

LA CALIDAD DE DATOS GNSS EN LAS ESTACIONES DE OPERACIÓN CONTÍNUA (ESTUDIO DE CASO: ESTACIÓN R205 LA PAZ)

Ph.D. Huber Augusto Mamani Gutierrez

Universidad Mayor de San Andrés

Correo Electrónico: hamamani@umsa.bo

Resumen

La presente investigación hace referencia a la calidad de datos GNSS de estaciones de operación continua (CORS), tomando como estudio de caso a la estación R205, operada por la empresa Terratec SRL ubicada en el municipio de La Paz, considerando además un periodo de observación de un mes.

El control de calidad se realizó mediante el software TEQC, desarrollado por UNAVCO, considerando como referencia los lineamientos técnicos establecidos en documentos internacionales: la Guía para la instalación de estaciones SIRGAS-CON, las Directrices para estaciones de referencia de operación continua del NGS-NOAA, la Guía de planificación de estaciones permanentes GNSS/GPS de UNAVCO y las Directrices para estaciones IGS del Servicio Internacional GNSS.

Se analizaron cuatro indicadores de calidad, desglosados en seis variables: efecto multitrayectoria en las bandas L1 (MP1) y L2 (MP2), relación señal-ruido en L1 (SNR1) y L2 (SNR2), saltos de ciclo por cada mil observaciones (CSR) y el porcentaje de observaciones registradas respecto a las esperadas (R).

Los resultados, consideraron: primero las constelaciones GNSS NAVSTAR GPS y GLONASS, donde la estación R205 cumplió con cuatro variables (MP1, MP2, SNR1 y SNR2) y segundo solo observaciones NAVSTAR GPS, donde la estación R205 alcanzó el cumplimiento en todas las variables evaluadas.

Se concluye que la estación R205 cumple con los estándares internacionales de calidad de datos GNSS, debiendo tomarse en cuenta que los factores pueden ser afectados por el entorno físico de instalación, así como a las características técnicas del receptor y la antena GNSS empleados. Los resultados evidencian la necesidad de aplicar rigurosamente las normativas internacionales para garantizar la calidad de estaciones CORS en el país.

Abstract

This research examines the quality of GNSS data from continuously operating reference stations (CORS). Station R205, operated by Terratec SRL and located in the municipality of La Paz, was used as a case study. The observation period was one month.

Quality control was performed using TEQC software, developed by UNAVCO, based on the technical guidelines established in international documents: the SIRGAS-CON Station Installation Guide, the NGS-NOAA Guidelines for Continuously Operating Reference Stations, the UNAVCO GNSS/GPS Permanent Station Planning Guide, and the International GNSS Service Guidelines for IGS Stations.

Four quality indicators were analyzed, broken down into six variables: multipath effect in the L1 (MP1) and L2 (MP2) bands, signal-to-noise ratio in L1 (SNR1) and L2 (SNR2), cycle skips per thousand observations (CSR), and the percentage of recorded observations relative to expected observations (R).

The results considered: first, the GNSS constellations NAVSTAR GPS and GLONASS, where station R205 met four variables (MP1, MP2, SNR1, and SNR2); and second, only NAVSTAR GPS observations, where station R205 achieved compliance in all variables evaluated.

It is concluded that station R205 meets international GNSS data quality standards, taking into account that factors can be affected by the physical installation environment, as well as the technical characteristics of the GNSS receiver and antenna used. The results demonstrate the need to rigorously apply international standards to ensure the quality of CORS stations in the country.

Palabras clave

Calidad de datos GNSS; estaciones CORS; monitoreo continuo; normativas internacionales; TEQC.

1. Introducción

Los Sistemas Globales de Navegación Satelital (GNSS, por sus siglas en inglés) constituyen una tecnología clave para la geolocalización precisa y en tiempo real, cuyo origen se remonta al desarrollo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) por parte del Departamento de Defensa de los Estados Unidos en la década de 1970. Inicialmente concebido para fines militares, su evolución ha permitido una apertura progresiva hacia usos civiles, dando lugar al concepto actual de GNSS, el cual engloba múltiples constelaciones satelitales como GPS (Estados Unidos), GLONASS (Rusia), Galileo (Unión Europea), BeiDou (China), entre otros sistemas regionales como QZSS (Japón) e IRNSS (India).

El principio de funcionamiento de los sistemas GNSS se basa en una red de satélites que transmiten señales hacia la superficie terrestre, permitiendo mediante algoritmos complejos la determinación de coordenadas geocéntricas de puntos de observación. Si bien su aplicación original se centraba en la navegación y en la sincronización temporal precisa, en la actualidad su campo de acción se ha diversificado significativamente. Estos sistemas son ampliamente utilizados en estudios geodinámicos, meteorología, monitoreo de deformaciones de la corteza terrestre, gestión de recursos hídricos, vigilancia estructural, agrimensura, geofísica y otras áreas vinculadas a la solución de problemáticas globales (Hernández, 2021).

El desarrollo y la implementación de los GNSS involucra a una diversidad de actores institucionales, desde agencias espaciales hasta organismos gubernamentales y científicos. En este contexto, la comunidad internacional ha impulsado mecanismos normativos e institucionales para garantizar la calidad, interoperabilidad y sostenibilidad de estos sistemas. Un ejemplo de ello es el rol del Comité de Expertos de las Naciones Unidas en Gestión Global de la Información Geoespacial (UN-GGIM), creado en 2011, cuya misión consiste en promover el uso estratégico de la información geoespacial para el desarrollo sostenible, estableciendo lineamientos técnicos y marcos de gobernanza globales (Instituto Geográfico Nacional, 2021).

En el ámbito técnico, la Geodesia Satelital ha desarrollado métodos de posicionamiento GNSS de alta precisión, particularmente el posicionamiento relativo o diferencial, el cual requiere la observación simultánea de señales desde estaciones base fijas y receptores móviles (Herrada et al., 2010a). Para ello, se han establecido redes de estaciones GNSS de operación continua, conocidas como CORS (Continuously Operating Reference Stations), que permiten a los usuarios acceder a datos estables y confiables para una amplia gama de aplicaciones científicas y técnicas.

Asimismo, diversas guías técnicas han sido desarrolladas para estandarizar el establecimiento y operación de estas estaciones. Entre ellas destacan las directrices del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS-CON), el National Geodetic Survey (NGS) de los Estados Unidos y el International GNSS Service (IGS). Estas guías incluyen especificaciones sobre ubicación, monumentación, tipo de equipos, operación continua, control de calidad, comunicación de datos y documentación. Particularmente, el NGS- NOAA establece criterios de control de calidad diario a través del software TEQC, evaluando parámetros como la multitrayectoria (MP1 y MP2), saltos de ciclo y otros indicadores esenciales para garantizar la integridad y precisión de los datos geodésicos (NGS, 2018).

De esta manera, el presente artículo aborda el control de calidad de datos GNSS, vinculado a redes de estaciones permanentes, y los marcos normativos internacionales que regulan su implementación, haciendo énfasis en los estándares técnicos y criterios de calidad exigidos para su operación en contextos científicos y geodésicos de alta precisión.

En este contexto, resulta fundamental conocer y evaluar adecuadamente los factores de calidad de los datos GNSS, como la relación señal-ruido (SNR), los porcentajes de observaciones válidas (R), los saltos de ciclo (cycle slips), la multitrayectoria, entre otros, especialmente cuando en Bolivia se está llevando adelante un proceso sostenido de implementación de estaciones GNSS de operación continua en diferentes regiones del país. Este crecimiento en la infraestructura de posicionamiento satelital exige el cumplimiento de estándares internacionales que garanticen la confiabilidad, interoperabilidad y utilidad de los datos generados, tanto para fines científicos como para aplicaciones técnicas, productivas y de desarrollo.

En síntesis, conocer estos factores de calidad no solo permite diagnosticar el estado actual de las estaciones, sino también orientar acciones de mejora, mantenimiento y homologación técnica, en concordancia con las recomendaciones de organismos como el IGS, SIRGAS o UNAVCO. Así, la comprensión técnica de estos indicadores se convierte en una herramienta clave para consolidar una red nacional robusta y con proyección internacional.

2. Metodología y Desarrollo

2.1 Guías y directrices consideradas para la investigación

Según la revisión bibliográfica realizada, se identificaron diversas guías y directrices técnicas vinculadas al establecimiento de redes o estaciones GNSS de operación continua (CORS), algunas centradas en aspectos físicos de instalación y otras más orientadas al control y aseguramiento de la calidad de los datos generados.

