



---

**SERVICIOS DE PROCESAMIENTO DE OBSERVACIONES GNSS EN LÍNEA, UNA ALTERNATIVA PARA EL POSICIONAMIENTO PUNTUAL PRECISO.  
ON-LINE GNSS OBSERVATION PROCESSING SERVICES, AN ALTERNATIVE FOR ACCURATE SPOT POSITIONING.**

Ing. Emilio Aguilar Leyva.

Empresa Geocuba Oriente Norte. Cuba. eleyva0816@gmail.com.

**RESUMEN:** El presente artículo aborda el uso de servicios de procesamiento de observaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) en línea basados en técnicas de PPP (Posicionamiento Puntual Preciso). En este caso enfocándose en el empleo del servicio CenterPoint RTX, perteneciente a la firma norteamericana Trimble. Se muestran una serie de pruebas a las que fue sometido empleando observaciones pertenecientes a la estación GNSS de rastreo continuo HOLG, colectadas durante el mes de abril del año 2018, con el fin de realizar un análisis de las características de este servicio en cuanto a precisión y exactitud se refiere. Así como se brindará una panorámica de las ventajas y desventajas de su uso. Concluyendo con un criterio positivo sobre su empleo, lo cual sirve de partida para posteriores aplicaciones en disímiles campos tanto de la geomática como de la ingeniería.

**Palabras claves:** CenterPoint RTX; Exactitud; GNSS; PPP; Precisión.

**ABSTRACT:** The present work (Global Navigation's System for Satellite) the on-line GNSS discusses the theme of the use of services of processing of observations, based in PPP (Punctual Precise Positioning). In this case focusing on the job of the service CenterPoint RTX, pertinacities to the North American signature Trimble. GNSS show a series of proofs it was to submitted using observations themselves pertinacities to the month of April 2018 of the station GNSS of continuous trawling HOLG, with the aim of accomplishing an analysis of the characteristics of this service as to precision and exactness it is referred, as well as one panoramic of the advantages and disadvantages of his use. One comes to an end with a positive opinion on his job, which serves as departure for later applications at dissimilar fields so much of the geomantic seemingly as of engineering.

**Keywords:** CenterPoint RTX; Exactness; GNSS; PPP; Precision.

## **INTRODUCCIÓN**

Las tecnologías GNSS en su incesante desarrollo apuesta cada vez más por el mejoramiento de sus servicios, enfocado estos a una amplia gama de usuarios civiles necesitados de herramientas para dar solución a tareas relacionadas con el posicionamiento preciso, sin contar estos con formación previa referente a técnicas geoespaciales.

Esto hace que aparezcan soluciones informáticas cada vez más accesibles para casi cualquier tipo de usuarios que necesite resolver tareas de posicionamiento tanto relativo como absoluto, sin dejar atrás los estándares de precisión establecidos para disímiles tareas.

Hoy en día los datos de las órbitas y relojes de los satélites, se consiguen fácilmente en cuasi tiempo real, a partir del Servicio Internacional GNSS (IGS). Colocando estos a disposición del usuario común, mediante un conjunto de servicios generalmente en línea a través de Internet. Por lo que, técnicas de procesamiento como el PPP ofrecen una alternativa económica para dar solución a tareas de posicionamiento sobre la superficie terrestre.

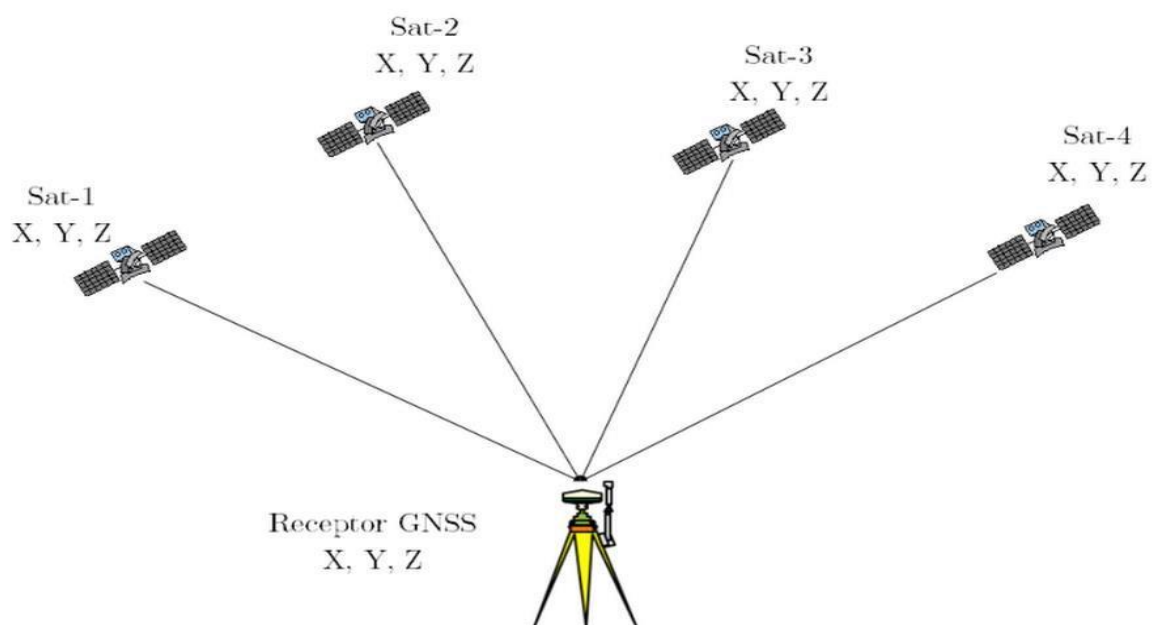
El presente artículo realiza un acercamiento al uso de servicios de procesamiento de observaciones GNSS en línea basados en PPP. Enfocándose en el empleo del servicio CenterPoint RTX de la firma norteamericana Trimble. Se muestra una panorámica de sus características y forma de uso. Así como se exponen los resultados de un conjunto de pruebas a los que fue sometido para evaluar elementos tales como precisión y exactitud ofrecida. De esta manera se presenta una alternativa para la resolución de tareas de posicionamiento sobre la superficie terrestre, que permite al usuario obtener resultados sin la necesidad de contar con conocimientos avanzados sobre el procesamiento o manejo de observaciones GNSS.

