

GNSS applied to Microgeodesy

Ezequiel Pallejá Dr.¹, Roberto Leni Ing.², and Nicolás Cafferata Ing.³

^{1,2,3}Universidad de Moron, Argentina, epalleja@gmail.com, robertoleni1944@gmail.com, agrimtotal@gmail.com

Abstract— A research project of the University of Moron called “MIC GNSS” was developed. The main objective of this project is to verify the capability and accuracy of the GNSS (Global Navigation Satellite System) in detecting and measuring small positional changes of fixed and movable references. To achieve this, a method for optimizing the measurement of changes in the position of references in structures is proposed. This approach has a wide range of applications, such as monitoring bridges, reservoir dams, large buildings, natural terrain subsidence, and earthquake effects. Real-time detection and measurement of displacements and deformations in natural and artificial structures are crucial for safety, economy, and environmental preservation, as well as for improving construction and maintenance technologies. Although traditional microgeodesy methods have been historically used to measure these types of magnitudes, the proposed use of GNSS technology is expected to have significant advantages over traditional methods, though it cannot fully replace them.

However, there are some limitations to the use of GNSS technology. For example, it cannot be used indoors, and it's challenging to use it in environments surrounded by obstacles that may affect satellite signals. To overcome these challenges, we designed and constructed a device that allows GNSS antennas to adopt different positions both horizontally (N-S and E-W directions) and vertically. These variations can be either discrete or continuous, enabling the study of the sensitivity of the GNSS to abrupt or gradual movements that can be simulated in this way. Additionally, we propose and test a scheme of auxiliary GNSS stations to optimize the accuracy of the results.

This project provides a way to verify the aptitude and real precision and accuracy of the GNSS system in detecting and measuring small positional changes of fixed and movable references.

Keywords-- GPS, GNSS, microgeodesy, monitoring, deformations, subsidence, testing, accuracy

GNSS aplicado a la Microgeodesia

Ezequiel Pallejá Dr.¹, Roberto Leni Ing.², and Nicolás Cafferata Ing.³

^{1,2,3}Universidad de Moron, Argentina, epalleja@gmail.com, robertoleni1944@gmail.com, agrimtotal@gmail.com

Resumen– Se desarrolla un proyecto de investigación de la Universidad de Morón denominado “MIC GNSS”. El principal objetivo de este proyecto es verificar la capacidad y precisión del GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) en la detección y medición de pequeños cambios de posición de referencias fijas y móviles. Para lograr esto, se propone un método para optimizar la medición de cambios en la posición de referencias en estructuras. Este enfoque tiene una amplia gama de aplicaciones, como el monitoreo de puentes, embalses, grandes edificios, hundimiento natural del terreno y efectos sísmicos. La detección y medición en tiempo real de desplazamientos y deformaciones en estructuras naturales y artificiales son cruciales para la seguridad, la economía y la preservación del medio ambiente, así como para mejorar las tecnologías de construcción y mantenimiento. Aunque históricamente se han utilizado métodos tradicionales de microgeodesia para medir este tipo de magnitudes, se espera que el uso propuesto de la tecnología GNSS tenga ventajas significativas sobre los métodos tradicionales, aunque no pueda reemplazarlos por completo.

Sin embargo, existen algunas limitaciones en el uso de la tecnología GNSS. Por ejemplo, no se puede usar en interiores y es un desafío usarlo en entornos rodeados de obstáculos que pueden afectar las señales de los satélites. Para superar estos desafíos, se diseñó y construyó un dispositivo que permite que las antenas GNSS adopten diferentes posiciones tanto horizontalmente (direcciones N-S y E-W) como verticalmente. Estas variaciones pueden ser discretas o continuas, lo que permite estudiar la sensibilidad del GNSS a movimientos bruscos o graduales que pueden simularse de esta forma. Adicionalmente, se propone y se prueba un esquema de estaciones GNSS auxiliares para optimizar la precisión de los resultados.

Este proyecto proporciona una forma de verificar la aptitud, la precisión real y la exactitud del sistema GNSS para detectar y medir pequeños cambios de posición de referencias fijas y móviles.

