

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS
TOPOGRÁFICOS DE OBRAS VIALES MEDIANTE
TOPOGRAFIA CONVENCIONAL Y
GPS DIFERENCIAL**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

PERCY WALTER HILARIO SOLIS

Lima- Perú

2013

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPITULO I: PRESENTACIÓN	9
1.1 ANTECEDENTES	9
1.2 JUSTIFICACIÓN	9
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.4 OBJETIVOS	10
CAPÍTULO II: SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	11
2.1 INTRODUCCIÓN A LA GEODESIA ESPACIAL	11
2.2 EL SISTEMA TRANSIT	12
2.3 EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS	13
2.4 CONSTITUCIÓN DE SISTEMA GPS	13
2.4.1 Segmento espacial	13
2.4.2 Segmento de control	14
2.4.3 Segmento usuario	15
2.5 MEDIDAS DE DISTANCIAS A SATÉLITES Y MÉTODO DIFERENCIAL	15
2.5.1 Medición de pseudodistancias	15
2.5.2 Medición de distancias con medidas de fase	16
2.5.3 Método Diferencial	17
2.5.4 Fuentes de error	18
2.5.5 D.O.P., máscaras de elevación y acimut de satélites	19
2.6 SISTEMA DE REFERENCIA GPS	21
2.6.1 Proyecciones y Coordenadas Planas	23
2.7 TIPOS DE INSTRUMENTOS GPS	24

2.7.1	Navegadores	24
2.7.2	GPS Submetricos	24
2.7.3	GPS Monofrecuencia de Código y fase	24
2.7.4	GPS Doble Frecuencia	25
2.8	POSICIONAMIENTOS GPS, MÉTODOS Y APLICACIONES	25
2.8.1	Posicionamiento absoluto	25
2.8.2	Posicionamiento Diferencial	25
2.8.3	Método Estático	26
2.8.4	Métodos Cinemáticos	28

CAPÍTULO III: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y ANÁLISIS

	COMPARATIVO	31
3.1	UBICACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO	31
3.2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	31
3.3	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CONVENSIONAL	32
3.3.1	Puntos de control geodésico	32
3.3.2	Poligonal de control	41
3.3.3	Nivelación Método de estaciones dobles	43
3.3.4	Levantamiento de puntos por radiación	46
3.4	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON GPS DIFERENCIAL	49
3.5	ANÁLISIS COMPARATIVO	53
3.5.1	Análisis Estadístico	54
3.5.2	Evaluación de la Incertidumbre para los Datos de Campo	58
3.5.3	Análisis Comparativo de Costos	61

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	CONCLUSIONES	67
4.2	RECOMENDACIONES	68

	BIBLIOGRAFÍA	69
--	---------------------	----

ANEXOS

Anexo 1. Evaluación de la Incertidumbre	70
Anexo 2. Estimación de la incertidumbre para los puntos determinados con Estación Total	78
Anexo 3. Precisión Horizontal de los Puntos determinados con GPS Diferencial, en Modo RTK	80
Anexo 4. Diferencia Altimétrica	83
Anexo 5. Tolerancias en la Ubicación de Puntos	87
Anexo 6. Términos de referencia del Estudio Comparativo	88
Anexo 7. Fichas técnicas de los Puntos de Control Geodésicos	91
Anexo 8. Especificaciones Técnicas de Equipos Utilizados	96

RESUMEN

El informe de suficiencia que se presenta es un **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS DE OBRAS VIALES MEDIANTE TOPOGRAFIA CONVENCIONAL Y GPS DIFERENCIAL”**.

Actualmente para los levantamientos topográficos de obras viales, se cuenta con dos alternativas más empleadas para su ejecución. La Topografía Convencional se emplea una Estación Total y la Topografía con GPS diferencial se emplea receptores; sin embargo, existe escasa información que permita comparar los resultados y conocer las diferencias y desviaciones de estas dos metodologías.

Ante esto, el presente informe muestra los resultados que se obtuvieron al realizar el análisis comparativo.

Se procedió a realizar el levantamiento topográfico de 4 kilómetros de la carretera Panamericana Norte, el cual se encuentra entre las progresivas 48+000 hasta 52+000.

Se identificó 145 puntos ubicados en el borde de la berma, correspondientes a 2 kilómetros de la vía; el primer kilómetro comprende las progresivas 48+600 hasta 49+600 y el segundo las progresivas 50+500 hasta 51+500 posteriormente se realizó el levantamiento topográfico con Estación Total y con GPS Diferencial en Modo RTK (Real Time Cinemático). Se monitorea 5 puntos de control GPS, enlazados a la red Geodésica Nacional.

Para el levantamiento convencional se emplearon cuatro puntos de control GPS, con el objetivo de obtener coordenadas y acimuts, para la compensación de la poligonal. Se realizó una nivelación geométrica compuesta, de doble estación con el fin de obtener las alturas ortométricas de los puntos de la poligonal y los puntos de control GPS.

Para el levantamiento con GPS Diferencial se empleó un punto de control GPS, donde se estacionó el receptor master y con el rover se procedió a levantar los puntos marcados en la berma. El modo de trabajo empleado es en RTK.

Se realizó el análisis estadístico de las diferencias de coordenadas, encontrándose las incertidumbres y errores relativos de los puntos medidos con ambas metodologías.

LISTA DE CUADROS	Pag.
Cuadro N°2.1.- Modelos de errores	18
Cuadro N°2.2.- Precisión de los equipos GPS	24
Cuadro N°2.3.- Tiempo de observación	27
Cuadro N°3.1.- Especificaciones Técnicas de equipos GPS	34
Cuadro N°3.2.- Resultados de Método Estático	40
Cuadro N°3.3.- Transformación de Coordenadas UTM a Topográficas	41
Cuadro N°3.4.- Datos de campo para la poligonal	41
Cuadro N°3.5.- Calculo de la Poligonal	42
Cuadro N°3.6.- Resultados de Nivelación Tramo 01 - Tramo 04	44
Cuadro N°3.7.- Resultados de Nivelación Tramo 05 - Tramo 08	45
Cuadro N°3.8.- Resultados de Nivelación Tramo 09	46
Cuadro N°3.9.- Cuadro de Resumen	46
Cuadro N°3.10.- Coordenadas obtenidas con la Estación Total	48
Cuadro N°3.11.- Coordenadas obtenidas con GPS Diferencial en modo RTK de punto 1 -62	50
Cuadro N°3.12.- Coordenadas obtenidas con GPS Diferencial en modo RTK de punto 63 -115	51
Cuadro N°3.13.- Coordenadas obtenidas con GPS Diferencial en modo RTK de punto 116 -163	52
Cuadro N°3.14.- Cuadro comparativo de coordenadas	53
Cuadro N°3.15.- Datos Para la elaboración de la Tabla de Frecuencias	56
Cuadro N°3.16.- Tabla de Frecuencias para ΔH	57
Cuadro N°3.17.- Cuadro Comparación de Incertidumbre y Error relativo Aparente	61
Cuadro N°3.18.- Costos de Materiales y Equipos	63

LISTA DE FIGURAS	Pag.
Figura N°2.1.- Ventana de ocupación	13
Figura N°2.2.- Segmento de control de GPS	15
Figura N°2.3.- Medición de pseudodistancias	16
Figura N°2.4.- Medidas de fase	17
Figura N°2.5.- Método Diferencial	17
Figura N°2.6.- GDOP	19
Figura N°2.7.- Mascara de elevación	20
Figura N°2.8.- Sistema de referencia	22
Figura N°2.9.- Relación entre el geoide, elipsoide y la superficie de la Tierra	22
Figura N°2.10.- Proyección Transversal de Mercator	23
Figura N°2.11.- Replanteo topográfico en RTK	29
Figura N°3.1.- Ubicación del tramo de estudio	31
Figura N°3.2.- Vista de los puntos de control GPS	33
Figura N°3.3.- GPS Diferencial en modo Estático	36
Figura N°3.4.- Ventana de trabajo del software de post proceso Topcon Tools. V7.5	37
Figura N°3.5.- Ventana de configuración	38
Figura N°3.6.- Ventana de ocupación	39
Figura N°3.7.- Ventana de mapa para los puntos GPS	39
Figura N°3.8.- Nivelación	43
Figura N°3.9.- Levantamiento por radiación con Estación Total	47
Figura N°3.10.- Vista de levantamiento desde la estación E5	47
Figura N°3.11.- Levantamiento en modo RTK	49
Figura N°3.12.- Grafico de control para ΔH	56
Figura N°3.13.- Histograma y Polígono de frecuencias para ΔH	57
Figura N°3.14.- Histograma de Frecuencias Relativas acumuladas para ΔH	57
Figura N°3.15.- Grafico de control para la incertidumbre Total (Et)	58
Figura N°3.16.- Histograma y Polígono de frecuencias para la Et	58
Figura N°3.17.- Histograma de Frecuencias Relativas acumuladas para la Et	59

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

GLONASS	Global Navigation Satellite System.
GPS	Global Positioning System.
M.T.C	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
Rinex	Receiver INdependent Exchange.
RTK	Real Time Kinematic
E.M.C	Error medio cuadrático.
IGN	Instituto Geográfico Nacional
σ_{α}	Incertidumbre típica de medida para un ángulo horizontal.
$\sigma_{\alpha ISO}$	Incertidumbre típica para un ángulo horizontal debida a la incertidumbre típica de medida del equipo.
$\sigma_{\alpha o}$	Contribución a la incertidumbre típica para un ángulo horizontal debida a las incertidumbres típicas de centrado de las señales.
$\sigma_{\alpha c}$	Contribución a la incertidumbre típica para un ángulo horizontal debida a la incertidumbre típica de centrado del instrumento.
$\sigma_{\alpha j}$	Contribución a la incertidumbre típica para un ángulo horizontal debida a la incertidumbre típica por inclinación de la señal.
σ_{H_o}	Contribución a la incertidumbre típica para una dirección angular horizontal debida a la incertidumbre típica de centrado de la señal
σ_{H_z}	Incertidumbre típica por dirección angular horizontal.
σ_o	Incertidumbre típica por centrado de la señal visada.
U_o	Incertidumbre expandida al 99,7% por centrado de la señal.
U_c	Incertidumbre expandida al 99,7% por centrado del instrumento sobre su punto de estación
U_j	Incertidumbre expandida al 99,7% por inclinación de la señal.
β	Ángulo de inclinación de la señal visada sobre la vertical
$\sigma_{ISO-EDM}$	Incertidumbre típica experimental para una distancia medida con distanciómetro según la Norma ISO 17123-4.
σ_{Dg}	Incertidumbre típica de medida para una distancia geométrica.

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad los levantamientos topográficos para obras viales se realizan con el uso de una Estación Total, o con GPS diferencial, esto tanto en la etapa de levantamiento para el diseño geométrico como para el replanteo y estacado de la vía.

Sin embargo, existe escasa información que permita comparar los resultados de estas dos metodologías, las cuales nos permitan conocer las diferencias y desviaciones, que se obtienen al comparar las coordenadas que son resultado de una u otra metodología.

Ante esto se plantea elaborar un estudio comparativo de los resultados, obtenidos de un levantamiento topográfico convencional y con GPS diferencial. En el presente informe se ha dividido en cuatro capítulos:

Capítulo I; Presentación del informe donde se muestra los antecedentes, la justificación, el planteamiento del problema y la definición de los objetivos.

Capítulo II: Sistema De Posicionamiento Global, presenta una breve introducción a la geodesia espacial, la medida de las distancias a satélites, los tipos de instrumentos GPS y los métodos de Posicionamiento.

Capítulo III; Trabajos de campo realizados para obtener las coordenadas de los puntos que permitieron realizar el análisis comparativo.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones del presente estudio.

CAPITULO I: PRESENTACIÓN

1.5 ANTECEDENTES

El Sistema de posicionamiento Global (GPS), es el sistema satelital que brinda mayores y mejores prestaciones para los GPS diferenciales, aunque existen otros sistemas en operación y/o en desarrollo como: Glonass (Federación Rusa), Galileo (Unión Europea), Compass (República China) etc. Si bien el origen de GPS es de carácter militar; el uso civil ha pasado a ser de mayor importancia. Alcanzo su completa operatividad por los años noventa, a partir de esta fecha empezó a ser una herramienta cada vez más usada para los proyectos de ingeniería, más aún cuando el manejo de los GPS diferenciales es cada vez más fácil de operar; esto permite hoy en día competir con los sistemas de topografía convencional donde se emplea estaciones totales.

1.6 JUSTIFICACIÓN

En el presente informe, se quiere comparar dos metodologías de levantamiento topográficos para obras viales, presentando un análisis comparativo de resultados, los cuales nos permitirá conocer las diferencias entre una y otra metodología. Para esto se presentara cuadros estadísticos y gráficos con sus respectivas desviaciones, lo que permitirá conocer si los levantamientos topográficos con GPS diferencial se encuentran dentro de las tolerancias que corresponden a los levantamientos topográficos ejecutados con estación total, para obras viales.

1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente para los levantamientos topográficos de obras viales, contamos con dos alternativas más empleadas para su ejecución; la Topografía Convencional en la que básicamente se emplea una Estación Total y la Topografía con GPS diferencial en la que se emplea receptores. Sin embargo, existe escasa información que permita comparar los resultados de estas dos metodologías.

1.8 OBJETIVOS

Objetivo general:

Estudio comparativo para levantamientos topográficos de obras viales convencionales empleando Estación Total y GPS Diferencial.

Objetivos específicos:

- Realizar el levantamiento topográfico con Estación total y GPS diferencial, del tramo de la carretera Panamericana Norte; entre las progresivas 48+0.00 al 52+0.00.
- Comparar los resultados de las coordenadas obtenidas mediante ambas metodologías.

CAPÍTULO II: SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

2.1 Introducción a la geodesia espacial.

Se puede decir que la era de la geodesia espacial fue efectivamente iniciada por la URSS el 4 de octubre de 1957 con el lanzamiento del primer satélite artificial de la Tierra: el Sputnik 1.

El Sputnik 1 tenía una masa aproximada de 83 kg, contaba con dos transmisores de radio (20,007 y 40,002 MHz) y orbitó la Tierra a una distancia de entre 938 km en su apogeo y 214 km, en su perigeo. El análisis de las señales de radio se usó para obtener información sobre la concentración de los electrones en la ionosfera. La temperatura y la presión se codificaron en la duración de los pitidos de radio que emitía, indicando que el satélite no había sido perforado por un meteorito. El Sputnik 1 se lanzó con el vehículo de lanzamiento R-7 y se incineró durante su reentrada el 4 de enero de 1958.

2.2 El sistema Transit

El sistema TRANSIT, también conocido como NAVSAT (Navy Navigation Satellite System), fue el primer sistema de navegación por satélite en funcionar. En su primera etapa, fue utilizado por la marina de los EE.UU para conseguir información precisa para el lanzamiento de misiles submarinos y para la navegación de los barcos y submarinos, también se utilizó para estudios topográficos, geotécnicos e hidrográficos.

Días después del lanzamiento del Sputnik(URSS – 4 Octubre de 1957), los científicos George Weiffenbach y William Guier querían determinar la órbita del Sputnik analizando el efecto doppler en las señales de radio, entonces, se sugirió que si se podía predecir la posición del satélite, el efecto doppler se podría utilizar para localizaciones en la tierra.

Desde los satélites del sistema TRANSIT se transmiten dos señales portadoras (UHF) periódicamente (cada dos minutos). Las incidencias de la órbita y correcciones del reloj se actualizan dos veces al día, con esta información se calcula la posición del satélite a lo largo del tiempo. Al utilizar dos señales se reduce el número de errores. Este sistema, hizo posible la

sincronización de los relojes en todo el mundo con una precisión de 50 microsegundos.

Calcular la localización óptima del receptor es un proceso bastante complejo, con sucesivos ajustes y actualizaciones del objeto a localizar. Si el receptor está en movimiento, también se producirán desajustes y pérdidas de precisión en la efectividad de la localización. La precisión de la medición se ve influida también por la precisión del reloj. La transmisión se produce en 150 y 400 MHz, se utilizan estas dos frecuencias para minimizar el efecto de la ionosfera sobre las señales y así conseguir una localización más precisa.

Este sistema se quedó obsoleto tras la aparición del GPS (Global Positioning System), ya que las mejoras electrónicas permitieron al sistema GPS realizar mediciones y cálculos de manera mucho más eficiente, por ello el sistema NAVSAT dejó de estar en funcionamiento en el año 1996.

2.3 El Sistema de Posicionamiento Global GPS

La implementación del programa NAVSTAR, GPS (Navigation System Timing And Ranging, Global Positioning System) fue efectivamente iniciada en diciembre de 1973. El 22 de febrero de 1978 fue lanzado el primer satélite de una serie de cuatro. La responsabilidad del desarrollo y mantenimiento del sistema recae en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, División Sistema Espacial. Esa dependencia se debía a que el sistema fue concebido, igual que Transit, para uso militar.

GPS es un sistema que tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier momento del día. Para la obtención de coordenadas el sistema se basa en la determinación simultánea de las distancias a cuatro satélites (como mínimo) de coordenadas conocidas. Estas distancias se obtienen a partir de las señales emitidas por los satélites, las que son recibidas por receptores especialmente diseñados. Las coordenadas de los satélites son provistas al receptor por el sistema.

2.4 Constitución de Sistema GPS

Está constituido por tres segmentos fundamentales:

- Espacial
- De control
- Del usuario

2.4.1 Segmento espacial

En la Figura 2.1 se observa la disposición aproximada que tienen los satélites de la constelación NAVSTAR - GPS que integran el segmento espacial. Debido a que la vida útil de un satélite llega a término por envejecimiento de los paneles solares, falta de capacidad de los acumuladores, averías no reversibles en los sistemas electrónicos o agotamiento del combustible de maniobra, se planificó su reemplazo en bloques.

Los primeros satélites puestos en órbita fueron los integrantes del denominado Bloque I. Fueron lanzados desde la base Vandenberg, ubicada en el estado de California. El total de satélites puestos en órbita fue 11 entre los años 1978 y 1985, utilizándose para ello cohetes Atlas-F.

Estos primeros satélites tuvieron un peso de 845 Kg. y un promedio de vida efectiva de 7.5 años. Las órbitas descritas tenían una inclinación de 63 grados respecto del Ecuador.

Los satélites del Bloque I fueron sustituidos progresivamente por los del denominado Bloque II. El primer satélite de este grupo fue lanzado en el año 1989 desde el Centro Espacial Kennedy en Cabo Cañaveral, estado de Florida. Cabe mencionar que este nuevo bloque adiciona varias innovaciones.

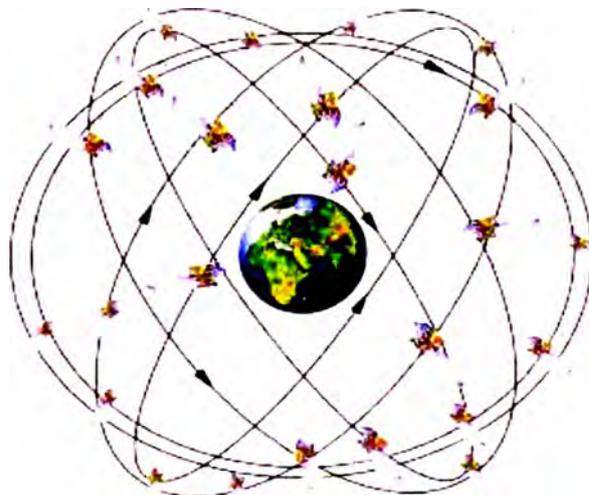


Figura N°2.1.- Ventana de ocupación

Constelación de Satélites NAVSTAR - GPS

i. Constelación

A fines de 1993 cuando fue completada la constelación de satélites del sistema sus características eran las siguientes:

- Compuesta por 24 satélites.
- Los satélites se ubican en 6 órbitas planas prácticamente circulares, con inclinación de 55° respecto al plano del Ecuador y con una distribución aproximadamente uniforme; con 4 satélites en cada órbita.
- Se encuentran aproximadamente a 20180 km de altura.
- Tienen 12h de período de rotación (en tiempo sidéreo) u 11h 58m (en tiempo oficial).
- También hay satélites en órbita que se encuentran desactivados y disponibles como reemplazo.
- Con la constelación completa, se dispone, en cualquier punto y momento, entre 5 y 11 satélites observables, con geometría favorable.
- El tiempo máximo de observación de un satélite es de hasta 4 horas 15 minutos.

2.4.2 Segmento de control

Las funciones principales del segmento de control, denominado internacionalmente con las siglas OCS (Operational Control Segment) son:

- Monitoreo y control permanente de los satélites con el objeto de determinar y predecir las órbitas y los relojes de a bordo.
- Sincronización de los relojes de los satélites con el tiempo GPS.
- Transmisión, a cada satélite, de la información procesada.

Está integrado por una Estación de Control Maestra (MCS), varias Estaciones de Monitoreo (MS) y Antenas Terrestres (GA).

Las estaciones de monitoreo tienen coordenadas conocidas con gran precisión y están equipadas con receptores GPS de doble frecuencia L1/L2 y un reloj de Cesio. Su función es determinar las distancias a todos los satélites visibles y transmitirlos a la estación de control maestra junto con los datos meteorológicos de cada estación.



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

Figura N°2.2.- Segmento de control de GPS

Con los datos recibidos de las estaciones monitoras, la estación maestra, ubicada en la Base de la Fuerza Aérea Schriever en el estado de Colorado, calcula los parámetros orbitales y los de los relojes y posteriormente los transmite a las antenas terrestres que los transfieren a los satélites a través de un enlace vía banda S.

2.4.3 Segmento usuario

Está constituido por los instrumentos utilizados para recibir y procesar la señal emitida por los satélites.

Estos instrumentos están integrados esencialmente por una antena y un receptor.

El receptor consta de un mínimo de 4 canales que permiten recibir y procesar simultáneamente la señal de cada satélite.

Posee además un oscilador de cuarzo que permite generar la frecuencia de referencia para realizar la observación.

Un microprocesador interno con el software correspondiente calcula las coordenadas de la antena y la velocidad y acimut si el aparato está en movimiento.

Según la precisión con que se pueden obtener los resultados, podemos clasificarlos en receptores: Geodésicos, Topográficos, Navegadores.

2.5 MEDIDAS DE DISTANCIAS A SATÉLITES Y MÉTODO DIFERENCIAL

2.5.1 Medición de pseudodistancias

Con los métodos de medición de caracteres del GPS, se miden distancias entre la antena del receptor y los satélites.

Para la solución geométrica son suficientes tres mediciones de este tipo. La posición de la antena viene dada por el punto de intersección de tres esferas, con la posición de los satélites como centro de las esferas, y tres distancias medidas como radios. La distancia desde el receptor al satélite se obtiene por medio de una medición del tiempo de propagación con ayuda del código C/A, o bien, el código P.

La señal del satélite es modulada por dos códigos, el Código C/A y el código P. El código C/A esta basado en el tiempo marcado por un reloj atómico de alta precisión. El receptor cuenta también con un reloj que se utiliza para generar un código C/A coincidente con el satélite.

De esta forma, el receptor GPS puede “hacer coincidir” o correlacionar el código que recibe del satélite con el generado por el receptor.

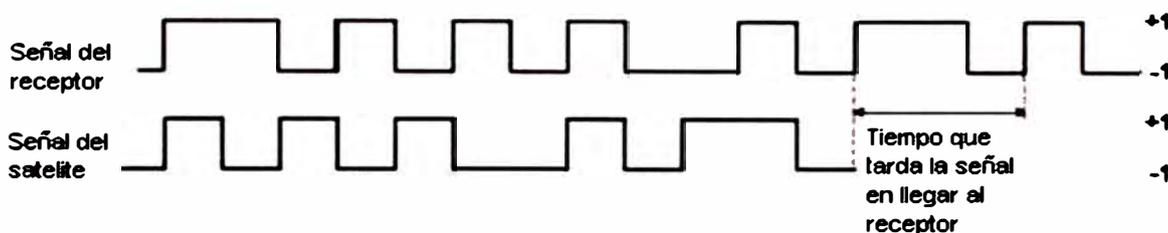


Figura N°2.3.- Medición de pseudodistancias

2.5.2 Medición de distancias con medidas de fase

Contrariamente a la pseudodistancia, en la que se mide el tiempo de propagación con ayuda de los códigos modulados C/A o P, aquí se mide el desfase de la onda portadora. La fase de la señal llegada del satélite es comparada con la fase de una señal de referencia generada en el receptor.

Del desfase se obtiene una parte de la distancia como parte de la longitud de onda; esto significa en la medición hecha en la frecuencia L1, una parte de la distancia comprendida en 19 cm; en la frecuencia L2, en 24 cm, y esto con resolución en el ámbito submilimétrico.

En principio, el número de longitudes de ondas completas en la distancia satélite - Receptor, permanece desconocido. Por ello, el programa de cálculo tiene que estar en condiciones de determinar el número de longitudes de onda desconocidas, para poder calcular las coordenadas de la estación.

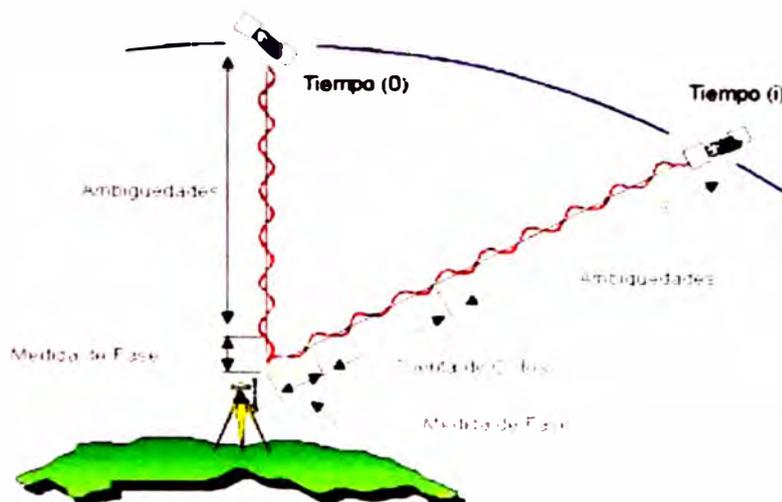


Figura N°2.4.- Medidas de fase

2.5.3 Método Diferencial

Las señales de los satélites son recibidas simultáneamente por dos receptores. Con este método se anulan hasta un cierto grado errores inevitables como la imprecisión de la órbita del satélite y se obtiene con ello una mayor precisión que con la determinación de un punto aislado. Se utiliza aquí el método de medición de fase que da una mayor precisión que el de la medida de la pseudodistancia. Los errores que se eliminan utilizando el método diferencial son los siguientes:

- Disponibilidad selectiva (SA)
- Retardo ionosférico.
- Retardo troposférico.
- Error en las efemérides.
- Error reloj satélite.

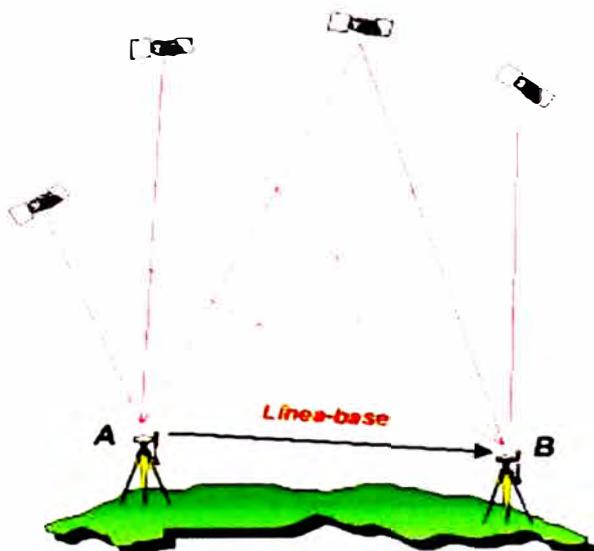


Figura N°2.5.- Método Diferencial

2.5.4 Fuentes de error

Igualmente que en todos los equipos que utilizamos, una observación GPS también está sometida a varias fuentes de error que se pueden minimizar dependiendo del equipo que utilicemos y metodología de la observación. Estas fuentes de error son las siguientes:

Satélites:

- Variaciones Orbitales.
- Errores en el oscilador.

