



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Análisis de la precisión de bases topográficas en función de tiempo de permanencia con sistemas de posicionamiento global de doble frecuencia.

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTORA: Salinas Márquez, Daniela Katherine

DIRECTOR: Zarate Torres, Belizario Amador, Mgs.

LOJA – ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Magister

Belizario Zarate Torres

DOCENTE DE TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: **“Análisis de la precisión de bases topográficas en función de tiempo de permanecía con sistemas de posicionamiento global de doble frecuencia.”** realizado por Daniela Katherine Salinas Márquez, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Marzo del 2015

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Salinas Márquez Daniela Katherine declaro ser autor del presente trabajo de fin de Titulación: “Análisis de la precisión de bases topográficas en función de tiempo de permanecía con sistemas de posicionamiento global de doble frecuencia” de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo Zarate Torres Belizario Amador director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f:

Autor: Salinas Márquez Daniela Katherine

Cédula: 11047730730

DEDICATORIA

Con todo mi amor dedico el presente trabajo a las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y creer en mí.

A mi madre, por sus consejos, su esfuerzo, sus valores, que me ha permitido ser una mujer de bien, pero más que nada por su amor.

A mi Padre, por nunca soltar mi mano, por ser el pilar más importante en mi vida, siempre apoyándome incondicionalmente y guiándome con el ejemplo.

A mis hermanos que son el motor de mi vida, mi inspiración y mi alegría.

Sin duda no puedo dejar pasar por alto aquellas personas que fueron parte de este proceso, por brindarme su amistad, consejos, apoyo y consideración, algunas siguen a mi lado y otras en mis más bonitos recuerdos, sin importar donde estén quiero darles las gracias por ser parte de esta bella historia.

Daniela Katherine Salinas Márquez

AGRADECIMIENTO

Mi especial agradecimiento por el apoyo brindado:

A la Universidad Técnica Particular de Loja, de manera específica a la titulación de Ingeniería Civil y a sus Docentes, por haberme brindado la oportunidad de cursar mis estudios superiores, adquiriendo los conocimientos necesarios que hacen posible el cumplimiento de este importante objetivo.

Al Mgs. Belizario Zarate Torres, por haberme brindado su colaboración con conocimientos técnicos que ayudaron a encaminar el presente trabajo y que este culmine de la mejor manera.

A mis familiares y amigos que de alguna u otra manera estuvieron presentes en su desarrollo.

Daniela Katherine Salinas Márquez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1. Justificación.	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1.Objetivo general.....	2
1.2.2.Objetivos específicos.....	2
2. CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE	3
2.1. Ubicación del proyecto.....	4
2.2. Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador – REGME.....	4
2.3. información del equipo GNSS	5
2.4. Sistemas de posicionamiento global –GPS.....	6
2.5. Sistema de referencia	6
2.6. Como trabaja el GPS?	7
2.7. Frecuencia con que Trabajan los GPSs.....	7
2.7.1.Monofrecuencia.....	8
2.7.2.Doble Frecuencia.....	8
2.8. Errores en GPS de doble frecuencia.....	9
2.9. Procedimientos GPS (RTK – FAST STATIC).....	12
3. CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	14

3.1. Estaciones base.....	15
3.2. Equipos.....	16
3.3. Resultados obtenidos.....	16
3.4. Análisis de resultados.	18
CONCLUSIONES	23
RECOMENDACIONES	24
BIBLIOGRAFÍA	25
ANEXOS.....	26

RESUMEN

El proyecto denominado “Análisis de la precisión de bases topográficas en función de tiempo de permanencia con sistemas de posicionamiento global de doble frecuencia” tiene como objeto la determinación del tiempo de permanencia mínimo de un GPS doble frecuencia en una estación independiente.

La primera etapa del proyecto la constituye la recopilación de información, ubicación de la red local del IGM en la ciudad de Loja y de la UTPL y la campaña de medición en los intervalos propuestos y toma de puntos de referencia para análisis estadístico.

El análisis de resultados se encuentra en el apartado de conclusiones y recomendaciones del proyecto.

ABSTRACT

The Project named “Analysis Precision of topographical bases remained time function with global positioning systems dual frequency” has as objective the determination of permanency time minimum of a GPS with double frequency in an independent station.

The first stage of the project is constituted for the recompilation of information, placed of the local network of the IGM in Loja city and UTPL, and the campaign of measurement interval proposed and takes of references points for statistics analysis.

The analysis of results is found in the conclusions and recommendations of this research Work.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Justificación.

En la actualidad los levantamientos topográficos para obras de ingeniería se enlazan necesariamente a puntos de control horizontal y vertical para obtener una mejor precisión en los trabajos a ejecutar, sin embargo, muchas de las veces no se dispone de estos puntos de control cercanos por lo que se recurre a materializar en el terreno puntos con Coordenadas obtenidas con el autoposicionamiento del GPS doble frecuencia para iniciar el levantamiento. La nueva Normativa Ecuatoriana NEVI 2012, establece que los levantamientos topográficos deben ser necesariamente referenciados a un marco de referencia, que para el caso del Ecuador es el WGS84. Hace pocos años los trabajos topográficos en su mayoría eran referenciados a Coordenadas obtenidas de los navegadores GPS cuyas precisiones eran muy bajas; con el avance de la tecnología en materia de sistemas de posicionamiento, aparecieron los GPS monofrecuencia y doble frecuencia con precisiones centimétricas y milimétricas respectivamente.

Los GPS doble frecuencia pueden registrar su posición de partida para iniciar un trabajo, sin embargo esas Coordenadas no son lo suficientemente confiables cuando no se tiene una estación de referencia con Coordenadas previamente obtenidas con procedimientos geodésicos. Sin embargo, se puede lograr una buena precisión si el equipo puede permanecer por un periodo de tiempo para que la señal de los satélites se estabilice. El presente estudio pretende establecer estos periodos de permanencia de la estación base a fin de reducir los errores de posición.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

- Análisis de la precisión de bases topográficas en función de tiempo de permanencia con sistemas de posicionamiento global de doble frecuencia

1.2.2. Objetivos específicos.

- Obtención de las Coordenadas de al menos 4 estaciones de la red topográfica UTPL mediante observaciones GPS.
- Determinar intervalos de registro de Coordenadas en las 4 estaciones a intervalos de 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 240 minutos.
- Establecer la variación de las Coordenadas y del error en los intervalos de tiempo.
- Determinar el tiempo necesario para obtener precisiones adecuadas.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1. Ubicación del proyecto.

El presente estudio tiene su zona de influencia la ciudad de Loja, en donde se localizan algunos puntos geo referenciados de la Red Nacional del IGM, así como de la red Topográfica UTPL 2014 que se halla en el Campus de la Universidad Técnica Particular de Loja. Para realizar post-procesos de la información se utiliza los datos registrados por la estación GNSS localizada en la UTPL perteneciente a la RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR – REGME (Figura 1).