Palabras clave– GPS, GNSS, microgeodesia, monitoreo, deformaciones, hundimiento, verificación, precisión

I. INTRODUCCIÓN

El Proyecto “MIC GNSS” de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Morón se desarrolló con el objetivo de comprobar la aptitud y real precisión del sistema GNSS para detectar y medir pequeños cambios posicionales de referencias fijas y móviles. El problema general a resolver es qué método sería el óptimo para contribuir a la medición de cambios de posición de referencias en estructuras originados por roturas, inundaciones, defectos constructivos, erosión, desgaste, etc. en tiempo real o diferido.

Esto tiene directa aplicación, entre otros campos, en auscultación de puentes, auscultación de presas de embalse,

auscultación de grandes edificios, determinación de hundimientos del terreno natural, y determinación de efectos de sismos. La detección y medición en tiempo real de desplazamientos y deformaciones de grandes estructuras naturales y artificiales reviste gran importancia por razones de seguridad, de economía y de preservación del medio ambiente, así como de mejoramiento de tecnologías de construcción y mantenimiento.

Los daños producidos por roturas, hundimientos, desbarrancamientos, filtraciones, agrietamientos, deslizamientos, derrumbes y otras causas constituyen un peligro para vidas humanas, fauna, flora, viviendas, líneas eléctricas, gasoductos, etc. con consecuencias sociales y económicas en cuanto a la pérdida de inversiones y costos de reparación.

Los métodos tradicionales de la geodesia utilizados históricamente para medir este tipo de magnitudes, están dando paso al uso propuesto de tecnología GNSS que posee ventajas apreciables sobre los anteriores, aunque no puede reemplazarlos en su totalidad. [1] [2] [3] [4] [5]

Las determinaciones GNSS son inmediatas, en tiempo real, son tridimensionales y son continuas, proporcionando información cada segundo de tiempo. Estas ventajas para ser aprovechadas requieren una serie de precauciones y procedimientos ordenados que son precisamente, uno de los objetivos del presente proyecto.

Por otra parte, existen limitaciones al uso de GNSS. No puede ser usado en interiores y es muy dificultoso su utilización en ambientes rodeados de obstáculos para la señal satelital.

II. DESARROLLO DEL PROYECTO

A. Dispositivos de centración y simulación de deformaciones

Se efectuó el diseño y construcción de un dispositivo de centración de antena GNSS (Fig 1) que permite variar y medir milimétricamente distintas posiciones de la misma, tanto en planimetría (direcciones N-S y E-W) como en altimetría. Estas variaciones pueden ser discretas o continuas, para permitir estudiar la sensibilidad del GNSS ante movimientos bruscos o graduales que se pueden simular de esta forma.

Se trata de un dispositivo de diseño especial, que consta de un bastidor fijado con tornillos a una placa de chapa de acero de 6,35 mm, sobre el bastidor tenemos montada la estructura mecanizada con libertad de movimiento horizontal y vertical, donde se encuentra una escala milimetrada con un fiel a efectos de conocer los cambios de posición horizontal y vertical, controlado con un sistema de varilla y tuerca tipo THSL paso 8. En dicha estructura está fijado un motor eléctrico tipo universal 12V de 55W con velocidad controlada por medio de un variador de velocidad electrónico de variación de ancho de pulso. Al eje motriz se encuentra fijado un volante con una salida excéntrica a efecto de poder transmitir un movimiento rotativo a la base de fijación de la antena GNSS. Esto está destinado a generar un movimiento, conocido y repetitivo en el tiempo, de un receptor GNSS tratando de simular las variaciones de posiciones georreferenciadas que un determinado elemento físico real puede sufrir en el tiempo.