DoD:

- S/A. Disponibilidad Selectiva.

Punto de referencia:

- Error del oscilador receptor.
- Error en las coordenadas referencia.
- Observaciones:
- Retrasos ionosfericos.
- Retrasos Troposféricos.
- Perdidas de ciclos.
- Errores de medida de fase con el receptor en movimiento.
- Multipath. Ondas reflejadas.
- Errores en el estacionamiento.
- Errores en la manipulación del equipo.

Cuadro N°2.1.- Modelos de errores

FUENTE DE ERROR	ERROR TIPICO	COMO CORREGIR
ORBITA SATELITES	20 M.	DIFERENCIAL
RELOJ SATELITES	10 M.	DIFERENCIAL
RETARDO IONOSFER.	50 M.	DIFER. 2 FREC
RETARDO TROPOSFE.	2.3 M.	MODELO-DIFFRENC.
MULTIPATH	10 M.	SITUACION ANTENA
RELOJ RECEPTOR	10 M.	POST PROCESO
RUIDO	MM. PORTADORA	(CODIGO)

Fuente: Referencia bibliográfica [8]

2.5.5 D.O.P., máscaras de elevación y acimut de satélites

i) D.O.P. (Dilution of precision)

Es la contribución puramente geométrica a la incertidumbre de un posicionamiento. Es un valor adimensional descriptivo de la "solidez" de la figura observable constituida por los satélites.

Su valor ideal es 1, si la geometría empeora, el valor aumenta.

Los **DOPs** más utilizados son:

- GDOP: tres coordenadas de posición y estado del reloj.
- PDOP: tres coordenadas de posición.
- HDOP: dos coordenadas de posición planimetría.
- VDOP: solo la altitud.
- TDOP: solo estado del reloj.

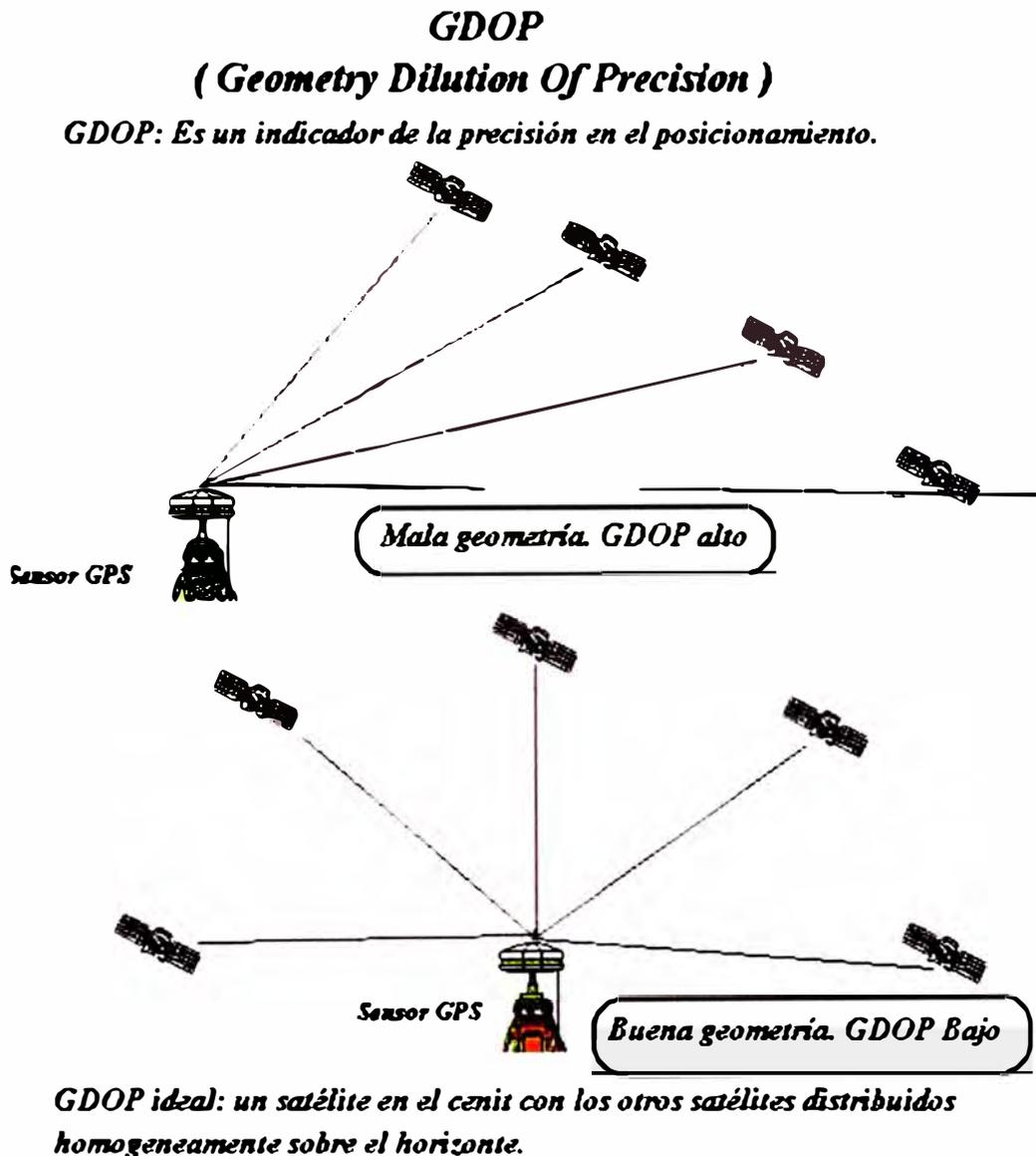


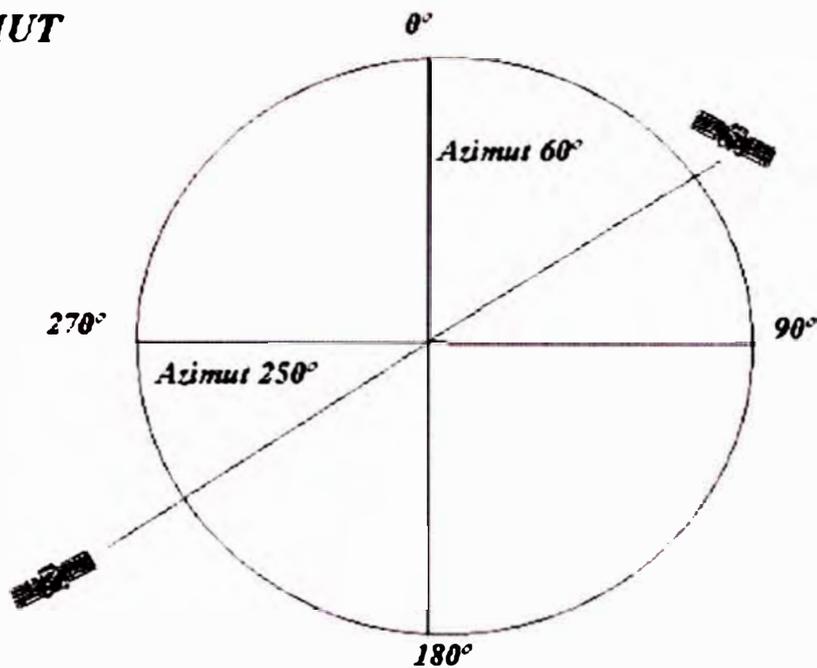
Figura N°2.6.- GDOP

ii) Máscaras de elevación

Es el ángulo de elevación mínimo que tendrán los satélites para que recibamos señal de estos. Este ángulo es configurable y se considera como el mínimo ideal de 15° de elevación, ya que por debajo de este ángulo, la señal recibida de los satélites, está muy influenciada por la refracción atmosférica.

AZIMUT Y MASCARA DE ELEVACION

AZIMUT



MASCARA DE ELEVACION

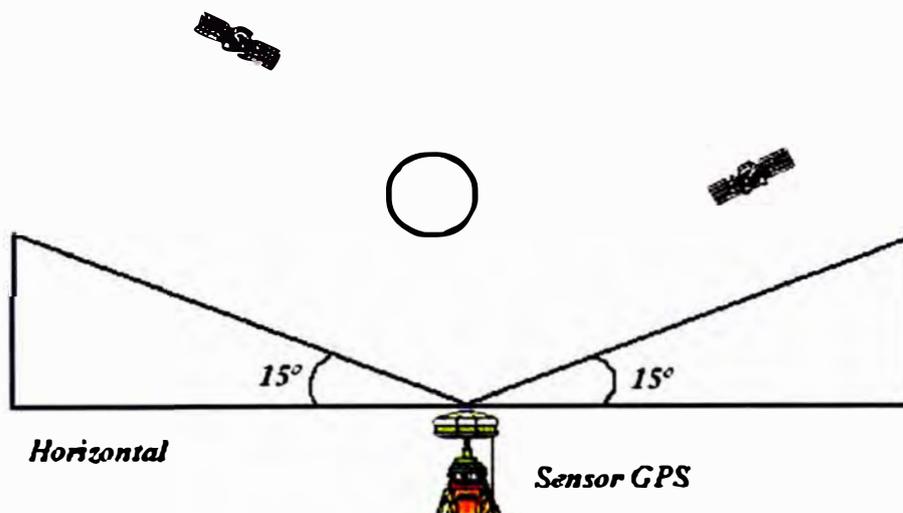


Figura N°2.7.- Mascara de elevación

2.6 SISTEMA DE REFERENCIA GPS

La determinación de una posición con GPS consigue un objetivo fundamental de la Geodesia. La determinación absoluta de una posición con precisión uniforme en todos los puntos sobre la superficie de La Tierra.

Aunque la Tierra parezca ser una esfera uniforme cuando se la observa desde el espacio, su superficie dista mucho de serlo.

Debido al hecho de que el GPS debe proporcionar coordenadas en cualquier lugar de la superficie terrestre, este utiliza un sistema de coordenadas geodésico basado en un elipsoide. Un elipsoide (también conocido como esferoide) es una esfera aplanada o achatada.

El elipsoide elegido será aquel que se ajuste más exactamente a la forma de la Tierra.

El elipsoide utilizado por el GPS es conocido como WGS84 o Sistema Geodésico Mundial 1984 (por sus siglas en inglés World Geodetic System 1984).

Un punto sobre la superficie de La Tierra, puede ser definido utilizando su Latitud, su Longitud y su Altura Elipsoidal.

El sistema convencional de referencia terrestre (CTRS) adoptado para el posicionamiento GPS es el denominado World Geodetic System 1984 (WGS84), definido por:

- Origen en el geocentro.
- Eje Z paralelo a la dirección del Origen Convencional Internacional (C.I.O), posición del polo medio en 1903
- El eje X es la intersección del plano meridiano de referencia y el plano del ecuador astronómico medio
- El eje Y, situado en este plano, constituye con X,Z un sistema coordenado rectangular

Los valores de las constantes son:

$a = 6378137$ metros (semieje mayor)

$b = 6356752,3$ metros (semieje menor)

$u = 3986005 \cdot 10^8$ m³/s² (cte gravitacional)

$w = 7292115 \cdot 10^{-11}$ rd/s (velocidad de rotación)

Todas las alturas medidas con GPS están dadas con relación a la superficie del elipsoide WGS84. Estas son conocidas como Alturas Elipsoidales. Las alturas existentes son alturas ortométricas medidas en relación con el nivel medio del mar.

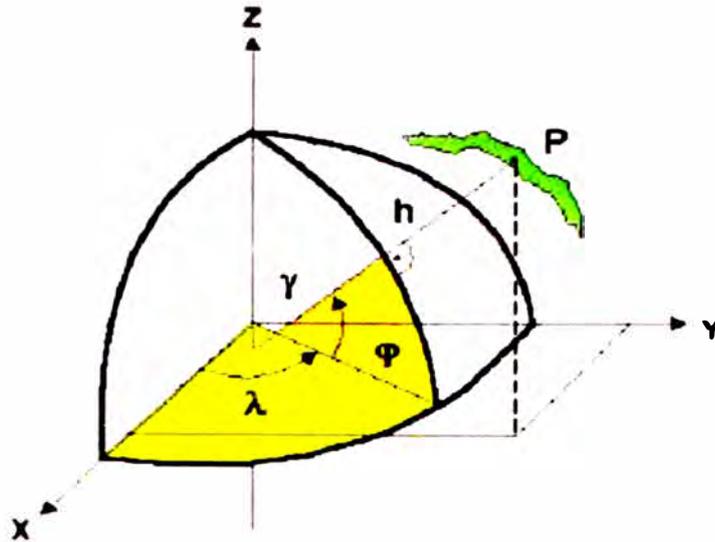


Figura N°2.8.- Sistema de referencia

El nivel medio del mar corresponde a una superficie conocida como geode. El Geode puede ser definido como una superficie equipotencial, lo que significa que la fuerza de la gravedad es constante en cualquier punto sobre el geode.

El geode tiene una forma irregular y no corresponde a ningún elipsoide.

Debido a que la mayoría de los mapas existentes muestran las alturas ortométricas (relativas al geode), la mayoría de usuarios de GPS requieren que las alturas sean también ortométricas

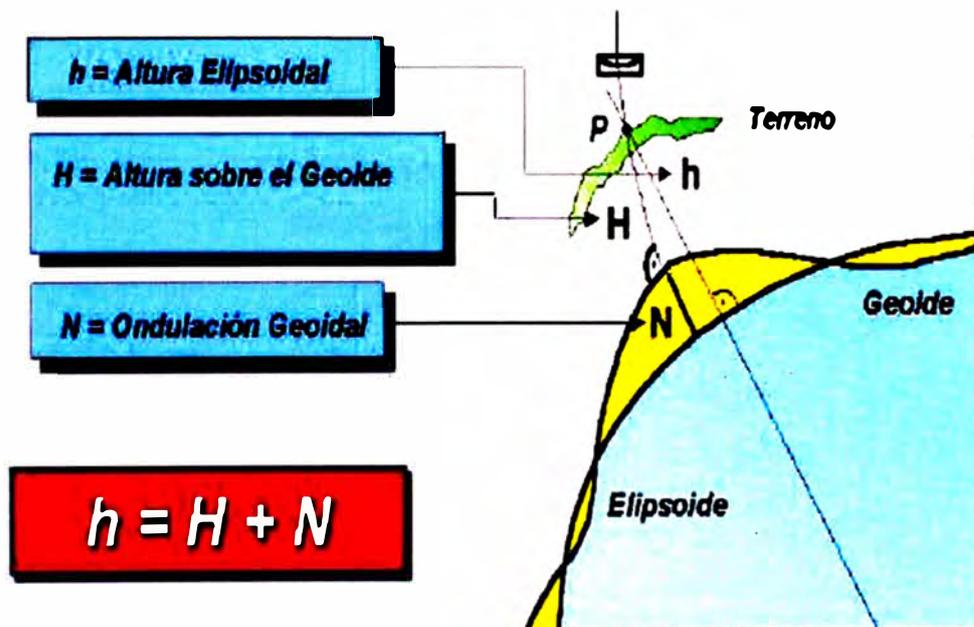


Figura N°2.9.- Relación entre el geode, el elipsoide y la superficie de la Tierra

Este problema es resuelto mediante el uso de modelos geoidales para convertir las alturas elipsoidales en alturas ortométricas.

2.6.1 Proyecciones y Coordenadas Planas

La mayoría de topógrafos mide y registra coordenadas en un sistema de cuadrícula ortogonal. Esto significa que los puntos están definidos por su coordenada Este, su coordenada Norte y su altura ortométrica (altura sobre el nivel del mar).

Estas proyecciones se muestran como planos, pero realmente definen pasos matemáticos para especificar las posiciones sobre un elipsoide en términos de un plano. La forma en que una proyección trabaja se muestra en el diagrama.

La Proyección Transversal de Mercator es una proyección conforme. Esto significa que las mediciones angulares realizadas sobre la superficie de la proyección son verdaderas. La proyección está basada en un cilindro que es ligeramente más pequeño que el esferoide y después se desarrolla en forma horizontal. Este método es utilizado por muchos países y se adapta especialmente a países grandes cerca del ecuador.

La Proyección Transversal de Mercator se define por:

- Falso Este y Falso Norte.
- Latitud de Origen
- Meridiano Central
- Factor de Escala sobre el Meridiano
- Ancho de Zona

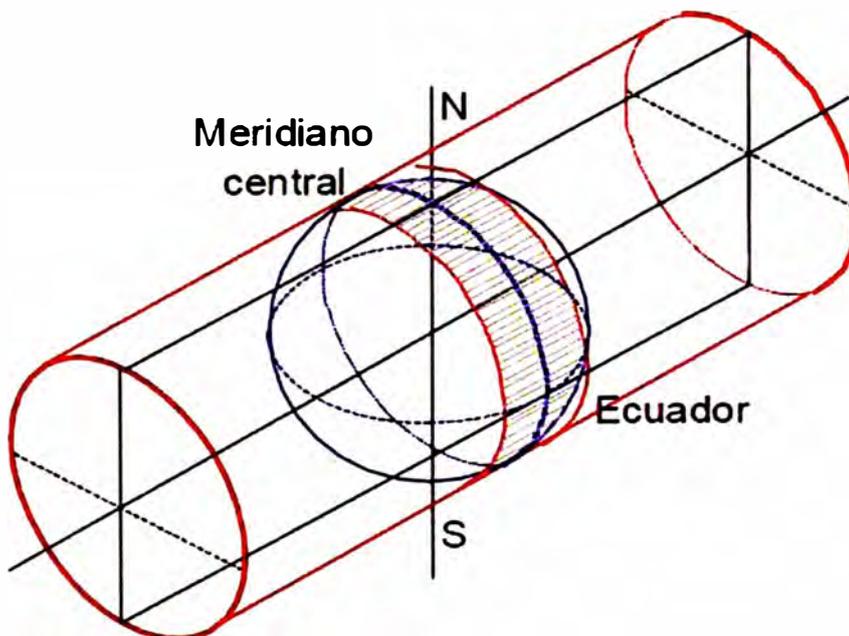


Figura N°2.10.- Proyección Transversal de Mercator

2.7 TIPOS DE INSTRUMENTOS GPS

El criterio que se utiliza para realizar la división de los equipos GPS es la precisión que pueden alcanzar, así como su aplicación.

Cuadro N°2.2.- Precisión de los equipos GPS

<i>METODO</i>	<i>FRECUENCIA</i>	<i>OBSERVABLE</i>	<i>PRECISION</i>	<i>APLICACION</i>
<i>ABSOLUTO</i>	<i>L1</i>	<i>CODIGO C/A</i>	<i>± 100 Metros</i>	<i>NAVEGACION</i>
<i>DIFERENCIAL</i>	<i>L1</i>	<i>CODIGO C/A</i>	<i>1-2 Metros</i>	<i>CARTOG/GIS</i>
<i>DIFERENCIAL</i>	<i>L1</i>	<i>C/A y FASE</i>	<i>1 cm. ± 2 ppm.</i>	<i>TOPOGRAFIA</i>
<i>DIFERENCIAL</i>	<i>L1 y L2</i>	<i>C/A, P y FASE</i>	<i>5 mm. ± 1ppm.</i>	<i>TOPOG./GEO</i>

Fuente: Referencia bibliográfica [7]

2.7.1 Navegadores

Solo reciben datos de código C/A por la portadora L1.

Los equipos para navegación son receptores GPS muy sencillos y de bajo precio. Son equipos que funcionan autónomamente, no necesitan descargar datos para conseguir la precisión menor de los 100 m.

2.7.2 GPS Submetricos

Son receptores GPS con recepción de las mismas observables que los anteriores. L1 solo código C/A.

La gran diferencia con los anteriores es que ya trabajan diferencialmente, es decir, un equipo de referencia, grabando datos continuamente y el equipo móvil tomando los puntos que deseemos levantar ya sea de modo estático o bien cinemático.

Las precisiones que se pueden conseguir oscilan desde los 30 cm. a los 10 m.

Las aplicaciones de estos equipos se encuadran en la cartografía y GIS.

2.7.3 GPS Monofrecuencia de código y fase

Estos receptores al igual que los anteriores toman todas sus observables de la portadora L1, pero con la diferencia de que además de tomar

medidas de código C/A también realizan medida de fase. También trabajan en modo diferencial, es decir, se necesitan dos receptores tomando medidas simultáneamente, referencia y móvil. La principal ventaja es el aumento de la precisión en el levantamiento de puntos. Con estos equipos se pueden realizar posicionamientos Estáticos, Estático Rápido, Stop&go, cinemático y también es posible trabajar en Tiempo Real con la precisión que proporciona la medida de código. La precisiones nominales para estos equipos son $1\text{cm}+2\text{ppm}$, esto nos permite el utilizarlos para aplicaciones Topográficas.

2.7.4 GPS Doble Frecuencia

Los posicionamientos posibles con estos equipos son: Estático, Estático Rápido, Stop&Go, Cinemático y además la posibilidad de realizar todos éstos en Tiempo Real. La principal ventaja con respecto a los equipos monofrecuencia con medida de fase es un aumento en la precisión.

Se trata de los equipos de mayor precisión y son los equipos por excelencia para Topografía y Geodesia. Toman observables de ambas portadoras emitidas por los satélites L1 y L2, realizando medidas de Código C/A y P en L1, de Código P en L2 y medidas de fase en L1 y L2.

2.8 POSICIONAMIENTOS GPS, MÉTODOS Y APLICACIONES

Debido a sus numerosas ventajas en materia de precisión, rapidez y productividad, el sistema GPS se está empleando cada vez más en topografía.

Siempre que se respeten determinadas reglas fundamentales, las medidas GPS no presentan dificultades y ofrecen buenos resultados.

2.8.1 Posicionamiento Absoluto

Decimos que un posicionamiento es absoluto, cuando se calcula la posición del punto utilizando las medidas de pseudodistancia ya sea procedentes del código C/A, o código P.

Dependiendo del código que utilicemos y de la disponibilidad selectiva obtendremos una precisión que variará de 15 a 100 m. Este tipo de posicionamiento es utilizado por los equipos llamados navegadores.

2.8.2 Posicionamiento Diferencial

Llamamos posicionamiento diferencial cuando están involucrados dos o más instrumentos GPS, con el fin de eliminar los errores propios del sistema

GPS, calculando los incrementos de coordenadas desde el equipo de referencia al móvil.

Este incremento de coordenadas vendrá dado en el sistema geocéntrico de coordenadas.

La gran ventaja de este método es que los errores de posicionamiento son muy similares o comunes en ambos puntos, no tienen ninguna influencia en los incrementos de coordenadas.

2.8.3 Método Estático

i. Estático

Este método se utiliza para distancias largas (por lo general mayores de 20 Km.). Es la medición clásica de líneas bases. Consiste en estacionar dos receptores o más receptores en los puntos los cuales queremos conocer sus coordenadas, almacenar datos y calcular las coordenadas en tiempo diferido.

- E.M.C. de una línea- base: 3 mm. \pm 0,5 ppm.
- Método estándar para distancias superiores a 20 Km.
- Precisión de milímetros en líneas- bases cortas.

Las coordenadas que se obtienen están referidas al elipsoide WGS-84.

Aplicaciones:

- Control Geodésico.
- Redes Nacionales e internacionales.
- Control de movimientos tectónicos.
- Control de deformaciones de estructuras.

ii. Estático Rápido

Las distancias máximas que pueden existir entre la referencia y el móvil es de 20 Km. La máscara de elevación que se introduce es, como se ha comentado anteriormente, de 15° de elevación y las épocas de 15 segundos (intervalo de registro de datos, varia de 1 segundo hasta 60 segundos).

- Estacionamiento de una estación de referencia temporal: observa y almacena datos de todos los satélites a la vista continuamente.
- El Receptor móvil se estaciona en el punto que se pretende levantar.
- Estaremos en el punto, el tiempo que nos indique las tablas en función del N° de satélites, Distancia a la referencia, GDOP, etc.

- Los tiempos breves de observación posibilitan una precisión de 5 a 10 mm. \pm 1 ppm. (EMC)
- Los tiempos de observación son: de 5 a 10 minutos para distancias inferiores a 5 Km.

Aplicaciones:

- Levantamientos de control, densificación.
- Sustituye al método clásico de poligonación.
- Determinación de puntos de control, ingeniería civil, bases de replanteo.
- Levantamiento de detalles y deslindes.
- Cualquier trabajo que requiera la determinación rápida de un elevado número de puntos.
- Apoyos fotogramétricos.

El tiempo de observación depende de los siguientes factores:

- Longitud de la línea- base.
- Número de satélites.
- Geometría de los satélites. GDOP.
- Ionosfera. Depende de los disturbios de la ionosfera, día/noche, mes, año, posición sobre la tierra.

Cuadro N°2.3.- Tiempo de observación

<i>Nº de satélites GDOP</i> <i><= 8</i>	<i>Longitud de la línea</i> <i>base</i>	<i>Tiempo de observación</i>	
		<i>DÍA</i>	<i>NOCHE</i>
<i>ESTAT. RAPIDO</i>			
<i>4 ó 5</i>	<i>menos de 5 Km.</i>	<i>de 5 a 10 min.</i>	<i>5 min.</i>
<i>4 ó 5</i>	<i>de 5 a 10 Km.</i>	<i>de 10 a 20 min.</i>	<i>de 5 a 10 min.</i>
<i>4 ó 5</i>	<i>de 10 a 15 Km.</i>	<i>alrededor de 30</i>	<i>de 5 a 20 min.</i>
<i>ESTATICO</i>			
<i>4 ó 5</i>	<i>de 15 a 30 Km.</i>	<i>de 1 a 2 horas</i>	<i>1 hora</i>
<i>4 ó 5</i>	<i>más de 30 Km.</i>	<i>de 2 a 3 horas</i>	<i>2 horas</i>

Fuente: Referencia bibliográfica [7]

2.8.4 Métodos Cinemáticos

El receptor de referencia se estaciona siempre en posicionamiento estático, el que se mueve es el receptor móvil.

i. Cinemático

Como hemos dicho anteriormente, el de referencia siempre estará estático. El móvil se inicializará de dos formas, con estático rápido, o bien partiendo de un punto conocido.

Las épocas de toma de datos, se realizará en función a la cantidad de puntos que queramos levantar.

Se dice que el mínimo de satélites que tenemos que tener sobre el horizonte es de 5, ya que de esta forma podremos perder un satélite en el transcurso de la operación de medición. El valor del GDOP nunca debe de exceder 6, aunque para obtener una buena precisión el valor debería ser 5 ó menos.

Medición de trayectorias y de objetos en movimiento.

- Estación de referencia temporal: Rastrea continuamente.
- Estación móvil en un vehículo, embarcación, plataforma, etc.
- Antes de desplazarlo, algunos minutos de observación estática en el punto inicial para determinar las coordenadas de salida u ocupar un punto de coordenadas conocidas durante 2 segundos.
- Mediciones en intervalos preseleccionados, por ejemplo: 1, 2, 5 seg.
- Precisión de una línea -base: 1 a 3 cm. + 1 ppm. (EMC) posición y de 2 a 3 cm. + 1 ppm. Altimetría.

Aplicaciones:

- Determinación de la trayectoria de objetos en movimiento.
- Levantamientos de ejes de carreteras y ferrocarriles.
- Medición de perfiles transversales.
- Levantamientos hidrográficos, Batimetría.

ii. Stop And Go

Es un tipo de estacionamiento muy parecido al cinemático, la diferencia principal es que aquí realizaremos una parada para levantar el punto en cuestión, nos detendremos durante 2 épocas (10 segundos por lo normal) almacenaremos la información del punto (nombre atributo, etc.) y seguiremos sin perder señal de los satélites, hacia el siguiente punto.

El método para inicializar este posicionamiento es igual que para el cinemático. Bien con un punto conocido, o partir de un punto con un estático rápido, luego mantendremos durante la observación el seguimiento sobre los satélites.

Estación de referencia temporal. Colocaremos la estación de referencia en un punto recibiendo datos cada 5 segundos con método estático.