Figura 1. Ubicación física de la Estación GNSS LJEC- UTPL
Fuente: SkyScraperLife.Com © 2006-2015

2.2. Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador - REGME

La Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador, consta de 33 estaciones localizadas en todo el territorio nacional y cuya densificación permite brindar una mayor cobertura. En la provincia de Loja se cuenta con dos estaciones, una localizada en la capital de la provincia y otra ubicada en el cantón Celica (Figura 2).

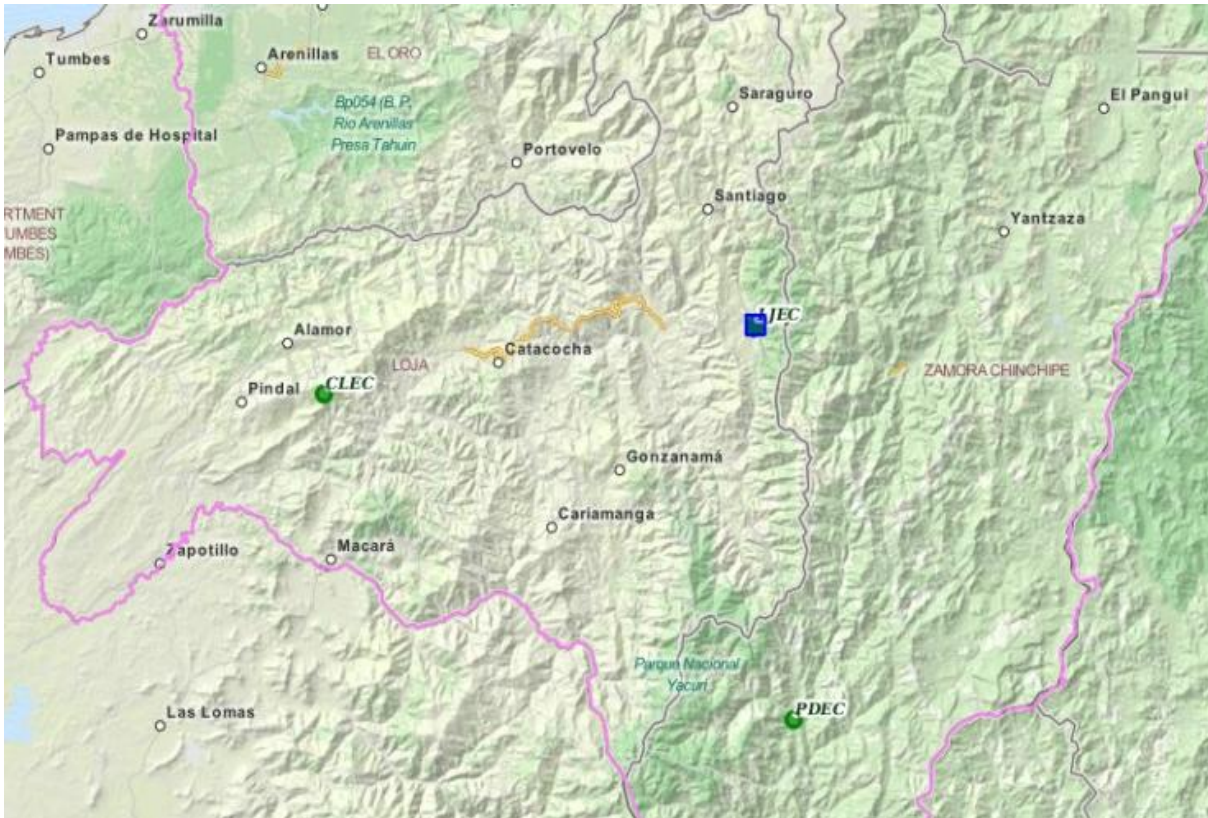


Figura 2. Ubicación espacial de las Estaciones GNSS Loja, Palanda y Cética

Fuente: http://www.geoportaligm.gob.ec/visor_regme/

Los datos técnicos de la estación GNSS son los que se detallan a continuación y que fueron obtenidos del Registro de la Antena del Geoportal de IGM que se halla en la siguiente dirección: http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=6.

2.3. información del equipo GNSS

Receptor

Tipo de Receptor: TRIMBLE R6 Doble Frecuencia inc. Controladora (Figura 3)

Versión del Firmware: 4.62

Sistema Satelital: GPS+GLONASS

Fecha de Instalación: 13 / marzo / 2013

Tipo de Receptor: LEICA GRX1200GG PRO

Antena

Tipo de Antena: GNSS Choke

Sistema Satelital: GPS+GLONAS

Altura de la Antena: 0.0100m.

Detalle de Altura: Distancia vertical desde el tope del dispositivo de centrado forzoso hasta el ARP (Antena Reference Point).

Altura de la Antena: 0.0080m.



Figura 3. Equipo R6 (Controladora-Antena)
Fuente: Guía del Usuario Trimble

2.4. Sistemas de posicionamiento global –GPS

Global Positioning System (GPS), se desempeña con satélites artificiales activos, constituyendo una constelación de veinte y cuatro de ellos como mínimo, su exactitud varía dependiendo del tipo de receptor y técnica aplicada.

Su metodología se fundamenta en conseguir la posición de puntos sobre la superficie terrestre, guiándose en los datos enviados por los satélites a través de la información radioeléctrica.

World Geodetic System (WGS) es el sistema de referencia que se emplea en la actualidad, el primero nació en 1960 hasta su actual versión designada WGS84, con la cual se registran las Coordenadas cartesianas o polares del punto en observación.

Se debe tener en cuenta las respectivas transformaciones que nos consientan obtener las coordenadas en el sistema requerido ya que las derivadas mediante GPS se encuentran en formato WGS84.

2.5. Sistema de referencia

Sistema WGS84

El sistema WGS84 (Figura 4) se recurre para la navegación marítima, cartografía y geodesia, posee Coordenadas de puntos sobre la superficie terrestre y una superficie equipotencial gravitacional referente con el nivel medio del mar.

Se estima un error menor a 2 cm en las Coordenadas conseguidas con WGS84 las cuales están propuestas a ser ubicadas en el centro de la masa de la Tierra.

Se encuentra determinado por:

- El geocentro que es su lugar de origen.
- El eje de las abscisas, es la intersección del plano meridiano de referencia y el plano del ecuador.