### **METODOLOGÍA Posicionamiento Puntual Preciso (PPP)**

Se puede definir el PPP como la técnica de posicionamiento GNSS, que utiliza los modelos matemáticos obtenidos de las combinaciones entre mediciones de código y fase de observaciones GNSS, dirigidas a obtener una solución libre de efecto ionosférico.

Estas observaciones se realizan a partir de un solo receptor (Fig. 1), por lo que no es necesario utilizar un segundo receptor para determinar las coordenadas de un punto. Es decir, no se realizan correcciones diferenciales. En su lugar se usan los datos de las órbitas y modelos de estado del reloj de los satélites. Adicionalmente se incluyen las correcciones de antena y modelos ionosféricos. (Orduña-Díaz, 2019)

Figura 1. Principio del Posicionamiento Puntual Preciso.



El hecho de que el PPP no requiera observaciones simultáneas para la resolución de ambigüedades de fase, lo convierte en una alternativa económica respecto a su homólogo diferencial. Al aportar un mayor aprovechamiento de las capacidades productivas en cuanto a receptores GNSS se refiere y personal humano para la realización de estas tareas.

### **Servicios de PPP en Línea.**

La disponibilidad de órbitas y relojes precisos GNSS de diversas fuentes ofrecen la oportunidad de desarrollar e implementar servicios de posicionamiento y navegación basados en PPP. Los servicios pos-proceso de PPP para el posicionamiento tanto estático como cinemático están demostrando ser particularmente ventajosos y eficientes tanto para la densificación de marcos de referencia, como para el control topo geodésico en áreas donde no existan redes o éstas disten considerablemente de la zona de trabajo. (Pestarini, 2016)

Esto ha llevado a que sean acogidos por gran cantidad de usuarios como una forma eficaz de complementar y reducir la costosa infraestructura de las redes de monumentos geodésicos tradicionalmente utilizados para proporcionar acceso a los marcos de referencia.

Es por esta razón que distintas instituciones tanto públicas como privadas, brindan servicios de PPP en post-proceso basados en Internet para cumplir esa función. De la misma manera, se ha generado que en los últimos años surjan servicios de posicionamiento y navegación basados en PPP en tiempo real (PPP-RT), los cuales suelen ser más costosos de operar y tienden a ofrecerse comercialmente a mercados especializados como la agricultura, la exploración y explotación de recursos naturales marinos y terrestres. Aunque cabe destacar que los servicios PPP en postprocesados, suelen ser más precisos que los servicios PPP-RT. (Orduña-Díaz, 2019)

Entre los servicios de PPP en línea disponibles en la actualidad, que permiten su uso de manera gratuita se destacan:

- Automatic Precise Positioning Service (APPS): Gestionado por el Jet Propulsion Laboratory (JPL) con sede en el Instituto de Tecnología de California. Utiliza como motor de cálculo el software GIPSY 6.4. Procesa datos de doble frecuencia únicamente de la constelación GPS. Emplea productos de órbita y reloj GPS, Final, Rapid y Ultra R/T producidas por JPL.
- Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning (CSRS-PPP): Operado por la Canadian Geodetic Survey Division, Natural Resources Canada (NRCan) desde el año 2003. Procesa datos de simple o doble frecuencia de GPS y/o GLONASS. Utiliza las mejores efemérides disponibles para el procesamiento (finales, rápidas o ultrarrápidas, IGS o NRCan, dependiendo de la antigüedad de los datos enviados). Se pueden procesar datos aproximadamente 90 minutos después de su levantamiento.
- GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS): Operado por el Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick (UNB), desde 2007. Procesa datos de doble frecuencia de GPS, Galileo y BeiDou. Emplea una amplia variedad de productos de órbita y reloj, según disponibilidad.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE-PPP): Operado por el Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística (IBGE). Hace uso de la aplicación CSRS-PPP de la NRCan. Procesa datos de simple o doble frecuencia de GPS y/o GLONASS, posteriores al 25 de febrero de 2005, cuando Brasil adoptó SIRGAS2000 como marco oficial.
- magicGNSS: Operado por la compañía española GMV. Procesa datos de doble frecuencia de GPS (desde 2009) y GLONASS/Galileo (desde 2014). También procesa BeiDou y QZSS.