Receptor móvil: Se comenzará con la inicialización de la cadena con pocos minutos de observación (de 5 a 10 minutos, si no conocemos las coordenadas del punto y 30 segundos si ya se ha observado previamente el punto)

- Durante el cambio de estación debe mantenerse el contacto con los satélites.
- Se para solo dos épocas (10 segundos).
- Precisión de línea- base: 1 a 2 cm. + 1 ppm. (EMC)

Aplicaciones:

- Levantamientos de detalles e ingeniería civil.
- Levantamientos de carreteras, conductos, fronteras.
- Medición de puntos situados en un espacio reducido.

iii. RTK (Real Time Kinematic)

Esta es la última innovación en las técnicas de medida GPS. Consiste en obtener coordenadas en tiempo real en el sistema de referencia adoptado previamente.



Figura N°2.11.- Replanteo topográfico en RTK

En la actualidad, la topografía con métodos de medición GPS está cada vez más arraigada y comienza a sustituir a los métodos clásicos de medición, como por ejemplo redes locales, triangulaciones apoyos fotogramétricos, bases de replanteo, etc.

Todos los avances tecnológicos efectuados en las técnicas de medición GPS se dirigen hacia estar el menor tiempo posible en la toma del punto y tener el resultado en el propio campo. Hasta ahora este tipo de trabajo quedaba reservado a los métodos clásicos (Estaciones Totales). Sin embargo mediante el Tiempo Real en el GPS, podremos utilizar éste de manera similar a una Estación Total.

Este sistema que necesita un solo operador. Con la gran ventaja añadida de poder trabajar a grandes distancias de la referencia, es decir, tan lejos como la cobertura de radio nos permita. Y por lo tanto, evitar perder tiempo en la tediosa tarea de los cambios de estación, propio de un método de medición clásica, en el que la intervisibilidad es imprescindible.

Equipo GPS de Referencia:

- El receptor de referencia captará todos los satélites a la vista.
- El receptor envía los datos observados al Radio- módem.
- El radio- módem transmitirá todos los datos observados al equipo/s móvil/es.

Receptor Móvil

- El Radio- Módem recibirá los datos enviados por equipo de referencia.
- El receptor móvil buscará todos los satélites a la vista.
- El receptor trabaja y calcula con los datos de su posición más la información recibida de la referencia.
- Fija las ambigüedades de todos los satélites comunes.
- El receptor calcula las coordenadas de su posición y las muestra con un control de calidad asociado. A partir de fijar las ambigüedades, el equipo proporciona posición precisa a un intervalo de hasta 0,1 segundos.

Considerar, que es posible trabajar con varios receptores móviles teniendo un equipo GPS de Referencia, el cual envía la señal de corrección vía radio módem y es recibida por todos los Receptores móviles que se encuentren dentro del alcance del radio modem.

CAPITULO III: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y ANÁLISIS COMPARATIVO

3.1 Ubicación del tramo de estudio

Los trabajos de campo se realizaron en la carretera Panamericana Norte entre las progresivas 48+000 hasta 52+000.



Figura N°3.1.- Ubicación del tramo de estudio

Ubicación Política

- Distrito: Ancón
- Provincia : Lima
- Departamento: Lima

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Los datos de campo permitirán tener datos estadísticos para poder comparar el levantamiento topográfico empleando Estación Total y el levantamiento topográfico empleando GPS Diferencial.

Para el levantamiento Topográfico Convencional se realizaron las siguientes actividades:

Puntos de control Geodésico (Georeferenciación).

- Poligonal topográfica.
- Nivelación Geométrica
- Levantamiento de puntos de estacado cada 20 metros en tangente y 10 en curva. Esto se realizó en dos kilómetros del tramo escogido y en el lado de la berma, para facilitar la toma de datos.

Para el levantamiento topográfico con GPS Diferencial se necesitó de las siguientes actividades de campo:

- Punto de control Geodésico (Georeferenciación).
- Nivelación Geométrica.
- Levantamiento de puntos de estacado cada 20 metros en tangente y 10 en curva.

3.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL

3.3.1 Puntos de control geodésico

El establecimiento de los puntos de control geodésico nos permite georeferenciar el levantamiento topográfico, Para esto se monumentan cuatro puntos GPS dos en el inicio y dos en el final del tramo en estudio. Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), la distancia entre pares de puntos de control no debe ser más de 10 km. Se recomienda que esta distancia sea de 5km.

a) Objetivos

- El objetivo de la georeferenciación es establecer cinco puntos GPS, los cuales se encuentran enlazados a la La Red Geodésica Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Determinar las coordenadas Geográficas, Datum WGS 1984
- Determinar las coordenadas UTM, Datum WGS 1984.

En la imagen siguiente se muestra los puntos GPS1, GPS2, GPS3, y GPS4 son los puntos de control para la poligonal, necesaria para el levantamiento convencional. El punto GPS5 es el punto de control para el Levantamiento topográfico con GPS Diferencial.



Figura N°3.2.- Vista de los puntos de control GPS

b) Tiempo de ejecución y observación

El trabajo de campo se efectuó el día 01 de diciembre del 2012. Para la determinación de la posición de los puntos GPS1, GPS2, GPS3, GPS4 y GPS5 se utilizó como base la estación permanente del IGN denominado "LI01" ubicado en Surquillo.

La duración de la sesión fue de 02 horas en promedio para cada punto GPS.

c) Equipos de ingeniería e instrumentos

1.1.1. Características:

- 02 Receptores Topcon GR3
- 02 Tripodes.

1.1.2. Equipo Auxiliar:

- 01 Laptop Marca Toshiba.
- 01 GPS Navegador Marca Garmin.
- 01 Cámara Canon.

Especificaciones Técnicas De Equipos GPS

Cuadro N°3.1.- Especificaciones Técnicas de equipos GPS

Características Técnicas	Equipo GPS TOPCON GR3
Tipo de Receptor	Doble frecuencia Geodésico RTK
Número de canales	72 canales Universales
Señales:	
GPS	L1, L2, & L5 portadora, CA, L1 P, L2 P, L2C
GLONASS	L1, L2, & L5 portadora, L1CA, L2CA, L1 P, L2 P
GALILEO	E2-L1-E1, E5
WAAS/EGNOS	SI
Antena	Integrada Micro-Centrada
RTK/cinemático	H: 10mm+1ppm V: 15mm+1ppm
Post proceso Estático	H: 3mm+0.5ppm V: 5mm+0.5ppm
Radio	UHF Digital Integrada Tx/Rx
Radio Base	1 Watt
Comunicación por celular	Integrada vía tarjeta SIM, GSM/GPRS
Comunicación sin cables	Bluetooth integrado version 1.2
DATA & MEMORIA	
Memoria	Interna, Tarjeta SD extraíble
Readquisición	1 – 20Hz Regulable
Salida Datos RTK	TPS, RTCM SC104, CMR, CMR+
Salida ASCII	NMEA 0183 versión 3.0
Control & Display	Computadora Móvil

Fuente: Información proporcionada por el fabricante

d) Monumentado de Hitos

Los puntos donde se colocó los receptores GPS, son hitos de concreto de 20cmx20cmx30cm, los cuales llevan incrustados un perno de 3/8" de diámetro.

e) Procedimiento y ejecución

Se utilizó como receptor base (máster), el punto denominado "LI01", el cual pertenece a la red de estaciones permanentes de Instituto Geográfico Nacional (IGN).

El Punto "LI01" sirvió para el cálculo de las líneas bases de los puntos rover denominados: GPS1, GPS2, GPS3, GPS4 y GPS5.

Los equipos utilizados como rover tienen una precisión de 3mm+0.5ppm.

Las coordenadas medidas son calculadas en gabinete utilizando el Topcon Tools v7.5. Dicho software pone en relación las series de la estación "LI01" con las series de los receptores de medida. La estación de referencia "LI01" cuenta con una ficha técnica de donde se obtiene sus coordenadas, se puede saber en cada momento de la medición que error aproximado están induciendo los satélites; dicho error es compensado sobre la serie del receptor medidor.

f) TRABAJO DE CAMPO

- Se monumentó los Hitos para los Puntos GPS denominados: GPS1, GPS2, GPS3, GPS4 y GPS5
- El tiempo de registro para los Puntos GPS, fue de 2 horas en promedio.
- Se tomaron los datos de las alturas de los receptores.
- Las estaciones fueron fotografiadas, para preparar las fichas técnicas respectivas.



Figura N°3.3.- GPS Diferencial en modo Estático

g) CALCULOS DE GABINETE

Se adquirió la data Rinex (Receiver INdependent Exchange), de la estación de rastreo permanente "LI01", perteneciente al IGN. Este archivo y los datos de los receptores Rover se transfieren a una computadora para realizar el post proceso con el software Topcon Tools versión 7.5 obteniendo las coordenadas Geográficas y UTM en el sistema WGS84, correspondientes a la zona 18.

Este cálculo de post proceso se realiza simultáneamente para los cinco puntos Rover, es decir se realizó un cálculo en el software Topcon Tools v7.5.

Para el cálculo de la altura geoidal se ha usado el modelo geopotencial EGM96. (*Earth Gravity Model 1996*).

En la Figura N°3.4 observa el software Topcon Tools v7.5, para el cálculo de las coordenadas de los puntos GPS, la ventana de ocupación GPS, en la parte superior derecha, la ventana de mapa, la parte superior izquierda y menú de estado en la parte inferior.

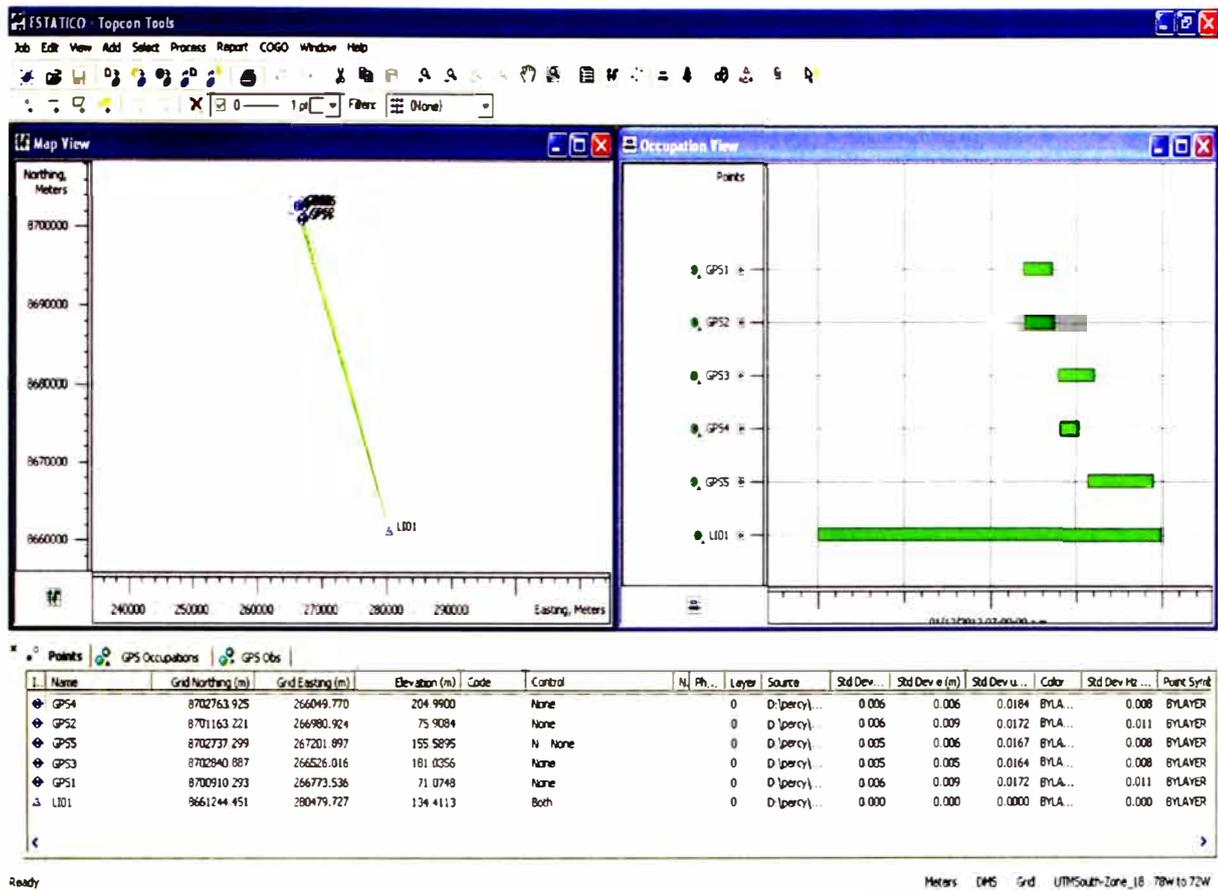


Figura N°3.4.- Ventana de trabajo del software de post proceso Topcon Tools. V7.5

h) Configuración del Software.

El software se configura, de acuerdo a los objetivos y condiciones del trabajo ejecutado.

- **Observables GPS.**

Se da la opción de elegir las observables a través de las cuales se procesaran los vectores GPS. Se puede realizar post proceso con código C/A, L1 y L2, con los sistemas GPS o GPS + GLONASS. Para este trabajo se ocupó la opción L1 y L2, con los sistemas GPS + GLONASS.

- **Máscara de elevación.**

La máscara de elevación, es un área del horizonte de la antena medida en grados, en la cual no se considera la información satelital. Se emplea para eliminar interferencias que podrían afectar el resultado de la medición, producidas por satélites bajos en el horizonte. El software permite elegir un ángulo para la máscara de elevación, el cual se fijó en 15°.

- **Nivel de confianza.**

Este corresponde a un factor estadístico que emplea el software para determinar la precisión de los vectores procesados. La variación de este factor,

cambia los parámetros mediante los cuales el software determina la solución fija de una observación, y en consecuencia la precisión con la cual se obtuvo el vector. Para el post proceso de datos se seleccionó el nivel de confianza al 99%.



Figura N°3.5.- Ventana de configuración

i) Ocupaciones de tiempo.

El post proceso de datos GPS se realiza a partir de los datos grabados por los equipos en tiempos comunes, el análisis de los tiempos de grabación de los equipos se presenta a través de los gráficos de ocupación de tiempo. En esta imagen siguiente, las barras muestran los registros de la hora en la que se grabaron los datos en los equipos, junto al identificador del punto en el que se situó el receptor, a la hora registrada. La ocupación de tiempo en el post proceso va a indicar entre qué puntos se podrán procesar los vectores GPS.

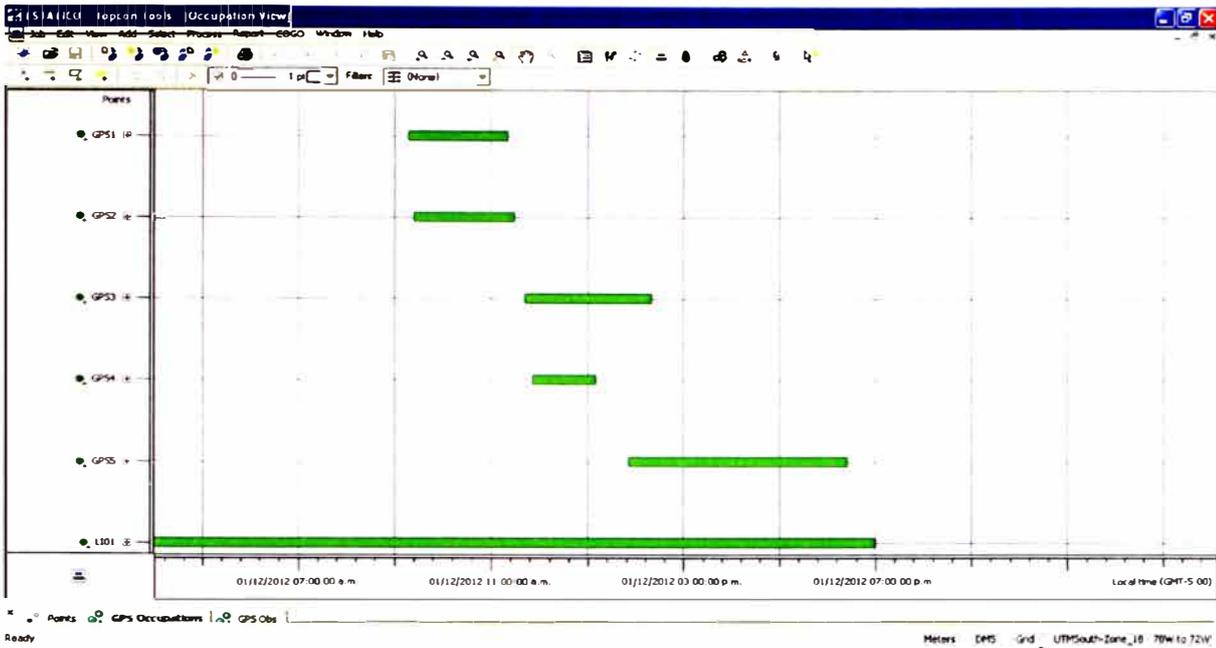


Figura N°3.6.- Ventana de ocupación

j) Ventana del mapa.

En esta ventana se muestra un mapa en el que se presentan las posiciones de los puntos correspondientes a cada archivo grabado. Este mapa está en el sistema de coordenadas configurado para el proyecto. En esta gráfica se muestran también los vectores GPS.

Se resalta el punto de control utilizado para realizar el post proceso de vectores. Los vectores GPS tienen el sentido definido, desde el punto de control resaltado hacia el punto a georreferenciar.

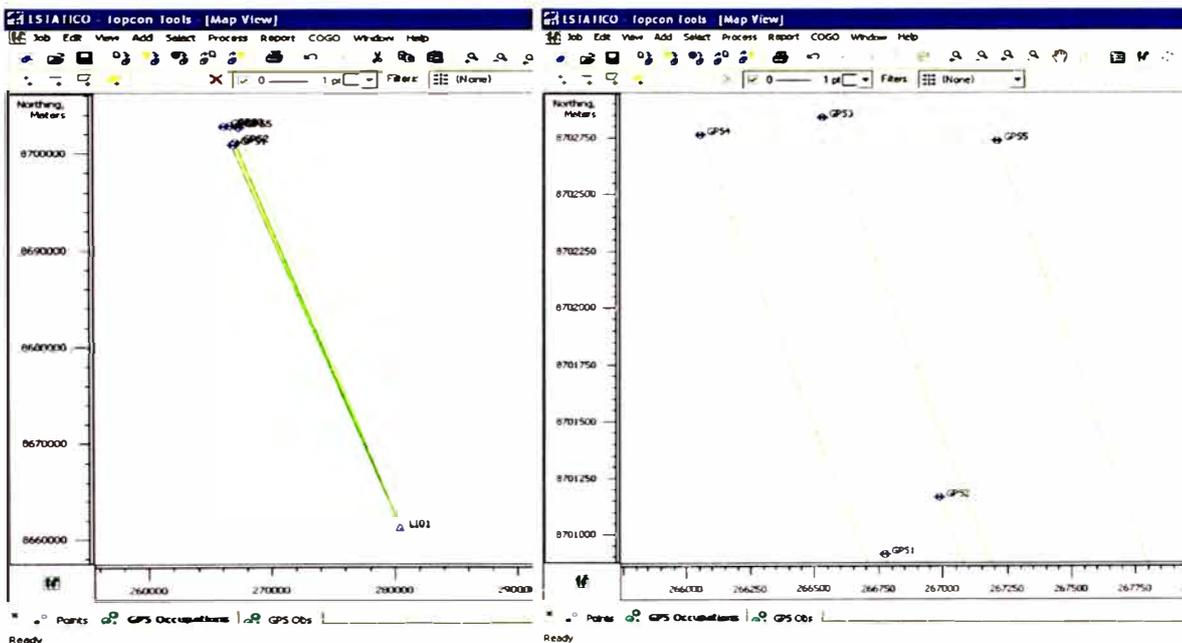


Figura N°3.7.- Ventana de mapa para los puntos GPS

k) Resultados

Cuadro N°3.2.- Resultados de Método Estático

COORDENADAS GEOGRAFICAS WGS84			
Name	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 EII.Height (m)
GPS1	11°44'37.00003"S	77°08'24.00323"W	94.7896
GPS2	11°44'28.82256"S	77°08'17.09263"W	99.6621
GPS3	11°43'34.12901"S	77°08'31.69051"W	204.8163
GPS4	11°43'36.51496"S	77°08'47.43265"W	228.7069
GPS5	11°43'37.66606"S	77°08'09.40277"W	179.4503
LI01	12°06'10.86386"S	77°01'00.98772"W	157.6097

COORDENADAS UTM WGS84			
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)
GPS1	8700910.293	266773.536	71.075
GPS2	8701163.221	266980.924	75.908
GPS3	8702840.887	266526.016	181.036
GPS4	8702763.925	266049.770	204.990
GPS5	8702737.299	267201.897	155.590
LI01	8661244.451	280479.727	134.411

COORDENADAS GEOCENTRICAS			
Name	X (m)	Y (m)	Z (m)
GPS1	1390078.017	-6088930.540	-1289666.435
GPS2	1390294.462	-6088938.471	-1289421.405
GPS3	1389962.499	-6089470.440	-1287797.255
GPS4	1389499.635	-6089584.782	-1287873.898
GPS5	1390610.035	-6089274.464	-1287898.520
LI01	1401320.969	-6077986.487	-1328580.509

FACTOR DE ESCALA COMBINADO		
Name	Combined Grid to Ground Scale Factor	Combined Ground to Grid Scale Factor
GPS1	0.999741914	1.000258153
GPS2	0.999743874	1.000256191
GPS3	0.999757749	1.000242309
GPS4	0.999758745	1.000241313
GPS5	0.999757667	1.000242392
LI01	0.999828547	1.000171483

DESVIACION ESTANDAR				
Name	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev Hz (m)	Std Dev u (m)
GPS1	0.006	0.009	0.011	0.017
GPS2	0.006	0.009	0.011	0.017
GPS3	0.005	0.005	0.008	0.016
GPS4	0.006	0.006	0.008	0.018
GPS5	0.005	0.006	0.008	0.017
LI01	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Poligonal de control

Teniendo como puntos de control GPS los puntos GPS1, GPS2, GPS3 y GPS4, se procedió a realizar la poligonal de apoyo topográfico.

Los puntos GPS2 y GPS3, son puntos de control de las coordenadas mientras que los puntos GPS1 y GPS4 son puntos para el control acimutal.

i. Equipo Empleado:

Estación Total Topcon Modelo GPT7503.

ii. Transformación de Coordenadas UTM a Topográficas

Las coordenadas de los puntos GPS, fueron transformadas a coordenadas topográficas teniendo como base de referencia el punto GPS5.

Cuadro N°3.3.- Transformación de Coordenadas UTM a Topográficas

Coordenadas de BASE de Referencia				
Datum	Punto	Norte (m)	Este (m)	Altura (m.s.n.m)
WGS-84	GPS5	8702737.299	267201.897	155.590

Punto	Coordenadas UTM			Coordenadas Topográficas		
	Este (m)	Norte (m)	Altura (m.s.n.m)	X (m)	Y (m)	Z (m.s.n.m)
GPS1	266773.536	8700910.293	71.075	266773.645	8700910.757	71.075
GPS2	266980.924	8701163.221	75.908	266980.980	8701163.619	75.908
GPS3	266526.016	8702840.887	181.036	266526.182	8702840.862	181.036
GPS4	266049.770	8702763.925	204.990	266050.053	8702763.918	204.990

Fuente: Elaboración propia

iii. Datos de campo para la poligonal

Cuadro N°3.4.- Datos de campo para la poligonal

ESTACION	LADO	Distancias en observacion directa		Distancia Promedio	Angulo Horario Directo			Angulo Horario Inverso			Angulo Horario al Origen		
					G	M	S	G	M	S	G	M	S
GPS3	GPS3-E6	295.638	295.633	295.636	201	54	37	381	54	39	201	54	38
E6	E6-E5	297.978	297.982	297.980	180	13	27	360	13	29	180	13	28
E5	E5-E4	225.750	225.749	225.749	170	0	18	350	0	20	170	0	19
E4	E4-E3	499.108	499.102	499.105	199	11	31	379	11	35	199	11	33
E3	E3-E2	551.789	551.791	551.790	260	18	37	440	18	37	260	18	37
E2	E2-E1	517.982	517.987	517.984	208	8	30	388	8	34	208	8	32
E1	E1-GPS2	545.315	545.317	545.316	180	5	18	360	5	24	180	5	21
GPS2	GPS2-GPS1	327.000	327.000	327.000	178	39	25	358	39	27	178	39	26

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°3.5.- Calculo de la Poligonal

CALCULO DE LA POLIGONAL ABIERTA CON PUNTOS DE CONTROL GPS

	GPS3	GPS4	
N:	8782848.862	8782763.918	
E:	266526.182	266850.8529	
AZIMUT DE PARTIDA (G,M,S)	268	49	13

	GPS2	GPS1	
N:	8781163.619	8780910.757	
E:	266980.980	266773.645	
AZIMUT DE LLEGADA (G,M,S)	219	21	0

EST.	LADO	Angulo Horario			Azimut			Azimut Rad.	Distancia (m)	Proyecciones		Correcciones		Proyecciones Corregidas		UTM VGS84		BST.	
		G	M	S	G	M	S			ΔN	ΔE	CpN	CpE	ΔN	ΔE	Norte	Este		
		DcosA		DsenA															
GPS3																		GPS3	
E6	GPS3-E6	201	54	38	102	43	50	1.792388	295.636	-65.149	288.368	0.008	0.007	-65.140	288.375	8702775.721	266814.557	E6	
E5	E6-E5	180	13	28	102	57	17	1.796901	297.980	-66.802	290.396	0.008	0.007	-66.794	290.402	8702708.927	267104.959	E5	
E4	E5-E4	170	0	19	92	57	36	1.622456	225.749	-11.657	225.448	0.006	0.005	-11.651	225.453	8702697.277	267330.413	E4	
E3	E4-E3	199	11	33	112	9	8	1.957424	499.105	-188.196	462.264	0.014	0.011	-188.182	462.275	8702509.094	267792.688	E3	
E2	E3-E2	260	18	37	192	27	44	3.359099	551.790	-538.789	-119.074	0.015	0.012	-538.774	-119.062	8701970.321	267673.626	E2	
E1	E2-E1	208	8	32	220	36	15	3.850270	517.984	-393.266	-337.120	0.014	0.012	-393.251	-337.108	8701577.063	267336.518	E1	
GPS2	E1-GPS2	180	5	21	220	41	35	3.851822	545.316	-413.465	-355.550	0.015	0.012	-413.450	-355.538	8701163.619	266980.980	GPS2	
GPS1	GPS2-GPS1	178	39	26	219	21	0	3.828382	327.000	-252.865	-207.337	0.009	0.007	-252.856	-207.330	8700910.764	266773.650	GPS1	
		Σ							Perimetro	2833.561	-1677.324	454.732	0.082	0.065	-1677.242	454.798			

- n= 8 Numero de estaciones
- Ea(grad)= -0.00183
- Ea(seg)= -6.6 Error Angular
- Ta(seg)= 8 Tolerancia angular donde:
- Ca(seg)= -0.02136 Corrección angular donde:
- ϵL = 0.1047 Error Lineal
- ϵr = 1/28.012 Error Relativo
- P= 0.00003578 Precision de la Poligonal donde:

$$Ta = a\sqrt{n}$$

$$Ca = \frac{\epsilon a}{n}$$

$$P = \frac{\epsilon L}{\Sigma L}$$

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Nivelación Método de estaciones dobles

Con el fin de monumentar los BMs, a lo largo de la vía se realizó la nivelación en tramos de aproximadamente 500 metros usando el método de Estaciones Dobles.

Dada la no existencia de un BM oficial cerca del proyecto se tomó la cota ortométrica del punto GPS1, como cota de referencia para la red de nivelación.

Durante el trabajo de nivelación se realizaron lecturas a los puntos de la poligonal con el fin de determinar sus cotas.

i. Equipo Empleado

Nivel Automatico Topcon Modelo AT-G6



Figura N°3.8.- Nivelación

ii. Resultados

A continuación se presentan los resultados del trabajo de nivelación.

