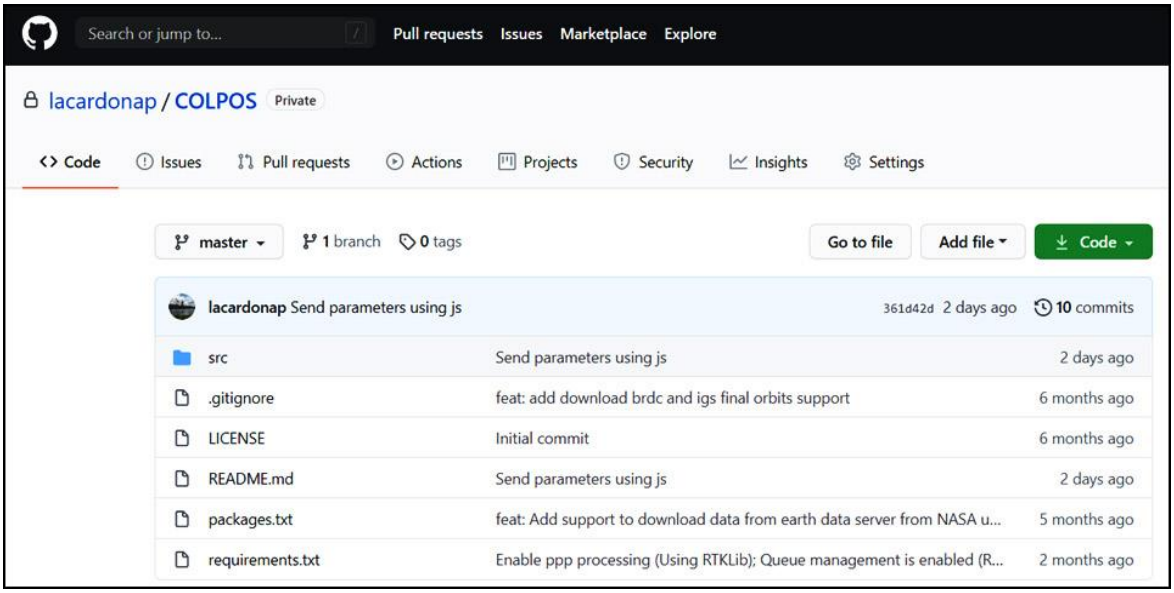


Figura 22 *Repositorio en GitHub del servicio de procesamiento de datos GPS.*
Cardona, L. A. (2020, 5 agosto). *Repositorio en GitHub del servicio de procesamiento de datos GPS* [Impresión de pantalla]. https://github.com/lacardonap/COLPOS

A continuación, se detalla cada uno de los componentes del servicio procesamiento de datos GPS.

Implementación del Componente de gestión de datos

El componente de gestión de datos realiza la descarga de los insumos requeridos para el procesamiento de los datos. Para realizar la descarga de los insumos se conecta al Sistema de Información de Datos de Dinámica de la Corteza de la NASA (CDDIS) y se realiza la descarga de los insumos.

Este componente también tiene la tarea de realizar el preprocesamiento de los datos GPS enviados por el usuario, si los datos suministrados no son válidos se cancela la solicitud de procesamiento. Para realizar el preprocesamiento de los datos se utilizó la herramienta TEQC.

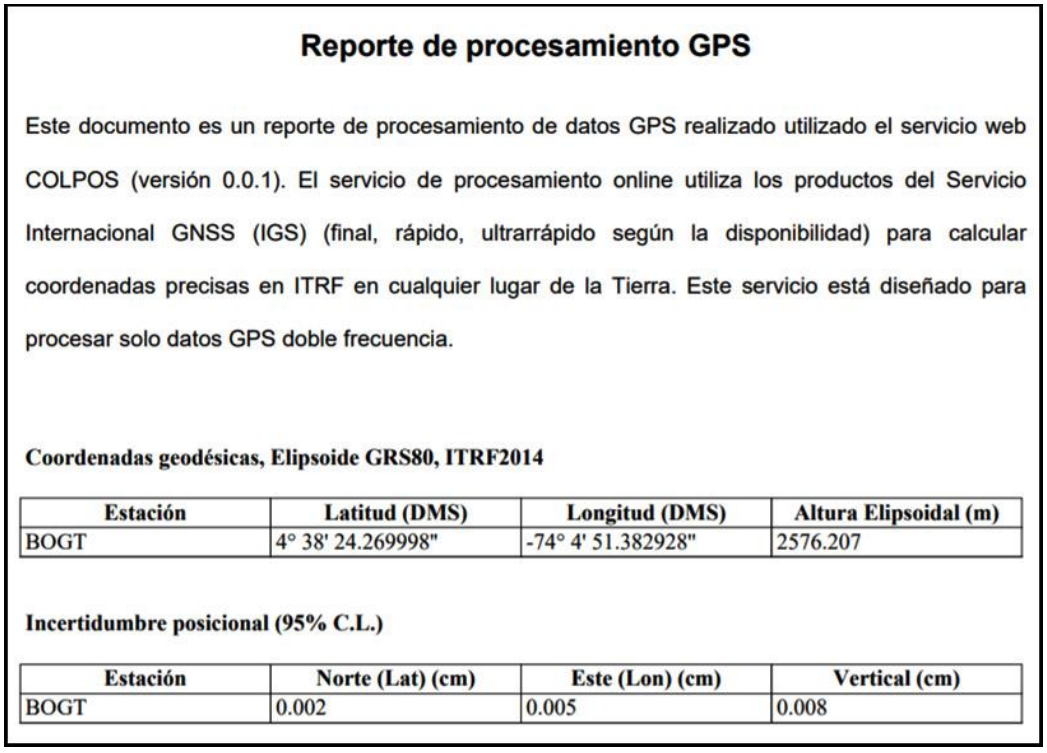
Implementación del componente de gestión del procesamiento

El componente de gestión del procesamiento se encarga de tomar los insumos descargados y realizar el procesamiento de los datos utilizando la técnica de procesamiento seleccionada por el usuario. Para realizar el procesamiento de los datos se utilizó RTKLIB, el cual brinda la posibilidad de procesar utilizando la técnica de

procesamiento PPP y DGPS. Es de resaltar que otras estrategias de procesamiento pueden ser implementadas a partir de este trabajo.

Una vez finalizado el procesamiento de los datos se realiza un análisis del resultado, se obtienen las coordenadas finales y se procede a generar el reporte PDF el cual será enviado al usuario.

El reporte PDF enviado al usuario se compone de tres secciones, la primera es un informe de las coordenadas obtenidas, en el cual se presentan las coordenadas obtenidas con su respectiva incertidumbre posicional con un nivel de confianza del 95%. En la segunda sección se presenta los parámetros empleados para realizar el procesamiento. Y en la tercera sección se muestra una gráfica que muestra la variación de las coordenadas obtenidas para cada una de sus componentes a través del tiempo.



Reporte de procesamiento GPS

Este documento es un reporte de procesamiento de datos GPS realizado utilizado el servicio web COLPOS (versión 0.0.1). El servicio de procesamiento online utiliza los productos del Servicio Internacional GNSS (IGS) (final, rápido, ultrarrápido según la disponibilidad) para calcular coordenadas precisas en ITRF en cualquier lugar de la Tierra. Este servicio está diseñado para procesar solo datos GPS doble frecuencia.

Coordenadas geodésicas, Elipsoide GRS80, ITRF2014

Estación	Latitud (DMS)	Longitud (DMS)	Altura Elipsoidal (m)
BOGT	4° 38' 24.269998"	-74° 4' 51.382928"	2576.207

Incertidumbre posicional (95% C.L.)

Estación	Norte (Lat) (cm)	Este (Lon) (cm)	Vertical (cm)
BOGT	0.002	0.005	0.008

Figura 23 *Reporte de procesamiento de datos: Informe de coordenadas.*
Cardona, L. A. (2020, 22 septiembre). *Reporte de procesamiento de datos: Informe de coordenadas.* [Impresión de pantalla].

Reporte de procesamiento GPS

Coordenadas geodésicas, Elipsoide GRS80, ITRF2014

	Descripción
Software	RTKLib versión 2.4.3 b33
Sistema GNSS	Constelación GPS

Incertidumbre posicional (95% C.L.)

	Descripción
Modo de posicionamiento	PPP Estático
Frecuencias	L1 + L2
Mascara de elevación	10°
Corrección por mareas	Solid/OTL
Corrección ionosférica	Estimación TEC (Contenido total de electrones)
Corrección troposférica	Estimación ZTD (Retardo Cenital Troposférico Total) + Grad
Orbitas/Relojes	Los mejores productos IGS disponibles.
Orientación de la tierra	Los mejores productos IGS disponibles.
Fase de la antena	Se aplica el modelo de variación absoluta de centro de fase IGS14.

Marco de referencia e incertidumbre de las coordenadas

	Descripción
Incertidumbre	Nivel de confianza del 95% para ITRF2014.
Datum	WGS84

Figura 24 *Reporte de procesamiento de datos: Información general.*
Cardona, L. A. (2020, 22 septiembre). *Reporte de procesamiento de datos: Información general.* [Impresión de pantalla].

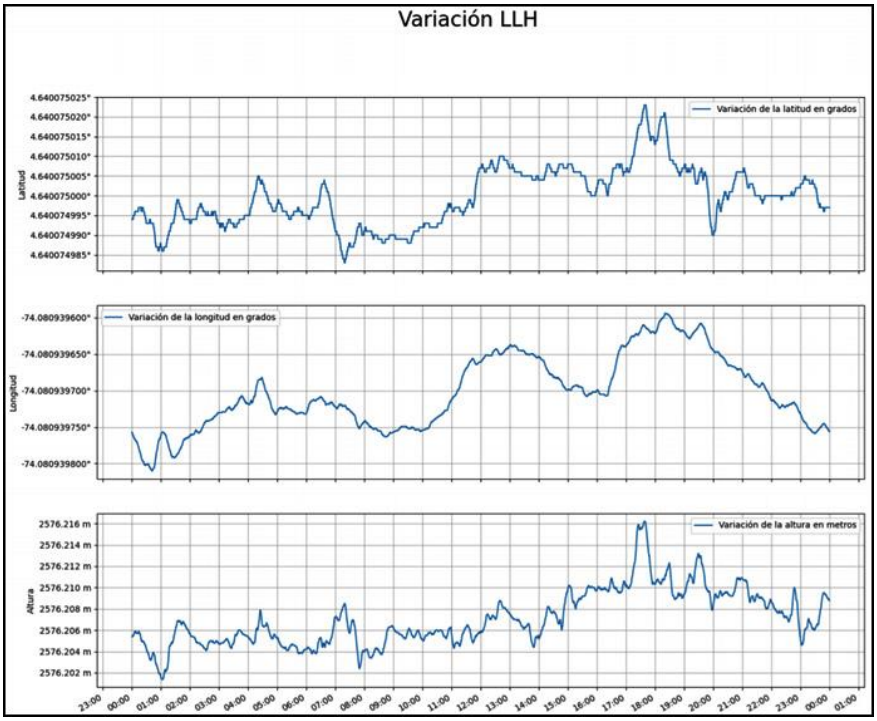


Figura 25 *Reporte de procesamiento de datos: Gráfica variación de coordenadas.*
Cardona, L. A. (2020, 22 septiembre). *Reporte de procesamiento de datos: Gráfica variación de coordenadas.* [Impresión de pantalla].

Implementación del componente de gestión de tareas

El componente de gestión de tareas es el encargado de orquestar todos los pasos requeridos para realizar el procesamiento de los datos y el envío de resultados al usuario. Este componente toma las solicitudes de procesamiento que son apiladas en el gestor de colas RabbitMQ y empieza a dar respuesta una a una.

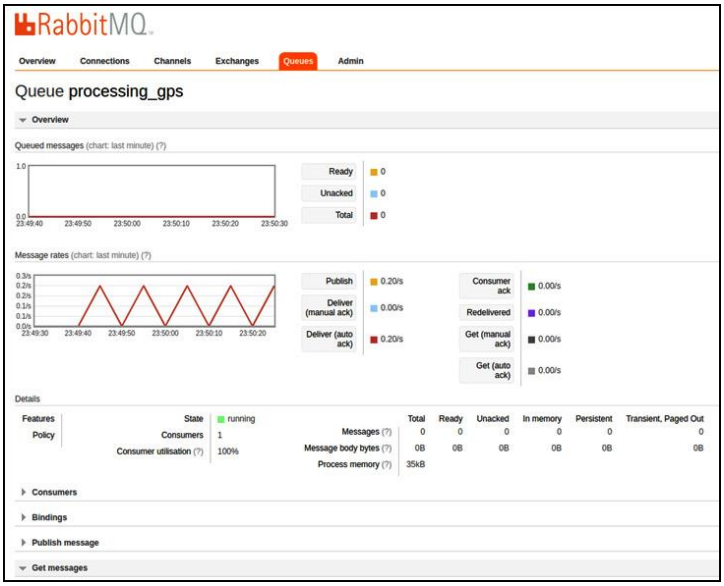


Figura 26 *Manejo de solicitudes de procesamiento con RabbitMQ.*
Cardona, L. A. (2020, 22 septiembre). *Manejo de solicitudes de procesamiento con RabbitMQ.* [Impresión de pantalla].