Entre los documentos considerados destacan:

- La Guía para la instalación de estaciones SIRGAS-CON Versión 1.4 del 13 de marzo de 2017 – Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, 2021.
- Las Directrices para nuevas y existentes estaciones de referencia de operación continua (Guide lines for New and Existing Continuously Operating Reference Stations (CORS)), versión agosto 2018, establecidas por el Servicio Geodésico Nacional (NGS) y la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos de Norteamérica (NGS – NOAA).
- Guía de planificación de estaciones permanentes GNSS/GPS: tecnología, equipos, costos, de UNAVCO, artículo publicado en diciembre de 2014.
- Y finalmente las Directrices para estaciones IGS (IGS Site Guidelines), versión julio 2015, definida por el Servicio Internacional GNSS (IGS).

Cabe señalar que tanto la guía SIRGAS como las directrices NGS–NOAA toman como referencia principal las directrices del IGS. Por ello, la presente investigación se fundamenta en los estándares de calidad establecidos por esta última, al ser el IGS una organización internacional de referencia que

reúne datos de estaciones GNSS permanentes y genera productos abiertos y de alta precisión desde 1994.

La guía del IGS establece convenciones técnicas obligatorias y recomendadas para el diseño, operación y monitoreo de estaciones, contenidas principalmente en la Sección 2, que ha sido tomada como base para esta investigación. Estos lineamientos también se reflejan en el apartado F de las directrices NGS–NOAA, referido al control de calidad y operación diaria de las estaciones (Internacional GNSS Service, 2015; NGS NOAA, 2018).

A partir de dichas directrices, se definieron cuatro indicadores clave para evaluar la calidad de datos GNSS de las estaciones analizadas:

- Efecto multitrayectoria en bandas L1 y L2 (MP1, MP2)
- Relación señal-ruido en bandas L1 y L2 (SNR1, SNR2)
- Saltos de ciclo por cada mil observaciones (CSR)
- Porcentaje de observaciones registradas respecto a las esperadas (R)

Estos indicadores permiten determinar el grado de cumplimiento de los estándares internacionales recomendados para estaciones GNSS de operación continua.

2.2 Programa para el control de calidad - TEQC

El programa utilizado para el control de calidad de los datos GNSS es TEQC, una herramienta completa diseñada para el preprocesamiento de datos GNSS, especialmente en formato RINEX. TEQC es gratuito y su mantenimiento, actualización y distribución están a cargo de la institución estadounidense UNAVCO (University Navstar Consortium) (Estey & Wier, 2014).

El programa fue creado por el Dr. Lou Estey, quien lo desarrolló y apoyó durante más de 20 años, TEQC lanzó su primera versión oficial el 17 de marzo de 1997 y se mantuvo actualizado hasta su última versión registrada el 25 de febrero de 2019.

Este software soporta múltiples formatos nativos de receptores GPS y GLONASS, permitiendo la conversión a formatos estándar como RINEX para observables (OBS), navegación (NAV) y meteorología (MET), así como la edición y verificación previa al postprocesamiento. TEQC opera mediante línea de comandos, lo que facilita la automatización mediante scripts.

El nombre TEQC se deriva de tres funciones principales que realiza:

- Translation: Conversión de formatos binarios nativos a RINEX o BINEX.
- Editing: Edición, corte y empalme de archivos, cambio de intervalos de grabación, extracción de metadatos y reordenamiento de observables.
- Quality check: Control de calidad mediante verificación de datos GPS y GLONASS, asegurando el cumplimiento de las especificaciones RINEX, generando un reporte con extensión “.S”.

La elección de TEQC se fundamenta en su recomendación explícita en las principales guías internacionales para estaciones GNSS de operación continua, entre ellas:

“(2.2.10) Los operadores de la estación deben utilizar programas de verificación de la calidad de los datos, como TEQC, en sus datos antes de publicarlos en los centros de datos.”: Guía IGS (Sección 2, apartado 2.2).

“(Características del sitio) La evaluación de la calidad de los datos se puede realizar utilizando el kit de herramientas UNAVCO TEQC”

“(Gestión de datos y monitorización de redes) Monitoreo y verificación del desempeño, verificación mediante TEQC”: Guía UNAVCO para estaciones permanentes GNSS/GPS (2020)

“(F. Control de calidad y operación diaria del sitio) Para garantizar la calidad de los datos, se realizarán verificaciones a diario utilizando TEQC”: Directrices NGS-NOAA para estaciones CORS (inciso F):

2.3 Análisis de la calidad de datos en función de los indicadores

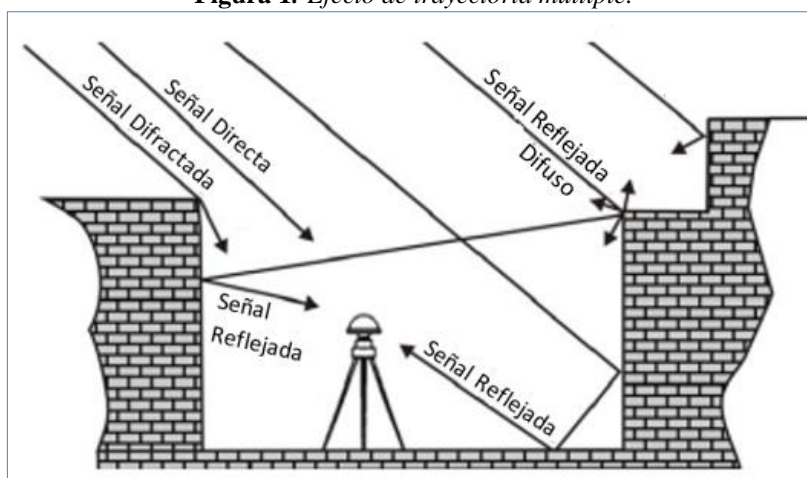
Para el análisis de la calidad de las observaciones GNSS de la estación R205, se utilizó el programa TEQC, el cual generó archivos de informe con la extensión *.S. Estos archivos contienen una serie de valores que deben ser interpretados según los indicadores de calidad definidos en esta investigación.

Efecto multitrayectoria (MP1 y MP2)

El efecto multitrayectoria, conocido también como multipath o efecto de múltiples rutas, es caracterizado por una o más señales procedentes de los satélites que son reflejadas por superficies reflectoras cerca de la antena (Sánchez, 2016). El efecto multitrayectoria puede ser de dos tipos; reflexión especular o sufrir de difracción difusa (Souza, 2004).

Para un mejor entendimiento, el efecto multitrayectoria ocurre cuando la señal llega a la antena del receptor por diferentes trayectorias o direcciones, por ejemplo: estructuras, edificios, arboles, autos, etc. Esto hace que la señal llegue con un retraso relativo a la señal directa, siendo que realizó un recorrido adicional (Andrade et al., 2020).

Figura 1: Efecto de trayectoria múltiple.



Fuente: Souza, 2004.

El cálculo del efecto multitrayectoria se basa en una combinación lineal de pseudorango y fase portadora de L1 y L2 para la estimación del error medio cuadrático en metros. El efecto medido en metros de la multitrayectoria (multipath), es determinado por el valor de MP1 (mp1), para L1, que es calculado mediante:

$$MP1 = P_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)\phi_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)\phi_2$$

Siendo:

P: Observación de la pseudodistancia

ϕ : Observación de la fase portadora

$\alpha = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2$ para f_1 y f_2 frecuencias de ϕ_1 y ϕ_2 , respectivamente

MP2 (mp2), es el efecto en metros de la multitrayectoria para L2:

$$MP2 = P_2 - \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)\phi_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1} - 1\right)\phi_2$$

MP1 y MP2 son considerados como errores estocásticos, difieren según las características del elemento reflector, las superficies alrededor de las antenas y son difíciles de corregir. Si el lugar de medición no se cambia, entonces estos efectos se repiten, manifestando una propiedad de periodicidad, con un periodo aproximado de un día sidéreo, este periodo no siempre es fácil de explorar ya que los efectos multitrayectoria en L1 y L2 pueden ser diferentes y las efemérides precisas generalmente se basan en combinaciones libres de ionosfera, también pueden ser considerados como ruido en las observaciones (Yeh et al., 2007).

El efecto multitrayectoria puede ser mitigado en el posicionamiento relativo, mediante el análisis de multiresolución (AMR)¹, aplicando la doble diferenciación, tanto para la fase de onda portadora, como para la pseudodistancia (Souza, 2004).

