



ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE DETERMINAN LA PRECISION DE LOS POSICIONAMIENTOS GPS POR EL METODO ESTATICO DIFERENCIAL EVALUANDO LOS PARAMETROS BASICOS ESTABLECIDOS POR LAS ENTIDADES PUBLICAS DE COLOMBIA.

ANALYSIS OF THE FACTORS THAT DETERMINE THE ACCURACY OF GPS POSITIONS BY THE DIFFERENTIAL STATIC METHOD, EVALUATING THE BASIC PARAMETERS ESTABLISHED BY PUBLIC ENTITIES IN COLOMBIA

Paola Andrea Ochoa Hurtado
Código 3101553
Ingeniera Topográfica

Director trabajo de grado:
Ing. Fredy Alberto Gutiérrez García
MSc Gestión de la Información y Tecnologías Geoespaciales
MSc in Geographic Information Science and Systems

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMATICA
DICIEMBRE 2021
BOGOTÁ-COLOMBIA**

ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE DETERMINAN LA PRECISION DE LOS POSICIONAMIENTOS GPS POR EL METODO ESTATICO DIFERENCIAL EVALUANDO LOS PARAMETROS BASICOS ESTABLECIDOS POR LAS ENTIDADES PUBLICAS DE COLOMBIA

ANALYSIS OF THE FACTORS THAT DETERMINE THE ACCURACY OF GPS POSITIONS BY THE DIFFERENTIAL STATIC METHOD, EVALUATING THE BASIC PARAMETERS ESTABLISHED BY PUBLIC ENTITIES IN COLOMBIA

Paola Andrea Ochoa Hurtado
Ingeniera Topográfica
Candidata a Especialista en Geomática
Universidad Militar Nueva Granada.
Bogotá, Colombia
est.paola.ochoa@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Este artículo presenta un análisis de los factores que determinan la precisión de las coordenadas obtenidas mediante posicionamientos de tipo estático diferencial evaluando los requerimientos básicos establecidos por diferentes entidades públicas. Lo anterior dado que actualmente Colombia no cuenta con una red de estaciones de registro continuo lo suficientemente densa que permita cumplir a cabalidad con todos los requerimientos establecidos como por ejemplo los tiempos de rastreo, por lo cual se hace necesario definir metodologías que permitan optimizar las condiciones de rastreo y pos proceso con el fin de obtener resultados precisos para la implementación de los diferentes proyectos de ingeniería de detalle, geología, hidráulica, etc..

Para este análisis se tomaron tres casos de uso ubicados en Barranquilla (Atlántico), Puerto Leguizamo (Putumayo) y Providencia (San Andrés y Providencia) que cuentan con características particulares en cuanto a ubicación, condiciones satelitales y equipos empleados. A partir de estos datos de rastreo se realizó en primer lugar un análisis de calidad mediante la implementación del software BKG Ntrip Cliente (BNC) en el cual se identificaron características tales como PDOP, saltos de señal, ruidos y efectos multipath de cada vértice posicionado. Lo anterior con el fin de definir las condiciones de satélites y evaluar cómo estas influyen en los resultados obtenidos en la etapa de posproceso.

Los resultados obtenidos muestran que el tiempo de rastreo no es un factor determinante en la precisión de las coordenadas calculadas ya que el error medio

cuadrático se encuentra influenciado en mayor proporción por las condiciones satélites del vector (disposición de satélites, PDOP, ruidos, saltos de señal, etc). Dentro de los resultados se destaca que en sitios donde no se cuenta con estaciones de registro continuo cercanas (vectores superiores a 150km) y que por ende los tiempos de rastreo serian equivalentes a más de 7 horas es posible mejorar la precisión de los datos empleando una tercera y/o cuarta determinación que permita aprovechar la mejor condición satelital del rastreo.

Palabras Clave: posicionamiento estático diferencial, tiempo de rastreo.

ABSTRACT

This article presents an analysis of the factors that determine the precision of the coordinates obtained through differential static type positioning, evaluating the basic requirements established by different public entities. The above given that currently Colombia does not have a network of continuous recording stations that is dense enough to fully comply with all the requirements established, such as tracking times, for which it is necessary to define methodologies that allow optimizing conditions. of tracking and post-process in order to obtain precise results for the implementation of the different detailed engineering projects, geology, hydraulics, etc.

For this analysis, three use cases were taken located in Barranquilla (Atlántico), Puerto Leguizamo (Putumayo) and Providencia (San Andrés and Providencia) that have particular characteristics in terms of location, satellite conditions and equipment used. From these tracking data, a quality analysis was first performed by implementing the BKG Ntrip Client (BNC) software in which characteristics such as PDOP, signal jumps, noise and multipath effects of each positioned vertex were identified. The above in order to define the satellite conditions and evaluate how these influence the results obtained in the post-processing stage.

The results obtained show that the tracking time is not a determining factor in the precision of the calculated coordinates since the mean square error is influenced to a greater extent by the satellite conditions of the vector (satellite arrangement, PDOP, noise, jumps of signal, etc). Among the results, it is highlighted that in places where there are no nearby continuous recording stations (vectors greater than 150km) and that therefore the tracking times would be equivalent to more than 7 hours, it is possible to improve the precision of the data using a third and / or fourth determination that allows to take advantage of the best satellite condition of the tracking.

Keywords: differential static positioning, tracking time

INTRODUCCIÓN

En Colombia “la máxima autoridad en regulación, producción y articulación con altos estándares de calidad, de la información geográfica, catastral y agrológica del país, contribuyendo con su desarrollo, para la toma de decisiones y definición políticas públicas” [5] es el Instituto Geográfico Agustín Codazzi el cual tiene planteado dentro de su normatividad estándares de calidad bajo los cuales se debe regir la georreferenciación de los diferentes tipos de cartografía teniendo en cuenta su propósito, sin embargo no hay un documento guía que establezca una metodología básica de posicionamiento en campo y pos proceso de la información basada en un análisis de los errores presentados en las mediciones. Lo anterior teniendo en cuenta que actualmente no se cuenta con una red de estaciones de registro continuo lo suficientemente densa que permita cumplir a cabalidad con todos los factores establecidos como por ejemplo los tiempos de rastreo, por lo cual se hace necesario definir metodologías que permitan optimizar las condiciones de rastreo y posproceso con el fin de obtener resultados precisos.

Las entidades públicas tales como el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) cuentan con su propia normatividad donde definen los requerimientos en cuanto a calidad y precisión de la información de georreferenciación pero aun no plantean una metodología con los factores a tener en cuenta en los trabajos de campo y en el posproceso de información GPS con el objetivo de reducir los diferentes errores que influyen en la precisión de las mediciones.

Adicionalmente en el campo laboral es frecuente encontrar inconsistencias en las metodologías de cálculo empleadas entre diferentes contratistas puesto que no hay claridad en la ponderación de los factores que determinan la precisión de las coordenadas obtenidas a partir de posicionamiento GPS. Lo anterior genera que se realicen procesamientos erróneos o que se omitan elementos importantes, puesto que en diferentes ocasiones estos cálculos se limitan a ingresar la información rastreada al programa y realizar un cálculo de forma semiautomática sin llevar a cabo un verdadero análisis de la información.

En la actualidad la tecnología satelital permite determinar, con muy buena precisión la posición espacial de objetos fijos o móviles sobre la superficie terrestre medidos respecto de un sistema de referencia fijo a la Tierra [1]

El método estático diferencial mediante equipos GPS es ampliamente utilizado en la determinación de coordenadas precisas, teniendo una gran variedad de aplicaciones tales como movimientos sísmicos, vulcanología, aplicaciones geodinámicas y geográficas etc. Adicionalmente la implementación de este método constituye una herramienta fundamental en la etapa de georreferenciación de proyectos de diseño y construcción, control de estructuras y demás proyectos de ingeniería donde se requiere una alta precisión y fiabilidad de los datos [2].

La precisión de la señal GPS es perturbada por diferentes errores como por ejemplo los errores de órbita, reloj, efemérides, refracción troposférica, refracción ionosférica, interrupción de la señal, ruido térmico, multipath, pérdidas de ciclos, entre otros [3]

Por lo anterior y teniendo en cuenta que el cálculo de posición depende de dos parámetros importantes como la posición del satélite y del reloj que está dentro de éste [3] en el desarrollo del proyecto se tuvieron en cuenta conceptos fundamentales como la Dilución de la Precisión en Posición (PDOP) la cual proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D [4], la Dilución vertical de la precisión VDOP, la Dilución Horizontal de la precisión HDOP y la dilución geométrica de la precisión GDOP [4].

Adicionalmente se tuvieron en cuenta los retrasos ionosféricos y atmosféricos, errores en el reloj del satélite y del receptor junto con el efecto multitrayectoria [4]

Con base en la problemática descrita el trabajo se orientó a realizar un análisis de los factores que determinan la precisión de las coordenadas calculadas a partir de posicionamiento GPS¹. Para esto se llevó a cabo el pos proceso y análisis de 6 vértices posicionados en diferentes lugares del país bajo diversas condiciones.

Para la ejecución del análisis se elaboró en primer lugar una comparación de los requerimientos de precisión y metodologías de georreferenciación de diferentes entidades públicas con el objetivo de definir los parámetros básicos a la fecha que se encuentran establecidos para la elaboración de la georreferenciación. Lo anterior con el fin de que a partir de los cálculos realizados se pueda validar si estos abarcan la totalidad de los factores que influyen en la precisión o si por el contrario no son específicos o no son claramente determinantes.

Recopilada y comparada la información de los requerimientos básicos se realizó el análisis de calidad de los datos mediante el software BNC donde se evaluó la calidad de la señal recibida identificando saltos de señal, disponibilidad de satélites, efecto multipath y PDOP.