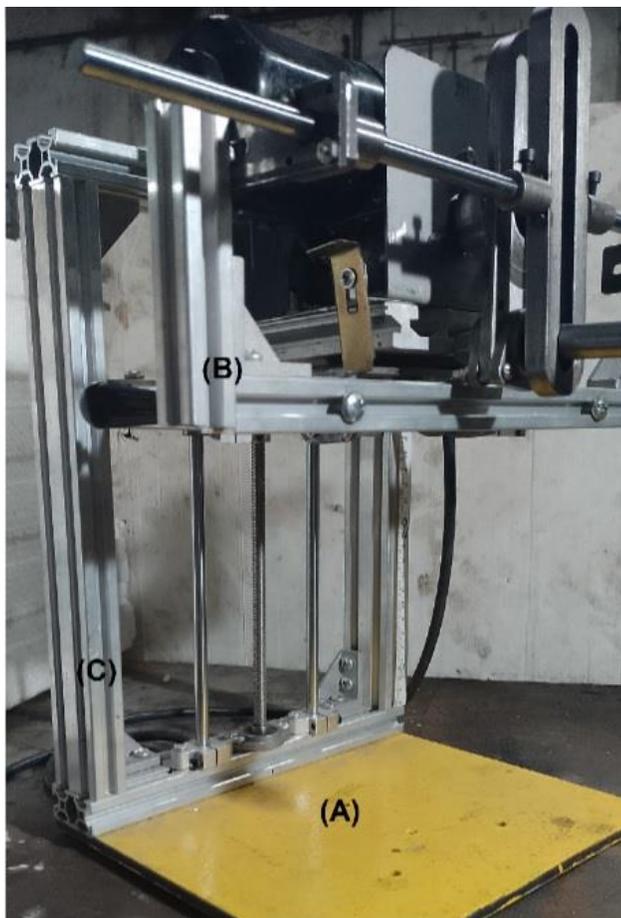


Fig. 1 Vista general del dispositivo (A) Placa base (B) Soporte móvil vertical estático © Soporte fijo vertical

B. Estaciones de medición

Luego de una etapa de búsqueda de lugares donde efectuar las mediciones, se eligieron las siguientes estaciones

de observación: una estación en la terraza del edificio Lima de la Universidad de Morón (Fig 2), una en la terraza del edificio del Consejo Profesional de Agrimensura Jurisdicción Nacional y una en las instalaciones de Villa Martelli del Ejército.



Fig. 2 Estación de referencia y dispositivo en acción sobre la terraza del Edificio Lima de la Universidad de Morón

C. Instrumental y software

La selección de instrumental y software a emplear en este proyecto se basó en el uso de los equipos pertenecientes a la Universidad de Morón, la Universidad del Ejército y equipos facilitados por terceros. Se tuvo en cuenta que el objetivo del proyecto es investigar las posibilidades de uso con fines microgeodésicos de instrumental y software estándar, al alcance de profesionales especializados y no especializados.

D. Esquema básico de mediciones

Las mediciones se realizaron en base al siguiente diseño, que resultó más apropiado para este trabajo (ver Fig. 3).

La estación principal de observación (Dispositivo) es la que se centra sobre la referencia cuyos movimientos y deformaciones se quiere determinar.

Una segunda estación (Control 1) se instala a una distancia corta (unos pocos metros) de la primera. Estas dos estaciones operan como base de contraste, ya que su distancia se puede medir fácilmente y comparar con la que se obtiene por procesamiento diferencial de GPS.

Una tercera estación (Control 2) se instala a una distancia media de unos 100 a 200m de las primeras. Su misión es conocer si las deformaciones detectadas son locales o bien afectan una zona de mayor extensión.

La cuarta estación es externa y pertenece a la red de estaciones permanentes del IGN, que se puede usar de

referencia lejana para aumentar el grado de certeza en la detección de las deformaciones de las estaciones anteriores.