Los valores considerados según las Directrices para estaciones IGS (IGS Site Guidelines), en la sección 2, apartado 2.2, manifiesta:

“(2.2.25) Se espera que la estación tenga un multitrayecto bajo (< 0.3 m)”

El Servicio Internacional GNSS (IGS), monitoreará los valores de calidad de los datos RINEX para tratar de detectar complicaciones y advertir a los operadores de la Estación sobre los posibles problemas.

En la Guía de Planificación de estaciones permanentes GNSS/GPS de UNAVCO, hace referencia sobre el efecto multitrayectoria en el apartado Receptores GNSS/Seguimiento del rendimiento:

“(Medidas de desempeño) MP1 y MP2 (< 0.5 m con mascara de elevación > 10°)”

¹ Análisis multiresolución (AMR), consta de una secuencia de subespacios cerrados utilizando diferentes resoluciones, de ahí el nombre de análisis de resolución múltiple. (e. Souza, Efecto de multitrayectoria de alta frecuencia en posicionamiento relativo GPS estático: Detección y atenuación con Wavelets, Brasil, 2004).



Específicamente la Guía de instalación de estaciones SIRGAS-CON, establece que el lugar seleccionado para la estación debe estar libre, de la mejor manera posible, de radio interferencias y de superficies reflectivas u otras fuentes de señal reflejada (multipath) (SIRGAS, 2017).

Figura 2: Valores de MP1 y MP2 del reporte completo, archivo *.S.

Moving average MP12	:	0.617103 m
Moving average MP21	:	0.530973 m
Moving average MP15	:	0.564708 m
Moving average MP51	:	0.531824 m
Points in MP moving avg	:	50
Mean S1	:	43.99 (sd=4.73 n=69629)
Mean S2	:	41.98 (sd=6.60 n=66362)
No. of Rx clock offsets	:	0
Total Rx clock drift	:	0.000000 ms
Rate of Rx clock drift	:	0.000 ms/hr
Avg time between resets	:	Inf minute(s)
Freq no. and timecode	:	3 14574 ffffff
Report gap > than	:	10.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip	:	0
other msec mp events	:	0 (: 1849) {expect ~= 1:50}
IOD signifying a slip	:	>400.0 cm/minute
IOD slips < 10.0 deg*	:	131
IOD slips > 10.0 deg	:	468
IOD or MP slips < 10.0*	:	138
IOD or MP slips > 10.0	:	501
* or unknown elevation	:	
first epoch	last epoch	sn1 sn2
SSN 19 12 1 00:00	19 12 1 23:59	43.99 41.98
first epoch	last epoch	mp12 mp21 mp15 mp51
SMP 19 12 1 00:00	19 12 1 23:59	0.62 0.53 0.56 0.53
first epoch	last epoch	hrs dt #expt #have %
SUM 19 12 1 00:00	19 12 1 23:59	23.72 15 80267 66393 83
		mp1 mp2 o/slps
		0.62 0.53 133

Los valores MP1 y MP2 son los valores calculados por TEQC de los valores medios móviles RMS de la "Combinaciones multitrayectoria" MP1 y MP2, en metros. MP1 y MP2 son combinaciones lineales de observaciones de pseudodistancia y fase de portadora, que indican la "multitrayectoria de pseudodistancia L1" para las observaciones de código C/A o P, y el "multitrayectoria de pseudodistancia L2" para observaciones de código P. Estos muestran la multitrayectoria media (RMS) MP1 y MP2 en metros (Estey & Wier, 2014).

Relación señal-ruido (SNR1 y SNR2)

Este indicador es identificado como SNR, S/N o C/N₀, describe el estado operativo del sistema GNSS (receptor, antena, señal), rendimiento y la captura de la señal (Andrade et al., 2020)

El "nivel de señal" SNR, es una medida de cuánto afecta el ruido a la fidelidad de la señal GPS y se define como el cociente: potencia de la señal / potencia del ruido, por tanto, más pura será la información cuanto mayor es el SNR, así como, en la medida que la razón decrece, la señal se pierde en el ruido y la medida resulta inexacta (Glosario Topografía, Geodesia y GPS, 2020).

La relación señal-ruido describe el rendimiento y la potencia de la señal P y la potencia del ruido N, la ecuación que la describe es la siguiente:

$$SRN = 10\log_{10} \frac{P}{N} \quad (dB)$$

La SNR, siendo un indicador que es utilizado para medir la capacidad de recepción de la señal en los receptores, de tal modo que refleja el rendimiento del seguimiento y captura de la señal, en la mayoría de los recientes receptores GNSS, la relación señal-ruido es conocida como como C/N₀, y estas son expresadas en decibeles Hertz, en función a la siguiente ecuación:

$$C/N_0 = 10\log_{10} \frac{P_r}{N_0} \quad (dBHz)$$

La señal se refiere a una señal generada por un dispositivo externo, mientras que el ruido se refiere a la señal originada por el mismo dispositivo (N_0) y que generalmente va acompañada de una señal irregular (Hernandez, 2021).

Cuadro 1: Indicadores SRN estandarizados.

RELACIÓN SNR (dBHz)	INDICADOR SNR (RINEX)	INTENSIDAD DE SEÑAL
<12	1	Débil
12-17	2	Débil
18-23	3	Débil
24-29	4	Débil
30-35	5	Débil
36-41	6	Fuerte
42-47	7	Fuerte
48-53	8	Fuerte
≥ 54	9	Fuerte

Fuente: Gurtner & Estey, 2007.

La generación de los indicadores de intensidad de la señal en los receptores GNSS, se encuentran en un rango de medición de < 12 dBHz y ≥ 54 dBHz, estos marcan los límites de los registros muy débiles y muy fuertes respectivamente, considerándose como límite entre señal débil y fuerte a 36 dBHz, de esta manera cuanto más grande sea la relación señal-ruido mayor será la calidad de la señal observada (Gurtner & Estey, 2007).

En cuanto a los valores recomendados, las Directrices para estaciones IGS (IGS Site Guidelines), en la sección 2, apartado 2.2, manifiesta sobre el efecto señal-ruido lo siguiente:

“(2.2.8) Las estaciones deben proporcionar los valores de señal a ruido para todas las señales rastreadas: S1, S2, etc., en los archivos RINEX con la mayor precisión posible”

Asimismo, según (Gurtner & Estey, 2007) en su documento intitulado RINEX El formato de intercambio independiente del receptor Versión 3.00, propia de las publicaciones del consorcio UNAVCO Inc., establecen como valor límite los 36 dBHz, entre señales débiles y fuertes. Considerándose como señales fuertes aquellas que se encuentran en valores ≥ 36 dBHz, aspecto que se requiere en las estaciones de operación continua.

En cuanto a TEQC considera S1 y S2 como la media de la relación señal-ruido, para las frecuencias L1 y L2 respectivamente. Las unidades dependen del receptor, aunque muchos receptores nuevos utilizan los valores expresados en dBHz.

También es utilizado para el control muestra de la desviación estándar (sd = en las mismas unidades) y el número de valores (n =) utilizados para calcular S1 y S2 (Estey & Wier, 2014).

Figura 3: Valores de SNR1 y SNR2 del reporte completo, archivo *.S.

Mean S1	: 43.99 (sd=4.73 n=69629)
Mean S2	: 41.98 (sd=6.60 n=66362)
No. of Rx clock offsets	: 0
Total Rx clock drift	: 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift	: 0.000 ms/hr
Avg time between resets	: Inf minute(s)
Freq no. and timecode	: 3 14574 ffffff
Report gap > than	: 10.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip	: 0
other msec mp events	: 0 (: 1849) {expect ~= 1:50}
IOD signifying a slip	: >400.0 cm/minute
IOD slips < 10.0 deg*	: 131
IOD slips > 10.0 deg	: 468
IOD or MP slips < 10.0*	: 138
IOD or MP slips > 10.0	: 501
* or unknown elevation	
first epoch last epoch	sn1 sn2
SSN 19 12 1 00:00 19 12 1 23:59	43.99 41.98
first epoch last epoch	mp12 mp21 mp15 mp51
SMP 19 12 1 00:00 19 12 1 23:59	0.62 0.53 0.56 0.53
first epoch last epoch	hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slips
SUM 19 12 1 00:00 19 12 1 23:59	23.72 15 80267 66393 83 0.62 0.53 133

Saltos de ciclo por cada mil observaciones (CSR)

Un salto de ciclo es un deslizamiento repentino en la fase portadora observable, representada por un número entero de ciclos. La porción fraccionaria de la fase no se ve afectada por esta discontinuidad en la secuencia de observación, el salto puede ocurrir brevemente entre dos épocas o puede durar varios minutos o más, si las señales del satélite no pueden llegar a la antena. Si el software del receptor no intenta corregir los deslizamientos del ciclo, sería una característica de un deslizamiento del ciclo que todas las observaciones posteriores al deslizamiento del ciclo se desplazarían por el mismo número entero (Leick et al., 2015).