Una vez definidas las condiciones satelitales de los puntos se realizó el pos proceso de la información mediante el software Trimble Business Center. Para cada caso se establecieron diferentes parámetros de cálculo con el fin de determinar cómo estos influían en la precisión de las coordenadas obtenidas. Estos parámetros se refieren a incluir una tercera y/o cuarta estación de registro continuo (CORS), modificación de la máscara de elevación y recorte de tiempos de rastreo para la ejecución del cálculo.

Teniendo en cuenta los cálculos elaborados se llevó a cabo el análisis de la influencia de cada factor en los resultados obtenidos y se generaron las conclusiones correspondientes las cuales quedan como base para la elaboración de una guía metodológica de georreferenciación en zonas con condiciones especiales que incluya indicaciones de los procedimientos a realizar tanto en la etapa de campo como en la etapa de pos proceso de tal forma que se garantice la calidad y precisión requerida.

¹ Método estático diferencial

ETAPA PREPARATORIA

RECOPIACIÓN Y COMPARACIÓN NORMATIVIDAD VIGENTE

Con el objetivo de identificar los parámetros requeridos actualmente por diferentes entidades públicas y de esta forma definir estándares básicos bajo los cuales establecer una metodología que cumpla con todos los requerimientos, se realizó la consulta de diferentes anexos técnicos que corresponden a las siguientes entidades públicas:

- Instituto Nacional de Vías - INVIAS
- Fondo de Desarrollo de Proyectos de Cundinamarca - FONDECUN
- Instituto de Infraestructura y Concesiones de Cundinamarca-ICCU
- Empresa Nacional Promotora del Desarrollo Territorial-ENTERRITORIO
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC
- Instituto de Desarrollo Urbano - IDU
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB

En la consulta realizada se evaluaron los requerimientos establecidos en la normatividad de cada entidad en lo que corresponde al ítem de georreferenciación identificando los siguientes aspectos:

- Sistema de Referencia: este difiere en los términos de cada entidad puesto que teniendo en cuenta la dimensión del proyecto a realizar se define el sistema coordinado proyectado a emplear. Sin embargo, es importante tenerlo en cuenta para definir el sistema en que se debe realizar el cálculo y ajuste de coordenadas.
- Equipos GPS: en los Anexos donde se especifican los equipos GPS a emplear se establece que sean doble o multifrecuencia preferiblemente RTK y GLONASS. Cabe resaltar que en la Resolución 643 de 2018 aún se contempla emplear equipos de una sola frecuencia incrementando el tiempo de rastreo.
- Metodología en campo
 - *Ubicación
 - *Simultaneidad
 - *Mascara de despeje
 - *Tiempo de rastreo
- Metodología pos proceso
 - *Mascara
 - *PDOP
 - *Precisión mínima requerida

ENTIDAD	SISTEMA DE REFERENCIA	EQUIPOS	METODOLOGIA CAMPO	METODOLOGIA POSPROCESO
INVIAS	MAGNA-SIRGAS	GPS doble frecuencia preferiblemente sistema RTK y GLONASS	Máscara de despeje de mínimo 30°. Posicionamiento creando una red geodésica de alta precisión con el método estático diferencial Doble determinación usando un mínimo de 4 equipos	Utilizar las efemérides precisas del IGNS para las semanas en que se realizó el posicionamiento.
FONDECUN	No especifica	GNSS (GPS - GLONASS) multi frecuencia	Triangulaciones, amarrando la pareja de vértices con la base de operación continua utilizada. Tiempo de rastreo = 25 minutos + 5 minutos por kilómetro de separación entre la base y el rover. PDOP<4 Épocas cada 15"	La georreferenciación de los puntos de amarre se debe realizar con métodos diferenciales (estático, estático rápido). Mascara de elevación 15° Se debe garantizar una precisión absoluta de la posición $\leq 0.02m$ Precisión horizontal (< 0.02 m), precisión vertical (<0.4m)
ICCU	No especifica	Los equipos deberán ser doble frecuencia, preferiblemente tener sistema RTK y GLONASS	Posicionamiento creando una red geodésica de alta precisión con el método estático diferencial Doble determinación usando un mínimo de 4 equipos	Utilizar las efemérides precisas del IGNS para las semanas en que se realizó el posicionamiento.

ENTIDAD	SISTEMA DE REFERENCIA	EQUIPOS	METODOLOGIA CAMPO	METODOLOGIA POSPROCESO
ENTERRITORIO	Refiere a Resolución 068 de 2005 y Resolución 715 de 2018 del IGAC	Refiere a Resolución 068 de 2005 y Resolución 715 de 2018 del IGAC	<p>Tiempo de rastreo = 65 min + (3 min x (d-10)), donde: t = Tiempo de rastreo d = Distancia en kilómetros entre la estación MAGNA-ECO</p>	<p>Posicionamiento de vértices a partir de dos puntos geodésicos de la red MAGNA-pasiva o dos estaciones permanentes de la Red MAGNA-ECO o una combinación de ambas (doble determinación), mediante el método estático diferencial.</p>
IGAC	<p>Coordenadas planas cartesianas origen local MAGNA-SIRGAS si la zona donde se desarrollará el proyecto se encuentra a una distancia mayor a 20 kilómetros del origen local certificado y publicado por el IGAC, se creará un origen específico</p>	GNSS (GPS - GLONASS)	<p>Tiempo de rastreo = 65 min + (3 min x (d-10)), donde: t = Tiempo de rastreo d = Distancia en kilómetros entre la estación MAGNA-ECO</p>	<p>El valor del GDOP sea menor a 8 o su equivalente La máscara de elevación debe estar en un rango de 5° - 25° El promedio ponderado es de máximo 0.075 m en posición horizontal y vertical</p>

ENTIDAD	SISTEMA DE REFERENCIA	EQUIPOS	METODOLOGIA CAMPO	METODOLOGIA POSPROCESO
	para el proyecto			
IDU	Planas Cartesianas-Origen Bogotá 2011 Época 2018.0	Receptor GNSS, multifrecuencia o doble frecuencia, precisión geodésica, con precisión en método estático mínimo de 4mm + 1 ppm horizontal y 7mm + 2 ppm vertical, ángulo mínimo de recepción 15° grados sobre el horizonte, duración de épocas a captar entre 1 y 15 segundos máximo	Mascara de elevación 15° Tiempo de rastreo = 25 minutos + 5 minutos por kilómetro de separación entre la base y el rover. PDOP<4 Épocas entre 1" y 15" Distancia mínima entre vértices 100m	Los datos deben pasar la prueba de test Chi-Cuadrado o F (95%), con niveles de confianza mayor o igual al 95% para garantizar la validación del modelo. Los datos deben pasar los test que evalúan la calidad de cada punto con nivel de confianza mayor o igual al 95% Mascara de elevación 15° Posicionamiento GPS Diferencial de Fase Posicionamiento Diferencial de Fase Estático Posicionamiento Diferencial de Fase Estático Rápido

ENTIDAD	SISTEMA DE REFERENCIA	EQUIPOS	METODOLOGIA CAMPO	METODOLOGIA POSPROCESO
EAAB	Planas Cartesianas-Origen Bogotá 2011 Época 2018.0	Receptores GNSS doble frecuencia (L1 y L2), con precisión horizontal de 5 mm + 1 ppm; con recepción mínimo de 9 canales , definición de la geometría de los satélites, facilidad de selección o rechazo de las señales, antena para la eliminación de señales rebotadas	$Tr = Te + (N \times D)$ (ecuación 1) En donde: Tr= Tiempo de rastreo. Te= 20 minutos. N= 5 minutos por kilómetro de la base más lejana. D= Distancia en kilómetros PDOP >4	Usar como mínimo dos (2) estaciones de referencia permanente o estaciones activas adscritas a la RED MAGNA SIRGAS Mascara de elevación 15° Los cálculos para el pos proceso en su error medio cuadrático no deberá ser superior a 0.02 metros

DEFINICION PARAMETROS BASICOS

Una vez identificados los requerimientos establecidos por las diferentes entidades se identificaron los siguientes parámetros en común:

- Los equipos deberán ser doble frecuencia sin excepción y preferiblemente tener sistema RTK y GLONASS [5], [6]

- Deben realizarse triangulaciones, amarrando la pareja de vértices con la base de operación continúa utilizada, sea esta la base del IGAC (BOGA) o cualquier otro punto de la Nueva Red Geodésica del Distrito Capital ligados al Marco Geocéntrico Nacional de Referencia (MAGNA) [7]

- Para la georreferenciación se pueden utilizar puntos geodésicos existentes de la Red MAGNA-SIRGAS pasiva debidamente certificados por el IGAC y realizar un traslado de coordenadas hasta los puntos topográficos base materializados. También se pueden posicionar satelitalmente estos puntos materializados con equipos de doble frecuencia (GNSS), a partir de dos puntos geodésicos de la red MAGNA-pasiva o dos estaciones permanentes de la Red MAGNA-ECO o una combinación de ambas (doble determinación), mediante el método estático diferencial. ([8]

- Para realizar los cálculos el consultor deberá utilizar las efemérides precisas del IGNS para las semanas en que se realizó el posicionamiento. (ICCU, INVIAS)

- Se debe obtener un PDOP inferior a 4 [9] [5],,

- Tiempo = 25 minutos + 5 minutos por kilómetro de separación entre la base y el rover [9] [5] [10]

- Tiempo de rastreo = 65 min + (3 min x (d-10)),
donde:

d = Distancia en kilómetros entre la estación MAGNA-ECO o el punto de la Red MAGNA Pasiva y el punto topográfico base a posicionar [12]

RECOPIACION DE DATOS DE RASTREO

Luego de tener los requerimientos basicos definidos se escogieron tres casos de estudio para analizar los factores que influyen en la precision de las coordenadas obtenidas. Dado el enfoque del analisis se escogieron tres parejas de vertices ubicadas en la isla de Providencia (San Andres y Providencia) , Barranquilla (Atlantico) y Puerto Leguizamo(Putumayo) los cuales cuentan con las características que se describen a continuacion:

