

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
SUPERARSE**

**INFORME FINAL DEL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN**

Tema:


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



Autores:

Dennys Alexander Enríquez Hidalgo
Toscano Alban Luis Alfonso

Periodo Noviembre 2023 - Abril 2024

	GESTION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION	VERSIÓN: 001
	PROYECTO FINAL DE INVESTIGACIÓN	CÓDIGO: ISTS-GIDIVS-02-008
		FECHA: 06/04/2024

Índice

1. Datos generales	3
2. Responsables:	3
3. Dominios, líneas y sublíneas de investigación.....	3
4. Introducción	4
5. Objetivos.....	5
5.1. Objetivo General	5
5.2. Objetivos Específicos	5
6. Formulación de Hipótesis	5
a. Hipótesis Nula (H0).....	5
b. Hipótesis Alternativa (HA).....	6
c. Validación de hipótesis.....	6
7. Beneficiarios	6
8. Metodología	7
8.1. Diseño de la investigación.....	7
8.2. Enfoque	7
8.3. Técnicas y herramientas	7
8.4. Población y muestra	7
8.5. Metodología de desarrollo.....	7
9. Resultados y discusión.....	8
10. Resultado de hipótesis	9
11. Tipo de impacto.....	10
11.1. Impacto social.....	10
11.2. Impacto económico	10
11.3. Impacto científico.....	10
11.4. Impacto político.....	10
12. Conclusiones	10
13. Recomendaciones	10
14. Referencias Bibliográficas	10

	GESTION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION	VERSIÓN: 001
	PROYECTO FINAL DE INVESTIGACIÓN	CÓDIGO: ISTS-GIDIVS-02-008
		FECHA: 06/04/2024

1. Datos generales

Escuela: Construcción y extracción sostenible

Carrera: Topografía

Periodo: Noviembre 2023 - Abril 2024

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

CÓDIGO DEL PROYECTO: 001-IDI-CONST-001

TIEMPO DE EJECUCIÓN: 5 meses

FECHA DE INICIO: 01-02-2024


FECHA DE FIN: 30-06-2024

2. Responsables:

Nombres y apellidos	Cédula	Formación profesional	Cargo	Correo institucional
Dennys Alexander Enríquez Hidalgo	1717470858	Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente	Profesor tiempo Parcial	dennys.enriquez@superarse.edu.ec
Toscano Alban Luis Alfonso	1721097747	Topógrafo	Profesor tiempo Parcial	luis.toscano@superarse.edu.ec

3. Dominios, líneas y sublíneas de investigación

DOMINIO	LÍNEA	SUBLÍNEA	(X)
Servicios de Calidad	Gestión y Servicios	Gestión Administrativa	
		Gestión del talento humano	
		Marketing y Transformación digital	
		Emprendimiento e innovación	
		Seguridad y Salud Ocupacional	
	Salud y Bienestar	Estándares de calidad y seguridad	
		Desinfección, esterilización y asepsia	
	Ciencias de la Educación	Educación inclusiva e intercultural	
		Metodologías de aprendizaje	
		Inteligencia Artificial y Realidad Aumentada	
		Neuroeducación	
		Educación Ambiental	
Desarrollo Sostenible	Salud y Producción Animal	Bienestar Animal	
		Sanidad Animal	
		Nutrición Animal	
		Producción Pecuaria	
	Ciencias de la Tierra	Geoespacial (topografía, geodesia, cartografía, fotogrametría)	x
		Aplicación minera sostenible	

	GESTION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION	VERSIÓN: 001
	PROYECTO FINAL DE INVESTIGACIÓN	CÓDIGO: ISTS-GIDIVS-02-008
		FECHA: 06/04/2024

4. Introducción


En todo proyecto relacionado con las ciencias de la Tierra es primordial la representación del terreno, 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. 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. 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 (Almeida, 2021).

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. 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 créditos 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. 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).