Una vez el procesamiento de los datos ha finalizado, el componente de gestión de tareas envía un correo electrónico con el reporte de procesamiento de los datos adjunto. Para el envío de los correos se utilizó el servidor SMTP de Google.



Figura 27 *Recepción del reporte de procesamiento de datos GPS.*
Cardona, L. A. (2020, 22 septiembre). *Recepción del reporte de procesamiento de datos GPS.* [Impresión de pantalla].

Fase 4: Pruebas y análisis de resultados

Para poder validar el modelo de procesamiento implementado, se diseñó un servicio web a través del cual cualquier usuario podrá realizar la solicitud de procesamiento de datos RINEX. Para poder procesar un archivo RINEX un usuario debe seguir los siguientes pasos:

1. Ingresar al sitio web https://nowsoft.app/gps/web/, puedes ingresar desde tu celular o computador.
2. Ingresar los parámetros de procesamiento que quieres utilizar para procesar tus datos, se debe configurar:
   - **Tipo de procesamiento**: Corresponde a las técnicas de procesamiento que puedes emplear para el procesamiento de tus datos. Si se selecciona la opción determinar de forma automática se evaluará la mejor técnica de procesamiento a emplear.
   - **Altura (m)**: Altura en metros de la antena GPS desde el ARP (Antenna Reference Point).
   - **Ángulo de elevación**: Se puede aplicar un filtro para eliminar las observaciones GPS que no son de interés, por defecto se utiliza un ángulo de elevación de 10 grados al procesar tus datos
   - **Correo electrónico**: Dirección de correo electrónico a la cual deseas que llegue el reporte de procesamiento.
   - **Archivo RINEX**: Archivo RINEX de observación a procesar.
3. Una vez hayas ingresado tus datos da clic en el botón Enviar para procesamiento y ahora solo debes esperar tus coordenadas precisas.

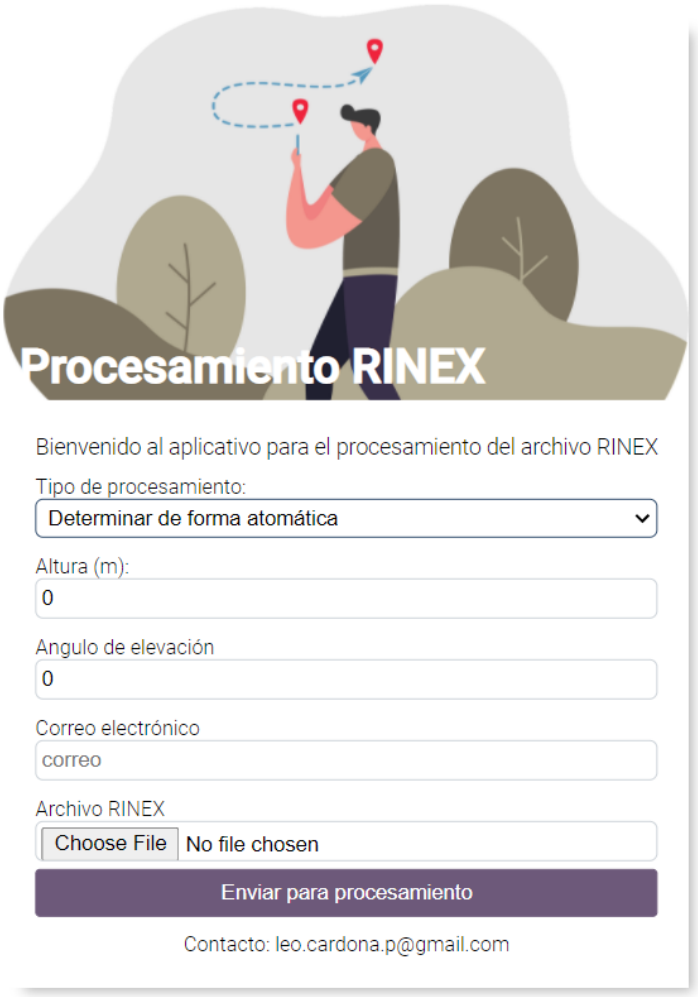


Figura 28 *Interfaz de usuario del servicio de procesamiento COLPOS.*
Cardona, L. A. (2021, 30 agosto). Interfaz de usuario del servicio de procesamiento COLPOS [Impresión de pantalla]

Para validar el modelo de procesamiento de datos GPS propuesto se realizó el procesamiento los archivos RINEX de 82 estaciones permanentes que forman parte de la red de estaciones activas GeoRED del Servicio Geológico Colombiano para el día 23 de septiembre de 2019.



Figura 29 *Estaciones GPS utilizadas en el procesamiento.*
Cardona, L. A. (2020, 22 septiembre). *Estaciones GPS utilizadas en el procesamiento.* [Gráfica].

Tabla 8 *Resumen estadístico de la precisión de las coordenadas obtenidas con COLPOS*

	SD Norte (mm)	*SD Este (mm)*	*SD Vertical (mm)*
Media	1,23	2,97	3,38
Desviación estándar	0,08	0,30	0,50
Varianza	0,01	0,09	0,25
Rango	0,63	2,36	3,65
Mínimo	1,20	2,68	2,91
Máximo	1,83	5,03	6,56

Cardona, L. A. (2020, 22 septiembre). *Resumen estadístico de la precisión de las coordenadas obtenidas con COLPOS.* [Tabla].

En promedio, el error en las componentes norte, este y vertical es de 1,83, 5,03 y 6,56 milímetros respectivamente utilizando la técnica PPP con productos finales de la IGS.

Es de resaltar que el tiempo promedio que toma responder una solicitud de procesamiento es de 20.19 segundos para un archivo RINEX de 24 horas de observación con una tasa de observación de 15 segundos. En este caso, tomó cerca de 32.5 minutos el procesamiento de 82 archivos RINEX.

Tabla 9 *Resumen estadístico del tiempo de procesamiento empleado por COLPOS*

	Tiempo (segundos)
Media	20,19
Desviación estándar	2,21
Varianza	4,89
Rango	18,33
Mínimo	11,13
Máximo	29,46
Suma	1655,81

Cardona, L. A. (2020, 22 septiembre). *Resumen estadístico del tiempo de procesamiento empleado por COLPOS.* [Tabla].

La evaluación de la exactitud de las coordenadas obtenidas del procesamiento se realizó comparando las coordenadas obtenidas con COLPOS y las coordenadas generadas por el Grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales GIGE, el cual realiza su procesamiento utilizando el software científico de la NASA GIPSY OASIS con orbitas finales, empleando la técnica PPP. Como se puede apreciar en la **Tabla 10**, en promedio, la diferencia en las coordenadas es de 8.15 milímetros en la latitud y 15.68 en la longitud, lo cual deja entrever la bondad del desarrollo realizado para solucionar las necesidades inmediatas de los usuarios.

Tabla 10 *Variación de las coordenadas entre COLPOS y GIGE*

	Latitud (mm)	*Longitud (mm)*
Media	8,15	15,68
Desviación estándar	5,05	13,30
Varianza	25,46	176,99
Rango	28,24	62,05

Mínimo	0,26	0,50
Máximo	28,50	62,56

Cardona, L. A. (2020, 22 septiembre). *Variación de las coordenadas entre COLPOS y GIGE.* [Tabla].

Adicionalmente se comparó el procesamiento obtenido con el servicio online de procesamiento de datos GPS de la agencia de recursos naturales de Canadá. Como se puede apreciar, en promedio la diferencia en las coordenadas es de 3.04, 15.09 y 36.36 milímetros en la latitud, longitud y altura respectivamente.

Tabla 11 *Variación de las coordenadas entre COLPOS y NRCAN*

	Latitud (mm)	***Longitud (mm)***	***Altura (mm)***
Media	3,04	15,09	36,36
Desviación estándar	2,72	10,34	193,22
Varianza	7,40	106,87	37332,77
Rango	13,21	50,02	1761,56
Mínimo	0,00	0,72	0,42
Máximo	13,21	50,75	1761,98

Cardona, L. A. (2020, 22 septiembre). *Variación de las coordenadas entre COLPOS y NRCAN.* [Tabla].

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Cuando se trata de realizar el procesamiento de datos GPS, no es posible decir que existe una técnica mejor que otra. Si bien la literatura indica que la técnica que permite obtener los mejores resultados en el menor tiempo posible corresponde al procesamiento diferencial GPS, para poder emplear este procesamiento se deben satisfacer varias condiciones, entre las que se encuentra el empleo de al menos dos equipos GPS para la toma de los datos, lo cual no siempre es posible debido a los costos que conlleva su utilización. Por su parte, el empleo de la técnica de procesamiento de punto preciso va a estar limitada por la disposición y nivel de procesamiento de las correcciones requeridas, con el fin de obtener la mejor exactitud en la determinación de las coordenadas.

Una vez analizados los pros y contra de las técnicas de procesamiento de datos GPS, se determina que no existe una técnica de procesamiento mejor que otra, sino que depende de las restricciones que se tenga, razón por la cual se determina implementar ambas técnicas de procesamiento en el modelo de procesamiento propuesto.

Se diseñó e implementó un modelo de procesamiento de datos GPS como servicio web, que se encuentra liberado con una licencia de derecho de autor GPL 3.0. El servicio de procesamiento implementado se encarga de gestionar las solicitudes de procesamiento enviadas por un usuario, así como de orquestar el procesamiento de los datos culminando con el envío de un reporte con los resultados del procesamiento.

El servicio de procesamiento de datos propuesto toma en promedio 20,19 segundos para realizar el procesamiento de un archivo RINEX de 24 horas de observación a una tasa de rastreo de 15 segundos enviado por un usuario. En promedio, el error en las componentes norte, este es de 1,83, 5,03 y 6,56 milímetros respectivamente utilizando el servicio de procesamiento propuesto empleando la técnica PPP con productos finales de la IGS. Para evaluar la exactitud del servicio

de procesamiento propuesto se compararon las coordenadas obtenidas usando el modelo propuesto con las coordenadas oficiales reportadas para un conjunto de 82 estaciones permanentes. En promedio, la diferencia de las coordenadas obtenidas es de 3,04, 15,09, 36,36 milímetros en la latitud, longitud y la altura respectivamente, al compararlo con el servicio de procesamiento de la agencia de recursos naturales de Canadá y de 8,15, 15,68 milímetros en la latitud y longitud al compararlo con las coordenadas oficiales publicadas por el grupo de investigaciones geodésicas espaciales del SGC. Estas diferencias se deben principalmente a que el modelo de procesamiento de datos GPS propuesto no implementa todas las correcciones a los datos GPS que usualmente se utilizan cuando se realiza el procesamiento de forma manual, adicionalmente los errores no pueden ser comparables en sentido estricto porque se emplean estaciones CORS del IGS localizadas a muchos kilómetros de distancia.

Recomendaciones

Se deben incorporar nuevos modelos de corrección de datos que respondan a una dinámica local y no usar los modelos globales para la corrección de los datos, con el fin de obtener resultados más precisos que respondan a la geodinámica del territorio nacional.

Se recomienda en futuras investigaciones que se aborde e implemente el procesamiento de datos GPS recolectados de forma cinemática.

