



RNPS 2550 RNSW A1439

REVISTA CUBANA DE GEOMÁTICA

ISSN 3005 - 3390

geomatica.geocuba.cu



Código 2432524

**DETERMINACIÓN DE LAS COMPONENTES DE VELOCIDAD MEDIA DEL  
EMPLAZAMIENTO DE LA ESTACIÓN GNSS DE RASTREO CONTINUO HOLG.  
DETERMINATION OF THE AVERAGE SPEED COMPONENTS OF THE HOLG  
CONTINUOUS TRACKING GNSS STATION SITE.**

Ing. Ernesto Emilio Aguilar Leyva.

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

**RESUMEN:** El presente artículo aborda el tema de la determinación preliminar de las componentes de velocidad del emplazamiento de la estación GNSS (Global Navigation Satellite System) de rastreo continuo HOLG. Perteneciente a la Red GNSS Permanente (RGP) de la República de Cuba. Para este fin se emplearon observaciones GNSS de 94 semanas de trabajo continuo (Semanas GPS 1942 - 2035) las cuales fueron procesadas por medio del servicio de PPP (Posicionamiento Puntual Preciso) en línea CenterPoint RTX de la firma Trimble, para la obtención de las coordenadas del emplazamiento de dicha estación de forma semanal. Empleando estos resultados en la elaboración de tres modelos basado en el principio de Regresión Lineal Simple, para la determinación de las componentes de velocidad de cada de sus coordenadas de manera independiente. De esta forma se muestra una aplicación práctica para el uso de servicios de PPP en línea, además de servir como partida para el estudio del comportamiento geodinámico del emplazamiento de dicha estación.

**Palabras claves:** GNSS; PPP; CenterPoint RTX; Regresión Lineal; Velocidad Media.

**ABSTRACT:** This article addresses the issue of the preliminary determination of the speed components of the site of the GNSS (Global Navigation Satellite System) continuous tracking station HOLG. Belonging to the Permanent GNSS Network (RGP) of the Republic of Cuba. For this purpose, GNSS observations of 94 weeks of continuous work (GPS Weeks 1942 - 2035) were used, which were processed through the online PPP (Precise Point Positioning) service CenterPoint RTX of the firm Trimble, to obtain the coordinates of the site of said station on a weekly basis. These results were used in the elaboration of three models based on the principle of Simple Linear Regression, for the determination of the velocity components of each of its coordinates independently. In this way, a practical application for the use of online PPP services is shown, in addition to serving as a starting point for the study of the geodynamic behavior of the site of said station.

**Keywords:** GNSS; PPP; CenterPoint RTX; Linear Regression; Average Speed.

Recibido: 15/09/2024

Aprobado:04/12/2024

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad dentro del ámbito de la geomática, se apuesta por el uso estaciones GNSS (Global Navigation Satellite System) de rastreo continuo que permiten el posicionamiento preciso relativo, para múltiples aplicaciones tanto civiles como militares.

Nuestro país no se queda atrás en este empeño, estableciendo desde 2016 la Red GNSS Permanente (RGP) fortaleciendo está en el periodo de 2017 - 2018, como parte del proceso de modernización de la red estatal planimétrica de la republica de cuba. (Rodríguez-Roche, 2017) Las estaciones que componen dicha red cuentan con coordenadas precisas determinadas por (Rodríguez-Roche, 2024) referidas a marcos internacionales terrestres de referencia. Lo que las convierte en estaciones de confiables para un sin número de aplicaciones en casi cualquier ámbito de la actualidad. Además de estos las mismas se encuentran publicadas por (GarcíaDíaz, 2022b) en un servidor web que permite su uso para disimilares tareas por diferentes usuarios.

Así mismo el mantenimiento de dicha red es una tarea primordial para el desarrollo y uso de esta. Siendo un aspecto de vital importancia para este fin, el conocimiento de las velocidades de traslación de sus emplazamientos. Al considerar el efecto Geodinámico que existe en los mismos. Tarea esta que en los últimos años se ha visto materializada en los trabajos realizados por (García-Díaz, 2022a).

Como objetivo la siguiente investigación persigue determinar las componentes de velocidad del emplazamiento de la estación GNSS de rastreo continuo HOLG. Empleando para este fin técnicas de PPP (Posicionamiento Puntual Preciso) en línea, así como el principio de Regresión Lineal Simple, para la elaboración de los modelos predictivos referidos al comportamiento en el tiempo de las componentes de coordenadas de dicho emplazamiento. De esta forma se realiza un acercamiento a la elaboración de series temporales y se muestra una aplicación práctica de los servicios en línea basados en PPP.