Cuadro N°3.6.- Resultados de Nivelación Tramo 01 - Tramo 04

TRAMO 01	METODO DE NIVELACION POR ESTACIONES DOBLES								
	ESTACION	RUTA I				RUTA II			
		L+	N.R	L-	COTA	L+	N.R	L-	COTA
BM1(GPS1)	1.813	72.919		71.106	1.845	72.951		71.106	
2	2.260	74.211	0.968	71.951	2.281	74.232	1.000	71.951	
3	2.313	75.717	0.807	73.404	2.312	75.716	0.828	73.404	
4	2.026	76.976	0.767	74.950	2.033	76.982	0.767	74.949	
GPS2	2.682	78.612	1.046	75.930	2.703	78.633	1.052	75.930	
BM2			0.401	78.211			0.422	78.211	
$\Sigma L+=$	11.094	$\Sigma L-=$	3.989	$\Sigma L+=$	11.174	$\Sigma L-=$	4.069		
COTA BM2	78.211		ERROR I	0.000			ERROR II	0.000	

TRAMO 02	METODO DE NIVELACION POR ESTACIONES DOBLES								
	ESTACION	RUTA I				RUTA II			
		L+	N.R	L-	COTA	L+	N.R	L-	COTA
BM2	2.608	80.819		78.211	2.652	80.863		78.211	
5	2.986	83.522	0.283	80.536	3.011	83.548	0.326	80.537	
6	2.718	86.105	0.135	83.387	2.801	86.188	0.161	83.387	
7	2.554	88.643	0.016	86.089	2.569	88.658	0.099	86.089	
8	2.503	90.948	0.198	88.445	2.527	90.971	0.214	88.444	
BM-3(E1)			0.575	90.373			0.599	90.372	
$\Sigma L+=$	13.369	$\Sigma L-=$	1.207	$\Sigma L+=$	13.560	$\Sigma L-=$	1.399		
COTA BM3	90.373		ERROR I	0.001			ERROR II	-0.001	

TRAMO 03	METODO DE NIVELACION POR ESTACIONES DOBLES								
	ESTACION	RUTA I				RUTA II			
		L+	N.R	L-	COTA	L+	N.R	L-	COTA
COTA BM3	3.813	94.186		90.373	3.801	94.174		90.373	
10	3.092	97.037	0.241	93.945	3.102	97.047	0.229	93.945	
11	3.582	100.394	0.225	96.812	3.613	100.424	0.236	96.811	
12	2.980	102.906	0.468	99.926	2.978	102.903	0.499	99.925	
BM4			0.343	102.563			0.341	102.562	
$\Sigma L+=$	13.467	$\Sigma L-=$	1.277	$\Sigma L+=$	13.494	$\Sigma L-=$	1.305		
COTA BM4	102.562		ERROR I	0.000			ERROR II	-0.001	

TRAMO 04	METODO DE NIVELACION POR ESTACIONES DOBLES								
	ESTACION	RUTA I				RUTA II			
		L+	N.R	L-	COTA	L+	N.R	L-	COTA
BM4	1.928	104.490		102.562	2.040	104.602		102.562	
E2	3.205	106.551	1.144	103.346	3.205	106.551	1.256	103.346	
1	3.102	109.393	0.260	106.291	3.184	109.392	0.343	106.208	
	3.159	112.088	0.464	108.929	3.010	112.086	0.316	109.076	
	2.808	114.666	0.230	111.858	2.627	114.663	0.050	112.036	
	3.130	117.348	0.448	114.218	3.074	117.346	0.391	114.272	
	2.782	119.478	0.652	116.696	2.601	119.477	0.470	116.876	
BM5			1.212	118.266		118.266	1.211	118.266	
$\Sigma L+=$	20.114	$\Sigma L-=$	4.410	$\Sigma L+=$	19.741	$\Sigma L-=$	4.037		
COTA BM5	118.266		ERROR I	0.000			ERROR II	0.000	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°3.7.- Resultados de Nivelación Tramo 05 - Tramo 08

TRAMO 05	METODO DE NIVELACION POR ESTACIONES DOBLES								
	ESTACION	RUTA I				RUTA II			
		L+	N.R	L-	COTA	L+	N.R	L-	COTA
BM5	1.212	119.478		118.266	1.212	119.478		118.266	
E3	2.150	121.166	0.462	119.016	2.150	121.166	0.462	119.016	
18	2.863	123.747	0.282	120.884	2.876	123.762	0.280	120.886	
19	3.292	126.931	0.108	123.639	3.349	126.990	0.121	123.641	
20	4.974	131.663	0.242	126.689	4.939	131.630	0.299	126.691	
21	1.993	133.387	0.269	131.394	1.970	133.367	0.233	131.397	
BM6			0.840	132.547			0.817	132.550	
	$\Sigma L+=$	16.484	$\Sigma L-=$	2.203	$\Sigma L+=$	16.496	$\Sigma L-=$	2.212	
COTA BM6	132.549		ERROR I	-0.002			ERROR II	0.002	

TRAMO 06	METODO DE NIVELACION POR ESTACIONES DOBLES								
	ESTACION	RUTA I				RUTA II			
		L+	N.R	L-	COTA	L+	N.R	L-	COTA
BM6	3.346	135.895		132.549	3.396	135.945		132.549	
22	3.302	139.037	0.160	135.735	3.277	139.011	0.211	135.734	
23	3.052	141.688	0.401	138.636	3.062	141.698	0.375	138.636	
24	2.936	144.566	0.058	141.630	2.922	144.551	0.069	141.629	
E4			3.385	141.181	141.181		3.373	141.178	
25	2.946	147.036	0.476	144.090	2.982	147.071	0.462	144.089	
26	3.014	149.851	0.199	146.837	2.985	149.821	0.235	146.836	
27	3.394	152.943	0.302	149.549	3.377	152.925	0.273	149.548	
28	3.159	155.821	0.281	152.662	3.185	155.845	0.265	152.660	
E5			1.153	154.668	154.668		1.178	154.667	
29	2.343	157.998	0.166	155.655	2.348	158.001	0.192	155.653	
BM7			0.637	157.361			0.642	157.359	
	$\Sigma L+=$	27.492	$\Sigma L-=$	2.680	$\Sigma L+=$	323.382	$\Sigma L-=$	2.724	
COTA BM7	157.360		ERROR I	0.001			ERROR II	-0.001	

TRAMO 07	METODO DE NIVELACION POR ESTACIONES DOBLES								
	ESTACION	RUTA I				RUTA II			
		L+	N.R	L-	COTA	L+	N.R	L-	COTA
BM7	2.692	160.052		157.360	2.670	160.030		157.360	
30	3.315	163.165	0.202	159.850	3.343	163.192	0.181	159.849	
31	3.115	166.133	0.147	163.018	3.084	166.101	0.175	163.017	
32	4.642	170.575	0.200	165.933	4.624	170.555	0.170	165.931	
E6			3.230	167.345			3.210	167.345	
33	4.367	174.475	0.467	170.108	4.407	174.514	0.448	170.107	
34	3.487	177.692	0.270	174.205	3.534	177.737	0.311	174.203	
35	2.301	179.729	0.264	177.428	2.312	179.740	0.309	177.428	
BM8			0.133	179.596			0.143	179.597	
	$\Sigma L+=$	23.919	$\Sigma L-=$	4.913	$\Sigma L+=$	23.974	$\Sigma L-=$	4.947	
COTA BM8	179.596		ERROR I	-0.0005			ERROR II	0.0005	

TRAMO 08	METODO DE NIVELACION POR ESTACIONES DOBLES								
	ESTACION	RUTA I				RUTA II			
		L+	N.R	L-	COTA	L+	N.R	L-	COTA
BM8	4.363	183.959		179.596	4.348	183.944		179.596	
GPS3			2.876	181.083			2.862	181.082	
36	4.219	187.860	0.318	183.641	4.226	187.868	0.302	183.642	
37	4.942	192.703	0.099	187.761	4.934	192.697	0.105	187.763	
38	4.526	196.751	0.478	192.225	4.519	196.745	0.471	192.226	
39	4.602	201.041	0.312	196.439	4.788	201.226	0.307	196.438	
40	4.567	205.532	0.076	200.965	4.593	205.557	0.262	200.964	
BM9 (GPS4)			0.498	205.034			0.523	205.034	
	$\Sigma L+=$	27.219	$\Sigma L-=$	1.781	$\Sigma L+=$	27.408	$\Sigma L-=$	1.970	
COTA BM8	205.034		ERROR I	0.0000			ERROR II	0.0000	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°3.8.- Resultados de Nivelación Tramo 09

TRAMO 09	METODO DE NIVELACION POR ESTACIONES DOBLES								
	ESTACION	RUTA I				RUTA II			
		L+	N.R	L-	COTA	L+	N.R	L-	COTA
E5	2.941	157.608		154.667	2.867	157.534		154.667	
GPS5			1.994	155.614			1.918	155.616	
$\Sigma L +=$	2.941	$\Sigma L -=$	1.994	$\Sigma L +=$	2.867	$\Sigma L -=$	1.918		
COTA GPS5	155.615		ERROR I	-0.0010			ERROR II	0.0010	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°3.9.- Cuadro de Resumen

Cuadro de Resumen	
Pto.	COTA
BM1(GPS1)	71.106
GPS2	75.930
BM2	78.211
BM-3(E1)	90.373
COTA BM3	90.373
BM4	102.562
E2	103.346
BM5	118.266
E3	119.016
BM6	132.549
E4	141.179
E5	154.667
BM7	157.360
E6	167.345
BM8	179.596
GPS3	181.083
BM9 (GPS4)	205.034
GPS5	155.615

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Levantamiento de puntos por radiación

Con el fin de obtener puntos con coordenadas que nos permitan comparar los resultados al emplear ambas metodologías, se identificó puntos en los bordes de la berma los cuales fueron marcados y pintados para su fácil reconocimiento e identificación.

Los puntos fueron marcados a distancias de 20 metros en tangente y 10 metros en tramo de curva.

i. Equipo Empleado:

Estación Total Topcon Modelo GPT 7503.



Figura N°3.9.- Levantamiento por radiación con Estación Total



Figura N°3.10.- Vista de levantamiento desde la estación E5

ii. Resultados

A continuación se muestra las coordenadas obtenidas:

Cuadro N°3.10.- Coordenadas obtenidas con la Estación Total

PUNTOS LEVANTADOS CON ESTACION TOTAL											
PTO	COORDENADAS TOPOGRAFICAS			PTO	COORDENADAS TOPOGRAFICAS			PTO	COORDENADAS TOPOGRAFICAS		
	X	Y	Z		X	Y	Z		X	Y	Z
1	266737.955	8700890.946	70.593	60	267801.167	8702485.715	118.213	112	267399.310	8702726.226	137.785
2	266750.980	8700906.096	70.829	61	267796.953	8702494.832	118.505	113	267389.345	8702725.552	138.300
3	266764.048	8700921.221	71.104	62	267792.630	8702503.833	118.735	114	267379.425	8702724.423	138.811
7	266802.895	8700966.833	71.854	63	267788.122	8702512.749	118.969	115	267369.509	8702723.189	139.331
8	266816.030	8700981.832	72.122	64	267783.377	8702521.568	119.160	116	267359.629	8702721.771	139.825
9	266829.064	8700997.020	72.393	65	267778.302	8702530.161	119.495	117	267349.793	8702720.059	140.316
10	266842.086	8701012.160	72.654	66	267773.102	8702538.690	119.758	118	267339.992	8702718.151	140.856
11	266855.058	8701027.369	72.937	67	267767.686	8702547.097	120.015	119	267330.218	8702716.087	141.397
12	266867.931	8701042.590	73.196	68	267761.996	8702555.302	120.247	121	267320.424	8702714.154	141.929
13	266881.041	8701057.752	73.446	69	267756.130	8702563.394	120.522	122	267310.659	8702712.064	142.409
14	266894.008	8701072.973	73.735	70	267749.999	8702571.263	120.746	123	267300.923	8702709.847	142.898
15	266907.047	8701088.124	74.015	71	267743.725	8702579.056	121.019	124	267291.167	8702707.731	143.378
16	266920.046	8701103.314	74.342	72	267737.405	8702586.784	121.271	125	267281.379	8702705.738	143.886
17	266933.046	8701118.418	74.657	73	267730.778	8702594.265	121.541	126	267271.646	8702703.471	144.380
18	266946.114	8701133.627	75.054	74	267724.026	8702601.631	121.792	127	267261.834	8702701.613	144.881
19	266959.084	8701148.792	75.480	75	267716.956	8702608.697	122.054	128	267252.026	8702699.779	145.378
20	266971.999	8701163.898	75.899	76	267709.877	8702615.751	122.296	129	267242.187	8702698.086	145.903
22	266984.977	8701179.039	76.359	77	267702.606	8702622.608	122.546	130	267232.318	8702696.575	146.409
23	266997.309	8701193.525	76.862	78	267695.151	8702629.237	122.812	131	267222.428	8702695.184	146.952
24	267010.463	8701208.736	77.403	79	267687.432	8702635.597	123.085	132	267212.527	8702693.994	147.493
25	267023.433	8701224.016	77.931	80	267679.625	8702641.814	123.365	133	267202.588	8702692.930	148.034
27	267036.554	8701239.290	78.443	81	267671.699	8702647.879	123.706	134	267192.641	8702692.036	148.540
28	267049.730	8701254.622	78.935	82	267663.646	8702653.799	124.042	135	267182.694	8702691.277	149.022
29	267062.691	8701269.814	79.460	83	267655.422	8702659.464	124.377	136	267172.712	8702690.768	149.507
30	267075.714	8701284.982	79.971	84	267646.983	8702664.806	124.718	137	267162.738	8702690.291	149.984
31	267088.755	8701300.178	80.495	85	267638.484	8702670.062	125.136	138	267152.761	8702690.092	150.475
32	267101.758	8701315.211	80.994	86	267629.853	8702675.093	125.496	139	267132.760	8702690.163	151.438
33	267114.707	8701330.292	81.498	87	267621.105	8702679.943	125.903	140	267122.773	8702690.404	151.935
34	267127.715	8701345.564	82.047	88	267612.256	8702684.573	126.282	141	267112.800	8702690.853	152.400
35	267140.718	8701360.675	82.584	89	267603.272	8702688.926	126.754	142	267102.839	8702691.473	152.822
36	267153.671	8701376.003	83.103	90	267594.175	8702693.044	127.227	143	267092.869	8702692.198	153.238
37	267166.735	8701391.172	83.580	91	267584.999	8702696.991	127.717	145	267082.926	8702693.049	153.659
38	267179.750	8701406.398	84.101	93	267575.729	8702700.695	128.218	146	267072.992	8702694.170	154.085
39	267193.285	8701422.220	84.653	94	267566.346	8702704.116	128.745	148	267063.089	8702695.443	154.518
40	267206.352	8701437.345	85.165	95	267556.924	8702707.435	129.255	149	267053.210	8702696.949	154.946
41	267219.142	8701452.498	85.682	96	267547.376	8702710.373	129.783	150	267043.357	8702698.595	155.383
42	267232.229	8701467.598	86.176	97	267537.764	8702713.070	130.295	151	267033.518	8702700.275	155.799
43	267245.280	8701482.694	86.656	98	267528.385	8702717.852	131.376	152	267023.743	8702702.355	156.208
44	267258.173	8701497.899	87.175	99	267518.633	8702719.984	131.917	153	267013.992	8702704.532	156.654
45	267270.901	8701513.009	87.694	102	267498.795	8702721.622	132.432	154	267004.258	8702706.780	157.078
46	267283.852	8701528.180	88.225	103	267488.945	8702723.260	132.963	157	266994.544	8702709.118	157.499
47	267296.735	8701543.148	88.758	104	267479.052	8702724.587	133.487	158	266984.882	8702711.646	157.935
48	267309.669	8701558.212	89.291	105	267469.106	8702725.654	134.006	159	266965.711	8702717.276	158.740
49	267322.514	8701573.300	89.775	106	267459.165	8702726.465	134.522	160	266946.621	8702723.208	159.628
51	267335.510	8701588.082	90.303	107	267449.182	8702727.041	135.061	161	266927.598	8702729.313	160.489
52	267348.405	8701603.130	90.792	108	267439.220	8702727.402	135.608	162	266908.616	8702735.567	161.353
53	267361.315	8701618.421	91.297	109	267429.233	8702727.435	136.153	163	266899.129	8702738.662	161.756
54	267374.283	8701633.512	91.816	110	267419.259	8702727.224	136.694	164	266889.623	8702741.793	162.175
55	267387.165	8701648.520	92.313	111	267409.280	8702726.830	137.236				

Fuente: Elaboración propia

3.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON GPS DIFERENCIAL

Los puntos que fueron levantados con la Estación Total, también fueron levantados con el GPS Diferencial. Para esto se empleó dos receptores GPS los cuales fueron configurados para trabajar en RTK.

Se estaciono el Master en el Punto GPS5, las coordenadas este y norte fueron determinadas por el método estático.

En cuanto a su cota se empleó la determinada por la nivelación Geométrica.

Los puntos levantados están en coordenadas UTM en el sistema WGS 84, estas fueron transformadas a coordenadas Topográficas, con el objetivo de poder ser comparadas con las coordenadas que se obtuvieron con la Estación Total.

i. Equipos empleados:

02 receptores Geodésicos Diferenciales de marca Topcon y Modelo GR3.



Figura N°3.11.- Levantamiento en modo RTK

ii. Resultados

A continuación se muestra las coordenadas obtenida, al emplear los receptores GPS en modo RTK.

Cuadro N°3.11.- Coordenadas obtenidas con GPS Diferencial en modo RTK de punto 1 -62

PUNTOS LEVANTADOS USANDO GPS DIFERENCIAL EN MODO RTK						
PTO	COORDENADAS UTM WGS84			COORDENADAS TOPOGRAFICAS		
	Este	Norte	Altitude	X	Y	Z
1	266737.820	8700890.501	70.634	266737.937	8700890.970	70.634
2	266750.857	8700905.655	70.877	266750.971	8700906.120	70.877
3	266763.927	8700920.780	71.154	266764.038	8700921.241	71.154
5	266776.935	8700935.942	71.391	266777.043	8700936.400	71.391
6	266789.938	8700951.142	71.656	266790.042	8700951.595	71.656
7	266802.784	8700966.409	71.905	266802.885	8700966.858	71.905
8	266815.920	8700981.414	72.175	266816.018	8700981.859	72.175
9	266828.963	8700996.609	72.448	266829.058	8700997.051	72.448
10	266841.975	8701011.740	72.713	266842.067	8701012.178	72.713
11	266854.955	8701026.954	72.994	266855.043	8701027.387	72.994
12	266867.833	8701042.179	73.251	266867.917	8701042.608	73.251
13	266880.942	8701057.348	73.495	266881.023	8701057.773	73.495
14	266893.913	8701072.564	73.780	266893.991	8701072.986	73.780
15	266906.960	8701087.727	74.060	266907.035	8701088.145	74.060
16	266919.963	8701102.913	74.397	266920.034	8701103.327	74.397
17	266932.971	8701118.030	74.708	266933.039	8701118.440	74.708
18	266946.035	8701133.232	75.092	266946.100	8701133.638	75.092
19	266959.013	8701148.416	75.526	266959.074	8701148.818	75.526
20	266971.931	8701163.518	75.949	266971.989	8701163.916	75.949
22	266984.905	8701178.650	76.408	266984.959	8701179.044	76.408
23	266997.244	8701193.158	76.909	266997.296	8701193.548	76.909
24	267010.396	8701208.361	77.461	267010.445	8701208.747	77.461
25	267023.370	8701223.669	77.977	267023.415	8701224.052	77.977
27	267036.500	8701238.933	78.481	267036.542	8701239.312	78.481
28	267049.673	8701254.249	78.970	267049.711	8701254.624	78.970
29	267062.640	8701269.460	79.501	267062.676	8701269.831	79.501
30	267075.668	8701284.626	80.015	267075.700	8701284.992	80.015
31	267088.717	8701299.835	80.536	267088.745	8701300.197	80.536
32	267101.722	8701314.866	81.037	267101.747	8701315.225	81.037
33	267114.673	8701329.965	81.552	267114.695	8701330.320	81.552
34	267127.676	8701345.224	82.097	267127.695	8701345.575	82.097
35	267140.699	8701360.350	82.629	267140.714	8701360.697	82.629
36	267153.645	8701375.662	83.153	267153.658	8701376.005	83.153
37	267166.703	8701390.843	83.637	267166.711	8701391.182	83.637
38	267179.732	8701406.069	84.154	267179.738	8701406.404	84.154
39	267193.272	8701421.906	84.715	267193.274	8701422.237	84.715
40	267206.338	8701437.023	85.227	267206.337	8701437.350	85.227
41	267219.141	8701452.195	85.744	267219.136	8701452.518	85.744
42	267232.225	8701467.295	86.232	267232.218	8701467.614	86.232
43	267245.272	8701482.391	86.734	267245.261	8701482.706	86.734
44	267258.176	8701497.596	87.247	267258.161	8701497.908	87.247
45	267270.914	8701512.718	87.776	267270.896	8701513.025	87.776
46	267283.865	8701527.879	88.297	267283.844	8701528.183	88.297
47	267296.752	8701542.865	88.845	267296.728	8701543.165	88.845
48	267309.684	8701557.933	89.368	267309.657	8701558.229	89.368
49	267322.515	8701573.028	89.870	267322.485	8701573.320	89.870
51	267335.536	8701587.813	90.388	267335.502	8701588.101	90.388
52	267348.414	8701602.853	90.894	267348.377	8701603.137	90.894
53	267361.344	8701618.158	91.398	267361.304	8701618.438	91.398
54	267374.309	8701633.244	91.902	267374.265	8701633.520	91.902
55	267387.201	8701648.265	92.401	267387.154	8701648.537	92.401
60	267801.295	8702485.705	118.242	267801.146	8702485.767	118.242
61	267797.111	8702494.802	118.514	267796.963	8702494.861	118.514
62	267792.765	8702503.809	118.760	267792.619	8702503.867	118.760

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°3.12.- Coordenadas obtenidas con GPS Diferencial en modo RTK de punto 63 - 115

PUNTOS LEVANTADOS USANDO GPS DIFERENCIAL EN MODO RTK						
PTO	COORDENADAS UTM WGS84			COORDENADAS TOPOGRAFICAS		
	Este	Norte	Altitude	X	Y	Z
63	267788.261	8702512.729	119.006	267788.116	8702512.785	119.006
64	267783.524	8702521.531	119.251	267783.380	8702521.584	119.251
65	267778.448	8702530.137	119.518	267778.305	8702530.188	119.518
66	267773.243	8702538.670	119.778	267773.102	8702538.719	119.778
67	267767.825	8702547.077	120.031	267767.685	8702547.124	120.031
68	267762.136	8702555.289	120.273	267761.998	8702555.334	120.273
69	267756.276	8702563.393	120.533	267756.139	8702563.436	120.533
70	267750.134	8702571.277	120.795	267749.999	8702571.318	120.795
71	267743.868	8702579.059	121.043	267743.734	8702579.098	121.043
72	267737.531	8702586.791	121.297	267737.399	8702586.828	121.297
73	267730.917	8702594.275	121.559	267730.786	8702594.310	121.559
74	267724.149	8702601.635	121.815	267724.020	8702601.669	121.815
75	267717.084	8702608.708	122.063	267716.957	8702608.740	122.063
76	267710.008	8702615.762	122.324	267709.883	8702615.792	122.324
77	267702.737	8702622.615	122.578	267702.613	8702622.643	122.578
78	267695.269	8702629.251	122.835	267695.147	8702629.278	122.835
79	267687.554	8702635.599	123.102	267687.434	8702635.624	123.102
80	267679.744	8702641.830	123.397	267679.626	8702641.854	123.397
81	267671.811	8702647.907	123.734	267671.695	8702647.929	123.734
82	267663.760	8702653.814	124.063	267663.646	8702653.835	124.063
83	267655.528	8702659.488	124.383	267655.416	8702659.507	124.383
84	267647.094	8702664.829	124.760	267646.984	8702664.847	124.760
85	267638.586	8702670.083	125.151	267638.478	8702670.099	125.151
86	267629.961	8702675.118	125.524	267629.855	8702675.133	125.524
87	267621.219	8702679.970	125.914	267621.115	8702679.984	125.914
88	267612.352	8702684.587	126.319	267612.251	8702684.600	126.319
89	267603.370	8702688.945	126.771	267603.270	8702688.957	126.771
90	267594.266	8702693.063	127.254	267594.169	8702693.074	127.254
91	267585.086	8702697.009	127.738	267584.992	8702697.019	127.738
93	267575.827	8702700.720	128.238	267575.734	8702700.729	128.238
94	267566.428	8702704.124	128.746	267566.338	8702704.132	128.746
95	267557.002	8702707.439	129.270	267556.915	8702707.446	129.270
96	267547.456	8702710.378	129.782	267547.370	8702710.385	129.782
97	267537.850	8702713.078	130.307	267537.767	8702713.084	130.307
98	267518.459	8702717.860	131.374	267518.381	8702717.865	131.374
99	267508.700	8702719.996	131.921	267508.624	8702720.000	131.921
101	267503.928	8702727.888	132.269	267503.853	8702727.890	132.269
102	267498.857	8702721.633	132.446	267498.783	8702721.637	132.446
103	267489.007	8702723.270	132.974	267488.936	8702723.273	132.974
104	267479.106	8702724.589	133.504	267479.038	8702724.592	133.504
105	267469.176	8702725.662	134.016	267469.110	8702725.665	134.016
106	267459.219	8702726.476	134.538	267459.155	8702726.478	134.538
107	267449.248	8702727.055	135.069	267449.187	8702727.057	135.069
108	267439.268	8702727.409	135.620	267439.209	8702727.411	135.620
109	267429.286	8702727.449	136.161	267429.229	8702727.451	136.161
110	267419.302	8702727.225	136.704	267419.249	8702727.228	136.704
111	267409.319	8702726.842	137.245	267409.267	8702726.844	137.245
112	267399.356	8702726.236	137.785	267399.307	8702726.239	137.785
113	267389.383	8702725.566	138.302	267389.337	8702725.569	138.302
114	267379.456	8702724.431	138.815	267379.412	8702724.434	138.815
115	267369.550	8702723.202	139.330	267369.509	8702723.205	139.330

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°3.13.- Coordenadas obtenidas con GPS Diferencial en modo RTK de punto 116 - 163

PUNTOS LEVANTADOS USANDO GPS DIFERENCIAL EN MODO RTK						
PTO	COORDENADAS UTM WGS84			COORDENADAS TOPOGRAFICAS		
	Este	Norte	Altitude	X	Y	Z
116	267359.658	8702721.784	139.833	267359.619	8702721.788	139.833
117	267349.813	8702720.072	140.326	267349.777	8702720.076	140.326
118	267340.008	8702718.163	140.851	267339.974	8702718.167	140.851
119	267330.236	8702716.100	141.394	267330.205	8702716.105	141.394
121	267320.444	8702714.163	141.932	267320.415	8702714.169	141.932
122	267310.678	8702712.072	142.406	267310.651	8702712.078	142.406
123	267300.932	8702709.850	142.898	267300.908	8702709.856	142.898
124	267291.166	8702707.739	143.376	267291.144	8702707.746	143.376
125	267281.386	8702705.746	143.876	267281.367	8702705.753	143.876
126	267271.656	8702703.484	144.379	267271.639	8702703.492	144.379
127	267261.840	8702701.619	144.873	267261.825	8702701.628	144.873
128	267252.025	8702699.786	145.375	267252.012	8702699.795	145.375
129	267242.180	8702698.092	145.908	267242.170	8702698.101	145.908
130	267232.312	8702696.577	146.405	267232.304	8702696.587	146.405
131	267222.426	8702695.189	146.953	267222.421	8702695.199	146.953
132	267212.510	8702693.999	147.489	267212.508	8702694.010	147.489
133	267202.581	8702692.930	148.044	267202.580	8702692.940	148.044
134	267192.633	8702692.031	148.538	267192.635	8702692.043	148.538
135	267182.674	8702691.275	149.028	267182.678	8702691.287	149.028
136	267172.698	8702690.767	149.511	267172.705	8702690.779	149.511
137	267162.727	8702690.290	149.997	267162.736	8702690.301	149.997
138	267152.725	8702690.077	150.488	267152.737	8702690.089	150.488
139	267132.747	8702690.168	151.459	267132.764	8702690.180	151.459
140	267122.752	8702690.392	151.946	267122.772	8702690.404	151.946
141	267112.778	8702690.838	152.422	267112.800	8702690.849	152.422
142	267102.804	8702691.451	152.839	267102.829	8702691.462	152.839
143	267092.834	8702692.178	153.261	267092.860	8702692.189	153.261
145	267082.881	8702693.023	153.679	267082.910	8702693.034	153.679
146	267072.956	8702694.164	154.108	267072.987	8702694.174	154.108
147	267072.955	8702694.158	154.108	267072.986	8702694.168	154.108
148	267063.035	8702695.435	154.536	267063.070	8702695.446	154.536
149	267053.163	8702696.939	154.963	267053.200	8702696.949	154.963
150	267043.317	8702698.592	155.398	267043.356	8702698.601	155.398
151	267033.456	8702700.271	155.812	267033.497	8702700.281	155.812
152	267023.683	8702702.348	156.234	267023.726	8702702.356	156.234
153	267013.931	8702704.519	156.673	267013.978	8702704.527	156.673
154	267004.201	8702706.772	157.092	267004.249	8702706.779	157.092
157	266994.486	8702709.102	157.523	266994.537	8702709.109	157.523
158	266984.822	8702711.635	157.952	266984.875	8702711.641	157.952
159	266965.642	8702717.262	158.765	266965.700	8702717.267	158.765
160	266946.558	8702723.192	159.650	266946.621	8702723.195	159.650
161	266927.515	8702729.307	160.503	266927.582	8702729.309	160.503
162	266908.538	8702735.540	161.375	266908.610	8702735.541	161.375
163	266899.036	8702738.653	161.780	266899.111	8702738.653	161.780