- El eje de las ordenadas, es un sistema coordenado rectangular dextrógiro constituido con X, Z.
- El eje de elevación, paralelo a la dirección del Polo terrestre Convencional Internacional (CIO), posición del polo medio época 1984.0

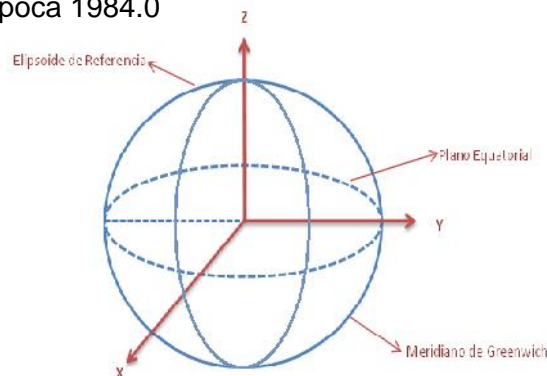


Figura 4. SISTEMA WGS84
Fuente: Autor

2.6. Como trabaja el GPS?

El GPS cuenta con tres mecanismos:

- **Espacial:** Su proporción se constituye por seis planos orbitales, constando en el Ecuador uno de ellos; dos órbitas conforman 55 grados con el Ecuador y las cuatro restantes son polares y análogas entre sí. Se encuentra compuesto por veinte y cuatro satélites en órbita terrestre con aproximadamente 20.200 km.
- **Control:** Constituido por cinco canales de rastreo que se distribuyen a lo largo del globo y un canal de control principal (MCS- Master Control Station). Esta unidad ubica los satélites, restablece sus posiciones orbitales, calibra y regulariza sus relojes.
Una función primordial es estipular las órbitas de cada satélite y prever su trayectoria durante las veinte y cuatro horas consecutivas. La información es transmitida a cada satélite para después ser trasferida por este, informando al receptor local donde es posible localizar el satélite.
- **Usuario:** Caracterizado por todos los habitantes, sean civiles o militares.
A través de receptores GPS los beneficiarios pueden recibir señales e información de los satélites y con un ordenador determinar las pseudo-distancias.

2.7. Frecuencia con que Trabajan los GPSs

Se conoce como L_1 y L_2 a las señales de frecuencia de bajo poder entregadas por los satélites GPSs.

L_1 se encuentra fundado para facilidad de personas civiles, con frecuencia de 1575.42 MHz en la banda UHF (Ultra High Frequency, "Frecuencia Ultra Alta"). Las señales traspasan la zona de visibilidad, es decir, franquearán a través de nubes, vidrio y plástico pero no atravesarán objetos sólidos, tales como construcciones y montañas. La señal GPS circunscribe tres bits diferentes de

información - un código pseudo aleatorio, información efímera e información del almanaque. El código pseudo aleatorio es simplemente un código de identificación al satélite que está transmitiendo información.

Las dos frecuencias portadoras L_1 y L_2 , por sí solas no promueven ningún tipo de información al receptor, obtienen su información a través de la modulación en las frecuencias que portan estos dos códigos y un mensaje codificado.

Cadenas de Código GPS

El código pseudo-aleatorio está conformado por tres tipos de cadenas:

- El código C/A de sus siglas en inglés, (Coarse/Acquisition), usado solo para civiles, cuenta con una frecuencia 1.023 MHz. y longitud de onda de 293m.
- El código P (Posicionamiento preciso), de uso militar, con una frecuencia 10 veces superior al código C/A. con longitud de onda 29.3m.
- El código Y, se lo usa cuando está activo el modo operación-engaño, para el cual se envía encriptado en lugar del código P.

2.7.1. Monofrecuencia

Trabaja con dos receptores en el mismo periodo de manera diferencial. Uno de los receptores es ubicado en un punto de Coordenadas ya establecidas conocido como receptor BASE mientras que al segundo se lo desplaza sobre los puntos que serán medidos, al cual se lo denomina RECEPTOR.

Cuando el RECEPTOR recibe solamente la onda portadora L_1 , a este se lo designa como monofrecuencia y se pueden solucionar ambigüedades menos potentes. Un buen receptor de este tipo puede llegar a precisiones submétricas en distancia de 5 a 10 km.

2.7.2. Doble Frecuencia

Incorporan a su procesamiento de datos la onda portadora L_2 , reduciendo faltas sistemáticas, tales como la difusión de la señal en la Ionosfera dando pasos a mejores precisiones con GPS.

Cuenta con una antena con trípode, un colector separado y enlazado por un cable a la antena. Su beneficio la encontramos en la densificación geodésica, levantamientos de detalles, replanteos, control de movimientos tectónicos, entre otros. Con los mejores mecanismos de este tipo puede alcanzarse precisiones de hasta $\pm 5\text{mm} - \pm 1\text{ppm}$. El IGM los utiliza para la densificación de la red nacional.

2.8. Errores en GPS de doble frecuencia

Estos errores se pueden catalogar en tres grupos:

- Errores relativos al satélite
- Errores relativos a la propagación de la señal en el medio
- Errores relativos al receptor.

Errores relativos al satélite

Error en el reloj de satélite.

Dicho error se genera debido al desfase que se produce en la línea de tiempo GPS con respecto al reloj del satélite. Los satélites poseen relojes atómicos con osciladores de Cesio o de rubidio, pese a ello no son perfectos. Es posible eliminar este error mediante correcciones contenidas en el mensaje de navegación que capta el receptor. El efecto que produce dicho error en la exactitud de las mediciones se estiman en 1m (un error de 1 nanosegundo de imprecisión en el reloj del satélite produce 30cm en pseudo-distancia).

Error en los parámetros orbitales del satélite.

Denominado también como errores de efemérides, influyen en la determinación de la posición del satélite en un instante determinado con respecto a un sistema de referencia específico. Son errores originados en el caso de que no se conocen con exactitud las órbitas de los satélites y por resultante su posición. Para obviar este error si su posición es actualizada cada hora a través de las efemérides precisas por las estaciones de control terrestre. El uso de GPS Diferencial contribuye en gran medida a disminuir esta clase de error.

Disponibilidad selectiva.

Este tipo de error es provocado por el Departamento de Defensa (DoD) de Estados Unidos, para uso libre. Los relojes se verán afectados en su señal (dither) y en sus parámetros orbitales (épsilon). El presente error se puede debilitar haciendo uso de un GPS diferencial y líneas base no demasiado grandes. En las investigaciones realizadas se establece que el error se introduce de 35 a 100 m.

Anti-Spoofing.

Es el resultado de codificar el código P en una señal denominada como código Y, sumando P+W, se obtiene que solo usuarios autorizados tengan acceso. Una de las técnicas más eficaces para combatir este error es conocida como "corrección cruzada", se fundamenta en el principio que el

código “Y”, transmitido por un satélite es el mismo en ambas frecuencias. Al implantar una relación entre ambos códigos “Y” en L1 y L2, luego son deducidas las diferencias de tiempo respectivas.

Errores dependientes de la propagación de la señal

Refracción Ionosférica

Existen varias condiciones que pueden determinar que la señal del satélite sea matemáticamente imperfecta. La ionosfera es la zona de la atmósfera comprendida entre 100 y 1000 Km de altitud, al ionizarse una fracción de las moléculas gaseosas liberando electrones debido a las radiaciones solares y otras radiaciones, se obstruyen la difusión de ondas de radio y la velocidad en la señal GPS generando un error semejante al error de un mal reloj. Durante la noche la influencia ionosférica que en el día.