Posicionamiento Providencia

VERTICE	HORA INICIO	HORA FIN	TIEMPO DE RASTREO	ALT. INS.	EQUIPO
PL75	9:14	3:45	6:30	1.453	TRIMBLE 5800
PL76	9:11	4:16	7:05	1.855	TRIMBLE 5800

Posicionamiento Barranquilla

VERTICE	HORA INICIO	HORA FIN	TIEMPO DE RASTREO	ALT. INS.	EQUIPO
PL47	9:54	4:07	6:12	1.498	TRIMBLE 5800
PL48	12:43	2:12	1:29	1.455	TRIMBLE 5800

Posicionamiento Puerto Leguizamo

VERTICE	HORA INICIO	HORA FIN	TIEMPO DE RASTREO	ALT. INS.	EQUIPO
PL73	6:19	2:54	8:34	1.401	TRIMBLE 5800
PL74	6:41	2:51	8:10	1.855	TRIMBLE 5800

ETAPA DE PROCESAMIENTO

ANALISIS DE CONDICIONES SATELITALES

El analisis de las condiciones satelitales de cada uno de los vertices posicionados se realizo mediante el software BNC en el cual se ingresaron los Rinex navegados y observados de cada vertice y se genero el analisis de calidad evaluando 4 aspectos:

- a. Calidad de señal: perdidas de señal debido a interferencia ionosferica u obstrucciones que causen la interrupcion de la señal.
- b. Efecto multitrayecto: grafica de analisis de la distorsion de la señal debido a la reflexion de esta sobre diferentes objetos.
- c. SNR (Signal to Noise Ratio): relacion señal-ruido teniendo en cuenta las condiciones ionosfericas, efecto multitrayecto y satelites bajos en el horizonte.
- d. PDOP: Esta imprecisión está derivada de la geometría de los satélites respecto al receptor GPS. Dado que sus órbitas son conocidas (almanaque), existen algoritmos para calcular las diferentes DOP, tanto en tiempo real como con antelación.

Analisis Providencia

a. Calidad de la Señal:

Para el posicionamiento del vertice PL75 se habia realizado inicialmente una planeacion mediante el aplicativo Planning del software TBC en el cual se obtuvo que para la fecha de rastreo se tendrian disponibles 34 satelites(20 GPS 14 GLONASS) donde la mejor calidad de señal estaria dada por los satelites G7, G8, G9, G17 y G30. Al observar esta misma grafica obtenida a partir de los datos del posicionamiento realizado se evidencia que se conto con la señal de 25 satelites(17 GPS y 8 GLONASS) de los cuales se obtuvo la mejor señal de los satelites G1,G7,G9, G17,G19 y G30. Por lo anterior se evidencia que tanto en la planeacion como en los datos obtenidos en el posicionamiento los satelites G7,G9, G17 y G30 presentan una señal optima.

A partir de la grafica de la señal recibida de los satelites durante el posicionamiento realizado en cada vertice se establecieron rangos cada hora y se contabilizo el numero de satelites que contaron con una buena recepcion obteniendo el porcentaje de calidad de señal dando como resultado que la mejor condicion satelital del vertice PL75 estuvo dada de las 17:14 a las 19:14 (Hora UTC) con una calidad de señal del 40%. Cabe resaltar que aun cuando en esta hora se presento la mejor recepcion en el tiempo de rastreo restante se obtuvieron resultados del 24%.

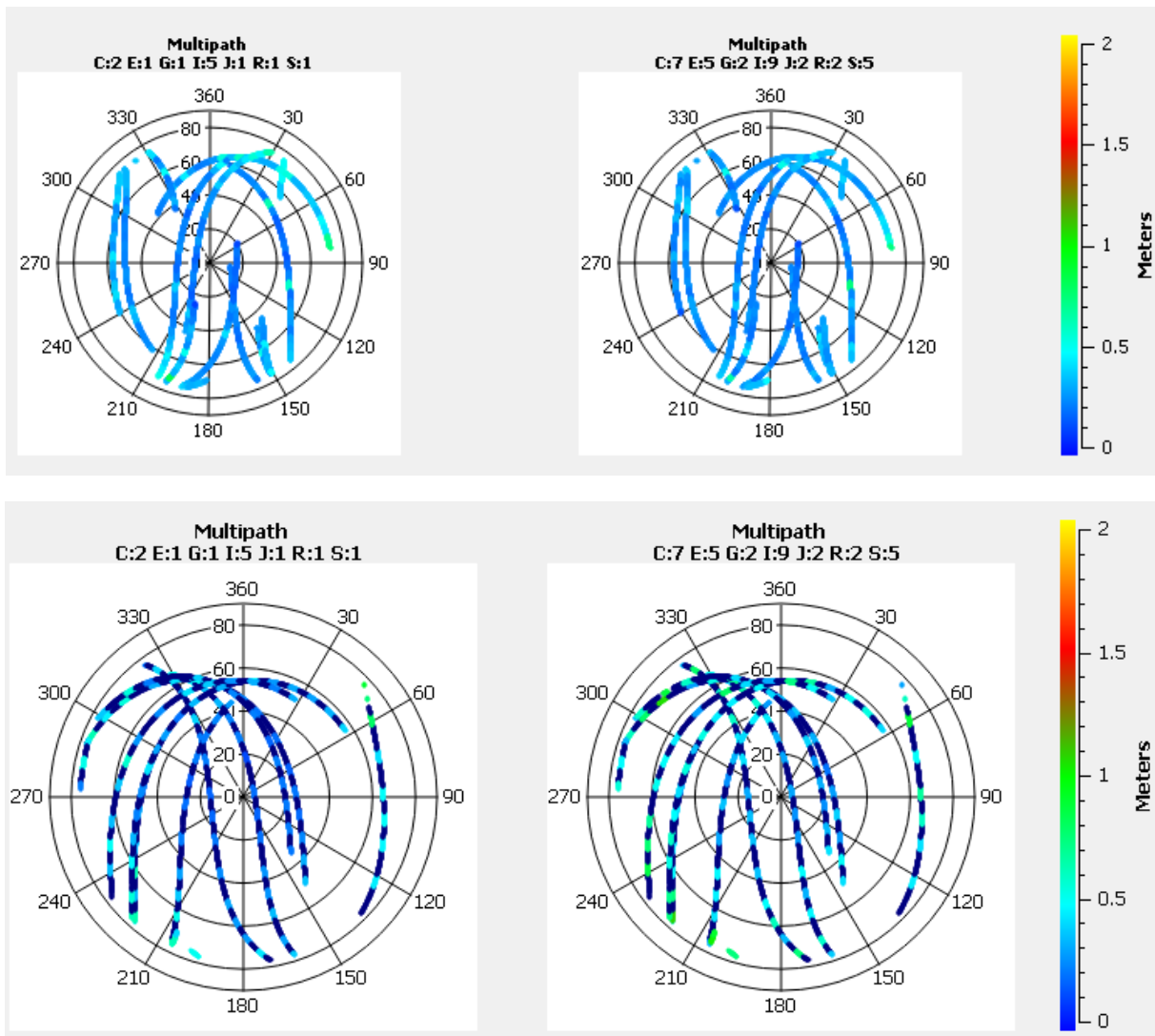
Adicionalmente se realizo el analisis del tiempo efectivo de rastreo para lo cual se sumaron los tiempos en que se conto con una señal de optima calidad (sin interferencias ni saltos de ciclo) obteniendo que de las 6 horas 31 minutos de rastreo se conto un tiempo efectivo de 4 horas 45 minutos.

El analisis descrito anteriormente se llevo a cabo para el vertice PL76 en donde se encontro que los satelites en comun entre la etapa de planeacion y el rastreo realizado corresponden al G1, G7, G8, G9, G14, G17 y G30. Al realizar el analisis de calidad por hora se obtuvo porcentajes de 47% entre las 15:11 y 16:11 y un tiempo efectivo de rastreo de 3horas 30 minutos.

Con el fin de determinar las bases a emplear de acuerdo a la calidad de la señal se realizo el analisis de las estaciones SAMA(Santa Marta), SONE (San Onofre), CART (Cartagena) y BQLA (Barranquilla). Encontrando que se obtuvieron 6 satelites en comun en optimas condiciones durante el intervalo de tiempo en el que se realizo el rastreo los cuales corresponden a los satelites G1, G7, G8, G9, G17 y G30. Sin embargo, dada la ubicación de las estaciones se precisa emplear como estaciones de referencia las estaciones SONE y SAMA esto teniendo en cuenta la geometria de la red. Cabe resaltar que con base en los satelites en comun las estaciones BQLA y CART pueden ser adicionadas al posproceso puesto que se pueden obtener mejores precisiones y contribuyen al control de calidad y ajuste de la red.