## **METODOLOGÍA Estación de Rastreo Continuo HOLG**

Ubicada en la azotea del Laboratorio Metrológico No. 57 perteneciente a la Empresa GEOCUBA Oriente Norte. La estación GNSS de rastreo continuo HOLG (Fig. 1) se encuentra emplazada en el pilar de centración forzada Base - 1 – G. Comenzó a operar a principios del año 2015 hasta mediados del año 2024, en este periodo de tiempo se encontró rastreando de forma casi ininterrumpida señales transmitidas desde las constelaciones GPS y GLONASS.



Figura 1. Pilar de centración forzada Base - 1G.

Por sus características respecto a ubicación y condiciones para el posicionamiento GNSS forma parte del Polígono de Validación GPS Holguín. Del cual sirvió como referencia para la determinación de coordenadas del resto de estaciones que componen dicha red por (RodríguezRoche, 2016).

#### **Compilación de las Observaciones GNSS**

Como datos de partida se compilaron las observaciones de la antes mencionada estación GNSS en formato Hatanaka, pertenecientes al periodo del 1 de abril de 2017 al 8 de enero de 2019, lo que constituyen 94 semanas de trabajo continuo (semana GPS 1942 – 2035).

Seguido de esto se seleccionó una observación de 24 horas por cada semana, a modo de obtener las soluciones de coordenadas del emplazamiento de la estación en este intervalo de tiempo.

Las observaciones fueron convertidas de formato Hatanaka a RINEX versión 2.1 con empleo de la herramienta TECQ (Estey & W., 2014), luego de esto se procedió a la revisión de las mismas con dicha herramienta a modo de comprobar la calidad de estas para su empleo en los posteriores trabajos.

Cabe destacar que a pesar de disponer con un periodo de tiempo mayor a un año de observaciones continuas, es recomendado por autores como (Moya-Zamora, 2014), contar con al menos dos años de registro de datos. Esto permite elaborar un modelo de predicción más robusto para la obtención de las componentes de velocidad. En el caso que ocupa esta investigación no fue posible debido a problemas técnicos que presentó el receptor GNSS de dicha estación.

#### **Servicio de PPP en Línea CenterPoint RTX**

Este servicio en línea desarrollado por la compañía norteamericana Trimble basado en su tecnología RTX (Real Time eXtended), permite cargar observación GNSS en su ambiente de trabajo (Fig. 2) y recibir mediante correo electrónico la solución de coordenadas de dichas observaciones.

Para su empleo es necesario el registro de forma gratuita en su Web Oficial ([www.trimblertx.com](http://www.trimblertx.com)), lo que facilita el uso de este 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 refieren a la época de observación (época actual) del ITRF2008 para datos recopilados antes del 23 de marzo de 2017 e ITRF2014 para observaciones recopiladas a partir del 23 de marzo de 2017. 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.

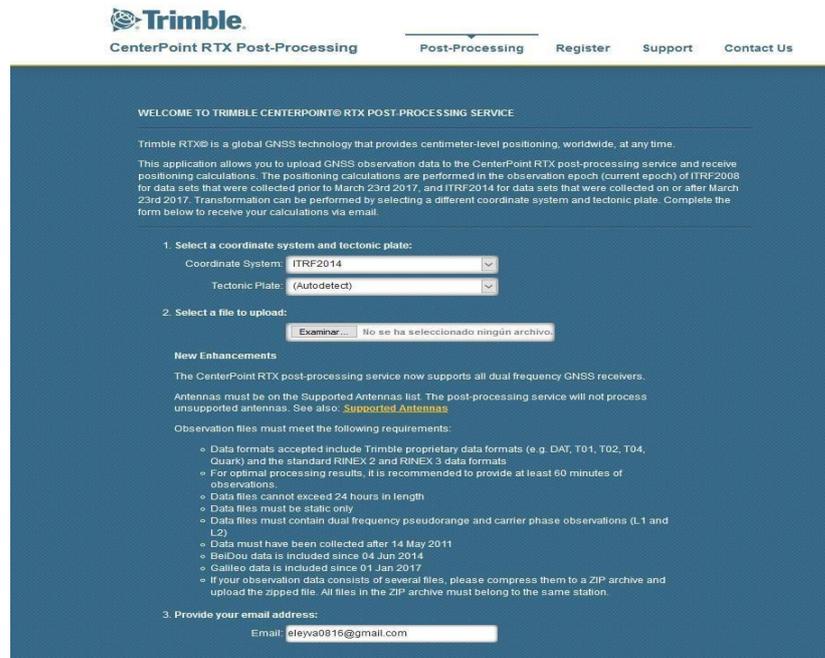


Figura 2. Ambiente Web de CenterPoint RTX.