El efecto en la precisión es de aproximadamente 10 m, cuando el ángulo de elevación disminuye se produce un aumento en los retrasos ionosféricos. Los métodos siguientes son aplicados para corregir este retraso de señal; se debe tomar un promedio del efecto causado por la reducción de velocidad de la luz producida por la ionosfera y a continuación emplear este factor de corrección a los cálculos oportunos, es importante comentar que esta condición promedio no sucede todo el tiempo y el método no es la solución óptima todo el tiempo.

Refracción Troposférica

La primera capa existente en la superficie terrestre es la Troposfera, en ella se deterioran las temperaturas con el incremento de la altura. La señal de propagación se ve perturbada por la presencia de átomos y moléculas neutros.

La refracción troposférica provoca un error entre 1.9 m a 2.5 m en dirección cenital y aumenta cuando disminuye el ángulo.

La refracción ionosférica y troposférica puede ser suprimida en las líneas base pequeñas si se trabajando en modo diferencial, donde las distancias satélite – receptor estén afectadas por la refracción.

Pérdidas de ciclo

La causa principal para que se produzca dicho error es cuando existe algún obstáculo y este causa una pérdida en el registro de las medidas de fase, suelen ser originadas por la presencia de árboles, construcciones, montañas. Otra de ellas es debido a una baja de calidad, señal y ruido, inducido por condiciones ionosféricas en mal estado, efecto multipath, receptores en movimiento

o baja elevación del satélite. Otra causa importante es el mal funcionamiento o mal uso del software del receptor y su erróneo

Multipath o Multitrayectoria

Las múltiples reflexiones de la señal emitida por el satélite en las superficies alrededor del receptor son la principal causa de que se produzca este error. Dichas señales que se superponen a la señal directa son siempre más largas debido a que tienen un tiempo de propagación más largo, por consecuencia se produce distorsión de forma de onda y amplitud. Para disminuir este error se deben elegir puntos libres de obstáculos y evitar superficies reflectantes alrededor del receptor y un apropiado diseño de la antena, otra forma sería utilizar planos de tierra, dado que estos reducen las interferencias de señales con baja elevación y a veces es negativa elevación, las cuales son las que provocan el multipath.

Dicho efecto puede alcanzar un error de hasta 1 m.

Errores dependientes del receptor

Estado de reloj de receptor

Al emitirse las señales del satélite y ser captadas por el reloj del receptor se produce una diferencia con relación a la escala de tiempo, este error influenciara a todas las medidas de pseudodistancias ejecutadas. Una forma de eliminar los errores producidos en los osciladores es trabajando con posicionamiento relativo por medidas de fase.

Se recomienda trabajar con receptores geodésicos y topográficos debido a que estos poseen relojes de mayor precisión minimizando el rango de error.

Variación del centro de fase de la antena

Cuando el centro radioeléctrico y el centro mecánico no coinciden se genera un error residual por excentricidad que puede ser milimétrico.

Incertidumbre de medidas

Se genera cuando una medida electrónica determinada que se produce de forma aleatoria.

El error aleatorio es aquel que representa la desviación con respecto a cero de las medidas hechas. Puede establecerse un error por esta causa de entre 1 mm o 2 mm en condiciones ideales.

Otros errores

Otros errores que podrían afectar un trabajo de medición con GPS podrían ser:

- Mal estacionamiento de la antena.
- Inexperiencia en la manipulación de los equipos.
- Desconocimiento de las Coordenadas correctas de la estación, imprescindibles para la alineación de las relaciones de observación.

2.9. Procedimientos GPS (RTK – FAST STATIC)

Real Time Kinematic (RTK).

Trabaja con las señales GPS, GLONASS y/o de Galileo, es una técnica usada en topografía y navegación marina basado en el uso de medidas de fase, donde una sola estación de referencia provee correcciones en tiempo real, obteniendo datos con una exactitud submétrica. Cuando se trabaja particularmente con la red GPS, el sistema también es llamado DGPS (Corrección de portador de fase).

Los receptores "normales" basados en navegación por satélite, comparan una señal pseudoaleatoria que es transmitida desde el satélite con una copia interna generada por la misma señal. Puesto que la señal del satélite toma algún tiempo en alcanzar al receptor, las dos señales no se "alinean" correctamente; la copia del satélite se retrasa en referencia a la copia local. Al retrasar progresivamente la copia local, las dos señales se alinearán correctamente en algún momento. Este retraso es el tiempo necesario para que la señal alcance al receptor, y del resultado de esto puede ser calculada la distancia al satélite.

La dificultad que presenta para trabajar con un RTK, radica en alinear correctamente las señales. Las señales de navegación se codifican deliberadamente para permitir que sean alineadas fácilmente, donde cada ciclo del portador es similar a otro. Esto produce que sea extremadamente difícil conocer su alineamiento y de este modo se está introduciendo un error de 20 cm.

FAST STATIC

El tiempo de observación es muy significativo, más que en los levantamientos con GPS convencional, están en función de la longitud de base, número de satélites rastreados y geometría de los satélites (Figura 5).

En algunos sistemas sólo la medición de fase de doble frecuencia es suficiente, en este método también se requieren mediciones pseudo-distancia de doble frecuencia. Hasta la actualidad no existe una "combinación" de los receptores y el software como lo es en el caso de un levantamiento GPS convencional. La configuración exacta depende de que software se emplee.

Por ejemplo, si el software de faststatic es bastante sofisticado, entonces hay menos dependencia de hardware especializado.

La base de esta técnica es la capacidad del software para resolver las ambigüedades usando un muy corto período de observación. Hay una variedad de software, con diferentes características y niveles de sofisticación, pero el requisito fundamental es la resolución de la ambigüedad en el menor tiempo posible.

Las operaciones de campo son muy parecidas a los de topografía GPS estática convencional, excepto que los tiempos de ocupación que son más cortos, las líneas de base deben ser relativamente cortas, la geometría satelital y perturbaciones favorables.

Algunos receptores ofrecen una indicación de audio y / o visual cuando un número suficiente de datos que se ha recogido en el campo pero es mejor esperar a que todo el proceso concluya.

Esta técnica es muy adecuada para aplicación de corto alcance, como la densificación de control y estudios de ingeniería, o cualquier trabajo donde muchos puntos deben ser objeto de reconocimiento.