A. Anexo: Casos de uso

A continuación, se presentan los casos de uso detallados que se desarrollaron. Los casos de uso se encuentran agrupados en los módulos de gestión de insumos, gestión de tareas y gestión de procesamiento

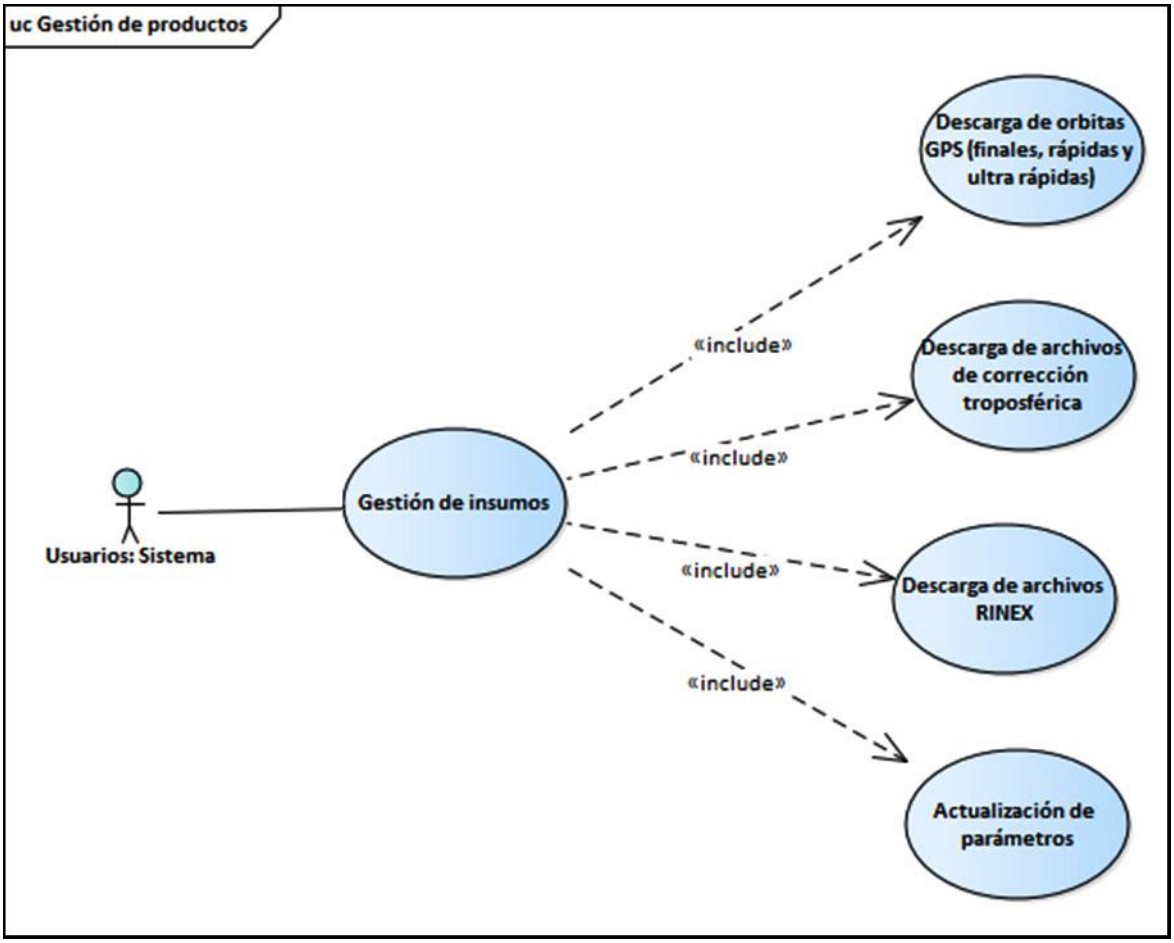


Figura 30 *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de productos.*
Cardona, L. A. (2020, 15 marzo). *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de productos.* [Gráfica].

Tabla 12 *Caso de uso CU001.1*	
Identificador	CU001.1
Nombre	Descarga de efemérides GPS (finales, rápidas y ultra rápidas)
Nivel	Aplicación
Categoría	Negocio
Complejidad	Baja
Actores	Sistema
Requerimientos funcionales asociados	No tiene requerimientos funcionales asociados
Propósito	Se debe realizar la descarga y gestión de los diferentes tipos de efemérides GPS, las cuales son necesarias para el procesamiento. Las efemérides que se descaran son: Finales Rápidas Ultrarrápidas
Datos de entrada	Texto que representa la fecha para la cual se desean descargar las efemérides, la fecha debe estar representado en el formato YYYY-MM-DD: Texto (10)
Datos de salida	Archivos que representan las efemérides GPS en los formatos SP3 y JPL. Se obtendrán las efemérides en ultra rápidas, rápidas y finales. Para más información consultar: https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/orbit_products.html http://www.igs.org/products
Precondición	Se debe tener acceso al sitio FTP a través del cual se realiza la descarga las efemérides. Efemérides GPS SP3: ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products/ Efemérides GPS JPL: ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/JPL_GPS_Products/
Flujo normal de trabajo	
Actor	**Sistema**
	Inicia el caso de uso.
	El sistema toma la fecha del sistema y la formatea con la siguiente estructura: YYYY-MM-DD
	El sistema se conecta al servidor donde se publican las efemérides GPS y realiza su descarga.
	Se verifica la integridad de los datos descargados y se almacena en el servidor de procesamiento siguiendo los estándares de almacenamiento de información definidos.
Excepciones	Si llega a ocurrir algún error en el proceso de descarga de los datos el sistema debe reiniciar la descarga hasta que esta se realice exitosamente.
Postcondición	
Criterio de aceptación	El sistema deberá realizar la descarga de las efemérides GPS diariamente, verificar la integridad de los datos y almacenarlos en el servidor de procesamiento siguiendo los estándares definidos.

Elaborado:	Aceptado:
_____ ____ Leonardo Cardona	_____ Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 13 *Caso de uso CU001.2*		
Identificador	CU001.2	
Nombre	Descarga de archivos de corrección troposférica	
Nivel	Aplicación	
Categoría	Negocio	
Complejidad	Baja	
Actores	Sistema	
Requerimientos funcionales asociados	No tiene requerimientos funcionales asociados	
Propósito	Se debe realizar la descarga y gestión de los archivos de corrección troposférica. El modelo de corrección troposférica que se empleara es VMF1 (Vienna Mapping Functions 1).	
Datos de entrada	Texto que representa la fecha para la cual se desean descargar los archivos de corrección troposférica, la fecha debe estar representado en el formato YYYY-MM-DD-HH: Texto (13)	
Datos de salida	Cuatro archivos de corrección troposférica por día, se descargará un archivo cada 6 horas. Para más información consultar: http://ggosatm.hg.tuwien.ac.at/delay.html	
Precondición	Se debe tener acceso al sitio web a través del cual se realiza la descarga los archivos de corrección troposférica. VMF1 http://ggosatm.hg.tuwien.ac.at/DELAY/GRID/VMFG	
Flujo normal de trabajo		
Actor		**Sistema**
		Inicia el caso de uso.
		El sistema toma la fecha del sistema y la formatea con la siguiente estructura: YYYY-MM-DD-HH
		El sistema se conecta al servidor donde se publican los archivos de corrección troposférica y realiza su descarga.
		Se verifica la integridad de los datos descargados y se almacena en el servidor de procesamiento siguiendo los estándares de almacenamiento de información definidos.
Excepciones	Si llega a ocurrir algún error en el proceso de descarga de los datos el sistema debe reiniciar la descarga hasta que esta se realice exitosamente.	
Postcondición		
Criterio de aceptación	El sistema deberá realizar la descarga de los archivos de corrección troposférica cada seis horas obteniendo un total de 4 archivos diarios, los archivos deben quedar almacenados en el servidor de procesamiento siguiendo los estándares definidos.	

Elaborado:	Aceptado:
Leonardo Cardona	Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 14 *Caso de uso CU001.3*		
Identificador	CU001.3	
Nombre	Descarga de archivos RINEX	
Nivel	Aplicación	
Categoría	Negocio	
Complejidad	Media	
Actores	Sistema	
Requerimientos funcionales asociados	No tiene requerimientos funcionales asociados	
Propósito	Realizar la descarga y gestión de los archivos de RINEX de estaciones permanentes que conforman las redes CORS del SGC y el IGAC.	
Datos de entrada	Texto que representa el identificador de la estación permanente que se desea descargar. El identificador de la estación es un texto de cuatro caracteres. Ejemplo: BOGT Texto (4). Texto que representa el nombre de la red al que pertenece la estación permanente que se desea descargar. Ejemplo: SGC. Texto que representa la fecha para la cual se desean descargar los archivos de corrección troposférica, la fecha debe estar representado en el formato YYYY-MM-DD: Texto (10)	
Datos de salida	Archivo RINEX de la estación permanente solicitada en el día solicitado.	
Precondición	Se debe tener acceso al servidor FTP en el cual se encuentran publicados los datos RINEX.	
Flujo normal de trabajo		
Actor		**Sistema**
		Inicia el caso de uso.
		Se toma la fecha ingresada (YYYY-MM-DD) y se determina el día transcurrido del año.
		El sistema al repositorio de datos RINEX y realiza la descarga del archivo RINEX.
		Se verifica la integridad de los datos descargados y se almacena en el servidor de procesamiento siguiendo los estándares de almacenamiento de información definidos.
Excepciones	Si el archivo RINEX solicitado no se encuentra disponible se emitirá un mensaje indicado que no se encuentra disponible el archivo solicitado.	

	Si llega a ocurrir algún error en el proceso de descarga de los datos el sistema debe reiniciar la descarga hasta que esta se realice exitosamente.
Postcondición	
Criterio de aceptación	El sistema deberá realizar la descarga del archivo RINEX solicitado y almacenarlo en el servidor de procesamiento siguiendo los estándares definidos.

Elaborado: _____ Leonardo Cardona	Aceptado: _____ Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 15 *Caso de uso CU001.4*		
Identificador	CU001.4	
Nombre	Actualización de parámetros	
Nivel	Aplicación	
Categoría	Negocio	
Complejidad	Baja	
Actores	Sistema	
Requerimientos funcionales asociados	No tiene requerimientos funcionales asociados	
Propósito	Realizar la descarga y gestión de los archivos asociados a los modelos de calibración de las antenas de la IGS.	
Datos de entrada	No se requiere parámetros de entrada.	
Datos de salida	Archivos actualizados de los modelos de calibración de las antenas publicado por la IGS. Archivos actualizados asociados a las características de las antenas: **rcvr_ant.tab**: convención de nombres ***.atx**: correcciones del centro de fase **antenna.gra**: puntos de referencia y dimensiones	
Precondición	Se debe tener acceso al sitio FTP en el cual se publican las actualizaciones de los parámetros asociados a las antenas GNSS. ftp://ftp.igs.org/pub/station/general/	
Flujo normal de trabajo		
Actor		**Sistema**
		Inicia el caso de uso.
		El sistema se conecta al servidor FTP y verifica si existen archivos para actualizar. Si hay actualizaciones pendientes las realiza.
Excepciones	Si llega a ocurrir algún error en el proceso de actualización de los datos el sistema debe reiniciar la actualización hasta que esta se realice exitosamente.	
Postcondición		

Criterio de aceptación	El sistema realiza la actualización de los parámetros y los almacena en la ruta establecida en el servidor de procesamiento.
Elaborado: Leonardo Cardona	Aceptado: Álvaro Espinel Héctor Mora

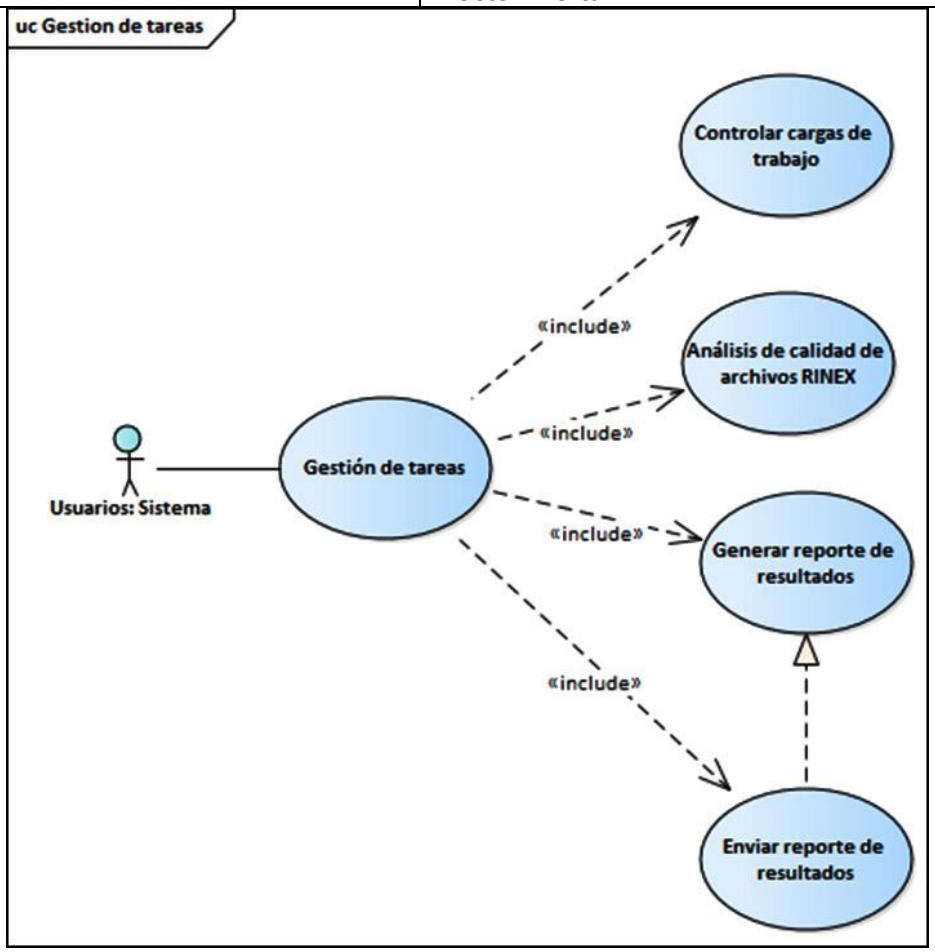


Figura 31 *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de tareas.*
Cardona, L. A. (2020, 15 marzo). *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de tareas.* [Gráfica].