### **Trimble CenterPoint RTX Post-Processing**

CenterPoint RTX consiste en un servicio en línea desarrollado por la compañía Norteamérica Trimble, basado en su tecnología RTX (Real Time eXtended), el cual permite cargar observación GNSS (no mayores a 24 horas) en su ambiente de trabajo (Fig. 2) y recibir a vuelta de correo electrónico el resultado de las soluciones de coordenadas de dichas observaciones.

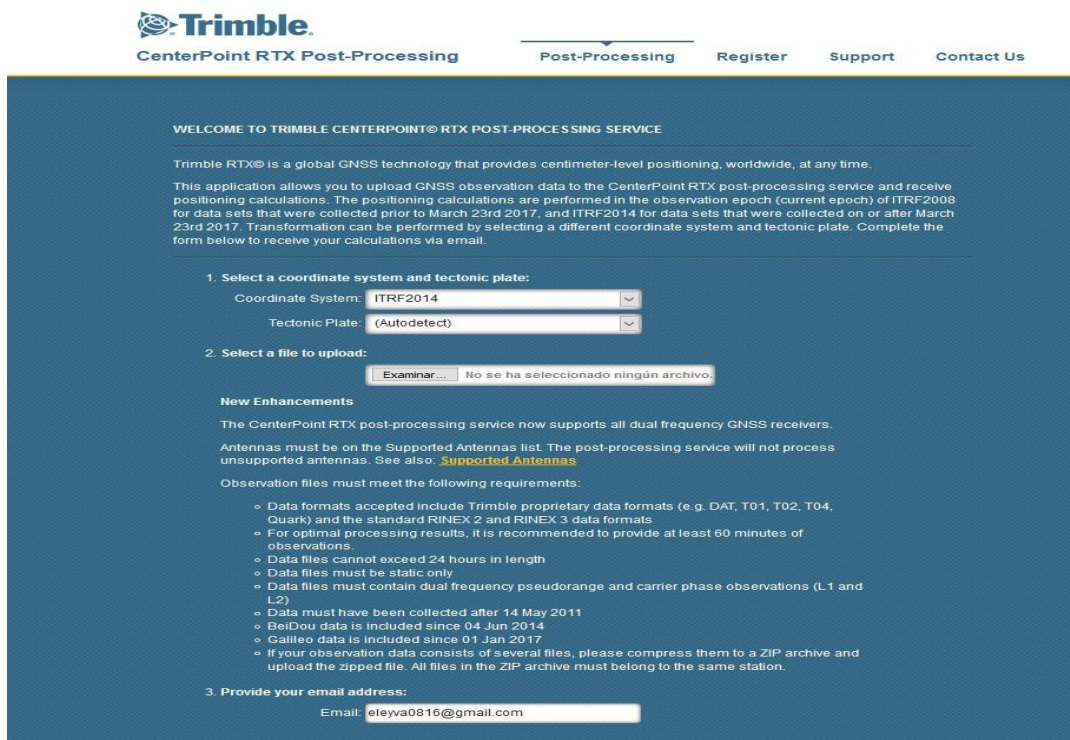


Figura 2. Ambiente Web de CenterPoint RTX.

Es compatible con todos los formatos de trabajo de los receptores de la firma Trimble, así como con formatos estandarizados (RINEX v2 y v3).

Para su empleo es necesario el registro de forma gratuita en su web oficial, lo que permite el uso de este servicio de forma ilimitada por un periodo de un año, luego de transcurrido este intervalo de tiempo, es necesario volverse a registrar.

Los cálculos de posicionamiento se realizan en la época de observación (época actual) del ITRF (International Terrestrial Reference Frame) 2008, para datos recopilados antes del 23 de marzo de 2017, e ITRF2014 para observaciones recopiladas a partir del 23 de marzo de 2017 (Fig. 3). Además de esto es posible realizar transformaciones entre diferentes sistemas de referencia, de forma manual o automática, así como la selección de placa tectónica de manera similar.

Figura 3. Ejemplo de resultados del Procesamiento con CenterPoint RTX.

### Evaluación de las Características del servicio de PPP en línea CenterPoint RTX.

#### Processing Results

ITRF2014 at Epoch 2010.0		
Coordinate	Value	$\sigma$
X	1418700.264 m	0.005 m
Y	-5790677.075 m	0.006 m
Z	2259031.772 m	0.003 m
Latitude	20° 52' 47.98258" N	0.002 m
Longitude	76° 14' 1.84238" W	0.005 m
El. Height	128.316 m	0.007 m

ITRF2014 at Epoch 2017.25		
Coordinate	Value	$\sigma$
X	1418700.193 m	0.005 m
Y	-5790677.088 m	0.006 m
Z	2259031.784 m	0.003 m
Latitude	20° 52' 47.98300" N	0.002 m
Longitude	76° 14' 1.84490" W	0.005 m
El. Height	128.316 m	0.007 m

Antes de emplear una herramienta o servicio resulta oportuno realizar una evaluación de las características ofrecidas por este para concluir si la misma satisface o no los requerimientos de alguna tarea.