A este servicio se enviaron los archivos compilados de forma semanal para obtener la solución de coordenadas de cada uno de ellos de manera independiente. Recibiendo a vuelta de correo electrónico en pocos minutos, un archivo con los resultados de este proceso (Fig. 3), referidos al ITRF 2014 época 2010.0 e ITRF 2014 época instantánea. Siendo esta ultima la seleccionada como coordenadas a emplear para los posteriores trabajos, al estar estas referidas a la época de las observaciones.

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

## Principio de Regresión Lineal Simple

### 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

La regresión lineal (también conocida como ajuste lineal) es un modelo matemático predictivo, usado para aproximar la relación de dependencia entre una variable dependiente  $Y$ , las variables independientes  $X_i$  y un término aleatorio  $\varepsilon$  (que representa el error de determinación del modelo) (Rojo-Abuín, 2007), mediante una recta que toma el nombre de recta de regresión. Esta recta puede ser expresada de la siguiente forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1)$$

El modelo de regresión lineal simple se compone por el coeficiente de intercepción  $\beta_0$ , el cual representa la intercepción de la recta de regresión, con el eje  $Y$  obtenido por la expresión 2:

$$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X} \quad (2)$$

Donde:  $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$  son los valores promedio de los elementos que componen el eje  $X$  y  $Y$  respectivamente, obtenidos por la expresión 3:

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

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

El coeficiente  $\beta_1$ , el cual representa la pendiente de la recta de regresión, obtenido por la expresión 4, el cual en este caso de estudio puede ser interpretado como la velocidad media del desplazamiento en el periodo.

$$\beta_1 = \frac{S_{xy}}{S_x^2} \quad (4)$$

Este coeficiente es el resultado del cociente de la covarianza muestral, obtenido por la expresión:

$$S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{n-1} \quad (5)$$

Y el cuadrado de la desviación estándar (varianza) de los elementos que componen el eje  $X$ :

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

### Coefficiente de Correlación de Pearson

La forma más común de medir la existencia de correlación lineal entre variables es empleando el coeficiente de correlación de Pearson, el cual se puede definir como un índice para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas y continuas.

$$R = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (7)$$

Su cuadrado es el coeficiente de determinación  $R^2$ , el cual mide la proporción de la variación de la respuesta  $Y$  que es explicada por el modelo de regresión. El coeficiente  $R^2$  también se puede obtener con la expresión 8.

$$R^2 = \frac{S_{xy}^2}{S_x S_y} \quad (8)$$

Si el valor de  $R^2$  se acerca a 1, entonces se tiene un buen ajuste y el modelo de regresión es capaz de explicar adecuadamente la variación de la variable de respuesta  $Y$ .

Para el análisis de regresión lineal se emplea el coeficiente  $R^2$  ajustado (o coeficiente de determinación ajustado) para ver el grado de intensidad o efectividad que tienen las variables independientes en explicar la variable dependiente.

$$R^2_a = 1 - \frac{[(n-1)](1 - R^2)}{n-k-1} \quad (9)$$

Dónde:  $n$  es el tamaño de la muestra y  $k$  es la cantidad de variables que componen el modelo.

En palabras más simples el  $R^2$  ajustado nos dice qué porcentaje de variación de la variable dependiente es explicado colectivamente por todas las variables independientes.

El uso de este coeficiente se justifica debido que a medida que se añaden variables a una regresión, el coeficiente de determinación sin ajustar tiende a aumentar. Incluso cuando la contribución marginal de cada una de las nuevas variables añadidas no tiene relevancia estadística. Por lo tanto, al añadir variables al modelo, el coeficiente de determinación podría aumentar y podríamos pensar, de manera errónea, que el conjunto de variables elegido es capaz de explicar una mayor parte de la variación de la variable independiente.

### **Inferencia al modelo de Regresión Lineal Simple**

Esta técnica se emplea para estudiar la posibilidad de que el modelo de regresión sea nulo, es decir, los valores de la variable independiente  $X$  no van a influir en la variable  $Y$ .