	GESTION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION	VERSIÓN: 001
	PROYECTO FINAL DE INVESTIGACIÓN	CÓDIGO: ISTS-GIDIVS-02-008
		FECHA: 06/04/2024

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. 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 por lo 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.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Validar el posicionamiento satelital Galileo mediante la determinación de redes geodésicas y comparación del error de coordenadas GPS. Caso de estudio: Rumiñahui-Ecuador


5.2. Objetivos Específicos

- Realizar un muestreo de la red geodésica local de Rumiñahui
- Levantar información geodésica de los puntos muestreados mediante equipos GNSS de precisión
- Procesar la información derivada del posicionamiento satelital mediante un software comercial para determinar las coordenadas de alta precisión
- Comparar las coordenadas obtenidas con Galileo y las determinadas con GPS para determinar el error de la constelación.

6. Formulación de Hipótesis

a. Hipótesis Nula (H0)

No existe una diferencia significativa en el error del posicionamiento geodésico entre la constelación Galileo y la constelación GPS en redes geodésicas locales del cantón Rumiñahui, Ecuador.

	GESTION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION	VERSIÓN: 001
	PROYECTO FINAL DE INVESTIGACIÓN	CÓDIGO: ISTS-GIDIVS-02-008
		FECHA: 06/04/2024

b. Hipótesis Alternativa (HA)


Existe una diferencia significativa en el error del posicionamiento geodésico entre la constelación Galileo y la constelación GPS en redes geodésicas locales del cantón Rumiñahui, Ecuador.

c. Validación de hipótesis

La validación de la hipótesis se realizará mediante un estudio experimental con enfoque cuantitativo. Para ello, se llevará a cabo un muestreo de la red geodésica local del cantón Rumiñahui, donde se medirán coordenadas utilizando equipos GNSS de precisión con las constelaciones Galileo y GPS. Los datos obtenidos serán descargados y verificados en términos de tiempos de rastreo, constelaciones utilizadas e intervalos de registro. Posteriormente, la información recolectada será procesada empleando software comercial para calcular las coordenadas de alta precisión correspondientes a cada constelación. Se procederá a comparar las coordenadas obtenidas con Galileo frente a las determinadas con GPS y se calcularán los errores mediante el Error Cuadrático Medio (RMSE). Para el análisis estadístico, se establecerá un umbral de tolerancia de 5 cm, conforme al protocolo del Instituto Geográfico Militar, lo que permitirá evaluar la precisión y fiabilidad de los resultados. Se analizarán los errores en cada punto de la red y se determinará el RMSE promedio para definir si la red geodésica obtenida con Galileo cumple con los estándares de precisión requeridos.

7. Beneficiarios

Tipo de beneficio	Beneficiarios	Descripción
Beneficiario Directos	Profesionales y estudiantes de la carrera de Tecnología en Topografía	Obtendrán información técnica y validada sobre el error del sistema Galileo en redes geodésicas locales, lo que puede ser útil para su formación académica y profesional. Participación de estudiantes en el desarrollo del proyecto, lo que fomenta el aprendizaje práctico y la vinculación con la investigación.
	Profesores investigadores	se benefician al desarrollar y liderar un proyecto que contribuye al avance del conocimiento en el área de geodesia y topografía.
Beneficiarios Indirectos	Instituto Superior Tecnológico Superarse	Mejora su prestigio académico y científico al desarrollar investigaciones alineadas con las necesidades del país y los ODS.
	Comunidad profesional de Ciencias de la Tierra en Ecuador	Obtiene información técnica sobre el error del sistema Galileo, útil para proyectos de cartografía, obras civiles,

	GESTION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION	VERSIÓN: 001
	PROYECTO FINAL DE INVESTIGACIÓN	CÓDIGO: ISTS-GIDIVS-02-008
		FECHA: 06/04/2024

Tipo de beneficio	Beneficiarios	Descripción
		catastro, entre otros.
	Gobiernos locales y nacionales	Los resultados pueden ser aplicados en proyectos de infraestructura, planificación urbana y desarrollo sostenible en el cantón Rumiñahui y otras regiones.
	Sociedad en general	Se beneficia indirectamente al mejorar la precisión de proyectos de infraestructura, transporte, agricultura y otros sectores que impactan en la calidad de vida.

