

## *Análisis del error del posicionamiento satelital GALILEO en redes geodésicas locales. Caso de estudio: Rumiñahui-Ecuador*

### *Analysis of GALILEO Satellite Positioning Error in Local Geodetic Networks: Case Study: Rumiñahui, Ecuador*

Dennys Enríquez Hidalgo<sup>1</sup> , William Andrade<sup>2</sup>, Jorge Lala<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior Tecnológico Superarse, dennys.enriquez@superarse.edu.ec, Sangolquí, Ecuador  
PLANIFICARTO Sociedad por Acciones Simplificadas con Beneficio e Interés Colectivo, planificar-  
to@gmail.com, Quito, Ecuador

<sup>2</sup> Instituto Superior Tecnológico Superarse, william.andrade@superarse.edu.ec, Sangolquí, Ecuador

<sup>3</sup> Instituto Superior Tecnológico Superarse, jorge.lala@superarse.edu.ec, Sangolquí, Ecuador

Autor para correspondencia: jorge.lala@superarse.edu.ec

#### **RESUMEN**

El presente estudio se centró en el análisis del error del posicionamiento satelital GALILEO en redes geodésicas locales, con un enfoque específico en el cantón Rumiñahui, Ecuador. El objetivo principal fue comparar las coordenadas determinadas con el sistema satelital europeo con las obtenidas por medio de una red geodésica GPS. Para llevar a cabo esta investigación, se rastrearon cinco puntos de la red geodésica utilizando equipos GNSS multi-constelación y multifrecuencia, realizando sesiones independientes de hasta 8 horas. Además, se enlazó a la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador – REGME por medio de 2 EMC. Los datos recopilados se procesaron en un software comercial y posteriormente se calculó el error cuadrático medio entre coordenadas GPS y GALILEO. Los resultados indicaron que el RMSE entre las dos redes fue de 4.3 centímetros, este valor sugiere que el sistema Galileo ofrece una precisión adecuada para aplicaciones de ingeniería como el catastro, topografía o fotogrametría. Del estudio se concluye que, la implementación de redes geodésicas utilizando el sistema Galileo es viable para proyectos que posean los requisitos mencionados. Se recomienda replicar esta metodología en diferentes ubicaciones a lo largo del país, con el objeto de validar la precisión del sistema europeo en todas las regiones del Ecuador, y asegurar su aplicabilidad en diversos contextos geográficos.

**Palabras clave:** GPS, Topografía, Fotogrametría, Ingeniería

#### **ABSTRACT**

The present study focused on the analysis of the error of GALILEO satellite positioning in local geodetic networks, with a specific focus on the Rumiñahui canton, Ecuador. The main objective was to compare the coordinates determined with the European satellite system with those obtained through a GPS geodetic network. To carry out this research, five points of the geodetic network were tracked using multi-constellation and multi-frequency GNSS equipment, carrying out independent sessions of up to 8 hours. In addition, it was linked to the GNSS Continuous Monitoring Network of Ecuador – REGME through 2 EMCs. The collected data were processed in commercial software and the mean square error between GPS and GALILEO coordinates was subsequently calculated. The results indicated that the RMSE between the two networks was 4.3 centimeters, this value suggests that the Galileo system offers adequate precision for engineering applications such as cadastre, topography or photogrammetry. From the study it is concluded that the implementation of geodetic networks using the Galileo system is viable for projects that have the aforementioned requirements. It is recommended to replicate this methodology in different locations throughout the country, in order to validate the precision of the European system in all regions of Ecuador, and ensure its applicability in various

geographic contexts.

**Key words:** GPS, Topography, Photogrammetry, Engineering

## 1. INTRODUCCIÓN

En todo proyecto relacionado con las ciencias de la Tierra es primordial la representación del terreno (Kehm et al., 2022), esto se lo puede realizar de diferentes maneras, ya sea de manera física empleando un plano, croquis o mapa, o más acorde a tiempos modernos de manera digital con una apreciación en tercera dimensión, realidad aumentada o virtual (Del Cogliano, 2021). Lo esencial en este tipo de representación es la georreferenciación espacial, para ello se emplean puntos con coordenadas conocidas, que dependiendo de la escala del proyecto variaría su precisión (Guimaraes et al., 2022). En el caso de proyectos como; cartografía a escalas grandes, obras civiles, catastro, oleoductos, construcciones, etc., demanda una alta precisión y para lograrlo es necesario emplear redes geodésicas GNSS.