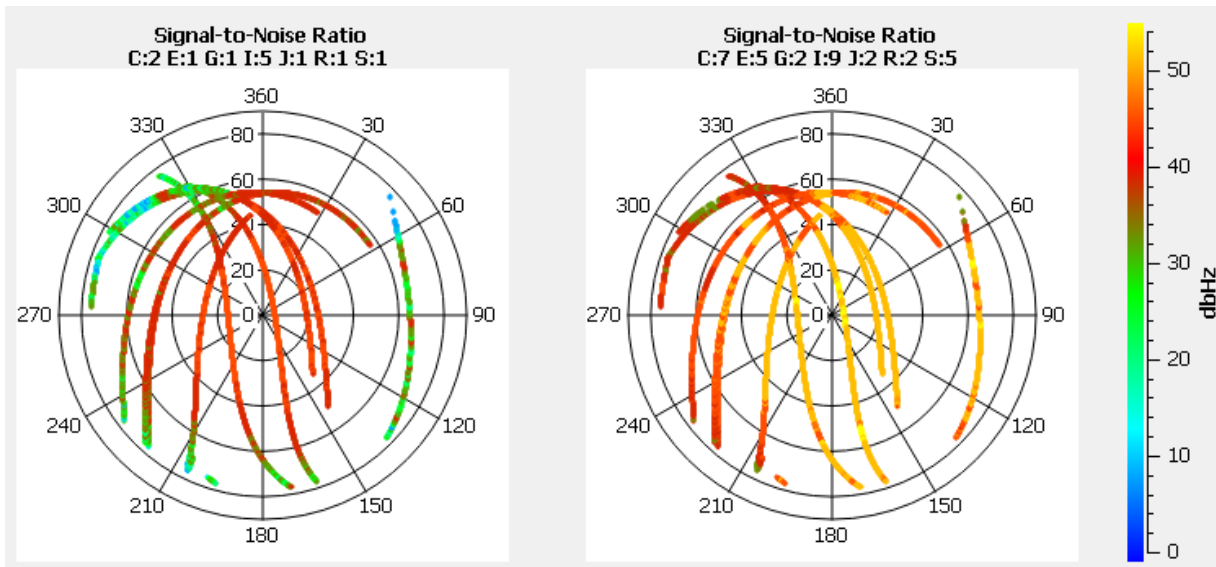
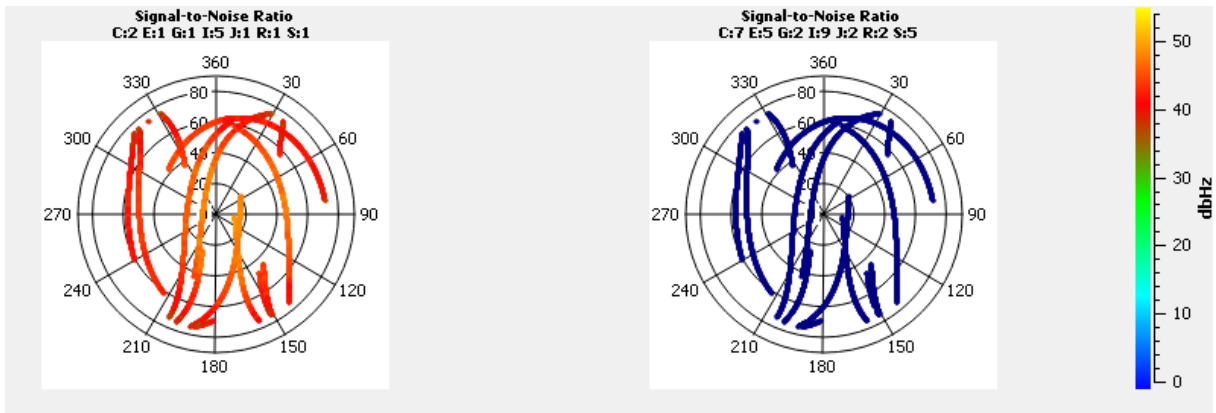
b. *Efecto Multitrayecto:*

Los vertices PL75 y PL76 presentan interferencias por efecto multitrayecto leves como se puede observar en las graficas en color azul, sin embargo se denotan algunas interferencias de mayor intensidad en una direccion de 70° para el vertice PL75 y para el PL76 a una direccion de 210°.



c. *SNR*

En la grafica de relacion de señal-ruido se presentan los satelites que presentaron señal nula, y señal baja y su trayectoria sobre la esfera celeste



d. PDOP

El PDOP planificado iniciaba en 1.6 y finalizaba en 1.68 con un valor maximo de 1.8, sin embargo una vez realizado el posicionamiento se obtuvo un PDOP inicial de 8 y final de 1.8 con un valor maximo de 12.

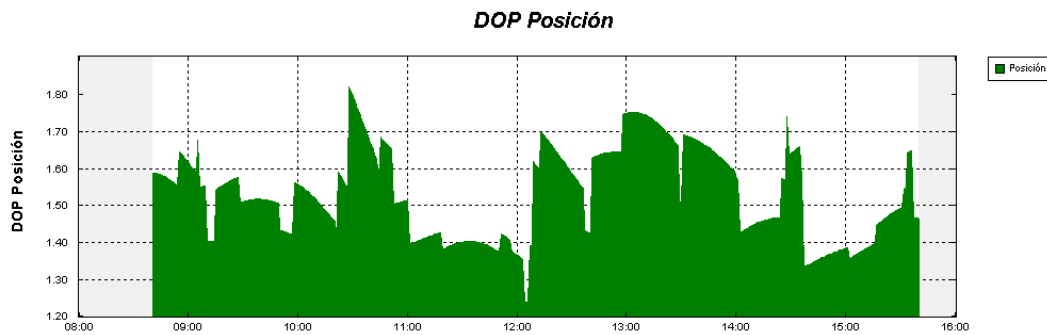


Ilustración 2 PDOP planificado. Planning, TBC.

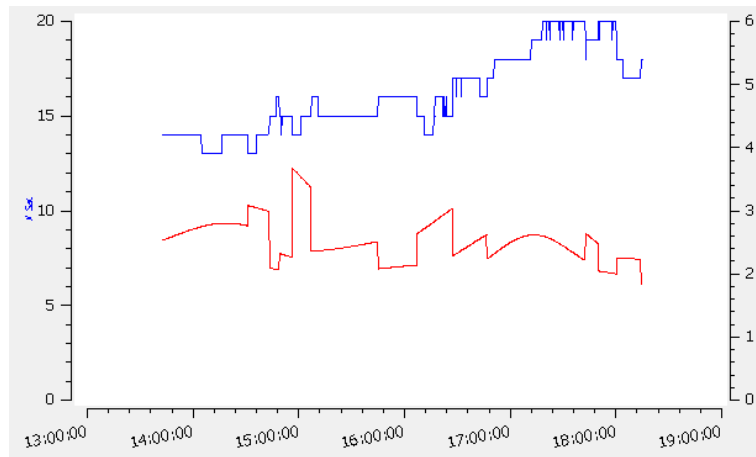


Ilustración 3 PDOP obtenido en el posicionamiento. BNC..

Analisis Barranquilla

a. Calidad de la Señal:

Para el posicionamiento del vertice PL48 se realizo la planeacion mediante el aplicativo Planning del software TBC en el cual se obtuvo que para la fecha de rastreo se tendrían disponibles 18 satelites(11 GPS y 7 GLONASS) donde la mejor calidad de señal estaria dada por los satelites G01, G07, G09, G14, G17, G19, G21 y G30. Al observar esta misma grafica obtenida a partir de los datos del posicionamiento realizado se evidencia que se conto con la señal de 11 satelites GPS de los cuales se obtuvo la mejor señal de los satelites G02,G03,G14, G17 y G30. Por lo anterior se evidencia que tanto en la planeacion como en los datos obtenidos en el posicionamiento los satelites G17 y G30 presentan una buena señal. A partir del analisis realizado se obtuvo que el tiempo de rastreo optimo para este vertice fue de 1 hora.

Por otra parte el PL47 no fue posible materializarlo en el sitio planteado originalmente debido a las condiciones estructurales del sector, por esto la unica ubicación viable para este vertice fue cercano a una construccion de gran altura la cual influyo en la recepcion de señal del mismo.

Al realizar la planificacion con la nueva ubicación del vertice se obtiene 30 satelites visibles, sin embargo dadas las condiciones del vertice solo recibio señales de 16. Cabe resaltar que este posicionamiento conto con un tiempo de rastreo de 6h 12min de los cuales solo fueron optimos 1h 20 minutos debido a los obstaculos presentes en el horizonte del vertice.

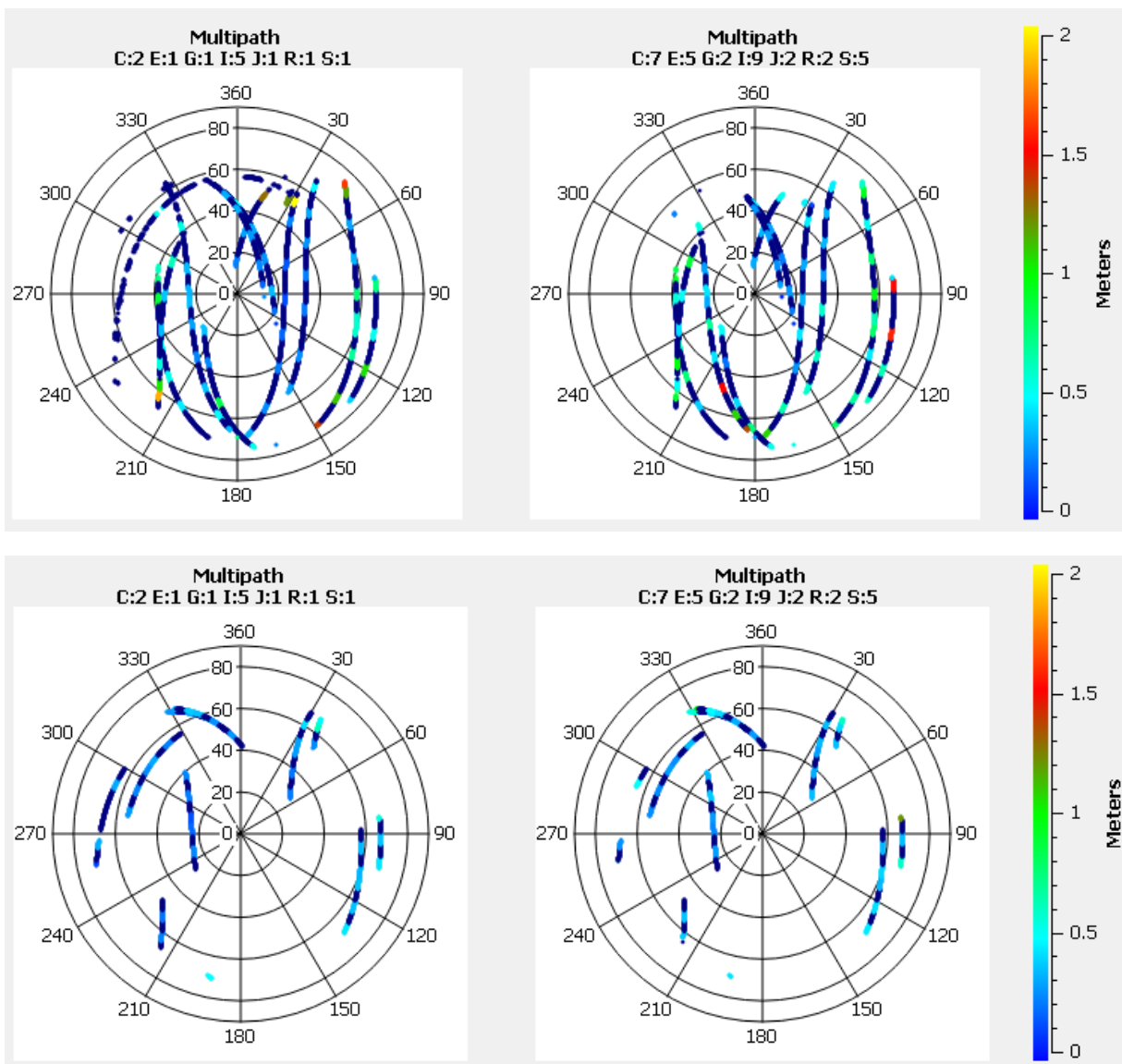
Para definir las bases a emplear como referencia se analizaron los satelites en comun entre las estaciones y los vertices posicionados, para esto se tuvieron en cuenta las esaciones VPOL(municipio de Polonuevo, Atlantico), DICA(ubicada en la Direccion y Administracion Maritima de la ciudad de Barranquilla), BQLA(Barranquilla) y SAMA (Santa Marta).