8. Metodología

8.1. Diseño de la investigación

La investigación que se llevará a cabo es de tipo experimental, puesto que se aplicará una nueva constelación GNSS y analizar el error de esta en la red geodésica local del cantón Rumiñahui.

8.2. Enfoque

Este estudio se basa en un enfoque cuantitativo para evaluar el error del posicionamiento geodésico utilizando la constelación Galileo en el cantón Rumiñahui, Ecuador. Se recolectarán datos mediante el uso de receptores GNSS conectados a la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME). Las mediciones se realizarán en múltiples puntos de prueba distribuidos estratégicamente en el área de estudio. Los datos serán analizados mediante técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales para determinar la precisión y fiabilidad del sistema Galileo en comparación con otros sistemas GNSS como GPS.

8.3. Técnicas y herramientas


Se realizarán observaciones satelitales sobre los puntos de la red geodésica local de Rumiñahui.

8.4. Población y muestra

Como muestra para la validación de este estudio se considerará el 50% del total de puntos de la red geodésica local del cantón Rumiñahui.

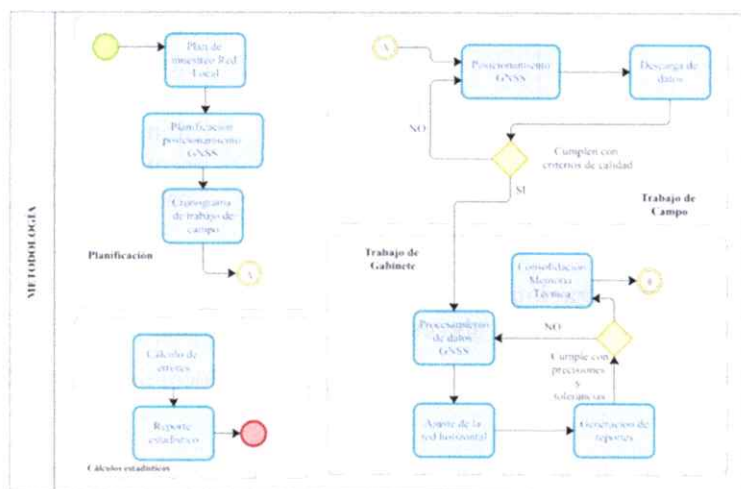
8.5. Metodología de desarrollo

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

	GESTION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION	VERSIÓN: 001
	PROYECTO FINAL DE INVESTIGACIÓN	CÓDIGO: ISTS-GIDIVS-02-008
		FECHA: 06/04/2024

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

Figura 1. Metodología




9. 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

	GESTION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION	VERSIÓN: 001
	PROYECTO FINAL DE INVESTIGACIÓN	CÓDIGO: ISTS-GIDIVS-02-008
		FECHA: 06/04/2024

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.