Fuente: Elaboración propia

3.5 ANÁLISIS COMPARATIVO

Se realizó la comparación de las coordenadas obtenidas con los dos métodos obteniéndose los siguientes resultados:

Cuadro N°3.14.- Cuadro comparativo de coordenadas

CUADRO COMPARATIVO DE COORDENADAS														
PTO	DIF. DE COORDENADAS				PTO	DIF. DE COORDENADAS				PTO	DIF. DE COORDENADAS			
	ΔE	ΔN	ΔZ	DH		ΔE	ΔN	ΔZ	DH		ΔE	ΔN	ΔZ	DH
1	0.017	-0.024	-0.041	0.030	60	0.021	-0.052	-0.028	0.056	112	0.003	-0.013	0.000	0.013
2	0.009	-0.024	-0.047	0.026	61	-0.010	-0.029	-0.009	0.031	113	0.008	-0.017	-0.002	0.018
3	0.010	-0.020	-0.049	0.022	62	0.010	-0.034	-0.024	0.035	114	0.013	-0.010	-0.004	0.017
7	0.010	-0.025	-0.051	0.027	63	0.006	-0.036	-0.037	0.037	115	0.000	-0.016	0.001	0.016
8	0.012	-0.028	-0.053	0.030	64	-0.003	-0.016	-0.091	0.017	116	0.010	-0.017	-0.008	0.020
9	0.006	-0.031	-0.055	0.031	65	-0.003	-0.027	-0.023	0.027	117	0.016	-0.017	-0.011	0.023
10	0.019	-0.018	-0.060	0.026	66	0.000	-0.029	-0.020	0.029	118	0.017	-0.016	0.005	0.024
11	0.015	-0.018	-0.058	0.023	67	0.001	-0.027	-0.016	0.027	119	0.014	-0.018	0.003	0.023
12	0.014	-0.018	-0.055	0.023	68	-0.001	-0.033	-0.026	0.033	121	0.009	-0.015	-0.002	0.018
13	0.018	-0.022	-0.049	0.028	69	-0.009	-0.042	-0.011	0.042	122	0.008	-0.013	0.003	0.016
14	0.017	-0.013	-0.045	0.022	70	0.000	-0.056	-0.049	0.056	123	0.015	-0.010	0.000	0.018
15	0.012	-0.021	-0.044	0.024	71	-0.009	-0.042	-0.024	0.043	124	0.023	-0.016	0.002	0.028
16	0.012	-0.013	-0.055	0.018	72	0.006	-0.044	-0.026	0.045	125	0.013	-0.015	0.010	0.020
17	0.006	-0.021	-0.051	0.022	73	-0.007	-0.045	-0.017	0.046	126	0.007	-0.021	0.002	0.023
18	0.014	-0.011	-0.038	0.018	74	0.006	-0.038	-0.023	0.039	127	0.009	-0.016	0.008	0.018
19	0.010	-0.026	-0.045	0.027	75	-0.001	-0.043	-0.009	0.043	128	0.014	-0.016	0.003	0.021
20	0.010	-0.018	-0.050	0.021	76	-0.005	-0.041	-0.028	0.041	129	0.017	-0.015	-0.005	0.022
22	0.017	-0.005	-0.049	0.018	77	-0.007	-0.035	-0.032	0.036	130	0.014	-0.012	0.004	0.018
23	0.013	-0.023	-0.047	0.026	78	0.003	-0.041	-0.023	0.041	131	0.007	-0.015	0.000	0.017
24	0.018	-0.011	-0.058	0.022	79	-0.002	-0.027	-0.017	0.027	132	0.020	-0.016	0.004	0.025
25	0.018	-0.036	-0.046	0.040	80	-0.001	-0.039	-0.033	0.039	133	0.007	-0.011	-0.010	0.013
27	0.012	-0.022	-0.038	0.025	81	0.004	-0.050	-0.028	0.050	134	0.006	-0.006	0.002	0.009
28	0.018	-0.002	-0.035	0.019	82	0.000	-0.036	-0.021	0.036	135	0.015	-0.010	-0.006	0.018
29	0.016	-0.017	-0.040	0.023	83	0.006	-0.044	-0.007	0.044	136	0.007	-0.011	-0.004	0.013
30	0.015	-0.011	-0.045	0.018	84	-0.001	-0.041	-0.042	0.041	137	0.002	-0.010	-0.014	0.010
31	0.010	-0.020	-0.041	0.022	85	0.006	-0.037	-0.015	0.038	138	0.024	0.003	-0.013	0.024
32	0.011	-0.014	-0.043	0.017	86	-0.002	-0.041	-0.028	0.041	139	-0.004	-0.017	-0.022	0.017
33	0.012	-0.028	-0.054	0.030	87	-0.010	-0.041	-0.011	0.042	140	0.001	0.000	-0.011	0.002
34	0.020	-0.011	-0.050	0.023	88	0.005	-0.027	-0.037	0.028	141	0.000	0.004	-0.022	0.004
35	0.004	-0.023	-0.045	0.023	89	0.002	-0.031	-0.017	0.031	142	0.011	0.011	-0.017	0.015
36	0.013	-0.002	-0.050	0.013	90	0.007	-0.030	-0.027	0.031	143	0.008	0.009	-0.023	0.012
37	0.024	-0.009	-0.057	0.026	91	0.007	-0.028	-0.022	0.029	145	0.015	0.015	-0.020	0.022
38	0.012	-0.006	-0.053	0.013	93	-0.006	-0.034	-0.019	0.034	146	0.004	-0.005	-0.023	0.006
39	0.011	-0.017	-0.062	0.020	94	0.008	-0.016	-0.001	0.018	148	0.020	-0.003	-0.018	0.020
40	0.016	-0.005	-0.062	0.016	95	0.009	-0.011	-0.015	0.015	149	0.010	0.000	-0.017	0.010
41	0.006	-0.020	-0.062	0.021	96	0.006	-0.012	0.001	0.013	150	0.001	-0.006	-0.016	0.006
42	0.011	-0.016	-0.056	0.019	97	-0.004	-0.014	-0.012	0.014	151	0.020	-0.006	-0.013	0.021
43	0.019	-0.012	-0.078	0.022	98	0.005	-0.013	0.002	0.013	152	0.016	-0.001	-0.026	0.016
44	0.012	-0.008	-0.072	0.014	99	0.009	-0.016	-0.005	0.019	153	0.014	0.004	-0.019	0.015
45	0.005	-0.017	-0.082	0.018	102	0.012	-0.015	-0.014	0.019	154	0.009	0.000	-0.014	0.009
46	0.007	-0.003	-0.072	0.008	103	0.009	-0.013	-0.011	0.016	157	0.007	0.009	-0.024	0.011
47	0.007	-0.017	-0.087	0.018	104	0.015	-0.006	-0.017	0.016	158	0.006	0.004	-0.017	0.008
48	0.012	-0.017	-0.077	0.021	105	-0.004	-0.010	-0.011	0.011	159	0.010	0.010	-0.024	0.014
49	0.028	-0.020	-0.095	0.035	106	0.010	-0.013	-0.016	0.016	160	0.000	0.013	-0.022	0.013
51	0.008	-0.019	-0.084	0.021	107	-0.004	-0.016	-0.007	0.017	161	0.016	0.004	-0.014	0.017
52	0.028	-0.007	-0.102	0.029	108	0.011	-0.009	-0.012	0.014	162	0.005	0.026	-0.021	0.027
53	0.011	-0.017	-0.101	0.020	109	0.003	-0.016	-0.007	0.016	163	0.018	0.009	-0.025	0.020
54	0.017	-0.008	-0.087	0.019	110	0.010	-0.004	-0.010	0.011					
55	0.011	-0.018	-0.088	0.021	111	0.012	-0.014	-0.008	0.019					

Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Análisis Estadístico

En el presente análisis se usa herramientas estadísticas como los gráficos de control, histogramas de frecuencia, polígono de frecuencia, media aritmética, varianza y desviación estándar, estas herramientas permiten visualizar mejor los datos que se analizan así como determinar sus tendencias, variaciones y dispersión de los datos analizados.

a) Los gráficos de control:

Esta técnica estadística, permite distinguir variaciones de los datos e identificar los eventos de importancia, nos permite observar la variación respecto a la media muestral, detectando las variaciones en la toma de las mediciones.

b) Histograma de frecuencia

Es un gráfico que muestra la frecuencia de los datos, en la que el eje horizontal representa unidades discretas, rangos, o intervalos; en tanto que el eje vertical representa la frecuencia. Frecuentemente se dibujan barras rectangulares con sus áreas proporcionales a las frecuencias dentro de rangos o de intervalos.

c) Tabla de frecuencia de un Histograma

La tabla de frecuencia se utiliza para agrupar datos en intervalos que tengan la misma amplitud denominados clases. A cada clase se le asigna su frecuencia correspondiente. La frecuencia de un intervalo es el número de datos que se encuentran en él. Los intervalos deben poseer las siguientes características:

- Todos tienen el mismo ancho
- No se traslapan
- Todos los datos caen en un intervalo
- Debe haber un número de intervalos entre 5 y 15 .

Para preparar la tabla de frecuencia para un histograma, es necesario primero establecer el número de intervalos que se desea tener. Luego, se debe determinar el ancho común de los intervalos. Para esto, se calcula la diferencia del dato mayor y el dato menor, y se divide entre el número de intervalos deseados. Este resultado se redondea al entero mayor más cercano.

d) Polígono de frecuencia:

Polígono de frecuencia es el gráfico que se crea a partir de un histograma de frecuencia, es realizado uniendo los puntos de mayor altura de estas columnas.

e) Media Aritmética

La media aritmética de un conjunto finito es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos

f) Varianza (σ^2)

La varianza es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media. La desviación estándar, es la raíz cuadrada de la varianza, es una medida de dispersión alternativa expresada en las mismas unidades de los datos de la variable objeto de estudio.

i. Análisis Estadístico para la diferencia de las coordenadas

A continuación se muestran los resultados del análisis estadístico para la diferencia horizontal de las coordenadas (ΔH).

PARAMETROS ESTADISTICOS

Media aritmética: $x=0.023$ m

Varianza muestral: $s^2=0.00011$ m²

Desviación estándar muestral: $s=0.010$ m



Figura N°3.12.- Grafico de control para ΔH

Cuadro N°3.15.- Datos Para la elaboración de la Tabla de Frecuencias.

Datos Para tabla de frecuencias:	
Valor Max.=	0.056m
Valor Min.=	0.002m
Rango=	0.055m
Número de Puntos=	145
Intervalo=	0.005m
amplitud=	10
Limite Inf=	0.001m
Diferencia=	0.001m

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°3.16.- Tabla de Frecuencias para ΔH .

TABLA DE FRECUENCIAS PARA ΔH							
Nº	Intervalo		Marca de Clase	fi	Fi	hi	Hi
	Limite Inf.	Limite Sup.					
1	0.001	0.006	0.003	2	2	1.38%	1.38%
2	0.007	0.012	0.009	11	13	7.59%	8.97%
3	0.013	0.018	0.015	31	44	21.38%	30.34%
4	0.019	0.024	0.021	48	92	33.10%	63.45%
5	0.025	0.030	0.027	21	113	14.48%	77.93%
6	0.031	0.036	0.033	11	124	7.59%	85.52%
7	0.037	0.042	0.039	11	135	7.59%	93.10%
8	0.043	0.048	0.045	7	142	4.83%	97.93%
9	0.049	0.054	0.051	1	143	0.69%	98.62%
10	0.055	0.060	0.057	2	145	1.38%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

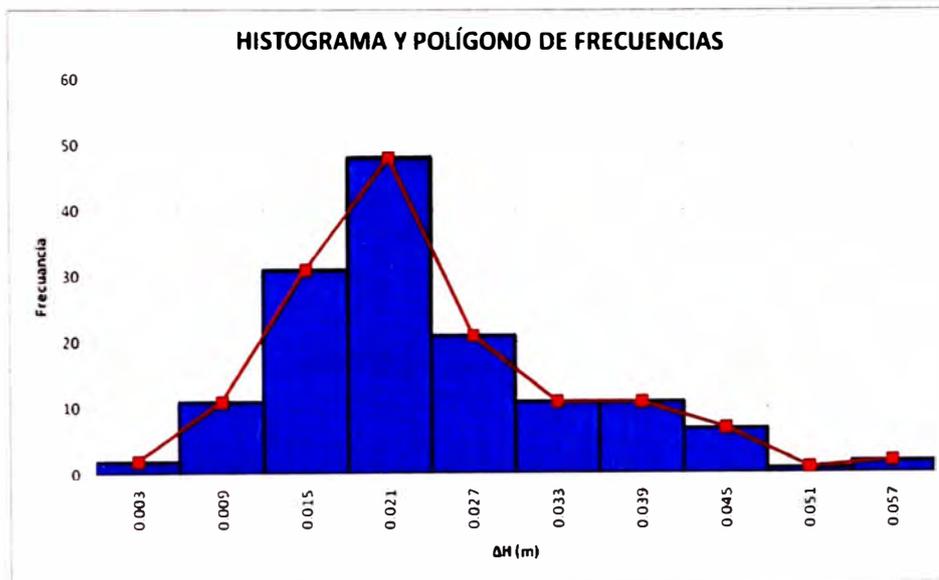


Figura N°3.13.- Histograma y Polígono de frecuencias para ΔH

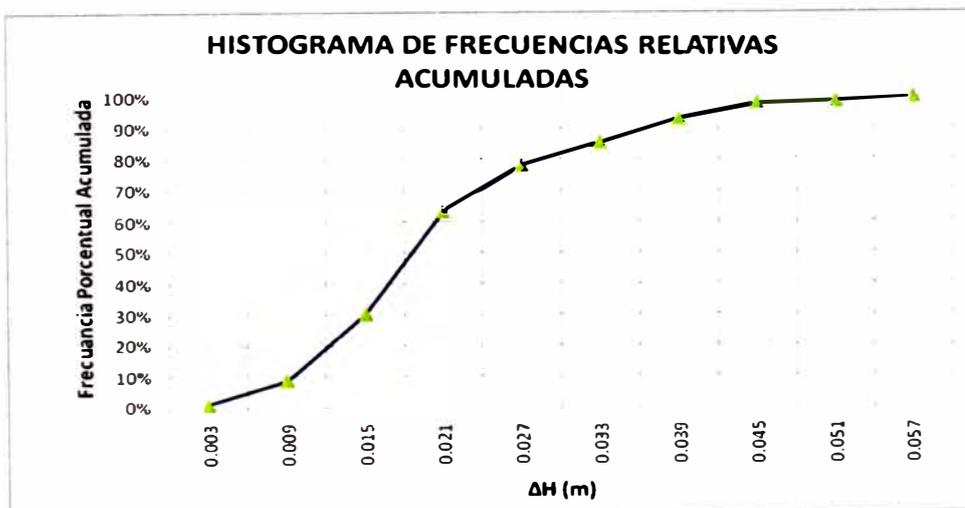


Figura N°3.14.- Histograma de Frecuencias Relativas acumuladas para ΔH

3.5.2 Evaluación de la Incertidumbre para los Datos de Campo

i. Levantamiento Topográfico por radiación usando estación total

Se realizó el análisis estadístico con las medidas tomadas con la Estación Total, con el fin de determinar los valores de la incertidumbre para cada uno de los puntos observados. El procedimiento y formulas para la determinación de las incertidumbres se han desarrollado en el Anexo 1.

Así mismo en el Anexo 2, se muestran tablas elaboradas para la estimación de la incertidumbre de medida.

PARAMETROS ESTADISTICOS

Media aritmética: $\bar{x}=0.017$ m

Varianza muestral: $s^2= 0.00006$ m²

Desviación estándar muestral: $s=0.008$ m

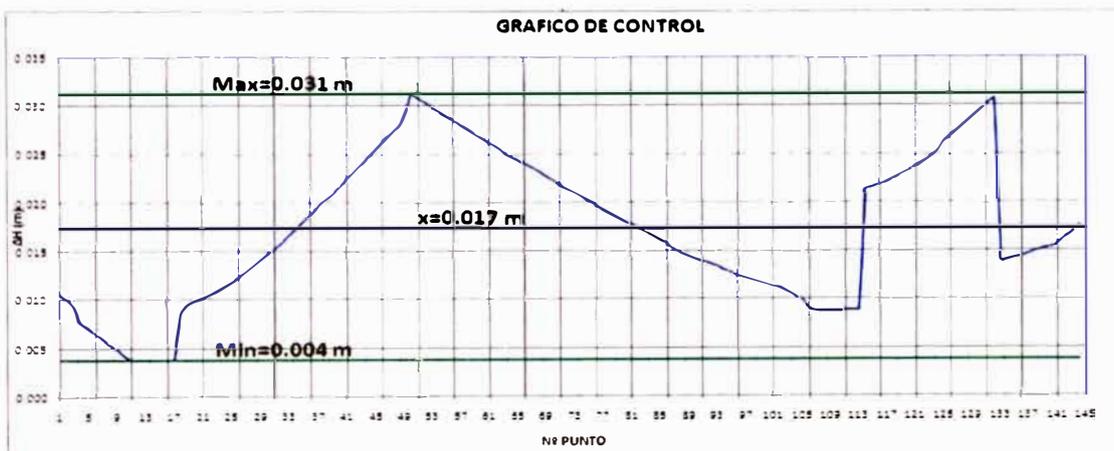


Figura N°3.15.- Grafico de control para la incertidumbre Total (Et)

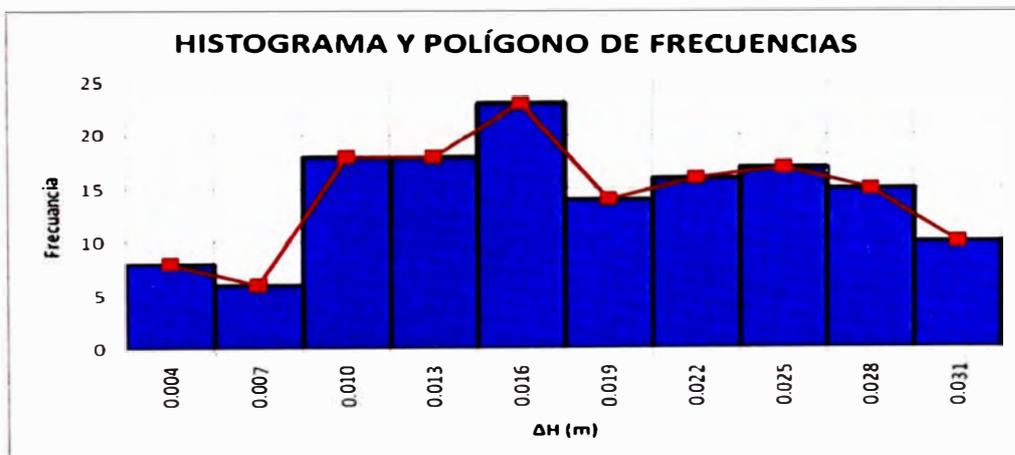


Figura N°3.16.- Histograma y Polígono de frecuencias para la Et

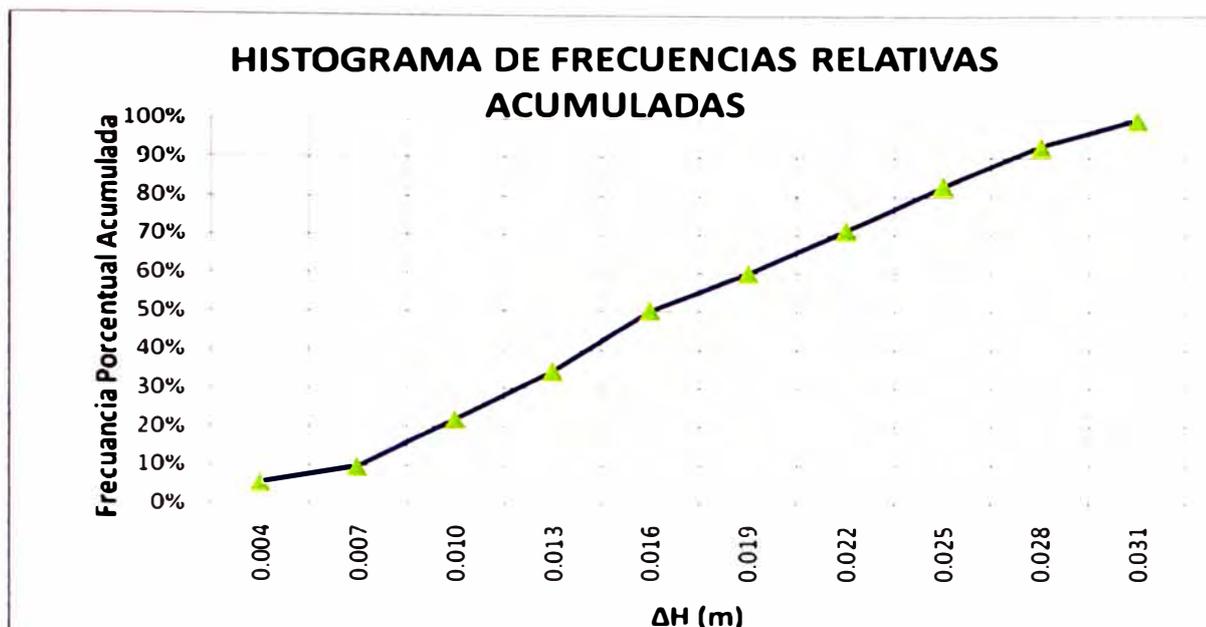


Figura N°3.17.- Histograma de Frecuencias Relativas acumuladas para la Et

En el Anexo 2, también se observa que el error relativo aparente se encuentra entre 1/1,900 y 1/34,000, siendo el promedio de 1/14,000.

El promedio se encuentran dentro de las tolerancias que exige el M.T.C. ver Anexo 5.

ii. Levantamiento Topográfico usando GPS Diferencial en Modo RTK

Según las especificaciones técnicas de los receptores que se utilizó la precisión horizontal y vertical para los puntos levantados en modo RTK son los siguientes:

Horizontal: 10mm+1ppm

Vertical: 15mm+1ppm

Las precisiones encontradas durante el levantamiento son las siguientes:

Promedio:

Horizontal: 5mm

Vertical: 8mm

Máximas:

Horizontal: 9mm

Vertical: 16mm

Sin embargo para encontrar la estimación de la incertidumbre de medida con el GPS Diferencial se debe considerar las siguientes fuentes:

1. Incertidumbre por centrado del bastón receptor rover.

$$\sigma_0 = U_0/3.5$$

De la tabla N° A.1, del Anexo 1 se tiene:

$$U_0 = 2 \text{ mm}$$

$$\sigma_0 = 0.6 \text{ mm}$$

2. Incertidumbre por la inclinación del bastón receptor rover.

Debido a la verticalidad del bastón donde se coloca el receptor.

$$\sigma_j = U_j/3.5$$

$$U_j = m \cdot \beta \text{ (rad)}$$

Donde:

$$\text{Altura del bastón } m = 1.658 \text{ m}$$

$$\text{Ángulo de inclinación en radianes } \beta = 20'$$

Entonces reemplazando se tiene:

$$U_j = 10 \text{ mm}$$

$$\sigma_j = 3 \text{ mm}$$

3. Incertidumbre por el centrado del instrumento Máster

$$\sigma_c = U_c/3.5$$

De la tabla N° A.1, del Anexo 1 se tiene:

$$U_c = 1 \text{ mm}$$

$$\sigma_c = 0.3 \text{ mm}$$

Por lo Tanto la incertidumbre de medida con GPS Diferencial en modo RTK será:

$$\sigma_{\text{GPS}} = \sqrt{9^2 + 0.6^2 + 3^2 + 0.3^2} = 9.5 \text{ mm}$$

En el Anexo 3, también se observa que el error relativo aparente se encuentra entre 1/8,900 y 1/431,000, siendo el promedio de 1/139,000.

Estos a su vez se encuentran dentro de las tolerancias que exige el M.T.C. ver Anexo 5.

Cuadro N°3.17.- Cuadro Comparación de Incertidumbre y Error relativo Aparente

Método	Error o Incertidumbre Promedio (cm)	Rango de Error Relativo Aparente		Promedio
Topografía con Estación Total	1.70	1/1,900	1/34,000,	1/14,000
Topografía con GPS Diferencial	0.95	1/8,900	1/431,000	1/139,000

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Análisis Comparativo de Costos

El costo es la medida monetaria de los recursos que se consumen para obtener un objetivo determinado.

Análisis de costos es el procedimiento para calcular esta medida, lo que cuesta "hacer algo", es decir, conocer el costo de cada producto en forma unitaria.

Todo costo conlleva un componente de subjetividad que toda valoración supone.

El costo de las actividades de levantamiento topográfico depende de factores los cuales inciden directamente en las labores de campo y gabinete.

Entre estos los mas principales son:

- Altitud sobre el nivel medio del mar.
- Precipitación pluvial.
- Transporte
- Características geológicas
- Vegetación
- Costo de vida
- Provisión del personal
- Suministro de equipos
- Materiales e insumos
- Desplazamiento

Para realizar el análisis comparativo de costos se procedió a realizar el análisis de precios unitarios de las partidas que involucran los levantamientos topográficos convencionales y usando GPS diferencial.

Las consideraciones en las que se realizaron el análisis de costos son las siguientes:

- Los precios unitarios obedecen a un estudio de precios de mercado.
- No se consideran costos indirectos.

a) Determinación de las partidas del presupuesto

Se ha determinado las partidas que conforman las dos metodologías para el levantamiento topográfico, con sus unidades, su análisis correspondiente y cálculo de precios unitarios. Estas partidas obedecen a los términos de referencia que se adjunta en el Anexo 6.

Los presupuestos están referidos al mes de diciembre del año 2012, teniendo como partidas:

01 TOPOGRAFIA CONVENCIONAL

- 01.01 Puntos de control geodésico
- 01.02 Poligonal topográfica
- 01.03 Nivelación geométrica
- 01.04 Levantamiento topográfico por radiación

01 TOPOGRAFIA CON GPS DIFERENCIAL

- 01.01 Puntos de control Geodésico y RTK
- 01.02 Nivelación geométrica

b) Análisis de los costos unitarios directos por partidas

Los costos unitarios directos comprenden tres rubros, los cuales están referidos a:

- Mano de obra.
- Materiales.
- Equipos.

c) Determinación de rendimientos

Los rendimientos que se considera en el presente análisis son de aplicación exclusiva para el presente estudio. Las cantidades de material o insumos requeridos son en función de las especificaciones técnicas (ver Anexo 6)

d) Costos de Mano de Obra

El costo de mano de obra utilizado en el análisis de precio unitario corresponden a la normativa vigente, estipulado por las leyes sociales y bonificaciones que tienen derecho los trabajadores del rubro de construcción civil.

e) Costo de materiales y equipos

Se ha realizado un estudio de mercado que ha permitido escoger el precio unitario que se empleará en el análisis de precio unitario. Los precios están referidos al mes de diciembre del año 2012 y son en nuevos soles.