A continuacion se presentan los satelites con mejor calidad de cada una de las estacions de registro continuo

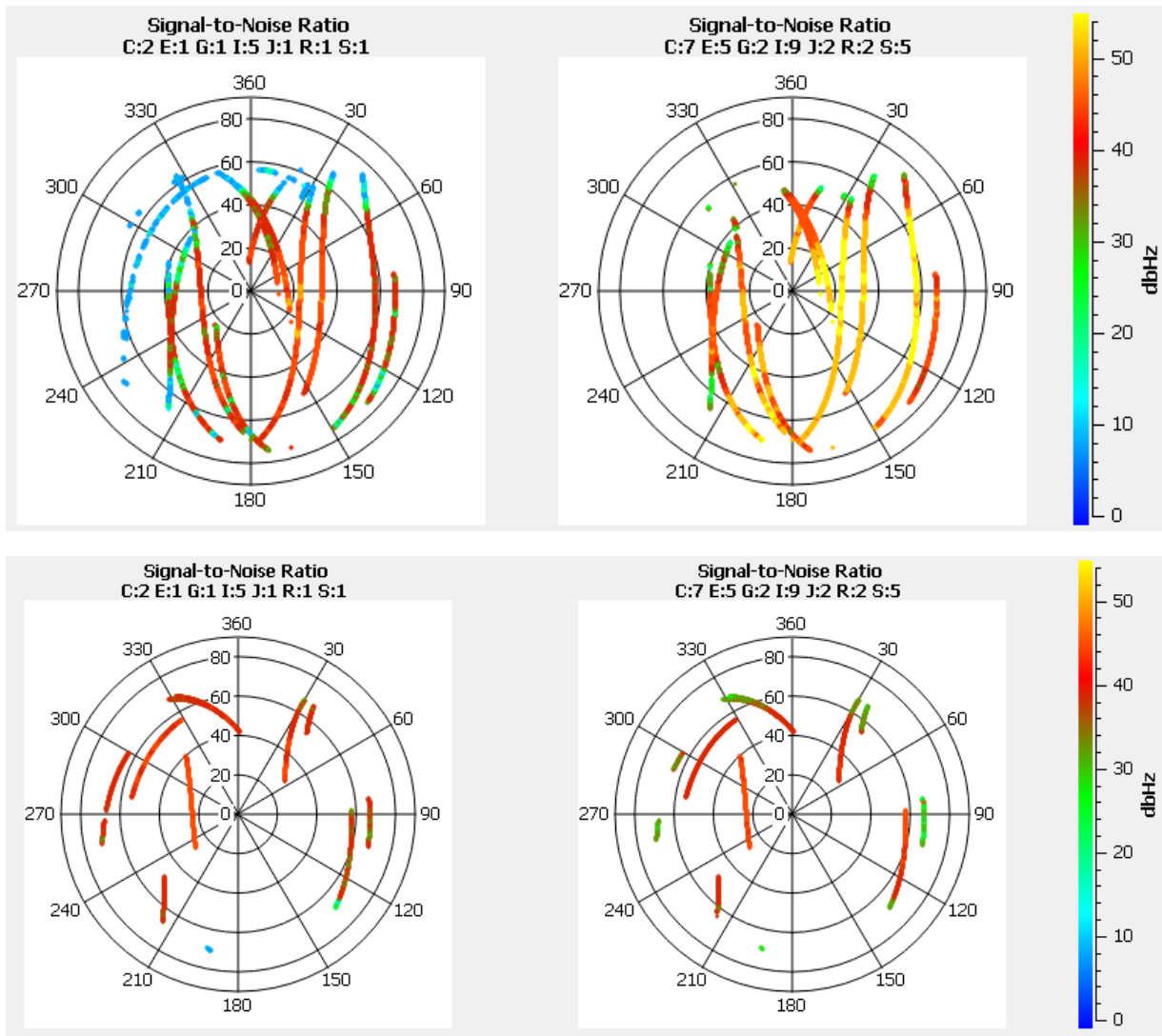
- DICA: G01, G04, G07, G08, G09, G16, G17, G21, G22
- VPOL: G01, G03, G04, G09, G21, G22
- BQLA: G01, G03, G04, G08, G09, G21, G22, G27, G30
- SAMA: G01, G03, G08, G09, G21, G22, G30

b. *Efecto Multitrayecto:*

Las graficas muestran que las señales con efecto multipath fueron bajas, sin embargo se presentan algunos saltos de ciclo y señal.



- c. *SNR*: en este analisis podemos identificar ls zona de alta interferencia donde se muestra los saltos de señal hacia el costado nororoientaque corresponde al sector de mayor interferencia de la zona.



Analisis Puerto leguizamo

a. *Calidad de la Señal:*

Para el posicionamiento del vertice PL73 se realizo la planeacion mediante el aplicativo Planning del software TBC en el cual se obtuvo que para la fecha de rastreo se tendrían disponibles 36 satelites(21 GPS y 15 GLONASS) donde la mejor calidad de señal estaria dada por los satelites G01, G3, G4, G21, G22, G27 y G28. Al observar esta misma grafica obtenida a partir de los datos del posicionamiento realizado se evidencia que se conto con la señal de 21 satelites GPS de los cuales se obtuvo la mejor señal de los satelites G01,G03,G04, G08, G21 y G22. Por lo anterior se evidencia que tanto en la planeacion como en los datos obtenidos en el posicionamiento los satelites G1, G3, G4 y G21 presentan una buena señal.

Adicionalmente se realizo el analisis del tiempo de rastreo obteniendo que de las 8 horas 20 minutos de rastreo se conto con un tiempo optimo de 5 horas 20 minutos.

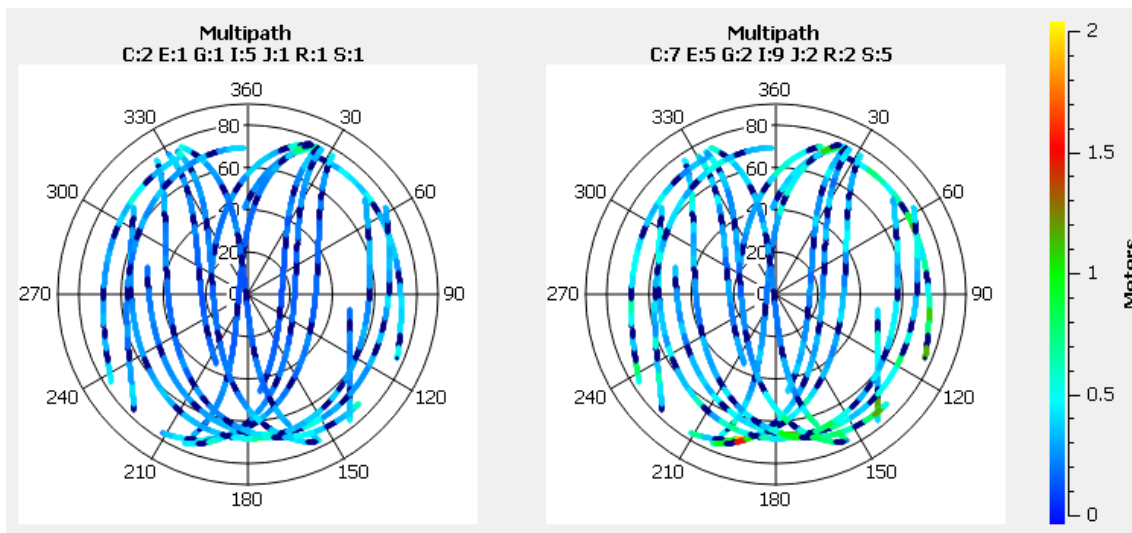
El vertice PL74 mostraba en la etapa de planeacion disponibilidad de 36 satelites donde la mejor recepcion estaria dada por los satelites G01,G03, G09, G21, G27 y G28. Al analizar la grafica del rastreo realizado se obtuvo recepcion de 20 satelites de los cuales la mejor recepcion estuvo dada por los satelites G01, G03, G09, G21 y G22 coincidiendo con lo observado en la etapa de planeacion.

