



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRÁFICA Y**

**AGRIMENSURA**



**PRECISIÓN EN ALTITUD DEL GPS DIFERENCIAL GR-5 EN  
MODO ESTÁTICO FIJO, RTK Y CINEMÁTICO EN  
CONTRASTACIÓN CON UN NIVEL ELECTRÓNICO EN UNA  
RED DE NIVELACIÓN**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**AMILCAR MARCO QUISPE LLANOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

A Dios, Por, darme la oportunidad de vivir y estar en cada paso que avanzo en mi vida profesional, por permitirme amar a mis padres, fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

A mis Padres, Antonio Quispe Flores y Basilia Francisca Llanos Chambilla, por ser el pilar fundamental en mi educación, por su apoyo incondicional durante todo este tiempo y porque en mi persona se demuestra ese fruto que cultivaron, brindándome motivación constante y sobre todo su amor infinito.



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura nuestra casa de estudios, donde he obtenido conocimientos técnicos, teóricos y donde me ha permitido formarme profesionalmente en ella.

Agradecimiento especial al Ing. Saúl Sardon Flores, quien me motivó y me apoyo a lo largo de la ejecución del presente trabajo, docentes de nuestra gloriosa escuela profesional, quienes nos transmitieron sus experiencias durante nuestra formación.

A mis hermanos, amigos y personas, que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, brindándonos su apoyo moral.

Agradecimiento especial a Lourdes Clorinda Salas Fuentes, por su apoyo incondicional durante el presente trabajo, por enseñarme a sobre salir frente a los obstáculos, por motivarme constantemente, por brindarme su amor y su alegría.



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN** ..... 13

**ABSTRACT**..... 14

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

1.1. Planteamiento del Problema..... 16

1.2. Formulación del Problema ..... 17

1.3. Hipótesis de la Investigación ..... 17

1.3.1. Hipótesis general..... 17

1.3.2. Hipótesis específicas ..... 17

1.4. Justificación del Proyecto..... 18

1.5. Objetivos de la Investigación ..... 19

1.5.1. Objetivo general..... 19

1.5.2. Objetivos específicos ..... 19

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

2.1. Marco Teórico..... 20

2.1.1. Cadena Topográfica ..... 20

2.1.2. Planimetría..... 20

2.1.3. Altimetría..... 21

2.1.4. Sistema de Referencia Vertical..... 22

2.1.5. Nivelación..... 24

2.1.6. Punto de Control..... 25

2.1.7. Tipos de Nivelación ..... 25

2.1.8. Clasificación de la Nivelación ..... 42

2.1.9. Fases del Trabajo de Nivelación ..... 46



2.1.11. Geodesia.....	55
2.1.12. El geoide .....	55
2.1.13. El datum .....	56
2.1.14. Clasificación de puntos geodésicos .....	56
2.2. Marco Conceptual.....	59
2.2.1. Altimetría.....	59
2.2.2. Altitud .....	59
2.2.3. Altura geoidal.....	60
2.2.4. Nivelación.....	60
2.2.5. Precisión .....	60
2.2.6. Tolerancia .....	60
2.2.7. Punto de cambio .....	61
2.2.8. Vista atrás .....	61
2.2.9. Vista adelante .....	61
2.2.10. Red geodésica.....	61
2.2.11. Estacionamiento RTK .....	61
2.2.12. Estacionamiento cinemático.....	62

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Ubicación Geográfica .....	63
3.2. Periodo de Duración.....	63
3.3. Equipos y Materiales Utilizados.....	64
3.3.1. Equipos topográficos.....	64
3.3.2. Materiales .....	64
3.3.3. Herramientas de gabinete .....	64
3.4. Población y muestra del estudio.....	65
3.5. Desarrollo Metodológico.....	65
3.5.1. Metodología de la investigación.....	65
3.6. Procedimiento de la investigación .....	66
3.6.2. Procedimiento del post proceso de puntos de control CRL – 01 y CRL – 02 .....	68
3.6.3. Procedimiento del post proceso en modo estático fijo .....	77
3.6.4. Procedimiento del post proceso en modo cinemático.....	87



3.6.5. Procedimiento de datos por el método Cinemática en Tiempo Real (RTK).	94
3.6.6. Procedimiento de obtención de datos de nivelación con el Nivel Electrónico	95
3.7. Variables	109
3.7.1. Variables independientes	109
3.7.2. Variables dependientes	109
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
4.1 Resultados	110
4.1.1 Tipo de Investigación y Estadística	110
4.1.2 Método estadístico	110
4.1.3 Análisis de las muestras	110
4.1.4 Variables independientes	111
4.1.5 Variables dependientes	111
4.1.6 Análisis Estadístico	111
4.2. Discusiones	124
<b>V. CONCLUSIONES</b>	127
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	129
<b>VII. REFERENCIAS</b>	130
<b>ANEXOS</b>	132

**Área:** Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente

**Tema:** Topografía, Geodesia, Cartografía y Catastro

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 10 de enero de 2020



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Plano Planimétrico .....	21
Figura 2: Plano Altimétrico .....	21
Figura 3: Elevación o Altitud de un Punto .....	25
Figura 4: Nivelación Geométrica Simple desde el Medio .....	27
Figura 5: Nivelación Geométrica Compuesta desde el Medio .....	27
Figura 6: Nivelación Mediante GNSS. ....	34
Figura 7: Toma de Datos con un Receptor Referencia como Base y Rover. ....	35
Figura 8: Sistemas de alturas .....	36
Figura 9: Toma de Datos con el GPS Diferencial y Procesamiento de Datos.....	37
Figura 10: Satélites en Comunes para Ambos Receptores .....	38
Figura 11: Toma de Datos Mediante una Base y un Receptor Móvil.....	40
Figura 12: Toma de Datos Utilizando la Internet .....	41
Figura 13: Placas de Apoyo (Sapos).....	42
Figura 14: Nivelación desde el Medio .....	43
Figura 15: Nivelación desde el Medio con una Separación del 2% del Eje .....	43
Figura 16: Lectura Mínima de la Superficie .....	44
Figura 17: Placas de Apoyo (Sapos).....	45
Figura 18: Nivelación desde el Medio .....	45
Figura 19: Nivelación desde el Medio con una Separación del 4% del Eje .....	45
Figura 20: Lectura Mínima de la Superficie .....	46
Figura 21: Pilar de Concreto .....	47
Figura 22: Detalle del Contenido de Placa para los BMs .....	47
Figura 23: Detalle la Placa en Perfil .....	48
Figura 24: Detalle la Placa Parte Inferior .....	48



Figura 25: Recta por en Medio de Puntos Próximos .....	50
Figura 26: Condiciones del Principio de los Mínimos Cuadrados .....	52
Figura 27: Punto Fijo CRL – 01 y CRL – 02 de Orden “C” .....	67
Figura 28: Obtención de Altitudes de los puntos de control Mediante el GPS GR5.....	68
Figura 29: Software Topcon Tools para Procesamiento de Datos.....	69
Figura 30: Procesamiento de Datos con el Software Topcon Tools.....	70
Figura 31: Comportamiento de Satélites en la Toma de Datos .....	70
Figura 32: Post Proceso de la Información Mediante el GPS Diferencial GR5 .....	71
Figura 33: Reacción de Entre Punto PU02 al CRL – 01 .....	71
Figura 34: Reacción de Entre Punto PU02 al CRL – 02 .....	72
Figura 35: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 02 .....	72
Figura 36: Toma de Datos del Punto CRL – 04 .....	77
Figura 37: Software Topcon Tools para Procesamiento de Datos.....	78
Figura 38: Procesamiento de Datos con el Software Topcon Tools.....	79
Figura 39: Comportamiento de Satélites en la Toma de Datos .....	79
Figura 40: Post Proceso de la Información Mediante el GPS Diferencial GR5 .....	80
Figura 41: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 02 .....	80
Figura 42: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 03 .....	81
Figura 43: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 04 .....	81
Figura 44: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 05 .....	81
Figura 45: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 06 .....	82
Figura 46: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 07 .....	82
Figura 47: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 08 .....	82
Figura 48: Software Topcon Tools para Procesamiento de Datos.....	88
Figura 49: Procesamiento de Datos con el Software Topcon Tools.....	88



Figura 50: Comportamiento de Satélites en la Toma de Datos .....	88
Figura 51: Post Proceso de la Información Mediante el GPS Diferencial GR5 .....	89
Figura 52: GPS Diferencial GR5 Listo para Inicio de Trabajo .....	94
Figura 53: Grabado de Datos del Punto CRL – 02 .....	94
Figura 54: Equipos Topográficos que se Utilizó en Nuestra Red de Nivelación .....	95
Figura 55: Lectura en Vista Atras .....	96
Figura 56: Placa de Apoyo para Puntos de Cambio .....	96
Figura 57: Importación de Puntos en el Civil 3D para la Obtención de Distancias .....	101
Figura 58: Enumeración de Circuitos en la Red de Nivelación.....	103
Figura 59: Ajuste del Circuito I.....	104
Figura 60: Ajuste del Circuito II.....	104
Figura 61: Ajuste del Circuito III .....	105
Figura 62: Ajuste del Circuito IV .....	106
Figura 63: Ajuste del Circuito V.....	107
Figura 64: Diagrama contrastación del Nivel Electrónico y el GPS-Estático Fijo.....	113
Figura 65: Diagrama contrastación del Nivel Electrónico y el GPS-Cinemático.....	116
Figura 66: Diagrama contrastación del Nivel Electrónico y el GPS-RTK.....	119
Figura 67: Diferencia de Tiempo de Altitudes con ambos Equipo Métodos.....	124



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas UTM del punto permanente PU02.....	69
Tabla 2: Coordenadas UTM WGS-84 a partir del punto PU02.....	72
Tabla 3: Factor escala - factor combinado entre los puntos CRL-01, CRL-02 Y PU02	73
Tabla 4: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon .....	74
Tabla 5: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon .....	74
Tabla 6: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon .....	75
Tabla 7: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon .....	75
Tabla 8: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	75
Tabla 9: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	76
Tabla 10: Coordenadas UTM del punto CRL - 01 .....	78
Tabla 11: Coordenadas UTM WGS-84 .....	83
Tabla 12: Factor escala - factor combinado.....	83
Tabla 13: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	84
Tabla 14: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	84
Tabla 15: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	85
Tabla 16: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	85
Tabla 17: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	86
Tabla 18: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	86
Tabla 19: Coordenadas UTM del punto CRL - 01 .....	87
Tabla 20: Coordenadas UTM WGS-84 .....	89
Tabla 21: Factor escala - factor combinado.....	90
Tabla 22: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	91
Tabla 23: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	91
Tabla 24: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	92
Tabla 25: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	92
Tabla 26: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	93



Tabla 27: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon.....	93
Tabla 28: Datos de los puntos CRL – 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07 Y 08.....	95
Tabla 29: Nivelación del circuito I.....	97
Tabla 30: Nivelación del circuito II.....	98
Tabla 31: Nivelación del circuito III.....	99
Tabla 32: Nivelación del circuito IV.....	100
Tabla 33: Nivelación del circuito V.....	101
Tabla 34: Distancias de lados obtenidos mediante el VICIL 3D.....	102
Tabla 35: Altitudes obtenidas con el nivel electrónico.....	108
Tabla 36: Resumen de altitudes geoidales obtenidos con el nivel electrónico y EL GPS Diferencial GR5.....	108
Tabla 37: Pruebas de normalidad.....	112
Tabla 38: Normalidad de calificación con datos obtenidos Shapiro-Wilk.....	112
Tabla 39: Pruebas de muestras independientes.....	113
Tabla 40: Pruebas de normalidad.....	115
Tabla 41: Normalidad de calificación con datos obtenidos Shapiro-Wilk.....	115
Tabla 42: Pruebas de muestras independientes.....	115
Tabla 43: Pruebas de normalidad.....	117
Tabla 44: Normalidad de calificación con datos obtenidos Shapiro-Wilk.....	118
Tabla 45: Pruebas de muestras independientes.....	118
Tabla 46: Resumen de tiempo de obtención de altitudes.....	120
Tabla 47: Prueba de normalidad.....	122
Tabla 48: Prueba Anova de una factor (Tiempo).....	122
Tabla 49: Homogeneidad de muestras.....	123
Tabla 50: Comparaciones de medias.....	123



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

B.M.	: Bench Marck (Marca de Cota Fija).
GNSS	: Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite).
GPS	: Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global).
RTK	: Real Time Kinematic (Navegación Cinética Satelital en Tiempo Real).
L1	: Portadora de frecuencia a 1575,42Mhz está modulada con los códigos
C/A y L2	: Portadora de frecuencia a 1227,60MHz, sólo porta el código P y el mensaje de navegación.
P	: Código preciso o protegido de la señal GPS
ppm	: Partes por Millon.
DATUM	: Sistema de Referencia Geodésico.
UTM	: Universal Transverse Mercator (sistema de coordenadas universal transversal de Mercator).
WGS84	: World Geodetic System (Sistema Geodésico Mundial) 1984.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Precisión en altitud del GPS Diferencial GR-5 en Modo Estático Fijo, RTK y Cinemático en Contrastación con un Nivel Electrónico en una Red de Nivelación” se desarrolló en el Distrito de Puno, específicamente en el CIP – Carolina de la UNA - Puno; teniendo como objetivo principal determinar la precisión del GPS Diferencial GR-5 en modo estático fijo, RTK y Cinemático en contrastación con un Nivel Electrónico en una Red de Nivelación. Para iniciar el presente trabajo de investigación se ha establecido dos puntos geodésicos de control horizontal y vertical con el GPS Diferencial en modo Estático Fijo y denominados CRL – 01 y CRL – 02, debidamente enlazado a la Red de Estaciones Permanentes de Rastreo, ha utilizado la ERP PU02 ubicado en el Distrito de Juliaca. A partir de los datos procesados de los puntos CRL – 01 y CRL – 02, se procedió a densificar puntos en la Red de Nivelación Pre establecida con el GPS Diferencial y el Nivel Electrónico, obteniendo las altitudes de cada uno de los vértices de la Red de Nivelación, así mismo se ha controlado el tiempo para cada método. Con la información obtenida en campo, los datos de altitudes obtenidas se han sometidos a la prueba estadística de t-Student para la comparación de dos grupos de muestra y a la prueba estadística Anova para determinar el tiempo de obtención de altitudes al utilizar ambos equipos. Finalmente, como conclusión general: ambos equipos no tienen una diferencia estadísticamente significativa en la obtención de altitudes, por tanto, ambos equipos son precisos y se encuentran dentro del margen de tolerancia de errores en una Red de Nivelación de Precisión, en lo que se refiere al tiempo se ha determinado que; el GPS Diferencial GR-5 en Modo RTK se obtienen altitudes en menor tiempo.

**Palabras Claves:** GPS Diferencial, nivel electrónico, red de nivelación, mínimos cuadrados.



## ABSTRACT

This research paper entitled "Precision in altitude of the GR-5 Differential GPS in Fixed Static Mode, RTK and Kinematic in Contrastation with an Electronic Level in a Leveling Network" was developed in the District of Puno, specifically in the CIP – Carolina of UNA - Puno; having as its main objective to determine the accuracy of the GPS Differential GR-5 in fixed static mode, RTK and Kinematic in contrast with an Electronic Level in a Leveling Network. To initiate this research work, two geodesic points of horizontal and vertical control have been established with the Differential GPS in Fixed Static mode and called CRL – 01 and CRL – 02, duly linked to the Network of Permanent Tracking Stations, has PU02 ERP located in the Juliaca District. From the processed data of points CRL – 01 and CRL – 02, points were densified in the Pre Leveling Network established with the Differential GPS and the Electronic Level, obtaining the altitudes of each of the vertices of the Leveling Network, the time for each method has also been controlled. With the information obtained in the field, the altitude data obtained have been subjected to the statistical test of t-Student for the comparison of two sample groups and the Anova statistical test to determine the time of obtaining altitudes when using both Equipment. Finally, as a general conclusion: both teams do not have a statistically significant difference in obtaining altitudes, so both teams are accurate and are within the margin of error tolerance in a Leveling Network Accuracy, as far as time is concerned it has been determined that; THE GPS GR-5 Differential in RTK Mode you get altitudes in less time.

**Keywords:** Differential GPS, electronic level, leveling network, least squares.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los trabajos de ingeniería de precisión tienen mayor demanda y por ende se requiere realizar trabajos en menor tiempo, como es el caso del establecimiento de Redes de Nivelación que es uno de los trabajos topográficos que necesariamente requiere precisión, por lo tanto, la presente investigación determinara cuál de los métodos empleara menor tiempo con el GPS Diferencial GR-5 en Modo Estático Fijo, RTK y Cinemático en contrastación y validación con el Nivel Electrónico.

Cabe mencionar que en nuestro país ya se utilizan estos equipos topográficos, por tanto, es necesario evaluar y analizar, cuál de los mencionados equipos topográficos y métodos utilizados son los adecuados para obtener resultados de precisión en menor tiempo, en la presente investigación se detalla el uso del GPS Diferencial GR-5 en modo RTK, el mismo que es ventajoso al obtener altitudes de precisión en menor tiempo y con una precisión permisible.

La presente investigación se realizó en el CIP Carolina de la UNA – PUNO, en donde se estableció una Red de Nivelación de cinco circuitos cerrados, al desarrollar esta Red de Nivelación con Nivel Electrónico, se ha realizado su respectiva compensación por el método de mínimos cuadrados.

Todos los datos obtenidos por los diferentes métodos utilizando el GPS Diferencial y las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico se han sido evaluados mediante la prueba estadística t-Student y la prueba estadística Anova



## 1.1. Planteamiento del Problema

En la actualidad la Ingeniería Topográfica y Agrimensura no está ajeno al avance de la geotecnología, que cada día avanza a pasos agigantados, en tal sentido se muestra el presente trabajo de investigación, ya que hoy en día los diferentes trabajos de ingeniería no se toman en cuenta las bondades y métodos que ofrece cada equipo en un trabajo específico. La forma tradicional para determinar altitudes en diferentes trabajos de ingeniería es a través de una Red de Nivelación, con altitudes fijas o llamados también puntos de control vertical; este proceso requiere precisión, menor tiempo, equipos topográficos de precisión, personal calificado, entre otros; por lo tanto la presente investigación se demuestra que tan preciso son las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial GR-5 por el método Estático Fijo, Cinemático y Cinemática en Tiempo Real (RTK) en contrastación con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación.

En la actualidad a nivel global, nacional y local el control vertical se efectúa en todos los tipos de construcción, por tanto es necesario el uso de normativas y/o especificaciones técnicas que regulen este tipo de trabajos, en nuestro país el Instituto Geográfico Nacional del Perú es la entidad que regula los trabajos de precisión, específicamente los trabajos con GPS Diferencial y trabajos de control vertical; actualmente en los trabajos de construcción los equipos geotecnológicos modernos de topografía ya no son ajenos a nuestro alcance; por lo tanto es necesario conocer las bondades que ofrecen estos equipos entre ellos se tiene la precisión, tiempo de empleo y el método adecuado que nos permita obtener resultados que se encuentren dentro de los márgenes de tolerancia de acuerdo a normativa vigente, y de esta manera garantizar los trabajos de control vertical en los diferentes trabajos de ingeniería.



## **1.2. Formulación del Problema**

¿Influye el uso de los equipos topográficos en los establecimientos de puntos de control de una red de nivelación?; ¿De qué manera influye el uso del GPS GR-5 en modo estático fijo y el nivel electrónico en la obtención de altitudes de una red de nivelación?; ¿De qué manera influye el uso del GPS GR-5 en modo RTK y el nivel electrónico en la obtención de altitudes de una red de nivelación?; ¿De qué manera influye el uso del GPS GR-5 en modo cinemático y el nivel electrónico en la obtención de altitudes de una red de nivelación? y como última pregunta ¿Influye el tiempo en la obtención de altitudes con el GPS GR-5 y el nivel electrónico en una red de nivelación?

## **1.3. Hipótesis de la Investigación**

### **1.3.1. Hipótesis general**

- Existe diferencia en la obtención de altitudes con GPS Diferencial GR-5 en Modo Estático Fijo, (RTK) y Cinemático al contrastar con un Nivel Electrónico en una Red de Nivelación.

### **1.3.2. Hipótesis específicas**

- Existe diferencia en las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Estático Fijo con las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.
- Existe diferencia en las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo RTK frente a las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.



- Existe diferencia en las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Cinemático con las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.
- Existe diferencia en el tiempo de obtención de altitudes por ambos equipos topográficos en una Red de Nivelación de precisión.

#### **1.4. Justificación del Proyecto**

En la actualidad los diferentes proyectos de ingeniería en general no están ajenos a utilizar equipos geotecnológicos, así mismo requieren optimizar costos, tiempo y precisión por lo tanto el presente proyecto de investigación se considera de importancia ya que el propósito es determinar la precisión y el tiempo en la obtención de altitudes del GPS Diferencial GR-5 por diferentes métodos en contrastación con el Nivel Electrónico, de esta manera se justifica que al determinar la precisión y el tiempo en el uso de estos equipos topográficos, específicamente en una Red de Nivelación, se tendrá una precisión confiable al utilizar el tipo de equipo topográfico; de modo que dependerán para la determinación del tiempo y costo en proyectos de ingeniería de gran envergadura, como son los proyectos de catastro, saneamiento, ejecución de obras viales entre otros.

Por lo tanto, es necesario establecer una Red de Nivelación de precisión para diferentes proyectos de ingeniería, y a su vez los profesionales inmersos a la topografía debemos conocer la precisión de los diferentes equipos topográficos que en la actualidad está al alcance de todos en el mundo laboral y poder utilizar los mismo de manera adecuada y correcta, de este modo garantizar la calidad de los trabajos de ingeniería.



## **1.5. Objetivos de la Investigación**

### **1.5.1. Objetivo general**

- Determinar la precisión del GPS diferencial GR-5 en Modo Estático Fijo, RTK y Cinemático en contrastación con un Nivel Electrónico en una Red de Nivelación.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Comparar la precisión de las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Estático Fijo con las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.
- Comparar la precisión de las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Cinemático en Tiempo Real (RTK) con las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.
- Comparar la precisión de las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Cinemático con las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.
- Determinar el tiempo en la obtención de altitudes por cada uno de los equipos topográficos en una Red de Nivelación de precisión.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Marco Teórico

##### 2.1.1. Cadena Topográfica

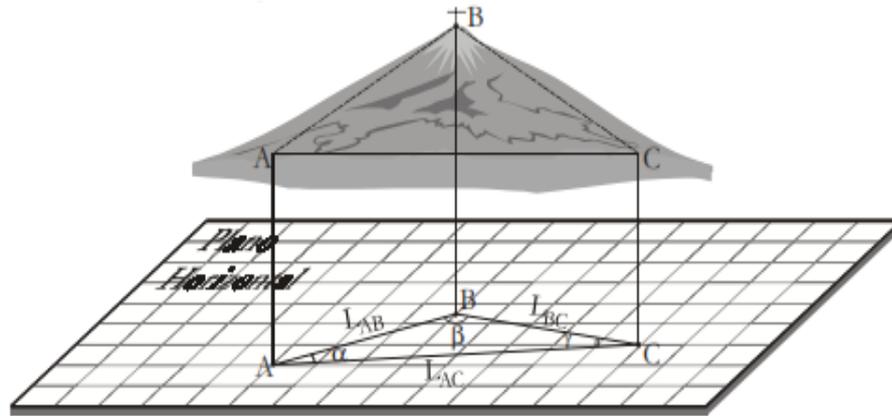
Es una sucesión de elementos auxiliares, como vértices, lados, etc., materializados sobre el terreno y que proyectados sobre un plano los identificaremos como puntos, líneas, etc., elementos de una cadena geométrica o poligonal. (Alcántara, 2007)

La importancia de la topografía, radica en que este interviene en todas las etapas de la ingeniería. (Mendoza, 2011)

##### 2.1.2. Planimetría

Se encarga de representar gráficamente una porción de la tierra, sin tener en cuenta los desniveles o diferentes alturas que pueda tener el mencionado terreno. Para eso es importante proyectar a la horizontal todas las longitudes inclinadas que hayan de intervenir en la determinación del plano. (Mendoza, 2011)

Estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo. Entre los trabajos que realiza la planimetría tenemos: cálculo de superficie, división de terrenos en parcelas, replanteo de líneas viejas o destruidas, construcción de planos de terrenos, etc. (Gámez, 2015)



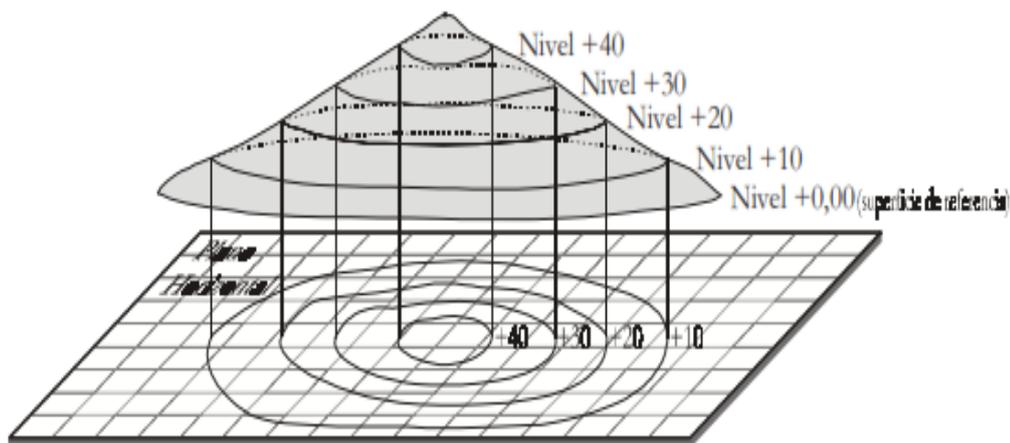
**Figura 1: Plano Planimétrico**

FUNTE: Mendoza, 2011

### 2.1.3. Altimetría

Se encarga de representar gráficamente los diferentes puntos sobre la superficie terrestre, teniendo presente su posición planimétrica y su altitud. (Mendoza, 2011)

Tiene en cuenta la diferencia de nivel existente entre los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia, generalmente corresponde al nivel medio del mar. (Gámez, 2015)



**Figura 2: Plano Altimétrico**

FUENTE: Mendoza, 2011



#### **2.1.4. Sistema de Referencia Vertical**

La superficie topográfica es la superficie real de la Tierra, pero para poder representarla es necesario referirla a algún modelo matemático, de estos modelos se generan las cartas y mapas, desarrollados por la cartografía. Las alturas que usan en la Geodesia se clasifican según su determinación, su aplicación y modelo físico matemático. (Garafulic Caviedes, 2016)

Existen diferentes sistemas para determinar las altitudes. Una de ellas es la superficie del nivel del mar, la cual es empleada como superficie altimétrica de referencia. El nivel medio del mar no es tan fácil de definir ni determinar, y para obtener un nivel correcto se tomarían datos con un mínimo de 18 años de registro. Otra es la cota geopotencial, que sustituye el desnivel por la diferencia de potencial gravimétrico y que no tiene una dimensión de distancia. Se tienen los siguientes sistemas de altitud. (IGN PERU (Instituto Geografico Nacional) 2016)

##### **2.1.4.1. Altitud aproximada**

Se obtienen sin considerar el efecto del campo de gravedad terrestre, y es el inicio de las altitudes en otros sistemas. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

##### **2.1.4.2. Altitud elipsoidal**

Las alturas elipsoidales ( $h$ ) representan la separación entre la superficie topográfica terrestre y el elipsoide. Dicha separación se calcula sobre la línea perpendicular a este último. Las alturas elipsoidales son obtenidas a partir de las coordenadas geocéntricas cartesianas ( $X, Y, Z$ ) definidas sobre un elipsoide de referencia (p. ej. el modelo Geodetic Reference System 1980, GRS80, o el World Geodetic System 1984, WGS84, los cuales, en la práctica, son iguales), y determinadas a partir del posicionamiento satelital de los puntos de interés (Instituto Nacional Geográfico del Perú IGN, 2015)



Representan la separación entre la superficie topográfica terrestre y la superficie del elipsoide, y se mide por la normal al elipsoide designándose con la letra  $h$ . Esta es calculada a partir de coordenadas geocéntricas cartesianas definidas sobre un elipsoide de referencia (Garafulic Caviedes, 2016).

#### **2.1.4.3. Altitud ortométrica**

Se llaman altitudes ortométricas a las distancias desde la superficie del geoide hasta los puntos de la superficie terrestre, medidas a lo largo de las líneas de la plomada que pasan por esos puntos. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

Esta es la altura que existe entre la superficie topográfica y el geoide siendo perpendicular a este último se designa con la letra  $H$ . Las alturas ortométricas se pueden calcular a partir de las elipsoidales (Garafulic Caviedes, 2016)

Requieren una hipótesis sobre la gravedad verdadera entre el terreno y el geoide (dependiente de la densidad y distribución de todas las masas terrestres). Puntos de la misma superficie equipotencial fuera del geoide no tienen altura ortométrica igual. Puntos con altura ortométrica igual (diferente de cero) no forman una superficie equipotencial (el agua corre) (Ticona Kapquequi, 2012).

#### **2.1.4.4. Altitud normal**

Es similar a la altitud ortométrica, con la diferencia de usar como superficie de referencia el cuasi geoide (que no es equipotencial) en vez del geoide, y a la gravedad normal en vez de la gravedad real. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

Los sistemas de altura normales reemplazan la gravedad real media dentro de la topografía por la gravedad normal media entre el elipsoide de referencia, según el artículo científico (Doganalp, 2016)(Odumosu et al, 2018)

Las alturas normales usan una aproximación del geoide, es decir, un elipsoide, como superficie de referencia. La suposición básica es que la tierra tiene un campo de gravedad regular



de modo que el potencial,  $W$ , del geoide es igual al potencial,  $U$ , del campo de gravedad regular. (Doganalp 2016)(Odumosu et al, 2018)

#### **2.1.4.5. Altitud geopotencial**

La altura geopotencial de un punto es la diferencia potencial de la energía potencial del punto y la energía potencial del geoide. Debido a que es una diferencia potencial, este es independiente de la ruta. El número geopotencial se mide típicamente en  $J / kg$  (Joule por kilogramo), en  $m^2 / s^2$  ya que es una medida de aceleración, y su definición es  $cm / s^2$ . Aunque la diferencia potencial no describe una distancia, es un criterio natural para las alturas porque en una superficie con energía potencial constante, los objetos no comienzan a moverse si no se aplica fuerza y, en particular, el agua no fluye. (Doganalp 2016)(Odumosu et al, 2018)

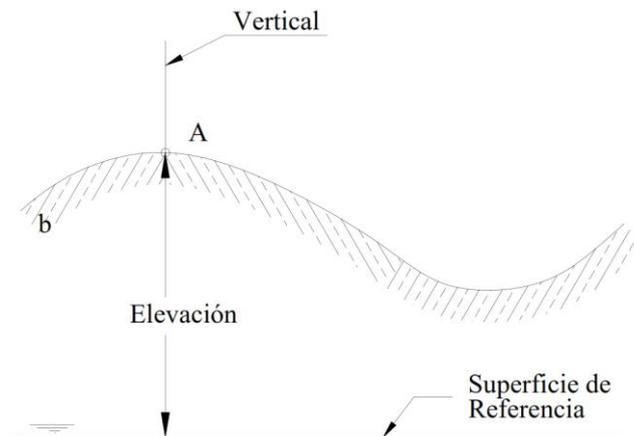
#### **2.1.4.6. Altitud dinámica**

Se obtienen por la diferencia en relación con la gravedad media, dado como un valor fijo sobre una latitud estándar de  $45^\circ$  al nivel del mar, cuyo valor en el elipsoide internacional es de 980,6294 Gales. Las altitudes dinámicas difieren de las cotas geopotenciales sólo en escala y unidad, ya que el empleo de este valor de gravedad únicamente convierte la cota geopotencial en una longitud. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

#### **2.1.5. Nivelación**

La nivelación es el proceso de medición de elevaciones o altitudes de puntos sobre la superficie de la tierra. La elevación o altitud es la distancia vertical medida desde la superficie de referencia hasta el punto considerado. La distancia vertical debe ser medida a lo largo de una línea vertical definida como la línea que sigue la dirección de la gravedad o dirección de la plomada. (Casanova, 2002)

Se da el nombre de Nivelación al conjunto de operaciones por medio de las cuales se determina la altura de una o más puntos del terreno respecto a una superficie horizontal de referencia, dada o imaginaria que se denomina superficie o plano de comparación. (Gámez, 2015)



**Figura 3: Elevación o Altitud de un Punto**

FUENTE: Casanova 2002

### **2.1.6. Punto de Control**

En ocasiones estos puntos sirven de referencia para definir la dirección de un alineamiento. Los puntos topográficos se dividen en dos:

#### **2.1.6.1. Puntos topográficos permanentes**

Son los puntos de referencia fijos, creados antes y al margen del levantamiento topográfico, así tenemos, por ejemplo: los faros, las astas de las plazas, las antenas, etc.

#### **2.1.6.2. Puntos topográficos temporales**

Son puntos creados especialmente para la realización de un proyecto, generalmente estos puntos deben desaparecer finalizado el levantamiento. Estos puntos se marcan con estacas de madera o fierro y se recomienda pintarlas para poder ubicarlas fácilmente, así mismo, estas deben estar referidos a una estructura cercana. (Mendoza, 2017)

### **2.1.7. Tipos de Nivelación**

Se tiene dos tipos de nivelación, la directa y la indirecta.



### 2.1.7.1. Nivelación directa (geométrica)

La nivelación geométrica o por alturas es un método para obtener desniveles entre puntos por medio de las visuales horizontales que proporciona un nivel, instrumento con la propiedad de realizar visuales perfectamente horizontales, con lo que la lectura a dos miras permitirá obtener el desnivel entre sus lugares de posicionamiento. (Priego de los Santos, 2015)

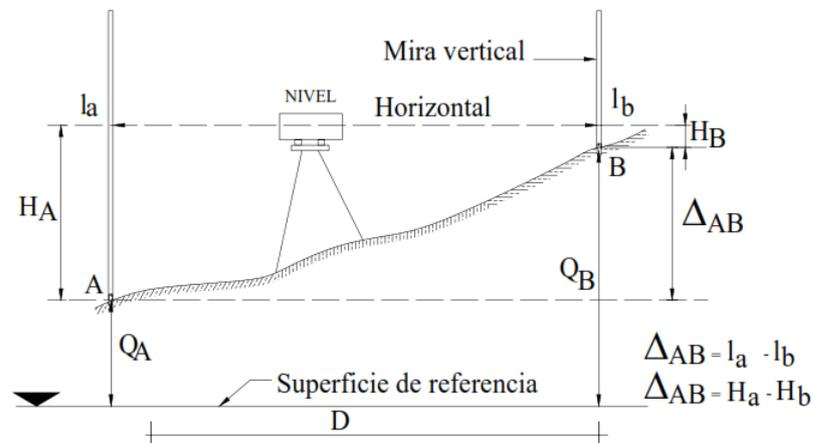
Es aquella en la cual, desde una sola posición del instrumento, se pueden conocer todas las cotas o elevación de los diferentes puntos del terreno que se desean nivelar. Para esto se sitúa y se nivela el instrumento (nivel de ingeniero), en el punto más conveniente, o sea el que ofrezca mejores condiciones de visibilidad. La primera lectura se hace sobre la mira o estadía colocada en el punto estable y fijo que se toma como un BM (Banco de Nivel o de Marca) y a partir del cual se van a nivelar todos los puntos del terreno, este BM puede tener elevación previamente determinada o se le puede signar una elevación arbitraria. (Gámez, 2015)

Este método determina directamente el desnivel entre dos puntos con la obtención del plano horizontal; es el más preciso y el más usado. (Mendoza, 2017)

Para realizar este tipo de nivelación se utilizan los niveles ópticos o digitales, que dirigen visuales horizontales y la precisión de las mediciones efectuadas dependerán, fundamentalmente, de las características del instrumento empleado. Los niveles permiten determinar la distancia y los ángulos horizontales. La nivelación geométrica mide la diferencia de nivel entre dos puntos a partir de la visual horizontal lanzada desde el nivel hacia las miras colocadas en dichos puntos. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

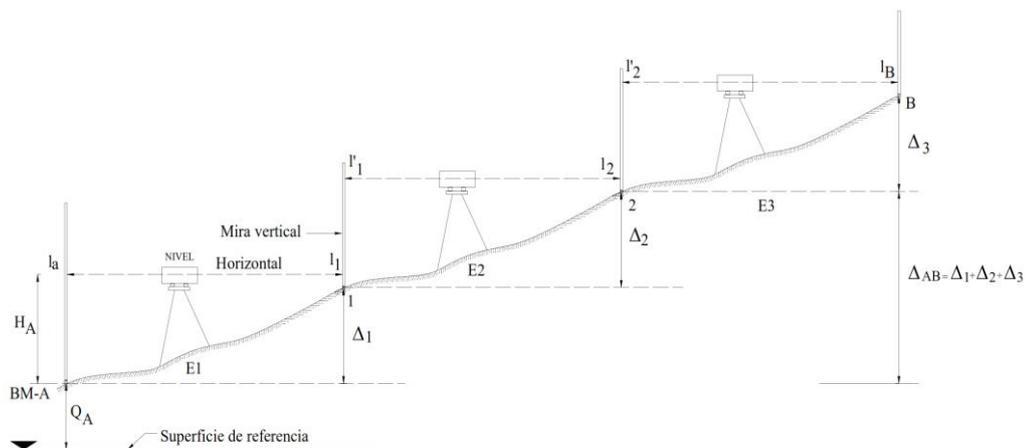
Cuando los puntos a nivelar están dentro de los límites dentro del campo topográfico altimétrico y el desnivel entre dichos puntos se puede estimar con una sola estación, la nivelación recibe el nombre de **nivelación geométrica simple** (figura 4).