Cuadro 2: Efecto de los saltos de ciclo en las fases portadoras.

Carrier Phase				Double Difference	Triple Difference
$\varphi_k^p(i-2)$	$\varphi_m^p(i-2)$	$\varphi_k^q(i-2)$	$\varphi_m^q(i-2)$	$\varphi_{km}^{pq}(i-2)$	$\Delta\varphi_{km}^{pq}(i-1, i-2)$
$\varphi_k^p(i-1)$	$\varphi_m^p(i-1)$	$\varphi_k^q(i-1)$	$\varphi_m^q(i-1)$	$\varphi_{km}^{pq}(i-1)$	$\Delta\varphi_{km}^{pq}(i, i-1) - \Delta$
$\varphi_k^p(i)$	$\varphi_m^p(i)$	$\varphi_k^q(i) + \Delta$	$\varphi_m^q(i)$	$\varphi_{km}^{pq}(i) - \Delta$	$\Delta\varphi_{km}^{pq}(i+1, i)$
$\varphi_k^p(i+1)$	$\varphi_m^p(i+1)$	$\varphi_k^q(i+1) + \Delta$	$\varphi_m^q(i+1)$	$\varphi_{km}^{pq}(i+1) - \Delta$	$\Delta\varphi_{km}^{pq}(i+2, i+1)$
$\varphi_k^p(i+2)$	$\varphi_m^p(i+2)$	$\varphi_k^q(i+2) + \Delta$	$\varphi_m^q(i+2)$	$\varphi_{km}^{pq}(i+2) - \Delta$	

Fuente: Leick et al., 2015.

La tabla anterior supone que ha ocurrido un salto de ciclo en el receptor k, mientras observa el satélite q, entre las épocas i - 1 e i. El salto de ciclo se denota por Δ , debido a que las diferencias dobles son una función de las observaciones en una época, todas las diferencias dobles que comienzan con la época i se compensan con la cantidad Δ . Solamente una de las diferencias triples se ve afectada por el salto de ciclo, porque las diferencias triples son diferencias a lo largo del tiempo. Por cada salto adicional hay una triple diferencia adicional de valor atípico y un paso adicional en la secuencia de doble diferencia. Un salto de ciclo puede limitarse a un solo ciclo o podrían ser millones de ciclos.

Esta simple relación puede solucionarse si el software del receptor intenta arreglar los saltos internamente. Suponiendo que el receptor corrige exitosamente un salto inmediatamente después la época del acontecimiento, el resultado es un valor atípico (no una función escalonada), para la doble diferencia y dos valores atípicos para las diferencias triples (Leick et al., 2015)

Los saltos de ciclo también son considerados como pérdidas en el seguimiento del satélite, siendo una discontinuidad en el número entero de ciclos de la fase, efecto similar en la ambigüedad, producidos por una mala recepción de la fase portadora, saltos bruscos en la señal recibida, malas condiciones ionosféricas, alto efecto multitrayectoria, así como una baja elevación del satélite (Yeh et al., 2007)

El indicador de calidad referido a saltos de ciclo denominado CSR, es la relación de los saltos de ciclo por cada mil observaciones y se expresa de la siguiente manera:

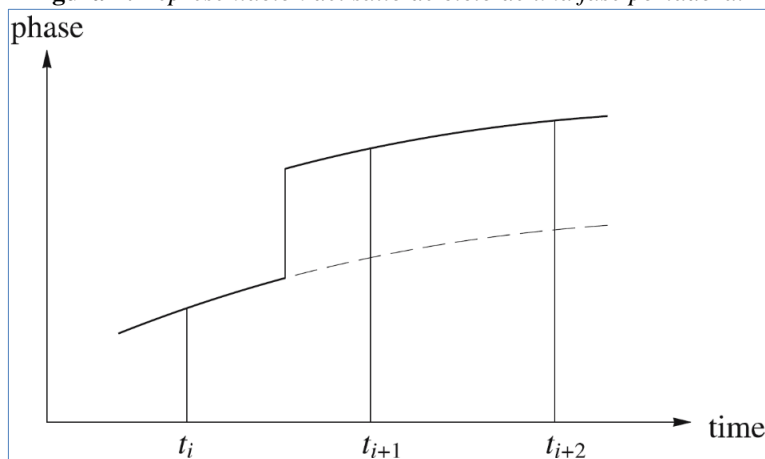
$$CSR = 1000/(o/slps)$$

Donde:

O : Número de observaciones registradas

Slps : Cantidad de saltos de ciclo

Figura 4: Representación del salto de ciclo de una fase portadora.



Fuente: Seeber, 2003.

En cuanto a los valores recomendados podemos encontrar dentro de las Directrices para estaciones IGS (IGS Site Guidelines), sección 2, apartado 2.2:

“(2.2.26) Se espera que la estación tenga un número bajo de saltos de ciclo (< 1 por cada 1000 observaciones)”

En la Guía de Planificación de estaciones permanentes GNSS/GPS de UNAVCO, en el apartado correspondiente a Receptores GNSS/Seguimiento del rendimiento:

“(Medidas de desempeño) Saltos de ciclo/observaciones < 0.1 %”

TEQC considera las observaciones por saltos (o/slps), son el resultado de la combinación de "observaciones completas", que se encuentran por encima de la máscara de elevación > 10°, con relación al número de saltos "slips" (Estey & Wier, 2014).

Figura 5: Valor de o/slps del reporte completo, archivo *.S.

IOD signifying a slip	:	>400.0	cm/minute
IOD slips < 10.0 deg*	:	131	
IOD slips > 10.0 deg	:	468	
IOD or MP slips < 10.0*	:	138	
IOD or MP slips > 10.0	:	501	
* or unknown elevation			
first epoch	last epoch	sn1	sn2
SSN 19 12 1 00:00	19 12 1 23:59	43.99	41.98
first epoch	last epoch	mp12	mp21 mp15 mp51
SMP 19 12 1 00:00	19 12 1 23:59	0.62	0.53 0.56 0.53
first epoch	last epoch	hrs	dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 19 12 1 00:00	19 12 1 23:59	23.72	15 80267 66393 83 0.62 0.53 133

Según (Robles Bravo, 2020; Yeh et al., 2007, 2008), un "slips" significa un deslizamiento de IOD² y/o ambos deslizamientos MP1 y MP2 ocurridos durante una época que tenía una observación completa para un SV³.

Porcentaje de observaciones registradas/esperadas (R)

Este indicador hace referencia a la cantidad de datos obtenidos respecto de los posibles, expresado en porcentaje. Es considerado como medida de confianza, siendo un concepto fundamental en la navegación y característica en el análisis de calidad (Andrade et al., 2020).

La relación de los datos observados es:

$$R = \left(\frac{N_1}{N_2} \right) * 100$$

Donde:

N₁: Número de observaciones recibidas

N₀: Número de observaciones posibles

Para algunos autores es indicador es conocido como Integridad (INT o R), que hace referencia al cálculo teórico considerando las observaciones completas, y el valor recomendado que es igual a > 95% (Romero-Andrade et al., 2021).

El porcentaje de observaciones registradas respecto a las pronosticadas (integridad), debe estar por encima del 90%, si fuese menor es necesario analizar sistemáticamente los factores externos en el medio ambiente, así como las condiciones del receptor, siendo un indicador la SNR, entre más grande sea la SNR, mejor será la calidad de la señal observada (Hernandez, 2021).

El número diario de observaciones GNSS es relevante, ya que una mayor cantidad de datos permite una mejor corrección de errores. Este índice depende del número de épocas y del número de satélites observados en cada una. Las variaciones temporales afectan la cantidad de observaciones disponibles. Disminuciones significativas pueden indicar problemas ambientales o técnicos en el receptor, como baja relación señal/ruido o pérdida de código. (Herrada et al., 2010b; Yeh et al., 2008).

² IOD: Emisión de datos, por sus siglas en inglés (Issue of Data). (Yeh et al., 2008. Identifying the degraded environment and bad receivers setting by using the GPS data quality indices, Colorado USA, 2018).