En el caso que ocupa esta investigación se diseñó una prueba que permitiese realizar una evaluación de la precisión y exactitud ofrecida por el servicio en línea CenterPoint RTX, además de la detección de datos anómalos en sus resultados.

Como insumo para la realización de las pruebas se seleccionaron varias muestras consistentes en una serie de observaciones GNSS, las cuales serían procesadas por medio de este servicio en diferentes intervalos de tiempo. Una vez obtenidas las soluciones de coordenadas pertenecientes a cada observación, serían saneadas mediante un criterio estadístico que permitiese detectar la presencia de datos anómalos (Outlier). Luego de esto se procedería a la determinación de la desviación estándar e intervalo de confianza para las mismas, a modo de interpretar estas como un indicador de precisión.

Para el caso de la determinación de los valores de exactitud estos serían obtenidos de la comparación de las soluciones de coordenadas ofrecidas por el servicio respecto a las coordenadas oficiales del emplazamiento de la estación seleccionada.

### Selección de las muestras

Las muestras a emplear durante la etapa de pruebas se derivaron de un total de 30 observaciones GNSS de 24 horas en formato RINEX. Pertenecientes a la estación de rastreo continuo HOLG, realizadas en el mes de abril del año 2018.

Estas observaciones fueron seccionadas en diferentes intervalos de tiempo con empleo de la herramienta TECQ (Estey & W., 2014), a modo de realizar la evaluación en función de este criterio. Quedando finalmente conformadas un total de 6 grupos de 30 observaciones en diferentes intervalos de tiempo. (Tabla 1)

Tabla 1. Estructura de las muestras empleadas para las pruebas.

Intervalo de Tiempo (Horas)	Cantidad de Observaciones
1	30
2	
4	
6	
12	
24	

Se seleccionó un mes de trabajo continuo debido que no se podía dejar de tener en cuenta el efecto geodinámico presente en el emplazamiento de la estación o algún evento de este tipo que pudiese haber existido a lo largo del mes de trabajo escogido. Por lo que, una vez obtenida las soluciones de coordenadas de cada muestra, se procedería a determinar la existencia de correlación lineal entre el comportamiento de las componentes de coordenadas (variable dependiente y) y el paso de los días (variable independiente x), para este fin se empleó el coeficiente de correlación de Pearson:

$$R = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (1)$$

Dónde:  $S_{xy}$  es la covarianza muestral de las variables independientes y dependientes obtenidas por la expresión:

$$S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{n-1} \quad (2)$$

Siendo  $S_x$  la desviación estándar muestral de cada componente de coordenadas de forma independiente:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

En ninguno de los casos se encontró una correlación lineal significativa que pudiese denotar desplazamiento causado por algún evento geodinámico, por lo que se aceptaron las muestras de 30 observaciones.

### **Criterio de Chauvenet**

El criterio de Chauvenet es un método empleado para determinar si un dato experimental, de un conjunto, es probable que sea un valor atípico (outlier). Según este criterio una lectura puede ser rechazada si la probabilidad de obtener esta desviación en particular, con respecto a la media es menor de  $1/(2n)$ , siendo  $n$  el tamaño de la muestra. (Márquez, 2009)

Para su aplicación es necesario determinar la media aritmética ( $\bar{X}$ ) y la desviación estándar muestral ( $S$ ) del conjunto de observaciones. Basándose en cuánto difiere el valor dudoso de la media, se utiliza la función de distribución normal (o la tabla de la misma) para determinar la probabilidad ( $z_c$ ) de que un dato dado sea un outlier.

Esto se lleva a cabo estableciendo un intervalo en el que deben estar comprendido el conjunto de datos, obteniendo este según la expresión 4:

$$L_c = \bar{X} \pm z_c S \quad (4)$$

Este criterio se realiza de forma iterativa eliminando todo valor que no queden dentro de los límites de dicho intervalo, en cada iteración se hace necesario calcular valores de  $\bar{X}$ ,  $S$  y  $z_c$  para los diferentes tamaños de la muestra.

### **Desviación Estándar e Intervalo de Confianza**

La desviación estándar (también conocida como desviación típica) es un índice numérico de la dispersión de un conjunto de datos (o población). Por lo que, mientras mayor es la desviación estándar, mayor es la dispersión de la población y viceversa.

Esto hace que de un conjunto de observaciones, la desviación estándar pueda ser interpretada como un indicador de precisión.

Existe gran cantidad de formas de denotarla según el contexto en que se emplee, siendo la notación de estadística inferencial ( $S$  para la desviación estándar muestral y  $\sigma$  para la desviación estándar poblacional) una de las más empleadas en la actualidad.

Su fórmula general se puede expresar de la siguiente manera, para el caso de  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (6)$$

Dónde:  $n$  es el tamaño de la muestra.