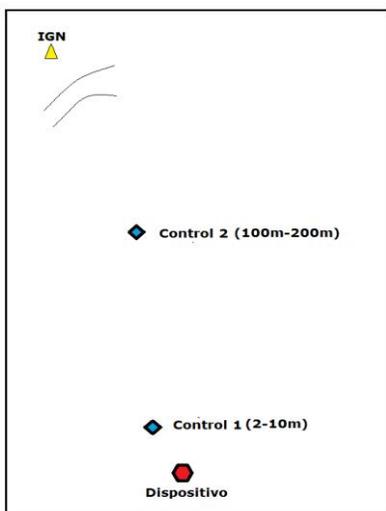


Fig. 3 Esquema básico de control GNSS

IV. PRINCIPALES DATOS DE OBSERVACIÓN

El proyecto que se llevó a cabo comenzó con la realización de mediciones de prueba y la construcción del dispositivo simulador de movimientos y deformaciones. Estas pruebas iniciales fueron cruciales para evaluar la calidad de los resultados obtenidos mediante el uso de equipos GNSS y para garantizar la precisión de las mediciones futuras.

Para llevar a cabo estas pruebas iniciales, se instalaron equipos receptores GNSS sobre trípodes en dos ubicaciones diferentes: en las instalaciones de Villa Martelli del Instituto Geográfico Nacional y en la terraza del edificio del Consejo Profesional de Agrimensura, Jurisdicción Nacional, en la zona céntrica de la ciudad de Buenos Aires.

Durante las sesiones de observación, que duraron entre 1 y 2 horas cada una, se cambió la posición de la estación principal en altura entre sesión y sesión mediante la regulación del bastón de centración. De esta manera, se obtuvo una comparación entre los resultados GNSS y las variaciones de altura medidas directamente sobre la centración de la antena mediante el dispositivo.

El procesamiento GNSS se realizó de forma diferencial de fase entre la estación principal y las estaciones ubicadas a corta, media y larga distancia, utilizando para esta última la estación permanente del IGN que pertenece a la red RAMSAC de estaciones permanentes de la República Argentina. Estos datos se procesaron para determinar la posición precisa de cada punto de referencia y, a partir de ellos, se obtuvieron los resultados de las mediciones.

Los resultados de estas pruebas mostraron precisiones en general concordantes con lo que la experiencia profesional indicaba. La repetibilidad de los resultados en planimetría fue de 3mm, mientras que en altimetría fue de 5mm. Estos resultados confirmaron la calidad de los equipos GNSS utilizados y permitieron ajustar y optimizar el dispositivo simulador de movimientos y deformaciones.

Mientras se realizaban estas pruebas, se diseñó y construyó el dispositivo para simular deformaciones y movimientos. Este dispositivo se utilizó para simular diferentes escenarios y situaciones que podrían afectar la precisión de las mediciones, como vibraciones, movimientos del terreno, deformaciones estructurales, etc. Con este dispositivo, se pudieron realizar mediciones precisas y confiables en diferentes situaciones y condiciones.

En definitiva, las pruebas iniciales y el diseño y construcción del dispositivo simulador de movimientos y deformaciones fueron fundamentales para garantizar la calidad y precisión de las mediciones realizadas en el marco de este proyecto. Los resultados obtenidos permitieron avanzar en el proyecto con confianza y obtener datos precisos y confiables para su posterior análisis y procesamiento.

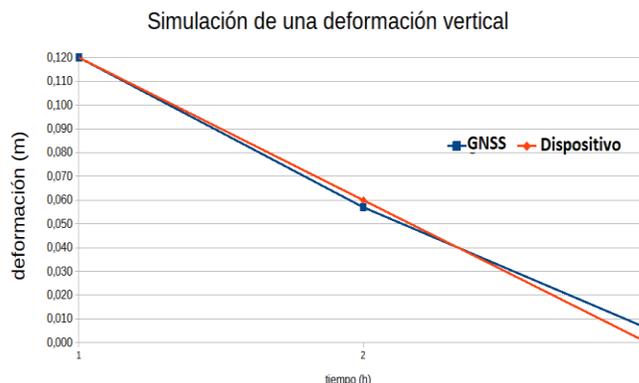


Fig. 4 Comparación de observaciones GNSS con mediciones con el dispositivo de simulación

La Fig. 4 muestra los resultados de una típica simulación de subsidencia, donde la antena GNSS desarrolla un trayecto vertical de 116 mm.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las observaciones realizadas durante el proyecto han permitido confirmar ciertos supuestos básicos que se tenían al inicio del mismo. Es indudable que los sistemas de posicionamiento global (GNSS) son capaces de proporcionar precisiones subcentimétricas bajo condiciones adecuadas. Sin embargo, los errores de posicionamiento vertical son superiores a los errores planimétricos, del orden del doble. Por lo tanto, es importante tener en cuenta que las mediciones

deben realizarse siempre con el método diferencial de fase (codeless) y la necesidad de contar con estaciones externas. El objetivo es medir diferencias de posición en el tiempo. no coordenadas absolutas que exigirían otros procesos de medición y compensación de redes.