Cuando los puntos están separados a una distancia mayor que el límite del campo topográfico, o que el alcance de la visual, es necesario la colocación de estaciones intermedias se les dice que es una **nivelación compuesta** (figura 5). (Casanova, 2002)



**Figura 4: Nivelación Geométrica Simple desde el Medio**

FUENTE: Casanova 2002



**Figura 5: Nivelación Geométrica Compuesta desde el Medio**

FUENTE: Casanova 2002

El procedimiento de nivelación geométrica es bien conocido por los topógrafos, consiste en medir la diferencia de altura entre dos puntos A y B, como los representados en la figura, mediante la observación de la diferencia de lecturas sobre dos miras verticales situadas en los puntos considerados. La diferencia de altura entre los dos puntos



resulta ser entonces, la diferencia de las lecturas  $L_1$  y  $L_2$ , observadas con el nivel (instrumento de nivelación), es decir (Ticona Kapquequi, 2012).

$$\delta H_{AB} = L_1 - L_2 = A\bar{A} - B\bar{B}$$

Siendo  $\delta H_{AB}$  la diferencia de altura geométrica entre los puntos A y B.

### **i Elementos importantes de una nivelación geométrica**

A continuación, se describen los elementos fundamentales de una nivelación geométrica.

- **Puntos de nivel primario (bancos de nivel).** Son los correspondientes a los puntos de control; estas deben estar monumentadas.
- **Puntos de nivel secundario (puntos de cambio).** Son aquellos puntos que sirven de apoyo para poder enlazar dos puntos de control.
- **Vista atrás (+).** Es la lectura de la mira correspondiente al punto de la cota conocida.
- **Vista adelante (-).** Es la lectura de la mira correspondiente al punto de cota no conocida.
- **Nivel instrumental (H.i.).** Es el nivel correspondiente al eje de colimación del instrumento. (Mendoza, 2017)

### **ii Métodos de nivelación geométrica**

#### **Método del punto medio**

El método del punto medio consiste en estacionar el nivel en la mitad de la distancia que separa los dos puntos cuyo desnivel se pretende obtener. El nivel se sitúa



en el punto medio, de tal forma que la distancia a ambos puntos es la misma. (Priego de los Santos, 2015)

La nivelación del punto medio es el método más utilizado, debido a que tiene mayor precisión. En este método se eliminan los errores sistemáticos del nivel, esfericidad terrestre y refracción atmosférica. (Juan de Sanjosé Blasco, 2013)

### **Método del punto extremo**

Se estaciona el nivel en un extremo del tramo de nivelación, esto es en el punto A, y se lee la mira situada en el punto B del otro extremo. Se necesita un buen estacionamiento, y sobre todo que el nivel este perfectamente corregido, porque cualquier error del instrumental se transmite íntegramente al punto leído. (Juan de Sanjosé Blasco, 2013)

Su principal desventaja es que exige el uso de instrumentos corregidos ya que la metodología no anula errores de instrumento. Por otra parte, hay que tener en cuenta la imprecisión que se añade al medir la altura del instrumento. (Priego de los Santos, 2015)

### **Método del punto de estaciones equidistantes**

Los métodos de nivelación anteriores no tienen comprobación, mientras que la técnica de estaciones equidistantes si tiene comprobación. Esta comprobación consiste en repetir la técnica de nivelación geométrica entre los puntos cuyo desnivel se quiere calcular.

La ventaja de este método es que se eliminan los errores instrumentales. El método consiste en estacionar el nivel cercano a la mira o lectura de atrás y posteriormente moviendo el nivel, se coloca a la misma distancia con respecto a la mira de delante y se vuelve a calcular el desnivel. (Juan de Sanjosé Blasco, 2013)



### **iii Tipos de nivelación geométrica**

#### **a. Nivelación geométrica simple**

En las nivelaciones geométricas simples, se considera una posición instrumental, y cuando el desnivel a medir se determina con una única observación. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

Es aquella en la cual desde una sola posición del aparato se pueden conocer las cosas de todos los puntos del terreno que se desea nivelar. Se sitúa y nivela el aparato en el punto más conveniente, o sea el que ofrezca mejores condiciones de visibilidad. La primera lectura se hace sobre la mira colocada en un punto estable y fijo que se toma como BM, y a partir del cual se van a nivelar todos los puntos del terreno. Este BM puede tener cota determinada previamente, o escogida arbitrariamente. (Torres Nieto, 2016)

Se usan para terrenos donde las diferencias no superan los 4 o 5 metros que son las magnitudes a las cuales regularmente se han construido las miras topográficas, ya que desde una sola posición del equipo (nivel topográfico de posición) se realizan todas las lecturas necesarias. (Rincón Villalba, 2017)

#### **b. Nivelación geométrica compuesta**

La nivelación geométrica compuesta será necesario cuando no resulta posible conectar los puntos de los que se desea conocer el desnivel mediante una sola medida debido a la distancia o a la falta de intervisibilidad. Consiste simplemente en concatenar observaciones por el método del punto medio, de ahí el sumatorio de la expresión que permite calcular el desnivel a través de este método: (Priego de los Santos, 2015)

$$\Delta Z_A^B = \sum L_E - \sum L_F$$



Donde:

A, B : Puntos de nivelación.

$L_E, L_F$  : Vista atrás y vista adelante respectivamente al punto A, B.

Esta nivelación es igual a la anterior, con la única variante de que el instrumento se planta más de una vez y por consiguiente la altura del instrumento (HI) va a ser diferente cada vez que se cambie de posición dicho instrumento. (Gámez, 2015)

Es el sistema empleado cuando el terreno es bastante quebrado, o las visuales resultan demasiado largas (>150m).

El aparato no permanece en un mismo sitio si no que va trasladándose a diversos puntos, desde cada uno de los cuales se toman nivelaciones simples, que van ligándose entre sí por medio de los llamados *puntos de cambio*.

El punto de cambio se tiene que escoger de modo que sea estable y de fácil identificación; es un BM de carácter transitorio. (Torres Nieto, 2016)

Es necesario realizar la nivelación y la respectiva contra nivelación para poder verificar que se cumplen las especificaciones requeridas según el tipo de proyecto.

La contra nivelación es el proceso mediante la cual se lleva la nivelación hasta el punto de inicio (es decir inicia la nivelación en un punto de cota conocida BM y termina en ese mismo punto). Cuando se realiza la nivelación y la contra nivelación se denomina un circuito de nivelación.

Para terrenos de gran extensión, se recomienda realizar varios circuitos, es decir, sectorizar en tramos máximo de 2 km y realizar un circuito para cada sector. Lo anterior debido a que se puede verificar, controlar y/o realizar correcciones de manera más sencilla y organizada. (Rincón Villalba, 2017)



En las nivelaciones compuestas o de itinerario altimétrico, se considera más de una posición instrumental por lo que son una repetición de nivelaciones geométricas simples, formando una línea de nivelación, estas se dividen en:

### **a.1 Nivelación geométrica compuesta sencilla**

Es una nivelación en la que se aplica para ir desde un punto a otro punto, en un solo recorrido. Solo se aplica este método conociendo la altitud de los puntos inicial y final. Este método tiene el objetivo de dotar de altitudes a puntos intermedios distribuidos a lo largo de la línea.

### **a.2 Nivelación geométrica compuesta doble**

Se efectúa la nivelación en dos sentidos: una nivelación de ida, concluida la nivelación de ida, se inicia la de retorno. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

## **Errores en la nivelación geométrica**

A continuación, se enumeran los errores en la nivelación según (Tassara, 2001).

- **Des corrección en el instrumento.** Se produce cuando el eje de colimación del anteojo no es paralelo al eje del nivel del aire, permaneciendo la línea de mira siempre inclinada, aunque la burbuja se encuentre centrada. Se elimina corrigiendo en lo posible el instrumento y tomando las distancias entre vista atrás y vista adelante iguales.
- **Cambios de temperatura**
- **Graduación de mira.** Es independiente de la longitud nivelada, generalmente se origina por el desgaste de la parte inferior de la mira. Debe corregirse comparándola con una longitud patrón.



- **Falta de perpendicularidad de la mira**
- **Asentamiento del trípode**
- **Puntos de cambio defectuosos**
- **Desplazamiento de burbuja.** Puede moverse en cualquier momento por ser bastante sensible. Hay que tener cuidado en visuales largas.
- **Dilatación o contracción de la mira.** Producida por los cambios de temperatura y humedad que la alargan o encogen: su error es poco importante. Finalmente, también debe tenerse en cuenta los errores por curvatura terrestre, refracción atmosférica, etc.

A continuación, se enumeran los errores en la nivelación según (Gámez, 2015).

- Falta de perpendicularidad de la mira; esta condición produce lecturas que son muy grandes, para evitar esto, existe un nivel circular llamado ojo de pollo que garantiza la verticalidad de la mira.
- Asentamientos debido a la falta de resistencia del terreno que puede sufrir el trípode o la mira en los puntos de cambio.
- Que el estadal no tenga la longitud correcta.
- La burbuja del nivel de coincidencia no esté centrada al momento de hacer la lectura. Cuanto más larga sea la visual, mayor debe ser el cuidado que debe tenerse para nivelar el instrumento.
- Instrumento o nivel mal ajustado.

### 2.1.7.2. Nivelación indirecta (ordinaria)

En este tipo de nivelación, están las nivelaciones trigonométricas, satelitales y barométricas.

#### i Nivelación satelital GNSS

La nivelación con GNSS presenta una gran incertidumbre en los usuarios, debido a las referencias contradictorias que se pueden encontrar en la bibliografía, y porque la superficie de referencia en altimetría es el Geoide, mientras que para el GNSS es el Elipsoide, y ambas superficies no son paralelas. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

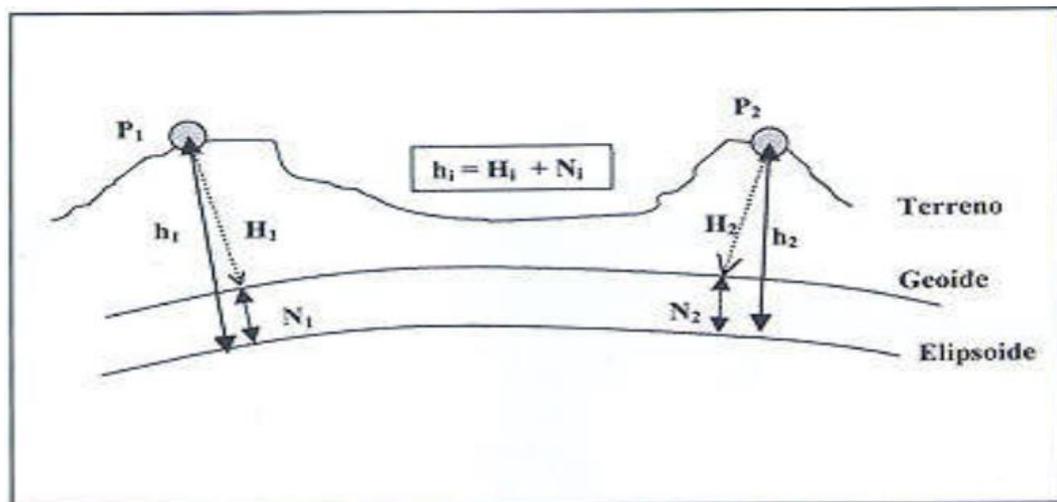
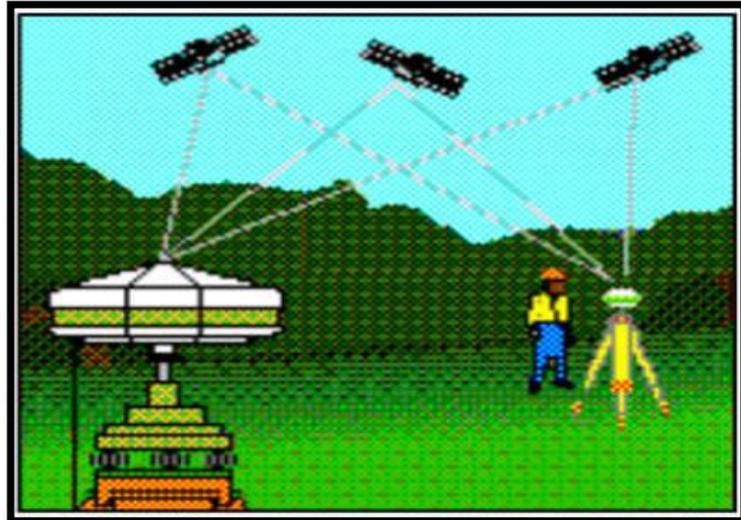


Figura 6: Nivelación Mediante GNSS.

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016



**Figura 7: Toma de Datos con un Receptor Referencia como Base y un Segundo Receptor Móvil como Rover.**

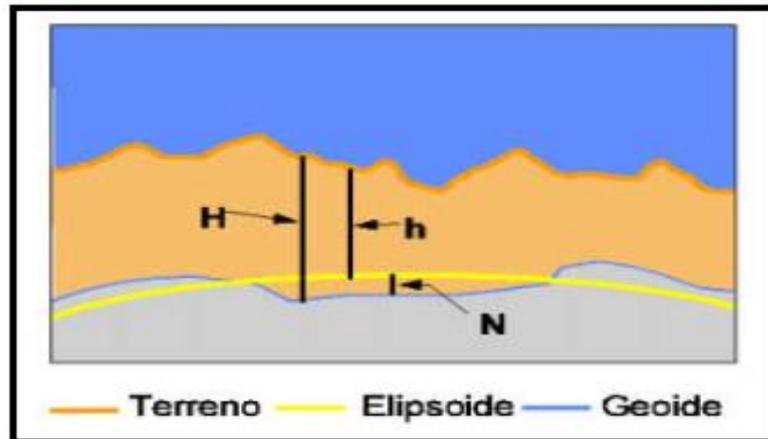
FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016

Existen dos tipos de exactitudes, la absoluta y la diferencial. En cuanto a la exactitud absoluta, utilizando el Servicio Estándar de Posicionamiento (SPS) se pueden obtener exactitudes en el orden de 20 m.

Si se usa el Servicio Preciso de Posicionamiento (PPS), o código P se pueden obtener exactitudes entre 5 y 10 m.

En cuanto a la exactitud diferencial, se pueden obtener exactitudes de hasta  $\pm 0,1-1$  ppm y en proyectos científicos con equipos adecuados y un riguroso control, en todas las etapas del trabajo se pueden lograr exactitudes de  $\pm 0,01$  m  $\pm 0,1$  ppm. (Casanova, 2002)

Los datos GNSS se pueden procesar con la facilidad para obtener la altura elipsoidal “h”. Esta es la altura sobre o bajo un modelo elipsoidal sencillo de la Tierra. La nivelación satelital produce una supuesta altura ortométrica “H”. Para la transformación entre estos sistemas de alturas, se requiere la altura geoidal N, que la obtenemos de un Modelo Geoidal Mundial. Así:



**Figura 8: Sistemas de alturas**

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016

Estos sistemas de alturas se relacionan entre sí por medio de la sencilla ecuación:

$$h = H + N$$

Donde:

h = altura elipsoidal

N = altura geoidal

H = altura ortométrica

El error máximo o tolerancia (T) no debe exceder de:

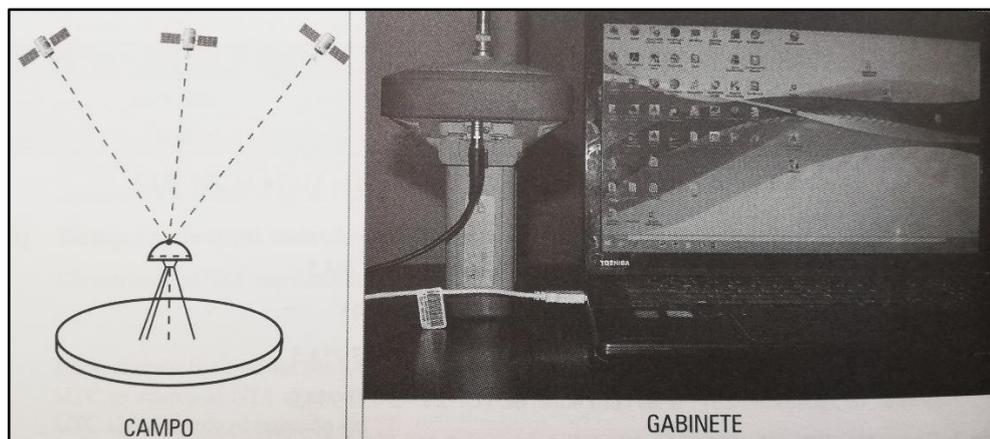
$$T = 7,0 \text{ mm}$$

Si al comparar el error encontrado con la tolerancia y resulta que este es mayor que la tolerancia, se hace necesario repetir la nivelación. En caso de verificarse que el error es menor que la tolerancia se procede a la compensación de la misma. (Instituto Nacional Geográfico del Perú, 2016)

## Métodos en las observaciones satelitales

### A. Método post proceso

Se instala uno o varios receptores (GPS) en puntos específicos para luego realizar las observaciones satelitales, una vez culminado el trabajo de campo, se lleva a cabo la transferencia de información del receptor a la computadora, obteniendo como resultado digital un archivo conteniendo la información, el cual deberá ser procesado por algún software específico para así obtener las coordenadas buscadas.



**Figura 9: Toma de Datos con el GPS Diferencial en Campo y**

### **Procesamiento de Datos en Gabinete**

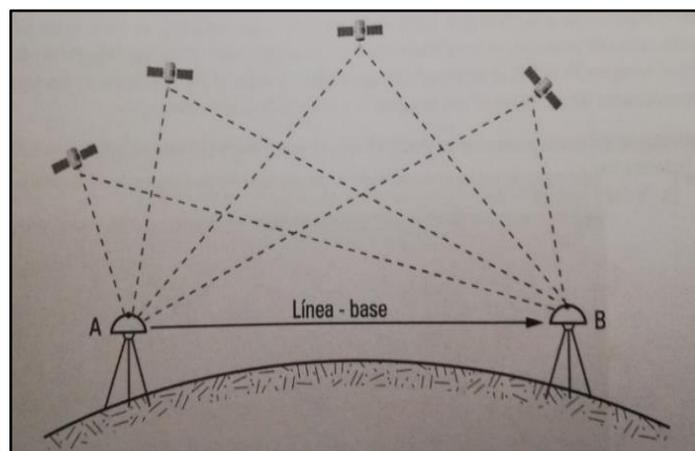
FUENTE: Mendoza 2017

### B. Método diferencial estático (DGPS)

Es un método de observación diferencial, por tanto, es necesario disponer de más de un receptor monofrecuencia o bifrecuencia. Consiste en estacionar dos receptores o más en los puntos los cuales queremos conocer sus coordenadas, siendo necesario que uno de ellos tenga coordenadas conocidas, permaneciendo de forma estática durante todo el tiempo que dura la observación. El tiempo de observación debe ser común a todos los receptores, depende de la duración de la

observación de la longitud de la línea base, del número de satélites, de la geometría de los satélites, de las frecuencias en que dispone el receptor. Por tanto, en este tipo de posicionamiento se obtendrán posiciones tan redundantes como deseemos, tan solo deberemos prolongar la observación. (López Valdés, Amparo Núñez, Gracia Gómez, 2012)

Se basa en el empleo de dos receptores: el receptor BASE (A), ubicado en un punto de coordenadas conocidas y el receptor ROVER (B), instalado en un punto cuyas coordenadas se requiere conocer, es recomendable que no supere los 100km y el uso de receptores con rastreo de doble frecuencia (L1 y L2).



**Figura 10: Satélites en Comunes para Ambos Receptores**

FUENTE: Mendoza 2017

### **Método estático fijo**

Este tipo de medición se utiliza cuando se requiere obtener coordenadas de un punto de manera precisa y confiable, el método de medición estático es recomendado por Leyca Geosystems, y consiste en ubicar dos o más estaciones de recepción simultáneamente, base y rover. Estas deben permanecer en ese sitio un lapso de tiempo estimado por el operador para el proceso de grabación de los datos en campo transmitido desde los satélites (el tiempo de medición va a depender



de la distancia entre receptores, la configuración geométrica de los satélites y las condiciones de obstrucción que se presenten en la zona), este proceso se repite para cada punto al que se desea obtener su posición.(Agüero-Corzo, Montilla-Pacheco, and Valero-Segovia 2018)

### C. Método diferencial cinemático

Para realizar un trabajo cinemático es necesario realizar una serie de medidas previas al propio trabajo, que nos van a permitir procesar los datos de campo en gabinete. Esta serie de medidas es lo que se llama inicialización de un trabajo cinemático. Hay 3 formas de inicializar un trabajo cinemático:

- a) Mediante un estático clásico. Se realiza primeramente un estático (aproximadamente media hora) para poder resolver ambigüedades, una vez que el receptor móvil fija ambigüedades se pone en movimiento utilizando las ambigüedades calculadas anteriormente.
- b) Partiendo de un punto conocido. En este caso el receptor fijo se coloca sobre uno de los extremos de la línea base conocida, quedándose fijo en él. El receptor móvil se coloca en el otro extremo, observando durante un período común a los dos receptores de 2 a 5 minutos, tiempo necesario para poder fijar ambigüedades, pasando después a recorrer los puntos a determinar.
- c) Intercambio de antenas o antena Swap. En el que consiste en colocar la antena del receptor fijo sobre un punto de coordenadas conocidas (base), y la antena del receptor móvil sobre un punto cercano al fijo (Swap), observando un tiempo común a los dos. Seguidamente se procede al primer intercambio de antenas volviendo a observar un tiempo común entre los dos receptores. Después se vuelve a intercambiar las antenas observándose de nuevo un tiempo común. El último paso es mover el receptor móvil hacia los puntos

que se quieran determinar. (López Valdés, Amparo Núñez, and Gracia Gómez 2012)

Se logra gran precisión si las correcciones para la estación fija se determinan con base de coordenadas de un punto de control con coordenadas conocidas. (Torres Nieto, 2016)

Consiste en el uso de los receptores GPS, uno de ellos instalado como Base en un punto de coordenadas conocidas, mientras que el receptor ROVER se ubica en un punto de coordenadas por conocer, obteniendo las coordenadas de varios puntos en corto tiempo. Sin embargo, una de las grandes ventajas es el uso simultáneo de varios receptores móviles con tan solo una base.



**Figura 11: Toma de Datos Mediante una Base y un Receptor Móvil**

FUENTE: Mendoza 2017

## **D. Métodos en tiempo real**

### **D.1. Método Diferencial RTK (Tiempo Real Cinemático)**

Este método aplica el principio del método en tiempo real. Esta técnica exige la disponibilidad de por lo menos una estación base, con las coordenadas conocidas y está dotada de un receptor GNSS y un receptor móvil. La estación genera y transmite las

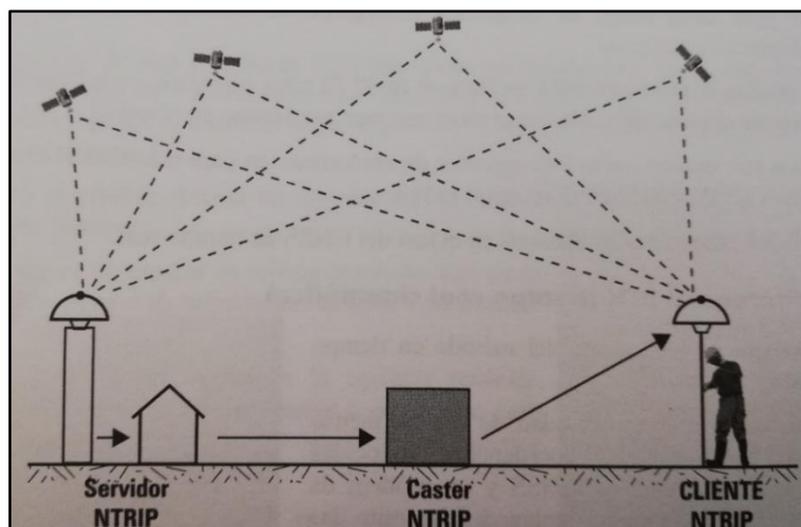
correcciones diferenciales a las estaciones móviles que usan los datos para determinar precisamente sus posiciones. (Mendoza, 2017)

Si las estaciones móviles se conectan por radio con la estación base, se pueden hacer en tiempo real los ajustes a las lecturas GPS en las estaciones móviles, pues por estos enlaces de radio se envían las correcciones necesarias. (Torres Nieto, 2016)

Se basa en procesado de las señales en tiempo real. Si a los equipos se les incorpora un sistema de transmisión de información y un módulo de cálculo, se pueden realizar los cálculos en tiempo real. (López Valdés, Amparo Núñez, Gracia Gómez, 2012)

## **D.2. NTRIP (Red de Transporte de Formato RTCM a Través del Protocolo de Internet)**

Esta técnica aparece el año 2004, con el objetivo de extender la cobertura RTK, así como mejorar el medio de transmisión con el uso del INTERNET, como herramienta fundamental en medio de transmisión de correcciones RTK. (Mendoza, 2017)



**Figura 12: Toma de Datos Utilizando la Internet**

FUENTE: Mendoza 2017

Las principales fuentes de error en la toma de datos con el GPS Diferencial son; efectos de la atmósfera sobre la señal que va desde el satélite-receptor, alteraciones en la señal por edificios o árboles, y pérdida de señal por ubicación cercana a instalaciones de alta tensión. El gps diferencial se fundamenta en el uso de un georreceptor móvil (rover) y una estación (o estaciones) de referencia (base) ubicada en coordenadas conocidas con una alta exactitud. La estación base coteja las mediciones transmitidas por los satélites y recibe en tiempo real las coordenadas de ese punto, ya conocidas a priori con exactitud, contrasta los resultados y a partir de ello calcula los errores del sistema en tiempo real. (Agüero-Corzo, Montilla-Pacheco, Valero-Segovia 2018)

## **2.1.8. Clasificación de la Nivelación**

### **2.1.8.1. Nivelación de alta precisión (NAP)**

Para una nivelación de alta precisión se usará el tipo de nivelación geométrica, esta nivelación, se usa para controles de gran exactitud. Para lo cual se requiere de equipos topográficos (nivel) que se permitan leer directamente a décimas de milímetro y con un aumento de anteojo de 24X; se tiene en cuenta que la mira deberá ser con códigos de barras, de una sola pieza (no plegable) y su nivel esférico con una sensibilidad mayor o igual a  $12''/2\text{mm}$ .

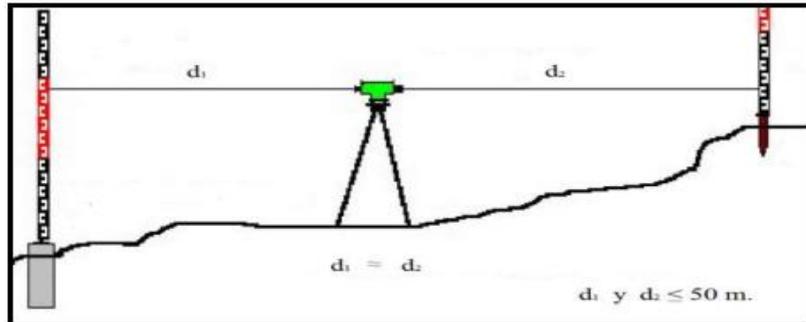
Los puntos de cambios que se realizan con puntos de apoyo de la mira, estos pueden corresponder a estacas de fierro o placas metálicas, que garantiza la estabilidad y la precisión en la ejecución.



**Figura 13: Placas de Apoyo (Sapos)**

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016

En la nivelación de alta precisión las distancias entre nivel y mira no deberán exceder de 50m, y se procura que sean de la misma distancia, tanto al punto de atrás como al punto de adelante, se también necesario no separarse del eje de nivelación en más del 2% de la distancia entre los dos puntos que conforman el eje de nivelación.



**Figura 14: Nivelación desde el Medio**

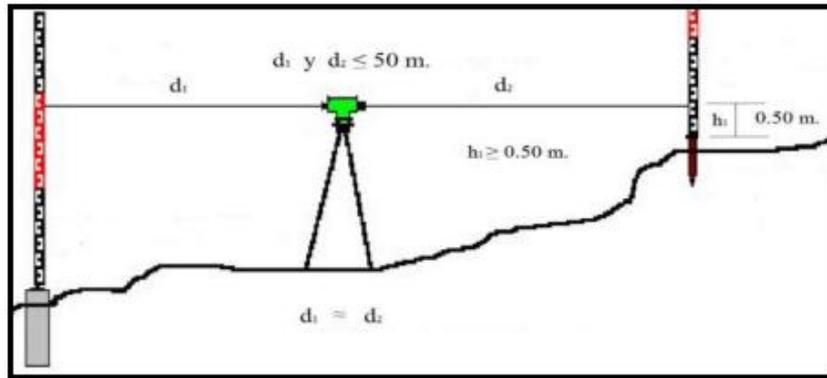
FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016



**Figura 15: Nivelación desde el Medio con una Separación del 2% del Eje**

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016

Las lecturas sobre la mira y la superficie del terreno, la visualización no esa a menos de 0,5m, a fin de minimizar errores de refracción.



**Figura 16: Lectura Mínima de la Superficie**

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016

Los trabajos no se excederán de 4 horas continuas, debido a los factores físicos de fluctuación del planeta.

La tolerancia en este tipo de nivelación del error máximo de cierre no debe exceder de:

$$T = 1,5 \text{ mm} \sqrt{K}$$

Dónde: K es la longitud del circuito de nivelación expresada en kilómetros.

### 2.1.8.2. Nivelación de precisión (NP)

Para una Nivelación de Precisión, se usará el tipo de nivelación geométrica, los equipos topográficos (nivel) que se utiliza debe tener la posibilidad de leer directamente a décimas de milímetro y con un aumento de anteojo de 24X, en cuanto a las miras podrán ser con código de barra o estadimétrica (plegable o no).

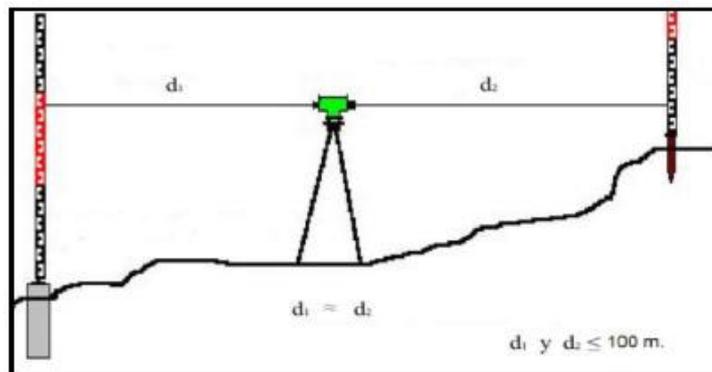
En los puntos de apoyo de la mira, se utilizan estacas de fierro o placas metálicas, que garantiza la estabilidad y la precisión en la ejecución.



**Figura 17: Placas de Apoyo (Sapos)**

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016

Las distancias entre nivel y mira no deberán exceder de 100m, y se procurará que sean de la misma distancia, tanto al punto de atrás como al punto de adelante, la separación del eje de nivelación no deberá exceder en más del 4% de la distancia entre los dos puntos que conforman el eje de nivelación.



**Figura 18: Nivelación desde el Medio**

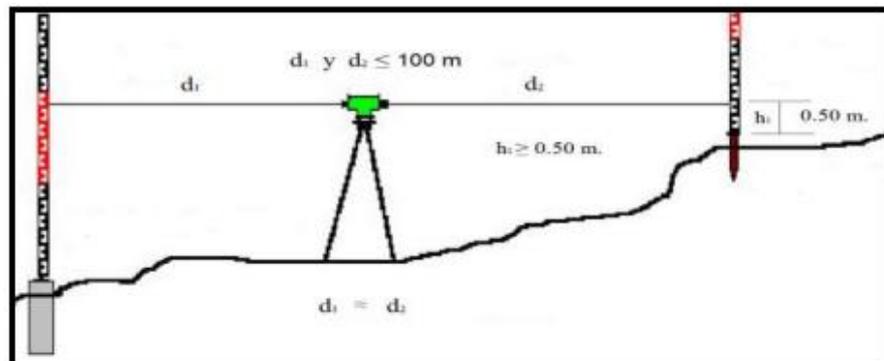
FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016



**Figura 19: Nivelación desde el Medio con una Separación del 4% del Eje**

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016

Las lecturas sobre la mira y de la superficie del terreno, la visualización no deberá ser menos de 0.5m a fin de minimizar errores de refracción.



**Figura 20: Lectura Mínima de la Superficie**

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016

La tolerancia en este tipo de nivelación del error máximo de cierre no debe exceder de:

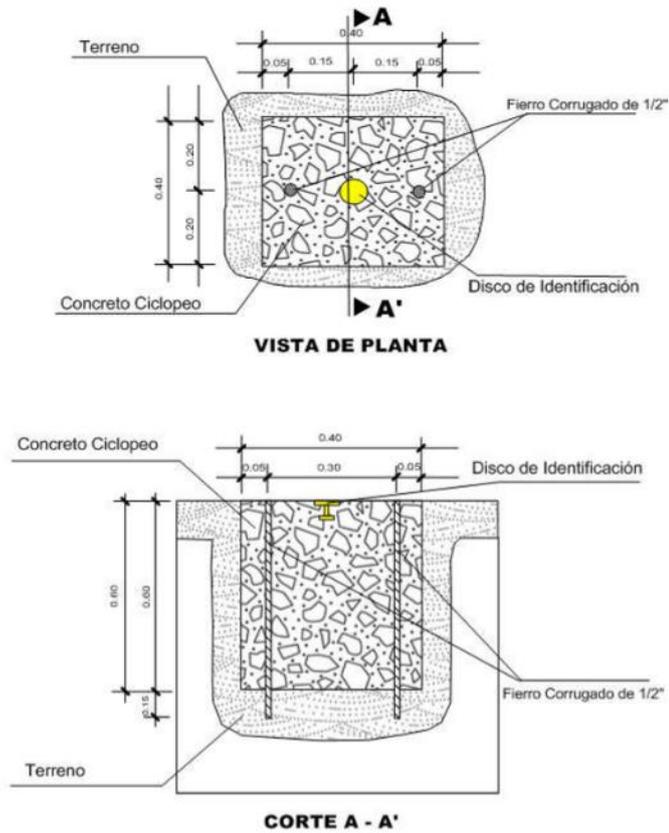
$$T = 2,5 \text{ mm} \sqrt{K}$$

Dónde: K es la longitud del circuito de nivelación expresada en kilómetros.

### 2.1.9. Fases del Trabajo de Nivelación

- **Planteamiento.** El planteamiento está ligado a una pre-evaluación del trabajo a realizar.
- **Reconocimiento.** Se verifican sobre el terreno, las características definidas en el planteamiento y establecer las condiciones y modalidades no previstas en el mismo.
- **Monumentación.** La monumentación se realizará de la siguiente manera:

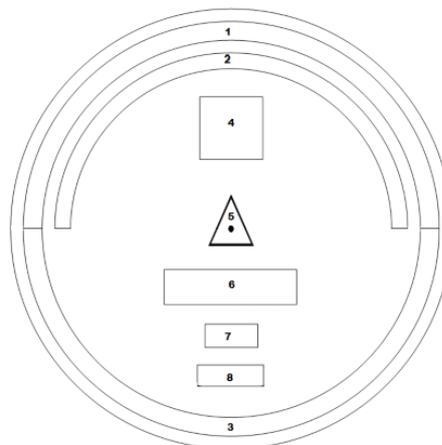
**Marcas de Cota Fija sobre pilares de hormigón.** Se construirán de concreto ciclópeo.



**Figura 21: Pilar de Concreto**

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016

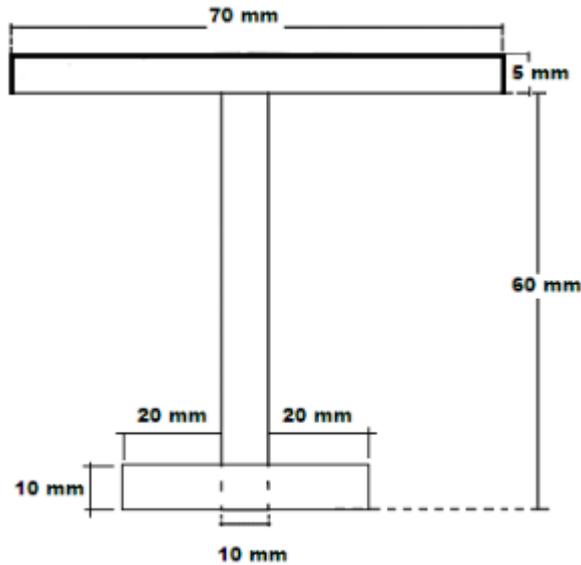
*Identificación de la marca de cota fija.* La parte superior es d forma circulas de 70mm de diámetro, con un espesor de 5mm.



**Figura 22: Detalle del Contenido de Placa para los BMs**

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016

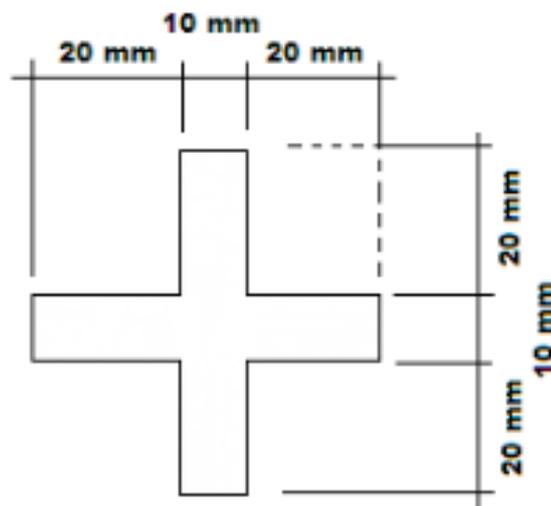
La parte intermedia con una longitud de 60mm., de forma tubular, con un grosor de 10mm.



**Figura 23: Detalle la Placa en Perfil**

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016

La parte inferior de anclaje será en forma de cruz de forma tubular de 10mm de grosor y de 50mm de longitud. (Instituto Nacional Geográfico del Perú, 2016)



**Figura 24: Detalle la Placa Parte Inferior**

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional del Perú 2016.