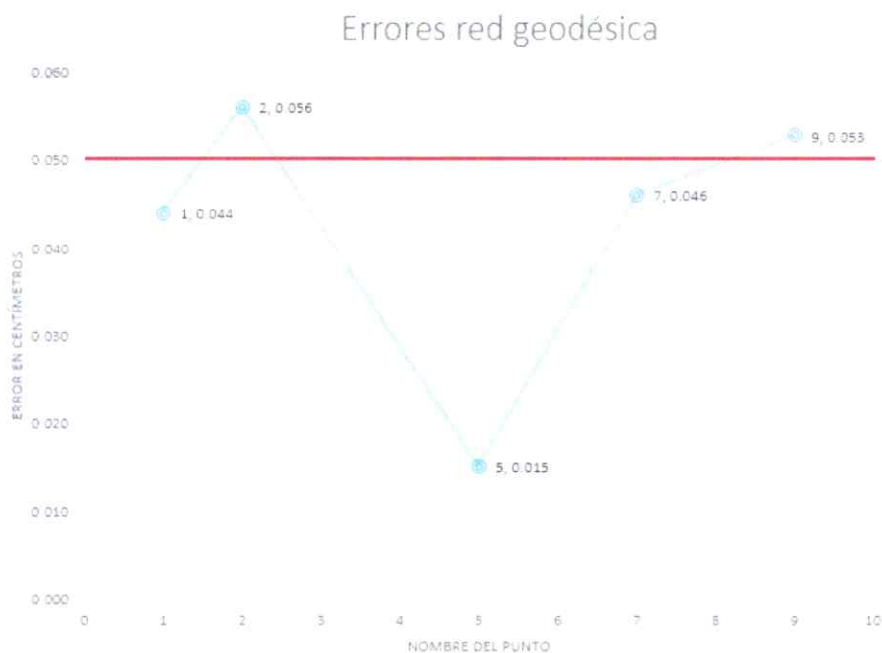



Figura 2.- RMSE

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.

10. Resultado de hipótesis

El estudio comparó el error del posicionamiento geodésico entre las constelaciones Galileo y GPS en redes geodésicas locales del cantón Rumiñahui, Ecuador. Los resultados muestran un error cuadrático medio (RMSE) promedio de 4.3 cm, dentro del umbral de 5 cm establecido por el Instituto Geográfico Militar.

	GESTION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION	VERSIÓN: 001
	PROYECTO FINAL DE INVESTIGACIÓN	CÓDIGO: ISTS-GIDIVS-02-008
		FECHA: 06/04/2024

Dado que la precisión de Galileo es comparable a la de GPS y no se observan diferencias significativas, se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H_A). Esto confirma que Galileo es una alternativa viable para la determinación de redes geodésicas locales, aunque se recomienda replicar el estudio en otros entornos para validar su estabilidad a nivel nacional.

11. Tipo de impacto.

11.1. Impacto social

El proyecto tiene un impacto social significativo, ya que mejora la precisión de los datos geodésicos, lo que puede beneficiar a la sociedad en general al optimizar proyectos de infraestructura, transporte, agricultura y otros sectores que impactan directamente en la calidad de vida. Además, fomenta la participación de estudiantes y profesionales en investigaciones prácticas, fortaleciendo su formación académica y profesional.

11.2. Impacto económico

El impacto económico radica en la optimización de recursos al utilizar la constelación Galileo, que puede reducir costos en proyectos de pequeña magnitud al minimizar la necesidad de equipos adicionales y logística compleja. Esto puede beneficiar a gobiernos locales y nacionales al mejorar la eficiencia en proyectos de desarrollo urbano y rural.

11.3. Impacto científico

El proyecto tiene un impacto científico relevante, ya que contribuye al avance del conocimiento en el área de geodesia y topografía. La validación del sistema Galileo en redes geodésicas locales genera información técnica que puede ser utilizada en futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de las ciencias de la Tierra.

11.4. Impacto político

El impacto político es limitado, pero puede considerarse indirecto, ya que los resultados del proyecto pueden influir en la formulación de políticas públicas relacionadas con el desarrollo sostenible, la planificación urbana y la infraestructura, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.


12. 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.

13. Recomendaciones

Se recomienda la aplicación de esta metodología en todo el país, de modo que se conozca el error a nivel nacional y poder viabilizarla.

14. Referencias Bibliográficas

	GESTION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION	VERSIÓN: 001
	PROYECTO FINAL DE INVESTIGACIÓN	CÓDIGO: ISTS-GIDIVS-02-008
		FECHA: 06/04/2024

- Almeida, A. (2021). Generación de un Sistema de Proyección Cartográfico Local para Galápagos. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Enríquez, D. (2018). Análisis de la posición horizontal del sistema Galileo en el Ecuador Continental utilizando el software RTKLIB. Revista Geoespacial, 80-94.
- Enríquez, D. (2019). Validación del método de nivelación GPS en el Ecuador. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- 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.