En el Ecuador se ha establecido un conjunto de estaciones GNSS de monitoreo continuo denominada REGME (Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador) cuyas precisiones alcanzadas están a nivel centimétrico, lograr esta precisión únicamente es posible empleando un método relativo, que toma como base estaciones excéntricas con coordenadas de alta precisión que se encuentran enlazadas a redes continentales y globales como la del Servicio GNSS Internacional (IGS).

Para determinar puntos GNSS de alta precisión, la técnica que presenta mayor demanda es el método relativo (Rojas, 2024). En ocasiones, y para proyectos de pequeña magnitud se incurre en costos elevados que sobrepasan los presupuestos planificados, debido a que se deben emplear transporte, logística general y réditos económicos para mínimo 2 equipos, además se debe considerar que por definición es necesario que el rastreo sea simultáneo, por lo que la experiencia del personal técnico debe ser alta para no experimentar errores en la obtención de la información (Merizalde, 2020).

En la actualidad existen diferentes softwares que permiten procesar todos los observables que registran los receptores geodésicos de alta precisión, lo que permiten realizar un procesamiento de datos múltiples de alta precisión. Ante lo descrito y teniendo un enfoque netamente a un aspecto técnico, el presente estudio se propone la validación del error de la constelación Galileo en el posicionamiento para determinar redes geodésicas locales, como caso de estudio el cantón Rumiñahui.

Parte de la importancia de realizar el presente estudio, radica que en el año 2015 se realizó la aprobación del marco de referencia geodésico por la “Asamblea General de las Naciones Unidas”, logrando contribuir a nivel mundial con el desarrollo sostenible. A partir de este suceso se reconoció la importancia que tiene un marco de referencia que garantice exactitud y estabilidad, logrando de esta manera la interoperabilidad de las mediciones realizadas en cualquier parte de

la superficie de la tierra (Zamora et al., 2021). SIRGAS es la organización responsable del marco de referencia de América Latina y del Caribe el mismo que ofrece un intercambio abierto de datos geodésicos para emplearlo en una infinidad de aplicaciones como: transporte, agricultura, minería, construcción, vigilancia del cambio climático, entre otras (Enríquez, 2019).

El entendimiento de la cartografía, parte de la correcta referenciación espacial de los elementos que la componen. Es por esta razón que se requiere un adecuado trato a los datos de las coordenadas de partida. Esta información, por definición actual, es obtenida a partir de sistemas satelitales como GPS, o incluyendo todas las constelaciones GNSS. Para la obtención de coordenadas precisas en las redes geodésicas nacionales se requiere de un tratamiento riguroso con el fin de lograr precisiones por sobre el centímetro, y a partir de estas, se derivan redes geodésicas locales (Ramírez y Valverde, 2023). El método de procesamiento que es empleado por SIRGAS para la obtención de coordenadas semanales se realiza en software científico comercial, y aplicando el método relativo, que involucra líneas base y vectores independientes que conecta cada vértice geodésico.