Cuadro N°3.18.- Costo de Materiales y Equipos.

Código	Recurso	Unidad	REVISTA COSTOS	REVISTA CONSTRUCTIVO	JCP Inrep. S.R.L.	GEOTOP	GEODATA SYSTEMS	CONSIDERADA
0202200097	PERNO HEXAGONAL DE 3/8" X 5"	pza	0.42	0.42				0.42
0205000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3	46.07	55.08				46.07
0205010004	ARENA GRUESA	m3	35	38.14				35
0221000001	CEMENTO PORTLAND TIPC I (42.5 kg)	bls	14.41	15.13				14.41
0239050000	AGUA	m3	5.7	1.83				1.83
0244010000	ESTACA DE MADERA TORNILLO TRATADA	p2	3	3				3
0254010001	PINTURA ESMALTE SINTETICO	gal	35	43.5				35
0349880020	RECEPTOR GPS DOBLE FRECUENCIA	hm				800	775	775
0349880023	ESTACION TOTAL	he			120	120	120	120
0349880025	NIVEL AUTOMATICO	he			30	20	25	20

Fuente: Elaboración propia

1. Análisis de Costos Unitarios para Topografía convencional

En la topografía convencional empleamos las siguientes actividades:

Partida	01 01	PUNTOS DE CONTROL GEODESICO					
Rendimiento	pto/DIA	4 0000	EQ. 4 0000	Costo unitario directo por pto		292.21	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
014700032	TOPOGRAFO	hh	1 0000	2 0000	17 69	35 38	
014701004	PEON	hh	2 0000	4 0000	12 43	49 72	
85.10							
Materiales							
020220097	PERNO HEXAGONAL DE 3/8" X 5"	pza		1 0000	0 42	0 42	
0254010001	PINTURA ESMALTE SINTETICO	gal		0 0040	35 00	0 14	
0.56							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3 0000	85 10	2 55	
0349880020	RECEPTOR GPS DOBLE FRECUENCIA	hm	2 0000	4 0000	48 44	193 76	
196.31							
Subpartidas							
900305020102	HITO DE CONCRETOS f _c =175 kg/cm ²	u		1 0000	10 24	10 24	
10.24							

Partida	01 02	POLIGONAL TOPOGRAFICA					
Rendimiento	km/d/DIA	4 0000	EQ. 4 0000	Costo unitario directo por km/d		156.62	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
014700032	TOPOGRAFO	hh	1 0000	2 0000	17 69	35 38	
014701004	PEON	hh	3 0000	6 0000	12 43	74 58	
109.96							
Materiales							
0202100007	PERNO HEXAGONAL DE 3/8" X 5"	pza		1 0000	0 42	0 42	
0254010001	PINTURA ESMALTE SINTETICO	gal		0 0040	35 00	0 14	
0.56							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3 0000	109 96	3 30	
0349880023	ESTACION TOTAL	he	1 0000	2 0000	15 00	30 00	
33.30							
Subpartidas							
900305020102	HITO DE CONCRETOS f _c =175 kg/cm ²	u		1 2500	10 24	12 80	
12.80							

Partida	01 03	NIVELACION GEOMETRICA					
Rendimiento	km/DIA	4 0000	EQ. 4 0000	Costo unitario directo por km		94.98	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
014700032	TOPOGRAFO	hh	1 0000	2 0000	17 69	35 38	
014701004	PEON	hh	2 0000	4 0000	12 43	49 72	
85.10							
Materiales							
0244010000	ESTACA DE MADERA TORNILLO TRATADA	p2		0 6700	3 00	2 01	
0254010001	PINTURA ESMALTE SINTETICO	gal		0 0090	35 00	0 32	
2.33							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3 0000	85 10	2 55	
0349880025	NIVEL AUTOMATICO	he	1 0000	2 0000	2 50	5 00	
7.55							

Partida	01 04	LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO POR RADIACION					
Rendimiento	glb	1 0000	EQ. 1 0000	Costo unitario directo por glb		573.04	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
014700032	TOPOGRAFO	hh	1 0000	8 0000	17 69	141 52	
014701004	PEON	hh	3 0000	24 0000	12 43	298 32	
439.84							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3 0000	439 84	13 20	
0349880023	ESTACION TOTAL	he	1 0000	8 0000	15 00	120 00	
133.20							

2. Análisis de Costos Unitarios para Topografía con GPS Diferencial.

Se emplea dos ítems, según las siguientes partidas:

Partida	01.01 PUNTOS DE CONTROL GEODESICO Y RTK					
Rendimiento	glb	1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : glb	1,034.03	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra						
0147000032	TOPOGRAFO	hh	1 0000	8 0000	17 69	141 52
0147010004	PEON	hh	1.0000	8 0000	12 43	99.44
						240.96
Materiales						
0202200097	PERNO HEXAGONAL DE 3/8" X 5"	pza		1 0000	0 42	0 42
0254010001	PINTURA ESMALTE SINTETICO	gal		0 0040	35 00	0 14
						0.56
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3 0000	240 96	7 23
0349880020	RECEPTOR GPS DOBLE FRECUENCIA	hm	2 0000	16 0000	48 44	775.04
						782.27
Subpartidas						
900305020102	HITO DE CONCRETOS fc=175 kg/cm2	u		1 0000	10 24	10 24
						10.24

Partida	01.02 NIVELACION GEOMETRICA					
Rendimiento	km/DIA	4.0000	EQ. 4.0000	Costo unitario directo por : km	94.98	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra						
0147000032	TOPOGRAFO	hh	1 0000	2 0000	17 69	35.38
0147010004	PEON	hh	2.0000	4 0000	12 43	49.72
						85.10
Materiales						
0244010000	ESTACA DE MADERA TORNILLO TRATADA	p2		0 6700	3 00	2 01
0254010001	PINTURA ESMALTE SINTETICO	gal		0 0090	35 00	0 32
						2.33
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3 0000	85 10	2 55
0349880025	NIVEL AUTOMATICO	he	1 0000	2 0000	2 50	5 00
						7.55

a. Costos Comparativos

Presentamos los costos a emplear en ambas metodologías.

PRESUPUESTO TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL

Presupuesto 0403001 COSTOS DE TOPOGRAFIA
Subpresupuesto 001 TOPOGRAFIA CONVENCIONAL
Costo al Dic-12
Lugar LIMA - LIMA - ANCON

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	TOPOGRAFIA CONVENCIONAL				2,748.28
01.01	PUNTOS DE CONTROL GEODESICO	pto	4.00	292.21	1,168.84
01.02	POLIGONAL TOPOGRAFICA	km/d	4.00	156.62	626.48
01.03	NIVELACION GEOMETRICA	km	4.00	94.98	379.92
01.04	LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO POR RADIACION	glb	1.00	573.04	573.04
	Costo Directo				2,748.28

SON : DOS MIL SETECIENTOS CUARENTIOCHO Y 28/100 NUEVOS SOLES

PRESUPUESTO TOPOGRAFÍA CON GPS DIFERENCIAL

Presupuesto 0403003 COSTOS DE TOPOGRAFIA
Subpresupuesto 001 TOPOGRAFIA CON GPS DIFERENCIAL
Costo al Dic-12
Lugar LIMA - LIMA - ANCON

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	TOPOGRAFIA CON GPS DIFERENCIAL				1,413.95
01.01	PUNTOS DE CONTROL GEODESICO Y RTK	qlb	1.00	1,034.03	1,034.03
01.02	NIVELACION GEOMETRICA	km	4.00	94.98	379.92
	Costo Directo				1,413.95

SON : UN MIL CUATROCIENTOS TRECE Y 95/100 NUEVOS SOLES

Para el presente proyecto, el costo del levantamiento topográfico con GPS Diferencial es más bajo que el levantamiento con Estación Total, la diferencia se debe a los siguientes puntos:

- El levantamiento topográfico con GPS Diferencial, no requiere tener una poligonal topográfica, ya que solo se necesita una estación de referencia, de donde el receptor máster envía los datos de observación al receptor móvil o rover, este puede estar hasta una distancia de 8 km de la estación de referencia.
- El punto donde se estaciona el receptor de referencia, puede ir almacenando datos, lo que permite calcular en post proceso sus coordenadas y enlazarlas a la red geodésica nacional, para esto se usa la data de la estación de rastreo permanente del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La diferencia de coordenadas que se encontraron al comparar los puntos obtenidos; en promedio con Estación Total y con GPS Diferencial en modo RTK es de 2.3 cm, con una desviación estándar de 1cm
- La estimación de la incertidumbre para la medida de las coordenadas con estación total nos permitió encontrar un promedio de 1.7 cm, y de 0.8cm de desviación estándar.
- La estimación de la incertidumbre de medida con GPS diferencial en modo RTK es de 0.95cm considerando el punto con la menor precisión horizontal encontrada durante el trabajo de campo.
- Según el estudio comparativo realizado del Levantamiento Topográfico con GPS Diferencial se obtienen resultados más precisos.
- El error relativo aparente para el levantamiento topográfico con Estación Total es en promedio 1/14,000.
- El error relativo aparente para el levantamiento topográfico con GPS Diferencial es en promedio 1/139,000.
- El presente estudio pretende aclarar las dudas en el momento que uno se encuentra en la necesidad de escoger entre una u otra metodología.
- El costo del levantamiento topográfico con GPS Diferencial representa el 51% del costo del levantamiento topográfico con Estación Total, para el presente estudio.
- Los rendimientos que se consideran en el análisis de precios unitarios son de aplicación exclusiva para el presente estudio.
- Tanto el levantamiento topográfico con Estación Total como con GPS diferencial son aplicable para los levantamientos Topográficos y se encuentran dentro de las tolerancias y especificaciones que exige el levantamiento topográfico para obras viales.

4.2 RECOMENDACIONES

- Para la poligonal topográfica, se recomienda usar un bípode, para poder reducir el error por verticalidad del jalón, ya que este contribuye más en la incertidumbre de las medidas de coordenadas.
- Se recomienda tener los equipos calibrados para el levantamiento topográfico.
- Considerar para el Levantamiento con GPS Diferencial, en zonas boscosas, quebradas, zonas urbanas, no produce el mismo rendimiento debido a la poca recepción de satélites, en estos casos es recomendable usar una estación total.
- No olvidar hacer la transformación de las coordenadas UTM que se obtiene del GPS Diferencial a coordenadas Topográficas.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Beselga Moreno Sergio, **Fundamentos de Cartografía Matemática**, Editora Universidad Politécnica de Valencia, España, 2006.
- 2 Berne Valero José Luis, Chueca Pazos Manuel, Herráez Boquera José, **Teoría de Errores e Instrumentación**, Editorial Paraninfo. S.A, España, 1996.
- 3 Fernández García Silvino, Gil Docampo María Luz, **Topografía y Geomatica Básicas en Ingeniería**, Editora Bellisco, España, 2012.
- 4 Fernández Polidura Francisco Javier, **Topografía, Geodesia y Cartografía Aplicadas a la Ingeniería**, Editorial Mundi-Prensa Libros, S.A, España, 2000.
- 5 García Balboa José Luis, Ruiz Armenteros Antonio Miguel, Mesa Mingorance José Luis, **Evaluación de la incertidumbre de medida de ángulos, distancias y desniveles medidos con instrumentación topográfica**, Editora Bellisco, España, 2012.
- 6 Grupo de Trabajo 1 del Comité Conjunto de Guías en Metrología (JCGM / WG 1), **Evaluación de datos de medición Guía para la expresión de la incertidumbre de medida**, EDICIÓN DIGITAL 1 en Centro Español de Metrología, España 2008.
- 7 Huerta Eduardo, Mangiaterra Aldo, Noguera Gustavo, **GPS Posicionamiento Satelital**, Editora Universidad Nacional de Rosario, Argentina, 2005.
- 8 Martín Asín Fernando, **Geodesia y Cartografía Matemática**, Editora Fernando Martín, España, 2008.
- 9 Mendoza Dueñas Jorge, **Topografía Técnicas Modernas**, Editora Segrin EIRL, Perú, 2012.
- 10 Ruiz Morales Mario, **Problemas resueltos de Geodesia**, Editora Comares, España, 1992.

ANEXOS

Anexo 1. Evaluación de la Incertidumbre

La medición, hoy en día, es una tarea relativamente cómoda y sencilla gracias a la instrumentación disponible, pero el resultado de una medición es sólo una aproximación o estimación del valor de la cantidad específica medida, y éste debería ir acompañado de un valor cuantitativo que nos dé una idea de su calidad, es decir, de un parámetro que caracterice la dispersión de los valores que podrían atribuirse razonablemente al mismo.

La evaluación de este parámetro de calidad debe realizarse de la forma más rigurosa posible, ya que podrá influir a la hora de tomar decisiones acerca del instrumental y metodología topográfica más adecuada en cada caso concreto.

Este parámetro, la incertidumbre, es el objeto principal de la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM), comúnmente denominada GUM (ISO, 2008), elaborada conjuntamente por diversas organizaciones internacionales (Oficina Internacional de Pesas y Medidas BIPM, Organización Internacional de Metrología OIML, Organización Internacional de Normalización ISO,...) y adoptada, en la actualidad, por un gran número de prestigiosas sociedades científicas internacionales. La GUM, publicada en 1993 y revisada en 1995 y 2008, representa la referencia más completa y aceptada actualmente sobre cómo expresar y evaluar la incertidumbre de medida.

A1.1 INCERTIDUMBRE DE MEDIDA EN ÁNGULOS HORIZONTALES Y VERTICALES

Las diferentes fuentes de incertidumbre que afectan a la medición de un ángulo horizontal y vertical se pueden clasificar en instrumentales, personales y naturales.

- **Instrumentales.** Entre éstas se pueden considerar:
 - Falta de verticalidad del eje principal.
 - Falta de perpendicularidad entre los ejes de colimación y horizontal (secundario).
 - Falta de perpendicularidad entre los ejes horizontal y vertical (principal).
 - Índice del círculo vertical.
 - Falta de coincidencia entre la línea de puntería y el eje óptico.
 - Excentricidad.
 - Graduaciones imperfectas.

- Falta de paralelismo entre el eje del anteojo y la línea de puntería.

Todas estas fuentes de incertidumbre, llamadas instrumentales, son errores sistemáticos residuales que provienen de la fase de fabricación del instrumento y son inevitables. Su influencia sobre las medidas realizadas se puede eliminar seleccionando métodos de medida adecuados.

- **Personales**

Son consecuencia de la limitación del ojo humano durante el proceso de estacionamiento y nivelación del instrumento, así como a la hora de realizar las medidas.

- **Naturales**

Como fuentes de incertidumbre de este tipo se pueden considerar el asentamiento del trípode, la refracción atmosférica desigual tanto horizontal como vertical, la expansión desigual de partes del instrumento debido a cambios de temperatura, la humedad, la presión atmosférica, y el viento, el cual produce principalmente vibración en el equipo.

A1.1.1 Incertidumbre de medida angular del instrumento

La Norma ISO 17123-3 (ISO, 2001b) establece el procedimiento a seguir por un usuario para determinar y evaluar la incertidumbre de medida angular del instrumento utilizado. Aunque la calidad de la medida del instrumento depende de diversos factores como la incertidumbre del compensador, la resolución angular del instrumento, los aumentos del anteojo, etc. Según la Norma ISO 17123-3, la incertidumbre típica de medida angular horizontal y vertical con un teodolito se expresa mediante la desviación típica experimental de la media de una dirección angular horizontal ($\sigma_{\text{ISO-HZ}}$) observada una vez en ambas posiciones del anteojo (círculo directo y círculo inverso), y de la media de un ángulo vertical ($\sigma_{\text{ISO-V}}$) medido también una vez en ambas posiciones del anteojo. Por tanto, para una determinada dirección angular, la desviación típica de la medida angular realizada en uno de los círculos (es decir, sin efectuar una media de las dos posiciones), que engloba a los tradicionales "errores accidentales de lectura y puntería", será:

$$\sigma_{\text{HZ}} = \pm \sigma_{\text{ISO-HZ}} \sqrt{2}$$

$$\sigma_{\text{V}} = \pm \sigma_{\text{ISO-V}} \sqrt{2}$$

Si las lecturas angulares (horizontales o verticales) se realizan n veces, esta desviación típica (σ_{HZ} o σ_V) vendrá dividida por la raíz de n .

$$\sigma_{\alpha_{ISO}} = \pm \frac{\sigma_{HZ} \sqrt{2}}{\sqrt{n}} = \pm \frac{\sigma_{ISO-HZ} \sqrt{2} \sqrt{2}}{\sqrt{n}} = \pm \frac{2\sigma_{ISO-HZ}}{\sqrt{n}}$$

i. Incertidumbre por centrado de la señal visada

Al situar la señal visada sobre el punto al que se desea visar, se cometerá un determinado error aleatorio de carácter circular σ_o , el cual da lugar a una fuente de incertidumbre que afectará a la incertidumbre de medida de un ángulo horizontal, y cuya contribución hay que evaluar. Si el error se produce en dirección perpendicular a la visual, su efecto será máximo. El valor máximo asumido para σ_o habría de ser considerado como una incertidumbre expandida U_o con una determinada probabilidad de cobertura del 99,7% supuesta una distribución normal circular para el error de centrado de la señal, la incertidumbre expandida a esa probabilidad de cobertura correspondería a un valor de $3,5\sigma$.

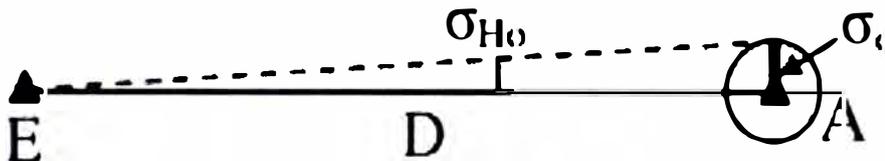


Figura N°A.1.- Incertidumbre típica σ_{Ho} para una dirección angular

Así pues, no puede reducirse su valor dividiendo por la raíz del número de veces que se observa la correspondiente dirección angular. Los valores que pueden asumirse para σ_o en distintas situaciones pueden encontrarse en el cuadro siguiente:

Cuadro N°A.1.- Parámetros y valores por diferentes autores para la incertidumbre en el centrado del instrumento

Fuente	Parámetro	Estacionamiento	Valor (mm)	σ_c o σ_o asimilado (mm)
Cooper (1987)	"exactitud"	plomada física bastón centrador plomada óptica	1	¿?
Mikhail y Gracie (1987)	desviación típica	no específica	0,5 – 3	0,5 - 3
Baykal y otros (2005)	máx. e_c	plomada física	5	1,4
		bastón centrador	2	0,6
		plomada óptica	1	0,3
		centrado forzoso	0,2	0,06 \approx 0
Leica (2004)	U_c (2σ)	plomada láser	1,5	0,75

Por tanto, la incertidumbre de una dirección angular tendrá una contribución, debida a la incertidumbre típica σ_o del centrado de la señal visada, cuyo valor σ_{Ho} será:

$$\sigma_{Ho} = \pm \frac{\sigma_o}{D} r$$

Siendo:

D: Distancia que separa el punto de estación E de la señal visada A.

r: Angulo horizontal medido en segundos de radian.

Para el caso de la observación de un ángulo horizontal α medido entre dos puntos A y B, al visarse dos direcciones, la incertidumbre de centrado de la señal visada, independiente para cada punto visado, contribuirá a la incertidumbre del ángulo horizontal medido, con una incertidumbre típica $\sigma_{\alpha o}$.

$$\sigma_{\alpha o} = \pm \sqrt{\sigma_{HoA}^2 + \sigma_{HoB}^2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{oA}}{D_E^A}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{oB}}{D_E^B}\right)^2} r$$

Si se considera la misma incertidumbre típica σ_o en el centrado de cada marca visada, la expresión anterior se reduce a:

$$\sigma_{\alpha o} = \pm \frac{\sqrt{(D_E^A)^2 + (D_E^B)^2}}{D_E^A D_E^B} \sigma_o r^{cc}$$

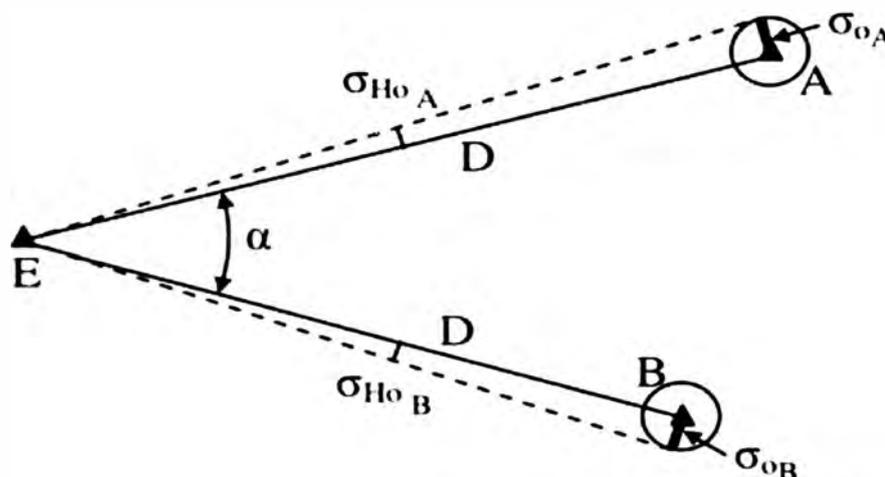


Figura N°A.2.- Incertidumbre típica σ_{Ho} en dos direcciones angulares

ii. Incertidumbre por inclinación de la señal visada

Con frecuencia, en las observaciones angulares realizadas en campo, sólo es visible la parte superior de jalón, o incluso solamente el prisma, estando

sujeto el jalón con la mano por el operador auxiliar, y mantenido vertical con la ayuda de un nivel esférico acoplado al mismo. En tal caso, si el jalón estuviera inclinado un determinado ángulo β respecto de su posición vertical provocaría un determinado error aleatorio planimétrico e_j , de carácter circular, el cual da lugar a una fuente de incertidumbre que afecta a la incertidumbre de medida de un ángulo horizontal, y cuyo valor se ha de evaluar. El valor máximo asumido para e_j se considerará como la incertidumbre expandida (U_j) a $3,5\sigma$. Dividiendo U_j por 3,5 se obtendrá σ_j , que será la incertidumbre típica planimétrica por la inclinación de la señal visada.

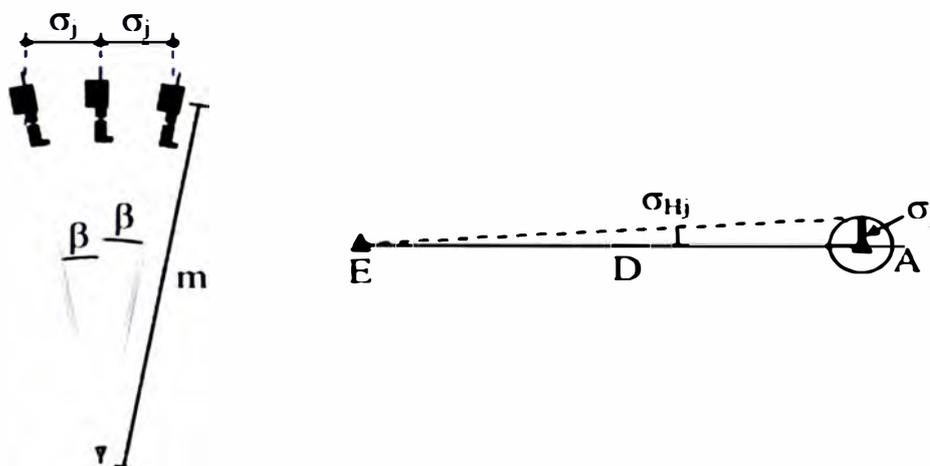


Figura N°A.3.- Incertidumbre típica por inclinación del jalón

Es importante destacar que esta incertidumbre típica σ_j es independiente de la del centrado σ_o de la señal sobre el punto correspondiente.

Contribuirá a la incertidumbre de medida de una determinada dirección angular con una incertidumbre típica σ_{Hj} :

$$\sigma_{Hj} = \pm \frac{\sigma_j}{D} r$$

Para el caso de un ángulo horizontal α medido entre dos puntos A y B, al ser la incertidumbre por inclinación de la señal visada independiente para cada uno, la contribución σ_{α_j} a la incertidumbre típica del ángulo será:

$$\sigma_{\alpha_j} = \pm \sqrt{\sigma_{HjA}^2 + \sigma_{HjB}^2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{jA}}{D_E^A}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{jB}}{D_E^B}\right)^2} r$$

Si en los dos puntos observados A y B se considera la misma incertidumbre

Típica σ_j , σ_{α_j} quedará:

$$\sigma_{\alpha_j} = \pm \frac{\sqrt{(D_E^A)^2 + (D_E^B)^2}}{D_E^A D_E^B} \sigma_j r$$

La incertidumbre expandida U_j (probabilidad de cobertura del 99,7%) por inclinación de la señal visada se puede evaluar (ver Figura 3.3. a) mediante:

$$U_j = m \operatorname{sen}(\operatorname{máx} \beta) \cong m (\operatorname{máx} \beta^{\operatorname{rad}})$$

Siendo m la distancia desde el centro del prisma hasta la punta del jalón.

Si durante el tiempo que se visa al prisma, cuando se mide un ángulo horizontal o una dirección angular n veces para efectuar un promedio, el jalón se mantiene vertical sujetándolo con la mano y auxiliándose de un nivel esférico acoplado al mismo, el error e_j se puede considerar como aleatorio, y por tanto, la incertidumbre típica σ_{H_j} se reducirá dividiéndola por raíz de n .

$$U_j = \frac{m \operatorname{sen}(\operatorname{máx} \beta)}{\sqrt{n}} \cong \frac{m (\operatorname{máx} \beta^{\operatorname{rad}})}{\sqrt{n}}$$

iii. Incertidumbre por centrado del instrumento sobre el punto de estación

Al estacionar el instrumento sobre su punto de estación se cometerá un error aleatorio de carácter circular e_c , el cual provoca un efecto importante en el ángulo horizontal medido cuando la longitud de la visual es pequeña.

El efecto sobre los ángulos horizontales medidos podría ser nulo si el instrumento se estacionara sobre el arco capaz del ángulo a medir o bien ser máximo cuando el instrumento se situara sobre la bisectriz del mismo.

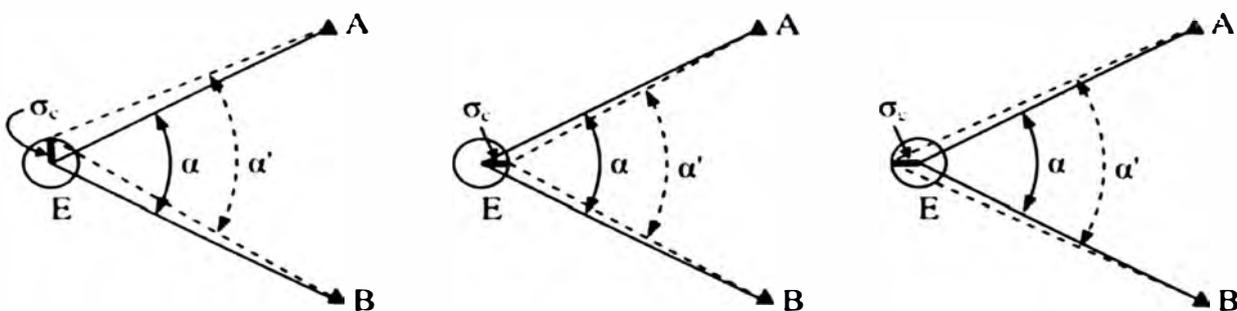


Figura N°A.4.- incertidumbre típica por centrado del instrumento

La expresión que cuantifica la correspondiente contribución de la incertidumbre típica de estacionamiento del instrumento σ_{ac} a la incertidumbre de medida de un ángulo horizontal:

$$\sigma_{a_c} = \pm \frac{\sqrt{(D_E^A)^2 + (D_E^B)^2 - 2 D_E^A D_E^B \cos \alpha}}{D_E^A D_E^B} \sigma_{c,r} = \pm \frac{D_A^B}{D_E^A D_E^B} \sigma_{c,r}$$

Dónde:

σ_c : es la incertidumbre típica del centrado del instrumento sobre el punto de estación.