- **Trabajos de campo**
- **Cálculos de gabinete**

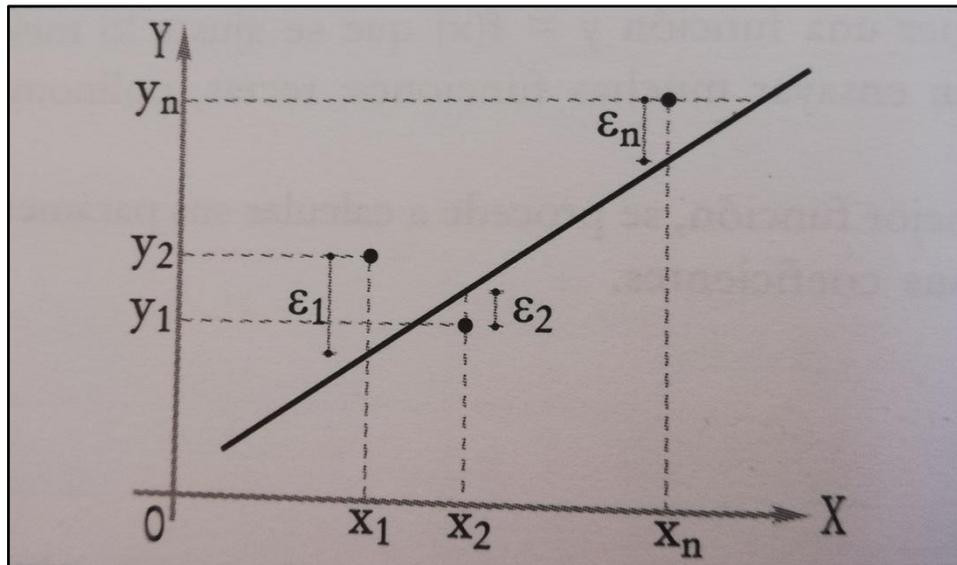
### **Ajuste de la red de nivelación**

Si varias líneas de nivelación forman una red, esta se debe ajustar para que las cotas calculadas por uno u otro camino resulten iguales. Una diferencia negativa indica que el punto de llegada está más abajo que el de la partida; el signo positivo, lo contrario. Igualmente se registra, en Km, la longitud aproximada de cada línea de nivelación.

Para encontrar el error de cierre de cada circuito se parte de un punto cualquiera sobre el circuito y se van sumando algebraicamente las diferencias de nivel de las líneas, recorridas todas en un mismo sentido. Esto hace que, al sumar los errores de cierre de varios circuitos adyacentes, se obtenga el error de cierre del circuito formado por las líneas exteriores. (Torres Nieto, 2016)

***Principio de mínimos cuadrados.*** Lo que se busca es obtener una función  $y = f(x)$  que se ajuste lo mejor posible a los valores experimentales; se pueden ensayar muchas funciones: rectas, polígonos funciones potenciales o logarítmicas, etc.

Se observar que los puntos representados no pasan todos por la misma recta. Esto es debido a los errores accidentales de las medidas, por lo que los puntos se distribuyen de forma más o menos aleatoria en torno a esta recta; a pesar de ello es claramente visible la tendencia lineal de los puntos.



**Figura 25: Recta por en Medio de Puntos Próximos**

FUENTE: Mendoza 2011

Para un valor de “x” determinado, la recta de ajuste proporciona un valor diferente de “y” del medido ( $\epsilon_i$ ) esta diferencia será positiva para algunos puntos y negativa para otros puestos que ellos disponen alrededor de la recta.

Para infinitas mediciones :  $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \dots + \epsilon_n = 0$

Para “n” mediciones :  $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \dots + \epsilon_n = \text{mínimo}$

Es decir:

$$\begin{aligned}y_1 + ax_1 + b &= \epsilon_1 \\y_2 + ax_2 + b &= \epsilon_2 \\&: \\&: \\y_n + ax_n + b &= \epsilon_n\end{aligned}$$



Tenemos dos incógnitas (a y b) con “n” ecuaciones. Para efectos de aplicar el método de mínimos cuadrados, la recta que mejor se ajusta será la que cumpla la siguiente expresión.

$$\emptyset = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2 = \text{Mínimo}$$

Esto induce a que las derivadas parciales de  $\emptyset$  respecto a “a” y “b” sean cero.

$$- \frac{\partial \emptyset}{\partial a} = 0; x_1(y_1 + ax_1 + b) + x_2(y_2 + ax_2 + b) + \dots + x_n(y_n + ax_n + b) = 0 \dots(1)$$

$$- \frac{\partial \emptyset}{\partial b} = 0; (y_1 + ax_1 + b) + (y_2 + ax_2 + b) + \dots + (y_n + ax_n + b) = 0 \dots\dots\dots(2)$$

Haciendo:

$$[xx] = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2$$

$$[xy] = x_1y_1 + x_2y_2 + \dots + x_ny_n$$

$$[x] = x_1 + x_2 + \dots + x_n$$

$$[y] = y_1 + y_2 + \dots + y_n$$

- Reemplazando en (1) y (2), se obtiene las llamadas **Ecuaciones Normales:**

$$[xx]a + [xy] + b[x] = 0$$

$$[x]a + [y] + b * n = 0$$

Dos ecuaciones con dos incógnitas

Lo cual equivale:

$$\begin{bmatrix} [xx] & [x] \\ [x] & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[xy] \\ -[y] \end{bmatrix}$$

En el presente caso:

$$[xx] = 2^2 + 4,2^2 + 5,8^2 + 8,3^2 + 9,6^2 = 216,33$$

$$[xy] = 2 * 1 + 4,2 * 2 + 5,8 * 3 + 8,3 * 4 + 9,6 * 5 = 216,33$$

$$[y] = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15$$

Luego:

$$\begin{bmatrix} 216,33 & 29,9 \\ 29,9 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -109,00 \\ -15 \end{bmatrix}$$

De donde:

$$a = -0,514$$

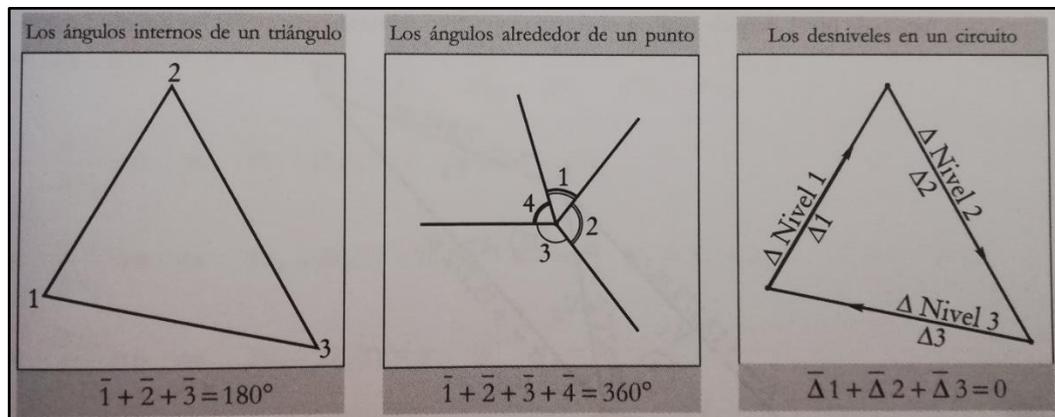
$$b = 0,075$$

Finalmente:

$$y + (-0,514)x + 0,075 = 0$$

$$y = 0,514x - 0,075 \quad \text{Es la recta que más se ajusta.}$$

**Observaciones y condiciones.** Las mediciones se encuentran relacionadas entre sí obedeciendo las leyes de la figura geométrica en las que se encuentran involucradas. (Mendoza, 2017)



**Figura 26: Condiciones del Principio de los Mínimos Cuadrados**

FUENTE: Mendoza 2011

Nótese que:  $\hat{1}$ ;  $\hat{2}$  y  $\hat{3}$  son ángulos medidos, esto nos lleva a conducir que cada ángulo medido  $\hat{1}$ ;  $\hat{2}$  y  $\hat{3}$  esta afectado por un error accidental  $V_1$ ;  $V_2$  y  $V_3$  respectivamente, de manera que:



$$V_1 + V_2 + V_3 = \text{Error de cierre}, \text{ Ecuación Condicional}$$

Es posible encontrar varias ecuaciones de condición para un mismo caso o problema en el cual los residuos constituyen las incógnitas; así:

$$f_1 = a_1V_1 + a_2V_2 + \dots + a_nV_n + E_1 = 0$$

$$f_2 = b_1V_1 + b_2V_2 + \dots + b_nV_n + E_2 = 0$$

.

.

$$f_r = c_1V_1 + c_2V_2 + \dots + c_nV_n + E_r = 0$$

Nos encontramos con “r” ecuaciones de condición para “n” incógnitas ( $V_1; V_2; V_3; \dots; V_n$ ).

El número de ecuaciones de condición se puede determinar de la siguiente manera:

$$n = a - b + 1$$

Donde:

n : número de ecuaciones de condición.

a : número de tramos totales.

b : número de vértices totales.

En una nivelación, a mayor longitud en el recorrido del itinerario, mayor será el error probable y por tanto menor su peso. Se demuestra que el peso de cada tramo es proporcional a la inversa de su longitud.

Con lo cual se puede aceptar:



$$P_1 = \frac{1}{L_1}; \quad P_1 = \text{Peso del tramo 1}$$

$$P_2 = \frac{1}{L_2}; \quad P_2 = \text{Peso del tramo 2}$$

$$P_3 = \frac{1}{L_3}; \quad P_3 = \text{Peso del tramo 3}$$

Cuando se tenga medidas de diversas precisiones; es conveniente transformar cada corrección a su equivalente con peso unitario.

$$V_i = \frac{V'_i}{\sqrt{P_i}}$$

Donde:

$V_i$  : Corrección con peso  $P_i$

$V'_i$  : Corrección equivalente con peso unitario

$P_i$  : Peso de la medida  $i$

Según la teoría de los mínimos cuadrados, la función que debe reducirse al mínimo, es la suma de los cuadrados de las correcciones; para ello las observaciones deben pertenecer a una misma precisión.

$$U = V_1'^2 + V_2'^2 + V_3'^2 + \dots + V_n'^2$$

$$U = P_1 * V_1^2 + P_2 * V_2^2 + P_3 * V_3^2 + \dots + P_n * V_n^2$$

En el caso particular de nivelación, se tendrá:

$$U = \frac{1}{L_1} * V_1^2 + \frac{1}{L_2} * V_2^2 + \frac{1}{L_3} * V_3^2 + \dots + \frac{1}{L_n} * V_n^2$$



### **2.1.11. Geodesia**

Geodesia es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la tierra. Esto incluye la determinación del campo gravitatorio externo de la tierra y la superficie del fondo oceánico. Dentro de esta definición, se incluye también la orientación y posición de la tierra en el espacio.

Una parte fundamental de la geodesia es la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre mediante coordenadas (latitud, longitud, altura). La materialización de estos puntos sobre el terreno constituye las redes geodésicas, conformadas por una serie de puntos (vértices geodésicos o también señales de nivelación), con coordenadas que configuran la base de la cartografía de un país, por lo que también se dice que es "la infraestructura de las infraestructuras".

Los fundamentos físicos y matemáticos necesarios para su obtención, sitúan a la geodesia como una ciencia básica para otras disciplinas, como la topografía, fotogrametría, cartografía, ingeniería civil, navegación, sistemas de información geográfica, sin olvidar otros tipos de fines como los militares. (Instituto Nacional Geográfico del Perú, 2016)

### **2.1.12. El geoide**

Es la superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que mejor se ajusta al nivel medio del mar sin perturbaciones y que es perpendicular en todos sus puntos a la dirección de la gravedad y que se extiende de manera continua por debajo de los continentes. Es la superficie de nivel, equipotencial en el campo de la gravedad, que adopta la forma de esferoide irregular tridimensional. (Instituto Nacional Geográfico del Perú, 2016)



### **2.1.13. El datum**

Un Datum es un Sistema de Referencia Geodésico definido por la superficie de referencia precisamente posicionada y mantenida en el espacio; y es generada por una red compensada de puntos. El Datum geodésico se define como un conjunto de parámetros que especifican la superficie de referencia o el sistema de referencia de coordenadas utilizado por el apoyo geodésico en el cálculo de coordenadas de puntos terrestres; comúnmente los Datums se definen separadamente como horizontales y verticales. (Instituto Nacional Geográfico del Perú, 2016)

### **2.1.14. Clasificación de puntos geodésicos**

Con el objeto de unificar un marco de referencia geodésico, todos los trabajos de georreferenciación estarán referidos a la Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN). Los puntos geodésicos en el territorio nacional se clasifican de la siguiente manera:

a. Punto geodésico orden “0”

Este orden es considerado a nivel continental, y están destinados para estudios sobre deformación regional y global de la corteza terrestre, de sus efectos geodinámicos y trabajos en los que se requiera una precisión a un nivel máximo de 4.00 mm; estos puntos servirán para la densificación de la Red Geodésica Nacional.

b. Punto geodésico orden “A”

Este orden debe aplicarse para aquellos trabajos encaminados a establecer el sistema geodésico de referencia continental básico, a levantamientos sobre estudios de deformación local de la corteza terrestre y trabajos que se requiera una precisión a un nivel máximo de 6.00 mm.



c. Punto geodésico orden “B”

Este orden se destina a levantamientos de densificación del sistema geodésico de referencia nacional, conectados necesariamente a la red básica; trabajos de ingeniería de alta precisión, así como de geodinámica y trabajos que se requiera una precisión a un nivel máximo de 8.00 mm. Los trabajos que se hagan dentro de esta clasificación deben integrarse a la red geodésica básica nacional y ajustarse junto con ella.

d. Punto geodésico orden “C”

Este orden debe destinarse al establecimiento de control suplementario en áreas urbanas y rurales, al apoyo para el desarrollo de proyectos básicos de ingeniería y de desarrollo urbano-rural, así como a trabajos que se requiera una precisión a un nivel máximo de 10.00 mm.

e. Puntos de apoyo (PFCH)

Estos son puntos geodésicos característicos de los puntos geodésicos de orden “C”, no son monumentados y se destinarán a los puntos de fotocontrol de trabajos básicos de ingeniería en áreas urbanas, rurales y de desarrollo urbano – rural, el nivel de precisión de estos puntos no será mayores a 10.00 mm.

Número mínimo de estaciones de control de la Red Geodésica Horizontal que se deben enlazar:	0	A	B	ENLACE
0	8			RED
A	3	3		RED
B	3	3	3	RED
C	1	1	1	LINEA BASE
APOYO (PFCH)	1	1	1	LINEA BASE

Separación de las estaciones	0	A	B	C	APOYO (PFCH)
Separación máxima (km) entre estaciones bases dentro del área del proyecto.	400	1000	500		
Separación máxima (km) entre estaciones bases y el punto a establecer	3500	500	250	100	100

Factor de escala ( $K_{ESCALA}$ ).- Es aquel valor que permite proyectar la longitud medida entre dos puntos en el elipsoide de referencia sobre el plano cartográfico.

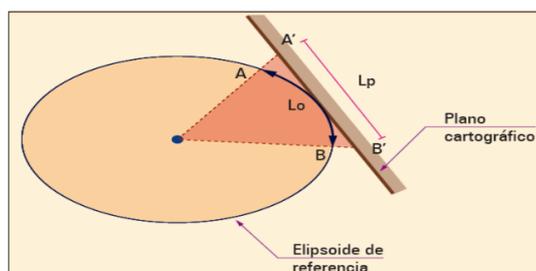
$$L_p = (K_{ESCALA})L_0$$

Donde:

$L_p$  : longitud proyectada al plano cartográfico.

$L_0$  : longitud medida en el elipsoide de referencia.

$K_{ESCALA}$  : factor de escala.





Factor combinado(K).- Es el producto proveniente entre el factor de elevación y el factor de escala.

$$K = (K_{ELEVACIÓN})(K_{ESCALA})$$

Donde:

$K$  : factor combinado entre A y B.

$K_{ELEVACIÓN}$  : factor de elevación entre A y B

$K_{ESCALA}$  : factor de escala entre A y B.

El factor combinado K, permite transformar la distancia topográfica existente entre dos puntos a distancia de cuadrícula, directamente:

$$L_C = K * L_T$$

$L_C$  : longitud de cuadrícula. K: factor combinado.

$L_T$  : longitud Topográfica.

## 2.2. Marco Conceptual

### 2.2.1. Altimetría

Es el conjunto o estudio de operaciones, métodos y procedimientos necesarios para definir y representar, numérica o gráficamente, el relieve del terreno con el fin de determinar las cotas de los diferentes puntos del terreno, con respecto al plano horizontal de comparación. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

### 2.2.2. Altitud



Es la distancia referido a un origen determinado, (nivel medio del mar, geoide) a un punto superficial del terreno. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

### **2.2.3. Altura geoidal**

Distancia del geoide sobre o por debajo del elipsoide de referencia. También se conoce como separación geoidal u ondulación geoidal. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

### **2.2.4. Nivelación**

Es una operación para determinar desniveles entre otros o mas puntos, y permite determinar las elevaciones o alturas de diversos puntos, midiendo las distancias verticales con referencia a una superficie de nivel cuya altura s conoce, y de esta manera se determina la elevación o cota de dichos puntos. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

### **2.2.5. Precisión**

Grado de consistencia entre los valores observados de una determinada magnitud o su repetitividad basada en el grado de discrepancia entre los valores observados. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

### **2.2.6. Tolerancia**

Se entiende por tolerancia el error máximo admisible en cualquier tipo de medida. Ejemplo: de ángulo, distancias y desniveles. (Gámez, 2015)



### **2.2.7. Punto de cambio**

Es el punto sobre el cual se toma una vista con el objeto de determinar la altura instrumental. La característica de un punto de cambio es que sobre él se dirigen dos visuales; una vista menos desde una posición del nivel y una vista más, de la siguiente posición. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

### **2.2.8. Vista atrás**

Es una visual tomada sobre una mira sobre un punto de elevación conocida para determinar qué tan alto está el plano de vista sobre ese punto y establecer la altura del instrumento con respecto al plano de referencia asumida. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

### **2.2.9. Vista adelante**

Es una visual tomada sobre una mira situada en un punto de elevación desconocida para determinar qué tanto por debajo del plano de vista se encuentra ese punto, eso determina la elevación del punto con respecto al plano de referencia. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

### **2.2.10. Red geodésica**

Es el conjunto de puntos, físicamente establecidos mediante marcas, hitos o señales sobre el terreno, medidos con gran precisión, que proporcionan las coordenadas geodésicas; latitud y altitud. Se encuentran enlazadas y ajustados a marcos geodésicos nacionales. (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2016)

### **2.2.11. Estacionamiento RTK**

Se basa en procesamiento de las señales en tiempo real. Si a los equipos se les incorpora un sistema de transmisión de información y un módulo de cálculo, se



pueden realizar los cálculos en tiempo real. (López Valdés, Amparo Núñez, Gracia Gómez, 2012)

### **2.2.12. Estacionamiento cinemático**

En este caso el receptor de referencia se estaciona siempre en posicionamiento estático, el que se mueve es el receptor que denominamos móvil (rover). (López Valdés, Amparo Núñez, Gracia Gómez, 2012)



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación Geográfica

Lugar	: CIP Carolina
Distrito	: Puno
Provincia	: Puno
Departamento	: Puno

#### Coordenadas UTM – WGS84

Este	: 389755.9551 m
Norte	: 8241600.0727 m
Altitud	: 4002.4355 m.s.n.m.m.
Zona	: 19L - Sur

#### 3.2. Periodo de Duración

El periodo de duración del presente trabajo de investigación es de tres meses, a continuación, se enumera las etapas de las actividades realizadas.

##### **Etapas N°1 Diagnostico y Planificación**

- Planificación del trabajo de investigación
- Tramite de permisos
- Reconocimiento de campo
- Establecimiento de BMs.

##### **Etapas N°2 Trabajo en Campo**

- Enlace de los puntos de control a la Red Geodésica Nacional
- Obtención de datos con el GPS Diferencial GR-5
- Obtención de datos con el Nivel Electrónico
- Evaluación de resultados según los datos obtenidos por ambos equipos topográficos.



## **Etapa N°3 Trabajo de Gabinete**

- Procesamiento de datos de cada equipo topográfico
- Interpretación de datos según estadística empleada
- Resultados y discusiones del proyecto de investigación
- Elaboración de borrador de tesis
- Correcciones de las observaciones
- Defensa de tesis

### **3.3. Equipos y Materiales Utilizados**

#### **3.3.1. Equipos topográficos**

- GPS Diferencial GR5 - TOPCON
- Nivel Electrónico Topcon DL 502/503
- Mira graduada (mira con código de barras)
- Otros.

#### **3.3.2. Materiales**

- Puntos o Estacas
- Cemento
- Hormigón
- Agua
- Pintura de Color Blanco y Rojo
- Herramientas manuales de Medición (cinta métrica)
- Libreta de campo.
- Otros.

#### **3.3.3. Herramientas de gabinete**

- Laptop Hp core i7
- Impresora Epson L375
- Software Topcon Tools v.8.2.3



- Autodesk Civil 3D 2018
- Microsoft Excel 2018
- IBM SPSS Statistics 25.

### **3.4. Población y muestra del estudio**

#### **3.4.1. Población**

La población está sujeta a los datos tomados en la nivelación de puntos establecidos a partir de los dos puntos georreferenciados CRL – 01 y CRL - 02 para el área de estudio.

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra se conformada por 8 puntos incluido los puntos CRL – 01 y CRL – 02, los puntos fueron nivelados con el GPS Diferencial GR5 Topcón en modo Estático Fijo, RTK y Cinemático; Nivel Electrónico Topcón DL – 503, para cuantificar las precisiones y rendimientos en la obtención de altitudes en el proceso de la construcción.

### **3.5. Desarrollo Metodológico**

#### **3.5.1. Metodología de la investigación**

- **Tipo de investigación**

El tipo de investigación es no experimental – transversal, por utilizarse un conocimiento pre existente.

- **Ámbito de la investigación**

En el ámbito de la investigación se establece una Red de Nivelación con un total de 8 vértices formando éste 5 polígonos irregulares a las cuales mencionaremos circuitos (circuito I, circuito II, circuito III, circuito IV, circuito V), para la siguiente Red de



Nivelación se monumento 2 puntos de Orden “C” poniéndolos como nombres CRL – 01 y CRL – 02, los mencionados puntos cumplen con los requerimientos de las especificaciones técnicas para el posicionamiento geodésico según el IGN, como son: distancia máxima entre estación base y puntos a establecer de 100 km, precisión a un nivel máximo de 10.00 mm, entre otros, además que tienen una grabación de datos con más de 900 épocas, por lo cual cumple con las exigencias de clasificación de puntos geodésicos.

Los puntos georreferenciados no conllevan certificación por el Instituto Geográfico Nacional del Perú, en tal sentido los puntos georreferenciados de la red de nivelación llevan como nombre CRL – 01 y CRL – 02, dichos puntos son georreferenciados a la Red Nacional mediante el punto de estación GNSS de rastreo permanente con código PU02, código internacional 42228M001, orden de estación “0”, fecha de monumentación 3 de abril del 2010 y sus coordenadas son las siguientes; Norte 8284432.1756, Este 373508.2250 y Elevación geoidal 3834.4462.

Las coordenadas georreferenciadas de los puntos CRL – 01 y CRL – 02 obtienen los datos siguientes; CRL – 01: Norte 8241924.4298, Este 390036.6282, Elevación 4001.0816; CRL – 02: Norte 8241894.8910, Este 390039.8700 y Elevación 3999.3575. Los datos obtenidos de los puntos anteriormente mencionados se utilizaron para poder desarrollar la Red de Nivelación.

### **3.6. Procedimiento de la investigación**

#### **3.6.1. Metodología para el objetivo**

##### **3.6.1.1. Recopilación de información**

En esta etapa la información que se recopiló son los puntos que se estableció CRL – 01 y CRL - 02, que fueron georreferenciados a partir del punto de estación GNSS de rastreo permanente PU02; para poder realizar nuestra la Red de Nivelación.

### 3.6.1.2. Planteamiento

En esta etapa se estableció las condiciones de nivelación, técnicas, económicas y de factibilidad que nos permiten realizar la Red de Nivelación, la pre evaluación técnica, económica, la disponibilidad de equipos topográficos, materiales y personal; también se realizó una inspección visual de toda el área a trabajar, que nos sirvió en la planificación del trabajo, permitiéndonos de este modo la ubicación estratégica de los puntos a establecer de nuestra Red de Nivelación.

### 3.6.1.3. Conocimiento

En esta etapa, se ubicó las zonas adecuadas y estratégicas para la monumentación de nuestros puntos, la monumentación de puntos se realizó con concreto in-situ. Los puntos de concreto tienen como base de estación de 30cm de largo por 30cm de ancho, los puntos CRL – 01 y CRL – 02 con tienen una placa ya que son puntos establecidos con tipo de orden “C”.



Figura 27: Punto Fijo CRL – 01 y CRL – 02 de Orden “C”

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 28: Obtención de Altitudes de los puntos de control Mediante el  
GPS Diferencial GR5**

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

### **3.6.2. Procedimiento del post proceso de puntos de control CRL – 01 y CRL – 02**

#### **Punto de control de instituto geográfico nacional (IGN):**

Para el control Horizontal y Vertical, se utilizó el método Post Proceso Estático Fijo (PPF) con GPS Diferencial Geodésico de doble frecuencia, el mismo que consiste en colocar un receptor GPS (BASE), en el Punto Geodésico con coordenadas conocidas, y los receptores móviles en el Área de Proyecto, para el presente proyecto se utilizó LA ESTACIÓN DE RASTREO PERMANENTE denominado PU02 de Orden 0 del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN), ubicado en la Universidad Peruana Unión de la ciudad Juliaca, Distrito de Juliaca, Provincia de San Román, Departamento de Puno, se ha utilizado este punto base debido a que es el más cercano al área de proyecto.

Los valores de las coordenadas y elevaciones, proporcionados por el IGN, en el Datum WGS - 84, se muestran en el cuadro siguiente:

**Tabla 1: Coordenadas UTM del punto permanente PU02**

COORDENADAS UTM ZONA 19 – WGS84				
NRO	PTO	NORTE	ESTE	ALTURA GEOIDAL
1	PU02	373508.23	8284432.2	3834.4462m

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

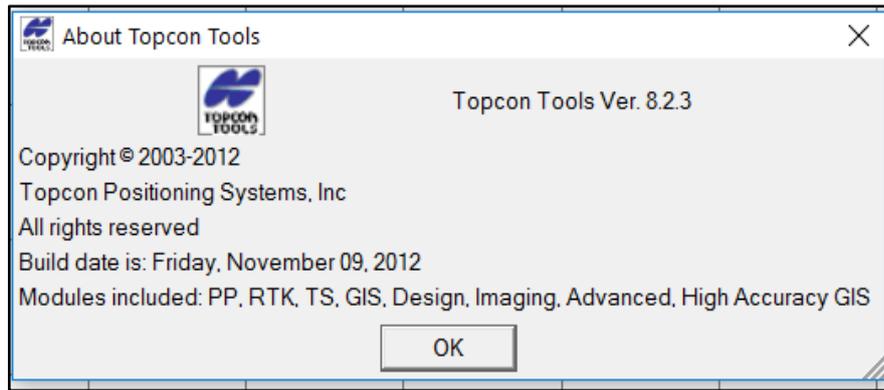
A partir de este punto geodésico se ha enlazado dos puntos base en el área del proyecto, y se ha realizado su post proceso respectivo con una con fiabilidad del 99%.

La información ha sido post procesada con apoyo del software TOPCON TOOLS v.8.2.3 de Topcon Positioning Systems Inc.



**Figura 29: Software Topcon Tools para Procesamiento de Datos**

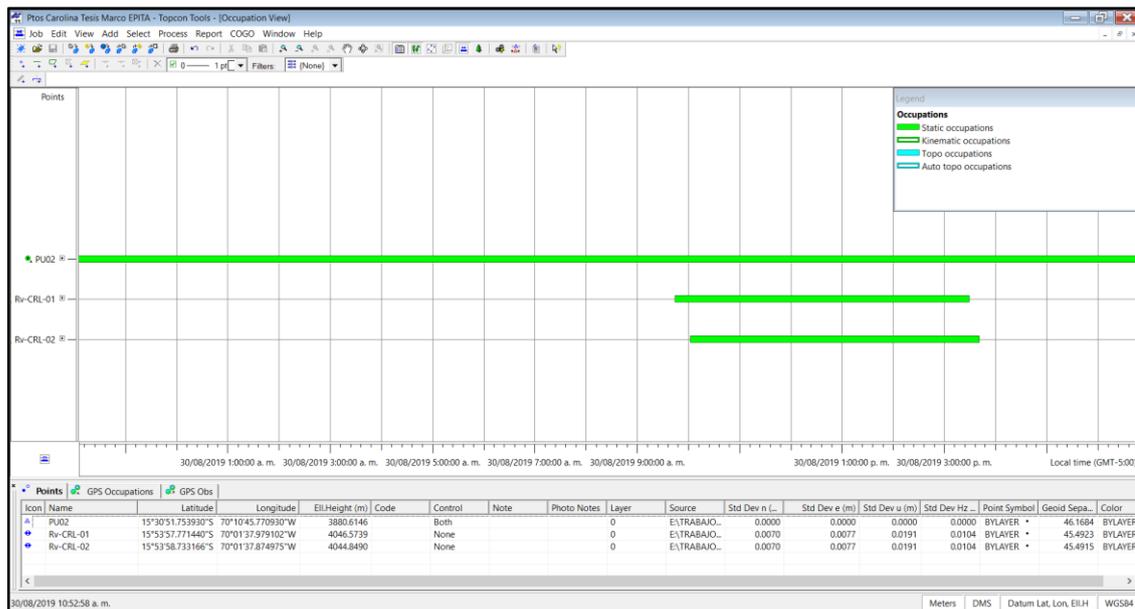
FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



**Figura 30: Procesamiento de Datos con el Software Topcon Tools**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

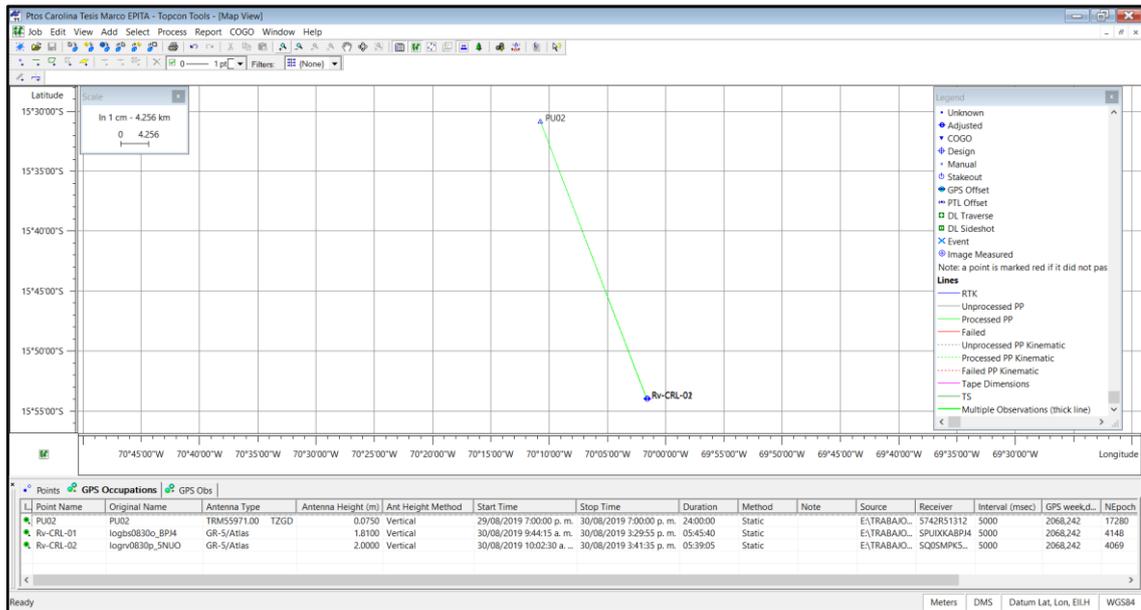
Así mismo se ha verificado el comportamiento de los satélites los cuales fueron óptimos para el trabajo, la misma que nos da la confiabilidad para el cálculo de coordenadas:



**Figura 31: Comportamiento de Satélites en la Toma de Datos**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

La información es analizada y se realiza el post proceso de las líneas bases generadas a través de las estaciones GPS con el método PP Estático.



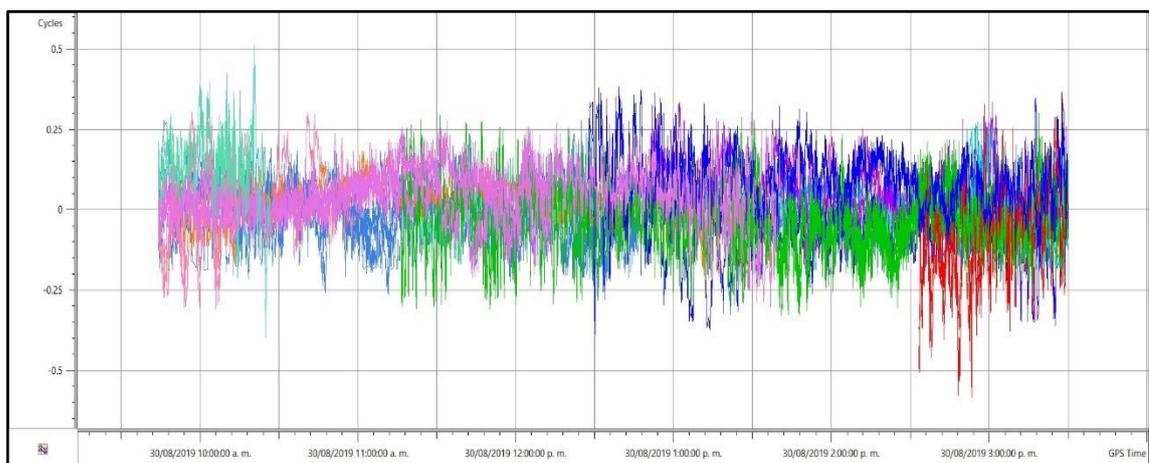
**Figura 32: Post Proceso de la Información Mediante el GPS Diferencial**

## GR5

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

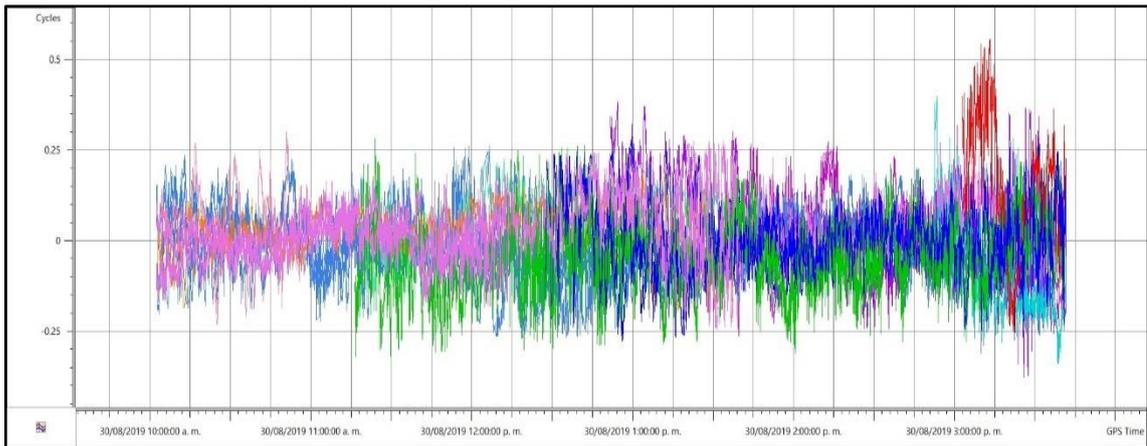
## Residuales de puntos

Los residuales son las informaciones que recibe el GPS Diferencial GR-5 de cada uno de los satélites activos en momento del trabajo, para la siguiente investigación se ha obtenido información clara y precisa tal como se puede apreciar en las figuras que se muestran a continuación.