Aunque esta fórmula es correcta, en la práctica de inferencias poblacionales, se emplea  $n - 1$  en lugar de  $n$ , según la corrección de Bessel. Esta ocurre cuando la media de muestra se utiliza para centrar los datos, en lugar de la media de la población, quedando de la siguiente manera para la desviación estándar muestral:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (7)$$

En cualquiera de los casos, al tratarse de una suma de cuadrados es muy común emplear la distribución chi - cuadrado ( $\chi^2$ ) para la obtención de sus intervalos de confianza, o sea, el intervalo donde exista un nivel de confianza conocido de que se encuentre su valor verdadero, con un nivel conocido de error posible en esta estimación, también llamado nivel de significación ( $\alpha$ ).

Siguiendo una distribución  $\chi^2$  con  $n-1$  grados de libertad ( $\nu$ ) el intervalo de confianza para  $S$  o  $\sigma$  se puede obtener de la siguiente manera:

$$\frac{(n-1)S}{\chi_{\nu,1-\alpha/2}} < S < \frac{(n-1)S}{\chi_{\nu,\alpha/2}} \quad (8)$$

La interpretación de los intervalos de confianza resulta de utilidad para inferir sobre la precisión de una serie de resultados, toda vez que estos se asemejan más a la realidad del comportamiento probable de un instrumento o servicio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Sobre el uso de CenterPoint RTX.

Los resultados del procesamiento con este servicio de los diferentes paquetes de muestras empleados para enmarcar las pruebas en intervalos de tiempo, se recibieron mediante correo electrónico a pocos minutos de su envío sin importar el tamaño de estos. Lo cual resulta favorable para su empleo ya que el factor peso del archivo aparentemente no interfiere en la prontitud de la obtención de los resultados.

Si bien su interface de usuario resulta muy cómoda e intuitiva, esta no permite realizar modificaciones en la rutina de procesamiento, ni intervenir de ninguna forma en ella. Por lo que el mismo está condicionado a la rutina estándar de este servicio, del cual cabe destacar que en su ambiente de trabajo no se brinda información referente a esta. Esto hace que se deba valorar su empleo para algunas aplicaciones que requieran un tratamiento riguroso.

Debido a esto se hace necesario que para evitar problemas en los archivos que sean enviados, estos deben contener toda la información relacionada con el nombre del punto, altura de antena y desplazamiento del centro de fase de la misma, por lo que es necesario que sean previamente revisados por el usuario, ya que este servicio no permitirá realizar modificaciones en este una vez realizado el envío.

El archivo recibido a vuelta de correo es bastante resumido y no muestra información relacionada con las orbitas empleadas para el procesamiento, resumiendo las estadísticas de este a compilar la cantidad de satélites y observaciones empleadas.

El intervalo de muestreo se reduce por defecto a 10 segundos sin importar que el archivo de observación este compilado a intervalos menores a este.

Es importante destacar que la versión de este servicio disponible a la fecha de realización de las pruebas no es compatible con formato HATANAKA, lo cual puede traer hasta cierto punto inconveniente para usuarios que no estén familiarizados con el proceso de conversión y manejo de archivos RINEX.

### Resultados de las pruebas realizadas a CenterPoint RTX.

#### Pruebas de Precisión.

Las diferentes muestras fueron saneadas empleando el criterio de Chauvenet, arrojando del uso del mismo los siguientes resultados:

Tabla 2. Resumen de las muestras saneadas.

Intervalo de tiempo (Horas)	Cantidad de Outliers detectados	Cantidad de Outliers detectados	Tamaño final de la muestra
1	30	1	29
2	30	0	30



4	30	1	29
6	30	0	30
<b>Intervalo de tiempo (Horas)</b>	<b>Cantidad de Outliers detectados</b>	<b>Cantidad de Outliers detectados</b>	<b>Tamaño final de la muestra</b>
12	30	1	29
24	30	4	26

Empleando la expresión (7) se calcularon las desviaciones estándar de cada componente de coordenadas de las muestras saneadas de forma independiente, en el caso de la componente tridimensional  $S_{XYZ}$  esta se obtuvo por la expresión:

$$S_{XYZ} = \sqrt{S_X^2 + S_Y^2 + S_Z^2} \quad (9)$$

Los intervalos de confianza se obtuvieron según la expresión (8), en todos los casos se calcularon los valores superiores e inferiores de estos. Si bien en la práctica común se emplea solo el límite superior, resulta conveniente contar con ambos para en el futuro realizar inferencia sobre el comportamiento del servicio. La tabla 3 resume los resultados obtenidos de estos procesos.

Tabla 3. Resumen de resultados de precisión para CenterPoint RTX.

Precisiones Obtenidas					Intervalo de Confianza 95% para $S_{XYZ}$	
Intervalo de tiempo (Horas)	$S_X$ (m)	$S_Y$ (m)	$S_Z$ (m)	$S_{XYZ}$ (m)	Inferior (m)	Superior (m)
1	0.0153	0.0310	0.0131	0.0370	0.0233	0.0677
2	0.0123	0.0251	0.0094	0.0295	0.0187	0.0338
4	0.0057	0.0130	0.0049	0.0150	0.0095	0.0275
6	0.0049	0.0097	0.0036	0.0114	0.0073	0.0207
12	0.0033	0.0052	0.0022	0.0066	0.0041	0.0120
24	0.0026	0.0030	0.0020	0.0045	0.0027	0.0085

La figura 5 muestra un gráfico del comportamiento de las desviaciones para cada componente de coordenadas en los diferentes intervalos de tiempo que enmarcaron las pruebas.