Mediante esta técnica se aborda el problema estadístico considerando una Hipótesis Nula ( $H_0$ ) y en contraposición a esta una Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ) sobre el comportamiento de cada coeficiente que compone el modelo, de estas se intenta determinar cuál de ellas es verdadera. En el caso de la inferencia a modelos de regresión lineal simple, es muy común plantear estas hipótesis de la siguiente forma:

- $H_0: \beta_1 = 0$  (No ha relación lineal entre ambas variables por lo que la pendiente del modelo lineal es cero)
- $H_1: \beta_1 \neq 0$  (Si hay relación lineal entre ambas variables por lo que la pendiente del modelo es distinta de cero)

Luego de esto se emplea un estadístico de prueba para realizar el contraste de hipótesis, en este caso es común utilizar una prueba  $t$  de Student para cada coeficiente de forma independiente:  $t$

$$= \frac{\beta^0 - 0}{S(\beta_0)}; \quad t = \frac{\beta^1 - 0}{S(\beta_1)} \quad (10)$$

Este tipo de estadístico sigue una distribución  $t$  de Student con  $n-2$  grados de libertad, por lo que el resultado obtenido se compara con el tabulado en las tablas de probabilidad de esta distribución, en función del nivel de significación ( $\alpha$ ) empleado y grados de libertad del modelo. Si el valor calculado es menor al valor tabulado se acepta la hipótesis nula, lo cual no quiere decir que esta sea verdadera, sino que no existe suficiente evidencia estadística para inferir que esta es falsa. En caso contrario si se rechaza esta se concluye que existe suficiente evidencia estadística para inferir que dicha hipótesis es falsa, por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN Resultados del procesamiento con CenterPoint RTX**

Como se mencionaba anteriormente del procesamiento de las observaciones compiladas de la estación, con empleo del servicio de PPP en línea CenterPoint RTX, se obtuvieron mediante correo electrónico un total de 94 archivos con la solución de cada una de las semanas GPS.

A continuación, se presentan las estadísticas descriptivas de las desviaciones estándar asociadas a la determinación de las soluciones de coordenadas del conjunto de resultados:

Tabla 1. Estadística Descriptiva componentes  $\sigma_{XYZ}$ .  
**ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA COMPONENTES**

$\sigma_{XYZ}$	
<b>MEDIA</b>	0.008463051
<b>ERROR TÍPICO</b>	5.00705E-05
<b>MODA</b>	0.0083666
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	0.000485452
<b>VARIANZA DE LA MUESTRA</b>	2.35663E-07
<b>CURTOSIS</b>	63.34466429
<b>COEFICIENTE DE ASIMETRÍA</b>	7.516734251
<b>MÍNIMO</b>	0.0083666
<b>MÁXIMO</b>	0.012688578
<b>CUENTA</b>	94
<b>MAYOR (1)</b>	0.012688578
<b>MENOR (1)</b>	0.0083666
<b>NIVEL DE CONFIANZA (95.0%)</b>	9.94302E-05

De la compilación de los resultados obtenidos, se derivó la obtención de las series temporales del emplazamiento de la estación, en el intervalo de tiempo de 94 semanas GPS de forma independiente para cada componente de coordenada.

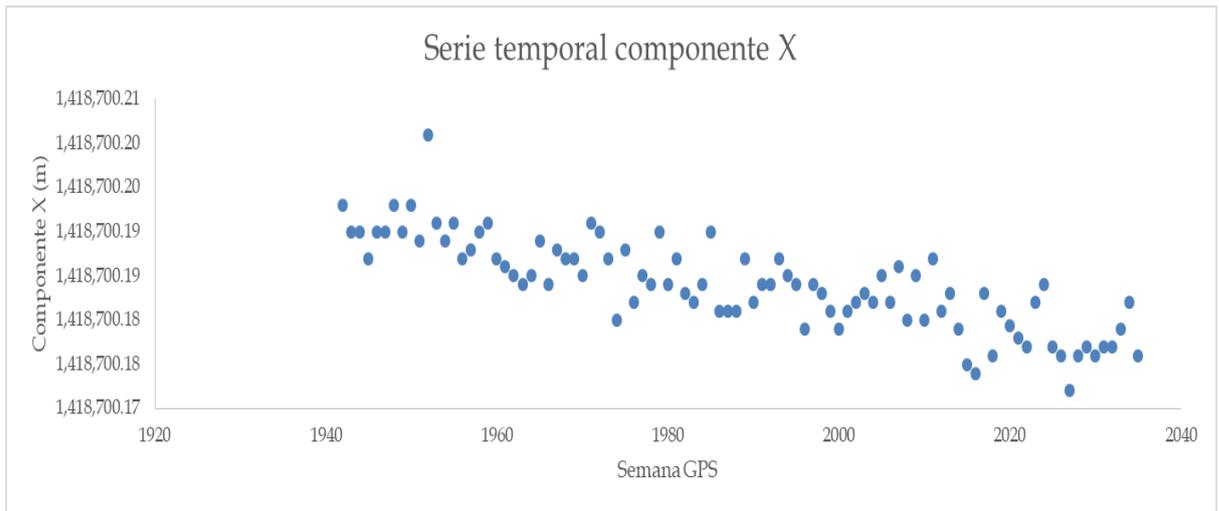


Figura 4. Serie temporal componente X.