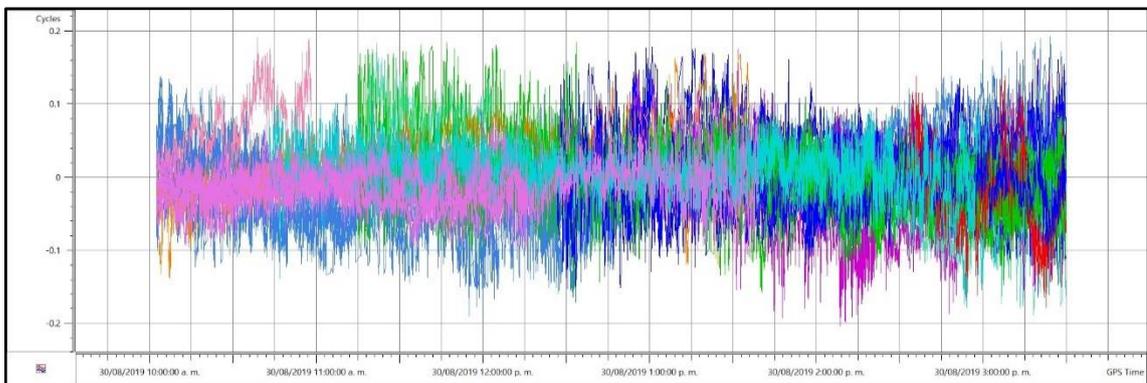
**Figura 33: Reacción de Entre Punto PU02 al CRL – 01**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



**Figura 34: Reacción de Entre Punto PU02 al CRL – 02**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



**Figura 35: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 02**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

### Resultados obtenidos del post proceso:

Finalmente, los resultados obtenidos de los puntos CRL – 01 y CRL – 02 a partir del punto base PU02 (Punto de estación permanente) son:

**Tabla 2: Coordenadas UTM WGS-84 a partir del punto PU02**

COORDENADAS UTM WGS-84			
Name	Grid Easting (m)	Grid Northing (m)	Elevation Geoidal (m)
PU02	373508.2250	8284432.1756	3834.4462
Rv-CRL-01	390036.6282	8241924.4298	4001.0816
Rv-CRL-02	390039.8700	8241894.8910	3999.3575

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



**Tabla 3: Factor escala - factor combinado entre los puntos CRL-01, CRL-02 Y PU02**

FACTOR ESCALA - FACTOR COMBINADO			
Name	Combined Grid to Ground Scale Factor	Combined Ground to Grid Scale Factor	Convergence
PU02	1.000811392666	0.999189265159	0°18'55.8112"
Rv-CRL-01	1.000885841781	0.999114942240	0°16'53.1593"
Rv-CRL-02	1.000885579813	0.999115203745	0°16'53.1474"

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

$$K_c = K_p * K_h$$

Donde:

- $K_c$  : factor de escala combinado
- $K_p$  : factor de escala por proyección cartográfica
- $K_h$  : factor de escala por altura elipsoidal



**Tabla 4: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations										
Point	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	Elevation Angle	Start Time	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Duration	Reference
CRL-01	11473.037	16255.639	-41082.64	0°00'08.3918"	30/08/2019 09:44	-42507.743	16528.404	165.9489	05:45:40	06/09/2019
CRL-02	11472.620	16265.856	-41110.628	-0°00'00.2439"	30/08/2019 10:02	-42537.288	16531.644	164.2445	05:39:05	06/09/2019
Rv-CRL-02	-0.422	10.234	-27.976	-3°19'09.3230"	30/08/2019 10:02	-29.539	3.242	-1.7249	05:27:25	06/09/2019

NTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 5: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations										
Point	Azimuth	Distance (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)	Duration	Solution Type	Orbit	Epochs	Reference	Other
CRL-01	159°04'17.4322"	45647.122	0.014	0.0271	05:45:40	Fixed, Wide Lane	Precise	4148		
CRL-02	159°04'52.1871"	45675.845	0.015	0.0268	05:39:05	Fixed, Wide Lane	Precise	4069		
Rv-CRL-02	174°01'06.4612"	29.792	0	0.0009	05:27:25	Fixed	Precise	3929		

NTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 6: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations									
Name	GPS Satellites	GLONASS Satellites	PDOP	HDOP	VDOP	Status	RMS	Time	Satellite System
PU02-Rv-CRL-01	15	14	1.506	0.713	1.326	Adjusted	0.031	06/09/2019 14:37	GPS+
PU02-Rv-CRL-02	16	14	1.464	0.698	1.287	Adjusted	0.031	06/09/2019 14:37	GPS+
Rv-CRL-01-Rv-CRL-02	15	14	1.503	0.713	1.324	Adjusted	0.001	06/09/2019 14:37	GPS+

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 7: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations							
Name	Base Antenna Type	Base Antenna Height (m)	Base Ant Height Method	Rover Antenna Type	Rover Antenna Height (m)	Rover Ant Height Method	Rover Ant Height Method
PU02-Rv-CRL-01	TRM55971.00 TZGD	0.075	Vertical	GR-5/Atlas	1.81	Vertical	Vertical
PU02-Rv-CRL-02	TRM55971.00 TZGD	0.075	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical	Vertical
Rv-CRL-01-Rv-CRL-02	GR-5/Atlas	1.81	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical	Vertical

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 8: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations							
Name	Res X (m)	Res Y (m)	Res Z (m)	North RMS(m)	East RMS(m)	Elevation Mask	Satellite System
PU02-Rv-CRL-01	-0.002	0.009	0.006	0.01	0.011	10	GPS+
PU02-Rv-CRL-02	0.002	-0.009	-0.006	0.01	0.011	10	GPS+
Rv-CRL-01-Rv-CRL-02	0	0	0	0	0	10	GPS+

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 9: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Occupations							
Point Name	Original Name	Receiver	Receiver Vendor	Method	GPS week,day	Interval (msec)	Antenna Type
PU02	PU02	5742R51312	Trimble	Static	2,068,242	5000	TRM55971.00 TZGD
Rv-CRL-01	logbs0830o_BPJ4	SPUXXKABPJ4	Topcon	Static	2,068,242	5000	GR-5/Atlas
Rv-CRL-02	logrv0830p_5NUO	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Static	2,068,242	5000	GR-5/Atlas

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

### 3.6.3. Procedimiento del post proceso en modo estático fijo



**Figura 36: Toma de Datos del Punto CRL – 04**

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

#### **Punto de control enlazado establecido por el equipo técnico:**

Para el control Horizontal y Vertical, se utilizó el método Post Proceso Estático Fijo (PPF) con GPS Diferencial Geodésico de doble frecuencia, el mismo que consiste en colocar un receptor GPS (BASE), en el Punto Geodésico con coordenadas conocidas, y los receptores móviles en el Área de Proyecto, para el presente proyecto se utilizó EL PUNTO ESTABLECIDO POR EL EQUIPO TÉCNICO QUE VENDRIA A SER EL PUNTO CRL – 01 de orden C, a partir del punto de estación permanente denominado PU02 de Orden 0 del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN), ubicado en la Universidad Peruana Unión de la ciudad Juliaca, Distrito de Juliaca, Provincia de San Román, Departamento de Puno.

Los valores de las coordenadas y elevaciones, proporcionados por el GPS Diferencial GR5 Topcón, en el Datum WGS - 84, se muestran en el cuadro siguiente:

**Tabla 10: Coordenadas UTM del punto CRL - 01**

COORDENADAS UTM ZONA 19 – WGS84				
NRO	PTO	NORTE	ESTE	Elevación
1	CRL - 01	8241924.4	390036.63	4001.0816

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

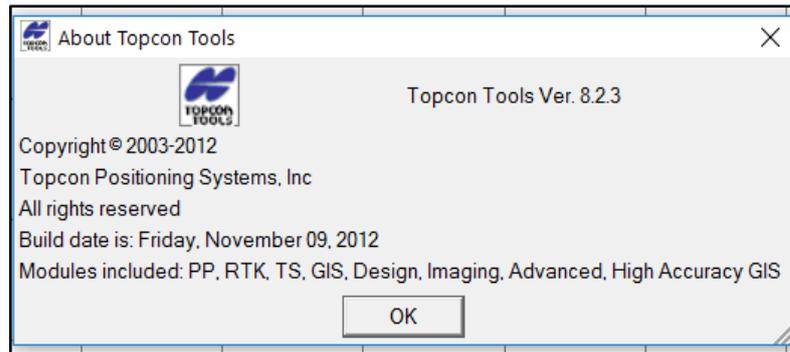
A partir de este punto CRL - 01 se ha enlazado dos puntos de los vértices de nuestra Red de Nivelación en el área del proyecto, y se ha realizado su post proceso respectivo con un porcentaje de confiabilidad del 99%.

La información ha sido post procesada con apoyo del software TOPCON TOOLS v.8.2.3 de Topcon Positioning Systems Inc.



**Figura 37: Software Topcon Tools para Procesamiento de Datos**

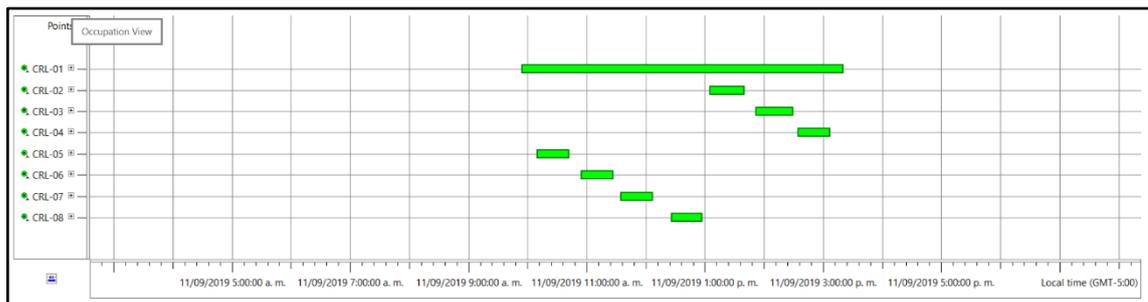
FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



**Figura 38: Procesamiento de Datos con el Software Topcon Tools**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

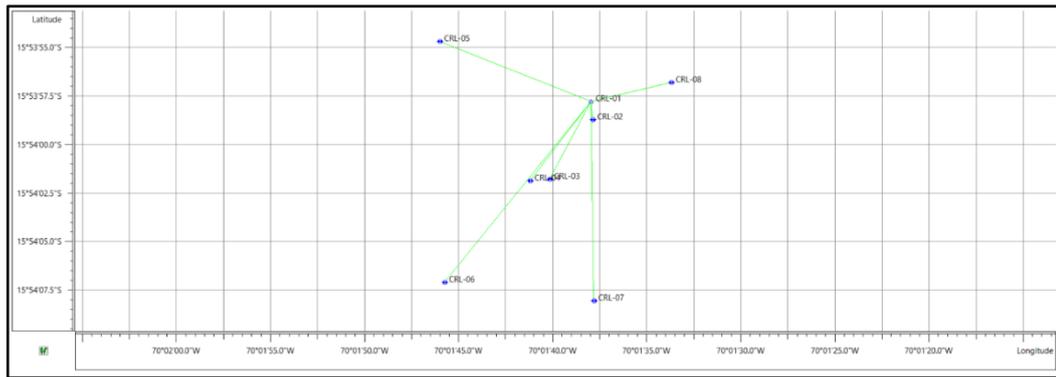
Así mismo se ha verificado el comportamiento de los satélites los cuales fueron óptimos para el trabajo, la misma que nos da la confiabilidad para el cálculo de coordenadas:



**Figura 39: Comportamiento de Satélites en la Toma de Datos**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

La información es analizada y se realiza el post proceso de las líneas bases generadas a través de las estaciones GPS con el método PP Estático.



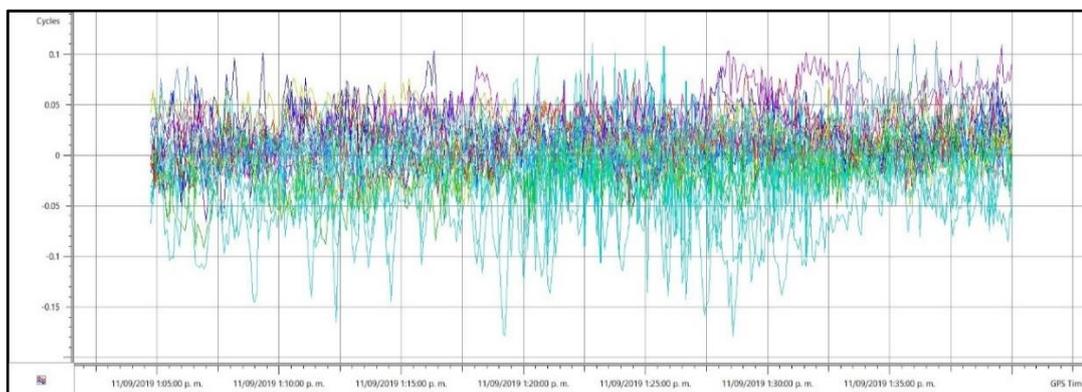
**Figura 40: Post Proceso de la Información Mediante el GPS Diferencial**

**GR5**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

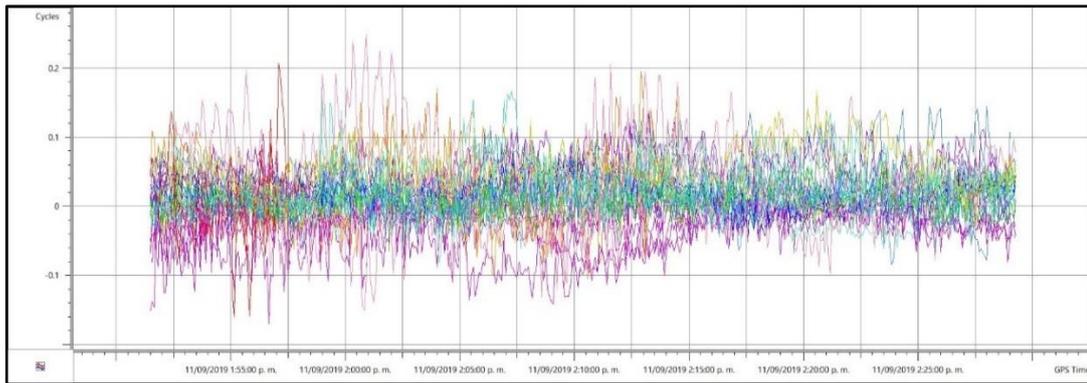
### Residuales de puntos

Los residuales son las informaciones que recibe el GPS Diferencial GR-5 de cada uno de los satélites activos en momento del trabajo, para la siguiente investigación se ha obtenido información clara y precisa tal como se puede apreciar en las figuras que se muestran a continuación.



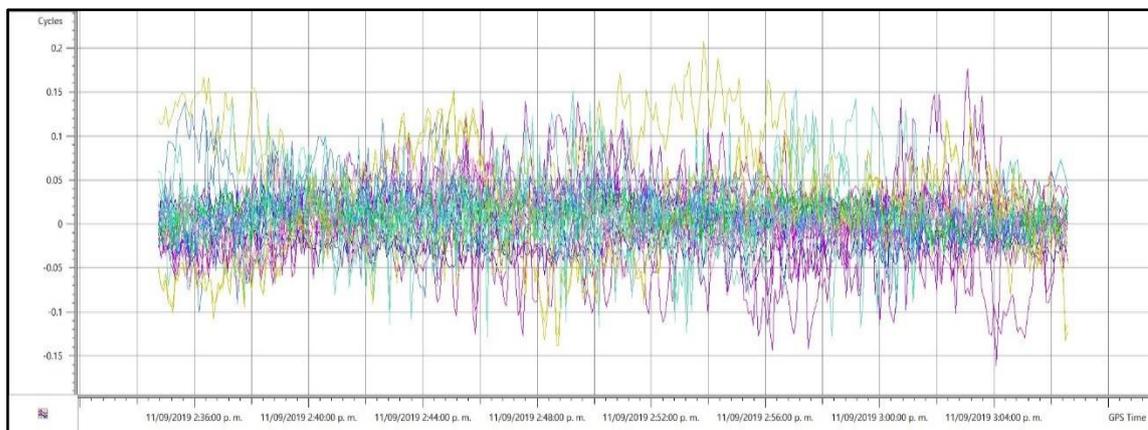
**Figura 41: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL - 02**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



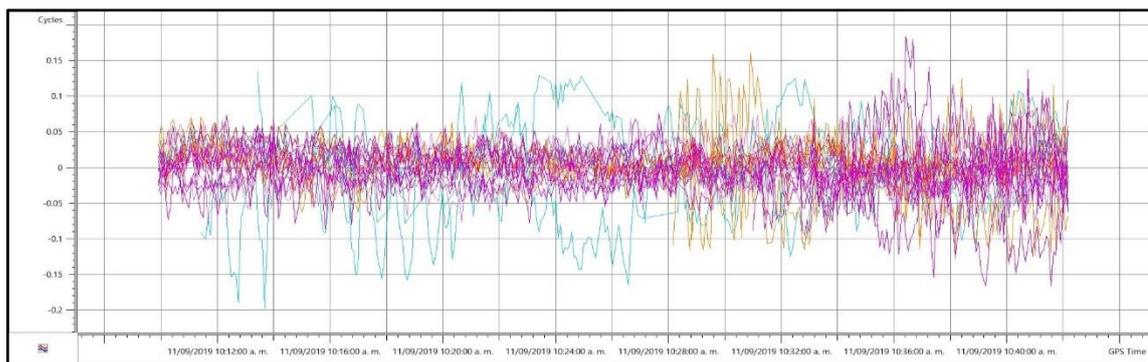
**Figura 42: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL - 03**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



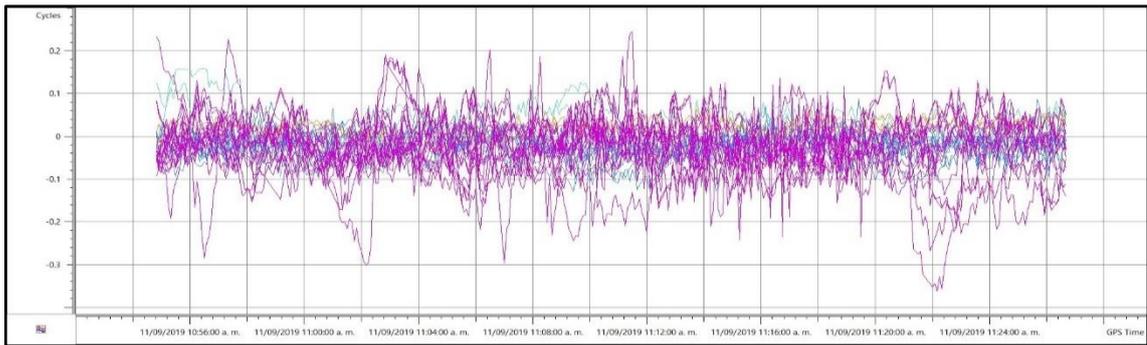
**Figura 43: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL - 04**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



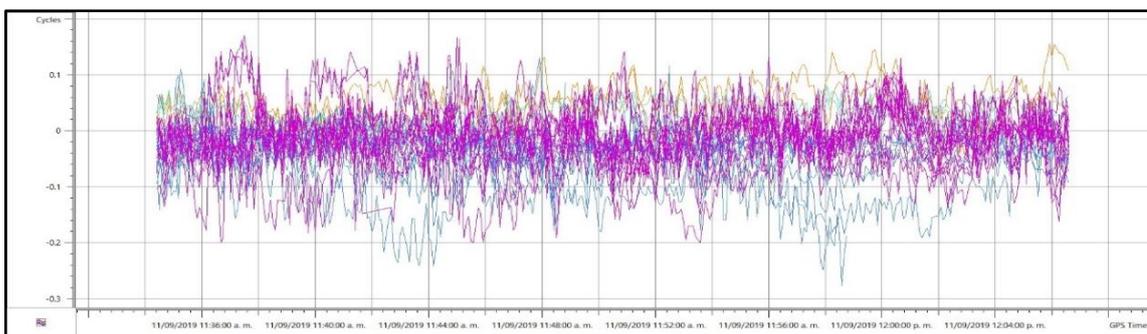
**Figura 44: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL - 05**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



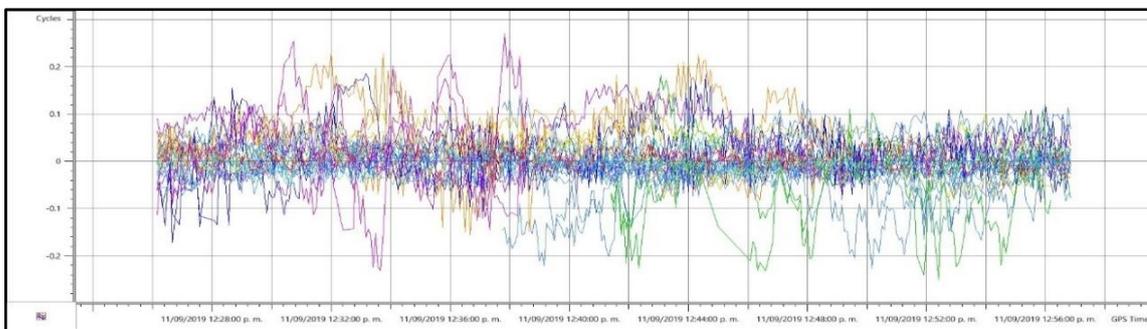
**Figura 45: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 06**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



**Figura 46: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 07**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



**Figura 47: Reacción de Entre Punto CRL - 01 al CRL – 08**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

### **Resultados obtenidos del post proceso por el método estático fijo**

Finalmente, los resultados obtenidos de los puntos CRL – 02, CRL – 03, CRL – 04, CRL – 05, CRL – 06, CRL – 07, CRL – 08 a partir del punto CRL – 01 son:



**Tabla 11: Coordenadas UTM WGS-84**

COORDENADAS UTM WGS-84			
Name	Grid Easting (m)	Grid Northing (m)	Elevation Geoidal (m)
CRL-01	390036.6283	8241924.4298	4001.0816
CRL-02	390039.8696	8241894.8967	3999.3555
CRL-03	389971.7587	8241800.8390	4005.2885
CRL-04	389941.1464	8241797.7247	4004.3967
CRL-05	389796.6947	8242018.3677	3992.1092
CRL-06	389807.0187	8241636.5103	3984.7265
CRL-07	390043.2815	8241608.2472	3978.2375
CRL-08	390163.7253	8241955.0888	3994.9067

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 12: Factor escala - factor combinado**

FACTOR ESCALA - FACTOR COMBINADO			
Name	Combined Grid to Ground Scale Factor	Combined Ground to Grid Scale Factor	Convergence
CRL-01	1.000885841780	0.999114942241	0°16'53.1593"
CRL-02	1.000885579494	0.999115204063	0°16'53.1474"
CRL-03	1.000886324965	0.999114459912	0°16'53.8319"
CRL-04	1.000886101462	0.999114683019	0°16'54.1158"
CRL-05	1.000883779027	0.999117001349	0°16'55.3124"
CRL-06	1.000882646599	0.999118131779	0°16'55.4494"
CRL-07	1.000882272090	0.999118505628	0°16'53.2898"
CRL-08	1.000885218549	0.999115564370	0°16'51.9700"

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

$$K_c = K_p * K_h$$

Donde:

$K_c$  : factor de escala combinado

$K_p$  : factor de escala por proyección cartográfica

$K_h$  : factor de escala por altura elipsoidal

**Tabla 13: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations										
Name	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	Elevation Angle	Start Time	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Duration	Time
CRL-01-CRL-02	-0.422	10.234	-27.97	-3°19'25.1754"	11/09/2019 13:04	-29.533	3.241	-1.7269	00:35:20	14/09/2019 20:44
CRL-01-CRL-03	-71.757	5.585	-119.81	1°43'21.1370"	11/09/2019 13:51	-123.59	-64.869	4.2028	00:37:50	14/09/2019 20:44
CRL-01-CRL-04	-101.138	-3.315	-122.419	1°11'37.0626"	11/09/2019 14:34	-126.704	-95.481	3.3106	00:31:55	14/09/2019 20:44
CRL-01-CRL-05	-219.305	-98.264	94.017	-1°59'37.6695"	11/09/2019 10:09	93.937	-239.932	-8.9727	00:32:20	14/09/2019 20:44
CRL-01-CRL-06	-249.555	9.727	-271.573	-2°32'38.1946"	11/09/2019 10:54	-287.917	-229.608	-16.3654	00:31:55	14/09/2019 20:44
CRL-01-CRL-07	-32.327	103.894	-298.119	-4°07'51.0137"	11/09/2019 11:34	-316.18	6.653	-22.8525	00:32:15	14/09/2019 20:44
CRL-01-CRL-08	120.482	41.343	30.602	-2°42'04.4626"	11/09/2019 12:26	30.659	127.096	-6.1726	00:30:45	14/09/2019 20:44

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 14: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations										
Name	Azimuth	Distance (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)	Duration	Solution Type	Orbit	Epochs	Rover Ant Height Method	
CRL-01-CRL-02	174°01'05.1487"	29.787	0	0.0011	00:35:20	Fixed	Precise	424	Vertical	
CRL-01-CRL-03	207°58'30.5604"	139.767	0.001	0.0011	00:37:50	Fixed	Precise	454	Vertical	
CRL-01-CRL-04	217°16'55.6424"	158.828	0.001	0.0012	00:31:55	Fixed	Precise	383	Vertical	
CRL-01-CRL-05	291°39'45.5692"	258.049	0.001	0.0013	00:32:20	Fixed	Precise	388	Vertical	
CRL-01-CRL-06	218°51'10.6384"	368.95	0.001	0.0016	00:31:55	Fixed	Precise	383	Vertical	
CRL-01-CRL-07	179°04'33.6160"	317.355	0.001	0.0017	00:32:15	Fixed	Precise	387	Vertical	
CRL-01-CRL-08	76°43'09.4226"	131.003	0.001	0.0016	00:30:45	Fixed	Precise	369	Vertical	

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 15: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations										
Name	GPS Satellites	GLONASS Satellites	PDOP	HDOP	VDOP	Status	RMS	Time	Satellite System	
CRL-01-CRL-02	10	7	1.487	0.616	1.353	Adjusted	0.001	14/09/2019 20:44	GPS+	
CRL-01-CRL-03	9	9	1.313	0.621	1.157	Adjusted	0.001	14/09/2019 20:44	GPS+	
CRL-01-CRL-04	9	7	1.286	0.676	1.094	Adjusted	0.001	14/09/2019 20:44	GPS+	
CRL-01-CRL-05	8	7	1.635	0.804	1.424	Adjusted	0.001	14/09/2019 20:44	GPS+	
CRL-01-CRL-06	9	8	1.362	0.637	1.204	Adjusted	0.002	14/09/2019 20:44	GPS+	
CRL-01-CRL-07	11	8	1.300	0.641	1.131	Adjusted	0.002	14/09/2019 20:44	GPS+	
CRL-01-CRL-08	10	8	1.337	0.618	1.185	Adjusted	0.002	14/09/2019 20:44	GPS+	

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 16: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations										
Name	Base Antenna Type	Base Antenna Height (m)	Base Antenna Height Method	Base Antenna Type	Rover Antenna Type	Rover Antenna Height (m)	Rover Antenna Height Method			
CRL-01-CRL-02	GR-5/Atlas	1.833	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical				
CRL-01-CRL-03	GR-5/Atlas	1.833	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical				
CRL-01-CRL-04	GR-5/Atlas	1.833	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical				
CRL-01-CRL-05	GR-5/Atlas	1.833	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical				
CRL-01-CRL-06	GR-5/Atlas	1.833	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical				
CRL-01-CRL-07	GR-5/Atlas	1.833	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical				
CRL-01-CRL-08	GR-5/Atlas	1.833	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical				

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 17: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations							
Name	Res X (m)	Res Y (m)	Res Z (m)	North RMS(m)	East RMS(m)	Elevation Mask	Satellite System
CRL-01-CRL-02	0	0	0	0	0	10	GPS+
CRL-01-CRL-03	0	0	0	0	0	10	GPS+
CRL-01-CRL-04	0	0	0	0	0.001	10	GPS+
CRL-01-CRL-05	0	0	0	0	0.001	10	GPS+
CRL-01-CRL-06	0	0	0	0.001	0.001	10	GPS+
CRL-01-CRL-07	0	0	0	0	0.001	10	GPS+
CRL-01-CRL-08	0	0	0	0	0.001	10	GPS+

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 18: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Occupations							
Point Name	Original Name	Receiver	Receiver Vendor	Method	GPS week,day	Interval (msec)	Antenna Type
CRL-04	logrv0911t_5NUO	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Static	2,070,254	5000	GR-5/Atlas
CRL-05	logrv0911p_5NUO	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Static	2,070,254	5000	GR-5/Atlas
CRL-06	logrv0911p000_5NUO	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Static	2,070,254	5000	GR-5/Atlas
CRL-07	logrv0911q_5NUO	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Static	2,070,254	5000	GR-5/Atlas
CRL-08	logrv0911r_5NUO	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Static	2,070,254	5000	GR-5/Atlas
CRL-02	logrv0911s_5NUO	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Static	2,070,254	5000	GR-5/Atlas
CRL-03	logrv0911s000_5NUO	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Static	2,070,254	5000	GR-5/Atlas
CRL-01	logbs0911o_BPJ4	SPUIXKABPJ4	Topcon	Static	2,070,254	5000	GR-5/Atlas

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

### 3.6.4. Procedimiento del post proceso en modo cinemático

#### **Punto de control enlazado establecido por el equipo técnico:**

Para el control Horizontal y Vertical, se utilizó el método Post Proceso Estático Fijo (PPF) con GPS Diferencial Geodésico de doble frecuencia, el mismo que consiste en colocar un receptor GPS (BASE), en el Punto Geodésico con coordenadas conocidas, y los receptores móviles en el Área de Proyecto, para el presente proyecto se utilizó EL PUNTO ESTABLECIDO POR EL EQUIPO TÉCNICO QUE VENDRIA A SER EL PUNTO CRL – 01 de orden C, a partir del punto de estación permanente denominado PU02 de Orden 0 del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN), ubicado en la Universidad Peruana Unión de la ciudad Juliaca, Distrito de Juliaca, Provincia de San Román, Departamento de Puno.

Los valores de las coordenadas y elevaciones, proporcionados por el GPS Diferencial GR5 Topcón, en el Datum WGS - 84, se muestran en el cuadro siguiente:

**Tabla 19: Coordenadas UTM del punto CRL - 01**

COORDENADAS UTM ZONA 19 – WGS84				
NRO	PTO	NORTE	ESTE	Elevación
1	CRL - 01	8241924.4	390036.63	4001.0816

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

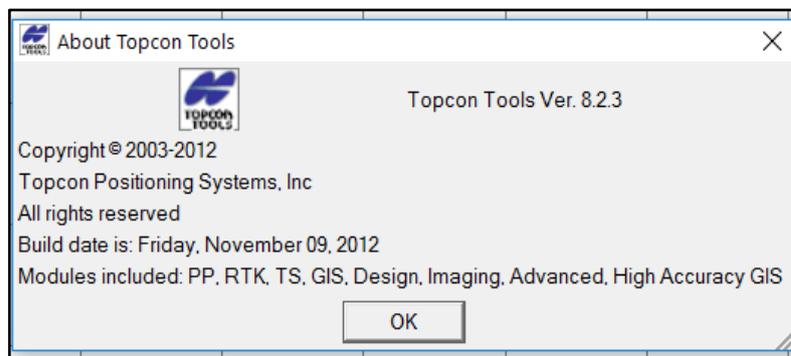
A partir de este punto CRL - 01 se ha enlazado dos puntos de los vértices de nuestra Red de Nivelación en el área del proyecto, y se ha realizado su post proceso respectivo con un porcentaje de confiabilidad del 99%.

La información ha sido post procesada con apoyo del software TOPCON TOOLS v.8.2.3 de Topcon Positioning Systems Inc.



**Figura 48: Software Topcon Tools para Procesamiento de Datos**

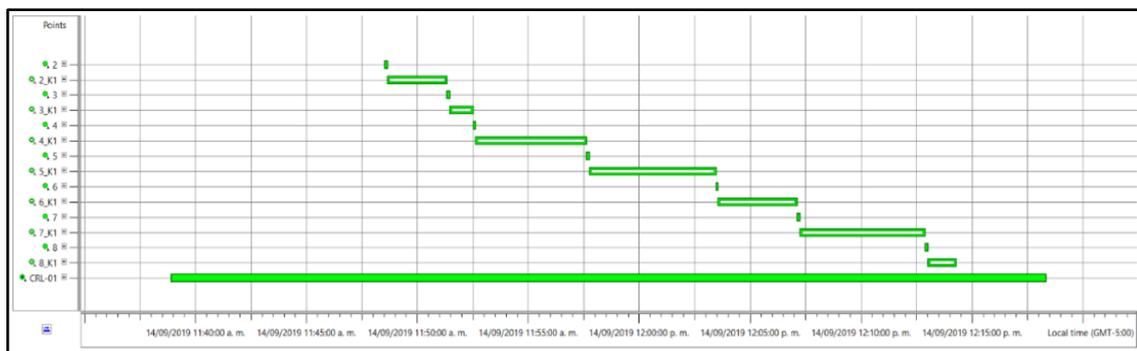
FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



**Figura 49: Procesamiento de Datos con el Software Topcon Tools**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

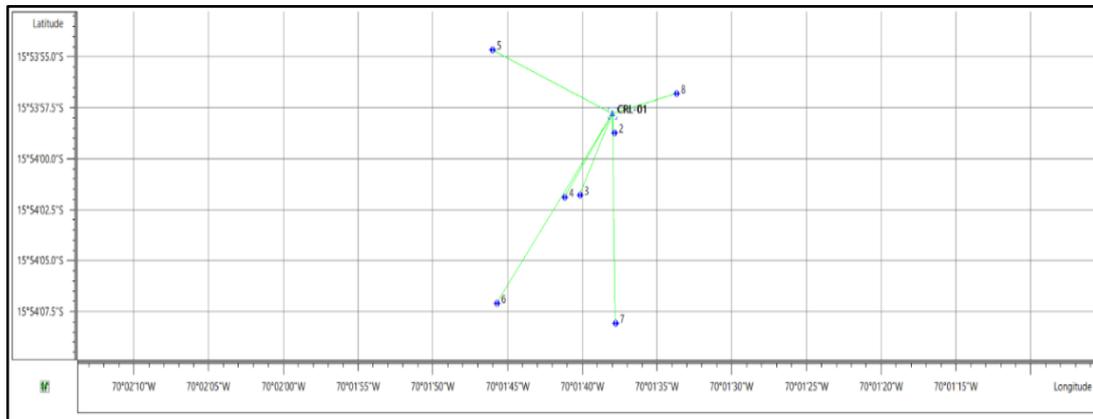
Así mismo se ha verificado el comportamiento de los satélites los cuales fueron óptimos para el trabajo, la misma que nos da la confiabilidad para el cálculo de coordenadas:



**Figura 50: Comportamiento de Satélites en la Toma de Datos**

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

La información es analizada y se realiza el post proceso de las líneas bases generadas a través de las estaciones GPS con el método PP Estático.



**Figura 51: Post Proceso de la Información Mediante el GPS Diferencial**

### GR5

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

### Resultados obtenidos del post proceso por el método cinemático

Finalmente, los resultados obtenidos de los puntos CRL – 02, CRL – 03, CRL – 04, CRL – 05, CRL – 06, CRL – 07, CRL – 08 a partir del punto CRL – 01 son:

**Tabla 20: Coordenadas UTM WGS-84**

COORDENADAS UTM WGS-84			
Name	Grid Easting (m)	Grid Northing (m)	Elevation Geoidal(m)
2	390039.8703	8241894.8941	3999.3434
3	389971.7579	8241800.8390	4005.2720
4	389941.1488	8241797.7281	4004.3906
5	389796.6964	8242018.3663	3992.1132
6	389807.0275	8241636.5046	3984.7366
7	390043.2786	8241608.2526	3978.2330
8	390163.7352	8241955.0882	3994.9052
CRL-01	390036.6283	8241924.4298	4001.0816

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3



**Tabla 21: Factor escala - factor combinado**

FACTOR ESCALA - FACTOR COMBINADO			
Name	Combined Grid to Ground Scale Factor	Combined Ground to Grid Scale Factor	Convergence
2	1.000885578	0.999115206	0°16'53.1474"
3	1.000886322	0.999114462	0°16'53.8319"
4	1.000886101	0.999114684	0°16'54.1158"
5	1.00088378	0.999117001	0°16'55.3124"
6	1.000882648	0.99911813	0°16'55.4493"
7	1.000882271	0.999118506	0°16'53.2898"
8	1.000885218	0.999115565	0°16'51.9699"
CRL-01	1.000885842	0.999114942	0°16'53.1593"

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

$$K_c = K_p * K_h$$

Donde:

$K_c$  : factor de escala combinado

$K_p$  : factor de escala por proyección cartográfica

$K_h$  : factor de escala por altura elipsoidal

**Tabla 22: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations										
Name	dX (m)	dY (m)	dZ (m)	Elevation Angle	Start Time	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Duration	Time
CRL-01-2	-0.426	10.246	-27.969	-3°20'47.9899"	14/09/2019 11:48	-29.535	3.242	-1.739	00:00:08	14/09/2019 21:16
CRL-01-3	-71.763	5.599	-119.806	1°42'56.8510"	14/09/2019 11:51	-123.59	-64.87	4.1864	00:00:08	14/09/2019 21:16
CRL-01-4	-101.137	-3.31	-122.414	1°11'29.3125"	14/09/2019 11:52	-126.701	-95.479	3.3045	00:00:06	14/09/2019 21:16
CRL-01-5	-219.302	-98.267	94.014	-1°59'34.5626"	14/09/2019 11:57	93.936	-239.93	-8.9687	00:00:08	14/09/2019 21:16
CRL-01-6	-249.544	9.723	-271.581	-2°32'32.5828"	14/09/2019 12:03	-287.923	-229.599	-16.3553	00:00:06	14/09/2019 21:16
CRL-01-7	-32.331	103.896	-298.113	-4°07'54.1800"	14/09/2019 12:07	-316.175	6.65	-22.857	00:00:08	14/09/2019 21:16
CRL-01-8	120.491	41.348	30.602	-2°42'06.0979"	14/09/2019 12:12	30.658	127.106	-6.1741	00:00:08	14/09/2019 21:16

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 23: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations										
Name	Azimuth	Distance (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)	Duration	Solution Type	Orbit	Epochs	Rover Ant Height Method	
CRL-01-2	174°01'02.6051"	29.79	0.008	0.0167	00:00:08	Fixed	Precise	1	Vertical	
CRL-01-3	207°58'31.6461"	139.767	0.008	0.0135	00:00:08	Fixed	Precise	1	Vertical	
CRL-01-4	217°16'55.7942"	158.823	0.009	0.0157	00:00:06	Fixed	Precise	1	Vertical	
CRL-01-5	291°39'45.0374"	258.047	0.008	0.0139	00:00:08	Fixed	Precise	1	Vertical	
CRL-01-6	218°51'04.7825"	368.949	0.009	0.0164	00:00:06	Fixed	Precise	1	Vertical	
CRL-01-7	179°04'35.4350"	317.35	0.008	0.0148	00:00:08	Fixed	Precise	1	Vertical	
CRL-01-8	76°43'13.9764"	131.012	0.008	0.0149	00:00:08	Fixed	Precise	1	Vertical	

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 24: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations									
Name	GPS Satellites	GLONASS Satellites	PDOP	HDOP	VDOP	Status	RMS	Time	Satellite System
CRL-01-2	8	6				Adjusted	0.019	14/09/2019 21:16	GPS+
CRL-01-3	9	6	1.3	0.675	1.11	Adjusted	0.016	14/09/2019 21:16	GPS+
CRL-01-4	9	6				Adjusted	0.018	14/09/2019 21:16	GPS+
CRL-01-5	9	6	1.314	0.67	1.13	Adjusted	0.016	14/09/2019 21:16	GPS+
CRL-01-6	9	6	1.33	0.665	1.151	Adjusted	0.019	14/09/2019 21:16	GPS+
CRL-01-7	9	6	1.341	0.663	1.165	Adjusted	0.017	14/09/2019 21:16	GPS+
CRL-01-8	9	6	1.36	0.66	1.189	Adjusted	0.017	14/09/2019 21:16	GPS+

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 25: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations									
Name	Base Antenna Type	Base Antenna Height (m)	Base Ant Height	Rover Antenna Type	Rover Antenna	Rover Antenna	Rover Ant Height		
CRL-01-2	GR-5/Atlas	1.817	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical	Vertical		
CRL-01-3	GR-5/Atlas	1.817	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical	Vertical		
CRL-01-4	GR-5/Atlas	1.817	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical	Vertical		
CRL-01-5	GR-5/Atlas	1.817	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical	Vertical		
CRL-01-6	GR-5/Atlas	1.817	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical	Vertical		
CRL-01-7	GR-5/Atlas	1.817	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical	Vertical		
CRL-01-8	GR-5/Atlas	1.817	Vertical	GR-5/Atlas	2	Vertical	Vertical		

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 26: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Observations							
Name	Res X (m)	Res Y (m)	Res Z (m)	North RMS(m)	East RMS(m)	Elevation Mask	Satellite System
CRL-01-2	0	0	0	0.006	0.006	10	GPS+
CRL-01-3	0	0	0	0.006	0.005	10	GPS+
CRL-01-4	0	0	0	0.007	0.006	10	GPS+
CRL-01-5	0	0	0	0.006	0.005	10	GPS+
CRL-01-6	0	0	0	0.007	0.006	10	GPS+
CRL-01-7	0	0	0	0.006	0.005	10	GPS+
CRL-01-8	0	0	0	0.006	0.005	10	GPS+

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

**Tabla 27: Datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcon**

GPS Occupations							
Point Name	Original Name	Receiver	Receiver Vendor	Method	GPS week,day	Interval (msec)	Antenna Type
CRL-01	CRL-01	SPUXXKABPJ4	Topcon	Static	2,070,257	5000	GR-5/Atlas
2	2	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Stop	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
3	2_K1	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Go	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
4	3	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Stop	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
5	3_K1	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Go	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
6	4	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Stop	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
7	4_K1	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Go	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
8	5	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Stop	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
9	5_K1	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Go	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
10	6	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Stop	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
11	6_K1	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Go	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
12	7	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Stop	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
13	7_K1	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Go	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
14	8	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Stop	2,070,257	2000	GR-5/Atlas
15	8_K1	SQ0SMPK5NUO	Topcon	Go	2,070,257	2000	GR-5/Atlas

FUENTE: Elaborado por el Software Topcon Tools v.8.2.3

### 3.6.5. Procedimiento de datos por el método Cinemática en Tiempo Real (RTK).

En esta etapa se realizó la última toma de datos con el GPS Diferencial GR5 Topcón, con el método RTK en Tiempo Real, los datos tomados son de los puntos CRL – 02, CRL – 03, CRL – 04, CRL – 05, CRL – 06, CRL – 07 y CRL – 08, a partir del punto de inicio CRL – 01.