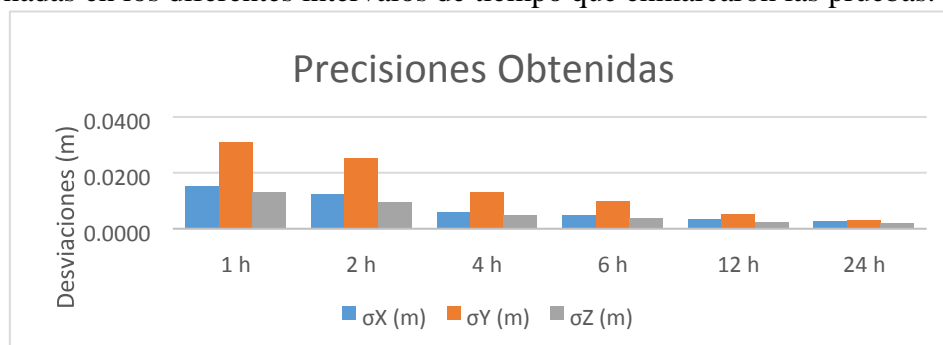


Figura 5. Comportamiento de las desviaciones estándar obtenidas.



La figura 6 muestra un gráfico del comportamiento de los intervalos de confianza para la componente tridimensional  $S_{XYZ}$ , para cada intervalo de tiempo en que se enmarcaron las pruebas.

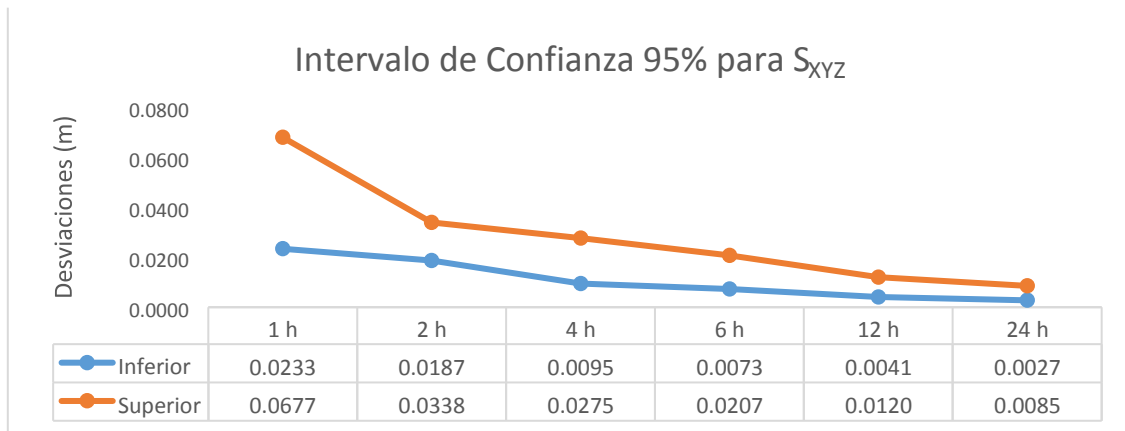


Figura 6. Intervalo de Confianza 95% para la componente  $S_{XYZ}$

### Pruebas de Exactitud.

Para el caso de las pruebas de exactitud fueron seleccionadas de forma aleatoria una solución de coordenadas por cada intervalo de tiempo, para determinar las diferencias de estas respecto a las coordenadas oficiales del emplazamiento de la estación.

Es importante destacar que tanto las coordenadas patrón como las determinadas están referida al marco ITRF 2014, pero en las épocas 2017.2683 y 2018.25 respectivamente, existiendo aproximadamente un año de diferencias entre ellas. Por lo que para aproximar las coordenadas patrón establecidas por (Rodríguez-Roche, 2017), a la época en que se realizaron las observaciones de prueba, se emplearon los valores de velocidad media determinados para el emplazamiento de la estación por el autor en anteriores investigaciones.

Tabla 4. Componentes de Velocidades de la estación GNSS de rastreo continuo HOLG

Componentes de Velocidades Medias de la estación GNSS de rastreo continuo HOLG (mm/año)					
$\dot{X}$	$\sigma_x$	$\dot{Y}$	$\sigma_y$	$\dot{Z}$	$\sigma_z$
-8.1	0.6	8.6	1.7	2.7	0.8

La tabla 5 muestra las coordenadas oficiales de dicho emplazamiento y las seleccionadas por cada intervalo de tiempo:

Tabla 5. Resumen de Coordenadas empleadas para las pruebas de exactitud.