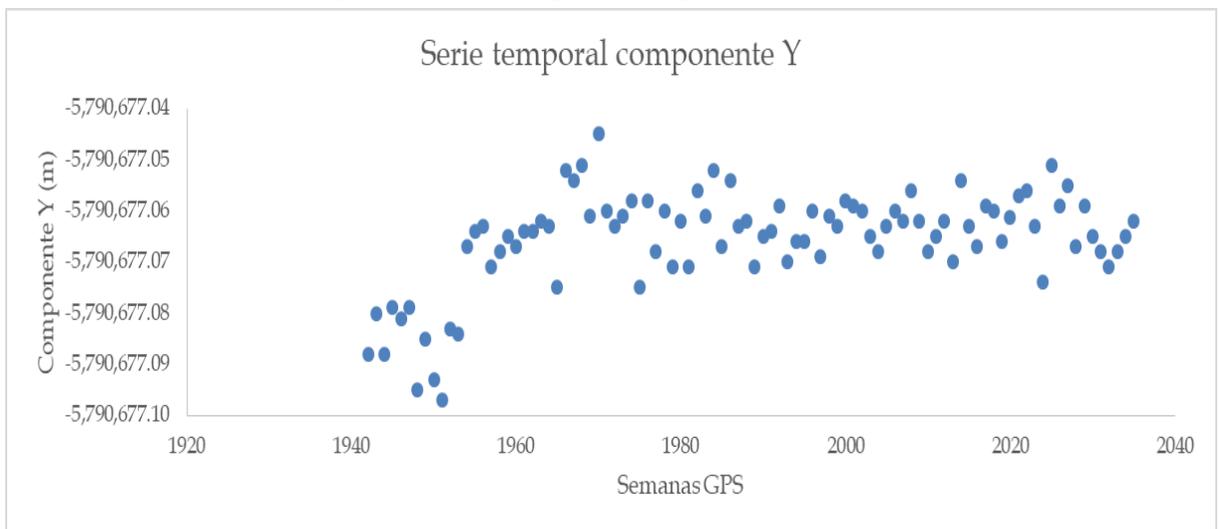


Figura 5. Serie temporal componente Y.

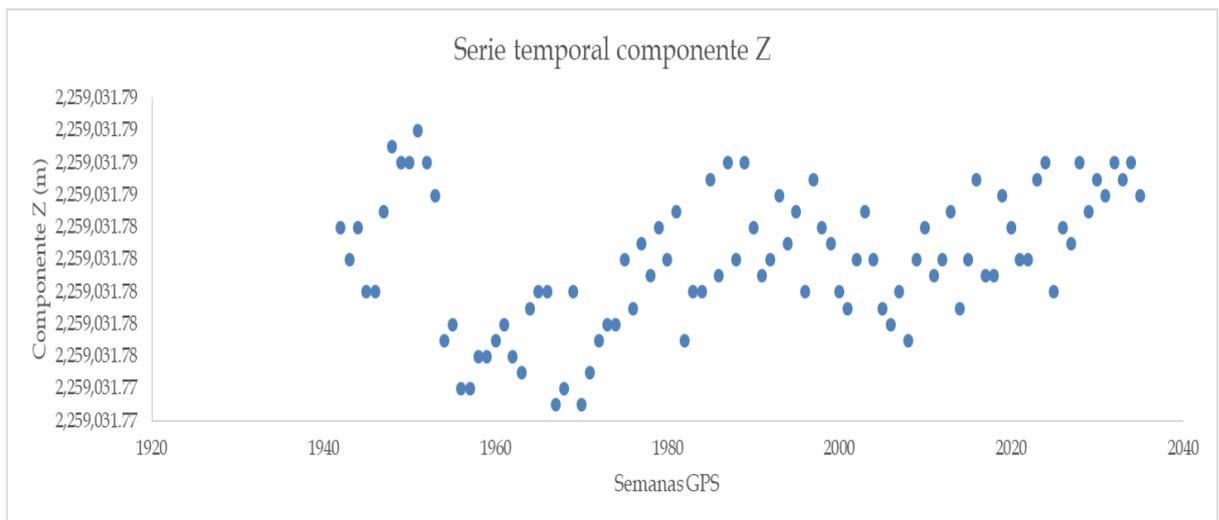


Figura 6. Serie temporal componente Z.