Tabla 16 *Caso de uso CU002.1*	
Identificador	CU002.1
Nombre	Controlar cargas de trabajo
Nivel	Aplicación
Categoría	Negocio
Complejidad	Media
Actores	Sistema
Requerimientos funcionales asociados	Se debió haber ejecutado exitosamente el caso de uso CU004.1 (Enviar archivo RINEX).

Propósito	Controlar y gestionar las solicitudes de procesamiento que son enviadas por el usuario.	
Datos de entrada	Archivo RINEX cargado al sistema por el usuario a través del caso de uso CU004.1.	
Datos de salida	Mensaje con el estado de la actividad de procesamiento.	
Precondición	Se debió ejecutar exitosamente el caso de uso CU004.1.	
Flujo normal de trabajo		
Actor		**Sistema**
		Inicia caso de uso
		Se registra la solicitud de procesamiento de datos en una pila de solicitudes del sistema.
		Las solicitudes serán atendidas siguiendo el método de inventario FIFO (primero en entrar, primero en salir, por sus siglas en inglés).
		Una vez la solicitud sea atendida se emitirá un mensaje con el estado de la solicitud. El dominio de valores que puede tener el mensaje emitido es: SUCCESSFUL: Cuando el procesamiento de los datos fue realizado exitosamente. ERROR: Cuando se detectado un error en los datos que ha enviado para su tratamiento
		Se elimina la solicitud de procesamiento de la pila de solicitudes realizadas.
		Se verifica el estado de la pila de solicitudes por atender. Si existe una solicitud pendiente por atender se procede a atender de lo contrario se finaliza.
Excepciones		
Postcondición	Se debe ejecutar el caso de uso CU002.4.	
Criterio de aceptación	Se debe gestionar las solicitudes de procesamiento siguiendo la metodología FIFO y por cada solicitud se emitirá un mensaje con el estado de la solicitud.	
Elaborado: _____ Leonardo Cardona		Aceptado: _____ Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 17 *Caso de uso CU002.2*	
Identificador	CU002.2
Nombre	Análisis de calidad de los datos
Nivel	Aplicación
Categoría	Negocio
Complejidad	Media
Actores	Sistema

Requerimientos funcionales asociados	Se debió haber ejecutado exitosamente el caso de uso CU002.1 (Controlar cargas de trabajo).	
Propósito	Verificar la calidad de los datos RINEX enviados por el usuario para su procesamiento.	
Datos de entrada	Archivo RINEX cargado al sistema por el usuario a través del caso de uso CU004.1.	
Datos de salida	Valor booleano donde Verdadero indica que el archivo cumple los requisitos mínimos para ser procesado y Falso en caso en que no cumpla los requisitos mínimos.	
Precondición	Se debió ejecutar exitosamente el caso de uso CU004.1.	
Flujo normal de trabajo		
Actor		**Sistema**
		Inicia caso de uso
		Se calcula el análisis de calidad de los datos.
		Se evalúa la calidad de los datos en función de las siguientes variables: Tiempo de rastreo Saltos de ciclo de la señal Efecto multitrayectoria en la señal L1 Efecto multitrayectoria en la señal L2 Numero de observaciones teóricas Número de observaciones realizadas Si los estándares de calidad son superados exitosamente, se retorna un valor booleano verdadero de lo contrario un valor booleano falso.
Excepciones	Un archivo RINEX solo será aceptado para el análisis de calidad de datos cuando este sea multifrecuencia, es decir que haya recepcionado como mínimo las frecuencias L1 y L2. Y el tiempo de rastreo sea superior a 2 horas.	
Postcondición		
Criterio de aceptación	Se tendrá un reporte de calidad de los datos.	
Elaborado: _____ Leonardo Cardona		Aceptado: _____ Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 18 *Caso de uso CU002.3*	
Identificador	CU002.3
Nombre	Generar reporte de resultados
Nivel	Aplicación
Categoría	Negocio
Complejidad	Media
Actores	Sistema

Requerimientos funcionales asociados	No tiene requerimientos funcionales asociados	
Propósito	Informar al usuario el resultado del procesamiento de los datos. Si el procesamiento de los datos es exitoso, se generará un reporte del procesamiento de los datos, el cual resume de forma general la técnica de procesamiento empleada, los datos utilizados, resultados estadísticos del procesamiento, así como las coordenadas finales. Si ocurrió un error en el procesamiento se generará un reporte indicando que error en el procesamiento de los datos.	
Datos de entrada	Para la generación del reporte de resultados se requieren los siguientes insumos: Análisis de calidad de los datos Coordenadas a priori y finales Reporte estadístico del procesamiento Parámetros del procesamiento	
Datos de salida	Archivo PDF que presenta de forma resumida los siguientes temas: Informe de datos Informe estadístico del procesamiento Informe de coordenadas Informe de estándares de computación	
Precondición	Se debió ejecutar exitosamente el caso de uso CU003.5.	
Flujo normal de trabajo		
Actor		**Sistema**
		Inicia el caso de uso.
		Se recopilan los siguientes datos: Análisis de calidad de los datos Coordenadas a priori y finales Reporte estadístico del procesamiento Parámetros del procesamiento
		Se genera el reporte en formato PDF con la estructura definida.
		Se debe avisar al sistema que reporte se generó exitosamente.
Excepciones	Si el procesamiento no se ejecutó correctamente, se debe generar un reporte indicando porque no fue posible realizar el procesamiento de los datos.	
Postcondición	Se debe ejecutar el caso de uso CU002.4.	
Criterio de aceptación	El sistema habrá generado un reporte en formato PDF con el resultado del procesamiento.	
Elaborado: Leonardo Cardona		Aceptado: Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 19 *Caso de uso CU002.4*

Identificador	CU002.4	
Nombre	Enviar reporte de resultados	
Nivel	Aplicación	
Categoría	Negocio	
Complejidad	Baja	
Actores	Sistema	
Requerimientos funcionales asociados	No tiene requerimientos funcionales asociados	
Propósito	Enviar reporte de resultados del procesamiento de los datos al correo electrónico suministrado por el usuario.	
Datos de entrada	Reporte de resultados del procesamiento en formato PDF y el correo electrónico al cual debe ser enviado los resultados.	
Datos de salida		
Precondición	Se debió haber ejecutado el caso de uso CU002.3.	
Flujo normal de trabajo		
Actor		**Sistema**
		Inicia el caso de uso.
		El sistema prepara el contenido del correo electrónico y adjunta el reporte de resultados en formato PDF.
		El sistema envía el mensaje al correo electrónico suministrado por el usuario.
Excepciones		
Postcondición		
Criterio de aceptación	El usuario debe recibir en su buzón de correo el reporte de resultados del procesamiento de los datos.	
Elaborado: Leonardo Cardona		Aceptado: Álvaro Espinel Héctor Mora

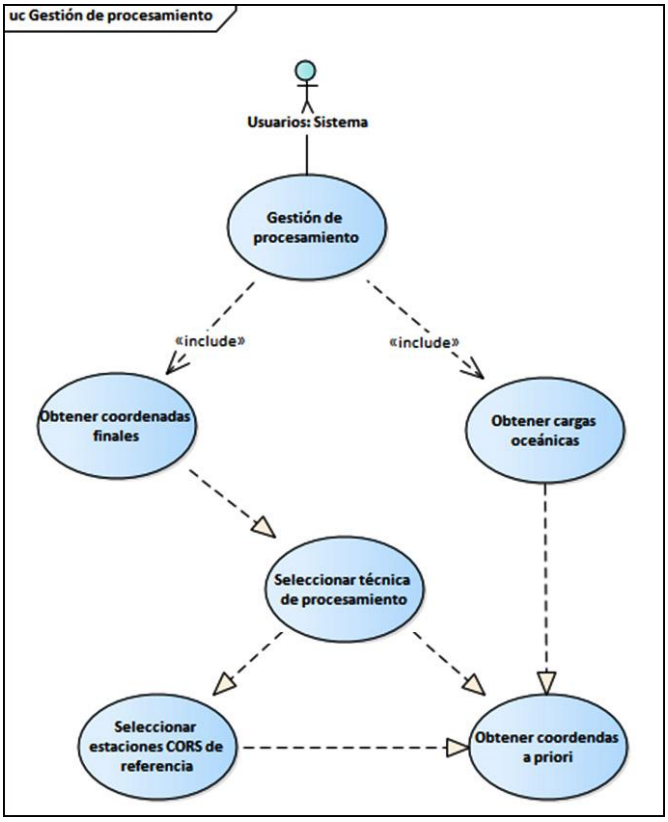


Figura 32 *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de procesamiento.* Cardona, L. A. (2020, 15 marzo). *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de procesamiento.* [Gráfica].

Tabla 20 *Caso de uso CU003.1*	
Identificador	CU003.1
Nombre	Obtener coordenadas a priori
Nivel	Aplicación
Categoría	Negocio
Complejidad	Baja
Actores	Sistema
Requerimientos funcionales asociados	No tiene requerimientos funcionales asociados
Propósito	Calcular las coordenadas aproximadas asociadas al archivo RINEX suministrado
Datos de entrada	Archivo RINEX suministrado por el usuario.
Datos de salida	Coordenadas geocéntricas cartesianas referidas al ITRF 2014
Precondición	Se debió haber ejecutado exitosamente el caso de uso CU002.2
Flujo normal de trabajo	
Actor	**Sistema**
	Inicia el caso de uso.
	Se realiza el cálculo de las coordenadas aproximadas del archivo RINEX suministrado

Excepciones	Si las coordenadas obtenidas no se encuentran en el territorio colombiano el procesamiento. Si las coordenadas obtenidas tienen una variación mayor a un kilómetro con respecto a las coordenadas del reportadas en el encabezado del RINEX suministrado, se asumirá las coordenadas calculadas como verdaderas y se sobrescribirá el encabezado del archivo RINEX suministrado.
Postcondición	Se deben ejecutar los casos de uso CU003.3, CU003.4.
Criterio de aceptación	Se deben obtener las coordenadas XYZ geocéntricas cartesianas referidas al ITRF 2014, las cuales deben estar dentro del territorio colombiano.

Elaborado: Leonardo Cardona	Aceptado: Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 21 *Caso de uso CU003.2*		
Identificador	CU003.2	
Nombre	Seleccionar técnica de procesamiento	
Nivel	Aplicación	
Categoría	Negocio	
Complejidad	Media	
Actores	Sistema	
Requerimientos funcionales asociados	No tiene requerimientos funcionales asociados	
Propósito	Se debe identificar cual es la técnica de procesamiento de datos GPS más apropiada para realizar el procesamiento de los datos.	
Datos de entrada	Coordenadas a priori de las estaciones GPS a procesar. Texto que representa la fecha en que fue realizado el posicionamiento GPS, la fecha debe estar representado en el formato YYYY-MM-DD: Texto (10)	
Datos de salida	Texto que representa la técnica de procesamiento a emplear. DGPS: GPS diferencial PPP: Posicionamiento de punto preciso	
Precondición		
Flujo normal de trabajo		
Actor		**Sistema**
		Inicia caso de uso
		El sistema toma las coordenadas aproximadas de la estación GPS y fecha en que fue realizada la captura de los datos y determina la técnica de procesamiento.
Excepciones		

Postcondición	Si la técnica de procesamiento seleccionada es DGPS se debe continuar con el caso de uso CU003.3. Si la técnica de procesamiento seleccionada es PPP se debe continuar con el caso de uso CU003.4.
Criterio de aceptación	El sistema retorna el tipo de técnica GPS a utilizar el procesamiento de los datos GPS.