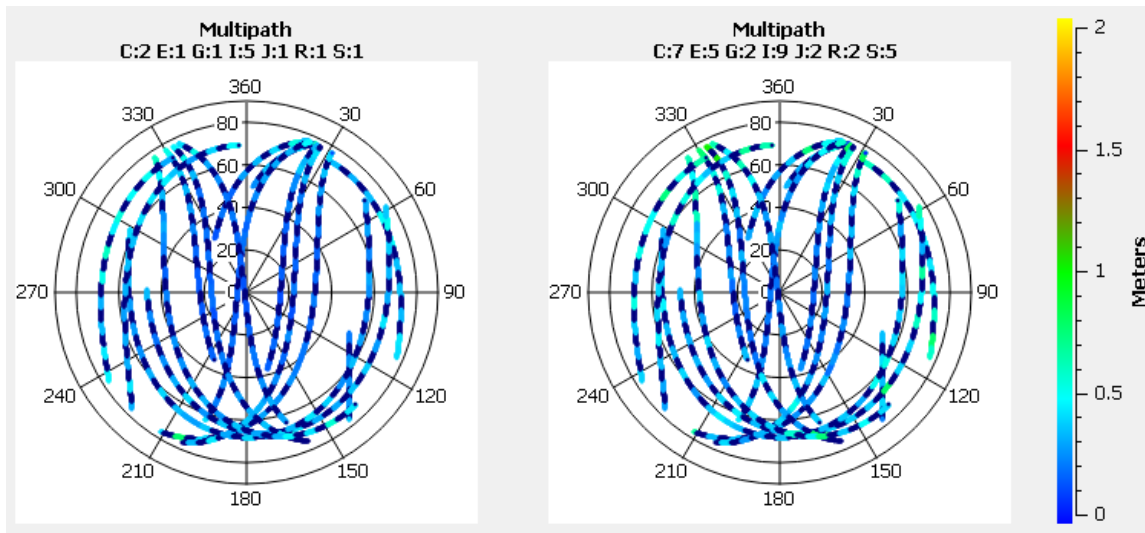
Se llevo a cabo la revision del tiempo de rastreo donde se evidenciaron interferencias razon por la cual el tiempo con calidad optima de señal se vio reducido de las 7h 30 minutos a 4 horas donde la mejor calidad de señal se encontro de las 14:20 a las 15 horas (UTC)

Luego se analizaron los satelites en comun entre las estaciones y los vertices posicionados, para esto se tuvieron en cuenta las esaciones POPA(Popayan) y PSTO(Pasto). La estacion de PSTO conto con una buena recepcion de los satelites G01,G03, G04,G09, G10, G21 y G22 durante el tiempo de rastreo de los vertices y la estacion POPA tuvo los siguientes satwlites en comun con optima señal: G01, G03, G04,G08,G09,G21 y G22.

b. *Efecto Multitrayecto:*

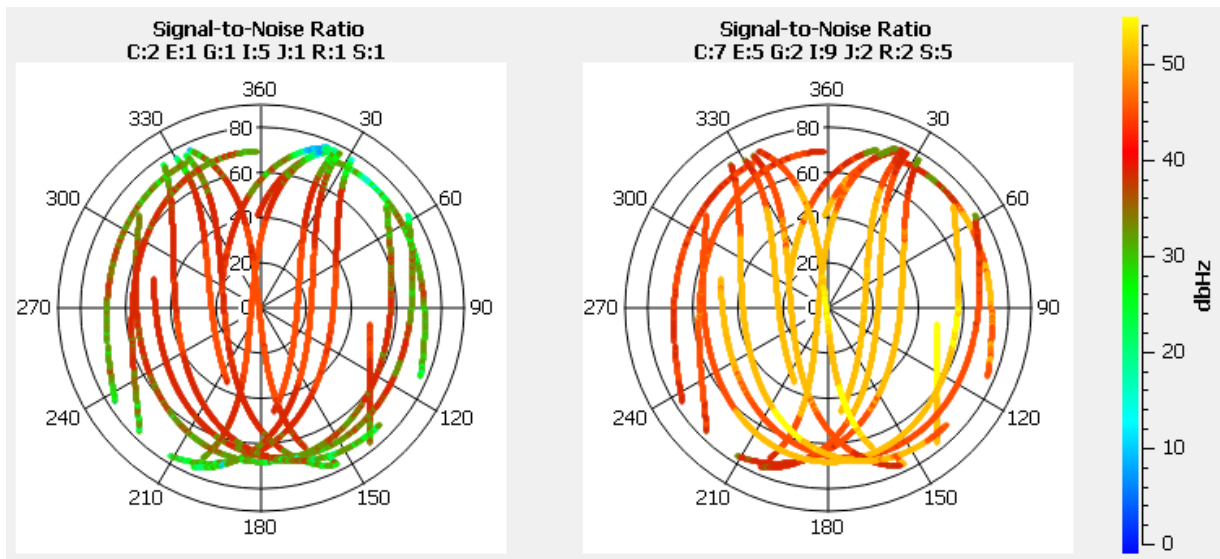
Se presentaron señales con efecto multitrayecto sin embargo estos fueron de baja intensidad como se puede observar en la grafica

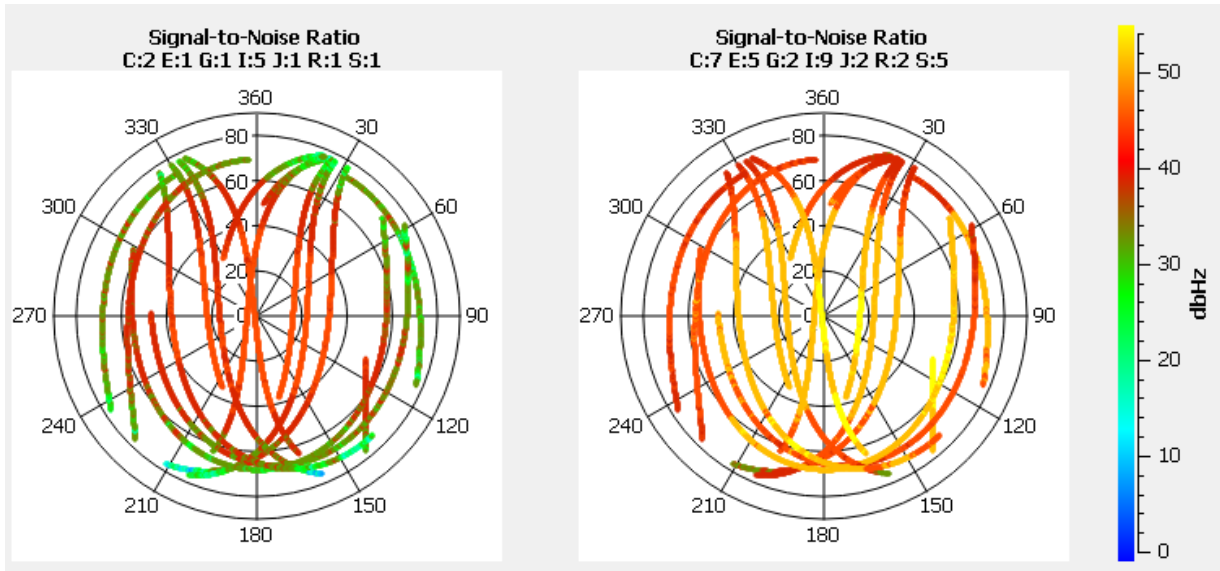




c. SNR

Se presenta la trayectoria de los satelites con bajas intensidades donde se observa la trayectoria de los satelites que contaron con baja intensidad de señal.





a. PDOP

El PDOP planificado iniciaba en 1.7 y finalizaba en 1.45 con un valor maximo de 1.85, sin embargo una vez realizado el posicionamiento se obtuvo un PDOP inicial de 6.8 y final de 3.8 con un valor maximo de 12.

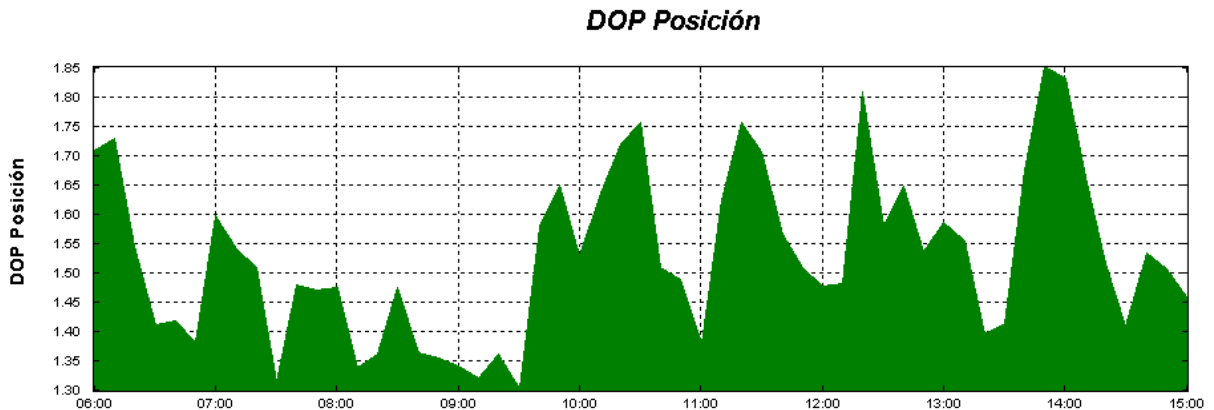


Ilustración 4 PDOP planificado. Planning, TBC.