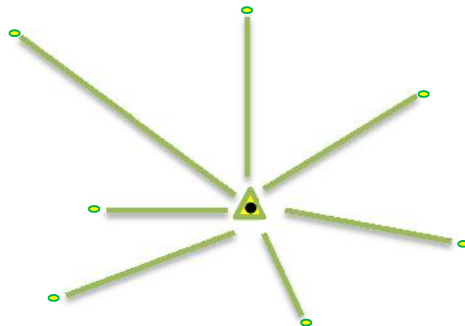






Figura 5. Procedimiento de campo "FastStatic".
Fuente: www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap5/552.htm

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Estaciones base

Para el presente estudio se tomó como referencia las estaciones de la Red REGME del Instituto Geográfico Militar que se encuentran en el Campus de la Universidad, así como las estaciones de la Red Topográfica de la UTPL. Cada estación dispone de sus Coordenadas Norte, Este y Elevación elipsoidal que se muestran en el Tabla 1.

Tabla 1. Estaciones base ubicadas en el Campus UTPL

Ubicación	Descripción	Coordenadas	Fotografía
UTPL	LJEC-1 V-2009	UTM N(m): 9559176.592 E(m):700144.166 Altura elipsoidal (m): 2150.893 Altura (msnm): 2132.7410	
UTPL	LJEC-3 V-2009	UTM N(m): 9558974.222 E(m):699931.918 Altura elipsoidal (m): 2126.115 Altura (msnm): 2107.9590	
UTPL	UTPL-RT-03	UTM N(m): 9558918.616 E(m):699976.824 Altura elipsoidal (m): 2129.327	
UTPL	UTPL-RT-06	UTM N(m): 9558976.345 E(m):700138.695 Altura elipsoidal (m): 2159.483	

3.2. Equipos

Se emplearon dos receptores GPS doble frecuencia marca Trimble modelo R6 para la toma de las mediciones en cada estación preestablecida. Este equipo trabajó en dos modos: FastStatic y Real Time Kinematic (RTK). Para la validación de los datos obtenidos se consideraron las siguientes tolerancias:

Precisión horizontal: 0.050 m \pm 1.0 ppm (ppm: partes por millón)

Precisión vertical: 0.100 m \pm 1.0 ppm

El procesamiento de los datos registrados de las antenas se lo realizó mediante el software Trimble Business Centre Versión 2.2; como parámetros de aceptación del post procesamiento de las mediciones realizadas con el modo Fast Static se consideró como indicador aceptable precisiones del 0.005 m \pm 0.5 ppm.

Se trabajó con los métodos Fast Static para los tiempos de 5-10-15-30-60 minutos, mientras que para los tiempos de 120-180 y 240 minutos se usó el método de RTK tomando como base una de los puntos considerados en el estudio. En el procedimiento RTK se estableció un tiempo de registro de datos cada 3 segundos; como parámetros generales para ambos procedimientos se consideró una máscara de elevación de 10°.

El ajuste de las mediciones en post proceso se la realizó con estación permanente GNSS LJEC que se encuentra instalada en el edificio UGTI de la UTPL con intervalos de registro cada 30 segundos por 24 horas continuas por día GPS.

3.3. Resultados obtenidos

En las Tablas 2 a la 5 se muestran las coordenadas registradas y procesadas de cada una de las estaciones base para los intervalos de tiempo en la medición de: 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 60 minutos, 120 minutos, 180 minutos y 240 minutos. En cada Tabla se halla registrada la coordenada real obtenida mediante procedimientos geodésicos.

Tabla 2. Coordenadas obtenidas en la Estación UTPL-RT-06

UTPL-RT-06			
DESCRIPCIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
UTPL-RT-06	9558976.345	700138.695	2159.483
5 min	9558976.426	700138.716	2159.460
10 min	9558976.450	700138.706	2159.518
15 min	9558976.440	700138.711	2159.494
30 min	9558976.425	700138.715	2159.472

60 min	9558976.453	700138.732	2159.451
120 min	9558976.414	700138.792	2159.611
180 min	9558976.414	700138.722	2159.611
240 min	9558976.446	700138.783	2159.529

Tabla 3. Coordenadas obtenidas en la Estación UTPL-RT-03

UTPL-RT-03			
DESCRIPCIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
UTPL-RT-03	9558918.616	699,976.824	2129.327
5 min	9558918.558	699976.792	2129.321
10 min	9558918.559	699976.792	2129.318
15 min	9558918.561	699976.793	2129.319
30 min	9558918.557	699976.790	2129.326
60 min	9558918.560	699976.793	2129.326
120 min	9558922.527	699975.888	2127.330
180 min	9558921.517	699975.795	2132.680
240 min	9558919.482	699977.404	2133.474

Tabla 4. Coordenadas obtenidas en la Estación LJEC-1

LJEC-1			
DESCRIPCION	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
LJEC-1	9559176.592	700144.166	2150.893
5 min	9559176.611	700144.145	2150.764
10 min	9559176.612	700144.148	2150.756
15 min	9559176.612	700144.146	2150.761
30 min	9559176.614	700144.146	2150.763
60 min	9559176.550	700144.214	2150.768
180 min	9559179.425	700143.451	2152.026
240 min	9559177.483	700142.463	2149.841

Tabla 5. Coordenadas obtenidas en la Estación LJEC-3

LJEC-3			
DESCRIPCION	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
LJEC-3	9558974.222	699931.918	2126.115
5 min	9558974.187	699931.879	2126.117
10 min	9558974.185	699931.875	2126.119
15 min	9558974.182	699931.876	2126.106
30 min	9558974.182	699931.872	2126.101
60 min	9558974.190	699931.869	2126.097
120 min	9558976.300	699931.832	2131.409
240 min	9558973.756	699931.494	2131.409

3.4. Análisis de resultados.

Para cada una de las estaciones base, se obtuvieron sus coordenadas en los diferentes intervalos de registro así como la coordenada real de dicha estación, esto permitió establecer la variación temporal de la posición Norte, Este y Elevación (elipsoidal) como se indica en las Figuras 6, 7 y 8 para coordenada Norte, Este y Elevación respectivamente.