Intervalo	Coordenadas Oficiales			Coordenadas RTX		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	1418700.180	5790677.06	2259031.7	1418700.19	-	2259031.7
5				5790677.0	57	
2	1418700.180	5790677.06	2259031.7	1418700.18	-	2259031.7
5				5790677.0	74	
					42	

<b>4</b>				1418700.18 3	- 5790677.0 48	2259031.7 81
<b>6</b>				1418700.19 2	- 5790677.0 63	2259031.7 84
<b>12</b>				1418700.18 8	- 5790677.0 67	2259031.7 81
<b>24</b>				1418700.18 7	- 5790677.0 65	2259031.7 81

La tabla 6 muestra las diferencias entre las coordenadas determinadas con el servicio y las oficiales del emplazamiento de la estación:

Tabla 6. Diferencias obtenidas de la comparación.

<b>Intervalo de tiempo</b>	<b>Diferencias Obtenidas</b>			
	$\Delta_X$ (mm)	$\Delta_Y$ (mm)	$\Delta_Z$ (mm)	$\Delta_{XYZ}$ (mm)
<b>1 h</b>	14.084	36.38	-26.65	47.246
<b>2 h</b>	4.0843	24.38	-9.65	26.537
<b>4 h</b>	2.0843	18.38	-2.65	18.687
<b>6 h</b>	11.084	3.381	0.35	11.594
<b>12 h</b>	7.0843	-0.619	-2.65	7.5891
<b>24 h</b>	-2.9	10.7	-0.3	6.7785

De la tabla 6 se puede denotar una disminución de las diferencias (aumento de la exactitud) en las observaciones seleccionadas a medida que aumenta el tiempo de observación, de forma gráfica se puede observar este comportamiento en la figura 7:

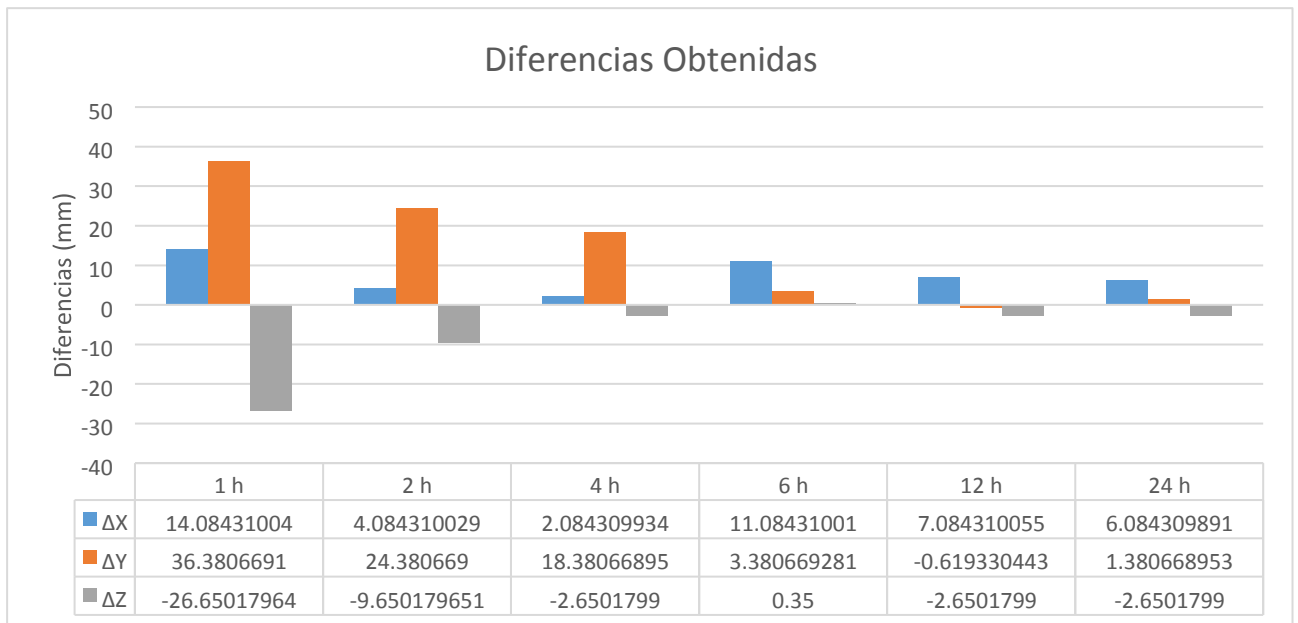


Figura 7. Comportamiento de las diferencias por componentes de coordenadas.

Si bien la tendencia es al aumento de la exactitud a medida que el tiempo de observación crece, se debe destacar que este no se produce de forma lineal, si se analiza la figura 8 la línea de tendencia representada con un polinomio de 4to grado muestra el comportamiento de las componentes tridimensionales de estas diferencias.