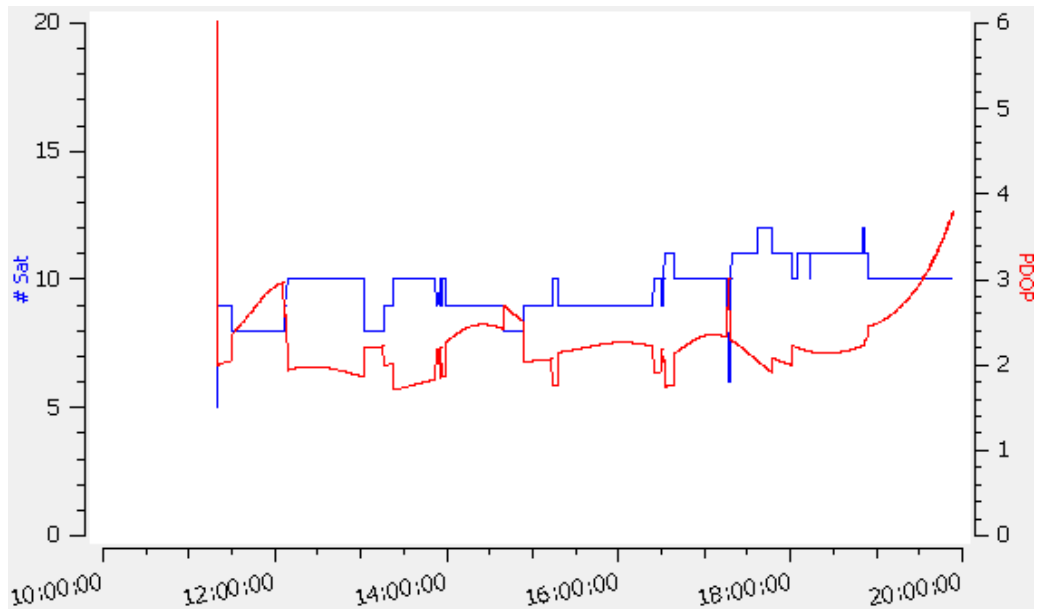


Ilustración 5 PDOP obtenido en el posicionamiento. BNC.

POSPROCESO DE INFORMACION

El posproceso de la información GPS se llevó a cabo en el software Trimble Business Center en su versión 3.5. Para el cálculo de cada pareja de vértices se emplearon datos Rinex de las estaciones de registro continuo pertenecientes a la Red Magna Eco los cuales fueron obtenidos a partir del ftp dispuesto por el IGAC para tal fin. Las coordenadas semanales empleadas fueron obtenidas a partir del portal web de SIRGAS y del ftp del IGAC en los casos que se emplearon estaciones no pertenecientes a SIRGAS. Los archivos Rinex y coordenadas pertenecientes a la red Geored fueron solicitadas mediante el formulario dispuesto por el Servicio Geológico Colombiano en su portal web. Cabe resaltar que para cada cálculo se emplearon efemerides precisas las cuales fueron descargadas del portal de la NASA y se utilizaron los archivos de antena descargados del portal web del IGS,

Posproceso Providencia

Con base en el análisis de calidad realizado se llevó a cabo el cálculo de los vértices PL75 y PL76 teniendo en cuenta que se empleara únicamente los satélites con condiciones óptimas de señal y que tuviesen la mayor cantidad de tiempo de rastreo en común con los presentados en las bases correspondientes. Es decir que se emplearon los satélites G1, G7, G8, G9, G17 y G30. Adicionalmente se tuvo en cuenta la restricción de la franja de tiempo que presentó el porcentaje más alto de calidad de señal correspondiente al rastreo realizado desde las 15:14 a las 19:14 (Hora UTC).

Adicionalmente cabe resaltar que para el posproceso de la información se emplearon efemerides precisas correspondientes al día de rastreo, día anterior y día siguiente para proporcionar un mejor ajuste. Las coordenadas semanales empleadas corresponden a la semana 2152.

Las estaciones de registro continuo a emplear fueron definidas de acuerdo a las condiciones de señal evaluadas en el análisis razón por la cual se emplearon las estaciones SAMA ubicada en la ciudad de Santa Marta y la estación SONE localizada en el municipio de San Onofre obteniendo las precisiones de los vectores que se presentan en la Tabla 1.

De:	A:	Precisión Hor(m)	Precisión Ver. (m)	PDOP	Longitud del vector
SAMA	PL76	0.020	0.062	8.689	816260.743
SONE	PL76	0.022	0.073	8.663	753856.228
SAMA	PL75	0.014	0.043	8.508	816346.350
SONE	PL75	0.022	0.074	9.560	753932.326

Tabla 1 Precisiones vectores Providencia

Según lo establece el ICCU el tiempo de rastreo de acuerdo a la longitud del vector debería ser de 63.4h y de acuerdo con la Resolución 643 de 2018 este debería ser de 38.4h con el fin de garantizar las precisiones requeridas y un PDOP menor de 4, teniendo en cuenta que el tiempo de rastreo de estos vértices corresponde a 6.3h y 7h respectivamente y que este se ve reducido a un tiempo de 4 horas 45 minutos de señal efectiva se incluyeron las estaciones BQLA(Barranquilla) y CART (Cartagena) como control de calidad y complemento para el ajuste de red. Las precisiones obtenidas por cada vector se presentan en la Tabla 2.

De:	A:	Precisión Hor(m)	Precisión Ver. (m)	PDOP	Longitud del vector
BQLA	PL76	0.017	0.055	8.684	755472.799
CART	PL76	0.019	0.060	8.827	715937.365
BQLA	PL75	0.016	0.053	8.857	755556.938
CART	PL75	0.015	0.049	8.583	716017.151

Tabla 2 Precisiones vectores complementarios vértices Providencia

Posproceso Barranquilla

A partir del análisis de calidad se definieron los satélites a emplear y los tiempos de rastreo efectivos, se tomaron como referencia las estaciones de registro continuo SAMA y BQLA las cuales presentaron más satélites en común y que por su ubicación permiten realizar un mejor ajuste de red. De esta manera se obtuvieron las precisiones por vector que se presentan en la Tabla 3

De:	A:	Precisión Hor(m)	Precisión Ver. (m)	PDOP	Longitud del vector
BQLA	PL48	0.0082	0.0621	2.912	11333.452
SAMA	PL48	0.0226	0.0969	2.912	72142.6188
BQLA	PL47	0.0095	0.0601	93.358	11294.2689
SAMA	PL47	0.0226	0.0869	32.912	72139.6188

Tabla 3 Precisiones vectores Barranquilla

Dado que aun cuando se establecieron las mejores condiciones para el cálculo el PDOP del vértice PL47 permanece bastante alto fuera del rango establecido por las entidades públicas se incluyeron al pos proceso las estaciones de registro continuo DICA y VPOL las cuales también habían sido analizadas y sirven como control de calidad a las coordenadas obtenidas. Las precisiones obtenidas en los vectores mencionados se presentan en la Tabla 7

De:	A:	Precisión Hor(m)	Precisión Ver. (m)	PDOP	Longitud del vector
DICA	PL48	0.0080	0.0692	2.912	11761.7715
VPOL	PL48	0.0106	0.0900	2.912	18538.7892
DICA	PL47	0.0089	0.0604	59.193	11716.2173
VPOL	PL47	0.0133	0.0895	47.127	18578.0889

Tabla 4 Precisiones vectores complementarios Barranquilla

Posproceso Puerto leguizamo

Se realizó el pos proceso de los vértices PL73 y PL74 empleando los satélites G1, G3, G4, G21 y G22 los cuales fueron definidos en la etapa de análisis de calidad. Se tomó como referencia las estaciones PSTO y POPA las cuales son las más próximas a la zona y cuentan con vectores de 318km y 354km respectivamente. Las precisiones horizontales y verticales se presentan en la Tabla 10.

De:	A:	Precisión Hor(m)	Precisión Ver. (m)	PDOP	Longitud del vector (km)
POPA	PL73	0.005	0.013	3.08	354.572
POPA	PL74	0.004	0.013	3.08	354.581
PSTO	PL73	0.004	0.011	2.91	318.300
PSTO	PL74	0.004	0.01	2.91	318.253

Tabla 5 Precisiones vectores Puerto Leguizamo

Aun cuando los resultados obtenidos cumplen con los requerimientos establecidos por las diferentes entidades publicas se incluyo la estacion de registro conituo NEVA ubicada en la ciudad de Neiva como control de calidad y vertice de apoyo para el ajuste de red obteniendo las precisiones del vector que se presentan en la Tabla 10 . Lo anterior teniendo en cuenta que el tiempo de rastreo requerido por el IGAC de acuerdo con la Resolucion 643 de 2018 para estos puntos corresponden a 18horas 20 minutos.

De:	A:	Precisión Hor(m)	Precisión Ver. (m)	PDOP	Longitud del vector (km)
NEVA	PL73	0.005	0.017	3.32	350.103
NEVA	PL74	0.005	0.018	3.32	350.164

Tabla 6 Precisiones vectores complementarios Puerto Leguizamo

d. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A partir de los análisis de calidad realizados a los vértices PL75 y PL76 posicionados en la Isla de Providencia se pudo determinar que del tiempo total de rastreo correspondiente a 6.3 horas y 7 horas respectivamente solamente 3 horas 30 minutos y 4 horas 45 minutos presentan condiciones favorables para obtener las precisiones requeridas. Lo anterior se ve reflejado al evaluar los satélites que contaron con interferencia en los intervalos cada hora.

En cuanto al análisis de calidad por vector donde se evaluaron los satélites en común entre las bases a emplear y los vértices posicionados se encontró que solo contaban con 6 satélites en común con buena recepción de señal con la estación SAMA, 6 satélites con la estación SONE y 5 satélites con las estaciones BQLA y CART lo que indica que aun cuando se disponía de un total de 25 satélites en el vértice PL75 y 17 satélites en el vértice PL76 solo se contó con un máximo de 6 satélites en común con óptima señal entre estos y las estaciones de registro continuo SONE y SAMA. Lo anterior evidencia la importancia de la planificación de las sesiones GPS incluyendo la disposición satelital de las bases a emplear con el fin de optimizar tiempos de rastreo.