Elaborado: Leonardo Cardona	Aceptado: Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 22 *Caso de uso CU003.3*		
Identificador	CU003.3	
Nombre	Seleccionar estaciones CORS de referencia	
Nivel	Aplicación	
Categoría	Negocio	
Complejidad	Media	
Actores	Sistema	
Requerimientos funcionales asociados	Las estaciones de referencia deben estar a menos de 200 kilómetros de distancia. Se requiere que existan al menos 3 estaciones CORS que se hayan estado rastreando de forma simultánea y tengan datos disponibles en la misma franja de tiempo de los datos suministrados.	
Propósito	Seleccionar las estaciones de referencia que se pueden utilizar para realizar el procesamiento utilizando la técnica DGPS.	
Datos de entrada	Coordenadas a priori del archivo RINEX suministrado por el usuario	
Datos de salida	La lista de identificadores de las estaciones CORS que se hayan estado rastreando de forma simultánea y tengan datos disponibles en la misma franja de tiempo de los datos suministrados	
Precondición	Se debió haber ejecutado exitosamente el caso de uso CU003.1	
Flujo normal de trabajo		
Actor		**Sistema**
		Inicia caso de uso
		Se realiza un análisis espacial de proximidad y se identifican las estaciones CORS que se encuentran a menos de 200 kilómetros de distancia de las coordenadas aproximadas obtenidas a partir del archivo RINEX.
		De la lista de estaciones obtenidas se evalúa si la estación se encontraba en operación en la misma franja de tiempo y si tiene acceso a los datos.
		Se obtiene la lista de estaciones filtradas.
Excepciones	En caso de no haber al menos 3 estaciones de referencia CORS se realizará el procesamiento de los datos utilizando la técnica PPP.	
Postcondición		

Criterio de aceptación	Lista de estaciones CORS que hayan estado rastreando de forma simultánea y tengan datos disponibles en la misma franja de tiempo que el archivo RINEX suministrado.
Elaborado: _____ Leonardo Cardona	Aceptado: _____ Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 23 *Caso de uso CU003.4*	
Identificador	CU003.4
Nombre	Obtener cargas oceánicas
Nivel	Aplicación
Categoría	Negocio
Complejidad	Baja
Actores	Sistema
Requerimientos funcionales asociados	El modelo de corrección de cargas oceánicas es el FES2004
Propósito	Obtener la corrección por cargas oceánicas asociadas a la ubicación aproximada del archivo RINEX a procesar.
Datos de entrada	Coordenadas geocéntricas cartesianas referidas al ITRF 2014 aproximadas
Datos de salida	Archivo en formato BLQ con los parámetros de corrección por cargas oceánicas asociadas a la ubicación aproximada del archivo RINEX a procesar.
Precondición	Se debido haber ejecutado exitosamente el caso de uso CU003.1
Flujo normal de trabajo	
Actor	**Sistema**
	Inicia caso de uso
	Se calcula los parámetros de corrección por cargas oceánicas asociadas a las coordenadas a priori suministradas
	Crea un archivo en formato plano con extensión BLQ que contiene los parámetros de corrección por cargas oceánicas.
Excepciones	
Postcondición	
Criterio de aceptación	Se genera un archivo en formato plano con extensión BLQ que contiene la corrección por cargas oceánicas.
Elaborado: _____ Leonardo Cardona	Aceptado: _____ Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 24 *Caso de uso CU003.5*

Identificador	CU003.5
Nombre	Obtener coordenadas finales
Nivel	Aplicación
Categoría	Negocio
Complejidad	Alta
Actores	Sistema
Requerimientos funcionales asociados	No tiene requerimientos funcionales asociados
Propósito	Calcular las coordenadas finales asociadas al archivo RINEX suministrado
Datos de entrada	Para realizar el procesamiento y obtener las coordenadas finales se requiere: Archivo RINEX suministrado por el usuario. Coordenadas a priori Corrección por cargas oceánicas Efemérides GPS Corrección troposférica Archivos RINEX de referencia cuando el procesamiento se realiza utilizando la técnica DGPS
Datos de salida	Coordenadas geocéntricas cartesianas referidas al ITRF 2014 finales
Precondición	Se debió haber ejecutado exitosamente los siguientes casos de uso: CU001.1, CU001.2, CU001.3, CU001.4, CU003.1, CU003.2, CU003.3, CU003.4

Flujo normal de trabajo	
Actor	**Sistema**
	Inicia el caso de uso.
	Dependiendo la técnica de procesamiento seleccionada se aplican las correcciones que tengan lugar.
	Se resuelven las ambigüedades y fija la solución.
	Se obtiene las coordenadas geocéntricas cartesianas referidas al ITRF 2014.

Excepciones	
Postcondición	Se debe ejecutar el caso de uso CU002.3.
Criterio de aceptación	Se generaron las coordenadas geocéntricas cartesianas con solución de ambigüedades referidas al ITRF 2014.

Elaborado: Leonardo Cardona	Aceptado: Álvaro Espinel Héctor Mora

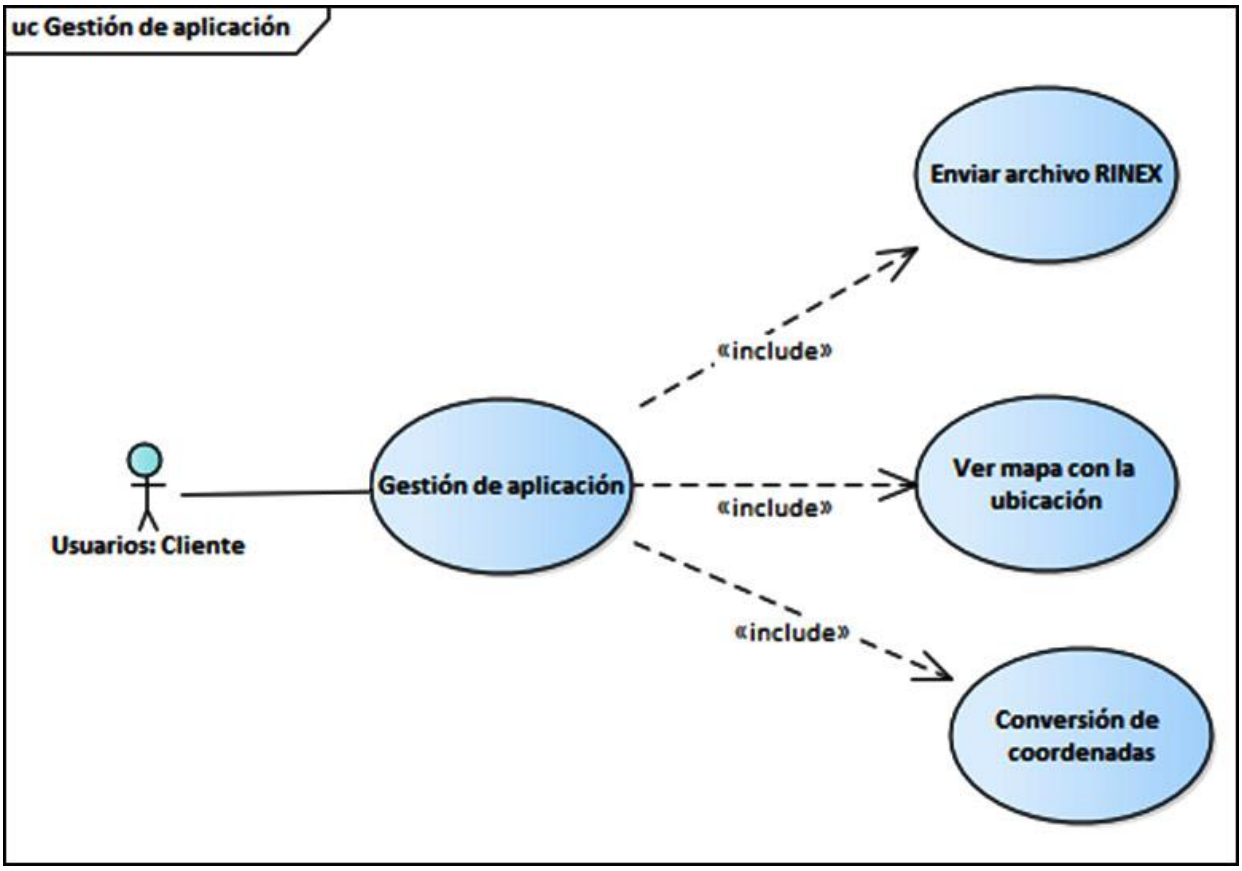


Figura 33 *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de aplicación.*
Cardona, L. A. (2020, 15 marzo). *Diagrama de casos de uso asociados al módulo de gestión de aplicación.* [Gráfica].

Tabla 25 *Caso de uso CU004.1*	
Identificador	CU004.1
Nombre	Enviar archivo RINEX
Nivel	Aplicación
Categoría	Negocio
Complejidad	Baja
Actores	Sistema, Usuario
Requerimientos funcionales asociados	El archivo RINEX a procesar no debe un peso mayor de 1 GB. Los archivos RINEX deben contienen más de una hora de datos de observación GPS. Los archivos RINEX no deben contener datos del día UT actual. Los archivos RINEX no deben contener más de siete días de datos. Los nombres de los archivos GPS RINEX no deben contener espacio, paréntesis o caracteres especiales. Se debe utilizar la convención de nomenclatura de la IGS para el registro del tipo de antena.
Propósito	Realizar la solicitud y cargue del archivo RINEX a procesar.
Datos de entrada	

	Archivo RINEX a procesar. Tipo de antena con la cual fue realizado el levantamiento. Altura de la antena en metros medida hasta el suelo hasta el punto de referencia de la antena. Correo electrónico al cual se enviará el reporte del procesamiento.	
Datos de salida		
Precondición		
Flujo normal de trabajo		
Actor		**Sistema**
Inicia caso de uso		
El usuario ingresa al sitio web.		
Diligencia la solicitud de procesamiento de datos. Se ingresan los siguientes datos: Se adjunta el archivo RINEX a procesar. Se selecciona el tipo de antena GPS Se ingresa la altura de la antena en metros. Se ingresa el correo electrónico al cual se enviará el reporte del procesamiento. Una vez diligenciada los datos requeridos dar clic en el botón enviar.		
		El sistema recibe los datos enviados y los almacena.
		Fin del caso de uso.
Excepciones	Si el archivo RINEX pesa más de 1 GB se le indicara al usuario que no es posible realizar el cargue de los datos.	
Postcondición	Se debe ejecutar el caso de uso CU002.1	
Criterio de aceptación	Se realizo el cargue y almacenamiento de los datos suministrados por el usuario al sistema.	
Elaborado: _____ Leonardo Cardona		Aceptado: _____ Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 26 *Caso de uso CU004.2*	
Identificador	CU004.2
Nombre	Ver mapa con la ubicación
Nivel	Aplicación
Categoría	Negocio
Complejidad	Baja
Actores	Sistema

Requerimientos funcionales asociados	No tiene requerimientos funcionales asociados	
Propósito	Mostrar de forma aproximada a través de un mapa la ubicación de los datos RINEX para que el usuario pueda verificar visualmente si los datos si corresponden al levantamiento realizado.	
Datos de entrada	Coordenadas a priori geocéntricas cartesianas referidas al ITRF 2014.	
Datos de salida	Mapa que visualiza a través de un marcado la ubicación aproximada de los datos RINEX	
Precondición	Se debió ejecutar exitosamente el caso de uso CU003.1	
Flujo normal de trabajo		
Actor		**Sistema**
		Inicia caso de uso
		Se muestra un mapa con la ubicación aproximada del archivo RINEX en la página web a través de la cual se realizó el cargue de los datos.
Excepciones		
Postcondición		
Criterio de aceptación	Se visualiza un mapa con la ubicación aproximada del archivo RINEX.	
Elaborado: _____ Leonardo Cardona		Aceptado: _____ Álvaro Espinel Héctor Mora

Tabla 27 *Caso de uso CU004.3*	
Identificador	CU004.3
Nombre	Conversión de coordenadas
Nivel	Aplicación
Categoría	Negocio
Complejidad	Media
Actores	Sistema
Requerimientos funcionales asociados	No tiene requerimientos funcionales asociados
Propósito	Realizar la conversión de coordenadas geodésicas cartesianas referidas al ITRF 2014 al sistema de coordenadas geodésicas elipsoidales referidas al elipsoide GRS80.
Datos de entrada	Coordenadas geodésicas cartesianas finales XYZ referidas al ITRF 2014.
Datos de salida	Coordenadas geodésicas elipsoidales finales en latitud, longitud y altura referidas al elipsoide GRS80.
Precondición	Se debió ejecutar exitosamente el caso de uso CU003.5.
Flujo normal de trabajo	
Actor	**Sistema**

	Inicia caso de uso
	Se realiza la conversión de las coordenadas geodésicas cartesianas finales y sus errores asociados a coordenadas geodésicas elipsoidales referidas al elipsoide GRS80 y sus errores asociados.