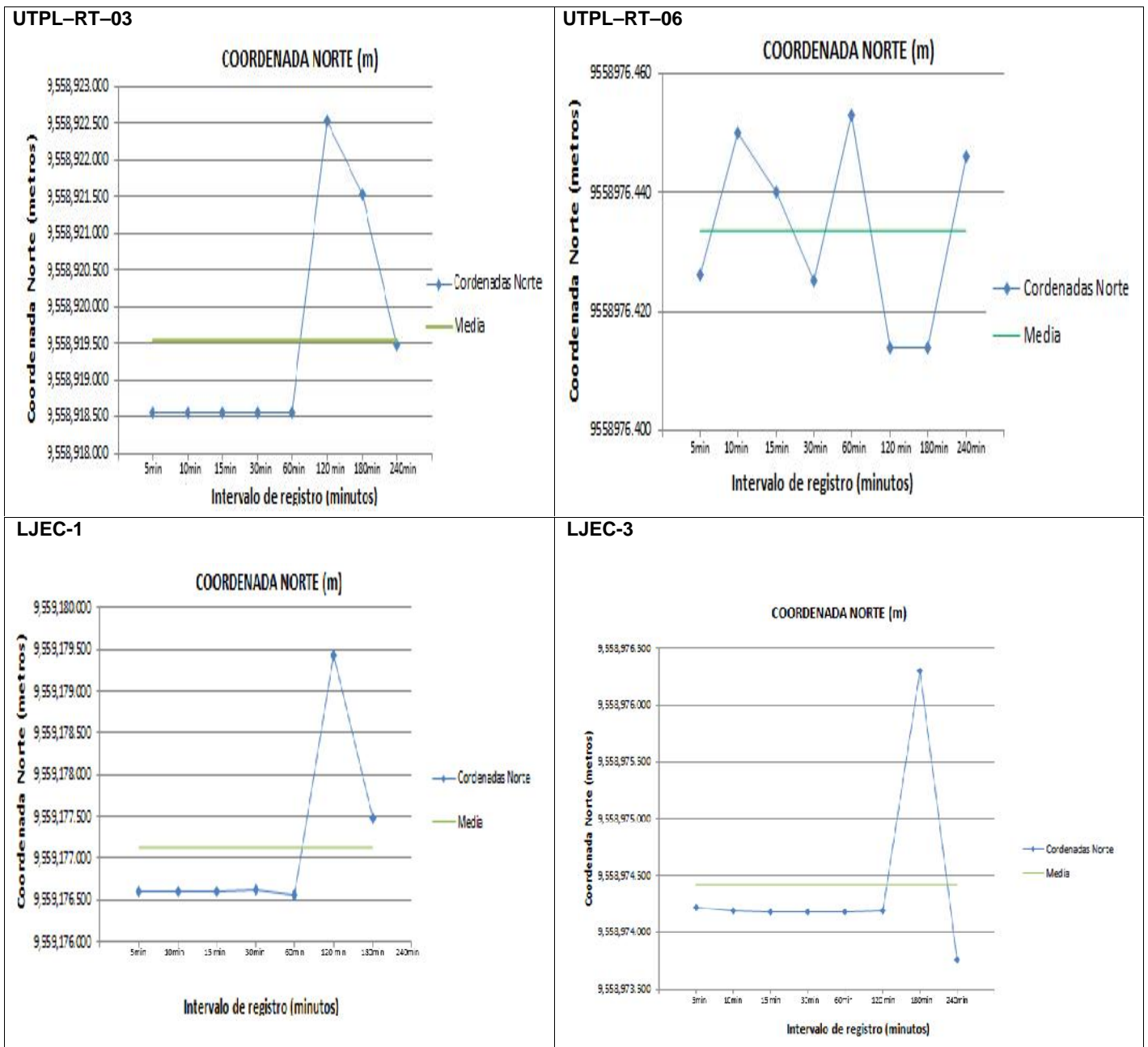


Figura 6. Variación temporal de la coordenada Norte

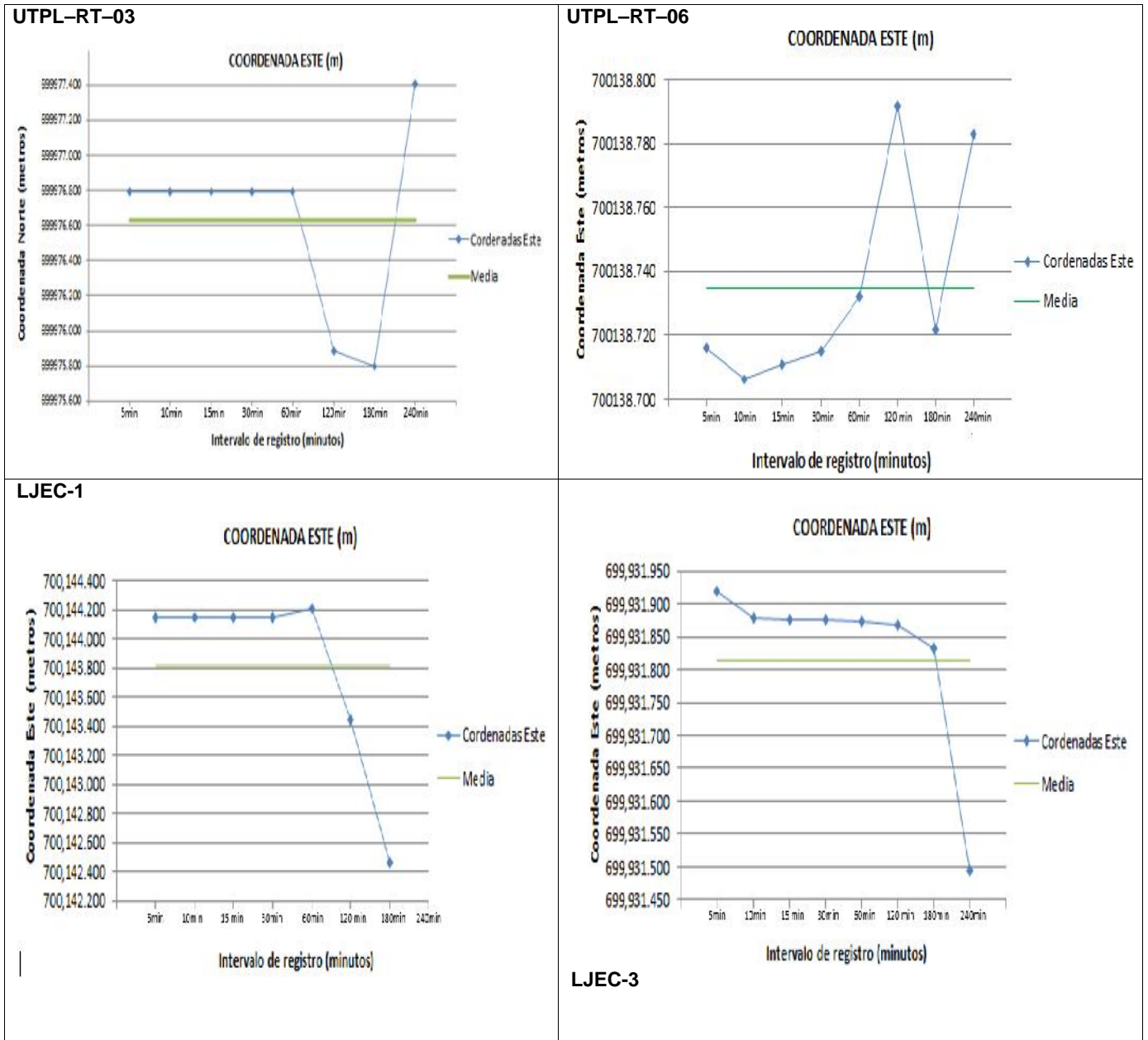


Figura 7. Variación temporal de la coordenada Este.