**Figura 52: GPS Diferencial GR5 Listo para Inicio de Trabajo**

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 53: Grabado de Datos del Punto CRL – 02**

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

### Datos obtenidos por el método Cinemática en Tiempo Real (RTK)

Los datos tomados por el GPS Diferencial GR5 Topcón de los puntos CRL – 02, CRL – 03, CRL – 04, CRL – 05, CRL – 06, CRL – 07 y CRL – 08, a partir del punto inicial CRL – 01 son los siguientes.

**Tabla 28: Datos de los puntos CRL – 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07 Y 08**

Punto	Este	Norte	Altitud Geoidal
CRL - 01	390036.63	8241924.4	4001.082
CRL - 02	390039.87	8241894.9	3999.352
CRL - 03	389971.76	8241800.8	4005.281
CRL - 04	389941.15	8241797.7	4004.398
CRL - 05	389796.70	8242018.4	3992.112
CRL - 06	389807.02	8241636.5	3984.709
CRL - 07	390043.28	8241608.3	3978.232
CRL - 08	390163.73	8241955.1	3994.897

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 3.6.6. Procedimiento de obtención de datos de nivelación con el Nivel Electrónico

En esta etapa se realizó los trabajos de nivelación de nuestra Red de Nivelación, para los cual utilizamos el Nivel Electrónico DL – 503.



**Figura 54: Equipos Topográficos que se Utilizó en Nuestra Red de Nivelación**

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 55: Lectura en Vista Atras**

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 56: Placa de Apoyo para Puntos de Cambio**

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



Los datos tomados en nuestra libreta de campo son los siguientes

Tabla 29: Nivelación del circuito I

LIBRETA DE CAMPO (NIVELACIÓN)				
Equipo Topográfico: NIVEL ELECTRÓNICO DL - 503				
Punto	VA+	VA-	ALT INS	ALTITUD GEOIDAL
<b>CRL - 01</b>	0.388		4,001.470	4,001.082
PC1	0.287	2.990	3,998.767	3,998.480
PC2	0.202	4.966	3,994.003	3,993.801
PC3	0.201	4.705	3,989.499	3,989.298
PC4	0.184	4.733	3,984.950	3,984.766
PC5	0.359	4.778	3,980.531	3,980.172
PC6	2.327	3.695	3,979.163	3,976.836
PC7	3.992	0.260	3,982.895	3,978.903
PC8	4.528	0.182	3,987.241	3,982.713
PC9	3.522	0.267	3,990.496	3,986.974
PC10	2.446	0.248	3,992.694	3,990.248
<b>CRL - 05</b>	0.586	0.586	3,992.694	3,992.108
PC11	0.153	2.446	3,990.401	3,990.248
PC12	0.080	4.339	3,986.142	3,986.062
PC13	0.152	4.617	3,981.677	3,981.525
PC14	1.263	4.365	3,978.575	3,977.312
PC15	4.453	0.225	3,982.803	3,978.350
PC16	4.598	0.133	3,987.268	3,982.670
PC17	4.578	0.313	3,991.533	3,986.955
PC18	4.720	0.378	3,995.875	3,991.155
PC19	4.376	0.230	4,000.021	3,995.645
PC20	0.981	0.196	4,000.806	3,999.825
PC21	0.180	2.920	3,998.066	3,997.886
<b>CRL - 08</b>	3.160	3.160	3,998.066	3,994.906
PC22	0.866	0.179	3,998.753	3,997.887
PC23	2.283	1.244	3,999.792	3,997.509
<b>CRL - 02</b>	2.567	0.434	4,001.925	3,999.358
<b>CRL - 01</b>		0.840	4,001.085	4,001.085
<b>Comprobación matemática</b>				
	53.432	53.429		
<b>Diferencia</b>		0.003		0.003

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



**Tabla 30: Nivelación del circuito II**

<b>LIBRETA DE CAMPO (NIVELACIÓN)</b>				
<b>Equipo Topográfico: NIVEL ELECTRÓNICO DL - 503</b>				
<b>Punto</b>	<b>VA+</b>	<b>VA-</b>	<b>ALT INS</b>	<b>ALTITUD GEODAL</b>
<b>CRL - 03</b>	0.023		4,005.309	4,005.286
<b>PC1</b>	0.130	3.472	4,001.967	4,001.837
<b>PC2</b>	0.098	4.256	3,997.809	3,997.711
<b>PC3</b>	0.183	4.617	3,993.375	3,993.192
<b>PC4</b>	0.016	4.865	3,988.526	3,988.510
<b>PC5</b>	0.231	4.970	3,983.787	3,983.556
<b>PC6</b>	0.768	4.754	3,979.801	3,979.033
<b>PC7</b>	1.415	1.652	3,979.564	3,978.149
<b>CRL - 07</b>	1.352	1.353	3,979.563	3,978.211
<b>PC8</b>	2.868	1.402	3,981.029	3,978.161
<b>PC9</b>	3.355	0.254	3,984.130	3,980.775
<b>PC10</b>	3.349	0.142	3,987.337	3,983.988
<b>PC11</b>	2.790	0.139	3,989.988	3,987.198
<b>PC12</b>	2.878	0.091	3,992.775	3,989.897
<b>PC13</b>	2.783	0.353	3,995.205	3,992.422
<b>CRL - 08</b>	1.105	0.301	3,996.009	3,994.904
<b>PC14</b>	2.984	1.296	3,997.697	3,994.713
<b>PC15</b>	2.499	0.391	3,999.805	3,997.306
<b>CRL - 02</b>	1.158	0.450	4,000.513	3,999.355
<b>PC16</b>	4.058	0.516	4,004.055	3,999.997
<b>PC17</b>	2.319	0.240	4,006.134	4,003.815
<b>CRL - 03</b>		0.848	4,005.286	4,005.286
<b>Comprobación matemática</b>				
	36.362	36.362		
<b>Diferencia</b>		0.000		0.000

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



**Tabla 31: Nivelación del circuito III**

<b>LIBRETA DE CAMPO (NIVELACIÓN)</b>				
<b>Equipo Topográfico: NIVEL ELECTRÓNICO DL - 503</b>				
<b>Punto</b>	<b>VA+</b>	<b>VA-</b>	<b>ALT INS</b>	<b>ALTITUD GEODAL</b>
<b>CRL - 03</b>	1.294		4,006.579	4,005.285
<b>CRL - 04</b>	0.105	2.182	4,004.502	4,004.397
<b>PC1</b>	0.075	4.862	3,999.715	3,999.640
<b>PC2</b>	0.352	4.474	3,995.593	3,995.241
<b>PC3</b>	0.164	4.064	3,991.693	3,991.529
<b>PC4</b>	0.175	4.383	3,987.485	3,987.310
<b>PC5</b>	0.666	4.568	3,983.583	3,982.917
<b>PC6</b>	0.261	4.860	3,978.984	3,978.723
<b>PC7</b>	3.450	4.552	3,977.882	3,974.432
<b>PC8</b>	4.258	0.366	3,981.774	3,977.516
<b>PC9</b>	3.372	0.206	3,984.940	3,981.568
<b>CRL - 06</b>	0.234	0.234	3,984.940	3,984.706
<b>PC10</b>	0.452	2.930	3,982.462	3,982.010
<b>PC11</b>	0.335	4.956	3,977.841	3,977.506
<b>PC12</b>	1.062	3.766	3,975.137	3,974.075
<b>PC13</b>	2.332	0.440	3,977.029	3,974.697
<b>PC14</b>	2.198	0.382	3,978.845	3,976.647
<b>CRL - 07</b>	2.101	0.635	3,980.311	3,978.210
<b>PC15</b>	2.019	0.467	3,981.863	3,979.844
<b>PC16</b>	4.417	0.446	3,985.834	3,981.417
<b>PC17</b>	4.363	0.193	3,990.004	3,985.641
<b>PC18</b>	4.635	0.592	3,994.047	3,989.412
<b>PC19</b>	4.697	0.374	3,998.370	3,993.673
<b>PC20</b>	4.181	0.162	4,002.389	3,998.208
<b>PC21</b>	3.472	0.556	4,005.305	4,001.833
<b>CRL - 03</b>		0.023	4,005.282	4,005.282
<b>Comprobación matemática</b>				
	50.670	50.673		
<b>Diferencia</b>		-0.003		-0.003

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



**Tabla 32: Nivelación del circuito IV**

<b>LIBRETA DE CAMPO (NIVELACIÓN)</b>				
<b>Equipo Topográfico: NIVEL ELECTRÓNICO DL - 503</b>				
<b>Punto</b>	<b>VA+</b>	<b>VA-</b>	<b>ALT INS</b>	<b>ALTITUD GEOIDAL</b>
<b>CRL - 01</b>	0.418		4,001.500	4,001.082
<b>PC1</b>	0.060	2.986	3,998.574	3,998.514
<b>PC2</b>	0.125	4.562	3,994.137	3,994.012
<b>PC3</b>	0.033	4.602	3,989.568	3,989.535
<b>PC4</b>	0.284	4.754	3,985.098	3,984.814
<b>PC5</b>	0.150	4.481	3,980.767	3,980.617
<b>PC6</b>	3.138	3.901	3,980.004	3,976.866
<b>PC7</b>	4.147	0.266	3,983.885	3,979.738
<b>PC8</b>	4.840	0.339	3,988.386	3,983.546
<b>PC9</b>	4.360	0.369	3,992.377	3,988.017
<b>CRL - 05</b>	0.253	0.272	3,992.358	3,992.105
<b>PC10</b>	0.139	4.093	3,988.404	3,988.265
<b>PC11</b>	0.874	2.388	3,986.890	3,986.016
<b>PC12</b>	2.024	2.022	3,986.892	3,984.868
<b>PC13</b>	1.623	1.857	3,986.658	3,985.035
<b>PC14</b>	1.940	0.807	3,987.791	3,985.851
<b>PC15</b>	0.485	1.092	3,987.184	3,986.699
<b>CRL - 06</b>	0.234	2.477	3,984.941	3,984.707
<b>PC16</b>	0.187	4.669	3,980.459	3,980.272
<b>PC17</b>	0.487	4.771	3,976.175	3,975.688
<b>PC18</b>	4.689	0.405	3,980.459	3,975.770
<b>PC19</b>	4.285	0.308	3,984.436	3,980.151
<b>PC20</b>	4.687	0.158	3,988.965	3,984.278
<b>PC21</b>	4.616	0.108	3,993.473	3,988.857
<b>PC22</b>	4.609	0.207	3,997.875	3,993.266
<b>PC23</b>	4.468	0.141	4,002.202	3,997.734
<b>PC24</b>	2.791	0.085	4,004.908	4,002.117
<b>CRL - 04</b>	0.949	0.509	4,005.348	4,004.399
<b>PC25</b>	1.517	2.710	4,004.155	4,002.638
<b>PC26</b>	0.717	4.064	4,000.808	4,000.091
<b>PC27</b>	2.474	0.731	4,002.551	4,000.077
<b>CRL - 01</b>		1.467	4,001.084	4,001.084
<b>Comprobación matemática</b>				
	61.603		61.601	
<b>Diferencia</b>		0.002		0.002

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

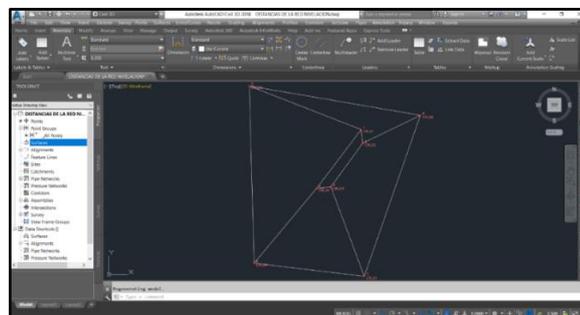
**Tabla 33: Nivelación del circuito V**

<b>LIBRETA DE CAMPO (NIVELACIÓN)</b>				
<b>Equipo Topográfico: NIVEL ELECTRÓNICO DL - 503</b>				
<b>Punto</b>	<b>VA+</b>	<b>VA-</b>	<b>ALT INS</b>	<b>ALTITUD GEOIDAL</b>
<b>CRL - 01</b>	0.870		4,001.952	4,001.082
<b>CRL - 02</b>	0.257	2.597	3,999.612	3,999.355
<b>PC1</b>	4.442	0.903	4,003.151	3,998.709
<b>PC2</b>	2.849	0.102	4,005.898	4,003.049
<b>CRL - 03</b>	1.080	0.613	4,006.365	4,005.285
<b>CRL - 04</b>	1.013	1.969	4,005.409	4,004.396
<b>PC3</b>	1.451	2.762	4,004.098	4,002.647
<b>PC4</b>	1.357	4.615	4,000.840	3,999.483
<b>PC5</b>	2.562	1.174	4,002.228	3,999.666
<b>CRL - 01</b>		1.147	4,001.081	4,001.081
<b>Comprobación matemática</b>				
	15.881	15.882		
<b>Diferencia</b>		-0.001		-0.001

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.6.6.1. Procedimiento de datos para obtención de distancia de nuestra red de nivelación.

En esta etapa se realizó la obtención de distancias entre vértices de los puntos CRL – 01, CRL – 02, CRL – 03, CRL – 04, CRL – 05, CRL – 06, CRL – 07 y CRL – 08, mediante la importación de coordenadas al programa Civil 3D, las coordenadas fueron obtenidos por el GPS Diferencias GR5 en modo estático fijo.



**Figura 57: Importación de Puntos en el Civil 3D para la Obtención de Distancias**

FUENTE: Elaborado por el Software AutoCad Civil 3D



Los datos recolectados mediante el Software Civil 3D que son las distancias de cada uno de los lados de nuestro polígono son:

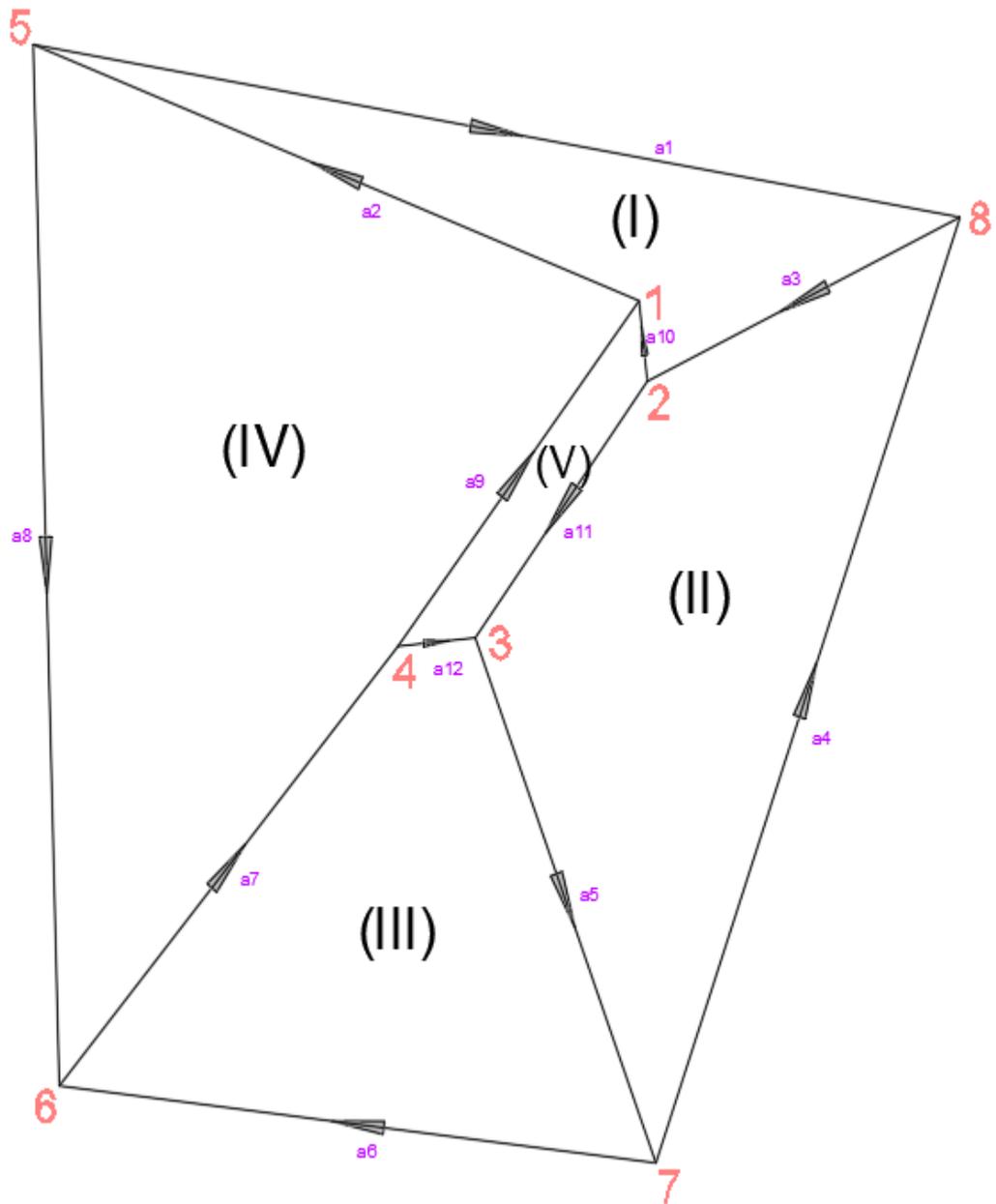
**Tabla 34: Distancias de lados obtenidos mediante el VICIL 3D**

<b>Vertices</b>	<b>DISTANCIA (m)</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>
CRL - 01 al CRL - 02	29.71	0.03
CRL - 02 al CRL - 03	116.129	0.116
CRL - 03 al CRL - 04	30.771	0.031
CRL - 04 al CRL - 01	158.654	0.159
CRL - 01 al CRL - 05	257.722	0.258
CRL - 05 al CRL - 06	381.998	0.382
CRL - 06 al CRL - 04	209.715	0.21
CRL - 06 al CRL - 07	237.948	0.238
CRL - 07 al CRL - 03	205.5	0.205
CRL - 07 al CRL - 08	367.22	0.367
CRL - 08 al CRL - 02	137.648	0.138
CRL - 05 al CRL - 08	372.519	0.373

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

### **3.6.6.2. Procedimiento de ajuste por mínimos cuadrados**

En esta etapa se realizó el ajuste de altitudes utilizando el método por mínimos cuadrados, la compensación se realiza con los datos obtenidos en nuestra nivelación con el nivel electrónico; a continuación, se muestra detalladamente la aplicación de la metodología del principio de mínimos cuadrados en los circuitos de nuestra Red de Nivelación, procedimiento detallado en el Anexo 5.



**Figura 58: Enumeración de Circuitos en la Red de Nivelación**

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Al utilizar el principio de mínimos cuadrados para nuestro ajuste de la red de nivelación se obtienen resultados de la siguiente manera:

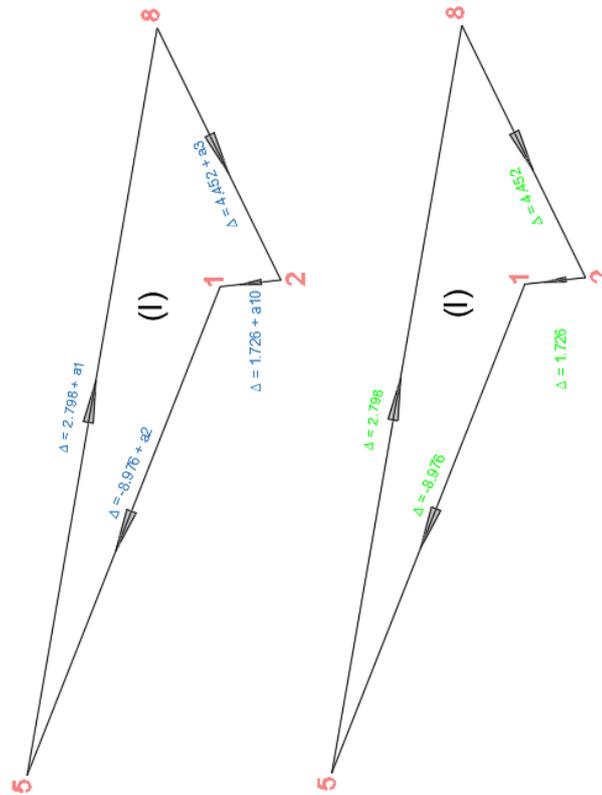


Figura 59: Ajuste del Circuito I

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

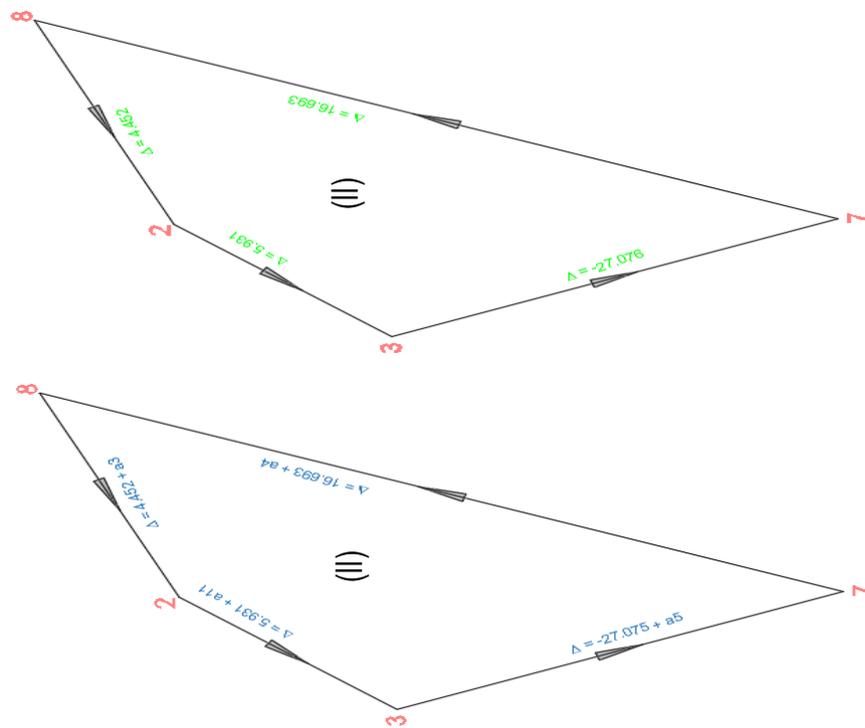
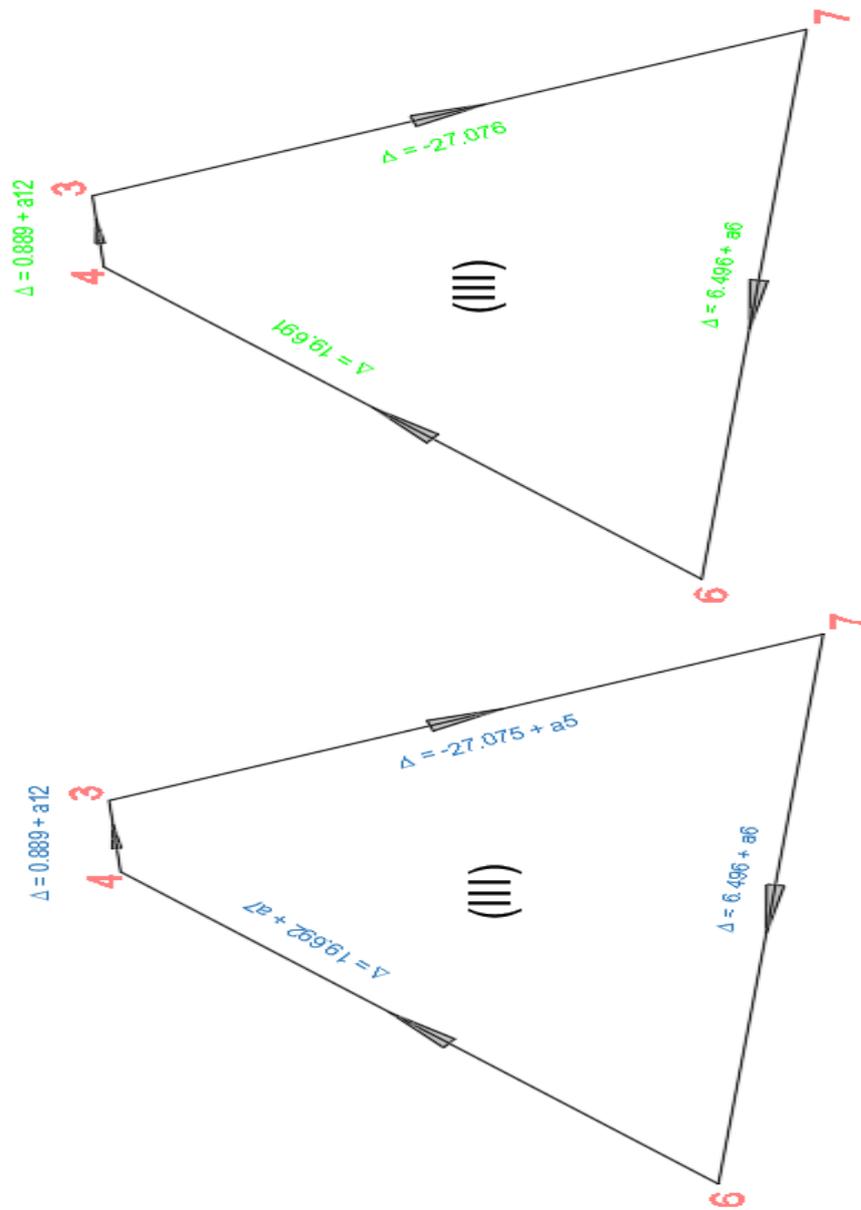


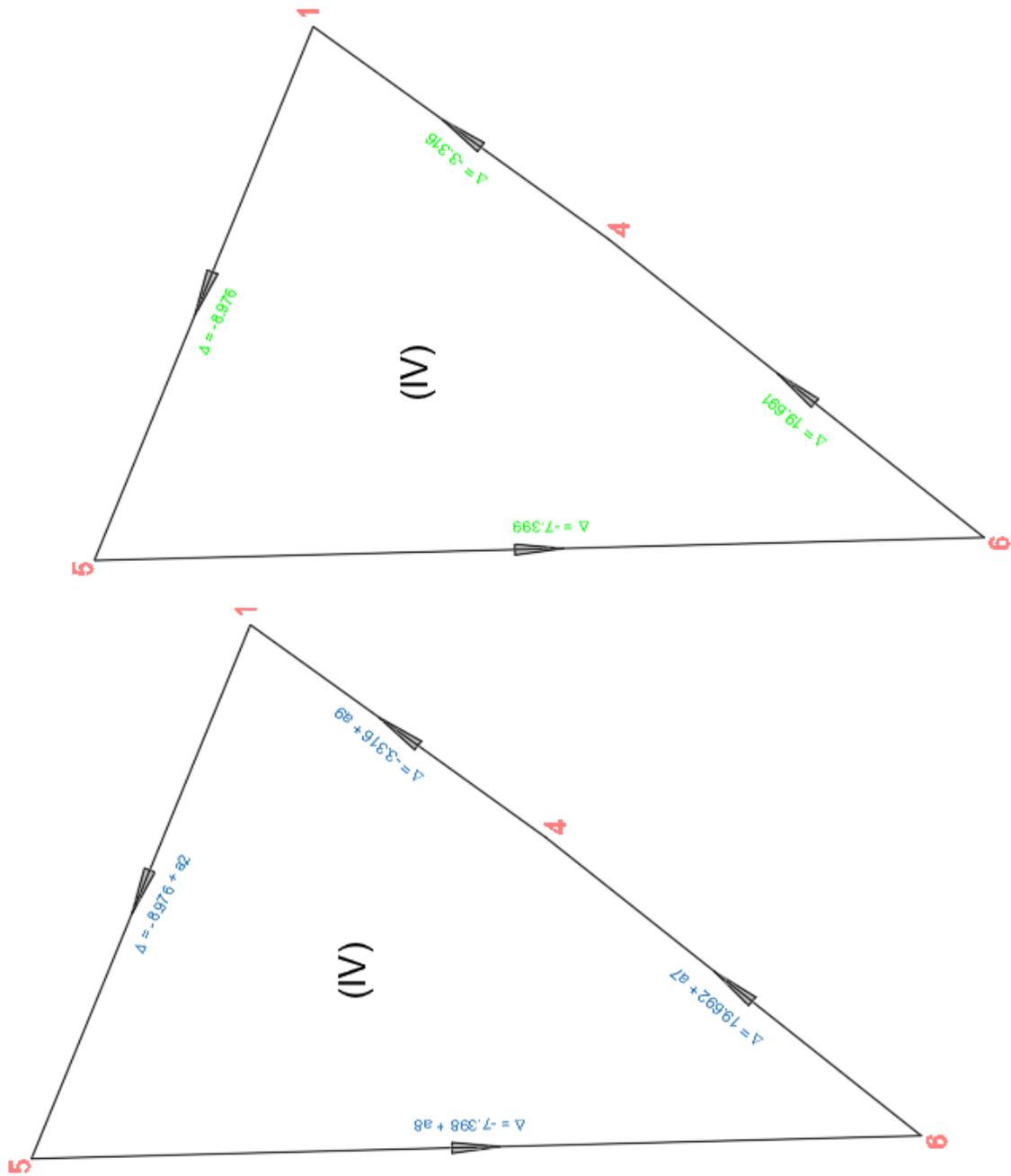
Figura 60: Ajuste del Circuito II

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



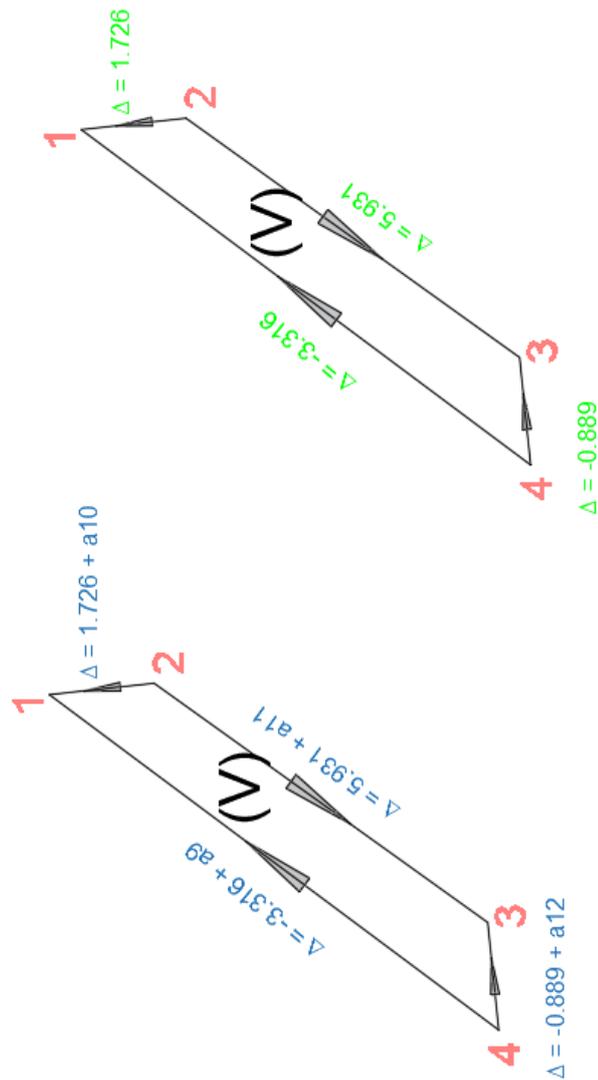
**Figura 61: Ajuste del Circuito III**

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 62: Ajuste del Circuito IV**

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 63: Ajuste del Circuito V**

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

**COMPROBANDO SE TIENE:**

- En el Circuito (I):  
 $2.484 - 8.976 + 1.726 + 4.452 = 0$  (CONFORME)
- En el Circuito (II):  
 $4.452 + 16.693 - 27.076 + 5.931 = 0$  (CONFORME)
- En el Circuito (III):  
 $-27.076 + 6.496 + 19.691 + 0.889 = 0$  (CONFORME)
- En el Circuito (IV):  
 $-8.976 + 19.691 - 7.399 - 3.316 = 0$  (CONFORME)
- En el Circuito (V):



$$3.316 + 1.726 - 5.931 + 0.889 = 0$$

(CONFORME)

Finalmente se obtiene las altitudes realizadas con el nivel electrónico.

**Tabla 35: Altitudes obtenidas con el nivel electrónico**

<b>Punto</b>	<b>Elevación Geoidal</b>
CRL - 01	4001.082
CRL - 02	3999.356
CRL - 03	4005.287
CRL - 04	4004.398
CRL - 05	3992.106
CRL - 06	3984.707
CRL - 07	3978.211
CRL - 08	3994.904

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.6.7. Resumen de altitudes Geoidales obtenidas con el Nivel Electrónico Y EL GPS Diferencial GR5 Topcon en modo ESTÁTICO FIJO, CINEMATICO Y RTK.

**Tabla 36: Resumen de altitudes geoidales obtenidos con el nivel electrónico y EL GPS Diferencial GR5**

<b>ALTITUDES GEOIDALES</b>				
	<b>N. Electrónico</b>	<b>GPS Diferencial</b>		
		<b>Estático Fijo</b>	<b>Cinemático</b>	<b>RTK</b>
CRL-01	4001.082	4001.082	4001.082	4001.082
CRL-02	3999.356	3999.356	3999.343	3999.352
CRL-03	4005.287	4005.289	4005.272	4005.281
CRL-04	4004.398	4004.397	4004.391	4004.398
CRL-05	3992.106	3992.109	3992.113	3992.112
CRL-06	3984.707	3984.727	3984.737	3984.709
CRL-07	3978.211	3978.238	3978.233	3978.232
CRL-08	3994.904	3994.907	3994.905	3994.897

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



### **3.7. Variables**

#### **3.7.1. Variables independientes**

Las variables independientes son los datos obtenidos por los equipos topográficos las cuales son el GPS Diferencial GR-5 y el Nivel Electrónico en la Red de Nivelación.

#### **3.7.2. Variables dependientes**

Las variables dependientes son las altitudes en m.s.n.m.m. de cada punto obtenido por el GPS Diferencial GR-5 y el Nivel Electrónico en la Red de Nivelación, dichas altitudes se llevarán bajo control de la tolerancia permisible, en este caso la tolerancia deberá ser referente a una Nivelación de Precisión.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados

##### 4.1.1 Tipo de Investigación y Estadística

El tipo de investigación que se empleó fue la investigación no experimental transversal con una confiabilidad del 95% para la contrastación del Nivel Electrónico frente al GPS Diferencial en modo Estático Fijo, Cinemático y RTK, para lo cual se utilizó la prueba estadística de t-Student para muestras independientes.

##### 4.1.2 Método estadístico

El análisis estadístico para la verificación de los objetivos propuestos, se ha usado diferencias de medias de dos poblaciones normales independientes de varianzas desconocidas con contraste bilateral en la cual se usa la t-Student. (Ibáñez, 2008)

La fórmula de estadígrafo de prueba es:

$$|t_c| = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}; \text{ con } GL = n_1 + n_2 - 2$$

Donde:

$\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$  : medias de la muestra 1 y 2.