Excepciones	
Postcondición	
Criterio de aceptación	Se obtienen las coordenadas geodésicas elipsoidales finales en latitud, longitud y altura referidas al elipsoide GRS80.

Elaborado: Leonardo Cardona	Aceptado: Álvaro Espinel Héctor Mora

B. Anexo: Procesamiento de datos

Tabla 28 *Coordenadas obtenidas con usando COLPOS*

Estación	Latitud			Longitud			Altura (m)	Error (mm)			Tiempo (seg)
	grados	minutos	segundos	grados	minutos	segundos		Norte	Este	Vertical	
AEBS	2	57	20,9629	-75	17	30,3412	474,8882	1,2	2,8	3,0	21,435
AECH	3	43	29,7361	-75	27	57,5335	832,1944	1,2	2,9	3,4	19,735
AEGU	4	48	34,7658	-74	3	27,2760	2579,4360	1,2	2,8	3,0	20,389
AEMO	9	15	46,6804	-74	26	8,7914	16,6977	1,2	2,9	3,0	18,847
AEMT	4	48	46,4791	-75	44	31,6427	1362,9297	1,2	2,8	3,1	19,944
AGTU	5	31	11,5834	-73	22	25,3285	2907,8488	1,2	2,9	3,2	18,795
AJCM	5	12	37,4761	-74	53	4,3776	487,5677	1,2	3,0	3,8	17,389
ALPA	11	31	40,7459	-72	55	3,9222	1,8192	1,3	3,0	3,6	16,696
ANCH	3	32	4,7837	-76	52	12,5007	731,0745	1,2	3,2	4,1	16,526
ASVI	4	16	20,7892	-74	47	46,5834	304,8592	1,2	2,8	3,0	19,517
BAAP	4	4	18,4897	-73	33	14,4461	379,5346	1,2	2,9	3,8	17,454
BAPA	5	27	59,0985	-74	39	27,0312	190,9673	1,2	2,9	3,1	18,278
BARU	10	15	27,3937	-75	35	23,9357	27,5922	1,2	3,0	3,1	19,217
BOBG	8	18	44,8047	-73	21	27,1918	1172,6555	1,2	2,8	3,0	20,721
BOGT	4	38	24,2697	-74	4	51,3829	2576,1950	1,8	5,0	6,6	11,131
BP01	4	38	27,2570	-74	4	48,9306	2581,8447	1,2	3,2	3,5	18,993
CCAN	3	21	36,4437	-76	17	59,5377	1029,6367	1,2	2,7	3,0	20,287
CCAR	4	42	25,4801	-76	0	26,3989	933,3588	1,2	2,9	3,2	20,792
CCAY	3	31	49,9760	-76	30	5,5491	980,1122	1,2	2,9	3,6	20,391
CCCP	1	49	11,9238	-78	43	43,6272	20,5977	1,2	2,9	3,1	20,571
CCPA	4	19	28,9152	-76	5	4,5996	955,7273	1,2	2,8	3,0	21,722
CCPM	3	34	27,1582	-76	16	40,2823	1061,3784	1,2	2,8	3,2	21,108
CCSQ	3	3	47,1025	-76	28	25,1052	1027,2270	1,2	2,8	3,1	21,317
CIA1	3	30	19,0407	-76	21	26,7349	994,1986	1,3	3,3	3,8	19,662
CN35	13	22	31,7846	-81	21	46,5096	47,8994	1,3	3,1	3,2	19,351
CN37	10	47	33,2811	-75	15	47,4295	1,4733	1,2	2,9	3,0	15,681
CORO	9	19	41,1188	-75	17	16,2750	155,8158	1,2	3,0	3,2	18,488
CPAS	4	28	20,1888	-75	33	16,8605	3303,5865	1,2	2,9	3,8	18,392
CYAB	12	9	53,6556	-81	50	23,8224	7,0605	1,3	3,3	3,3	21,856
GUAP	2	34	28,1278	-77	53	40,8473	23,6153	1,2	2,9	3,3	23,342
INOB	4	35	41,0904	-75	58	4,3931	949,8346	1,2	3,0	3,8	18,543
INRI	4	54	30,9152	-75	53	49,8598	931,7318	1,2	2,9	3,2	21,818
INSJ	5	1	53,7711	-75	51	15,7612	979,2090	1,2	2,9	3,7	19,208

INTO	4	38	31,9908	-76	2	34,0093	1015,9507	1,2	2,8	3,0	21,023
INVE	11	11	17,2490	-74	13	54,4097	-0,8835	1,3	3,6	4,2	17,629
MAKA	6	20	12,0482	-72	39	43,2624	1632,1382	1,2	2,9	3,4	19,854
MALO	4	0	11,6863	-81	36	22,0904	132,3603	1,3	3,3	3,3	17,943
MITU	1	15	38,8146	-70	13	55,6571	190,5524	1,2	2,8	3,2	21,4
MORA	8	57	32,0611	-73	40	58,8470	62,3929	1,2	2,9	3,0	20,604
OAMU	5	38	49,9516	-73	33	28,9065	2109,6103	1,2	2,8	3,3	19,789
OVSC	1	12	36,6898	-77	15	23,8827	2634,1916	1,2	2,8	3,5	20,288
PAL2	7	7	51,6990	-73	11	3,0268	1215,5323	1,2	2,8	2,9	20,394
PASI	0	30	46,0055	-76	29	57,8416	274,3163	1,2	2,9	3,7	19,31
PATU	5	44	47,3829	-73	7	32,4023	2528,7993	1,2	3,0	3,6	22,213
PLTR	5	2	37,7768	-75	19	55,5612	3710,5485	1,2	2,9	3,3	22,715
POVA	2	26	56,7238	-76	36	53,0788	1749,3870	1,3	3,1	3,7	19,538
QUIL	1	23	38,1333	-77	17	27,4148	1829,3745	1,2	2,9	3,2	20,081
SAN0	12	34	49,6229	-81	42	56,5973	10,1263	1,3	3,1	3,2	19,6
SEL1	6	11	27,1335	-75	31	44,8507	2819,1030	1,2	2,8	3,0	20,747
SGCC	3	22	20,0369	-76	31	47,6735	1006,8558	1,2	2,9	3,5	20,21
SGCG	6	59	31,5684	-73	3	51,5600	966,7378	1,3	3,1	3,7	19,079
SUAM	5	42	35,5478	-72	55	28,9087	2529,5925	1,3	3,3	3,9	20,719
TCOA	3	22	49,3735	-75	8	49,7297	430,8844	1,2	2,8	3,0	23,58
TEAT	5	25	18,4203	-73	32	21,5247	3292,0060	1,2	2,8	3,0	24,942
TITI	6	0	52,4706	-75	47	31,8492	1456,0667	1,2	2,9	3,2	20,723
TONE	6	19	27,9375	-76	8	21,5118	1890,4534	1,2	3,0	3,8	19,6
TUCO	1	48	53,4720	-78	44	51,7290	18,7305	1,2	2,7	3,0	21,024
TUQU	1	5	38,2440	-77	37	51,4814	3203,6897	1,3	3,0	3,5	22,239
UNME	6	15	50,3440	-75	34	37,6013	1491,9175	1,3	3,6	4,5	19,53
URR0	8	0	44,2903	-76	12	36,7307	142,7675	1,4	3,3	3,5	18,931
VBAM	9	2	45,1303	-73	58	9,4041	34,0454	1,2	2,8	2,9	18,332
VBAR	7	1	40,8705	-73	48	21,1083	131,0622	1,2	2,9	3,2	21,071
VBUV	5	31	59,5492	-73	51	32,1675	3035,6608	1,2	3,0	3,2	20,98
VCRG	5	58	50,2549	-75	25	6,8351	2653,3986	1,2	2,8	3,0	23,009
VDPR	10	26	8,9035	-73	14	52,1752	142,5081	1,2	2,9	3,0	22,078
VEDE	4	27	37,0849	-75	45	55,5735	1241,4436	1,2	2,9	3,7	19,968
VMAR	6	10	33,8136	-75	19	27,2455	2189,2636	1,3	3,5	4,3	18,844
VMER	1	47	6,0499	-77	9	11,8648	1199,9796	1,2	2,9	3,7	19,96
VMES	6	53	0,0022	-73	5	30,0570	1644,5164	1,2	2,8	3,0	22,19
VNEI	3	3	44,0895	-75	15	19,0995	461,2896	1,3	3,2	3,5	21,52
VORA	7	49	6,3890	-76	43	18,5041	23,5847	1,2	3,0	3,1	21,611
VORI	0	51	46,9421	-77	40	20,9623	3001,4342	1,2	2,7	3,0	18,018
VPIJ	4	23	48,0783	-75	6	24,0908	863,7365	1,2	3,0	4,0	18,288
VPOL	10	47	37,5825	-74	51	39,0405	89,2382	1,2	2,9	3,1	20,786
VPOM	4	4	3,8187	-73	22	56,0711	329,3904	1,2	2,8	3,0	21,016
VQUI	5	41	32,3370	-76	38	30,1345	82,5159	1,2	2,9	3,7	18,612
VROS	4	50	49,3726	-74	19	23,9839	3041,8327	1,2	3,0	3,3	20,928
VSJP	4	46	52,2428	-75	50	8,0171	1209,7047	1,2	2,8	3,1	21,245
VSOA	4	36	9,2777	-74	16	22,3656	2668,8617	1,2	2,8	3,0	23,131

VTAM	6	27	8,6459	-71	45	12,5104	353,4304	1,2	2,8	3,0	21,521
VYPL	5	16	31,4118	-72	25	37,4640	282,3629	1,2	3,0	3,3	21,948
VZPQ	5	1	8,4798	-73	59	13,1038	2594,6417	1,2	3,0	3,2	29,46

Tabla 29 *Coordenadas oficiales publicadas por el grupo de Investigaciones Geodésicas Espaciales del Servicio Geológico Colombiano*

Estación	Latitud			Longitud		
	grados	minutos	segundos	grados	minutos	segundos
AEBS	2	57	20,9624	-75	17	30,3431
AECH	3	43	29,7358	-75	27	57,5328
AEGU	4	48	34,7655	-74	3	27,2756
AEMO	9	15	46,6800	-74	26	8,7929
AEMT	4	48	46,4788	-75	44	31,6433
AGTU	5	31	11,5830	-73	22	25,3282
AJCM	5	12	37,4759	-74	53	4,3772
ALPA	11	31	40,7457	-72	55	3,9240
ANCH	3	32	4,7833	-76	52	12,5016
ASVI	4	16	20,7890	-74	47	46,5857
BAAP	4	4	18,4893	-73	33	14,4454
BAPA	5	27	59,0983	-74	39	27,0318
BARU	10	15	27,3934	-75	35	23,9349
BOBG	8	18	44,8042	-73	21	27,1918
BOGT	4	38	24,2693	-74	4	51,3828
BP01	4	38	27,2566	-74	4	48,9301
CCAN	3	21	36,4435	-76	17	59,5372
CCAR	4	42	25,4799	-76	0	26,3982
CCAY	3	31	49,9758	-76	30	5,5483
CCCP	1	49	11,9237	-78	43	43,6269
CCPA	4	19	28,9148	-76	5	4,5995
CCPM	3	34	27,1581	-76	16	40,2819
CCSQ	3	3	47,1022	-76	28	25,1045
CIA1	3	30	19,0405	-76	21	26,7345
CN35	13	22	31,7846	-81	21	46,5126
CN37	10	47	33,2803	-75	15	47,4293
CORO	9	19	41,1183	-75	17	16,2746
CPAS	4	28	20,1886	-75	33	16,8602
CYAB	12	9	53,6550	-81	50	23,8240
GUAP	2	34	28,1276	-77	53	40,8472
INOB	4	35	41,0909	-75	58	4,3949
INRI	4	54	30,9150	-75	53	49,8589
INSJ	5	1	53,7709	-75	51	15,7605
INTO	4	38	31,9905	-76	2	34,0087
INVE	11	11	17,2484	-74	13	54,4090
MAKA	6	20	12,0480	-72	39	43,2618