## Resultados del modelo de Regresión Lineal

Como insumos para confección del modelo de regresión lineal se tabularon las semanas GPS (variable independiente X) de cada resultado obtenido con el servicio de PPP en línea, así como los incrementos de cada una de las componentes de coordenadas de forma independiente (variable dependiente Y), obtenidos por la expresión:

$$V_X = X_n - X_0 \quad (11)$$

Dónde:  $X_n$  es la componente de coordenadas de cada semana GPS consecutiva y  $X_0$  es la componente de coordenadas perteneciente a la semana GPS 1942, a la cual pertenece el primer registro de observaciones procesado.

Para la inferencia sobre el modelo de regresión, se plantearon las siguientes hipótesis nula y alternativa:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$H_1: \beta_1 \neq 0$  Además de esto, se empleó un nivel de significación  $\alpha = 0.05$  a modo de alcanzar un nivel de Confianza = 95%, lo que permitiría realizar una valoración adecuada de las características del modelo.

Se elaboraron un total de tres modelos de regresión, para cada componente de coordenadas de forma independiente (X, Y, Z).

## Resultados del modelo de Regresión Lineal componente X.

Comenzamos por analizar el resumen estadístico del modelo de regresión lineal de la componente X:

Tabla 2. Estadísticas de Regresión Componente X.

<i>Estadísticas de la regresión Componente X</i>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple (R)</b>	0.819793436
<b>Coefficiente de determinación (R<sup>2</sup>)</b>	0.672061278
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0.668496727
<b>Error típico</b>	.002970455
<b>Observaciones</b>	94

De la tabla 3 se puede denotar que el modelo de regresión elaborado para la componente de coordenada X presenta una correlación lineal alta ( $R > 0.80$ ), aunque el valor de  $R^2$  ajustado, afirma que el modelo generado explica en un 66.84% el comportamiento de esta componente en función del tiempo (semanas GPS).

Si se analiza el Test ANOVA (Análisis de Varianza), realizado al modelo de regresión generado se puede concluir la existencia de evidencias estadísticas de que el modelo de regresión describe el comportamiento de las variables que lo componen, al obtener un P valor inferior al nivel de significación empleado en la confección de este (P valor  $< \alpha$ ).

Tabla 3. Análisis de varianza Regresión Componente X.

## ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>romedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>P valor</i>
<b>Regresión</b>	1	0.001663	0.001663604	188.540	0.000
<b>Residuos</b>	92	0.000811	8.8236E-06		
<b>Total</b>	93	0.002475			

Seguido de esto se analizan el contraste de hipótesis aplicado para cada coeficiente de forma independiente, así como los intervalos de confianza de estos:

Tabla 4. Coeficientes de Regresión Componente X.

<i>Coefficiente s</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	
$\beta_0$	0.2993361	0.022454967	13.3305	0.000	0.2547386	0.34393
$B_1$	-0.0001550	1.12914E-05	-13.7309	0.000	-0.0001774	-0.00013

De la tabla 5 se puede denotar que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula  $H_0: \beta_0 = 0$ , ya que como en el caso del test ANOVA el  $P$  valor  $< \alpha$ , por lo que se acepta la hipótesis alternativa  $H_1: \beta_1 \neq 0$ .

Además de esto si se analizan los intervalos de confianza calculados para cada coeficiente, se puede evidenciar que en ninguno de los casos se encuentra el valor cero (0). Por lo que se aceptan los valores obtenidos

### Resultados del modelo de regresión Lineal componente Y.

Como en el caso de la componente anterior comenzamos por analizar el resumen estadístico:

Tabla 5. Estadísticas de Regresión Componente Y.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple (R)</b>	0.46247418
<b>Coefficiente de determinación (R<sup>2</sup>)</b>	0.213882367
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0.20533761

<b>Error típico</b>	0.008691959
<b>Observaciones</b>	94

De la tabla anterior se puede evidenciar que el modelo de regresión elaborado para la componente de coordenada Y presenta una correlación lineal media ( $R > 0.40$ ), aunque el valor de  $R^2$  ajustado afirma que el modelo generado explica en un 20.53% el comportamiento de esta componente Y en función del tiempo (semanas GPS).

Seguido de esto se analiza los resultados del Test ANOVA, realizado al modelo de regresión generado. Tabla 6. Análisis de varianza Regresión Componente Y.