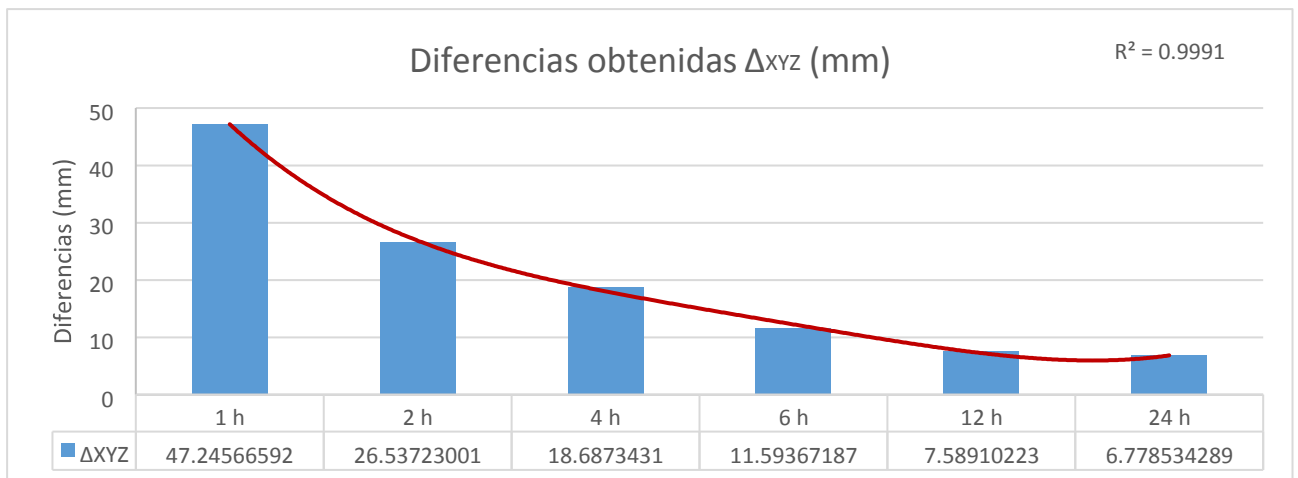


Figura 8. Comportamiento de las diferencias de la componente tridimensional.

## CONCLUSIONES

A lo largo del presente trabajo se mostraron algunas características del empleo de un servicio de procesamiento de observaciones GNSS en línea basado en PPP, así como el resultado de un conjunto de pruebas realizadas a este para determinar los valores de precisión y exactitud ofrecidos por el mismo.

El procesamiento con el servicio CenterPoint RTX se desarrolla de forma fácil y puede ser llevado a cabo por cualquier usuario con conocimientos elementales sobre posicionamiento GNSS y manejo de observaciones en formato RINEX. Necesitando solamente acceso a internet para desarrollar este.

En las pruebas realizadas se detectó la presencia de Outliers en los resultados, sobre todo para las observaciones de mayor tiempo. Si bien no se puede concluir que estos sean causados por

el algoritmo de procesamiento empleado o debido a un evento aleatorio, se puede denotar que las observaciones de mayor tiempo son más propensas a la aparición de datos anómalos respecto a la media.

Este servicio es capaz de ofrecer precisiones inferiores a 8 centímetros para observaciones de una hora así como inferiores de 1 centímetro para observaciones de 24 horas con un 95% de confianza en esta estimación.

Para el caso de la exactitud el mismo ofrece valores en las componentes tridimensionales que van desde 4.7 centímetros para observaciones de 1 hora hasta 0.67 centímetros para observaciones de 24 horas.

De los elementos antes mencionados se puede concluir que el servicio garantiza valores de precisión y exactitud para una gran cantidad de aplicaciones dentro del ámbito de la geomática e ingeniería.

Es válido destacar que existen en el país software de escritorio en uso, capaces de resolver tareas de procesamiento basadas en PPP, como son el caso de gLAB y Bernese. Si bien estos son capaces de ofrecer valores de precisión y exactitud superior a los servicios en línea, para su empleo es necesario contar con conocimientos avanzados sobre procesamiento de observaciones GNSS, lo cual limita su uso para usuarios con poca experticia en estos temas, sobre todo en el caso de Bernese.

En cuestiones prácticas es posible emplear los servicios en línea en intervalos de tiempo moderados para la creación de redes asiladas de apoyos a trabajos topográficos, referenciación de imágenes satelitales o provenientes de VANT (Vehículo aéreo no tripulado), así como para el control topográfico de obras. Además de esto el hecho de que su uso sea ofrecido de forma gratuita lo convierte en una solución asequible para gran cantidad de usuarios tanto profesionales como investigativos, por lo que el mismo resulta una eficiente herramienta para el posicionamiento puntual preciso.

## REFERENCIAS

- Bolshakov, V., & Gaidayev, P. (1977). *Teoría de la Elaboración Matemática de las Mediciones Geodésicas*.
- Estey, L., & W., S. (2014). *Teqc Tutorial: Basics of Teqc Use and Teqc Products*. Retrieved from UNAVCO:
- Márquez, R. (2009). *Introducción al ajuste y diseño de redes topográficas*. Universidad Nacional de San Juan.
- Orduña-Díaz. (2019). *John Alexander. Fundamentos y aplicaciones del Posicionamiento Puntual Preciso. (PPP: Precise Point Positioning)*. (Trabajo de Fin de Master), Universidad de Salamanca.
- Rodríguez-Roche, E. (2017). *Creación de la Red GNSS Fundamental (RGF) 2017 y los Polígonos de Validación GNSS (PVG) de la República de Cuba*. Retrieved from Geocuba, Investigación y Consultoría:
- Pestarini, S. (2016). *Aplicación web para Georreferenciación utilizando servicios de posicionamiento en línea y su aplicación en la Agrimensura*. (Tesis de Grado). UNR