MALO	4	0	11,6853	-81	36	22,0923
MITU	1	15	38,8143	-70	13	55,6563
MORA	8	57	32,0607	-73	40	58,8462
OAMU	5	38	49,9511	-73	33	28,9062
OVSC	1	12	36,6896	-77	15	23,8819
PAL2	7	7	51,6987	-73	11	3,0271
PASI	0	30	46,0054	-76	29	57,8406
PATU	5	44	47,3827	-73	7	32,4022
PLTR	5	2	37,7764	-75	19	55,5607
POVA	2	26	56,7236	-76	36	53,0786
QUIL	1	23	38,1332	-77	17	27,4149
SAN0	12	34	49,6226	-81	42	56,5969
SEL1	6	11	27,1331	-75	31	44,8503
SGCC	3	22	20,0367	-76	31	47,6731
SGCG	6	59	31,5679	-73	3	51,5616
SUAM	5	42	35,5475	-72	55	28,9090
TCOA	3	22	49,3730	-75	8	49,7289
TEAT	5	25	18,4201	-73	32	21,5243
TITI	6	0	52,4702	-75	47	31,8501
TONE	6	19	27,9370	-76	8	21,5120
TUCO	1	48	53,4721	-78	44	51,7288
TUQU	1	5	38,2433	-77	37	51,4806
UNME	6	15	50,3434	-75	34	37,6006
URR0	8	0	44,2895	-76	12	36,7310
VBAM	9	2	45,1294	-73	58	9,4043
VBAR	7	1	40,8702	-73	48	21,1076
VBUV	5	31	59,5487	-73	51	32,1670
VCRG	5	58	50,2545	-75	25	6,8355
VDPR	10	26	8,9026	-73	14	52,1748
VEDE	4	27	37,0846	-75	45	55,5744
VMAR	6	10	33,8132	-75	19	27,2458
VMER	1	47	6,0497	-77	9	11,8641
VMES	6	53	0,0018	-73	5	30,0566
VNEI	3	3	44,0893	-75	15	19,0994
VORA	7	49	6,3884	-76	43	18,5036
VORI	0	51	46,9418	-77	40	20,9620
VPIJ	4	23	48,0780	-75	6	24,0904
VPOL	10	47	37,5821	-74	51	39,0414
VPOM	4	4	3,8186	-73	22	56,0711
VQUI	5	41	32,3366	-76	38	30,1353
VROS	4	50	49,3723	-74	19	23,9834
VSJP	4	46	52,2424	-75	50	8,0165
VSOA	4	36	9,2774	-74	16	22,3661
VTAM	6	27	8,6458	-71	45	12,5100

VYPL	5	16	31,4117	-72	25	37,4637
VZPQ	5	1	8,4797	-73	59	13,1035

Tabla 30 *Coordenadas obtenidas usando el servicio online CSRS-PPP de la agencia de recursos naturales de Canadá,*

Estación	Latitud			Longitud			Altura (m)	Error (mm)		
	grados	minutos	segundos	grados	minutos	segundos		Norte	Este	Vertical
AEBS	2	57	20,9628	-75	17	30,3431	474,8859	1,7	3,9	7,0
AECH	3	43	29,7362	-75	27	57,5327	832,1591	2,3	5,5	9,8
AEGU	4	48	34,7658	-74	3	27,2755	2579,4147	1,7	4,0	7,1
AEMO	9	15	46,6802	-74	26	8,7926	16,6731	2,1	5,5	8,9
AEMT	4	48	46,4792	-75	44	31,6432	1362,9234	1,8	4,1	7,2
AGTU	5	31	11,5834	-73	22	25,3281	2907,8276	2,3	5,8	9,8
AJCM	5	12	37,4762	-74	53	4,3771	487,5694	1,9	4,4	7,9
ALPA	11	31	40,7458	-72	55	3,9237	1,8116	2,2	5,8	10,1
ANCH	3	32	4,7836	-76	52	12,5014	731,0907	2,1	5,4	8,9
ASVI	4	16	20,7892	-74	47	46,5855	304,8579	1,8	4,3	7,2
BAAP	4	4	18,4898	-73	33	14,4456	379,5478	2,4	5,6	10,1
BAPA	5	27	59,0984	-74	39	27,0316	190,9741	2,2	5,5	9,2
BARU	10	15	27,3935	-75	35	23,9348	27,5674	1,7	4,1	7,2
BOBG	8	18	44,8045	-73	21	27,1915	1172,6208	2,1	5,3	8,8
BOGT	4	38	24,2696	-74	4	51,3828	2576,2383	2,7	6,3	11,7
BP01	4	38	27,2568	-74	4	48,9301	2581,8419	2,3	5,1	9,5
CCAN	3	21	36,4436	-76	17	59,5370	1029,6326	1,7	4,1	7,1
CCAR	4	42	25,4801	-76	0	26,3981	933,3495	1,8	4,1	7,3
CCAY	3	31	49,9759	-76	30	5,5482	980,1058	2,3	5,5	9,5
CCCP	1	49	11,9242	-78	43	43,6266	20,5572	2,3	5,6	10,2
CCPA	4	19	28,9151	-76	5	4,5992	955,7071	1,8	4,1	7,1
CCPM	3	34	27,1582	-76	16	40,2818	1061,3773	1,7	4,1	7,1
CCSQ	3	3	47,1025	-76	28	25,1043	1027,2099	1,7	4,1	7,1
CIA1	3	30	19,0407	-76	21	26,7342	994,2023	2,4	5,6	10,7
CN35	13	22	31,7844	-81	21	46,5118	47,8669	2,1	6,2	10,0
CN37	10	47	33,2806	-75	15	47,4292	1,4405	2,0	5,6	9,0
CORO	9	19	41,1187	-75	17	16,2744	155,7952	2,1	5,6	9,2
CPAS	4	28	20,1887	-75	33	16,8602	3303,5901	1,9	4,3	8,0
CYAB	12	9	53,6553	-81	50	23,8236	7,0188	2,2	6,4	11,4
GUAP	2	34	28,1279	-77	53	40,8468	23,5861	1,9	5,0	8,2
INOB	4	35	41,0903	-75	58	4,3944	949,8254	2,4	5,7	10,1
INRI	4	54	30,9152	-75	53	49,8589	931,7266	1,8	4,0	7,2
INSJ	5	1	53,7712	-75	51	15,7604	979,2084	2,3	5,6	10,0
INTO	4	38	31,9908	-76	2	34,0089	1015,933	1,8	4,0	7,1
INVE	11	11	17,2487	-74	13	54,4088	0,8785	2,2	7,0	10,4
MAKA	6	20	12,0482	-72	39	43,2619	1632,1189	2,3	5,5	10,1

MALO	4	0	11,6861	-81	36	22,0895	132,3428	2,4	7,8	11,5
MITU	1	15	38,8146	-70	13	55,6563	190,5289	1,7	3,8	7,2
MORA	8	57	32,0610	-73	40	58,8463	62,3664	2,1	5,4	9,0
OAMU	5	38	49,9516	-73	33	28,9059	2109,6048	2,2	5,4	9,3
OVSC	1	12	36,6898	-77	15	23,8818	2634,1855	1,9	4,9	7,6
PAL2	7	7	51,6988	-73	11	3,0271	1215,5141	1,7	3,9	7,1
PASI	0	30	46,0055	-76	29	57,8409	274,3243	1,9	4,5	7,9
PATU	5	44	47,3829	-73	7	32,4021	2528,7878	2,4	5,6	10,9
PLTR	5	2	37,7767	-75	19	55,5607	3710,5375	1,8	4,2	7,4
POVA	2	26	56,7238	-76	36	53,0785	1749,3928	2,3	5,5	9,9
QUIL	1	23	38,1332	-77	17	27,4147	1829,3561	2,2	5,4	9,1
SAN0	12	34	49,6227	-81	42	56,5966	10,0889	2,1	6,0	9,7
SEL1	6	11	27,1333	-75	31	44,8503	2819,1091	2,1	5,3	9,0
SGCC	3	22	20,0369	-76	31	47,6731	1006,853	2,3	5,6	10,1
SGCG	6	59	31,5682	-73	3	51,5612	966,7382	2,4	5,8	10,9
SUAM	5	42	35,5478	-72	55	28,9086	2529,5909	2,6	7,4	11,8
TCOA	3	22	49,3734	-75	8	49,7289	430,8787	1,7	4,0	7,0
TEAT	5	25	18,4203	-73	32	21,5242	3291,987	1,8	4,0	7,2
TITI	6	0	52,4705	-75	47	31,8499	1456,0367	1,8	4,2	8,1
TONE	6	19	27,9372	-76	8	21,5119	1890,4603	2,3	5,6	10,2
TUCO	1	48	53,4723	-78	44	51,7286	18,7062	1,7	3,9	6,8
TUQU	1	5	38,2438	-77	37	51,4804	3203,6699	2,0	4,9	8,5
UNME	6	15	50,3437	-75	34	37,6008	1491,9076	2,5	5,1	11,3
URR0	8	0	44,2899	-76	12	36,7307	142,7468	2,5	6,7	10,7
VBAM	9	2	45,1298	-73	58	9,4041	34,0183	2,1	5,3	8,8
VBAR	7	1	40,8704	-73	48	21,1076	131,0592	2,3	5,6	10,4
VBUV	5	31	59,5491	-73	51	32,1668	3035,6514	2,3	6,3	9,6
VCRG	5	58	50,2548	-75	25	6,8354	2653,3746	1,7	4,0	7,1
VDPR	10	26	8,9033	-73	14	52,1746	142,5028	2,1	5,5	9,0
VEDE	4	27	37,0849	-75	45	55,5741	1241,4412	2,3	5,6	10,0
VMAR	6	10	33,8135	-75	19	27,2457	2189,2887	2,6	7,1	12,3
VMER	1	47	6,0498	-77	9	11,8641	1199,9851	1,9	4,5	7,8
VMES	6	53	0,0021	-73	5	30,0566	1644,5056	1,7	3,9	7,1
VNEI	3	3	44,0895	-75	15	19,0992	461,2809	2,3	5,6	10,0
VORA	7	49	6,3887	-76	43	18,5034	23,5684	2,1	5,7	9,3
VORI	0	51	46,9420	-77	40	20,9620	3001,4184	1,7	3,8	6,8
VPIJ	4	23	48,0784	-75	6	24,0903	863,7482	2,5	5,8	10,9
VPOL	10	47	37,5822	-74	51	39,0410	89,2238	1,7	3,9	7,2

VPOM	4	4	3,8188	-73	22	56,0712	329,3845	2,2	5,3	9,0
VQUI	5	41	32,3368	-76	38	30,1352	82,5069	2,3	5,7	10,0
VROS	4	50	49,3725	-74	19	23,9833	3041,8178	2,2	5,4	9,2
VSJP	4	46	52,2427	-75	50	8,0166	1209,6876	1,8	4,3	7,3
VSOA	4	36	9,2776	-74	16	22,3660	2668,8409	2,2	5,3	8,9
VTAM	6	27	8,6460	-71	45	12,5100	353,4091	2,1	5,3	8,9
VYPL	5	16	31,4118	-72	25	37,4637	282,3427	2,3	5,9	9,9
VZPQ	5	1	8,4799	-73	59	13,1034	2594,6257	1,9	5,2	7,9

Tabla 31 *Diferencias en el procesamiento COLPOS - GIGE*

Estación	**Latitud (mm)**	**Longitud (mm)**
AEBS	12,61	49,71
AECH	6,77	11,76
AEGU	6,90	10,93
AEMO	9,06	45,95
AEMT	5,99	14,81
AGTU	10,29	8,13
AJCM	3,57	12,26
ALPA	4,77	52,68
ANCH	10,46	26,07
ASVI	5,05	47,01
BAAP	10,24	19,76
BAPA	2,62	17,37
BARU	9,06	22,21
BOBG	10,00	0,53
BOGT	10,39	1,50
BP01	9,87	10,05
CCAN	4,59	6,84
CCAR	4,87	18,54
CCAY	3,09	22,69
CCCP	2,35	7,38
CCPA	9,19	2,69
CCPM	2,94	8,93
CCSQ	6,13	18,20
CIA1	6,52	9,38
CN35	0,26	62,56
CN37	19,31	4,87
CORO	11,07	11,23
CPAS	5,07	8,61
CYAB	9,96	44,46
GUAP	5,82	2,04
INOB	11,31	52,94

INRI	5,92	17,21
INSJ	3,90	20,50
INTO	8,14	15,42
INVE	17,19	11,87
MAKA	5,87	12,89
MALO	28,50	52,82
MITU	7,95	13,03
MORA	10,93	11,80
OAMU	9,65	8,14
OVSC	4,81	22,22
PAL2	5,02	9,59
PASI	2,71	15,49
PATU	3,86	3,55
PLTR	9,25	7,63
POVA	3,62	3,06
QUIL	3,30	2,13
SAN0	6,61	7,27
SEL1	10,15	8,08
SGCC	5,64	8,69
SGCG	11,50	29,47
SUAM	6,59	8,67
TCOA	9,38	16,10
TEAT	5,69	11,72
TITI	7,86	23,70
TONE	11,93	4,47
TUCO	1,96	4,09
TUQU	16,96	14,95
UNME	12,25	15,92
URR0	16,32	8,42
VBAM	19,47	7,10
VBAR	7,49	19,31
VBUV	7,75	13,71
VCRG	7,10	12,21
VDPR	25,79	7,36
VEDE	6,94	15,43
VMAR	9,47	8,27
VMER	4,47	20,55
VMES	12,30	9,87
VNEI	4,09	1,70
VORA	16,70	13,09
VORI	5,74	8,40
VPIJ	5,21	12,05
VPOL	9,27	20,50
VPOM	2,39	0,50
VQUI	10,90	20,76
VROS	5,86	12,33