Es decir que las 38 horas requeridas por la entidad en función del vector pueden ser reducidas a 6 horas con condiciones adecuadas en donde se garantice una óptima señal y satélites en común con las bases a emplear que permitan obtener las precisiones deseadas.

Se evaluó la precisión obtenida en los diferentes vectores tal como se observa en la Tabla 7 donde se observa que aun cuando el tiempo de rastreo fue inferior al solicitado por las entidades se obtuvieron precisiones que cumplen con los requerimientos establecidos en cuanto a precisión horizontal y vertical. El PDOP se encuentra por encima del requerido, sin embargo, este parámetro no influye en diferencias considerables en las coordenadas obtenidas.

De	A	PDOP	RCM	Prec. Hor	Prec. Ver	Longitud (km)
BQLA	PL76	8.684	0.028	0.017	0.055	755.473
CART	PL76	8.827	0.022	0.019	0.060	715.937
SAMA	PL76	8.689	0.022	0.020	0.062	816.261
SONE	PL76	8.663	0.033	0.022	0.073	753.856
BQLA	PL75	8.857	0.020	0.016	0.053	755.557
CART	PL75	8.583	0.020	0.015	0.049	716.017
PL76	PL75	4.772	0.010	0.001	0.003	0.089
SAMA	PL75	8.508	0.017	0.014	0.043	816.346
SONE	PL75	9.560	0.088	0.022	0.074	753.932

Tabla 7 Resumen precisión de vectores obtenidos vértices Providencia

Adicionalmente se realizó la comparación de las coordenadas obtenidas en cada vector de tal forma que fuese posible la validación de la precisión de los vértices. Como se observa en la Tabla 8 la diferencia de las coordenadas obtenidas por vector no superan los 3cm en posición encontrándose dentro de las precisiones solicitadas puesto que la compensación de estas diferencias son solventadas en el ajuste de red.

De:	A:	Norte (m)	Este (m)	Elevacion
BQLA	PL75	1970621.0936	859544.3079	4.8796
CART	PL75	1970621.1153	859544.3178	4.8865
PL76	PL75	1970621.0851	859544.3148	4.8517
SAMA	PL75	1970621.1150	859544.3089	4.9073
SONE	PL75	1970621.1238	859544.3353	4.8964
BQLA	PL76	1970619.6342	859633.3811	5.7143
CART	PL76	1970619.6631	859633.3751	5.7508
SAMA	PL76	1970619.6607	859633.3726	5.7539
SONE	PL76	1970619.6757	859633.3538	5.7579

Tabla 8 Coordenadas por vector vértices Providencia

En el análisis de calidad de los vértices posicionados en la ciudad de Barranquilla se encontró que el vértice PL47 cuenta con obstáculos superiores a los 70° en dirección nororiental lo que obstruye la recepción de la señal, es por esto que aun cuando se tiene un tiempo de rastreo de 6h:12m el tiempo efectivo es de 1 hora 20 minutos contando con interferencias considerables las cuales ocasionan que al evaluar los satélites con buena calidad de señal en común con las bases a emplear se cuente únicamente con 2 satélite en común con la base BQLA y 2 satélites con la estación SAMA,

En cuanto al vértice PL48 el cual cuenta con un tiempo de rastreo de 1h 29min se observó que de acuerdo con el análisis de calidad cuenta con tiempo de rastreo óptimo de 1hora, sin embargo, aun cuando el tiempo de rastreo es considerablemente menor que el vértice PL47 sus condiciones satelitales permitieron tener más satélites en común con las bases empleadas y por ende mejores precisiones.

De los resultados obtenidos se puede observar que se cumple con las precisiones horizontales requeridas, sin embargo, los valores de PDOP y precisiones verticales están por fuera de lo permitido lo que se debe a la mala condición satelital del vértice, puesto que aun cuando el tiempo de rastreo excede el requerido por las diferentes entidades este no garantizo unas condiciones satelitales óptimas para obtener una precisión adecuada. Con lo anterior se comprueba que cumplir con los tiempos de rastreo establecidos no garantiza obtener altas precisiones.

Adicionalmente al comparar las coordenadas obtenidas por vector de los dos vértices (Ver Tabla 9) se observa que no se encuentran diferencias superiores a 2cm en posición. Sin embargo, los valores altos de PDOP se ven reflejados en las diferencias en las elevaciones calculadas donde se observan valores alrededor de los 6cm.

De:	A:	Norte (m)	Este (m)	Elevación
PL48	PL47	1701967.470	922993.513	13.312
BQLA	PL47	1701967.464	922993.526	13.257
VPOL	PL47	1701967.447	922993.519	13.295
DICA	PL47	1701967.446	922993.515	13.230
SAMA	PL48	1701920.259	922998.752	13.495
BQLA	PL48	1701920.269	922998.746	13.539
VPOL	PL48	1701920.249	922998.733	13.537
DICA	PL48	1701920.252	922998.740	13.481
PL48	PL47	1701967.470	922993.513	13.312

Tabla 9 Coordenadas por vector vértices Barranquilla

En el análisis de los vértices PL73 y PL74 posicionados en el municipio de Puerto Leguizamo se pudo observar que contaron con un tiempo de rastreo de 8 horas 20 minutos y 7 horas 30 minutos respectivamente de los cuales se contó con un tiempo óptimo de 5 horas 20 minutos y 4 horas. Aun cuando según los requerimientos de las entidades establecen tiempos de rastreo de mínimo 18 horas 20 minutos dada la longitud del vector se obtuvieron resultados que cumplen con los lineamientos básicos exigidos en cuanto a precisión horizontal, precisión vertical y PDOP. Lo anterior se obtuvo a partir de la implementación del análisis de calidad que permitió identificar los satélites y tiempos idóneos para el pos proceso.

Se analizaron las coordenadas obtenidas por vector (Ver Tabla 10) identificando que no se presentan variaciones superiores a los 2cm lo que garantiza la precisión de las coordenadas obtenidas.

De:	A:	Norte (m)	Este (m)	Elevación
PSTO	PL73	471153.339	922024.311	190.526
POPA	PL73	471153.339	922024.297	190.496
NEVA	PL73	471153.357	922024.298	190.515
PSTO	PL74	471074.897	921927.699	186.603
POPA	PL74	471074.900	921927.679	186.581
NEVA	PL74	471074.918	921927.686	186.599

Tabla 10 Coordenadas por vector vértices Puerto Leguizamo

e. CONCLUSIONES

- Se realizó el cálculo de los vértices PL75 y PL76 ubicados en la Isla de Providencia cumpliendo con los parámetros exigidos por las entidades públicas de Colombia, cabe resaltar que aun cuando los tiempos de rastreo son inferiores a los establecidos se cumplió con los estándares de precisión horizontal, precisión vertical y PDOP requeridos. Dentro del cálculo se incluyeron dos bases de referencia(SONE-SAMA) y dos estaciones adicionales (BQLA y CART) como control de calidad.
- Se llevó a cabo el cálculo de los vértices PL47 y PL48 ubicados en la ciudad de Barranquilla, donde el vértice PL47 no cumplió con los estándares de precisión requeridos por las entidades públicas debido a las deficientes condiciones satelitales de su rastreo.
- Se realizó el cálculo de los vértices PL73 y PL74 ubicados en el municipio de Puerto Leguizamo los cuales tuvieron un tiempo óptimo de rastreo de 4horas 45 minutos y 3horas 30 minutos respectivamente, El resultado obtenido cumple con los estándares de precisión establecidos por las diferentes entidades públicas.
- Cumplir con el tiempo de rastreo exigido por las entidades públicas no garantiza obtener las precisiones requeridas puesto que el tiempo con condiciones óptimas es menor al efectuado en campo debido a diferentes interferencias y saltos de ciclo en la señal.
- Las precisiones optimas se pueden garantizar con un tiempo de rastreo menor siempre y cuando se realice una adecuada planeación de la sesión donde se aprovechen las mejores condiciones satelitales del lugar, para esto es necesario realizar un análisis de calidad satelital previo tanto de los vértices a posicionar como de las bases de referencia a emplear.
- Incluir dentro del pos proceso una tercera y/o cuarta estación de referencia permite mejorar la precisión del cálculo de los vértices, sin embargo, cuando las condiciones satelitales no son óptimas el valor de PDOP no es posible disminuirlo mediante esta metodología
- A partir de los cálculos realizados se observó que los valores altos de PDOP se encuentran relacionados con la precisión vertical de los puntos

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] F. Villegas, «Relatividad y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS),» *Revista de Investigacion de Fisica*, p. 1, 2020.
- [2] E. L. Valdes, «Test de analisis de la precision en determinacion de trayectoria con GPS,» Escola Politecnica Superior d'Edificacio de Barcelona, Barcelona, 2010.
- [3] R. O. V. L. L. G. W. C. Fausto Ernesto Orozco Iguasnia, «ANÁLISIS PARA LA CORRECCIÓN DE ERRORES EN LA SEÑAL GPS,» *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria*, p. 2, 2020.
- [4] Leica, «Universidad de Jaén,» [En línea]. Available: http://coello.ujaen.es/Asignaturas/topometria/descargas/GPSBasics_es.pdf.
- [5] ICCU, «ANEXO TECNICO ICCU,» BOGOTÁ, 2021.
- [6] INVIAS, «REQUERIMIENTOS TECNICOS,» 2019.
- [7] FONDECUN, «ANEXO TECNICO,» BOGOTÁ, 2021.
- [8] ENTERRITORIO, «ANEXO TECNICO No 3 RECOMENDACIONES EN CUANTO A LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS,» 2020.
- [9] IDU, «GUIA ELABORACION DE ESTUDIOS TOPOGRAFICOS,» BOGOTÁ, 2019.
- [10] IGAC, «RESOLUCION 643 DEL 30 DE MAYO DE 2018,» 2018.