³ SV: Vehículos espacial, haciendo referencia a los satélites, por sus siglas en inglés (Space Vehicles). (Robles Bravo, 2020. Interoperabilidad GNSS usando la red geodésica activa, Puebla México).

Dentro de las Directrices para estaciones IGS (IGS Site Guidelines), los valores recomendados se muestran en la sección 2, apartado 2.2:

“(2.2.24) Se espera que la estación tenga muy buen seguimiento (número de observaciones > 95% de lo esperado)”

En la Guía de Planificación de estaciones permanentes GNSS/GPS de UNAVCO, en el apartado referido a Receptores GNSS, subtítulo Seguimiento del rendimiento refiere:

“(Medidas de desempeño) 99% + de las observaciones esperadas”

TEQC para realizar el control de calidad del porcentaje de observaciones registradas/esperadas (R), genera ya sea en pantalla o en el archivo *.S, un resumen que se encuentra en la línea SUM, donde se tiene los siguientes registros:

- Las horas de inicio (first epoch), y finalización (last epoch), de la observación (el formato: año mes día, seguido de horas y minutos)
- La longitud de la observación de tiempo expresado en horas (hrs)
- El intervalo de observación en segundos (dt)
- El número de posibles observaciones (pronosticadas), la cual en el reporte para un control de calidad completo (qc-full) se muestra como (#expt), y considera por encima de la máscara de elevación
- El número de observaciones recibidas (#have)
- La relación entre observaciones completas y posibles como un porcentaje (%)

Figura 6: Cálculo de observaciones mostradas en reporte completo, archivo *.S.

```
Possible obs > 0.0 deg: 99918
Possible obs > 10.0 deg: 80267
Complete obs > 10.0 deg: 66393
Deleted obs > 10.0 deg: 3236
Masked obs < 10.0 deg: 9479
% epochs no convergence : 8.433
Obs w/ SV duplication : 0 (within non-repeated epochs)
Moving average MP12 : 0.617103 m
Moving average MP21 : 0.530973 m
Moving average MP15 : 0.564708 m
Moving average MP51 : 0.531824 m
Points in MP moving avg : 50
Mean S1 : 43.99 (sd=4.73 n=69629)
Mean S2 : 41.98 (sd=6.60 n=66362)
No. of Rx clock offsets : 0
Total Rx clock drift : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift : 0.000 ms/hr
Avg time between resets : Inf minute(s)
Freq no. and timecode : 3 14574 fffffff
Report gap > than : 10.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
```

3. Resultados

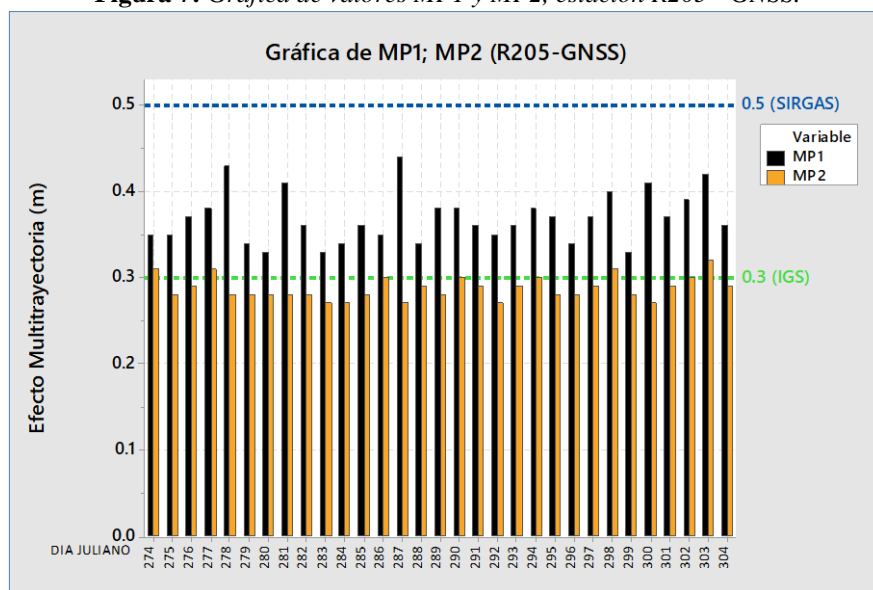
Para un análisis profundo de los resultados de calidad de datos en la estación R205, se evaluaron las seis variables: MP1 y MP2 (multitrayectoria), SNR1 y SNR2 (relación señal-ruido), CSR (saltos de ciclo) y R (porcentaje de observaciones), considerando dos enfoques:

- Considerando las seis variables para observaciones combinadas de NAVSTAR GPS y GLONASS.
- Considerando las seis variables exclusivamente para observaciones NAVSTAR GPS.

3.1 Valores de efecto multitrayectoria (MP1 Y MP2)

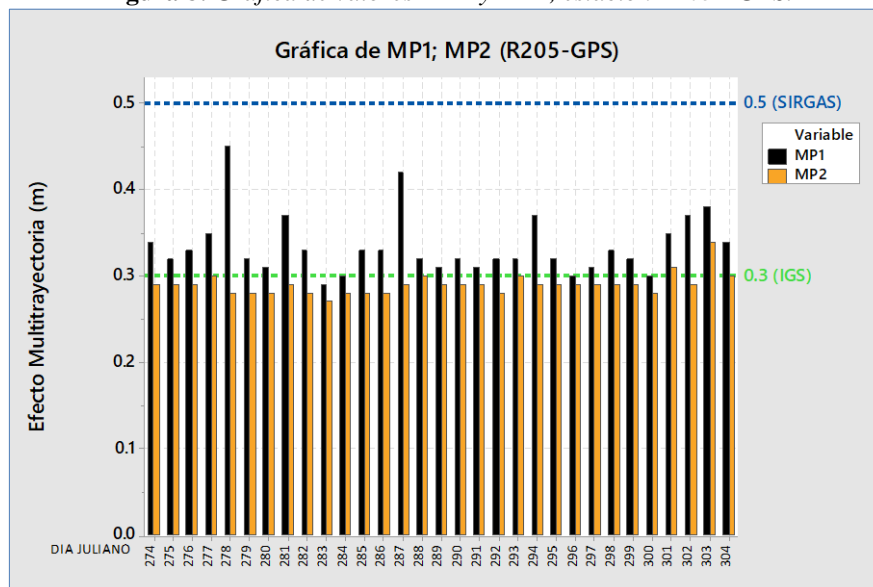
En el análisis de los valores obtenidos para los efectos multitrayectoria (MP1 y MP2), se realizó una estadística descriptiva representada gráficamente de los valores obtenidos por día, mediante el programa Minitab, comparándolos con los valores recomendados: por las Directrices para estaciones IGS, que establecen que las estaciones tengan valores multitrayectoria bajos (< 0.3 m), y la Guía para la instalación de estaciones SIRGAS-CON que establece (< 0.5 m con máscara de elevación $> 10^\circ$).

Figura 7: Gráfica de valores MP1 y MP2, estación R205 - GNSS.



Se muestran los valores recomendados por el IGS < 0.3 m, y SIRGAS < 0.5 m

Figura 8: Gráfica de valores MP1 y MP2, estación R205 - GPS.