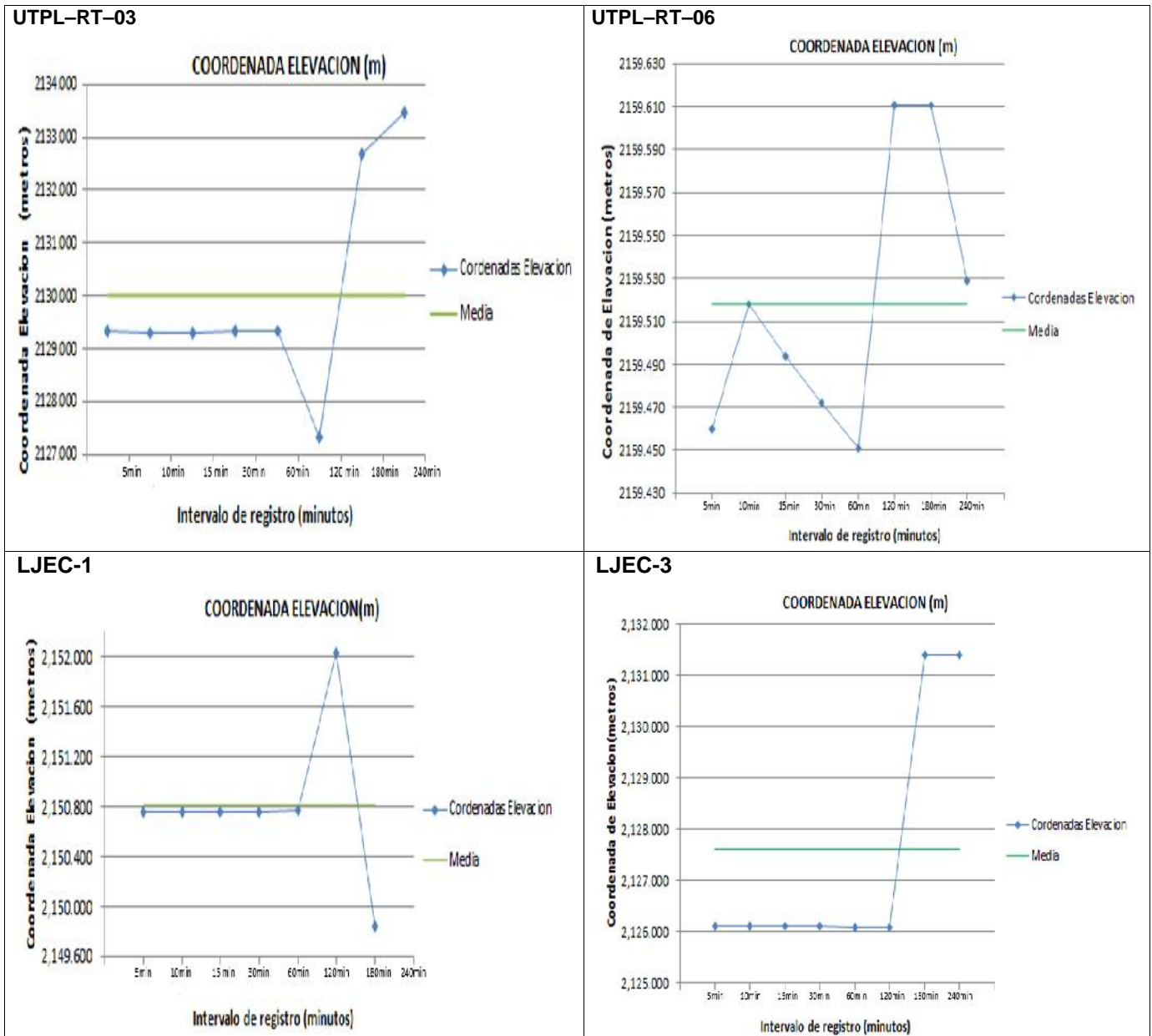


Figura 8. Variación temporal de la Coordenada de Elevación.

Considerando los resultados de las Figuras 6, 7 y 8 se puede apreciar que los datos obtenidos con el método Fast Static tienden a ser más uniformes y constantes que los registrados en modo RTK; esta tendencia se mantiene para el periodo de medición de cinco minutos hasta los sesenta minutos (1 hora).

Con el método RKT se aprecia que existe una gran dispersión de los datos pese a que estos se realizaron con un tiempo mayor de una hora.

Con las coordenadas procesadas con el software Trimble Business Centre se analizó la dispersión de los datos tomando en cuenta los dos procesos de medida (Fast Static y RTK) obteniendo los resultados que se muestran en las Tablas 6 y 7.

MEDICIONES MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO FAST-STATIC

Tabla 6. Análisis de la dispersión de los datos de las estaciones medidas mediante Fast Static.

UTPL-RT-03			
DESCRIPCION	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
RT-03	9558918.616	699,976.824	2129.327
5 min	9558918.558	699976.792	2129.321
10 min	9558918.559	699976.792	2129.318
15 min	9558918.561	699976.793	2129.319
30 min	9558918.557	699976.790	2129.326
60 min	9558918.560	699976.793	2129.326
Promedio	9558918.559	699976.792	2129.322
Desviación estándar	0.0014	0.0011	0.0034
UTPL-RT-06			
DESCRIPCION	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
RT-06	9558976.345	700138.695	2159.483
5 min	9558976.426	700138.716	2159.460
10 min	9558976.450	700138.706	2159.518
15 min	9558976.440	700138.711	2159.494
30 min	9558976.425	700138.715	2159.472
60 min	9558976.453	700138.732	2159.451
Promedio	9558976.423	700138.7125	2159.47967
Desviación estándar	0.0117	0.0087	0.0242
LJEC-1			
DESCRIP	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
LJEC-1	9559176.592	700144.166	2150.893
5 min	9559176.611	700144.145	2150.764
10 min	9559176.612	700144.148	2150.756
15 min	9559176.612	700144.146	2150.761
30 min	9559176.614	700144.146	2150.763
60 min	9559176.55	700144.214	2150.768
Promedio	9559176.600	700144.160	2150.762
Desviación estándar	0.0249	0.0271	0.0039
LJEC-3			
DESCRIP	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
LJEC-3	9558974.222	699931.918	2126.115
5 min	9558974.187	699931.879	2126.117
10 min	9558974.185	699931.875	2126.119
15 min	9558974.182	699931.876	2126.106
30 min	9558974.182	699931.872	2126.101
60 min	9558974.190	699931.869	2126.097
Promedio	9558974.185	699931.874	2126.108
Desviación estándar	0.003	0.003	0.009

MEDICIONES MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO REAL TIME KINEMATIC (RTK)

Tabla 7. Análisis de la dispersión de los datos de las estaciones medidas mediante RTK.