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>P romedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>P valor</i>
<b>Regresión</b>	1	0.001891	0.001891083	25.030	0.000
<b>Residuos</b>	92	0.006950	7.55501E-05		
<b>Total</b>	93	0.008841			

De la tabla anterior se puede denotar que existen evidencias estadísticas de que el modelo de regresión describe el comportamiento de las variables que lo componen, al obtener P valor inferior al nivel de significación empleado en el modelo ( $Pvalor < \alpha$ ).

Seguido de esto se analizan el contraste de hipótesis aplicado para cada coeficiente de forma independiente, así como los intervalos de confianza de estos:

Tabla 7. Coeficientes de Regresión Componente Y.

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
$\beta_0$	-0.306364689	0.065706312	-4.662637108	1.05E-05	-0.436863097	-0.17586628
$B_1$	0.000165302	3.30401E-05	5.003082174	2.70E-06	9.96818E-05	0.00023092

De la tabla 8 se puede inferir que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula  $H_0: \beta_0 = 0$ , por lo que se acepta la hipótesis alternativa  $H_1: \beta_1 \neq 0$ . Además de esto si se

analizan los intervalos de confianza al 95% calculados para cada coeficiente, se puede evidenciar que en ninguno de los casos se encuentra el valor cero (0). Por lo que de igual manera se aceptan los resultados obtenidos.

### Resultados del modelo de regresión Lineal componente Z.

Como en el caso de las componentes anteriores comenzamos por analizar el resumen estadístico de la componente Z:

Tabla 8. Estadísticas de Regresión Componente Z.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
<b>Coefficiente de correlación múltiple (R)</b>	0.332535667
<b>Coefficiente de determinación (R<sup>2</sup>)</b>	0.11057997
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0.100912361
<b>Error típico</b>	0.003953474
<b>Observaciones</b>	94

De la anterior se puede evidenciar que el modelo de regresión elaborado para la componente de coordenada Z presenta una correlación Baja ( $R < 0.40$ ), además de esto el valor de R<sup>2</sup> ajustado afirma que el modelo generado explica en un 10.09% el comportamiento de esta componente en función del tiempo (semanas GPS), por lo se debe prestar atención a los siguientes resultados de este proceso al ser pobre el ajuste de la regresión lineal a la serie temporal de esta componente.

Seguido de esto se analiza los resultados del Test ANOVA, realizado al modelo de regresión generado.

Tabla 9. Análisis de varianza Regresión Componente Z.

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>P valor</i>
<b>Regresión</b>	1	0.000178	0.000178778	11.43	0.001

<b>Residuos</b>	92	0.001437		8
			1.563E-05	3.9445
<b>Total</b>	93	0.001616		

De la tabla anterior se puede denotar que existen evidencias estadísticas de que el modelo de regresión describe el comportamiento de las variables que lo componen (aunque no de forma precisa), al obtener el P valor inferior al nivel de significación empleado en el modelo ( $P \text{ valor} < \alpha$ ), pero debe destacarse que es muy próximo a este.

Seguido de esto se analizan las pruebas de Hipótesis aplicadas a los coeficientes que componen el modelo de regresión lineal:

Tabla 10. Coeficientes de Regresión Componente Z.

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
$\beta_0$	-0.103119533	0.029886033	-3.45042553	0.000846838	-0.162475775	-0.04376329
$B_1$	5.08254E-05	1.5028E-05	3.382039648	0.001057993	2.09784E-05	8.0672E-05

De la tabla 5 se puede deducir que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula  $H_0: \beta_0 = 0$ , por lo que se acepta la hipótesis alternativa  $H_1: \beta_1 \neq 0$ . Además de esto si se analizan los intervalos de confianza al 95%, calculados para cada coeficiente, se puede evidenciar que en ninguno de los casos se encuentra el valor cero (0). De igual manera se aceptan los resultados obtenidos. Aunque se debe prestar atención al coeficiente  $\beta_1$  ya que su P valor es más próximo al nivel de significación empleado en estas pruebas estadísticas.

### **Obtención de las componentes de velocidad**

Para obtención de las componentes de velocidad se emplearon los coeficientes  $\beta_1$  de cada modelo de regresión aplicado a cada componente de forma independiente, dichos coeficientes representan la pendiente de la recta de regresión en semanas o lo que es lo mismo el comportamiento de las componentes de la velocidad en este intervalo de tiempo. Por lo que para convertirlos en años se multiplicaron por el valor 52.1428, que representan la cantidad de semanas que componen el año de 365 días.