Ésta tiene carácter circular, y por tanto, su valor es el mismo en cualquier dirección. Se obtiene a partir de un valor máximo del error de centrado e_c , que es considerado como la incertidumbre expandida U_c . Supuesta una distribución normal circular para el error de centrado del instrumento y una probabilidad de cobertura del 99,7%, la incertidumbre expandida correspondería a un valor de $3,5\sigma$.

$$\sigma_c = \sigma_{c-x} = \sigma_{c-y} = \frac{U_c}{3,5}$$

iv. Incertidumbre típica combinada de medida de un ángulo horizontal

La incertidumbre típica combinada de medida de un ángulo horizontal σ_a se obtiene finalmente aplicando la ley de propagación de las incertidumbres que se aplica la siguiente expresión:

$$\sigma_a = \pm \sqrt{\sigma_{a_{ISO}}^2 + \sigma_{a_o}^2 + \sigma_{a_c}^2 + \sigma_{a_j}^2}$$

A1.1.2 Incertidumbre típica de medida de un ángulo vertical

A la medida de un ángulo vertical le afectará sólo la incertidumbre de medida angular del equipo (σ_{ISO-v}), ya que ni el centrado de la señal visada, ni el del instrumento, tendrán una influencia significativa.

$$\sigma_v = \pm \frac{\sigma_{ISO-v} \sqrt{2}}{\sqrt{n}}$$

A1.1.3 Incertidumbre de medida de la distancia por métodos electromagnéticos

i. Incertidumbre de medida de la distancia por el distanciómetro

Esta norma ISO 17123-4 (ISO, 2001c) cuantifica la incertidumbre mediante la desviación típica experimental $\sigma_{\text{ISO-EDM}}$ de una distancia medida con distanciómetro.

Los fabricantes suelen presentar la incertidumbre de sus equipos mediante una parte constante más una parte proporcional a la distancia medida, $\pm(a \text{ mm} + b \text{ ppm} \cdot D)$, que es una forma de indicar la desviación típica para cualquier distancia. Si se utiliza la evaluación realizada por el fabricante, aplicando adecuadamente la propagación de incertidumbres, la incertidumbre típica de medida $\sigma_{\text{ISO-EDM}}$ obtenida al medir una determinada distancia D , se puede evaluar mediante:

$$\sigma_{\text{ISO-EDM}} = \pm \sqrt{a^2 [\text{m}]^2 + (b \text{ ppm} \cdot 10^{-6} D [\text{m}])^2}$$

ii. Incertidumbre por centrado de la señal visada

Se trata de la misma fuente de incertidumbre de la sección 3.2.1. La incertidumbre típica del centrado de la señal visada σ_o será:

$$\sigma_o = \frac{U_o}{3,5}$$

iii. Incertidumbre por centrado del instrumento sobre el punto de estación

Se trata de la misma fuente de incertidumbre de la sección 3.2.1. La contribución correspondiente viene dada por la incertidumbre típica σ_c .

$$\sigma_c = \frac{U_c}{3,5}$$

iv. Incertidumbre típica combinada de medida de una distancia geométrica por métodos electromagnéticos

La incertidumbre típica combinada de medida de una distancia geométrica estará definida por la expresión:

$$\sigma_{Dg} = \pm \sqrt{\sigma_{\text{ISO-EDM}}^2 + \sigma_o^2 + \sigma_c^2 + \sigma_j^2}$$

ANEXO 2. Estimación de la incertidumbre para los puntos determinados con la Estación Total

N° Punto	Incertidumbre de medida angular del instrumento							Incertidumbre de medida de distancia					Error radiación (m)	Error de Red (Poligonal)			E total (m)	Error Relativo Aparente 1
	$\sigma_{\alpha_{iso}}$ (seg)	$\sigma_{\alpha_{\infty}}$ (seg)	$\sigma_{\alpha_{c}}$ (seg)	σ_j	σ_{α_1} (seg)	σ_{α} (seg)	e_r (m)	$\sigma_{\alpha_{iso} \cdot EDM}$ (m)	σ_o (m)	σ_c (m)	σ_j (m)	$\sigma_{Dg(e_s)}$ (m)		e_x (m)	e_y (m)	Error Red (m)		
1	6	0.02	0.00	0.003	0.11	6.00	0.011	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.011	0.000	0.000	0.000	0.011	34369
2	6	0.02	0.00	0.003	0.11	6.00	0.010	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.010	0.000	0.000	0.000	0.010	34368
3	6	0.02	0.00	0.003	0.12	6.00	0.009	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.009	0.000	0.000	0.000	0.009	34367
7	6	0.03	0.00	0.003	0.15	6.00	0.008	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.008	0.000	0.000	0.000	0.008	34363
8	6	0.03	0.00	0.003	0.16	6.00	0.007	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.007	0.000	0.000	0.000	0.007	34361
9	6	0.03	0.00	0.003	0.18	6.00	0.007	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.007	0.000	0.000	0.000	0.007	34358
10	6	0.04	0.00	0.003	0.20	6.00	0.006	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.006	0.000	0.000	0.000	0.006	34354
11	6	0.04	0.00	0.003	0.23	6.00	0.005	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.005	0.000	0.000	0.000	0.005	34347
12	6	0.05	0.01	0.003	0.28	6.01	0.005	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.005	0.000	0.000	0.000	0.005	34336
13	6	0.06	0.01	0.003	0.33	6.01	0.004	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	34319
14	6	0.08	0.02	0.003	0.42	6.02	0.004	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	33587
15	6	0.10	0.03	0.003	0.56	6.03	0.003	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	28271
16	6	0.15	0.04	0.003	0.80	6.05	0.003	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	22949
17	6	0.23	0.08	0.003	1.26	6.14	0.002	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	17644
18	6	0.45	0.18	0.003	2.43	6.49	0.001	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	12321
19	6	1.29	0.57	0.003	6.97	9.31	0.001	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	7085
20	6	12.00	5.86	0.003	64.79	66.42	0.003	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	2408
22	6	20.04	10.65	0.003	108.19	110.71	0.009	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.009	0.000	0.000	0.000	0.009	1861
23	6	10.27	5.86	0.003	55.44	57.00	0.009	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.009	0.000	0.000	0.000	0.009	3616
24	6	6.72	4.10	0.003	36.28	37.61	0.010	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.010	0.000	0.000	0.000	0.010	5482
25	6	5.02	3.25	0.003	27.09	28.39	0.010	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.010	0.000	0.000	0.000	0.010	7263
26	6	4.18	2.82	0.003	22.55	23.87	0.011	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.011	0.000	0.000	0.000	0.011	8637
27	6	4.03	2.74	0.003	21.77	23.10	0.011	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.011	0.000	0.000	0.000	0.011	8925
28	6	3.39	2.41	0.003	18.32	19.72	0.011	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.011	0.000	0.000	0.000	0.011	10454
29	6	2.96	2.18	0.003	15.96	17.44	0.011	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.011	0.000	0.000	0.000	0.011	11822
30	6	2.64	2.01	0.003	14.24	15.80	0.012	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.012	0.000	0.000	0.000	0.012	13048
31	6	2.40	1.87	0.003	12.93	14.58	0.012	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.012	0.000	0.000	0.000	0.012	14142
32	6	2.21	1.77	0.003	11.93	13.65	0.013	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.013	0.000	0.000	0.000	0.013	15102
33	6	2.06	1.68	0.003	11.13	12.92	0.013	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.013	0.000	0.000	0.000	0.013	15953
34	6	1.94	1.61	0.003	10.48	12.34	0.014	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.014	0.000	0.000	0.000	0.014	16711
35	6	1.84	1.55	0.003	9.95	11.87	0.015	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.015	0.000	0.000	0.000	0.015	17373
36	6	1.76	1.49	0.003	9.51	11.48	0.015	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.015	0.000	0.000	0.000	0.015	17963
37	6	1.69	1.45	0.003	9.14	11.16	0.016	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.016	0.000	0.000	0.000	0.016	18479
38	6	1.63	1.41	0.003	8.83	10.89	0.017	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.017	0.000	0.000	0.000	0.017	18937
39	6	1.58	1.37	0.003	8.55	10.65	0.017	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.017	0.000	0.000	0.000	0.017	19357
40	6	1.54	1.34	0.003	8.32	10.46	0.018	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.018	0.000	0.000	0.000	0.018	19714
41	6	1.50	1.31	0.003	8.12	10.29	0.019	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.019	0.000	0.000	0.000	0.019	20031
42	6	1.47	1.29	0.003	7.95	10.15	0.019	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.019	0.000	0.000	0.000	0.019	20313
43	6	1.44	1.27	0.003	7.80	10.03	0.020	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.020	0.000	0.000	0.000	0.020	20566
44	6	1.42	1.25	0.003	7.66	9.92	0.021	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.021	0.000	0.000	0.000	0.021	20795
45	6	1.40	1.23	0.003	7.55	9.82	0.022	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0038	0.022	0.000	0.000	0.000	0.022	20999
46	6	1.38	1.21	0.003	7.44	9.73	0.022	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0039	0.022	0.000	0.000	0.000	0.022	21184
47	6	1.36	1.20	0.003	7.35	9.66	0.023	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0039	0.023	0.000	0.000	0.000	0.023	21349
48	6	1.35	1.18	0.003	7.26	9.59	0.024	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0039	0.024	0.000	0.000	0.000	0.024	21500
49	6	1.33	1.17	0.003	7.19	9.53	0.025	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0039	0.025	0.000	0.000	0.000	0.025	21637
50	6	1.33	1.17	0.003	7.18	9.52	0.025	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0039	0.025	0.000	0.000	0.000	0.025	21652
51	6	1.32	1.16	0.003	7.12	9.48	0.025	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0039	0.025	0.000	0.000	0.000	0.025	21760
52	6	1.31	1.15	0.003	7.06	9.43	0.026	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0039	0.026	0.000	0.000	0.000	0.026	21874
53	6	1.30	1.13	0.003	7.00	9.38	0.027	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0039	0.027	0.000	0.000	0.000	0.027	21980
54	6	1.29	1.12	0.003	6.95	9.34	0.028	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0039	0.028	0.000	0.000	0.000	0.028	22077
55	6	1.28	1.11	0.003	6.90	9.30	0.029	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0039	0.029	0.000	0.000	0.000	0.029	22164
60	6	2.00	1.30	0.003	10.20	12.07	0.030	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.030	0.006	0.005	0.008	0.031	16500
61	6	2.00	1.30	0.003	10.18	12.06	0.030	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.030	0.006	0.005	0.008	0.031	16498
62	6	1.99	1.30	0.003	10.17	12.04	0.029	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.029	0.006	0.005	0.008	0.030	16495
63	6	1.99	1.30	0.003	10.16	12.03	0.029	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.029	0.006	0.005	0.008	0.030	16490
64	6	1.99	1.31	0.003	10.15	12.03	0.028	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.028	0.006	0.005	0.008	0.029	16482
65	6	1.99	1.31	0.003	10.14	12.02	0.028	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.028	0.006	0.005	0.008	0.029	16471
66	6	1.99	1.31	0.003	10.13	12.01	0.027	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.027	0.006	0.005	0.008	0.029	16458
67	6	1.98	1.32	0.003	10.12	12.01	0.027	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.027	0.006	0.005	0.008	0.028	16442
68	6	1.98	1.32	0.003	10.12	12.00	0.026	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.026	0.006	0.005	0.008	0.028	16421
69	6	1.98	1.32	0.003	10.12	12.00	0.026	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.026	0.006	0.005	0.008	0.027	16398
70	6	1.98	1.33	0.003	10.12	12.00	0.026	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.026	0.006	0.005	0.008	0.027	16370
71	6	1.98	1.33	0.003	10.12	12.00	0.025	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0037	0.025	0.006	0.005	0.008	0.026	16340
72	6	1.98	1.34	0.003	10.12	12.01	0.025	0.002	0.001	0.000</								

Nº Punto	Incertidumbre de medida angular del instrumento							Incertidumbre de medida de distancia					Error radiación (m)	Error de Red (Poligonal)			E. total (m)	Error Relativo Aparente ¹
	$\sigma_{\text{est SO}}$ (seg)	σ_{od} (seg)	σ_{oc} (seg)	σ_j	σ_{α_1} (seg)	σ_{α_2} (seg)	e_i (m)	$\sigma_{\text{est SO, EDM}}$ (m)	σ_a (m)	σ_c (m)	σ_j (m)	σ_{Dg} (e _i) (m)		e_x (m)	e_y (m)	Error Red (m)		
99	6	2.48	1.74	0.003	12.66	14.33	0.012	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.012	0.006	0.005	0.008	0.015	12080
102	6	2.55	1.78	0.003	13.02	14.67	0.012	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.012	0.006	0.005	0.008	0.015	11690
103	6	2.63	1.83	0.003	13.43	15.06	0.012	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.012	0.006	0.005	0.008	0.014	11280
104	6	2.73	1.88	0.003	13.91	15.51	0.011	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.011	0.006	0.005	0.008	0.014	10841
105	6	2.83	1.94	0.003	14.46	16.03	0.011	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.011	0.006	0.005	0.008	0.014	10371
106	6	2.96	2.01	0.003	15.11	16.65	0.011	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.011	0.006	0.005	0.008	0.013	9874
107	6	3.11	2.09	0.003	15.88	17.38	0.010	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.010	0.006	0.005	0.008	0.013	9345
108	6	3.29	2.18	0.003	16.78	18.25	0.010	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.010	0.006	0.005	0.008	0.013	8790
109	6	3.50	2.29	0.003	17.87	19.31	0.010	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.010	0.006	0.005	0.008	0.013	8202
110	6	3.76	2.42	0.003	19.19	20.60	0.009	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.009	0.006	0.005	0.008	0.012	7585
111	6	4.08	2.58	0.003	20.80	22.18	0.009	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.009	0.006	0.005	0.008	0.012	6942
112	6	4.47	2.77	0.003	22.81	24.16	0.009	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.009	0.006	0.005	0.008	0.012	6276
113	6	4.96	3.01	0.003	25.30	26.64	0.008	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.008	0.006	0.005	0.008	0.012	5597
114	6	5.60	3.31	0.003	28.58	29.92	0.008	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.008	0.006	0.005	0.008	0.011	4893
115	6	6.43	3.69	0.003	32.81	34.17	0.008	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.008	0.006	0.005	0.008	0.011	4187
116	6	7.51	4.18	0.003	38.30	39.70	0.007	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.007	0.006	0.005	0.008	0.011	3495
117	6	8.85	4.76	0.003	45.17	46.66	0.007	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.007	0.006	0.005	0.008	0.011	2840
118	6	10.08	5.22	0.003	51.41	52.99	0.006	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.006	0.006	0.005	0.008	0.010	2297
119	6	9.50	4.73	0.003	48.47	49.98	0.005	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.005	0.006	0.005	0.008	0.009	2028
121	6	5.93	2.82	0.003	30.27	31.55	0.003	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.004	0.006	0.005	0.008	0.009	2219
122	6	2.83	1.28	0.003	14.43	15.93	0.002	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.004	0.006	0.005	0.008	0.009	2795
123	6	1.30	0.56	0.003	6.62	9.04	0.001	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.004	0.006	0.005	0.008	0.009	3632
124	6	0.61	0.25	0.003	3.12	6.79	0.001	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.004	0.006	0.005	0.008	0.009	4603
125	6	0.29	0.11	0.003	1.46	6.18	0.001	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.004	0.006	0.005	0.008	0.009	5639
126	6	0.11	0.04	0.003	0.55	6.03	0.002	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.004	0.006	0.005	0.008	0.009	6697
127	6	0.02	0.01	0.003	0.10	6.00	0.002	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.004	0.006	0.005	0.008	0.009	7788
128	6	9.95	3.07	0.003	50.75	52.15	0.020	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.020	0.006	0.005	0.008	0.021	3659
129	6	8.93	2.54	0.003	45.59	46.91	0.020	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.020	0.006	0.005	0.008	0.022	4075
130	6	8.14	2.12	0.003	41.53	42.80	0.020	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.020	0.006	0.005	0.008	0.022	4475
131	6	7.50	1.77	0.003	38.28	39.50	0.021	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.021	0.006	0.005	0.008	0.022	4859
132	6	6.98	1.49	0.003	35.63	36.83	0.021	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.021	0.006	0.005	0.008	0.023	5224
133	6	6.55	1.25	0.003	33.43	34.62	0.022	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.022	0.006	0.005	0.008	0.023	5571
134	6	6.19	1.05	0.003	31.60	32.77	0.022	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.022	0.006	0.005	0.008	0.023	5899
135	6	5.89	0.87	0.003	30.05	31.22	0.022	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.022	0.006	0.005	0.008	0.024	6208
136	6	5.63	0.72	0.003	28.73	29.89	0.023	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.023	0.006	0.005	0.008	0.024	6499
137	6	5.41	0.58	0.003	27.59	28.76	0.023	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.023	0.006	0.005	0.008	0.025	6773
138	6	5.22	0.47	0.003	26.61	27.78	0.024	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.024	0.006	0.005	0.008	0.025	7029
139	6	4.90	0.27	0.003	25.00	26.18	0.025	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.025	0.006	0.005	0.008	0.026	7493
140	6	4.77	0.20	0.003	24.34	25.52	0.026	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.026	0.006	0.005	0.008	0.027	7702
141	6	4.66	0.15	0.003	23.76	24.95	0.026	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.026	0.006	0.005	0.008	0.028	7896
145	6	4.38	0.18	0.003	22.37	23.57	0.028	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.028	0.006	0.005	0.008	0.029	8405
142	6	4.56	0.13	0.003	23.24	24.43	0.027	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.027	0.006	0.005	0.008	0.028	8078
146	6	4.31	0.22	0.003	22.00	23.21	0.029	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.029	0.006	0.005	0.008	0.030	8552
143	6	4.47	0.14	0.003	22.78	23.98	0.028	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.028	0.006	0.005	0.008	0.029	8248
148	6	4.25	0.27	0.003	21.67	22.88	0.030	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.030	0.006	0.005	0.008	0.031	8688
148	6.00	7.58	4.40	0.003	38.66	40.09	0.009	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.009	0.008	0.007	0.011	0.014	3224
149	6.00	6.52	3.90	0.003	33.26	34.64	0.009	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.009	0.008	0.007	0.011	0.014	3827
150	6.00	5.72	3.50	0.003	29.18	30.54	0.009	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.009	0.008	0.007	0.011	0.014	4432
151	6.00	5.10	3.20	0.003	26.02	27.38	0.010	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.010	0.008	0.007	0.011	0.014	5034
152	6.00	4.62	2.95	0.003	23.59	24.95	0.010	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.010	0.008	0.007	0.011	0.015	5618
153	6.00	4.24	2.76	0.003	21.64	23.02	0.010	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.010	0.008	0.007	0.011	0.015	6190
153	6.00	4.24	2.76	0.003	21.64	23.02	0.010	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.010	0.008	0.007	0.011	0.015	6190
154	6.00	3.93	2.59	0.003	20.04	21.45	0.010	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.010	0.008	0.007	0.011	0.015	6747
157	6.00	3.67	2.45	0.003	18.73	20.16	0.011	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.011	0.008	0.007	0.011	0.015	7286
158	6.00	3.46	2.34	0.003	17.64	19.09	0.011	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.011	0.008	0.007	0.011	0.015	7805
159	6.00	3.13	2.15	0.003	15.95	17.45	0.012	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.012	0.008	0.007	0.011	0.016	8777
160	6.00	2.88	2.01	0.003	14.70	16.26	0.013	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.013	0.008	0.007	0.011	0.016	9669
161	6.00	2.69	1.89	0.003	13.75	15.36	0.013	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.013	0.008	0.007	0.011	0.017	10484
162	6.00	2.55	1.80	0.003	13.01	14.66	0.014	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.014	0.008	0.007	0.011	0.018	11223
163	6.00	2.49	1.76	0.003	12.70	14.37	0.014	0.002	0.001	0.000	0.003	0.0036	0.014	0.008	0.007	0.011	0.018	11566

ANEXO 3. Precisión Horizontal de los Puntos determinados GPS Diferencial, en Modo RTK

N° Punto	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Duración	PDOP	Horizontal Precisión (m)	Vertical Precisión (m)	Precisión Relativa Horizontal ⁻¹	Precisión Relativa Vertical ⁻¹
1	266737.820	8700890.501	70.634	00:00:03	1.44	0.005	0.008	380843	247301
2	266750.857	8700905.655	70.877	00:00:03	1.43	0.007	0.015	269480	129203
3	266763.927	8700920.780	71.154	00:00:03	1.43	0.006	0.012	311429	162485
5	266776.935	8700935.942	71.391	00:00:03	1.43	0.008	0.011	231351	172972
6	266789.938	8700951.142	71.656	00:00:03	1.43	0.007	0.011	261864	166641
7	266802.784	8700966.409	71.905	00:00:03	1.43	0.007	0.010	259330	177971
8	266815.920	8700981.414	72.175	00:00:03	1.43	0.006	0.007	299635	253212
9	266828.963	8700996.609	72.448	00:00:03	1.43	0.005	0.007	356038	265700
10	266841.975	8701011.740	72.713	00:00:03	1.43	0.005	0.006	352539	275421
11	266854.955	8701026.954	72.994	00:00:03	1.43	0.005	0.007	349036	239066
12	266867.833	8701042.179	73.251	00:00:03	1.43	0.004	0.007	431931	246818
13	266880.942	8701057.348	73.495	00:00:03	1.43	0.004	0.008	427584	225044
14	266893.913	8701072.564	73.780	00:00:03	1.43	0.004	0.006	423246	286947
15	266906.960	8701087.727	74.060	00:00:03	1.43	0.004	0.006	418933	288919
16	266919.963	8701102.913	74.397	00:00:03	1.39	0.004	0.006	414631	281106
17	266932.971	8701118.030	74.708	00:00:03	1.39	0.004	0.006	410362	269090
18	266946.035	8701133.232	75.092	00:00:03	1.43	0.004	0.006	406086	275313
19	266959.013	8701148.416	75.526	00:00:03	1.43	0.004	0.006	401835	267890
20	266971.931	8701163.518	75.949	00:00:03	1.43	0.004	0.006	397623	269575
22	266984.905	8701178.650	76.408	00:00:03	1.39	0.004	0.006	393421	271324
23	266997.244	8701193.158	76.909	00:00:03	1.39	0.005	0.007	311529	239637
24	267010.396	8701208.361	77.461	00:00:03	1.38	0.004	0.007	385221	226601
25	267023.370	8701223.669	77.977	00:00:03	1.38	0.004	0.007	381030	234480
27	267036.500	8701238.933	78.481	00:00:03	1.38	0.005	0.008	301493	190819
28	267049.673	8701254.249	78.970	00:00:03	1.38	0.005	0.007	298168	201465
29	267062.640	8701269.460	79.501	00:00:03	1.38	0.004	0.007	368607	207666
30	267075.668	8701284.626	80.015	00:00:03	1.37	0.004	0.006	364537	227836
31	267088.717	8701299.835	80.536	00:00:03	1.37	0.006	0.006	240319	232567
32	267101.722	8701314.866	81.037	00:00:03	1.35	0.006	0.008	237659	182815
33	267114.673	8701329.965	81.552	00:00:03	1.37	0.007	0.008	201433	174078
34	267127.676	8701345.224	82.097	00:00:03	1.43	0.006	0.007	232342	199150
35	267140.699	8701360.350	82.629	00:00:03	1.62	0.005	0.007	275662	202692
36	267153.645	8701375.662	83.153	00:00:03	1.39	0.007	0.008	194642	164156
37	267166.703	8701390.843	83.637	00:00:03	1.41	0.006	0.010	224486	133358
38	267179.732	8701406.069	84.154	00:00:03	1.39	0.007	0.009	190202	154816
39	267193.272	8701421.906	84.715	00:00:03	1.39	0.008	0.010	164428	130240
40	267206.338	8701437.023	85.227	00:00:03	1.44	0.005	0.008	260057	168868
41	267219.141	8701452.195	85.744	00:00:03	1.44	0.005	0.007	257044	173678
42	267232.225	8701467.295	86.232	00:00:03	1.44	0.005	0.008	254073	156835
43	267245.272	8701482.391	86.734	00:00:03	1.44	0.006	0.010	209276	129449
44	267258.176	8701497.596	87.247	00:00:03	1.44	0.005	0.008	248196	153207
45	267270.914	8701512.718	87.776	00:00:03	1.36	0.006	0.009	204421	139378
46	267283.865	8701527.879	88.297	00:00:03	1.36	0.007	0.012	173171	105408
47	267296.752	8701542.865	88.845	00:00:03	1.47	0.008	0.014	149774	83208
48	267309.684	8701557.933	89.368	00:00:03	1.71	0.009	0.016	131587	75432
49	267322.515	8701573.028	89.870	00:00:03	1.57	0.008	0.015	146313	77007
51	267335.536	8701587.813	90.388	00:00:03	1.58	0.008	0.015	144654	77666

N° Punto	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Duración	PDOP	Horizontal Precisión (m)	Vertical Precisión (m)	Precisión Relativa Horizontal ⁻¹	Precisión Relativa Vertical ⁻¹
52	267348.414	8701602.853	90.894	00:00:03	1.58	0.009	0.015	127097	74763
53	267361.344	8701618.158	91.398	00:00:03	1.58	0.007	0.013	161492	84361
54	267374.309	8701633.244	91.902	00:00:03	1.58	0.007	0.011	159634	98021
55	267387.201	8701648.265	92.401	00:00:03	1.58	0.006	0.012	184115	92057
60	267801.295	8702485.705	118.242	00:00:03	1.48	0.005	0.007	130012	89049
61	267797.111	8702494.802	118.514	00:00:03	1.54	0.005	0.009	128543	73036
62	267792.765	8702503.809	118.760	00:00:03	1.54	0.007	0.011	90761	56726
63	267788.261	8702512.729	119.006	00:00:03	1.54	0.004	0.008	156974	79481
64	267783.524	8702521.531	119.251	00:00:03	1.49	0.006	0.011	103393	56396
65	267778.448	8702530.137	119.518	00:00:03	1.53	0.008	0.013	76580	46766
66	267773.243	8702538.670	119.778	00:00:03	1.53	0.005	0.008	120978	79591
67	267767.825	8702547.077	120.031	00:00:03	1.53	0.006	0.011	99507	56861
68	267762.136	8702555.289	120.273	00:00:03	1.53	0.007	0.014	84152	42379
69	267756.276	8702563.393	120.533	00:00:03	1.53	0.004	0.007	145254	83002
70	267750.134	8702571.277	120.795	00:00:03	1.58	0.006	0.011	95471	50692
71	267743.868	8702579.059	121.043	00:00:03	1.64	0.004	0.010	141150	57612
72	267737.531	8702586.791	121.297	00:00:03	1.49	0.004	0.008	139095	67034
73	267730.917	8702594.275	121.559	00:00:03	1.53	0.004	0.007	137003	75070
74	267724.149	8702601.635	121.815	00:00:03	1.61	0.005	0.008	107917	65010
75	267717.084	8702608.708	122.063	00:00:03	1.50	0.004	0.006	132748	82968
76	267710.008	8702615.762	122.324	00:00:03	1.50	0.004	0.010	130611	54421
77	267702.737	8702622.615	122.578	00:00:03	1.52	0.004	0.007	128451	79047
78	267695.269	8702629.251	122.835	00:00:03	1.50	0.005	0.008	101013	60851
79	267687.554	8702635.599	123.102	00:00:03	1.50	0.005	0.011	99238	47256
80	267679.744	8702641.830	123.397	00:00:03	1.50	0.009	0.015	54143	32486
81	267671.811	8702647.907	123.734	00:00:03	1.62	0.006	0.010	79724	50352
82	267663.760	8702653.814	124.063	00:00:03	1.54	0.004	0.007	117337	63425
83	267655.528	8702659.488	124.383	00:00:03	1.50	0.008	0.011	57532	40373
84	267647.094	8702664.829	124.760	00:00:03	1.51	0.005	0.008	90211	53697
85	267638.586	8702670.083	125.151	00:00:03	1.51	0.004	0.007	110458	64034
86	267629.961	8702675.118	125.524	00:00:03	1.55	0.006	0.009	72093	47534
87	267621.219	8702679.970	125.914	00:00:03	1.55	0.005	0.008	84645	52903
88	267612.352	8702684.587	126.319	00:00:03	1.55	0.005	0.008	82765	50467
89	267603.370	8702688.945	126.771	00:00:03	1.55	0.007	0.009	57768	44437
90	267594.266	8702693.063	127.254	00:00:03	1.55	0.006	0.008	65809	48747
91	267585.086	8702697.009	127.738	00:00:03	1.56	0.006	0.009	64217	44288
92	267585.093	8702697.004	127.741	00:00:03	1.56	0.004	0.007	96327	57509
93	267575.827	8702700.720	128.238	00:00:03	1.56	0.005	0.009	75143	40839
94	267566.428	8702704.124	128.746	00:00:03	1.56	0.005	0.009	73208	40671
95	267557.002	8702707.439	129.270	00:00:03	1.56	0.004	0.007	89090	50191
96	267547.456	8702710.378	129.782	00:00:03	1.56	0.004	0.008	86652	42269
97	267537.850	8702713.078	130.307	00:00:03	1.57	0.004	0.007	84207	49533
98	267518.459	8702717.860	131.374	00:00:03	1.57	0.005	0.007	63432	44050
99	267508.700	8702719.996	131.921	00:00:03	1.57	0.005	0.008	61458	40433
101	267503.928	8702727.888	132.269	00:00:03	1.58	0.005	0.008	60436	38741
102	267498.857	8702721.633	132.446	00:00:03	1.58	0.005	0.008	59475	39650
103	267489.007	8702723.270	132.974	00:00:03	1.58	0.005	0.007	57491	41065
104	267479.106	8702724.589	133.504	00:00:03	1.58	0.004	0.007	69375	38014
105	267469.176	8702725.662	134.016	00:00:03	1.58	0.004	0.009	66883	30751
106	267459.219	8702726.476	134.538	00:00:03	1.58	0.004	0.007	64388	37875
107	267449.248	8702727.055	135.069	00:00:03	1.59	0.004	0.007	61891	36950
108	267439.268	8702727.409	135.620	00:00:03	1.59	0.005	0.008	47515	28973