$s_1^2$  y  $s_2^2$  : varianzas de las muestras 1 y 2.

$n_1$  y  $n_2$  : tamaño de las muestras 1 y 2.

$|t_c|$  : prueba estadística de t-Student con  $n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad.

$\mu_1 - \mu_2$  : diferencia de promedios de muestras poblacionales.

##### 4.1.3 Análisis de las muestras

$\bar{X}_1$  : promedio de altitudes obtenidas con el GPS Diferencial.



$\bar{X}_2$  : promedio de altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico.

#### 4.1.4 Variables independientes

Las variables independientes son los datos obtenidos por los equipos topográficos utilizados en diferentes métodos.

#### 4.1.5 Variables dependientes

Las variables dependientes son las altitudes en m.s.n.m. de cada punto obtenido por los equipos topográficos.

#### 4.1.6 Análisis Estadístico

##### 4.1.6.1 Objetivo específico 01

Comparar la precisión de las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Estático Fijo con las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión, para lo cual se utilizó la herramienta IBM SPSS Statistics 25.

#### A. Hipótesis

- $H_0$  = **No Existe** diferencia significativa entre las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Estático Fijo frente a las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.
- $H_a$  = **Existe** diferencia significativa entre las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Estático Fijo frente a las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.

## B. Normalidad

- Si  $p$  - valor  $> \alpha$ , entonces aceptar  $H_0$  = los datos provienen de una distribución normal.
- Si  $p$  - valor  $\leq \alpha$ , entonces Acepta  $H_a$  = los datos No provienen de una distribución normal.

**Tabla 37: Pruebas de normalidad**

Pruebas de Normalidad							
EQUIPOS		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístic	gl	Sig.	Estadístic	gl	Sig.
ALTITUDES	ESTATICO FIJO	0.175	8	,200*	0.924	8	0.463
	NIVEL						
	ELECTRONICO	0.175	8	,200*	0.924	8	0.461

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

**Tabla 38: Normalidad de calificación con datos obtenidos Shapiro-Wilk**

Pruebas de Normalidad					
p - valor ESTATICO FIJO	=	0.463	>	$\alpha = 0.05$	
p - valor NIVEL ELECTRONICO	=	0.461	>	$\alpha = 0.05$	

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

Por lo tanto, podemos decir que los datos obtenidos por el Nivel Electrónico y el GPS Diferencial provienen de una distribución normal.

**Tabla 39: Pruebas de muestras independientes**

		Prueba de Muestras Independientes								
		Prueba de		prueba t para la igualdad de medias						
ALTITUDES		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
ALTITUDES	Se asumen varianzas iguales	0.000	0.998	0.001	14	0.999	0.006750	4.801986	-10.292485	10.305985
	No se asumen varianzas iguales			0.001	14.000	0.999	0.006750	4.801986	-10.292486	10.305986

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

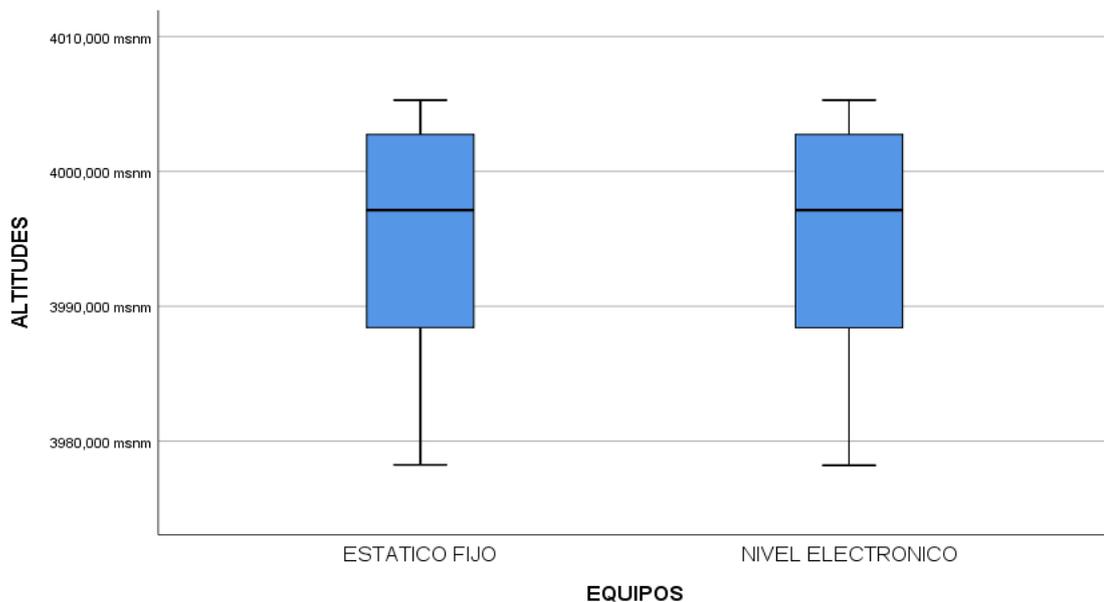
Por lo tanto, se deduce lo siguiente:

- $p - \text{valor} = 0.999 > \alpha = 0.05 \rightarrow$  no existe diferencia significativa en los datos de la muestra, por lo tanto, decimos que actúan homogéneamente.

#### 4.2.6.1.1. p – valor de la prueba t-Student de muestras independientes

- $p - \text{valor} \leq \alpha$ , se rechaza  $H_0$ , (se acepta  $H_a$ ).
- $P - \text{valor} > \alpha$ , no se rechaza  $H_0$ , (se acepta  $H_0$ ).

t PARA IGUALDAD DE MEDIA:  $P - \text{valor} = 0,999 > \alpha = 0.05$



**Figura 64: Diagrama donde se aprecia la contrastación del Nivel Electrónico y el GPS-Estático Fijo**

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25



En este caso la Hipótesis **H<sub>0</sub>** no se rechaza, se acepta la hipótesis nula, por lo tanto; **No Existe** una diferencia significativa entre la contrastación de altitudes obtenidas por el GPS Diferencial en Modo Estático Fijo frente al Nivel Electrónico.

#### 4.1.6.2 Objetivo específico 02

Comparar la precisión de las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Cinemática en Tiempo Real (RTK) con las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión, para lo cual se utilizó la herramienta IBM SPSS Statistics 25.

##### A. Hipótesis

- **H<sub>0</sub>** = **No Existe** diferencia significativa entre las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo (RTK) frente a las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.
- **H<sub>a</sub>** = **Existe** diferencia significativa entre las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo (RTK) frente a las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.

##### B. Normalidad

- Si  $p\text{-valor} > \alpha$ , entonces aceptar **H<sub>0</sub>** = los datos provienen de una distribución normal.
- Si  $p\text{-valor} \leq \alpha$ , entonces Acepta **H<sub>a</sub>** = los datos No provienen de una distribución normal.
-

**Tabla 40: Pruebas de normalidad**

EQUIPOS		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
		o			o		
ALTITUDES	RTK	0.175	8	,200*	0.924	8	0.461
	NIVEL ELECTRONICO	0.175	8	,200*	0.924	8	0.461

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

**Tabla 41: Normalidad de calificación con datos obtenidos Shapiro-Wilk**

Pruebas de Normalidad			
p - valor RTK	=	0.461	> $\alpha = 0.05$
p - valor NIVEL ELECTRONICO	=	0.461	> $\alpha = 0.05$

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

Por lo tanto, decimos que los datos obtenidos por el Nivel Electrónico y el GPS Diferencial provienen de una distribución normal.

**Tabla 42: Pruebas de muestras independientes**

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de		prueba t para la igualdad de medias				95% de intervalo de confianza de la diferencia		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
ALTITUDES	Se asumen varianzas iguales	0.000	0.999	0.000	14	1.000	0.001500	4.802685	-10.299235	10.302235
	No se asumen varianzas iguales			0.000	14.000	1.000	0.001500	4.802685	-10.299235	10.302235

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

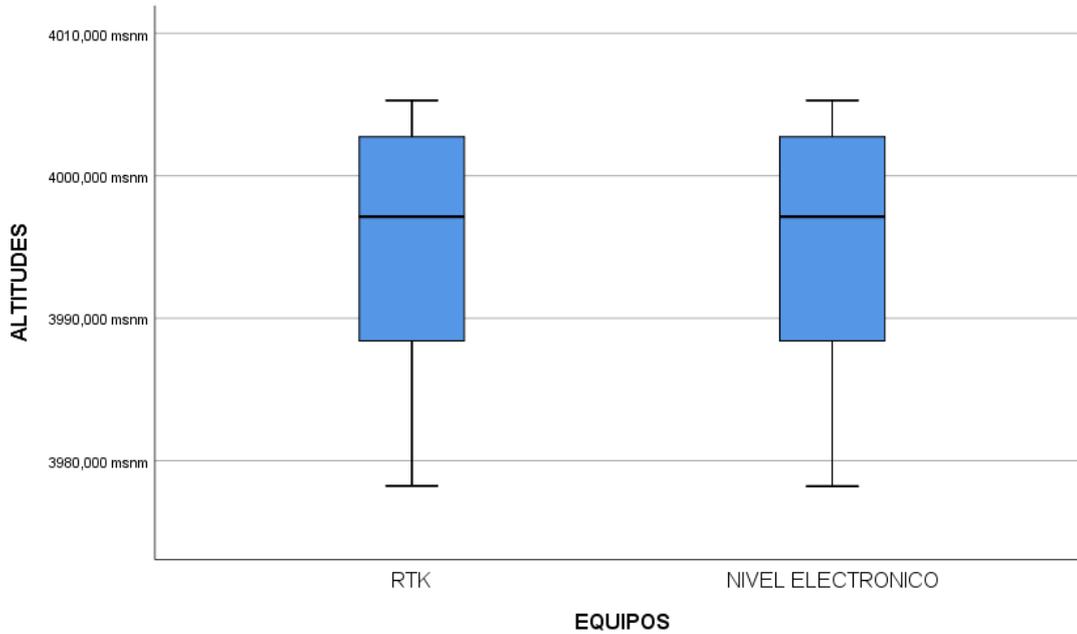
Por lo tanto, se deduce lo siguiente:

- $p - \text{valor} = 0.999 > \alpha = 0.05 \rightarrow$  no existe diferencia significativa en los datos de la muestra, por lo tanto, decimos que actúan homogéneamente.

### C. p – valor de la prueba T de student de muestras independientes

- p - valor  $\leq \alpha$ , se rechaza  $H_0$ , (se acepta  $H_a$ ).
- p - valor  $> \alpha$ , no se rechaza  $H_0$ , (se acepta  $H_0$ ).

t PARA IGUALDAD DE MEDIA: P-valor = 1.000  $> \alpha = 0.05$



**Figura 65: Diagrama donde se aprecia la contrastación del Nivel Electrónico y el GPS-Cinemático**

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

En este caso la Hipótesis  **$H_0$**  no se rechaza, se acepta la hipótesis nula, por lo tanto; **No Existe** diferencia significativa entre la contrastación de altitudes obtenidas por el GPS Diferencial en Modo RTK frente al Nivel Electrónico.

#### 4.1.6.3 Objetivo específico 03

Comparar la precisión de las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Cinemático con las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión, para lo cual se utilizó la herramienta IBM SPSS Statistics 25.

##### A. Hipótesis

- $H_0 =$  **No Existe** diferencia significativa entre las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Estático Fijo frente a las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.
- $H_a =$  **Existe** diferencia significativa entre las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial en Modo Estático Fijo frente a las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión.

##### B. Normalidad

- Si  $p$  - valor  $> \alpha$ , entonces aceptar  $H_0 =$  los datos provienen de una distribución normal.
- Si  $p$  - valor  $\leq \alpha$ , entonces Acepta  $H_a =$  los datos No provienen de una distribución normal.

**Tabla 43: Pruebas de normalidad**

EQUIPOS		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ALTITUDES	CINEMATICO	0.174	8	,200 <sup>*</sup>	0.924	8	0.462
	NIVEL ELECTRONICO	0.175	8	,200 <sup>*</sup>	0.924	8	0.461

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

**Tabla 44: Normalidad de calificación con datos obtenidos Shapiro-Wilk**

Pruebas de Normalidad				
p - valor CINEMATICO	=	0.462	>	$\alpha = 0.05$
p - valor NIVEL ELECTRONICO	=	0.461	>	$\alpha = 0.05$

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

Por lo tanto, decimos que los datos obtenidos por el Nivel Electrónico y el GPS Diferencial provienen de una distribución normal.

**Tabla 45: Pruebas de muestras independientes**

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
ALTITUDES	Se asumen varianzas iguales	0.000	0.996	0.001	14	0.999	0.003125	4.800804	-10.293576	10.299826
	No se asumen varianzas iguales			0.001	14.000	0.999	0.003125	4.800804	-10.293579	10.299829

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

Por lo tanto, se deduce lo siguiente:

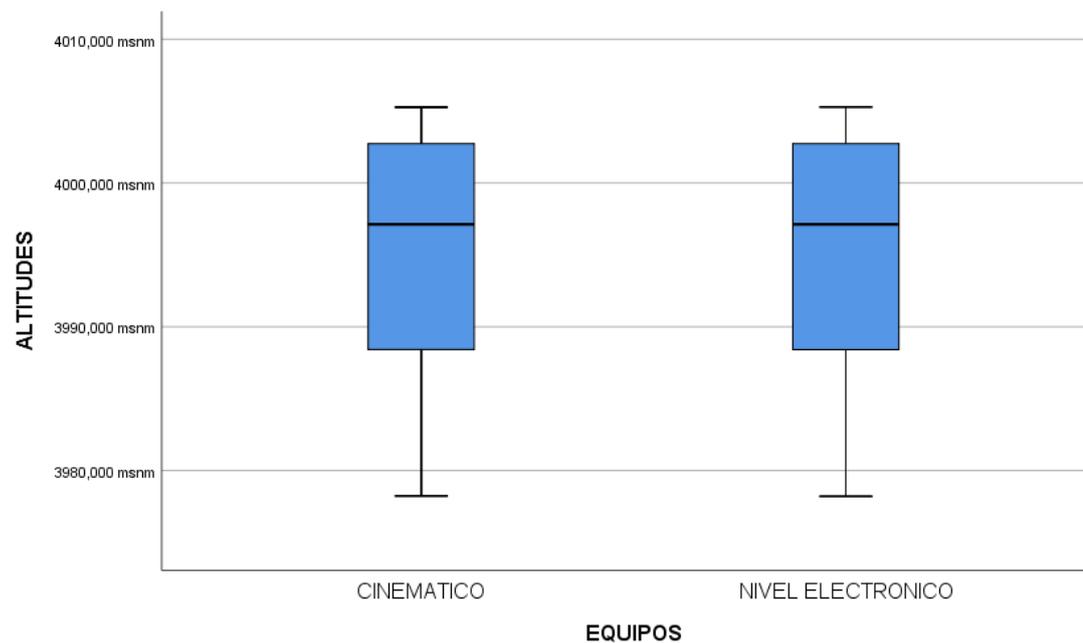
- $p - \text{valor} = 1.000 > \alpha = 0.05 \rightarrow$  no existe diferencia significativa en los datos de la muestra, por lo tanto, decimos que actúan homogéneamente.

### C. p – valor de la prueba T de student de muestras independientes

- $p - \text{valor} \leq \alpha$ , se rechaza  $H_0$ , (se acepta  $H_a$ ).
- $p - \text{valor} > \alpha$ , no se rechaza  $H_0$ , (se acepta  $H_0$ ).

t PARA IGUALDAD DE MEDIA:  $p - \text{valor} = 0.999 > \alpha = 0.05$

**Figura 66: Diagrama donde se Apprecia la contrastación del Nivel  
Electrónico y el GPS-RTK**



FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

En este caso la Hipótesis **H<sub>0</sub>** no se rechaza, se acepta la hipótesis nula, por lo tanto; **No Existe** diferencia significativa entre la contrastación de altitudes obtenidas por el GPS Diferencial en Modo Cinemático frente al Nivel Electrónico.

#### 4.1.6.4 Objetivo específico 04

Para el cuarto objetivo que es; determinar el tiempo en la obtención de altitudes por cada uno de los equipos topográficos en una Red de Nivelación de precisión.

Se usa la prueba estadística Anova, determinando de este modo con el análisis estadístico de Duncan.

En este objetivo se tienen el resumen de tiempo al obtener las altitudes por los dos equipos topográficos.

**Tabla 46: Resumen de tiempo de obtención de altitudes**

	<b>NIVEL ELECTRONICO</b>	<b>ESTATICO FIJO</b>	<b>RTK</b>	<b>CINEMATICO</b>
CRL - 01	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
CRL - 02	00:04:12	00:35:20	00:00:30	00:12:55
CRL - 03	00:16:05	00:37:50	00:00:32	00:13:54
CRL - 04	00:03:58	00:31:55	00:00:26	00:12:12
CRL - 05	00:51:55	00:32:20	00:00:20	00:14:20
CRL - 06	00:24:30	00:31:55	00:00:26	00:11:58
CRL - 07	00:18:35	00:32:15	00:00:18	00:13:56
CRL - 08	00:38:50	00:30:45	00:00:27	00:12:45

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

### A. Diseño experimental

En el presente trabajo de investigación se utilizó diseño completo al azar (DCA), para determinar el tiempo en la obtención de altitudes por cada uno de los equipos topográficos. (Ibáñez, 2008)

### B. Variables en el estudio

En el presente trabajo de investigación el único factor de estudio para el cuarto objetivo es el tiempo en la obtención de las altitudes, tomadas con el GPS Diferencial GR-5 y el tiempo en la obtención de las altitudes tomadas con el Nivel Electrónico.

### C. Diseño completo al azar (DCA)

$$Y_{ij} = U + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, 3, \dots, t \\ j = 1, 2, 3, \dots, r \end{array}$$

Donde:

$Y_{ij}$  : Es una observación en la J-ésimo experimental, sujeto al i-ésimo tratamiento.

$U$  : Es el efecto de la media general o constante común.



$\tau_i$  : Es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  : Es el efecto verdadero de la  $j$ -ésima unidad (replica), sujeto al  $i$ -ésimo tratamiento (error experimental).

#### D. Anova de un factor

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

#### E. Hipótesis

- $H_0 =$  **No Existe** diferencia en el tiempo de obtención de altitudes de ambos equipos topográficos.
- $H_a =$  **Existe** diferencia en el tiempo de obtención de altitudes de ambos equipos topográficos.

#### F. Normalidad

- Si  $p$  - valor  $> \alpha$ , entonces aceptar  $H_0 =$  los datos provienen de una distribución normal.
- Si  $p$  - valor  $\leq \alpha$ , entonces Acepta  $H_a =$  los datos No provienen de una distribución normal.

**Tabla 47: Prueba de normalidad**

EQUIPOS	Pruebas de Normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístic	gl	Sig.	Estadístic	gl	Sig.	
	ESTATICO	0.432	8	0.000	0.596	8	0.000
	FIJO						
TIEMPO	RTK	0.264	8	0.106	0.821	8	0.048
	CINEMATIC	0.414	8	0.000	0.590	8	0.000
	NIVEL	0.179	8	.200*	0.919	8	0.419

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

Tomando la significancia de Shapiro-Wilk decimos que.

- $p - \text{valor} \leq \alpha$ , entonces Acepta  $H_a$  = los datos No provienen de una distribución normal, siempre y cuando tan solo una media sea diferente a las demás.

**Tabla 48: Prueba Anova de una factor (Tiempo)**

ANOVA					
TIEMPO	Suma de	gl	Media	F	Sig.
Entre grupos	12842427.750	3	4280809.250	9.583	0.000
Dentro de	12508293.750	28	446724.777		
Total	25350721.500	31			

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

- $F - \text{valor} = 9.583 > 1.00 \rightarrow$  existe diferencia significativa en los datos de la muestra, por lo tanto, decimos que actúan homogéneamente.
- $p - \text{valor} = 0.000 < \alpha = 0.05 \rightarrow$  existe diferencia significativa en las medias
- Por lo tanto, aceptamos la Hipótesis  $H_a$ , decimos que hay diferencia entre las medias y que al menos hay una media diferente.



**Tabla 49: Homogeneidad de muestras**

<b>Prueba de Homogeneidad de Varianzas</b>					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TIEMPO	Se basa en la	5.771	3	28	0.003
	Se basa en la	4.341	3	28	0.012
	Se basa en la	4.341	3	16.018	0.020
	Se basa en la	5.084	3	28	0.006

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

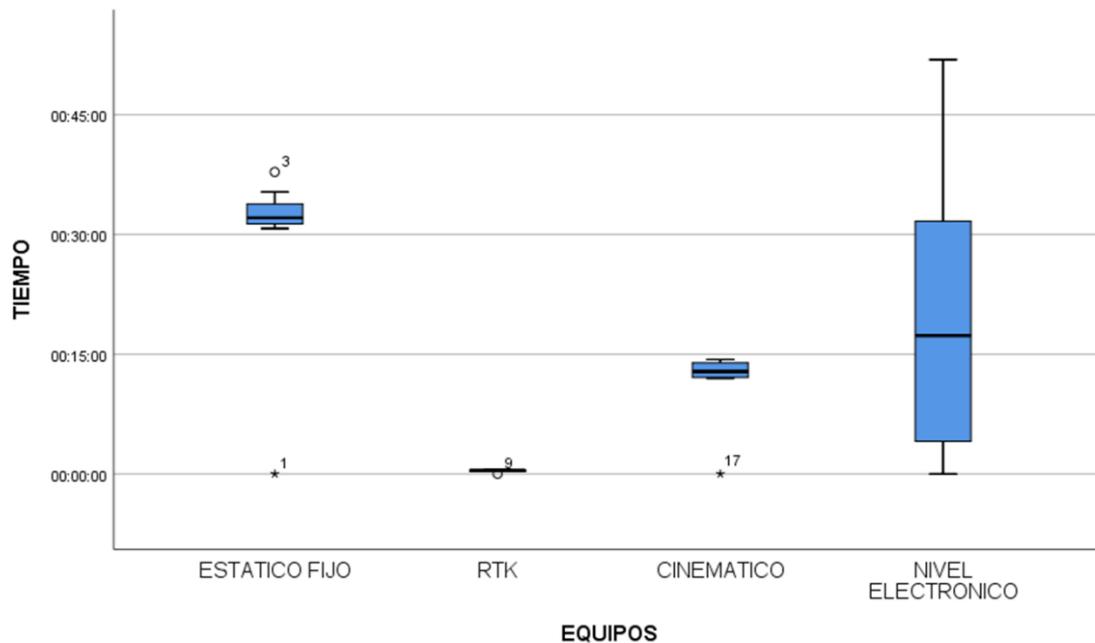
- $p$  – valor = 0.001; 0.005; 0.012; 0.002 <  $\alpha$  = 0.05 → las muestras actúan de forma homogénea.

**Tabla 50: Comparaciones de medias**

<b>Comparaciones Múltiples</b>								
EQUIPOS		Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al			
					Límite	Límite		
Bonferroni	ESTATICO	RTK	0:28:40*	0:05:34	0.000	0:12:51	0:44:28	
		FIJO	CINEMATICO	0:17:32*	0:05:34	0.023	0:01:43	0:33:21
			NIVEL	0:09:16	0:05:34	0.641	-0:06:31	0:25:05
	RTK	ESTATICO FIJO	-0:28:40*	0:05:34	0.000	-0:44:28	-0:12:51	
		CINEMATICO	-0:11:07	0:05:34	0.333	-0:26:56	0:04:41	
		NIVEL	-0:19:23*	0:05:34	0.010	-0:35:11	-0:03:34	
	CINEMATICO	ESTATICO FIJO	-0:17:32*	0:05:34	0.023	-0:33:21	-0:01:43	
		RTK	0:11:07	0:05:34	0.333	-0:04:41	0:26:56	
		NIVEL	-0:08:15	0:05:34	0.895	-0:24:04	0:07:33	
	NIVEL	ESTATICO FIJO	-0:09:16	0:05:34	0.641	-0:25:05	0:06:31	
	ELECTRONICO	RTK	0:19:23*	0:05:34	0.010	0:03:34	0:35:11	
		CINEMATICO	0:08:15	0:05:34	0.895	-0:07:33	0:24:04	

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25



**Figura 67: Diagrama donde se la Diferencia de Tiempo en la Obtención de Altitudes con ambos Equipo Métodos**

FUENTE: Elaborado por el Software IBM SPSS Statistics 25

En este caso la Hipótesis  $H_0$  se rechaza, y se acepta la Hipótesis alterna, por lo tanto; Existe diferencia significativa en el tiempo de obtención de altitudes por el GPS Diferencial GR-5 en Modo Estático Fijo, RTK y Cinemático conjuntamente con el Nivel Electrónico.

## 4.2. Discusiones

Según el proyecto “Test de análisis de la precisión en determinación de trayectorias con GPS, que consiste en evaluar la precisión y el potencial de un receptor GPS para la determinación de trayectorias trabajando en cinemático como método de observación, ya sea tanto en post-proceso como en tiempo real, utilizando una pareja de receptores Topcon modelo Hiper Pro y Topcon Tools v7.2 como software de post-procesado”; indica que trabajando con el método RTK, con estación propia se obtienen mejores resultados que desde una estación virtual, también se obtienen mejores resultados que en post-procesado. Esta precisión en determinación de trayectorias utilizando un



cinemático puro, es extrapolable al utilizar la técnica cinemática Stop and Go, en la que se hace una trayectoria donde se realiza una parada para levantar el punto en cuestión, el cual se obtiene con la media de 1 a 3 observaciones. (López Valdés, Amparo Núñez, y Gracia Gómez 2012)

En contrastación con el artículo mencionado anteriormente (López Valdés, Amparo Núñez, y Gracia Gómez 2012), se puede observar que se ha llegado casi a las mismas conclusiones con el presente trabajo de investigación, ya que también indica que trabajando con el método RTK con estación propia se tiene mejores resultados que de una estación virtual, en la presente investigación solamente se ha analizado las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial GR-5, del cual se concluyó que el modo RTK es uno de los métodos que nos permite obtener altitudes en menor tiempo y con una precisión adecuada en contrastación con un Nivel Electrónico.

Según el artículo “medición de puntos GPS por el método estático con equipo diferencial. Una experiencia didáctica en el instituto pedagógico de Maturín”, entre la gran proliferación de usos civiles que tiene el GPS está el GPS diferencial o DGPS, que es una alternativa para mejorar la precisión en las posiciones de los puntos medidos. En los espacios de la UPEL-IPMALA quedaron materializados en superficie tres puntos medidos con equipos DGPS con el método estático, usando como estación base el punto Carson ubicado en las inmediaciones del hangar del aeropuerto ya mencionado, perteneciente a la Red Geodésica Venezolana. Estas coordenadas están vinculadas al sistema SIRGAS-REGVEN y según el procesamiento de los datos generados de la información se obtuvieron desviaciones estándar en las coordenadas de posición norte y este en el orden de  $\pm 2$  a  $\pm 8$  mm con una media de  $\pm 4,6$  mm para la coordenada norte y  $\pm 6$  mm para la coordenada este, mientras que en la coordenada altura (cota) se obtuvo una desviación estándar entre  $\pm 2$  mm a  $\pm 1,2$  cm y una media de 2,3 cm en la referida



coordenada, confirmando con esto una excelente calidad en general de las mediciones y coordenadas obtenidas. (Agüero-Corzo, Montilla-Pacheco, y Valero-Segovia 2018)

En comparación con el anterior artículo se puede observar que se ha obtenido una desviación estándar entre  $\pm 2$  mm a  $\pm 1,2$  cm y una media de 2,3 cm en altura, la presente investigación ha llegado a una conclusión general en donde se demuestra que el método RTK nos proporciona altitudes con precisión y en menor tiempo, una conclusión casi similar al artículo por (Agüero-Corzo, Montilla-Pacheco, y Valero-Segovia 2018)



## V. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Al comparar las altitudes geoidales obtenidas con el GPS Diferencial GR-5 en Modo Estático Fijo, RTK y Cinemático con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación, No existe diferencia significativa, por tanto, las precisiones de las altitudes de ambos equipos son aceptables para los trabajos de construcción, carreteras, entre otros.

**SEGUNDA:** Al comparar la precisión de las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial GR-5 en Modo Estático Fijo con las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión, se llega a la conclusión siguiente: se acepta la hipótesis nula, por lo tanto; **NO EXISTE** diferencia estadísticamente significativa entre las altitudes obtenidas por el GPS Diferencial en Modo Estático Fijo en contrastación frente al Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de Precisión.

**TERCERA:** Al comparar la precisión de las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial GR-5 en Modo RTK con las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión, se llega a la conclusión siguiente: se acepta la hipótesis nula, por lo tanto; **NO EXISTE** una diferencia estadísticamente significativa al comparar las altitudes obtenidas por el GPS Diferencial en Modo RTK en contrastación con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de Precisión.

**CUARTA:** Al comparar la precisión de las altitudes obtenidas con el GPS Diferencial GR-5 en Modo Cinemático con las altitudes obtenidas con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de precisión, se llega a la conclusión siguiente: se acepta la hipótesis nula, por lo tanto; **NO EXISTE** una diferencia estadísticamente significativa al comparar las altitudes obtenidas por el GPS Diferencial en Modo Cinemático en contrastación con el Nivel Electrónico en una Red de Nivelación de Precisión.



**QUINTA:** Al comparar el tiempo de obtención de las altitudes utilizando el GPS Diferencial GR-5 y el Nivel Electrónico se llega a la conclusión siguiente: se acepta la hipótesis alterna, por lo tanto; **EXISTE** una diferencia estadísticamente significativa en la determinación del tiempo de obtención de altitudes al utilizar ambos equipos topográficos. Y se determina que el uso del GPS Diferencial GR-5 en Modo RTK (Cinemático en tiempo real) se obtienen las altitudes en un menor tiempo y con una precisión confiable.



## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERO:** Se recomienda realizar más investigaciones en el área de altimetría ya que es utilizado en todos los proyectos de construcción como: cálculo de volúmenes en movimientos de tierras, obras civiles, y entre otros.

**SEGUNDO:** Se recomienda trasladar altitudes con GPS Diferencial en Modo RTK (Cinemático en tiempo real) para longitudes topográficas.

**TERCERO:** Se recomienda realizar los puntos de cambio durante la nivelación con el nivel electrónico la ayuda de placas de apoyo (sapos), en cuales quiera sea el tipo y precisión de la nivelación, ya que este material nos ayuda a obtener un error mínimo en cuanto a los puntos de cambio.

**CUARTO:** Se recomienda seguir las instrucciones de nivelación, cuales quiera sea la clasificación de la nivelación, para poder obtener errores insignificantes en los trabajos encomendados por las entidades privadas y públicas.

**QUINTO:** Se recomienda según el presente trabajo de investigación, tener en cuenta el uso del GPS Diferencial en modo RTK-Cinemático en Tiempo Real, para trabajos de ingeniería ya que los datos obtenidos mediante este equipo topográfico se obtienen en menor tiempo y son de precisión confiable.



## VII. REFERENCIAS

- Alcántara, A., & Introcaso, A. (2007). *Topografía y sus Aplicaciones*. México: Alfa y Omega.
- Agüero-Corzo, Eucaris del Carmen, Argenis de Jesús Montilla-Pacheco, and Gerardo José Valero-Segovia. (2018). "Medición de Puntos GPS Por El Método Estático Con Equipo Diferencial. Una Experiencia Didáctica En El Instituto Pedagógico de Maturín." *Tecné, Episteme y Didaxis: TED* (43): 137–53.
- Casanova, L. (2002). *Topografía Plana*. Mérida: Taller de Publicaciones de Ingeniería, ULA.
- Gámez, W. (2015). *Texto Básico Autoformativo de Topografía General / William R. Gámez Morales; revisado por David López. - 1a ed. - Managua: UNA, 2015*
- Garafulic Caviedes, P. (2016). *geodesia teoria y practica - Cartografía.cl*. Obtenido de [www.cartografia.cl/download/geodesiateorica.pdf](http://www.cartografia.cl/download/geodesiateorica.pdf)
- Ibañez Quispe, V. (2008). *Guía de Practicas de Métodos Estadísticos para la Investigación*. Puno: Editorial Universitaria.
- Instituto Geográfico Nacional, I.GN. (2016). *Especificaciones Técnicas para Levantamientos Geodésicos Verticales*. Recuperado de <https://www.ign.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/ESPECIFICACIONES-TECNICAS-PARA-LEVANTAMIENTOS-VERTICALES.pdf>
- Juan de Sanjosé Blasco, J. (2013). *Topografía para Estudios de Grado / José de Juanjosé Blasco, Emilio Martínez García, Mariló López González. 3ra Ed. – Madrid: Bellisco Ediciones Técnicas y Científicas*.
- López Valdés, Eduardo, Andrés Amparo Núñez, and Carlos Gracia Gómez. (2012). "Test de Análisis de La Precisión En Determinación de Trayectorias Con Gps." "
- Mendoza, J. (2011). *Topografía Técnicas Modernas*. Lima: Segrin E.I.R.L.
- Mendoza, J. (2017). *Topografía Técnicas Modernas*. Lima: Maraucano E.I.R.L.
- Odumosu, J. O., O. G. Ajayi, F. F. Idowu, and E. A. Adesina. 2018. "Evaluation of the Various Orthometric Height Systems and the Nigerian Scenario – A Case Study of Lagos State." *Journal of King Saud University - Engineering Sciences* 30(1): 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2015.09.002>.
- Priego de los Santos, E. (2015). *Topografía: Ejercicios de Instrumentación y*



*Observaciones Topográficas. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.*

Rincón Villalba, M. (2017). *Topografía: conceptos y aplicaciones / Mario Arturo*

*Rincon Villalba, Wilson Ernesto Vargas Vargas, Carlos Javier*

*Gonzalez Vergara. 1ra Ed. – Bogotá: Ecoe Ediciones, 2017.*

Ticona Kapquequi, R. F. (2012). *Obtención de Alturas Pseudo Ortométricas,*

*Aplicando la Tecnología GPS, Universidad Mayor de San Andres. La Paz,*

*Bolivia.*

Tassara, L. (2001). *Topografía I – II, 3ra Edición, Editorial Ciencias S.R.L.:Lima.*

Torres Nieto, A. (2016). *Topografía / Álvaro Torres Nieto, Eduardo Villate Bonilla,*

*5ta. Ed. – Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.*

## ANEXOS

### ANEXO 01. Monumentación de puntos de control CRL – 01 y CRL – 02

Se conlleva a realizar la respectiva monumentación o establecimiento de los dos puntos base, CRL – 01 y CRL – 02, los cuales nos fueron de gran ayuda por ser puntos de partida de la Red de Nivelación.



**Fotografía N° 1: Ubicación y Monumentación de Placas**



**Fotografía N° 2: Nivelación de Placa del Punto CRL - 01**



Fotografía N° 3: Punto Fijo CRL – 01 Terminado



Fotografía N° 4: Punto Fijo CRL – 02 Terminado

Se realiza el pintado de cada punto establecido sucesivamente según corresponda a cada punto, donde primero se pinta como base de color blanco y luego la descripción o nombre de cada punto correspondiente.

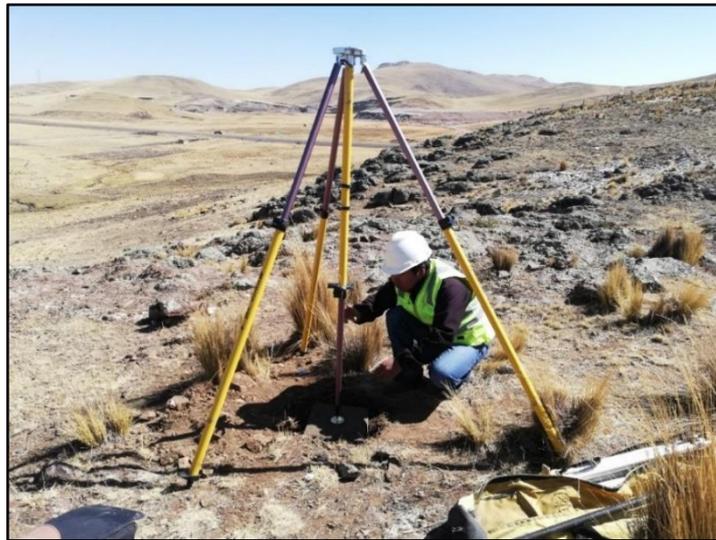


**Fotografía N° 5: Pintado y Codificación de Puntos**



**Fotografía N° 6: Codificación del Punto CRL – 03**

En esta etapa se empieza a la toma de datos, primeramente, se realiza la toma de datos de los puntos base CRL – 01 y CRL – 02, los datos se obtuvieron utilizando el GPS Diferencial GR5 Topcón, por el método Estático Fijo en la cual cada punto se estacionó con un tiempo aproximado de 6h, tiempo suficiente para la toma de datos según el tipo de orden de los mencionados puntos.



**Fotografía N° 7: Instalación del GPS Diferencial GR5**



**Fotografía N° 8: Grabación de Datos del Punto CRL - 02 Mediante el**

**GPS Diferencial GR5**

## ANEXO 02. Procedimiento de datos por el método estático fijo y cinemático

Una vez realizado la toma de datos de los puntos CRL – 01 y CRL – 02, se pasa a realizar en esta etapa la toma de datos de los puntos siguientes; CRL – 03, CRL – 04, CRL – 05, CRL – 06, CRL – 07 y CRL – 08, la toma de datos por el GPS Diferencial GR5 Topcón son por los métodos Estático Fijo y Cinemático.



**Fotografía N° 9: Toma de Datos del Punto CRL – 01**



**Fotografía N° 10: Toma de Datos del Punto CRL – 02**

### **ANEXO 03. Procedimiento de datos por el método RTK**

En esta etapa se realizó la última toma de datos con el GPS Diferencial GR5 Topcón, con el método RTK en Tiempo Real, los datos tomados son de los puntos CRL – 02, CRL – 03, CRL – 04, CRL – 05, CRL – 06, CRL – 07 y CRL – 08, a partir del punto de inicio CRL – 01.