El esquema propuesto de estaciones a corta, media y larga distancia ha respondido a las expectativas. La estación cercana permite, por un lado, detectar y eventualmente eliminar observaciones con saltos o errores groseros, y por otro, certificar que los movimientos o deformaciones son propios del punto base y que las zonas aledañas no están afectadas. De manera similar, la estación a distancia media es útil al permitir conocer si las deformaciones afectan grandes estructuras en su totalidad. Esto demuestra la importancia de contar con un esquema adecuado de estaciones para realizar mediciones precisas y confiables. La estación externa IGN no es estrictamente necesaria, pero permite evitar errores groseros y estudiar las precisiones GNSS a distancias más largas.

El dispositivo para simular deformaciones ha cumplido con los objetivos del proyecto, aún cuando debe ser mejorado en algunos aspectos, como la regulación de la velocidad de sus movimientos.

Es importante tener en cuenta que las observaciones GNSS no pueden considerarse realizadas "en las mismas condiciones" a los efectos de su uso como ayuda en la calibración de otros métodos de medición. La geometría de la constelación observada, el comportamiento de la ionosfera y los rebotes de la señal en elementos cercanos son algunos de los factores que pueden variar con el tiempo, influyendo en los resultados finales. Por lo tanto, se requiere un análisis cuidadoso de las condiciones de medición y una interpretación adecuada de los resultados obtenidos para evitar errores y asegurar la calidad de las mediciones GNSS.

En resumen, las observaciones realizadas durante el proyecto han demostrado la importancia de contar con un esquema adecuado de estaciones y la necesidad de tener en cuenta las limitaciones y los factores que pueden influir en los resultados de las mediciones GNSS. Estos hallazgos son fundamentales para mejorar la fiabilidad de las mediciones de deformaciones y movimientos, y garantizar la seguridad y la integridad de las estructuras en estudio. El dispositivo utilizado proporciona valores ciertos de movimientos tridimensionales, permitiendo hacer un estudio tanto de precisión como especialmente de exactitud (accuracy) de las determinaciones GNSS.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Nazareno Ampuero y al Ing. Facundo Dagum, de la Facultad de Ingeniería del Ejército por su valiosa participación en el proyecto con mediciones GNSS

Al Ing. Fernando MartínYeck, de la Universidad de Morón, por su participación en el diseño y construcción del dispositivo de simulación.

A los alumnos Mariano de Lauretis y Matías Chacur, de la Universidad de Morón, por su activa participación en las diversas etapas del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Piras, Marco & Roggero, Marco & Fantino, Maurizio. (2007). Monitoring of land deformation using GNSS. https://www.researchgate.net/publication/259043276_Monitoring_of_land_deformation_using_GNSS
- [2] Zabalegui, Gorka de Miguel, Pérez, Mendizabal, Jon Goya, Adin. (2020) A Review of the Evolution of the Integrity Methods Applied in GNSS
- [3] Reguzzoni, Lorenzo Rossi, De Gaetani, Caldera, Barzaghi (2022). GNSS-Based Dam Monitoring: The Application of a Statistical Approach for Time Series Analysis to a Case Study
- [4] Khin Cho Myint, Abd Nasir Matori, Adel Gohari (2018) Application of GNSS Methods for Monitoring Offshore Platform Deformation <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183401019>
- [5] B D Yuwono, Prasetyo (2019) Analysis Deformation Monitoring Techniques Using GNSS Survey and Terrestrial Survey (Case Study: Diponegoro University Dam, Semarang, Indonesia)