La Tabla 12, muestra las componentes de velocidad del emplazamiento de la estación GNSS de rastreo continuo HOLG, así como la desviación estándar de la obtención de cada una de sus componentes de velocidad.

Tabla 11. Componentes de Velocidades de la estación GNSS de rastreo continuo HOLG

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

## **CONCLUSIONES**

A lo largo del presente trabajo se mostró cómo fue posible determinar las componentes de velocidad media del emplazamiento de la estación GNSS de rastreo continuo HOLG, empleando técnicas de Posicionamiento Puntual Preciso, para la elaboración de modelos de regresión lineal que describen el comportamiento de sus componentes de coordenadas en función del tiempo.

Es válido destacar que no se contó con suficiente información para la confección de dichos modelos predictivos, al emplearse solo 94 semanas GPS. Cuando en caso ideal sería necesario contar con al menos 104 semanas o lo que es lo mismo dos años de trabajo continuo. Aspecto que hubiese derivado en una mejor elaboración de los modelos predictivos.

El uso del servicio de PPP en línea CenterPoint RTX para la obtención de las soluciones de coordenadas de forma semanal, si bien aportó resultados en un nivel de precisión que pudiesen ser considerados aceptables. Debido a que esta clase de servicios aporta gran cantidad de datos que pueden ser considerados anómalos (Outliers) y la imposibilidad de sanear los mismos, al tratarse de un estudio en cierta medida del comportamiento geodinámico del emplazamiento de la estación. Su uso para trabajos de estas características solo se recomienda para obtener soluciones preliminares.

Por lo anterior se concluye emplear los resultados expuestos como valores preliminares, que sirvan como partida para el estudio del comportamiento geodinámico del emplazamiento de la estación.

Siendo la principal desventaja de este procedimiento la dependencia del servicio CenterPoint RTX de Trimble y por tanto estar condicionado al funcionamiento estable de este.

En posteriores investigaciones, se realiza la obtención de las soluciones de coordenadas con empleo de un software de uso científico (Bernese), para la obtención de forma precisa de estas, así como se evaluará el empleo de otros modelos matemáticos para la obtención de las componentes de velocidad del emplazamiento de la estación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera Agradecer de forma general a los compañeros que laboran en el laboratorio Metrológico No. 57 perteneciente a la empresa GEOCUBA Oriente Norte, por su apoyo y en especial al Ing. Yadnel Ricardo Ricardo por la información brindada para el desarrollo de esta investigación. Al MSc. Alejandro Ortiz Mora por su tiempo de consulta aun disponiendo de tan poco y sobre todo por soportarme cuando me pongo preguntón. Al DrC. Jorge García Díaz, por su apoyo al desarrollo de esta investigación y su consejo oportuno tanto en el ámbito profesional

como personal. A la dirección de la Agencia Holguín de la Empresa GEOCUBA Oriente Norte y a la dirección del Taller de Geodesia y Topografía de la misma por confiar en los Jóvenes. Por último y no menos importante a mi hija Ana Luna, por ser esa fuente que emana fuerzas, que no me deja darme por vencido a pesar de tantos obstáculos.

## REFERENCIAS

1. Estey, L., & W., S. (2014). *Teqc Tutorial: Basics of Teqc Use and Teqc Products*. Retrieved from UNAVCO:
2. García-Díaz, J. (2022a). Servicio de geodinámica GNSS del caribe. Convención Internacional Geomática 2022.
3. García-Díaz, J. (2022b). Servidor de estaciones GNSS continuas cubanas. Convención Internacional de Geomática 2024.
4. Mateo, M. L. (2011). *Determinación Precisa Velocidades en las estaciones GNSS de medición continua de américa Latina (Red SIRGAS)*. (Tesis Doctoral), Universidad Nacional de Cuyo.
5. Moya-Zamora, J. (2014). Cálculo, mediante la aplicación del algoritmo de ajuste por mínimos cuadrados, de los componentes de velocidad para estaciones GNSS continuas.
6. Rodríguez-Roche, E. (2016). *Creación de la Red GPS "Polígono de Validación GPS Holguín". Informe de Resultados*. Retrieved from Geocuba, Invetsigación y Consultroría:
7. 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, Invetsigación y Consultroría:
8. Rodríguez-Roche, E. (2024). Determinación de las coordenadas y las velocidades de la red GNSS permanente de Cuba: solución 2022-2023. Convención Internacional Geomática 2024.
9. Rojo-Abuín, J. M. (2007). *Regresión Lineal Simple*. Instituto de Economía y Geografía, Madrid.