**Fotografía N° 11: GPS Diferencial GR5 Listo para Inicio de Trabajo**



**Fotografía N° 12: Grabado de Datos del Punto CRL – 02**



**Fotografía N° 13: Grabado de Datos del Punto CRL – 03**

#### **ANEXO 04. Nivelación de la red con nivel electrónico**

En esta etapa se realizó los trabajos de nivelación de nuestra Red de Nivelación, para los cual utilizamos el Nivel Electrónico DL – 503.



**Fotografía N° 14: Equipos Topográficos que se Utilizó en Nuestra Red de Nivelación**



**Fotografía N° 15: Nivel Electrónico, Mira con Código de Barras,**

**Libreta de Campo y Otros**



**Fotografía N° 16: Placa de Apoyo para Puntos de Cambio Conocido**

**como Sapo**



**Fotografía N° 17: Lectura en Vista Atras**



## RESULTADOS DE LA NIVELACIÓN CON NIVEL ELECTRÓNICO

LIBRETA DE CAMPO (NIVELACIÓN)				
Equipo Topográfico: NIVEL ELECTRÓNICO DL - 503				
Punto	VA+	VA-	ALT INS	ALTITUD GEOIDAL
<b>CRL - 01</b>	0.388		4,001.470	4,001.082
PC1	0.287	2.990	3,998.767	3,998.480
PC2	0.202	4.966	3,994.003	3,993.801
PC3	0.201	4.705	3,989.499	3,989.298
PC4	0.184	4.733	3,984.950	3,984.766
PC5	0.359	4.778	3,980.531	3,980.172
PC6	2.327	3.695	3,979.163	3,976.836
PC7	3.992	0.260	3,982.895	3,978.903
PC8	4.528	0.182	3,987.241	3,982.713
PC9	3.522	0.267	3,990.496	3,986.974
PC10	2.446	0.248	3,992.694	3,990.248
<b>CRL - 05</b>	0.586	0.586	3,992.694	3,992.108
PC11	0.153	2.446	3,990.401	3,990.248
PC12	0.080	4.339	3,986.142	3,986.062
PC13	0.152	4.617	3,981.677	3,981.525
PC14	1.263	4.365	3,978.575	3,977.312
PC15	4.453	0.225	3,982.803	3,978.350
PC16	4.598	0.133	3,987.268	3,982.670
PC17	4.578	0.313	3,991.533	3,986.955
PC18	4.720	0.378	3,995.875	3,991.155
PC19	4.376	0.230	4,000.021	3,995.645
PC20	0.981	0.196	4,000.806	3,999.825
PC21	0.180	2.920	3,998.066	3,997.886
<b>CRL - 08</b>	3.160	3.160	3,998.066	3,994.906
PC22	0.866	0.179	3,998.753	3,997.887
PC23	2.283	1.244	3,999.792	3,997.509
<b>CRL - 02</b>	2.567	0.434	4,001.925	3,999.358
<b>CRL - 01</b>		0.840	4,001.085	4,001.085
<b>Comprobación matemática</b>				
	53.432	53.429		
<b>Diferencia</b>		0.003		0.003



<b>LIBRETA DE CAMPO (NIVELACIÓN)</b>				
<b>Equipo Topográfico: NIVEL ELECTRÓNICO DL - 503</b>				
<b>Punto</b>	<b>VA+</b>	<b>VA-</b>	<b>ALT INS</b>	<b>ALTITUD GEOIDAL</b>
<b>CRL - 03</b>	0.023		4,005.309	4,005.286
PC1	0.130	3.472	4,001.967	4,001.837
PC2	0.098	4.256	3,997.809	3,997.711
PC3	0.183	4.617	3,993.375	3,993.192
PC4	0.016	4.865	3,988.526	3,988.510
PC5	0.231	4.970	3,983.787	3,983.556
PC6	0.768	4.754	3,979.801	3,979.033
PC7	1.415	1.652	3,979.564	3,978.149
<b>CRL - 07</b>	1.352	1.353	3,979.563	3,978.211
PC8	2.868	1.402	3,981.029	3,978.161
PC9	3.355	0.254	3,984.130	3,980.775
PC10	3.349	0.142	3,987.337	3,983.988
PC11	2.790	0.139	3,989.988	3,987.198
PC12	2.878	0.091	3,992.775	3,989.897
PC13	2.783	0.353	3,995.205	3,992.422
<b>CRL - 08</b>	1.105	0.301	3,996.009	3,994.904
PC14	2.984	1.296	3,997.697	3,994.713
PC15	2.499	0.391	3,999.805	3,997.306
<b>CRL - 02</b>	1.158	0.450	4,000.513	3,999.355
PC16	4.058	0.516	4,004.055	3,999.997
PC17	2.319	0.240	4,006.134	4,003.815
<b>CRL - 03</b>		0.848	4,005.286	4,005.286
<b>Comprobación matemática</b>				
	36.362		36.362	
<b>Diferencia</b>		0.000		0.000



<b>LIBRETA DE CAMPO (NIVELACIÓN)</b>				
<b>Equipo Topográfico: NIVEL ELECTRÓNICO DL - 503</b>				
<b>Punto</b>	<b>VA+</b>	<b>VA-</b>	<b>ALT INS</b>	<b>ALTITUD GEOIDAL</b>
<b>CRL - 03</b>	1.294		4,006.579	4,005.285
<b>CRL - 04</b>	0.105	2.182	4,004.502	4,004.397
<b>PC1</b>	0.075	4.862	3,999.715	3,999.640
<b>PC2</b>	0.352	4.474	3,995.593	3,995.241
<b>PC3</b>	0.164	4.064	3,991.693	3,991.529
<b>PC4</b>	0.175	4.383	3,987.485	3,987.310
<b>PC5</b>	0.666	4.568	3,983.583	3,982.917
<b>PC6</b>	0.261	4.860	3,978.984	3,978.723
<b>PC7</b>	3.450	4.552	3,977.882	3,974.432
<b>PC8</b>	4.258	0.366	3,981.774	3,977.516
<b>PC9</b>	3.372	0.206	3,984.940	3,981.568
<b>CRL - 06</b>	0.234	0.234	3,984.940	3,984.706
<b>PC10</b>	0.452	2.930	3,982.462	3,982.010
<b>PC11</b>	0.335	4.956	3,977.841	3,977.506
<b>PC12</b>	1.062	3.766	3,975.137	3,974.075
<b>PC13</b>	2.332	0.440	3,977.029	3,974.697
<b>PC14</b>	2.198	0.382	3,978.845	3,976.647
<b>CRL - 07</b>	2.101	0.635	3,980.311	3,978.210
<b>PC15</b>	2.019	0.467	3,981.863	3,979.844
<b>PC16</b>	4.417	0.446	3,985.834	3,981.417
<b>PC17</b>	4.363	0.193	3,990.004	3,985.641
<b>PC18</b>	4.635	0.592	3,994.047	3,989.412
<b>PC19</b>	4.697	0.374	3,998.370	3,993.673
<b>PC20</b>	4.181	0.162	4,002.389	3,998.208
<b>PC21</b>	3.472	0.556	4,005.305	4,001.833
<b>CRL - 03</b>		0.023	4,005.282	4,005.282
<b>Comprobación matemática</b>				
	50.670	50.673		
<b>Diferencia</b>		-0.003		-0.003



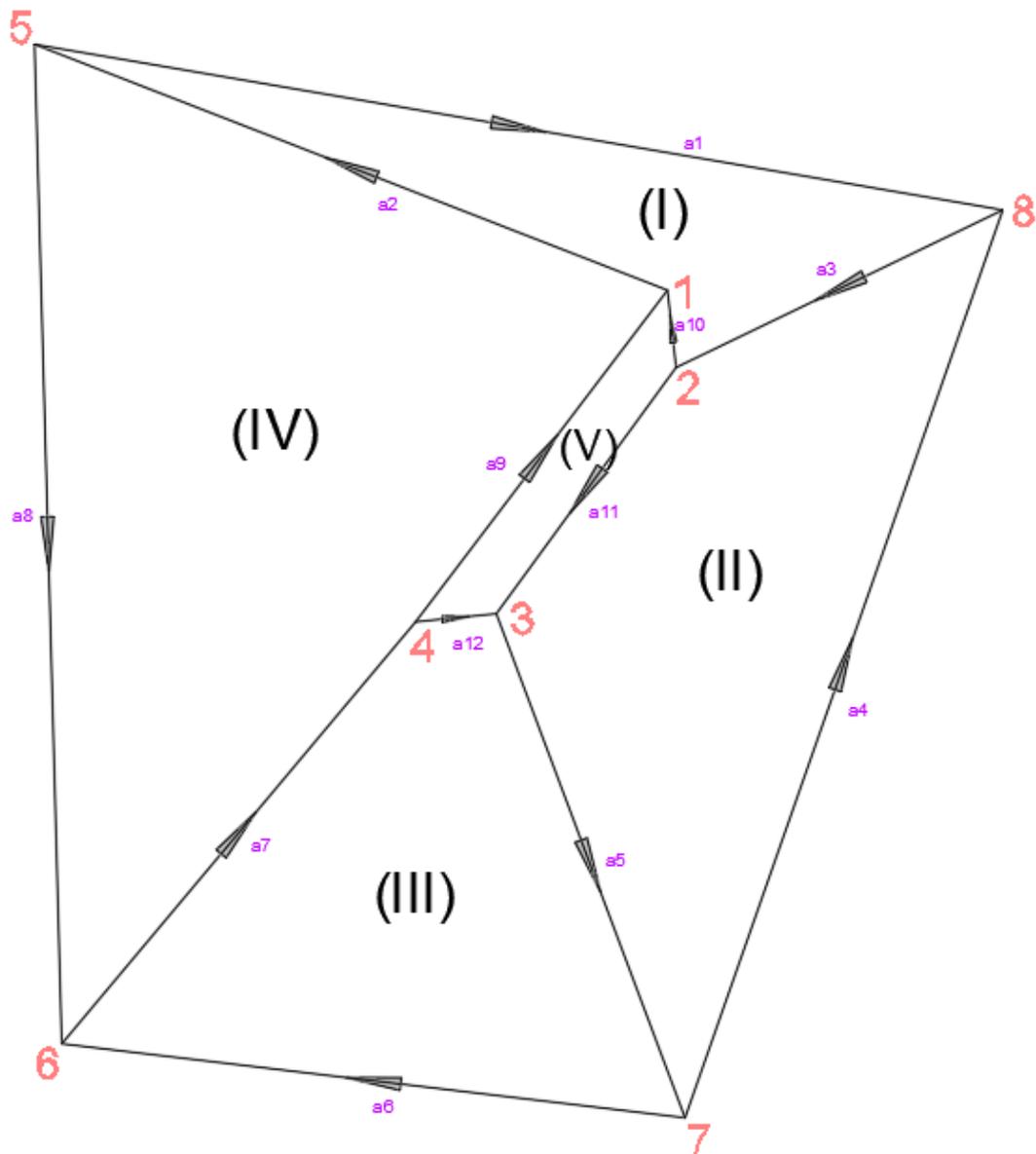
<b>LIBRETA DE CAMPO (NIVELACIÓN)</b>				
<b>Equipo Topográfico: NIVEL ELECTRÓNICO DL - 503</b>				
<b>Punto</b>	<b>VA+</b>	<b>VA-</b>	<b>ALT INS</b>	<b>ALTITUD GEOIDAL</b>
<b>CRL - 01</b>	0.418		4,001.500	4,001.082
PC1	0.060	2.986	3,998.574	3,998.514
PC2	0.125	4.562	3,994.137	3,994.012
PC3	0.033	4.602	3,989.568	3,989.535
PC4	0.284	4.754	3,985.098	3,984.814
PC5	0.150	4.481	3,980.767	3,980.617
PC6	3.138	3.901	3,980.004	3,976.866
PC7	4.147	0.266	3,983.885	3,979.738
PC8	4.840	0.339	3,988.386	3,983.546
PC9	4.360	0.369	3,992.377	3,988.017
<b>CRL - 05</b>	0.253	0.272	3,992.358	3,992.105
PC10	0.139	4.093	3,988.404	3,988.265
PC11	0.874	2.388	3,986.890	3,986.016
PC12	2.024	2.022	3,986.892	3,984.868
PC13	1.623	1.857	3,986.658	3,985.035
PC14	1.940	0.807	3,987.791	3,985.851
PC15	0.485	1.092	3,987.184	3,986.699
<b>CRL - 06</b>	0.234	2.477	3,984.941	3,984.707
PC16	0.187	4.669	3,980.459	3,980.272
PC17	0.487	4.771	3,976.175	3,975.688
PC18	4.689	0.405	3,980.459	3,975.770
PC19	4.285	0.308	3,984.436	3,980.151
PC20	4.687	0.158	3,988.965	3,984.278
PC21	4.616	0.108	3,993.473	3,988.857
PC22	4.609	0.207	3,997.875	3,993.266
PC23	4.468	0.141	4,002.202	3,997.734
PC24	2.791	0.085	4,004.908	4,002.117
<b>CRL - 04</b>	0.949	0.509	4,005.348	4,004.399
PC25	1.517	2.710	4,004.155	4,002.638
PC26	0.717	4.064	4,000.808	4,000.091
PC27	2.474	0.731	4,002.551	4,000.077
<b>CRL - 01</b>		1.467	4,001.084	4,001.084
<b>Comprobación matemática</b>				
	61.603		61.601	
<b>Diferencia</b>		0.002		0.002



<b>LIBRETA DE CAMPO (NIVELACIÓN)</b>				
<b>Equipo Topográfico: NIVEL ELECTRÓNICO DL - 503</b>				
<b>Punto</b>	<b>VA+</b>	<b>VA-</b>	<b>ALT INS</b>	<b>ALTITUD GEOIDAL</b>
<b>CRL - 01</b>	0.870		4,001.952	4,001.082
<b>CRL - 02</b>	0.257	2.597	3,999.612	3,999.355
<b>PC1</b>	4.442	0.903	4,003.151	3,998.709
<b>PC2</b>	2.849	0.102	4,005.898	4,003.049
<b>CRL - 03</b>	1.080	0.613	4,006.365	4,005.285
<b>CRL - 04</b>	1.013	1.969	4,005.409	4,004.396
<b>PC3</b>	1.451	2.762	4,004.098	4,002.647
<b>PC4</b>	1.357	4.615	4,000.840	3,999.483
<b>PC5</b>	2.562	1.174	4,002.228	3,999.666
<b>CRL - 01</b>		1.147	4,001.081	4,001.081
<b>Comprobación matemática</b>				
	15.881	15.882		
<b>Diferencia</b>		-0.001		-0.001

## ANEXO 05. Procedimiento de ajuste por mínimos cuadrados

En esta etapa se realizó el ajuste de altitudes utilizando el método por mínimos cuadrados, la compensación se realiza con los datos obtenidos en nuestra nivelación con el nivel electrónico; a continuación, se muestra detalladamente la aplicación de la metodología del principio de mínimos cuadrados en los circuitos de nuestra Red de Nivelación.



Enumeración de Circuitos en la Red de Nivelación



## DESNIVELES OBTENIDOS MEDIANTE LA NIVELACIÓN CON EL NIVEL ELECTRÓNICO:

### DESNIVELES DE CADA CIRCUITO.

EN EL CIRCUITO "I"			
a1	a2	a3	a10
2.798	-8.974	4.452	1.724

EN EL CIRCUITO "II"			
a3	a4	a5	a11
4.451	16.369	-27.075	5.931

EN EL CIRCUITO "III"			
a5	a6	a7	a12
-27.075	6.496	19.691	0.888

EN EL CIRCUITO "V"			
a9	a10	a11	a12
-3.314	1.727	5.930	0.889

EN EL CIRCUITO "IV"			
a2	a7	a8	a9
-8.977	16.692	-7.398	-3.317

### PROMEDIOS DE LOS DESNIVELES SEGÚN LA NIVELACIÓN EN CADA CIRCUITO:

Para  $a_2$  del circuito "I" y "IV" :  $\frac{-8.974-8.977}{2} = -8.9755 = -8.976$

Para  $a_3$  del circuito "I" y "II" :  $\frac{4.452+4.451}{2} = 4.4515 = 4.452$

Para  $a_7$  del circuito "III" y "IV":  $\frac{19.691+19.692}{2} = 19.6915 = 19.692$

Para  $a_9$  del circuito "IV" y "V" :  $\frac{-3.317-3.314}{2} = -3.3155 = -3.316$

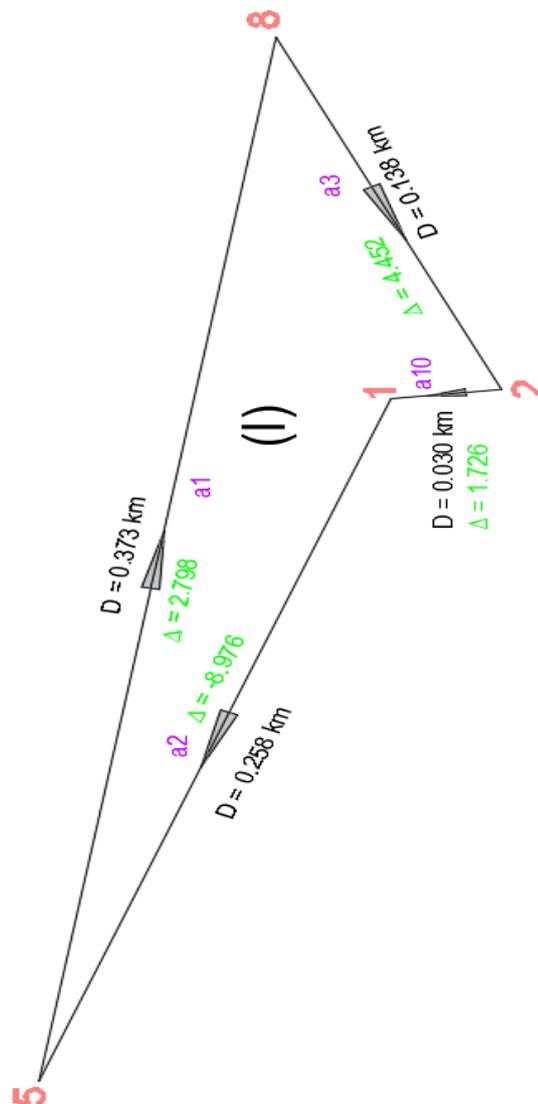
Para  $a_{10}$  del circuito "I" y "V" :  $\frac{1.724+1.727}{2} = 1.7255 = 1.726$

Para  $a_{11}$  del circuito "II" y "V" :  $\frac{5.931+5.930}{2} = 5.9305 = 5.931$

Para  $a_{12}$  del circuito "III" y "V":  $\frac{0.888+0.889}{2} = 0.8885 = 0.889$

Una vez obtenido el sentido de nuestra Red de Nivelación, de cada uno de los circuitos se obtienen las siguientes ECUACIONES DE CONDICIÓN según el principio de los Mínimos Cuadrados.

**Para el Circuito (I):**

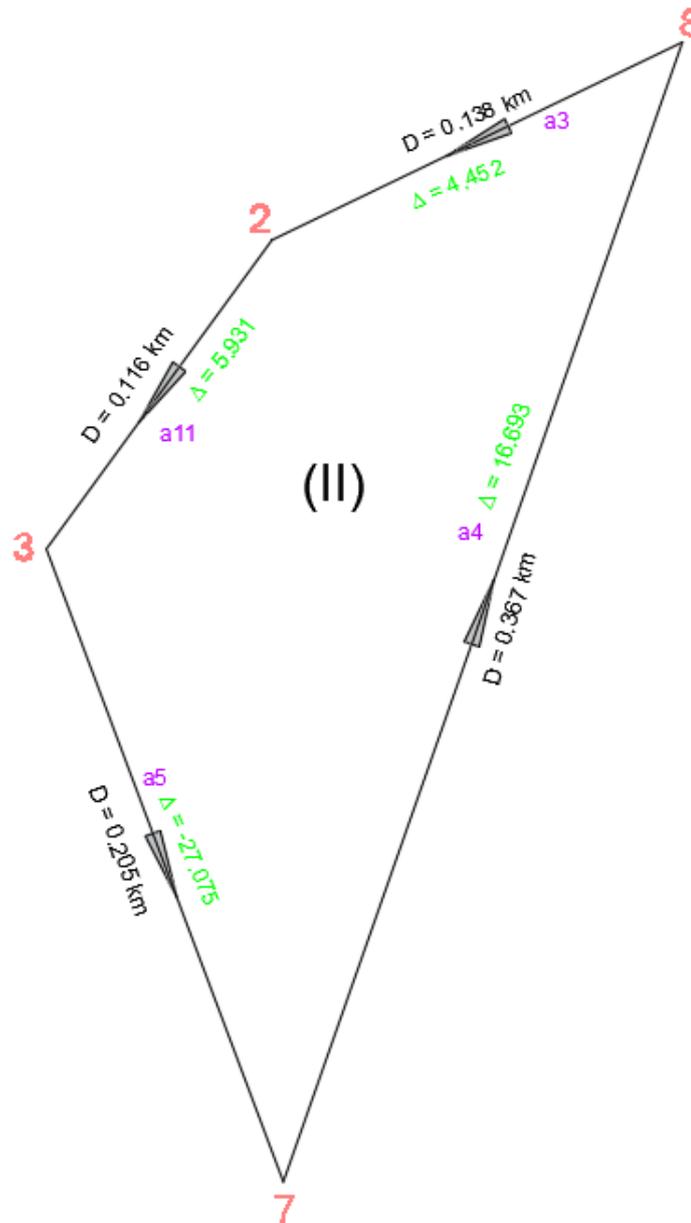


$$f_1 = (2.798 + a_1) + (-8.976 + a_2) + (4.452 + a_3) + (1.726 + a_{10}) = 0$$

$$f_1 = 2.798 + a_1 - 8.976 + a_2 + 4.452 + a_3 + 1.726 + a_{10} = 0$$

$$f_1 = a_1 + a_2 + a_3 + a_{10} = 0 \quad (1)$$

Para el Circuito (II):

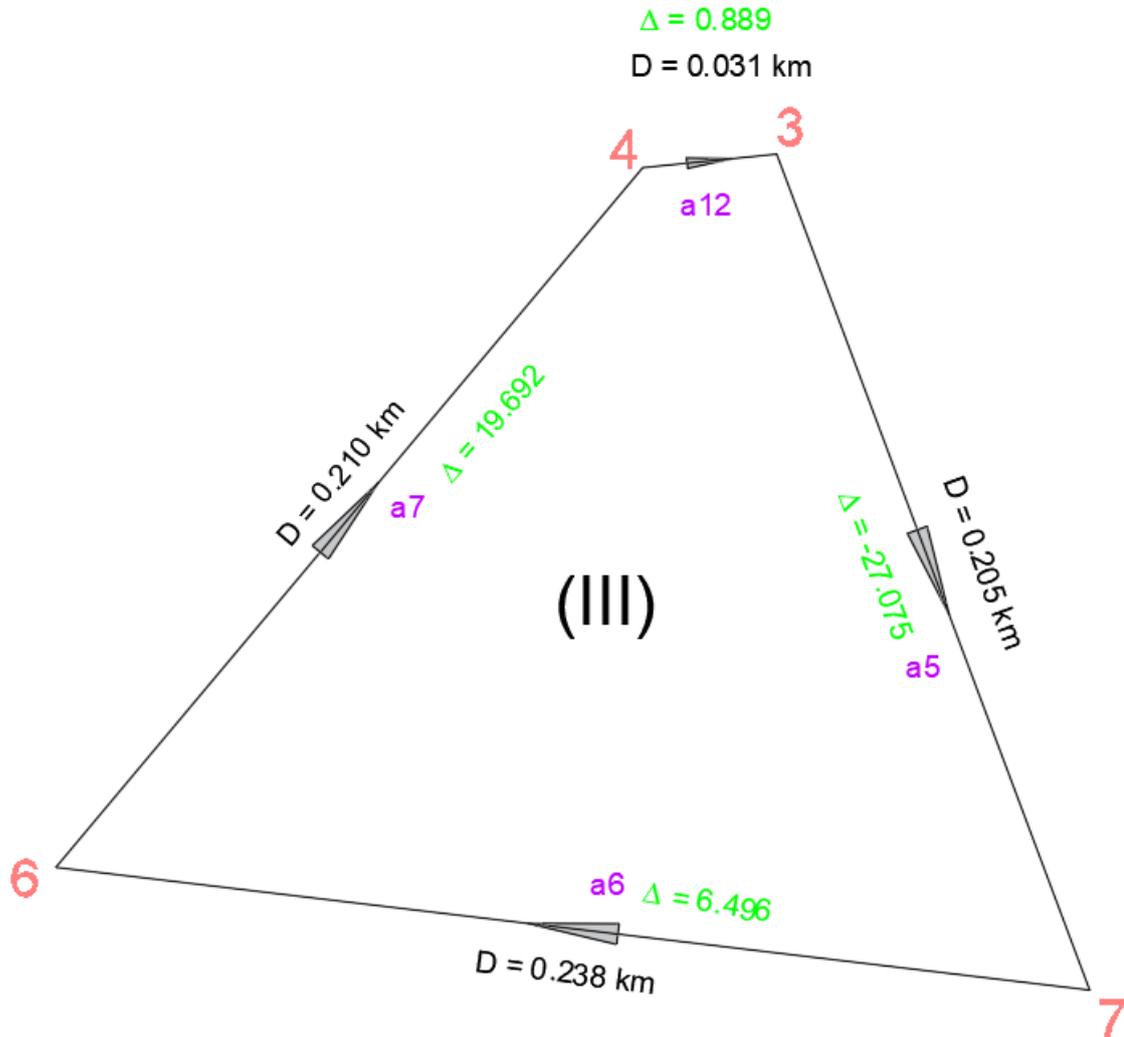


$$f_2 = (4.452 + a_3) + (16.693 + a_4) + (-27.075 + a_5) + (5.931 + a_{11}) = 0$$

$$f_2 = 4.452 + a_3 + 16.693 + a_4 - 27.075 + a_5 + 5.931 + a_{11} = 0$$

$$f_2 = a_3 + a_4 + a_5 + a_{11} + 0.001 = 0 \quad (2)$$

Para el Circuito (III):

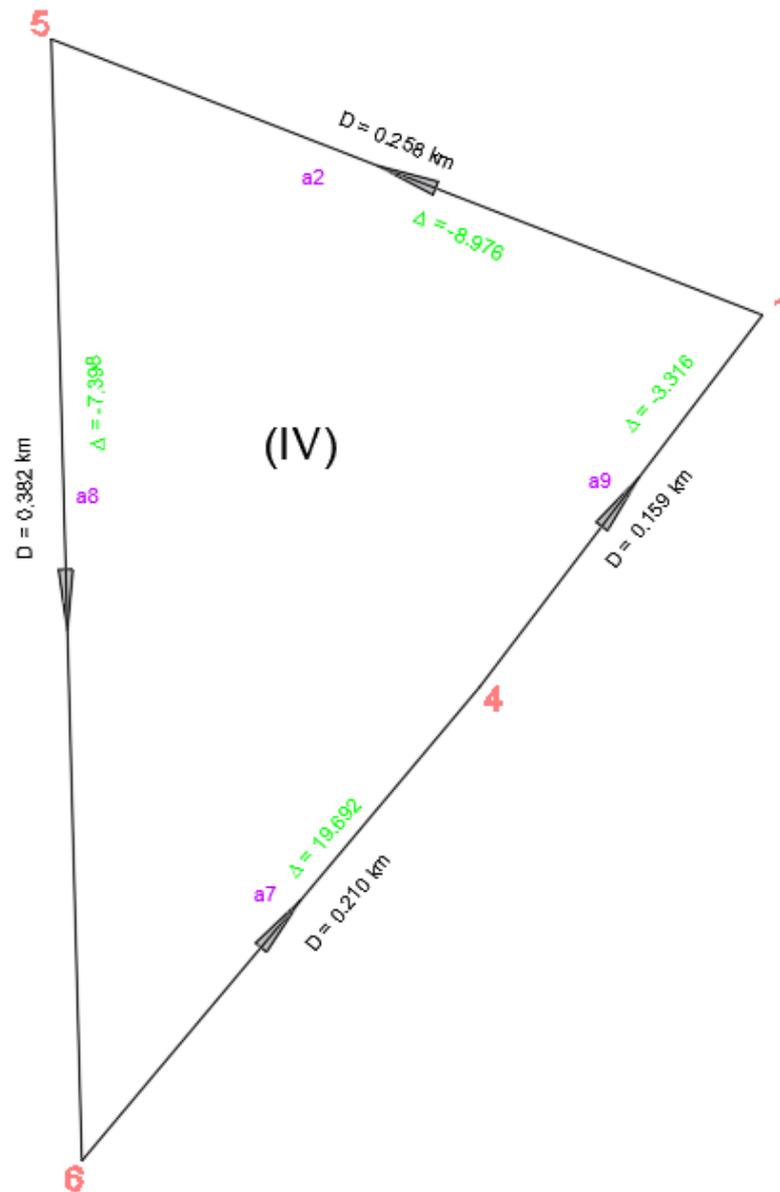


$$f_3 = (-27.075 + a_5) + (6.496 + a_6) + (19.692 + a_7) + (0.889 + a_{12}) = 0$$

$$f_3 = -27.075 + a_5 + 6.496 + a_6 + 19.692 + a_7 + 0.889 + a_{12} = 0$$

$$f_3 = a_5 + a_6 + a_7 + a_{12} + 0.002 = 0 \quad (3)$$

Para el Circuito (IV):

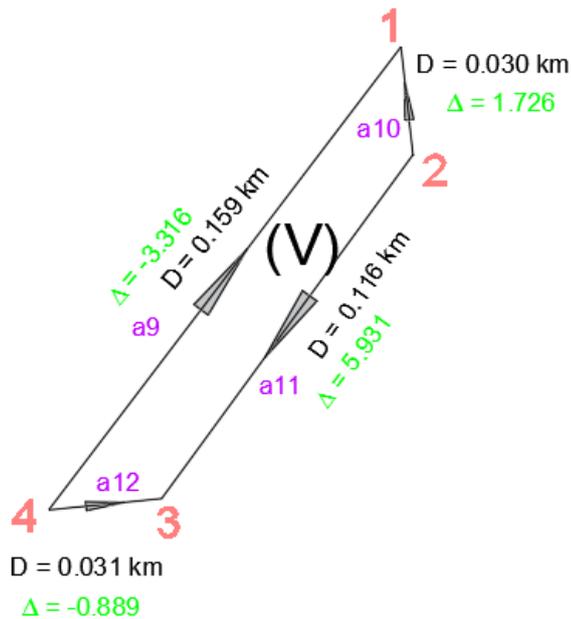


$$f_4 = (-8.976 + a_2) + (19.692 + a_7) + (-7.398 + a_8) + (-3.316 + a_9) = 0$$

$$f_4 = -8.976 + a_2 + 19.692 + a_7 - 7.398 + a_8 - 3.316 + a_9 = 0$$

$$f_4 = a_2 + a_7 + a_8 + a_9 + 0.002 = 0 \quad (4)$$

**Para el Circuito (V):**



$$f_5 = -(-3.316 + a_9) + (1.726 + a_{10}) - (5.931 + a_{11}) + (-0.889 + a_{12}) = 0$$

$$f_5 = 3.316 - a_9 + 1.726 + a_{10} - 5.931 - a_{11} - 0.889 + a_{12} = 0$$

$$f_5 = -a_9 + a_{10} - a_{11} + a_{12} = 0 \quad (5)$$

**CONDICIÓN DEL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS:**

$$F = \frac{1}{0.373} a_1^2 + \frac{1}{0.258} a_2^2 + \frac{1}{0.138} a_3^2 + \frac{1}{0.367} a_4^2 + \frac{1}{0.205} a_5^2 + \frac{1}{0.238} a_6^2 + \frac{1}{0.210} a_7^2$$

$$+ \frac{1}{0.382} a_8^2 + \frac{1}{0.159} a_9^2 + \frac{1}{0.030} a_{10}^2 + \frac{1}{0.116} a_{11}^2 + \frac{1}{0.031} a_{12}^2$$

$$= \text{Mínimo}$$

**ECUACIÓN DE LAGRANGE:**

$$U = F - 2 \lambda_1 f_1 - 2 \lambda_2 f_2 - 2 \lambda_3 f_3 - 2 \lambda_4 f_4 - 2 \lambda_5 f_5$$

Dado que:

$$f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = f_5 = 0 \Rightarrow U = F(\text{no se altera})$$



### PARA QUE “F” SEA MÍNIMO:

$$\frac{\partial U}{\partial a_1} = \frac{\partial U}{\partial a_2} = \frac{\partial U}{\partial a_3} = \frac{\partial U}{\partial a_4} = \frac{\partial U}{\partial a_5} = \frac{\partial U}{\partial a_6} = \frac{\partial U}{\partial a_7} = \frac{\partial U}{\partial a_8} = \frac{\partial U}{\partial a_9} = \frac{\partial U}{\partial a_{10}} = \frac{\partial U}{\partial a_{11}} = \frac{\partial U}{\partial a_{12}} = 0$$

Entonces se obtiene:

$$\begin{aligned} - \frac{\partial U}{\partial a_1} = 0 &\Rightarrow \frac{2a_1}{0.373} - 2 \lambda_1 (1) = 0 \Rightarrow a_1 = 0.373 \lambda_1 \\ - \frac{\partial U}{\partial a_2} = 0 &\Rightarrow \frac{2a_2}{0.258} - 2 \lambda_1 (1) - 2 \lambda_4 (1) = 0 \Rightarrow a_2 = 0.258 \lambda_1 + \\ &0.258 \lambda_4 \\ - \frac{\partial U}{\partial a_3} = 0 &\Rightarrow \frac{2a_3}{0.138} - 2 \lambda_1 (1) - 2 \lambda_2 (1) = 0 \Rightarrow a_3 = 0.138 \lambda_1 + \\ &0.138 \lambda_2 \\ - \frac{\partial U}{\partial a_4} = 0 &\Rightarrow \frac{2a_4}{0.367} - 2 \lambda_2 (1) = 0 \Rightarrow a_4 = 0.367 \lambda_2 \\ - \frac{\partial U}{\partial a_5} = 0 &\Rightarrow \frac{2a_5}{0.205} - 2 \lambda_2 (1) - 2 \lambda_3 (1) = 0 \Rightarrow a_5 = 0.205 \lambda_2 + \\ &0.205 \lambda_3 \\ - \frac{\partial U}{\partial a_6} = 0 &\Rightarrow \frac{2a_6}{0.238} - 2 \lambda_3 (1) = 0 \Rightarrow a_6 = 0.238 \lambda_3 \\ - \frac{\partial U}{\partial a_7} = 0 &\Rightarrow \frac{2a_7}{0.210} - 2 \lambda_3 (1) - 2 \lambda_4 (1) = 0 \Rightarrow a_7 = 0.210 \lambda_3 + \\ &0.210 \lambda_4 \\ - \frac{\partial U}{\partial a_8} = 0 &\Rightarrow \frac{2a_8}{0.382} - 2 \lambda_4 (1) = 0 \Rightarrow a_8 = 0.382 \lambda_4 \\ - \frac{\partial U}{\partial a_9} = 0 &\Rightarrow \frac{2a_9}{0.159} - 2 \lambda_4 (1) - 2 \lambda_5 (-1) = 0 \Rightarrow a_9 = 0.159 \lambda_4 - \\ &0.159 \lambda_5 \\ - \frac{\partial U}{\partial a_{10}} = 0 &\Rightarrow \frac{2a_{10}}{0.030} - 2 \lambda_1 (1) - 2 \lambda_5 (1) = 0 \Rightarrow a_{10} = 0.030 \lambda_1 + \\ &0.030 \lambda_5 \\ - \frac{\partial U}{\partial a_{11}} = 0 &\Rightarrow \frac{2a_{11}}{0.116} - 2 \lambda_2 (1) - 2 \lambda_5 (-1) = 0 \Rightarrow a_{11} = 0.116 \lambda_2 - \\ &0.116 \lambda_5 \end{aligned}$$



$$- \frac{\partial U}{\partial a_{12}} = 0 \Rightarrow \frac{2a_{12}}{0.031} - 2 \lambda_3 (1) - 2 \lambda_5 (1) = 0 \Rightarrow a_{12} = 0.031 \lambda_3 + 0.031 \lambda_5$$

**DE MODO QUE SE OBTIENEN LAS ECUACIONES CORRELATIVAS:**

$a_1 = 0.373 \lambda_1$	$a_7 = 0.210 \lambda_3 + 0.210 \lambda_4$
$a_2 = 0.258 \lambda_1 + 0.258 \lambda_4$	$a_8 = 0.382 \lambda_4$
$a_3 = 0.138 \lambda_1 + 0.138 \lambda_2$	$a_9 = 0.159 \lambda_4 - 0.159 \lambda_5$
$a_4 = 0.367 \lambda_2$	$a_{10} = 0.030 \lambda_1 + 0.030 \lambda_5$
$a_5 = 0.205 \lambda_2 + 0.205 \lambda_3$	$a_{11} = 0.116 \lambda_2 - 0.116 \lambda_5$
$a_6 = 0.238 \lambda_3$	$a_{12} = 0.031 \lambda_3 + 0.031 \lambda_5$