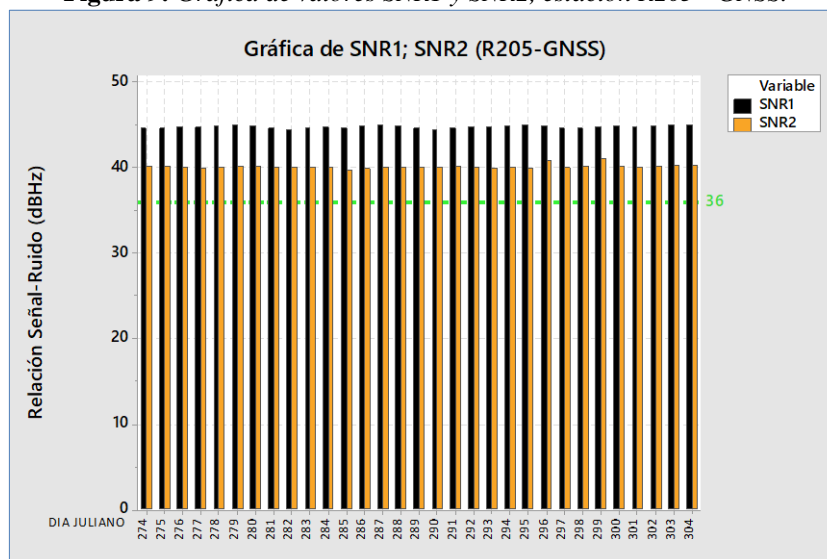


Se muestran los valores recomendados por el IGS < 0.3 m, y SIRGAS < 0.5 m

3.2 Valores de la relación señal-ruido (SNR1 Y SNR2)

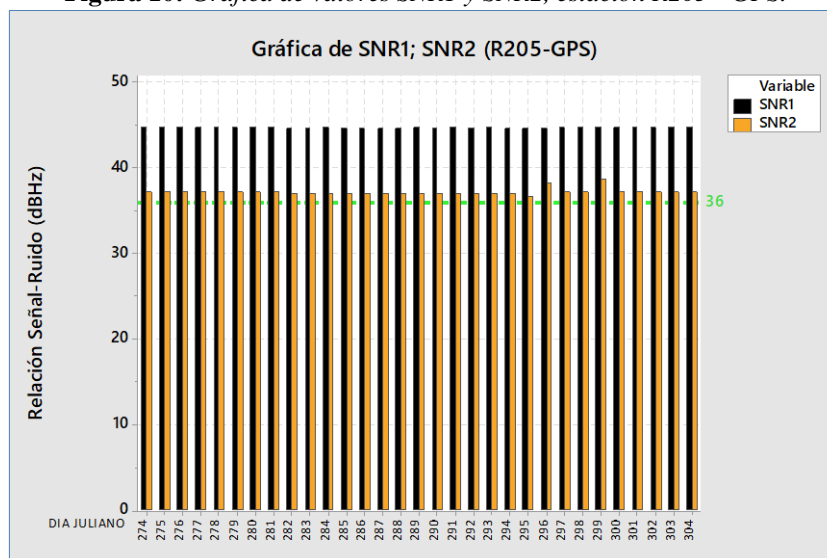
Para el análisis de los valores de relación señal-ruido (SNR1 y SNR2), los mismos que representan la capacidad de recepción de la señal de los receptores, se consideró el límite entre el rango de intensidad de señal débil y señal fuerte, que, según la bibliografía consultada y tal como lo establecen (Gurtner & Estey, 2007), el valor límite corresponde a los 36 dBHz, por tanto, las señales fuertes y deseadas serán ≥ 36 dBHz.

Figura 9: Gráfica de valores SNR1 y SNR2, estación R205 - GNSS.



Se muestra el valor límite entre señal fuerte ≥ 36 dBHz y señal débil < 36 dBHz

Figura 10: Gráfica de valores SNR1 y SNR2, estación R205 - GPS.

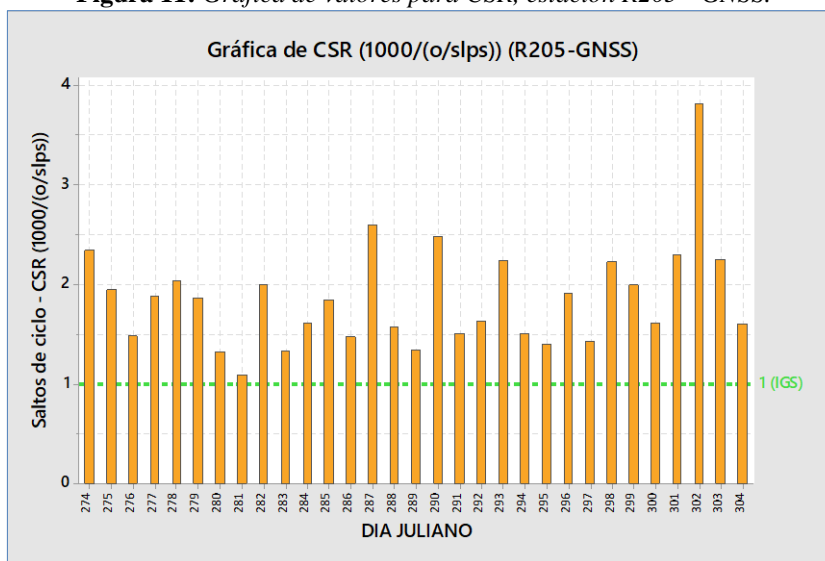


Se muestra el valor límite entre señal fuerte ≥ 36 dBHz y señal débil < 36 dBHz

3.3 Valores de saltos de ciclo (CSR)

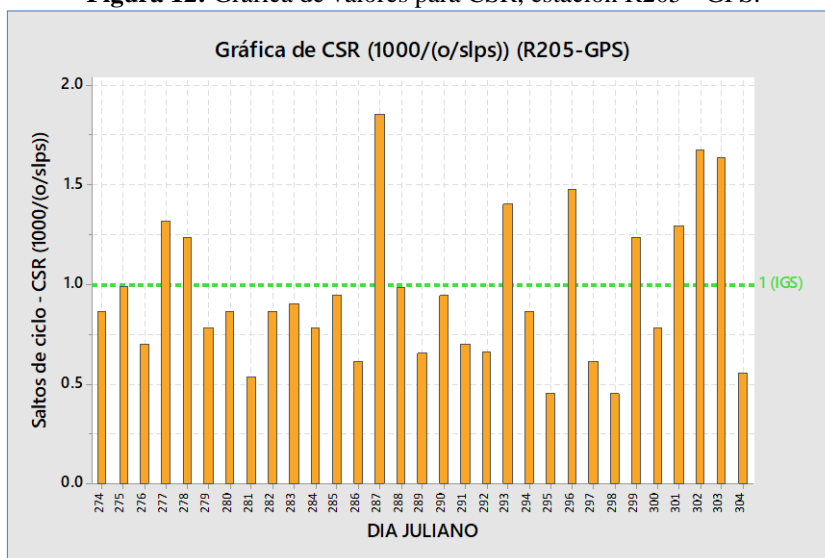
Los valores de saltos de ciclo (CSR), que representan la relación de los saltos de ciclo por cada mil observaciones, fueron analizados con los valores establecidos en: las Directrices para estaciones IGS, en su sección 2 Directrices, que establece que las estaciones deben tener un número bajo de saltos de ciclo (< 1 por cada 1000 observaciones), así también se consideró la Guía para la instalación de estaciones SIRGAS-CON, la cual establece como medidas de desempeño (saltos de ciclo/observaciones $< 0.1\%$).

Figura 11: Gráfica de valores para CSR, estación R205 - GNSS.



Se muestra el valor límite recomendado para valores de saltos de ciclo por cada mil observaciones, < 1

Figura 12: Gráfica de valores para CSR, estación R205 - GPS.

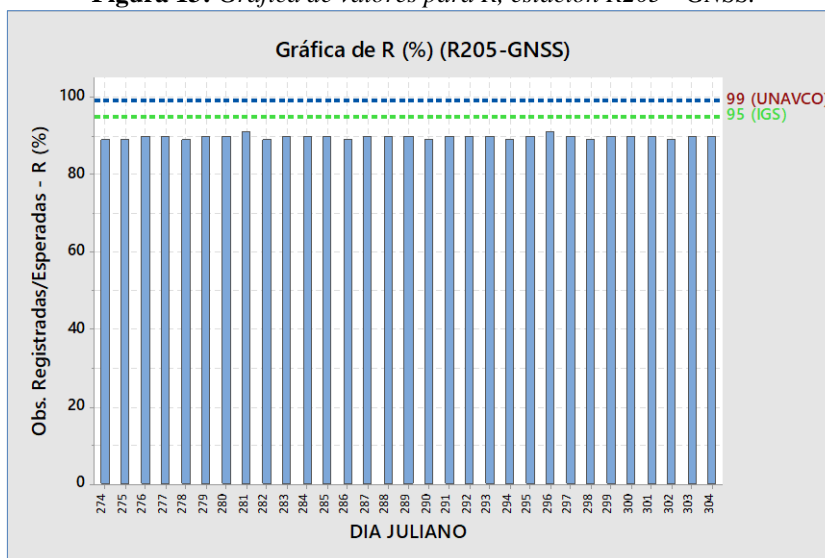


Se muestra el valor límite recomendado para valores de saltos de ciclo por cada mil observaciones, < 1