VSJP	6,43	18,12
VSOA	7,40	14,70
VTAM	3,86	11,42
VYPL	2,82	7,86
VZPQ	3,56	9,35

Tabla 32 *Diferencias en el procesamiento COLPOS - NRCAN*

Estación	**Latitud (mm)**	**Longitud (mm)**	**Altura (mm)**
AEBS	0,28	50,75	2,32
AECH	3,13	13,04	35,29
AEGU	1,23	12,53	21,31
AEMO	4,53	36,76	24,64
AEMT	1,45	12,00	6,33
AGTU	0,00	10,03	21,19
AJCM	3,81	16,15	1,66
ALPA	2,50	43,10	7,63
ANCH	1,49	19,33	16,22
ASVI	0,56	43,09	1,34
BAAP	2,85	13,65	13,18
BAPA	1,39	11,49	6,83
BARU	6,93	24,95	24,85
BOBG	3,83	8,01	34,74
BOGT	3,01	1,69	43,31
BP01	3,47	10,45	2,80
CCAN	2,41	10,34	4,12
CCAR	1,35	21,23	9,27
CCAY	1,35	27,17	6,40
CCCP	13,21	14,12	40,49
CCPA	2,63	10,77	20,19
CCPM	0,53	10,99	1,13
CCSQ	0,61	23,91	17,05
CIA1	1,70	18,22	3,70
CN35	4,59	46,87	32,48
CN37	10,78	7,51	32,75
CORO	3,16	17,57	20,64
CPAS	1,13	8,90	3,63
CYAB	4,44	34,30	41,74
GUAP	2,65	11,80	29,24
INOB	3,39	38,89	9,25
INRI	0,26	18,18	5,17
INSJ	1,42	22,81	0,56
INTO	0,00	10,94	17,68
INVE	9,74	15,19	1761,98

MAKA	1,47	9,83	19,29
MALO	4,70	25,02	17,48
MITU	0,23	12,69	23,49
MORA	2,80	10,24	26,46
OAMU	0,97	14,97	5,49
OVSC	0,96	24,69	6,09
PAL2	3,35	9,29	18,23
PASI	1,25	10,22	8,03
PATU	0,61	7,35	11,47
PLTR	1,66	7,47	10,98
POVA	0,49	4,87	5,78
QUIL	2,60	2,66	18,44
SAN0	4,66	11,56	37,43
SEL1	4,81	8,93	6,14
SGCC	0,28	9,49	2,76
SGCG	3,83	22,75	0,42
SUAM	0,00	1,05	1,60
TCOA	0,98	16,68	5,68
TEAT	1,42	15,07	19,04
TITI	2,56	19,11	29,97
TONE	5,57	0,84	6,94
TUCO	5,18	8,36	24,27
TUQU	6,13	19,06	19,80
UNME	6,89	10,70	9,86
URR0	7,95	0,72	20,72
VBAM	11,43	2,37	27,13
VBAR	3,40	20,15	2,98
VBUV	2,28	17,78	9,41
VCRG	1,73	8,94	23,96
VDPR	4,45	11,77	5,26
VEDE	0,00	11,02	2,40
VMAR	2,24	4,27	25,10
VMER	1,49	21,43	5,55
VMES	4,80	9,61	10,78
VNEI	0,22	6,24	8,74
VORA	8,05	18,49	16,32
VORI	2,66	8,40	15,76
VPIJ	3,61	13,97	11,72
VPOL	7,13	10,49	14,41
VPOM	3,89	1,00	5,90
VQUI	5,32	18,16	8,98
VROS	2,34	15,62	14,91
VSJP	0,92	16,34	17,10
VSOA	1,48	10,82	20,84
VTAM	1,48	11,13	21,25
VYPL	1,54	7,62	20,19

VZPQ	1,48	11,69	16,04

Referencias

Berber, M., Ustun, A. & Yetkin, M. (2012). Comparison of accuracy of GPS techniques. Journal of the International Measurement Confederation, 45, 1742-1746. 2020, noviembre 16, Recuperado de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224112001674?via%3Dihub

Blume, F. (2010). GPS Data Collection Methods. 2020, noviembre 17, de UNAVCO Recuperado de https://kb.unavco.org/kb/article/gps-data-collection-methods-70.html

California Spatial Reference Center. (s. f.). Interfaz del servicio de procesamiento SCOUT [Impresión de pantalla]. Scripps Orbit and Permanent Array Center / California Spatial Reference Center. http://sopac-old.ucsd.edu/scout.shtml

Dawson, J., Govind, R. & Manning, J. (s.f.). The AUSLIG Online GPS Processing System (AUSPOS). [archivo PDF]. Recuperado de http://www.ga.gov.au/webtemp/image_cache/GA5057.pdf

Departamento Administrativo de la Presidencia de la República, Departamento Nacional de Planeación, Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Superintendencia de Notariado y Registro, & Agencia Nacional de Tierras. (2016, junio). Documento CONPES política para la adopción e implementación de un catastro multipropósito Rural-Urbano (N.o 3859). https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/normograma/conpes_3859.pdf

Departamento de Geodesia e Ingeniería Geomática de la Universidad de New Brunswick. (s. f.). Interfaz del servicio de procesamiento GAPS [Impresión de pantalla]. GNSS Analysis and Positioning Software. http://gaps.gge.unb.ca/submitbasic.php

Departamento de Recursos Naturales de Canadá. (s. f.). Interfaz del servicio de procesamiento CSRS-PPP [Impresión de pantalla]. Geodetic Tools and Applications. https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/maps/tools-applications/10925#ppp

Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W. & Mader, G. L. (2001). Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration. Journal of Geodesy, 75, 633-640. 2020, noviembre 16, Recuperado de https://doi.org/10.1007/s001900100204

El Shouny, A., Miky, Y. (2019). Accuracy assessment of relative and precise point positioning online GPS processing services. Journal of Applied Geodesy, 13, 215-227. 2020, noviembre 16, Recuperado de https://doi.org/10.1515/jag-2018-0046

Estey, L., Meertens, C. (1999). TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data. GPS Solutions, 3, 42-49. 2020, noviembre 16, Recuperado de https://doi.org/10.1007/PL00012778

European Global Navigation Satellite Systems Agency. (2017). What is GNSS?. 2020, noviembre 16, de European Global Navigation Satellite Systems Agency Recuperado de https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss

Gakstatter, E. (2013). Seven Free Alternatives to OPUS GPS Post-Processing During U.S. Federal Government Shutdown. 2020, noviembre 16, de GPS WORLD Recuperado de https://www.gpsworld.com/7-free-alternatives-opus-post-processing-in-government-shutdown/

Ghoddousi-Fard, R. & Dare P. (2005). Online GPS processing services: an initial study. GPS Solutions, 10, 12-20. 2020, noviembre 16, Recuperado de https://doi.org/10.1007/s10291-005-0147-5

Gurtner, W. & Estey, L. (2009, Junio). The Receiver Independent Exchange Format. [archivo PDF]. Recuperado de ftp://igs.org/pub/data/format/rinex301.pdf

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (2012). Global Positioning System (5.a ed.). Springer Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6199-9

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s. f.). Distribución de las estaciones CORS red MAGNA SIRGAS ECO [Impresión de pantalla]. MAGNA-SIRGAS. https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/magna-sirgas

Interfaz del servicio de procesamiento AUSPOS (s. f.). [Impresión de pantalla]. Online GPS Processing Service. https://gnss.ga.gov.au/auspos

Maraş, S. S., Şanlioğlu, I., & Aktuğ, B. (2011). Design and testing of a web-based automatic high precision GPS data processing environment. [archivo PDF]. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/267298662_Design_and_testing_of_a_web-based_automatic_high_precision_GPS_data_processing_environment

Martínez, W. A. & Sánchez, L. (2009). Realization of the SIRGAS Reference Frame in Colombia. Geodetic Reference Frames. International Association of Geodesy Symposia, 134, 185-192. 2020, noviembre 16, Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-00860-3_29#citeas.

Mora-Páez, H., Peláez-Gaviria, J., Diederix, H., Bohórquez-Orozco, O., Cardona-Piedrahita, L., Corchuelo-Cuervo, Y., Ramírez-Cadena, J. & Díaz-Mila, F. (2018). Space Geodesy Infrastructure in Colombia for Geodynamics Research. Seismological Research Letters, 89, 446-451. 2020, noviembre 16, Recuperado de https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/srl/article-abstract/89/2A/446/528159/Space-Geodesy-Infrastructure-in-Colombia-for?redirectedFrom=fulltext.

NASA Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology. (s. f.). Interfaz del servicio de procesamiento APPS [Impresión de pantalla]. Geodetic Tools and Applications. https://apps.gdgps.net/

Ocalan, T., Erdogan, B. & Tunalioglu, N. (2013). Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques. Boletim de Ciências Geodésicas, 19, 191-207. 2020, noviembre 17, Recuperado de https://doi.org/10.1590/S1982-21702013000200003.

Parkinson, B. W., Spilker, J. J., Axelrad, P., & Enge, P. (1996). Global Positioning System: Theory and Applications: 1 (1st ed.). American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. https://doi.org/10.2514/4.866388

Pearson, C., Crook, C., Jordan, A. & Denys, P. (2015). PositioNZ-PP: An Online GPS Processing Application for New Zealand. IAG 150 Years. International Association of Geodesy Symposia, 143, 549-555. 2020, noviembre 17, Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F1345_2015_159#citeas.

Petrovski, I. G., & Tsujii, T. (2012). Digital Satellite Navigation and Geophysics: A Practical Guide with GNSS Signal Simulator and Receiver Laboratory. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511659072

@The COMET Program. (s. f.). Fuentes de errores de la señal GPS desde que es emitida por el satélite hasta llegar al receptor [Gráfico]. COMET MetEd. https://www.meted.ucar.edu/GIS/GNSS_positioning/media/graphics/gps_error_sources.jpg

Reyes, M. (2019). La transformación digital ayuda a los gobiernos a ser más inclusivos. 2020, noviembre 16, de Microsoft News Center Lationamerica Recuperado de https://news.microsoft.com/es-xl/la-transformacion-digital-ayuda-a-los-gobiernos-a-ser-mas-inclusivos/

Servicio Geológico Colombiano. (s. f.). Distribución de las estaciones CORS proyecto GeoRED [Impresión de pantalla]. Red GNSS permanentes. https://geored2.sgc.gov.co/redgnss/redPermanente/Paginas/default.aspx

Soler, T., Weston, N. D., Snay, R. A., Mader, G. L., & Foote, R. H. (2006). Precise Georeferencing Using On-line Positioning User Service (OPUS). [archivo PDF]. Recuperado de https://www.ngs.noaa.gov/CORS/Articles/OPUSMunich2006.pdf

Sommerville, I. (2011) SOFTWARE ENGINEERING Ninth Edition [archivo PDF]. Recuperado de https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2150022/mod_resource/content/1/1429431793.203Software%20Engineering%20by%20Somerville.pdf

UNAVCO Campaign GPS Handbook. (2010, Enero). Recuperado de https://kb.unavco.org/kb/assets/660/UNAVCO_Campaign_GPS_GNSS_Handbook.pdf

VII Curso GPS en Geodesía y Cartografía - AECI. (2006, 16 junio). Error planimétrico del posicionamiento GPS [Impresión de Pantalla]. Métodos de observación GPS. https://es.slideshare.net/rey_arevalo/mtodos-de-observacin-gps

Wang, G. & Soler, T. (2012). OPUS for Horizontal Subcentimeter-Accuracy Landslide Monitoring: Case Study in the Puerto Rico and Virgin Islands Region. Journal of Surveying Engineering, 138, 143-153. 2020, noviembre 17, Recuperado de https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000079.

Waypoint Consulting Inc. (2005). Static Baseline Accuracies as a Function of Baseline Length , Observation Time and the Effect of using the Precise Ephemeris. [archivo PDF]. Recuperado de http://www.novatel.com/assets/Documents/Waypoint/Reports/Static_Accuracies.pdf

Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M. & Webb, F. H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, 102, 5005-5017. 2020, noviembre 17, Recuperado de https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/96JB03860