N° Punto	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Duración	PDOP	Horizontal Precisión (m)	Vertical Precisión (m)	Precisión Relativa Horizontal ⁻¹	Precisión Relativa Vertical ⁻¹
109	267429.286	8702727.449	136.161	00:00:03	1.59	0.004	0.008	56901	29559
110	267419.302	8702727.225	136.704	00:00:03	1.62	0.004	0.007	54410	31542
111	267409.319	8702726.842	137.245	00:00:03	1.59	0.004	0.007	51921	30998
112	267399.356	8702726.236	137.785	00:00:03	1.59	0.003	0.007	65923	29084
113	267389.383	8702725.566	138.302	00:00:03	1.59	0.004	0.008	46963	25047
114	267379.456	8702724.431	138.815	00:00:03	1.59	0.003	0.007	59342	26571
115	267369.550	8702723.202	139.330	00:00:03	1.60	0.005	0.008	33649	20271
116	267359.658	8702721.784	139.833	00:00:03	1.60	0.004	0.008	39631	19571
117	267349.813	8702720.072	140.326	00:00:03	1.60	0.004	0.008	37229	17942
118	267340.008	8702718.163	140.851	00:00:03	1.60	0.004	0.008	34858	18591
119	267330.236	8702716.100	141.394	00:00:03	1.60	0.004	0.007	32520	19415
121	267320.444	8702714.163	141.932	00:00:03	1.61	0.004	0.008	30196	15893
122	267310.678	8702712.072	142.406	00:00:03	1.61	0.003	0.007	37223	15297
123	267300.932	8702709.850	142.898	00:00:03	1.61	0.004	0.008	25692	13009
124	267291.166	8702707.739	143.376	00:00:03	1.61	0.003	0.007	31346	13829
125	267281.386	8702705.746	143.876	00:00:03	1.61	0.004	0.008	21381	11403
126	267271.656	8702703.484	144.379	00:00:03	1.61	0.004	0.007	19381	11401
127	267261.840	8702701.619	144.873	00:00:03	1.61	0.004	0.009	17440	8207
128	267252.025	8702699.786	145.375	00:00:03	1.62	0.003	0.007	20870	9207
129	267242.180	8702698.092	145.908	00:00:03	1.62	0.004	0.008	14054	7495
130	267232.312	8702696.577	146.405	00:00:03	1.62	0.004	0.009	12707	5776
131	267222.426	8702695.189	146.953	00:00:03	1.62	0.004	0.007	11712	6417
132	267212.510	8702693.999	147.489	00:00:03	1.62	0.005	0.009	8916	5124
133	267202.581	8702692.930	148.044	00:00:03	1.62	0.004	0.009	11094	5160
134	267192.633	8702692.031	148.538	00:00:03	1.62	0.004	0.008	11552	6080
135	267182.674	8702691.275	149.028	00:00:03	1.62	0.004	0.008	12469	6314
136	267172.698	8702690.767	149.511	00:00:03	1.63	0.004	0.007	13734	7525
137	267162.727	8702690.290	149.997	00:00:03	1.63	0.004	0.008	15298	8051
138	267152.725	8702690.077	150.488	00:00:03	1.63	0.004	0.009	17044	8020
139	267132.747	8702690.168	151.459	00:00:03	1.63	0.004	0.009	20921	9619
140	267122.752	8702690.392	151.946	00:00:03	1.63	0.004	0.009	23000	10110
141	267112.778	8702690.838	152.422	00:00:03	1.63	0.004	0.009	25126	11686
142	267102.804	8702691.451	152.839	00:00:03	1.63	0.004	0.008	27296	14180
143	267092.834	8702692.178	153.261	00:00:03	1.63	0.004	0.009	29507	13262
145	267082.881	8702693.023	153.679	00:00:03	1.64	0.004	0.009	31746	14939
146	267072.956	8702694.164	154.108	00:00:03	1.64	0.004	0.008	33991	17658
147	267072.955	8702694.158	154.108	00:00:03	1.64	0.004	0.007	33992	18884
148	267063.035	8702695.435	154.536	00:00:03	1.64	0.004	0.008	36259	19083
149	267053.163	8702696.939	154.963	00:00:03	1.64	0.004	0.007	38528	21706
150	267043.317	8702698.592	155.398	00:00:03	1.64	0.003	0.008	54412	21765
151	267033.456	8702700.271	155.812	00:00:03	1.64	0.003	0.007	57487	24637
152	267023.683	8702702.348	156.234	00:00:03	1.64	0.004	0.010	45402	18532
153	267013.931	8702704.519	156.673	00:00:03	1.64	0.004	0.008	47700	25106
154	267004.201	8702706.772	157.092	00:00:03	1.64	0.004	0.009	50010	23534
155	266998.339	8702697.471	157.343	00:00:03	1.65	0.004	0.010	51854	20951
157	266994.486	8702709.102	157.523	00:00:03	1.65	0.004	0.009	52329	24626
158	266984.822	8702711.635	157.952	00:00:03	1.65	0.004	0.008	54646	26657
159	266965.642	8702717.262	158.765	00:00:03	1.65	0.004	0.007	59276	32480
160	266946.558	8702723.192	159.650	00:00:03	1.65	0.004	0.008	63932	31571
161	266927.515	8702729.307	160.503	00:00:03	1.65	0.004	0.009	68625	32294
162	266908.538	8702735.540	161.375	00:00:03	1.65	0.004	0.008	73341	36670
163	266899.036	8702738.653	161.780	00:00:03	1.65	0.004	0.007	75716	41488

Anexo 4. Diferencia altimétrica

A4.1 Diferencia altimétrica de Coordenadas

A continuación se muestran los resultados del análisis estadístico para la diferencia Vertical (ΔZ), de las coordenadas obtenidas con la Estación Total y con el GPS Diferencial en Modo RTK.

PARAMETROS ESTADISTICOS

Media aritmética: $\bar{x} = -0.030$ m

Varianza maestra: $s^2 = 0.0007$ m²

Desviación estándar maestra: $s = 0.026$ m



Figura N°A.5.- Grafico de control para ΔZ

Cuadro N°A.1.- Datos Para la elaboración de la Tabla de Frecuencias.

Datos Para tabla de frecuencias	
Valor Max.=	0.010
Valor Min.=	-0.102
Rango=	0.111
Numero de Puntos=	145
Intervalo=	0.011
amplitud=	10
Límite Inf=	-0.101
Diferencia=	0.001

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°A.2.- Tabla de Frecuencias para ΔZ .

N°	Intervalo			fi	Fi	hi	Hi
	Limite Inf.	Limite Sup.	Marca de Clase				
	1	-0.101	-0.090				
2	-0.089	-0.078	-0.083	6	10	4.14%	6.90%
3	-0.077	-0.066	-0.071	3	13	2.07%	8.97%
4	-0.065	-0.054	-0.059	12	25	8.28%	17.24%
5	-0.053	-0.042	-0.047	21	46	14.48%	31.72%
6	-0.041	-0.030	-0.035	10	56	6.90%	38.62%
7	-0.029	-0.018	-0.023	29	85	20.00%	58.62%
8	-0.017	-0.006	-0.011	36	121	24.83%	83.45%
9	-0.005	0.006	0.001	22	143	15.17%	98.62%
10	0.007	0.018	0.013	2	145	1.38%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

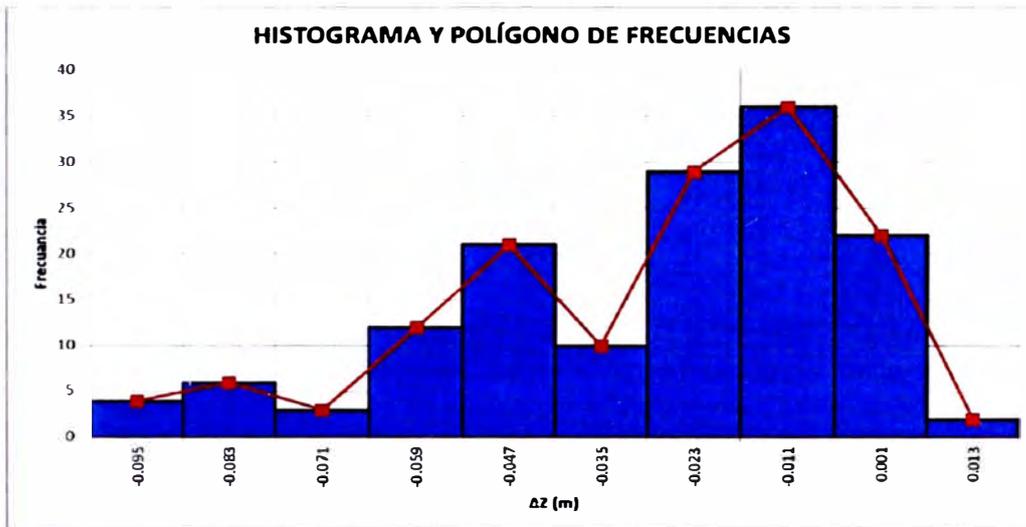


Figura N°A.6.- Histograma y Polígono de frecuencias para ΔH

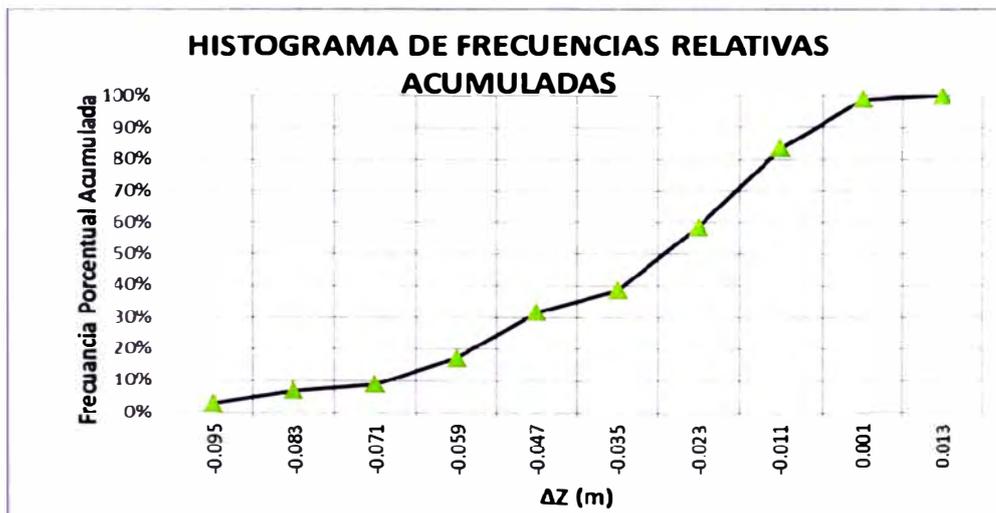


Figura N°A.7.- Histograma de Frecuencias Relativas acumuladas para ΔZ

A4.1 Comparación de las altitudes de la Poligonal Topográfica.

Las altitudes de la poligonal topográfica fueron determinadas por medio de la nivelación Geométrica. Así mismo se determinó las coordenadas de la poligonal topográfica empleando el GPS Diferencial en Modo Cinemático, a continuación se muestra los resultados.

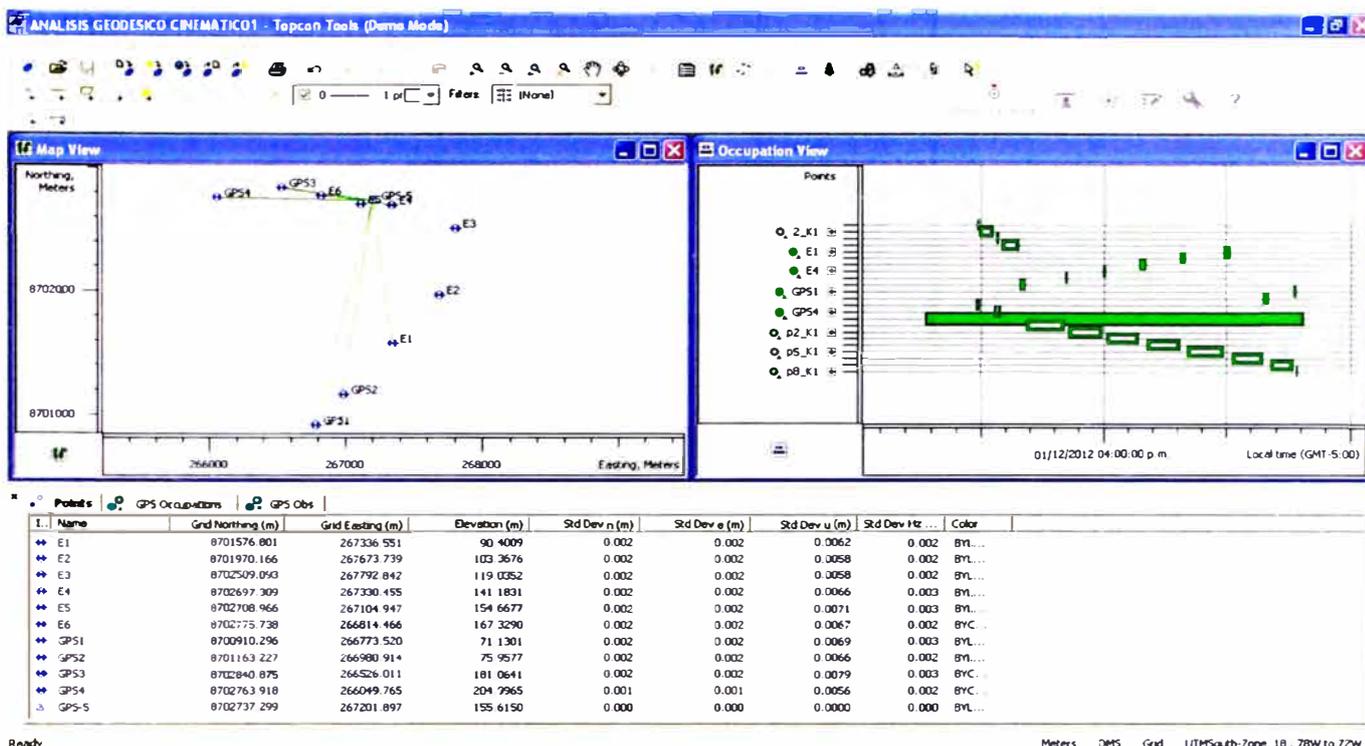


Figura N°A.8.- Ventana de trabajo del software de post proceso Topcon Tools. V7.5

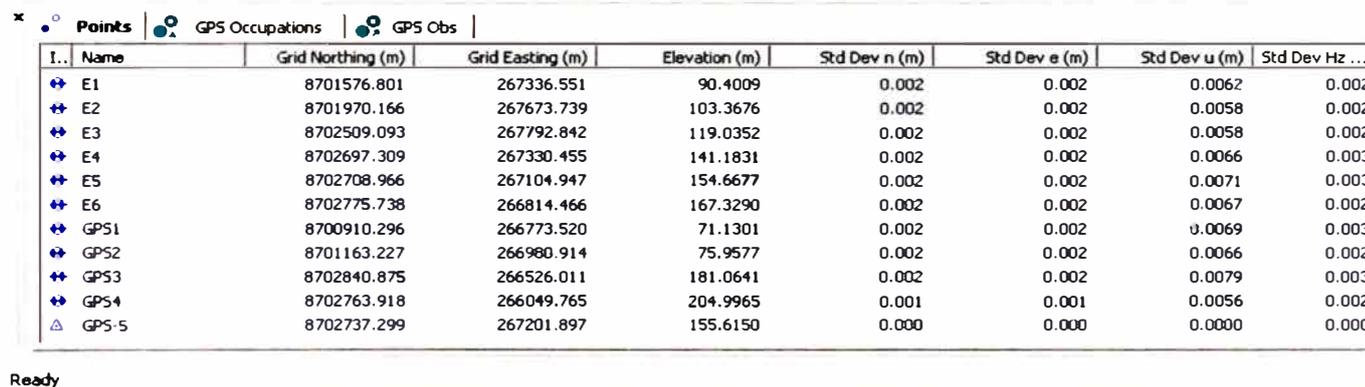


Figura N°A.9.- Coordenadas y precisiones

En la figura anterior se observan las coordenadas, así como las precisiones de los puntos de la poligonal topográfica las cuales fueron determinadas empleando el GPS Diferencial en Modo Cinemático.

Cuadro N°A.3.- Cuadro comparativo de altitudes de para la Poligonal Topográfica.

Cotas de Poligonal Topográfica			
Nombre	GPS- Modo Ónemático	Nivelación Geométrica	Diferencia
	Elevación (m)	Elevación (m)	
E1	90.401	90.373	0.028
E2	103.368	103.346	0.022
E3	119.035	119.016	0.019
E4	141.183	141.179	0.004
E5	154.668	154.667	0.001
E6	167.329	167.345	-0.016
GPS1	71.130	71.106	0.024
GPS2	75.958	75.930	0.028
GPS3	181.064	181.083	-0.019
GPS4	204.997	205.034	-0.037
GPS5	155.615	155.615	0.000
Promedio (m)=			0.005
Desviación estándar (m)=			0.022

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se ha realizado la comparación de las coordenadas obteniéndose un promedio de 0.5 cm, y una desviación estándar de 2.2cm para las diferencias de altitudes.

Anexo 5. Tolerancias en la Ubicación de Puntos

Cuadro N°A.3.- Tolerancias para trabajos de levantamientos topográficos

Fase de trabajo	Tolerancias		Distancias entre hitos
	Horizontal	Vertical	
Georeferenciación	1:100 000	$e = 5\sqrt{K} *$	40 Km.
Puntos de control (Polígonos o triángulos)	1:10 000	$e = 12\sqrt{K} *$	0.5 Km.
Puntos del eje, (PC), (PT), puntos en curva y referencias	1:5 000	± 10 mm.	-.-
Otros puntos del eje	± 50 mm.	± 10 mm.	-.-
Alcantarillas, cunetas y estructuras menores	± 50 mm.	± 20 mm.	-.-
Muros de contención	± 20 mm.	± 10 mm.	-.-
Límites para roce y limpieza	± 500 mm.	--	-.-
Estacas de subrasante	± 50 mm.	± 10 mm.	-.-
Estacas de rasante	± 50 mm.	± 10 mm.	-.-
Estacas de talud	± 50 mm.	± 100 mm.	-.-

* e = Error relativo en milímetros

K = Distancia en kilómetros

Fuente: M.T.C

Anexo 6. Términos de referencia del Estudio Comparativo

1. Datum de Referencia

El Datum de referencia a utilizar es el WGS 84.

2. Proyección Cartográfica

Toda la cartografía se efectuara usando la Proyección Cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM).

3. Control Planimétrico

El control planimétrico, se efectuará mediante una red apoyo enlazada a estaciones posicionadas mediante sistema GPS Diferencial (doble frecuencia). Para el posicionamiento de los puntos geodésicos se utilizara equipo GPS Diferencial (doble frecuencia), para el procesamiento de la información registrada se utilizara el software de post-procesamiento apropiado según el equipo utilizado.

El periodo de grabación de datos realizados por la PC's de los GPS, será de 5 segundos.

El error de precisión del equipo debe ser como máximo de 10 mm +1ppm.

Para el establecimiento de la red de apoyo, se establecerá una base medida y otra calculada, la medición de los ángulos se efectuara con estación total, los ángulos serán leídos por el método de reiteración. Los cálculos de la red de apoyo se efectuarán por los métodos matemáticos convencionales.

4. Monumentación de Puntos Geodésicos y Vértices de la Red de Apoyo

- Se monumentara 4 hitos de concreto para los puntos de control Geodésico,
- Los vértices de la poligonal topográfica serán monumentados con hitos de concreto.

5. Control Altimétrico

Para determinar las cotas de los vértices de la red de apoyo se utilizara una nivelación geométrica de segundo orden, estableciéndose BMs cada 500

metros, se usara el método de estaciones dobles compuesta, con máximo error de cierre determinado por la fórmula:

$$E = \pm 8\text{mm}\sqrt{K}$$

Donde:

E = Error máximo tolerable

K = Distancia en kilómetros

6. Relleno Topográfico

Con el fin de obtener puntos de rellenos que nos permitan ser levantados con la estación total y con el GPS Diferencial, se levantarán 2 kilómetros de borde de la berma, se marcará puntos cada 20 metros en tramo de tangente y cada 10 metros en tramo de curva.

7. Levantamiento Topográfico con GPS Diferencial

El levantamiento topográfico con GPS Diferencial estará compuesta por una cuadrilla de entre 2 receptores GPS, con los cuales se realizara los trabajos de georeferenciación y el levantamiento en RTK, a la vez, esto permitirá iniciar las actividades de levantamiento de puntos de relleno sin necesidad de contar con los puntos de apoyo de la poligonal topografía.

6. Hitos de Concreto

- Los Hitos serán de concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ vaciado en forma de tronco de pirámide de 0.30 metros de altura y con base cuadrada de 0.20x0.20 m, sobresaliendo un centímetro del suelo, llevan incrustado un perno de 3/8" de diámetro del que se visualizara solamente su cabeza que será pintada de color rojo.
- Los Hitos deben garantizar su permanencia, ya que son de importancia por ser bases o referencias de las distintas actividades del levantamiento topográfico.

- El costo por Hito es de 10.24 soles presentando el siguiente análisis de costo unitario.

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Partida 01.01 HITO DE CONCRETOS f_c=175 kg/cm²						
Rendimiento	u/DIA	12.0000	EQ: 12.0000	Costo unitario directo por : u	10.24	
Mano de Obra						
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.6667	13.79	9.19
Materiales						
0205000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.0070	46.07	0.32
0205010004	ARENA GRUESA	m3		0.0070	35.00	0.25
0221000001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bls		0.0130	14.41	0.19
0239050000	AGUA	m3		0.0030	1.83	0.01
Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	9.19	0.28
						0.77
						0.28

ANEXO 8. Especificaciones Técnicas de Equipos Utilizados

1) Nivel Automático Topcon Modelo AT-G6

Especificaciones Técnicas:					
Referencias	AT-G1	AT-G2/2A	AT-G3	AT-G4	AT-G6
Telescopio					
Longitud (pulgadas/mm)	*9/229	*9/229	*9/230	*7.7/192	*7.7/193
Imagen	Recta				
Magnificación	32x	32x	30x	26x	24x
Objetivo Del Lente (Pulgadas/mm)	*1.8/45	*1.8/45	*1.6/40	*1.2/30	*1.2/30
Luminosidad relativa	*1.98	*1.98	*1.78	*1.33	*1.56
Campo de visión	1°20'	1°20'	1°30'	1°30'	1°30'
Poder de Resolución	2.5"	2.5"	3.0"	3.5"	4.0"
Enfoque Mínimo (Pies/mts)	*3.2/1.0	*3.2/1.0	*1.6/0.5	*1.6/0.5	*1.6/0.5
Factor de adición	0				
Factor de multiplicación	100				
Nivel circular					
Sensibilidad (/2mm)	8'				
NIVELACION AUTOMATICA					
Precisión de ajuste	±0.3"				
Gama de Compensación	±15'				
PRECISION 1km DOBLE NIVEL DE EJECUCION					
w/o micrómetro óptico (pulgadas./mm)	±0.03/±0.7	±0.03/±0.7	±0.06/±1.5	±0.08/±2.0	±0.08/±2.0
con micrómetro óptico	±0.02/±0.4	±0.02/±0.4	±0.04/±0.10	N/A	N/A
HORIZONTAL CIRCLE					
Diámetro (pulgadas./mm)	*3.5/90	*4.7/117	*4.7/117	*4.7/117	*4.7/117
División mínima	10' (0.1g)	1° (1g)	1° (1g)	1° (1g)	1° (1g)
Peso					
Instrumento (lbs./kgs.)	*4.6/2.1	*4.1/1.8	*4.1/1.8	*3.5/1.6	*3.5/1.6
Caja de transporte plástica (lbs./kgs.)	*2.9/1.3	*2.9/1.3	*2.9/1.3	*2.9/1.3	*2.9/1.3

2) Estación Total Modelo GPT 7503

Especificaciones Técnicas:				
		GPT 7501	GPT 7503	GPT 7505
Telescopio				
Aumentos		30 x		
Distancia Mínima de Enfoque		1.3 m		
Medición de distancia				
Rango de Medición	1 Prisma	3000 m		
	3 Prismas	4000 m		
	9 Prismas	5000 m		
	Miniprisma	1000 m		
	Sin Prisma	2000 m		
Precisión	Sin Prisma	10 mm + 10 ppm		
	1 Prisma	2 mm + 2 ppm		
Medición de Ángulos				
Sistema de Lectura		Lectura Absoluta		
Mínima Lectura		0.5 " / 1 "	1 " / 5 "	
Precisión		1 "	3 "	5 "
Compensador				
Ejes		Doble eje		
Rango		± 6 ´		
Unidad Incorpora				
Incorporado		Microsoft Windows CE NET 4.2		
Procesador		Intel PXA 255 400 MHz		
Memoria	RAM	64 MB		
	ROM	2 MB (Flash ROM) + 128 MB (Tarjeta SD)		
Pantalla	Unidades	2 unidades		1 unidad
		320 x 240 (QVGA)		
	Tamaño	Color LCD TFT		
Interfase				
Sistema de Tarjetas		Tarjeta Compact		
Puertos		RS232C - 2 USB Mini		
Especificaciones Físicas				
Teclado		Alfanumérico		
Peso		6.6 Kg		
Temperatura de Operación		20 ° C a + 50 ° C		
Protección Contra Agua y Polvo		IP 54		
Energía				
Medición de ángulos y distancias		6 horas		
Medición de ángulos solamente		12 horas		
Recarga		5 horas		