3.4 Valores de porcentaje de observaciones registradas/esperadas (R)

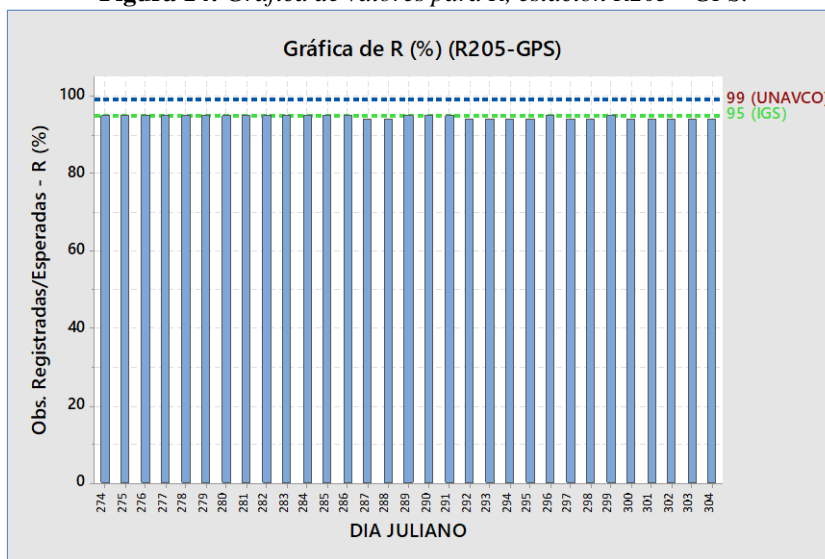
El valor (R), expresado en porcentaje, representa un indicador de referencia de la cantidad de observaciones registradas en relación a las observaciones esperadas, en tal sentido, para su análisis se procedió a compararlos con los valores establecidos por: las Directrices para estaciones IGS, que establece que el número de observaciones debe ser > 95% de lo esperado, y también las consideraciones establecidas en la Guía de Planificación de estaciones permanentes GNSS/GPS de UNAVCO, la cual establece un 99% + de las observaciones esperadas.

Figura 13: Gráfica de valores para R, estación R205 - GNSS.



Se muestran los valores recomendados por el IGS > 95%, y UNAVCO 99% +

Figura 14: Gráfica de valores para R, estación R205 - GPS.



Se muestran los valores recomendados por el IGS > 95%, y UNAVCO 99% +

3.5 Resumen de cumplimiento de indicadores de calidad

Para una mejor comprensión de la performance de la estación R205, sobre las cuales se realizó el análisis de calidad de datos, considerando las 6 variables, además de considerar para los resultados, el uso de observaciones GNSS (NAVSTAR GPS y GLONASS) por un lado y por otro, el uso únicamente de observaciones NAVSTAR GPS, se presenta el cuadro resumen de cumplimiento de indicadores.

Cuadro 3: Resumen de cumplimiento de indicadores de calidad estación R205.

	INDICADORES	VALORES RECOMENDADOS		R205
		IGS	SIRGAS (S) – UNAVCO (U)	
CONSIDERANDO OBSERVACIONES GNSS	MP1 (m)	< 0.3 m	<0.5 m (S)	0.369
	MP2 (m)	< 0.3 m	<0.5 m (S)	0.287
	SNR1 (dBHz)	≥ 36 dBHz (Gurtner & Estey)		44.78
	SNR2 (dBHz)	≥ 36 dBHz (Gurtner & Estey)		40.12
	CSR (1000/(o/slps))	< 1	< 0.1% (S)	1.86
	R (%)	> 95%	99% + (U)	89.77
CONSIDERANDO OBSERVACIONES NAVSTAR GPS	MP1 (m)	< 0.3 m	<0.5 m (S)	0.335
	MP2 (m)	< 0.3 m	<0.5 m (S)	0.290
	SNR1 (dBHz)	≥ 36 dBHz (Gurtner & Estey)		44.70
	SNR2 (dBHz)	≥ 36 dBHz (Gurtner & Estey)		37.20
	CSR (1000/(o/slps))	< 1	< 0.1% (S)	0.96
	R (%)	> 95%	99% + (U)	94.58
REFERENCIA	CUMPLE			
	NO CUMPLE			

4. Discusión

A partir del análisis de los resultados, se evidencia que los valores del efecto de multitrayectoria (MP1 y MP2) obtenidos a partir de observaciones GNSS completas (multiconstelación) superan significativamente a los derivados únicamente de observaciones GPS. No obstante, en el caso específico de la estación R205, los datos provenientes exclusivamente del sistema GPS permitirían alcanzar los niveles de calidad exigidos por los estándares internacionales, siempre que se considere el promedio mensual de las observaciones registradas.

Este hecho puede explicarse, en razón que las observaciones GNSS multiconstelación presentan mayor efecto de multitrayectoria que las GPS, incluso en un mismo punto, debido a diferencias en el diseño de las señales, geometría satelital y comportamiento de las frecuencias. Constelaciones como

GLONASS o BeiDou pueden generar mayores reflexiones por el tipo de señal o por encontrarse en ángulos bajos. Además, algunos receptores priorizan el filtrado y procesamiento de señales GPS, ofreciendo mejores resultados. El entorno físico afecta de manera distinta según la longitud de onda y elevación de los satélites. Todo esto influye en la calidad final de los datos recolectados.

También puede influir la forma en que el software procesa y filtra los datos GNSS, aplicando distintos umbrales de calidad. Aunque en teoría más satélites deben mejorar la precisión, usar señales de baja calidad puede aumentar el ruido. La optimización del uso de constelaciones requiere un manejo avanzado del receptor y del procesamiento. Por tanto, las observaciones GPS pueden aparentar mayor limpieza al ser mejor gestionadas por hardware y software, en tal sentido comprender estas diferencias es clave para evaluar adecuadamente la calidad geodésica de una estación.

En cuanto con los valores de la relación señal-ruido (SNR) en las frecuencias L1 (SNR1) y L2 (SNR2), los resultados indican que tanto las observaciones provenientes exclusivamente del sistema GPS como aquellas correspondientes a señales GNSS multiconstelación superan los umbrales mínimos recomendados por organismos internacionales, establecidos en mayor a 36 dBHz. No obstante, se observa una diferencia relevante en la frecuencia L2, donde las observaciones GNSS alcanzan promedios cercanos a los 40 dBHz, mientras que las correspondientes únicamente al sistema GPS se sitúan alrededor de los 37 dBHz.

Este comportamiento refleja que las señales GNSS multiconstelación presentan una mayor potencia y estabilidad en la recepción, particularmente en frecuencias tradicionalmente más susceptibles a interferencias y atenuación, como la L2. La incorporación de múltiples constelaciones permite no solo una mayor redundancia en la cantidad de satélites visibles, sino también una mejora en la geometría y en la dispersión angular de las señales, lo cual contribuye a mejorar la calidad del enlace satélite-receptor. En consecuencia, el uso de receptores multiconstelación no solo representa una ventaja operativa en términos de disponibilidad y continuidad de datos, sino que también constituye una mejora cualitativa en las condiciones de recepción, validando la pertinencia de su adopción en estaciones CORS que buscan cumplir con estándares internacionales de calidad.

Para los valores de saltos de ciclo (CSR), se evidencia un comportamiento diferenciador entre las observaciones GNSS multiconstelación y aquellas correspondientes exclusivamente al sistema GPS. Las observaciones GNSS presentan frecuencias de saltos que superan el umbral recomendado internacionalmente, el cual establece que no debe registrarse más de un salto de ciclo por cada 1000 observaciones ($<1/1000$). Por el contrario, las observaciones GPS se mantienen, en su mayoría, por debajo de dicho umbral, cumpliendo satisfactoriamente con este parámetro de calidad.

Este fenómeno puede explicarse por varios factores inherentes a la recepción multiconstelación, como la integración de señales provenientes de satélites con diferentes diseños, niveles de potencia, arquitecturas orbitales y algoritmos de corrección. Estas diferencias pueden generar incompatibilidades temporales o fluctuaciones en la sincronización, lo que incrementa la susceptibilidad a saltos de ciclo, especialmente en condiciones de interferencia electromagnética, obstrucciones físicas parciales o condiciones atmosféricas desfavorables. No obstante, este comportamiento no necesariamente implica una degradación sistemática, sino que subraya la necesidad de contar con algoritmos más robustos de detección y reparación de ciclos, así como con

configuraciones optimizadas del receptor para entornos multiconstelación. En resumen, aunque el sistema GPS muestra mayor estabilidad en este indicador, la evolución hacia tecnologías multiconstelación exige una mayor precisión en la calibración y procesamiento para asegurar el cumplimiento con estándares internacionales de calidad GNSS.

Finalmente, en lo referido al porcentaje de observaciones registradas respecto a las esperadas (R), se constata que las observaciones GNSS multiconstelación se sitúan significativamente por debajo del umbral del 95% establecido por el IGS como estándar de calidad. En contraste, las observaciones correspondientes exclusivamente al sistema GPS alcanzan y, en varios casos, superan este valor de referencia, evidenciando un rendimiento más consistente y confiable.