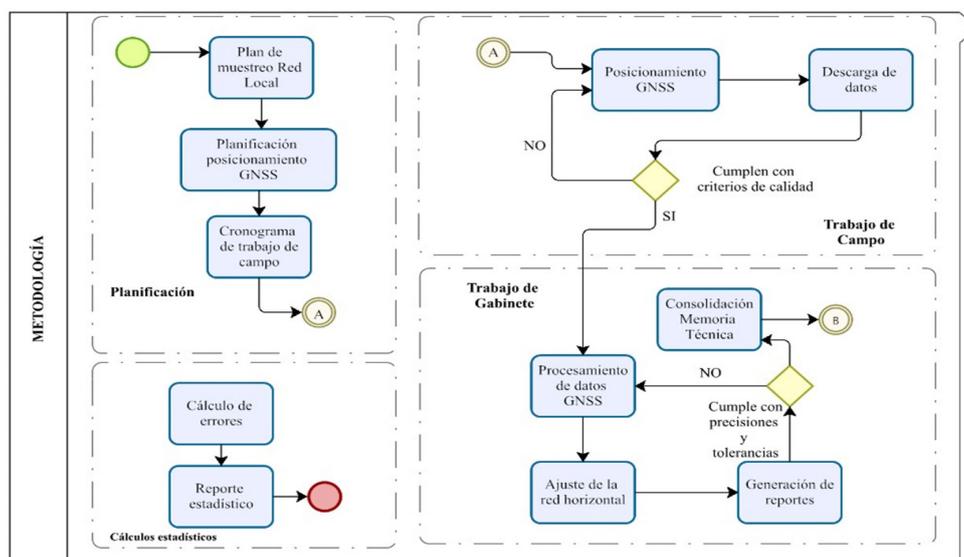
En la actualidad, se persigue un fin en todo el mundo que es la optimización de recursos, mediante la innovación, es por ello que muchas de las profesiones como la ingeniería, buscan este fin. La presente investigación se alinea a lo antes mencionado ya que la metodología planteada, infiere en la optimización de recursos. Además, en cualquier investigación es imprescindible cumplir con los Objetivos del Desarrollo Sostenible propuestos por la Organización de las Naciones Unidas en el año 2015, en tal virtud la propuesta de investigación ha tomado como referencia el ODS 9 que se relaciona con la Industria, innovación e infraestructura. Donde se menciona que los gobiernos deben reconocer la importancia de los datos basados en tecnologías geoespaciales, el monitoreo in situ y la información geoespacial precisa las misma que resultan de gran relevancia para la formulación de políticas, la planificación y la operación de proyectos de desarrollo sostenible.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología que se aplicó en el presente proyecto consideró tres fases: planificación, trabajo de campo y trabajo de gabinete. En la etapa de planificación se realizó un plan de muestreo de la red geodésica local, y una posterior planificación del posicionamiento satelital, derivando en un cronograma del trabajo de campo. La segunda fase, trabajo de campo, inició con el posicionamiento satelital GNSS, mediante la utilización de equipos de precisión. Los datos se descargaron y se verificó su calidad: tiempos de rastreo, constelaciones satelitales, intervalo de registro; de cumplir con los parámetros de calidad, se procederá a la siguiente fase. Como penúltimo paso, la fase de trabajo de gabinete, cumplió con el procesamiento de la información, y un posterior ajuste de la red, lo que conllevó a la generación de reportes, cumpliendo con las precisiones y tolerancias culminando con la consolidación de la memoria técnica del proyecto. Finalmente, se calcularon los errores entre coordenadas GPS y las determinadas mediante Ga-

lileo, obteniendo un reporte estadístico de estas magnitudes. Esta descripción se puede apreciar en la Figura 1.

Figura. 1. Diagrama de los datos



Fuente: Autores, 2024

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

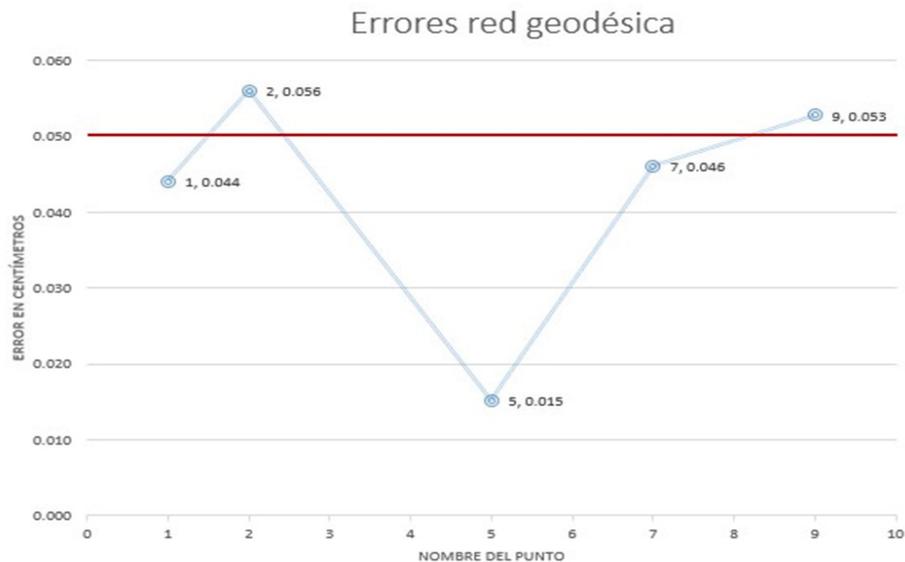
De la metodología propuesta, y por medio de las fases indicadas para la realización del proyecto, como resultados se obtuvieron la comparación de las coordenadas determinadas en estudios previos mediante la constelación GPS, misma que ha sido validada a lo largo del tiempo, con el sistema Galileo. En la Tabla 1 se aprecian los errores determinados.