UTPL-RT-03			
DESCRIP	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
RT-03	9558918.616	699,976.824	2129.327
120 min	9558922.527	699975.888	2127.330
18 min	9558921.517	699975.795	2132.680
240 min	9558919.482	699977.404	2133.474
Promedio	9558921.175	699976.362	2131.161
Desviación estándar	1.2664	0.7375	2.728
UTPL-RT-06			
DESCRIPCION	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
RT-06	9558976.345	700138.695	2159.483
180 min	9558976.414	700138.722	2159.611
240 min	9558976.446	700138.783	2159.529
Promedio	9558976.430	700138.753	2159.570
Desviación estándar	0.016	0.031	0.041
LJEC-1			
DESCRIP	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
LJEC-1	9559176.592	700144.166	2150.893
180 min	9559179.425	700143.451	2152.026
240 min	9559177.483	700142.463	2149.841
Promedio	9559178.454	700142.957	2150.9335
Desviación estándar	0.9710	0.4940	1.0925
LJEC-3			
DESCRIP	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
LJEC-3	9558974.222	699931.918	2126.115
120 min	9558976.300	699931.832	2131.409
240 min	9558973.756	699931.494	2131.409
Promedio	9558975.028	699931.663	2131.409
Desviación estándar	1.272	0.169	0.000

Como se puede apreciar, el método Fast Static permite obtener mejores precisiones en las mediciones debido a que se obtiene un grado de dispersión promedio (dado por la desviación estándar) de 0.010 m para las tres coordenadas registradas; ocurre lo contrario con el procedimiento RTK, que a pesar de tener un tiempo de medición y registro mayor, tiene un grado de dispersión mayor superior a 1 metro, por lo que es impreciso.

La estación UTPL-TR-06 tiene una mayor cobertura para recepción de satélites a diferencia de las otras que en sus cercanías (alrededor de 25 m) existe la presencia de edificaciones que pueden generar efecto rebote de las señales (efecto Multi-Path), lo que conlleva a tener malas precisiones.

CONCLUSIONES

En base a los datos obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- El mejor método de medición para establecer una base topográfica es empleando el método Fast Static ya que permite obtener coordenadas más precisas con un grado de dispersión de 0.010 m para las coordenadas Norte, Este y Elevación.
- El tiempo requerido de medición mínimo es de una hora pudiendo en la mayoría de los casos obtenerse la posición de un punto con un tiempo de registro de treinta minutos.
- El método RTK no brinda la suficiente precisión para establecer bases topográficas (grado de dispersión mayor a 1 metro) pese a tener un mayor número de registros de medición a periodos mayores de una hora.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda establecer un punto base para iniciar un levantamiento topográfico, este debería ser instalada en un lugar que no exista la presencia de estructuras a fin de reducir el efecto rebote de las señales de los satélites y con ello mejorar la calidad de los datos.
- Se recomienda realizar investigaciones que relacionen las posiciones de varios puntos respecto a la distancia de la estación base y las condiciones de cobertura cercana a estas y el tiempo de permanencia. Para la validación de los datos se deberá comprobar la precisión de la nueva red de puntos que garanticen las verdaderas posiciones de dichos puntos a comprobar.

BIBLIOGRAFÍA

- I. Suárez H., González D., Royero G., Hoyer M., Wildermann E. (Julio 2005). “Análisis y evaluación del proceso de georrectificación de imágenes IKONOS de áreas de exploración y producción petrolera”. INTERCIENCIA.
- II. Lillesand T. & Kiefer R. (2000). “Remote sensing and image interpretation”. 4th Edition. John Wiley & Sons, USA.
- III. Royero G. (1999). Trabajo especial de grado para optar al título de Magíster Scientiarum en Ingeniería Geodésica “Aplicación del GPS para la corrección geométrica de imágenes satelitales”, Maracaibo-Venezuela.
- IV. Hoyer M. (2000). “Introducción al Sistema de Posicionamiento Global GPS Notas de clases”. Universidad del Zulia, Escuela de Ingeniería Geodésica, Departamento de Geodesia Superior. Maracaibo-Venezuela.
- V. GeoPortal del Instituto Geográfico Militar-Ecuador. (s.f). Obtenido de Red GNSS del Ecuador: <http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/>
- VI. Farjas, M. (2011). Redes Topográficas. En M. Farjas, Guía de Topografía
- VII. Ayala Ramírez, Alfredo; Hasbun Bardales, Mitón. Título: Aplicaciones y uso de la tecnología de gps diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica en el área de levantamiento y replanteo topográfico georeferenciado (Tesis inédita de Ingeniero Civil), Universidad de el Salvador, 2012.
- VIII. Trimble Navigation Limited, Engineering and construction group. (2009). User Guide.
- IX. García Álvarez, José Antonio. Título: Así funciona el GPS. Recuperado: http://www.asifunciona.com/electronica/af_gps/af_gps_3.htm

ANEXOS

ANEXO: Fotográfico

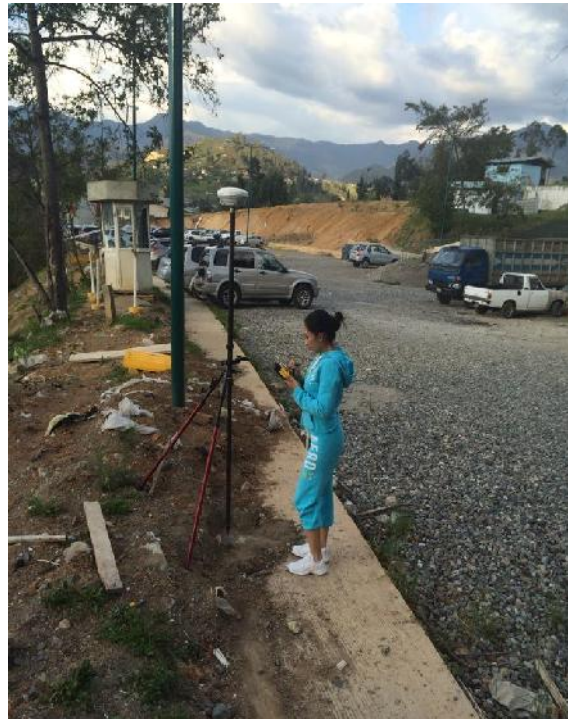


Figura 1. Ubicación espacial de la Estación UTPL-RT-06.



Fotografía 2. Equipo TRIMBLE R6 en la Estación UTPL-RT-06.



Fotografía 3. Equipo TRIMBLE R6 en la Estación UTPL-RT-03



Fotografía 4. Equipo TRIMBLE R6 (Base-Receptor) en la Estación UTPL-RT-03



Fotografía 5. Equipo TRIMBLE R6 en la Estación LJEC-1.



Fotografía 6. Programación de equipo TRIMBLE R6 en la Estación LJEC-1



Fotografía 7. Equipo TRIMBLE R6 (Base-Receptor) en la Estación LJEC-3