Esta discrepancia puede estar asociada a la correlación directa entre la tasa de observaciones exitosamente registradas y la presencia de errores como los saltos de ciclo. En la estación analizada, se observó una mayor ocurrencia de cycle slips en las señales GNSS multiconstelación, lo cual podría incidir negativamente en la continuidad y eficiencia del registro de datos. Además, factores como la geometría satelital variable entre constelaciones, la diferencia en niveles de potencia de señal, y posibles limitaciones en la configuración del receptor para gestionar múltiples constelaciones simultáneamente, contribuyen a esta disminución en la tasa de observaciones válidas.

5. Conclusiones

Se aplicaron los parámetros y recomendaciones establecidos en la Guía para la instalación de estaciones SIRGAS-CON, las Directrices para estaciones de referencia de operación continua NGS-NOAA (2021), la Guía de planificación de estaciones GNSS permanentes de UNAVCO y las Directrices del Servicio Internacional GNSS (IGS). A partir de estas referencias, se realizó el control de calidad de datos GNSS mediante el software TEQC, evaluando cuatro indicadores clave: efecto multitrayectoria, relación señal-ruido, saltos de ciclo por cada mil observaciones y porcentaje de observaciones registradas respecto a las esperadas, desglosados en seis variables técnicas (MP1, MP2, SNR1, SNR2, CSR y R).

Los resultados obtenidos muestran que las observaciones exclusivamente GPS presentan un mayor cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos, en comparación con las observaciones GNSS multiconstelación. En particular, se destacan mejores resultados en las variables CSR y R, como evidencia el cuadro resumen de cumplimiento. En la estación R205, las observaciones GPS cumplen con los seis indicadores evaluados, mientras que las observaciones GNSS (GPS + GLONASS) solo cumplen cuatro, lo que sugiere que los sistemas multiconstelación aún enfrentan limitaciones técnicas que afectan la calidad final de los datos.

Este comportamiento se puede explicar por diversos factores, tales como la integración de señales con distinta geometría satelital, diseño y potencia, además de la forma en que el hardware y el software procesan las señales.

Por otro lado, el receptor Hi-Target VNet8T-G y la antena GNSS Choke Ring AT-45101CP (esta última incluida en la lista oficial del IGS) utilizadas en la estación R205, muestran buen desempeño general,

pero su rendimiento se ve condicionado por el entorno físico de la estación, así como por posibles variaciones derivadas de actualizaciones o cambios de configuración en el equipo.

Adicionalmente, se resalta que el entorno físico de la estación tiene un impacto directo en el cumplimiento de los parámetros de calidad GNSS. Por otra parte, para garantizar la confiabilidad de los resultados en estudios geodinámicos, es fundamental considerar series temporales de observación continua no menores a 2.5 años, tal como lo plantean Blewitt y Favallée respecto al efecto de señales estacionales sobre la velocidad geodésica. Esto permite una evaluación más robusta del comportamiento de la estación CORS a largo plazo.

Finalmente, podemos concluir que los resultados evidencian la necesidad de desarrollar normas técnicas y guías específicas a nivel nacional para el diseño, instalación y sobretodo realizar la evaluación de la calidad de datos GNSS de estaciones CORS en Bolivia. Estas normas permitirían no solo asegurar la calidad de los datos recolectados, sino también estandarizar los criterios de implementación y monitoreo continuo de estas infraestructuras fundamentales para la geodesia moderna.

Referencias

Ayala, A. R., & Hasbun, M. B. (2012). *Aplicaciones y uso de la Tecnología de GPS Diferencial de Doble Frecuencia con precisión centimétrica en el área de Levantamiento y Replanteo Topográfico Georeferenciado*. Universidad de El Salvador.

Berné, J. L., Anquela, A. B., & Garrido, N. (2014). *GNSS. GPS: Fundamentos y aplicaciones en Geomática* (Primera edición, 2014 (versión electrónica)). Universitat Politècnica de València. <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3228085>

Briceño, A., Rubí, L. M. I., Cioce, V., Royero, G., Bacaicoa, L., & Wildermann, E. (2009). *GPS NTRIP observations: A new alternative for precise positioning in Venezuela*. 32(3), 10.

Brown, N., Kealy, A., Millner, J., & Ramm, P. (2002). *Quality Control and Integrity Monitoring of the Victorian GPS Reference Station Network*. 13.

Cisneros, D. (2014, noviembre). *Avances en la Actualización del Sistema de Referencia SIRGAS-ECUADOR*. SIMPOSIO SIRGAS 2014, La Paz Bolivia.

Estey, L., & Wier, S. (2014). *Teqc Tutorial—Basics of Teqc Use and Teqc Products*. UNAVCO Inc.

García, D. (2008). *Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)*. Universidad Autónoma de Madrid.

Gurtner, W., & Estey, L. (2007). RINEX The Receiver Independent Exchange Format. *UNAVCO*, 40.

Herrada, A., Miranda, S., Fuentes, C., Lobato, O. T., Pintos, H., & Smalley, R. (2010a). *Monitoreo de la calidad de datos GPS continuo: La Estación UNSJ (San Juan, Argentina)*. 8.

IGS. (2021). *Internacional GNSS Service*. <https://igs.org/about/>

Instituto Geográfico Nacional, E. (2021). *Gestión Global de la Información Geoespacial (UN-GGIM)*. Geoportal oficial del Instituto Geográfico Nacional de España. <http://www.ign.es>

Internacional GNSS Service. (2015). *IGS Site Guidelines*. IGS. <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202011433-Current-IGS-Site-Guidelines>

Leick, A., Rapoport, L., & Tatarnikov, D. (2015). *GPS satellite surveying* (Fourth edition). Wiley.

NGS NOAA, G. (2018). *Guidelines for New and Existing Continuously Operating Reference Stations (CORS)*. 21.

Romero-Andrade, R., Trejo-Soto, M. E., Vega-Ayala, A., Hernández-Andrade, D., Vázquez-Ontiveros, J. R., & Sharma, G. (2021). Positioning Evaluation of Single and Dual-Frequency Low-Cost GNSS Receivers Signals Using PPP and Static Relative Methods in Urban Areas. *Applied Sciences*, 11(22), 10642. <https://doi.org/10.3390/app112210642>

Sánchez, C. J. M. (2016). *MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO DEL RETARDO IONOSFÉRICO Y TROPOSFÉRICO Y SU INFLUENCIA EN PROCESAMIENTO GPS DE ALTA PRECISIÓN* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

[https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4139/Mar%
c3%adnS%c3%a1nchezCindyJuliette2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4139/Mar%c3%adnS%c3%a1nchezCindyJuliette2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Seeber, G. (2003). *Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications* (2nd ed.). Walter de Gruyter.

SIRGAS. (2017). *Guía para la instalación de estaciones SIRGAS-CON*.
https://sirgas.ipgh.org/docs/Guias/2017_03_Guia_para_la_instalacion_de_estaciones_SIRGAS-CON_V1_4.pdf

Souza, E. M. de [UNESP. (2004). Efeito de multicaminho de alta frequência no posicionamento relativo GPS estático: Detecção e atenuação utilizando wavelets. *Aleph*, 140 f. : il.

UNAVCO. (2020). *Planificación de estaciones permanentes GNSS / GPS: tecnología, equipos, costos*. UNAVCO Inc.
<https://kb.unavco.org/kb/article.php?id=55>

Yedukondalu, K., Sarma, A. D., & Srinivas, V. S. (2011). ESTIMATION AND MITIGATION OF GPS MULTIPATH INTERFERENCE USING ADAPTIVE FILTERING. *Progress In Electromagnetics Research M*, 21, 133-148.
<https://doi.org/10.2528/PIERM11080811>

Yeh, T. K., Liou, Y. A., Wang, C. S., & Chen, C. S. (2008). Identifying the degraded environment and bad receivers setting by using the GPS data quality indices. *Metrologia*, 45(5), 562-570. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/45/5/010>

Yeh, T. K., Wang, C. S., Chao, B. F., Chen, C. S., & Lee, C. W. (2007). Automatic data-quality monitoring for continuous GPS tracking stations in Taiwan. *Metrologia*, 44(5), 393-401. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/44/5/016>

Zhu, N., Marais, J., Betaille, D., & Berbineau, M. (2018). GNSS Position Integrity in Urban Environments: A Review of Literature. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(9), 2762-2778.
<https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2766768>