Tabla 1. Errores determinados

ID	DIFERENCIAS		RMSE
	E	N	
1	0.0383	-0.0218	0.044
2	-0.0229	-0.0511	0.056
5	0.0152	0.0008	0.015
7	0.0159	-0.0433	0.046
9	0.0454	-0.0269	0.053
			0.043

De esta tabla se puede apreciar que, de los 5 puntos, 3 presentan un error cuadrático medio inferior a 5 centímetros. Y, en promedio, un total de 4.3 centímetros. Se debe considerar errores inferiores a 5 centímetros según dicta el Instituto Geográfico Militar en su protocolo de fiscalización, una red geodésica para ser aprobada el RMSE deberá ser menor que esta cantidad. Esto se puede apreciar de mejor manera en la Figura 2.

Figura 2. Errores red geodésica



Fuente: Autores, 2014

De la Figura 2, se puede rescatar que 2 puntos están fuera de la tolerancia de 5 centímetros, pero es necesario considerar que para una validación en general de una red geodésica se considera la totalidad de los puntos, con sus respectivos errores. Con esto, se tiene que el promedio de error fue de 4.3 centímetros, considerando las directrices del Instituto Geográfico Militar, la red geodésica determinada con la constelación Galileo, podría ser aprobada en su exactitud posicional. No obstante, esta validación deberá ser replicada a diversos sectores del país, aplicando la misma metodología. De este modo se podrán obtener datos más concretos para poder viabilizar la utilización de esta constelación en el Ecuador.

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha logrado determinar que el promedio del error cuadrático medio de la red determinada con la constelación Galileo fue de 4.3 centímetros, lo que indica una validación de la constelación en comparación con la red determinada con GPS. Con un error inferior a 5 centímetros.

#### REFERENCIAS

- Del Cogliano, D. H. (2021). Geodesia física. In *Escuela Regional "Nuevas técnicas geodésicas para América Latina y el Caribe" (5 al 12 de abril de 2021, modalidad virtual)*.
- Enríquez, D. y Morillo, A. (2018) Análisis de la posición del sistema Galileo en el Ecuador Continental utilizando el software RTKLIB. *Revista Geoespacial*, 15 (2), 80-94.
- Enríquez, D. y Cárdenas, S. (2019). *Validación del método de nivelación GPS en el Ecuador*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
- Guimaraes, G. D. N., Blitzkow, D., De Matos, A. C. O. C., Machado, W. C., Albarici, F. L., Junior, C. A. C. E. C., ... & Silva, V. C. (2022) Establecimiento de IHRF e integración ITGRF en Brasil: Situación y perspectivas. *Simposio Brasileño de Geomática*.

- Kehm, A., Sánchez, L., Bloßfeld, M., Seitz, M., Drewes, H., Angermann, D., & Seitz, F. (2022). Combination strategy for the geocentric realization of regional epoch reference frames. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127(10), e2021JB023880.
- Merizalde, M. (2020). *Determinación de las principales alturas del Ecuador mediante Nivelación GPS*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
- Pozo, S. (2023). *Análisis de PPP en las estaciones de la REGME. Caso de estudio: Ecuador*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE
- Ramírez Núñez, M., & Valverde Calderón, J. F. (2023). Desarrollo de una herramienta informática para el ajuste de redes geodésicas en la carrera de Ingeniería en Topografía y Geodesia de la Universidad Nacional, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, (70), 135152.
- Rojas, V. (2024). Implementación de tecnología de transmisión de datos GNSS en tiempo real mediante NTRIP. *Revista Técnica de la Construcción*, 1(21), 28-33.
- Zamora, J. M., Gutiérrez, S. B., & Calderón, Á. Á. (2021). Parámetros de transformación entre los marcos geodésicos CR05 y CR-SIRGAS contemplando diferentes soluciones ITRF. *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*, 31(1), 21-50.