**REEMPLAZANDO LAS ECUACIONES CORRELATIVAS EN LAS ECUACIONES DE CONDICIÓN SE OBTIENEN:**

$$f_1 = (0.373 \lambda_1) + (0.258 \lambda_1 + 0.258 \lambda_4) + (0.138 \lambda_1 + 0.138 \lambda_2) + (0.030 \lambda_1 + 0.030 \lambda_5)$$

$$f_1 = 0.373 \lambda_1 + 0.258 \lambda_1 + 0.258 \lambda_4 + 0.138 \lambda_1 + 0.138 \lambda_2 + 0.030 \lambda_1 + 0.030 \lambda_5$$

$$f_1 = 0.799 \lambda_1 + 0.138 \lambda_2 + 0.258 \lambda_4 + 0.030 \lambda_5 = 0 \dots\dots\dots(a)$$

$$f_2 = (0.138 \lambda_1 + 0.138 \lambda_2) + (0.367 \lambda_2) + (0.205 \lambda_2 + 0.205 \lambda_3) + (0.116 \lambda_2 - 0.116 \lambda_5) + 0.001$$

$$f_2 = 0.138 \lambda_1 + 0.138 \lambda_2 + 0.367 \lambda_2 + 0.205 \lambda_2 + 0.205 \lambda_3 + 0.116 \lambda_2 - 0.116 \lambda_5 + 0.001$$

$$f_2 = 0.138 \lambda_1 + 0.826 \lambda_2 + 0.205 \lambda_3 - 0.116 \lambda_5 = -0.001 \dots\dots\dots(b)$$

$$f_3 = (0.205 \lambda_2 + 0.205 \lambda_3) + (0.238 \lambda_3) + (0.210 \lambda_3 + 0.210 \lambda_4) + (0.310 \lambda_3 + 0.310 \lambda_5) + 0.002$$

$$f_3 = 0.205 \lambda_2 + 0.205 \lambda_3 + 0.238 \lambda_3 + 0.210 \lambda_3 + 0.210 \lambda_4 + 0.310 \lambda_3 + 0.310 \lambda_5 + 0.002$$

$$f_3 = 0.205 \lambda_2 + 0.963 \lambda_3 + 0.210 \lambda_4 + 0.310 \lambda_5 = -0.002 \dots\dots\dots(c)$$



$$f_4 = (0.258 \lambda_1 + 0.258 \lambda_4) + (0.210 \lambda_3 + 0.210 \lambda_4) + (0.382 \lambda_4) \\ + (0.159 \lambda_4 - 0.159 \lambda_5) + 0.010 + 0.002$$

$$f_4 = 0.258 \lambda_1 + 0.258 \lambda_4 + 0.210 \lambda_3 + 0.210 \lambda_4 + 0.382 \lambda_4 + 0.159 \lambda_4 - 0.159 \lambda_5 \\ + 0.002$$

$$f_4 = 0.258 \lambda_1 + 0.210 \lambda_3 + 1.009 \lambda_4 - 0.159 \lambda_5 = -0.002 \dots\dots\dots(d)$$

$$f_5 = -(0.159 \lambda_4 - 0.159 \lambda_5) + (0.030 \lambda_1 + 0.030 \lambda_5) - (0.116 \lambda_2 - 0.116 \lambda_5) \\ + (0.310 \lambda_3 + 0.310 \lambda_5)$$

$$f_5 = -0.159 \lambda_4 + 0.159 \lambda_5 + 0.030 \lambda_1 + 0.030 \lambda_5 - 0.116 \lambda_2 + 0.116 \lambda_5 + 0.310 \lambda_3 \\ + 0.310 \lambda_5 = 0$$

$$f_5 = 0.030 \lambda_1 - 0.116 \lambda_2 + 0.310 \lambda_3 - 0.116 \lambda_4 + 0.615 \lambda_5 = 0 \dots\dots\dots(e)$$

**RESOLVIENDO Y ARMANDO LAS MATRICES SEGÚN LAS ECUACIONES (a, b, c, d y e):**

$$\begin{bmatrix} 0.799 & 0.138 & 0 & 0.258 & 0.030 \\ 0.138 & 0.826 & 0.205 & 0 & -0.116 \\ 0 & 0.205 & 0.684 & 0.210 & 0.031 \\ 0.258 & 0 & 0.210 & 1.009 & -0.159 \\ 0.030 & -0.116 & 0.031 & -0.159 & 0.336 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.001 \\ -0.002 \\ -0.002 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.799 & 0.138 & 0 & 0.258 & 0.030 \\ 0.138 & 0.826 & 0.205 & 0 & -0.116 \\ 0 & 0.205 & 0.963 & 0.210 & 0.310 \\ 0.258 & 0 & 0.210 & 1.009 & -0.159 \\ 0.030 & -0.116 & 0.310 & -0.159 & 0.615 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ -0.001 \\ -0.002 \\ -0.002 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 0.001 \\ \lambda_2 &= -0.001 \\ \Rightarrow \lambda_3 &= -0.002 \\ \lambda_4 &= -0.002 \\ \lambda_5 &= -0.001 \end{aligned}$$

**REEMPLAZANDO EN LAS ECUACIONES CORRELATIVAS SE OBTIENE:**

$$a_1 = 0.373 \lambda_1 \\ a_1 = 0.373 * 0.001 \\ a_1 = 0.000$$



$$a_2 = 0.258 \lambda_1 + 0.258 \lambda_4$$

$$a_2 = (0.258 * 0.001) + (0.258 * -0.002)$$

$$a_2 = \mathbf{0.000}$$

$$a_3 = 0.138 \lambda_1 + 0.138 \lambda_2$$

$$a_3 = (0.138 * 0.001) + (0.138 * -0.001)$$

$$a_3 = \mathbf{0.000}$$

$$a_4 = 0.367 \lambda_2$$

$$a_4 = 0.367 * -0.001$$

$$a_4 = \mathbf{0.000}$$

$$a_5 = 0.205 \lambda_2 + 0.205 \lambda_3$$

$$a_5 = (0.205 * -0.001) + (0.205 * -0.002)$$

$$a_5 = \mathbf{-0.001}$$

$$a_6 = 0.238 \lambda_3$$

$$a_6 = 0.238 * -0.002$$

$$a_6 = \mathbf{0.000}$$

$$a_7 = 0.210 \lambda_3 + 0.210 \lambda_4$$

$$a_7 = (0.210 * -0.002) + (0.210 * -0.002)$$

$$a_7 = \mathbf{-0.001}$$

$$a_8 = 0.382 \lambda_4$$

$$a_8 = 0.382 * -0.002$$

$$a_8 = \mathbf{-0.001}$$

$$a_9 = 0.159 \lambda_4 - 0.159 \lambda_5$$

$$a_9 = (0.159 * -0.002) - (0.159 * -0.001)$$

$$a_9 = \mathbf{0.000}$$



$$a_{10} = 0.030 \lambda_1 + 0.030 \lambda_5$$

$$a_{10} = (0.030 * 0.001) + (0.030 * -0.001)$$

$$a_{10} = \mathbf{0.000}$$

$$a_{11} = 0.116 \lambda_2 - 0.116 \lambda_5$$

$$a_{11} = (0.116 * -0.001) - (0.116 * -0.001)$$

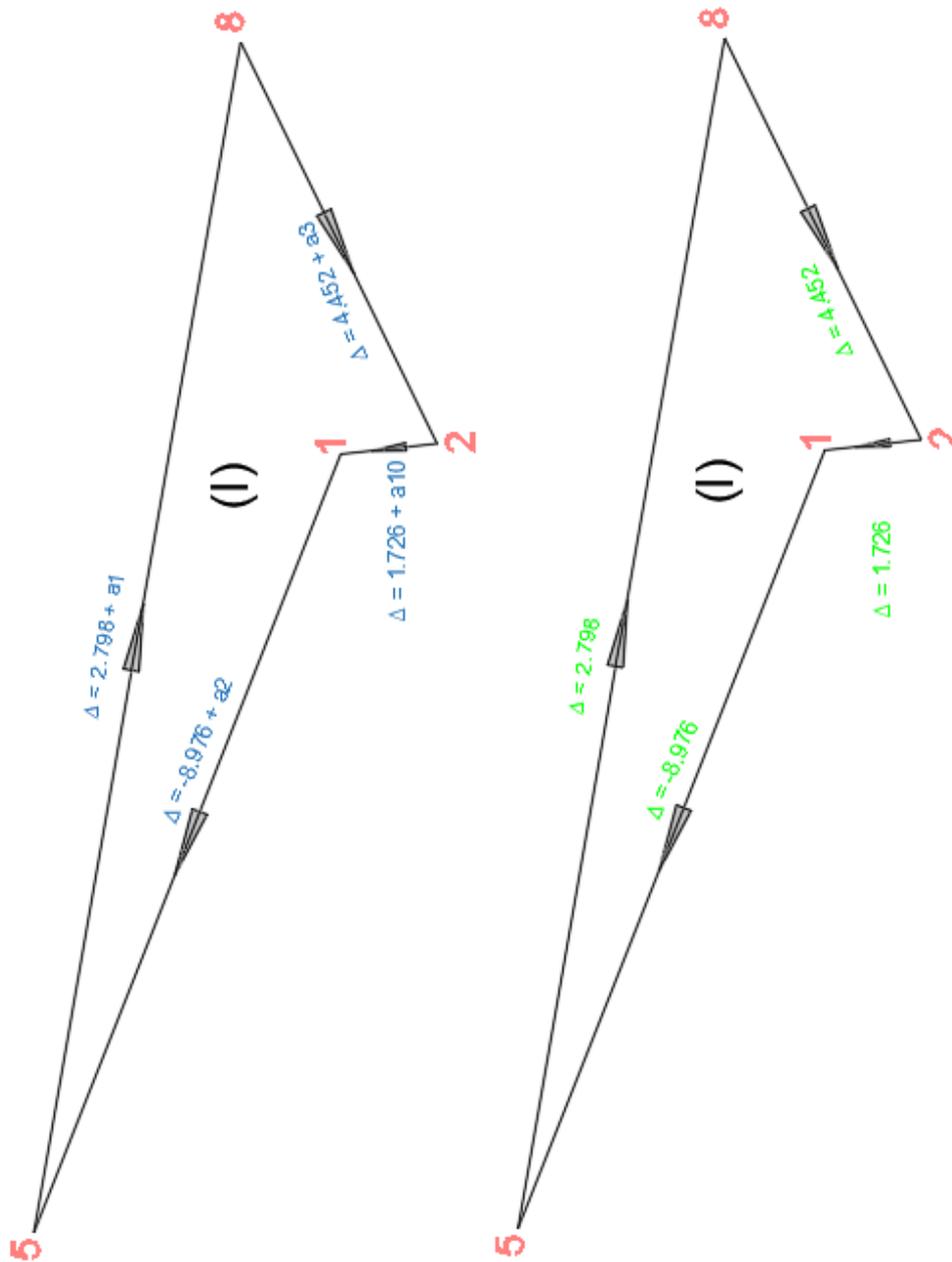
$$a_{11} = \mathbf{0.000}$$

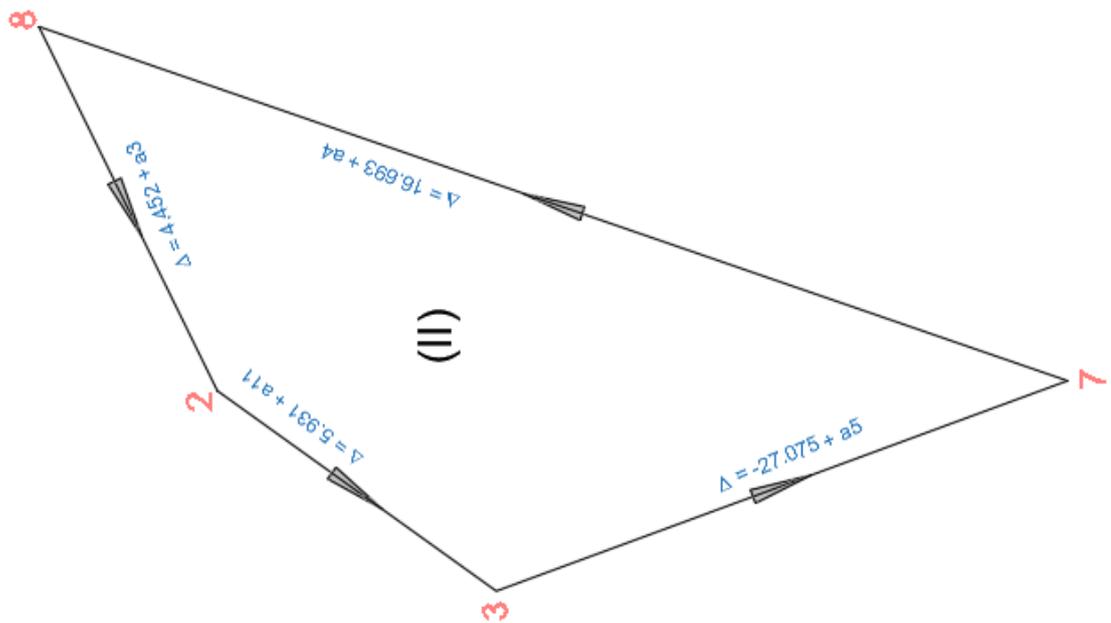
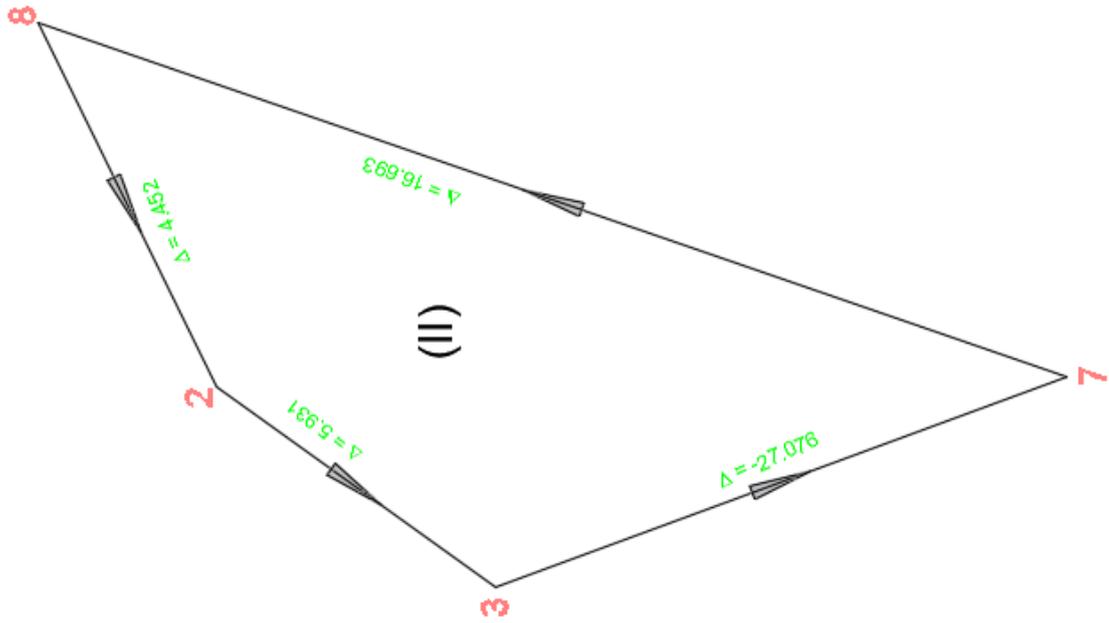
$$a_{12} = 0.031 \lambda_3 + 0.031 \lambda_5$$

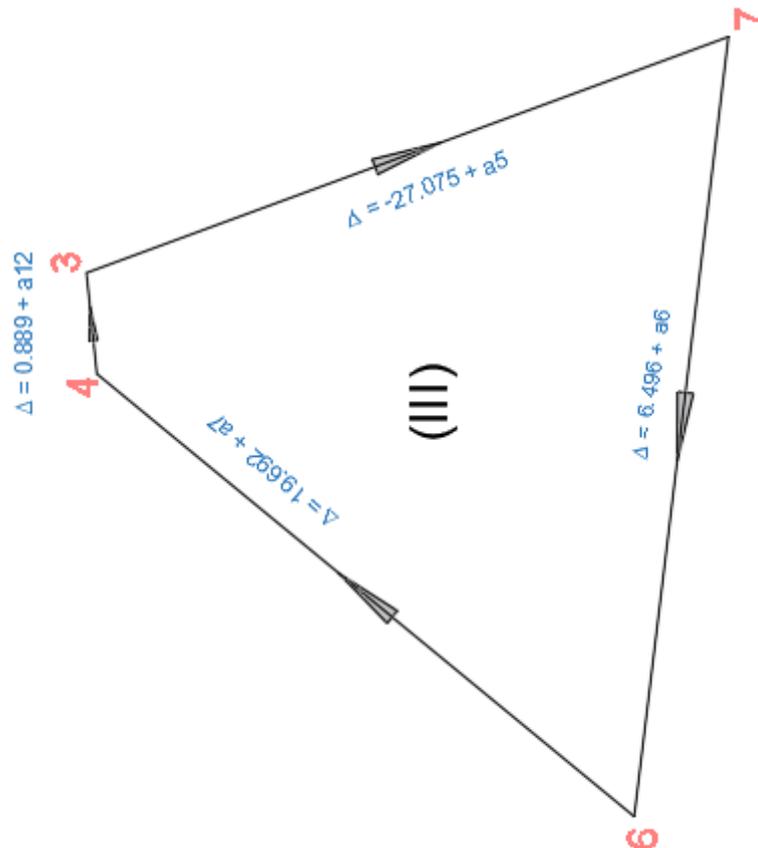
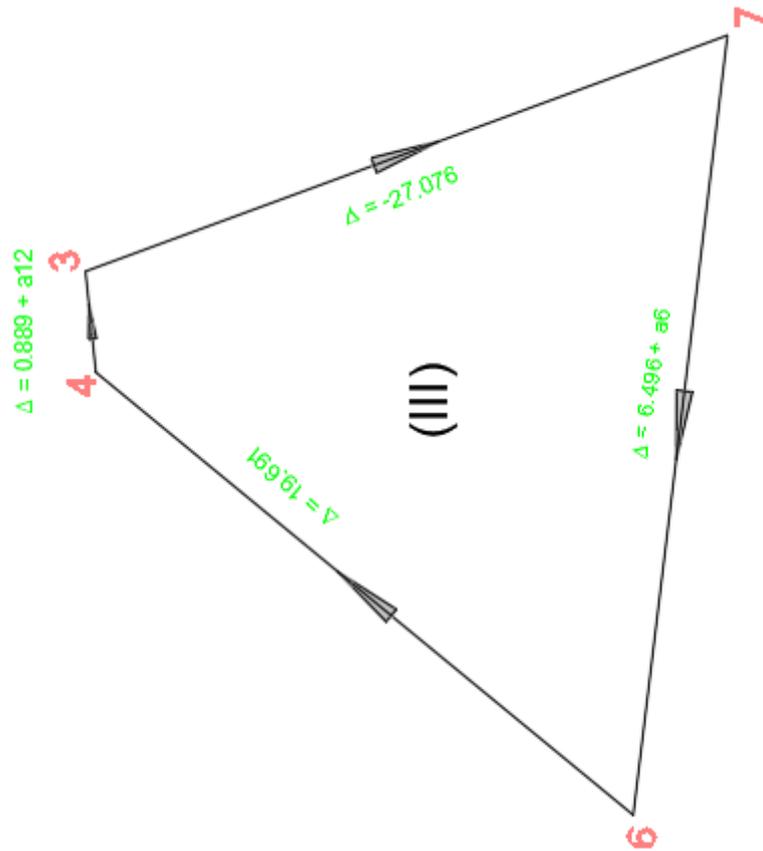
$$a_{12} = (0.031 * -0.002) + (0.031 * -0.001)$$

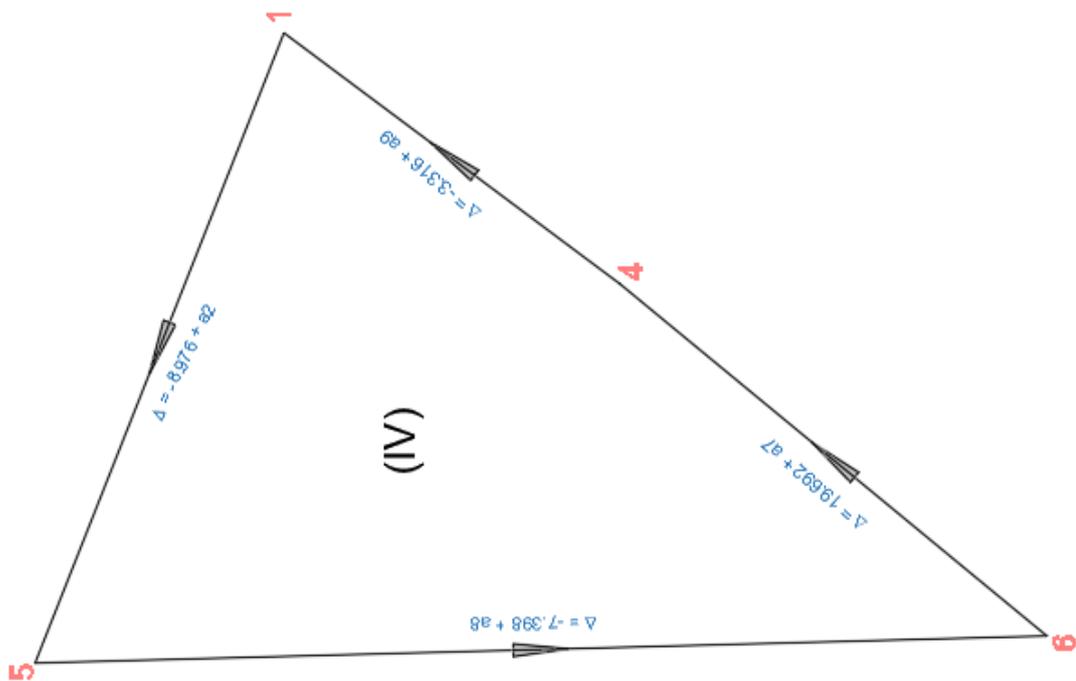
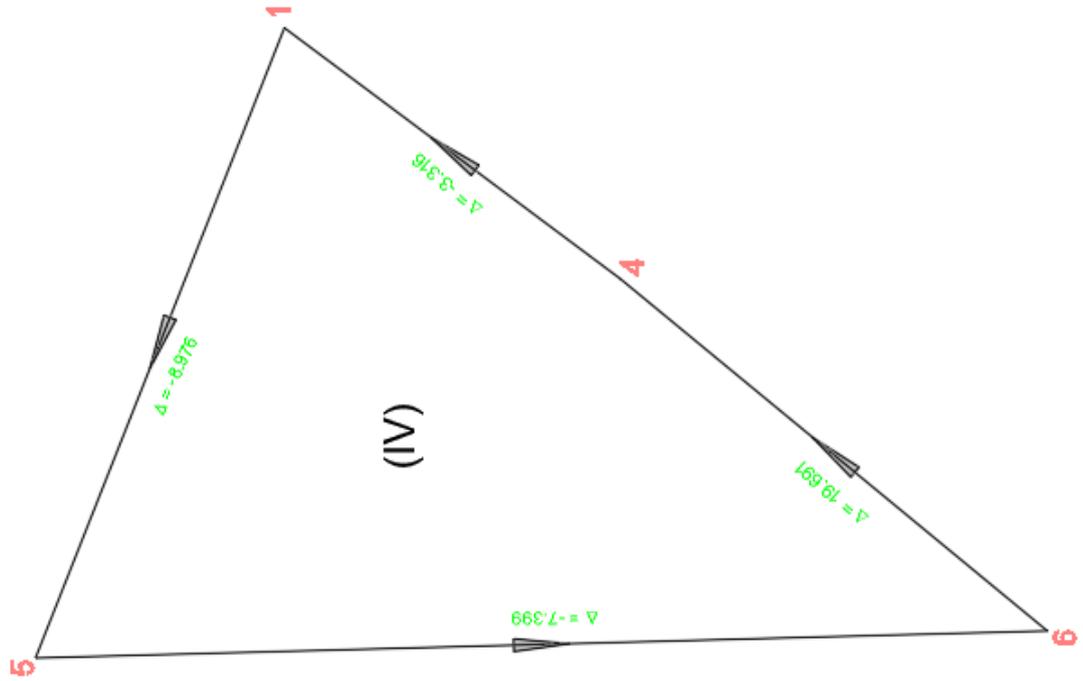
$$a_{12} = \mathbf{0.000}$$

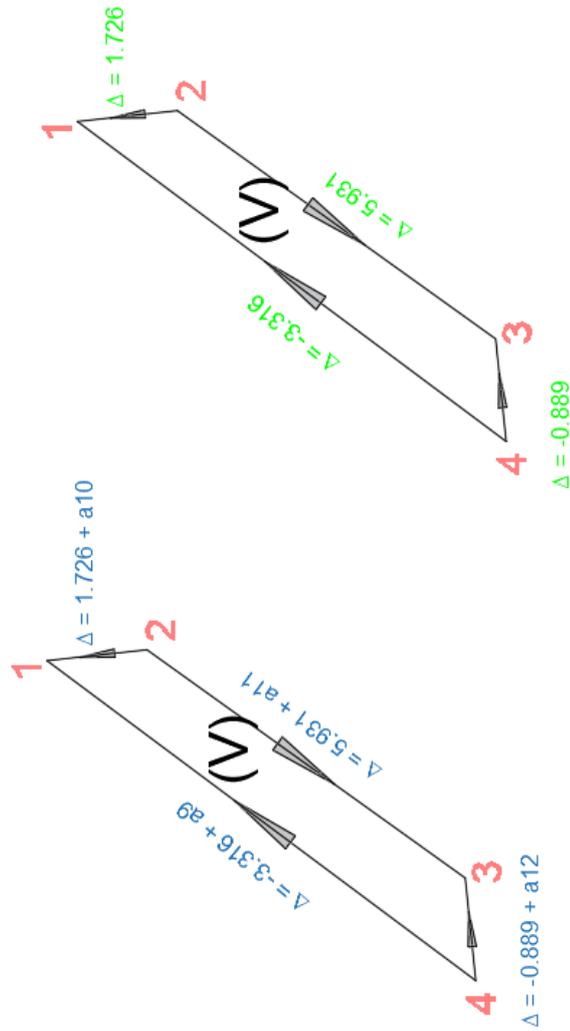
**DE MODO QUE EN NUESTRA RED DE NIVELACIÓN AJUSTADA RESULTA  
DE LA SIGUIENTE MANERA:**











**COMPROBANDO SE TIENE:**

- En el Circuito (I):  
 $2.484 - 8.976 + 1.726 + 4.452 = 0$  (CONFORME)
- En el Circuito (II):  
 $4.452 + 16.693 - 27.076 + 5.931 = 0$  (CONFORME)
- En el Circuito (III):  
 $-27.076 + 6.496 + 19.691 + 0.889 = 0$  (CONFORME)
- En el Circuito (IV):  
 $-8.976 + 19.691 - 7.399 - 3.316 = 0$  (CONFORME)
- En el Circuito (V):  
 $3.316 + 1.726 - 5.931 + 0.889 = 0$  (CONFORME)



**FINALMENTE SE OBTIENE LAS ALTITUDES REALIZADAS CON EL NIVEL  
ELECTRÓNICO.**

**ALTITUDES GEOIDALES OBTENIDAS CON EL NIVEL  
ELECTRÓNICO**

<b>Punto</b>	<b>Elevación Geoidal</b>
CRL - 01	4001.082
CRL - 02	3999.356
CRL - 03	4005.287
CRL - 04	4004.398
CRL - 05	3992.106
CRL - 06	3984.707
CRL - 07	3978.211
CRL - 08	3994.904

## ANEXO 6. Panel Fotográfico



Foto N°01: Placas, Puntos Geodésicos CRL – 01 y CRL – 02.



Foto N°02: Monumentación de Placas o Puntos Geodésicos



Foto N°03: GPS Diferencial GR5.



Foto N°04: instalación del GPS Diferencial GR5 en Puntos de control.

## ANEXO 7. Especificación Técnica del punto de Estación Permanente PU02

	<b>INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL</b> <b>SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA</b> <b>DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO</b>	
<b>FORMULARIO DE INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GNSS DE RASTREO PERMANENTE</b>		
<b>0. DATOS GENERALES:</b>		
Preparado por:	Departamento de Procesamiento Geodésico	
Realizado:	1 de julio de 2019	
Versión:	3.0.0	
<b>1. INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GNSS:</b>		
Nombre:	Juliaca	
Código Nacional:	PU02	
Código Internacional:	42228M001	
Inscripción:	Placa de bronce	
Orden de la estación:	"0"	
Fecha de monumentación:	3 de abril de 2010	
<b>2. INFORMACIÓN SOBRE LA LOCALIZACIÓN:</b>		
Departamento:	Puno	
Provincia:	San Román	
Distrito:	Jualica	
Ubicación de la estación:	Universidad Peruana la Unión	
		
		
<b>CROQUIS DE UBICACIÓN</b>		
		
FECHA: 3/09/2019 16:52 / COMPROBANTE DE PAGO ELECTRÓNICO: B001-002712		PU02 1   4



**INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL  
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA  
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO**



**3. COORDENADAS DE LA ESTACIÓN:**

<b>Sistema de referencia:</b> GRS80 / WGS84	<b>Marco de referencia:</b> ITRF2000
---	--------------------------------------

**3.1. GEODÉSICAS:**

<b>Latitud (S)</b>	<b>Longitud (O)</b>
15° 30' 51.75393 "	70° 10' 45.77093 "
<b>Altura Elipsoidal (m)</b>	<b>Factor de escala combinado</b>
3880.6146	0.999797846658

**3.2. CARTESIANAS**

<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>Z (m)</b>
2085642.8051	-5786561.0252	1696048.2278

**3.3. UTM**

<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>
373508.2250	8284432.1757
<b>Zona: 19 Sur</b>	

**4. INFORMACIÓN SOBRE EL EQUIPO GNSS**

**4.1. RECEPTOR:**

**Modelo:** NET R9 TRIMBLE, Doble frecuencia  
**N° de serie:** 5742R51312  
**Versión del firmware:** 5.22  
**Fecha de instalación:** 10 de mayo de 2018  
**Ubicación del receptor:** El receptor se encuentra dentro de una caja metálica de color blanco humo empotrada a la pared, ubicada en el Laboratorio del Colegio Adventista del Titicaca de la mencionada universidad.

**4.2. ANTENA:**

**Modelo:** Zephyr Geodetic Model 3 (L1,L2) Trimble  
**N° de serie:** 1551129465  
**Cubierta protectora:** con domo  
**Medición de la antena:** ARP  
**Altura de la antena:** 0.0750 m  
**Fecha de instalación:** 10 de mayo de 2018  
**Ubicación de la antena:** La antena se encuentra sobre un monumento de concreto de 2.00 m de alto y 40 cm x 40 cm de ancho de color azul, ubicada en el techo de la oficina de informática de la mencionada universidad.

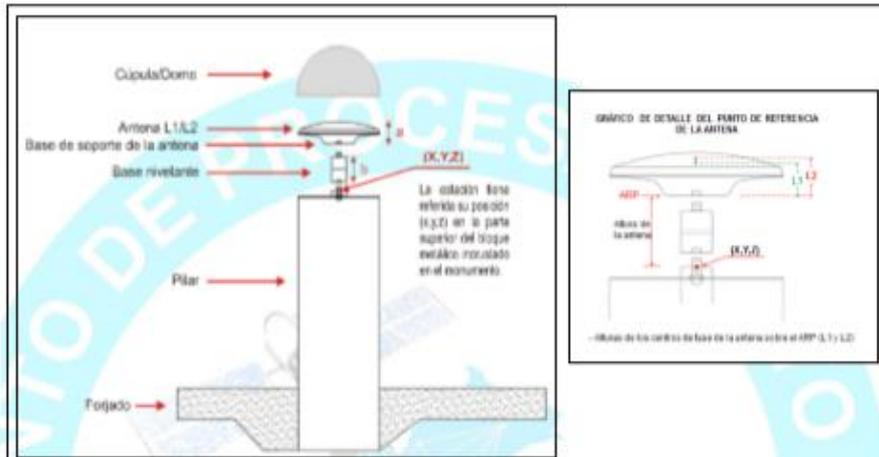


**INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL  
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA  
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO**



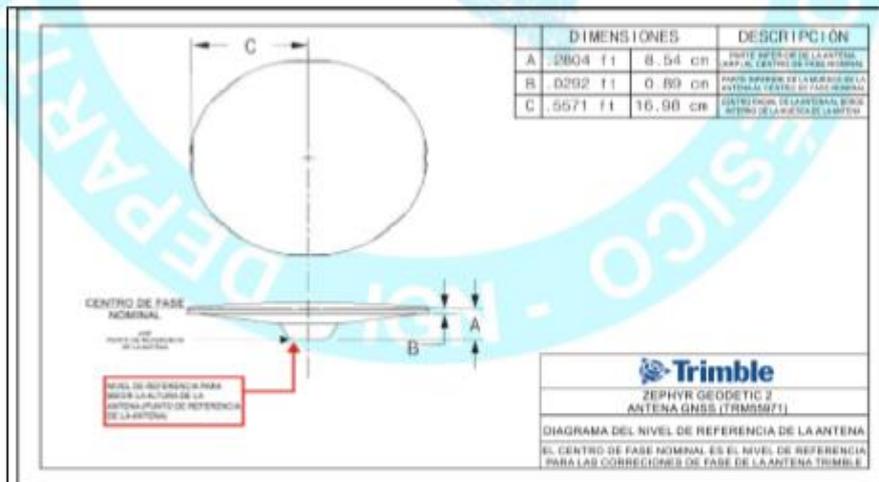
**5. ESQUEMA DE LA ESTACIÓN**

**5.1. ESQUEMA DE ALTURA DE LA ANTENA**



<b>a = 8.54 cm</b>	Distancia de compensación del centro de fase. (Phase Center Offset)
<b>b = 7.50 cm</b>	Distancia entre la base de soporte de la antena y el límite superior del bloque metálico incrustado en el monumento.

**5.2. DIMENSIONES DE LA ANTENA**





**INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL  
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA  
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO**



**6. INFORMACIÓN SOBRE EL PROCESAMIENTO**

Área de mantenimiento: DPG  
Área de control: DPG  
Área de procesamiento: DPG  
Observables: L1, L2, C1, P2  
Intervalo de registro: 5 seg  
Máscara de elevación: 5°  
Archivo diario: 24 HRS  
Formato de archivo nativo: \*T01  
Datos para el procesamiento: 27 de mayo al 9 de junio de 2019  
Tipo de órbita: Efemérides precisas finales  
Archivo procesado: Rinex 2.11  
Software de procesamiento: Gamit / Globk V 10.7  
Procesador y analista GNSS: Mario César Mendoza Del Aguila  
Revisado por: CAP. EP. Rogger Montoya Monroy

**7. CONTACTOS**

Oficina: Departamento de Procesamiento Geodésico  
Dirección: Av. Andrés Aramburú 1184, Surquillo, Lima 34, Perú  
Teléfono: 4759960 / 4753030 Anexo 120  
Correo: [cpg@ign.gob.pe](mailto:cpg@ign.gob.pe) / [cpg.ign@hotmail.com](mailto:cpg.ign@hotmail.com)  
Web site: [http://209.45.65.186/rastreo\\_permanente](http://209.45.65.186/rastreo_permanente)

## ANEXO 8. Certificados de Funcionamiento y Operatividad de Equipos Topográficos

Equipos para Geomatica, Estaciones totales  
GNSS, Software de Aplicaciones 3D  
Escaner 3D, Machine Control

**CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO Y OPERATIVIDAD**  
N°13297T/19

**OTORGADO A:**  
**SAUL SARDON FLORES**

Equipos	Marca	Modelo	Serie
RECEPTOR GPS	TOPCON	GR 5	84B-10799

CUADRO DE PRECISIONES INDICADAS POR EL FABRICANTE: (1 sigma)

Equipos	POST PROCESO		RTK	
	* Horizontal	* Vertical	* Horizontal	* Vertical
RECEPTOR GNSS L1/L2, CA, RTK	3mm+0.5ppm	5mm+0.5ppm	10mm+1ppm	15mm+1ppm

\* Por línea base  
GEOMATIC INSTRUMENTS CORPORATION SAC "GEINCOR SAC" en su calidad de Único Distribuidor Autorizado de la Marca TOPCON, mediante su Laboratorio de Servicio Técnico certificado y autorizado por su proveedor Topcon Positioning Systems, certifica que habiendo efectuado las pruebas y regulaciones a los instrumentos anteriormente mencionados se encuentran dentro de las especificaciones técnicas de fábrica en la referente a la precisión obtenida en postproceso y tiempo real.

**PATRON UTILIZADO:**  
Estacion de Rastro Permanente GNSS NET-G3A L1/L2, RTK con Antena Geodesica Choke Ring CR-G5, Software Pinnacle Post Proceso, patronados por el Fabricante Topcon.

**NOTA:**  
Los Receptores GNSS antes mencionados son de fabricación Año 2012 y cuentan con las últimas tecnologías aplicadas a los Sistemas GNSS, los cuales son reconocidos en el Perú por su alta precisión y eficiencia en los trabajos efectuados.

Se expide el presente certificado a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Se sugiere efectuar una revisión en el periodo máximo de 06 meses antes del 16 de Diciembre del 2019.

Santiago de Surco, 17 de Junio del 2019.

CRISTIAN MENEZES P.  
GERENTE SERV. TÉCNICO

Nota: Tener en cuenta que los accesorios (Bases nivelantes y Bastones) son muy importantes para mantener la precisión del Receptor GNSS. Revisar periódicamente dichos accesorios ya que esto puede ocasionar imprecisiones en su resultado.

Av. Paseo De La Castellana N° 567 - Surco  
(01) 448 1889 / (01) 448 1891 / (01) 273 8230  
946 206 342 981 044 863 981 044 865

ventas@geincor.com / geincor@geincor.com  
www.geincor.com  
Siguenos en:



SOKKIA FARO Geomagic 3D SYSTEMS Artec 3D TOPCON

Equipos para Geomatica, Estaciones totales  
GNSS, Software de Aplicaciones 3D  
Escaner 3D, Machine Control



## CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO Y OPERATIVIDAD

N°13296T/19

OTORGADO A:

**SAUL SARDON FLORES**

Equipos	Marca	Modelo	Serie
RECEPTOR GPS	TOPCON	GR 5	848-10807

CUADRO DE PRECISIONES INDICADAS POR EL FABRICANTE: (1 sigma)

Equipos	POST PROCESO		RTK	
	* Horizontal	* Vertical	* Horizontal	* Vertical
RECEPTOR GNSS L1/L2,CA, RTK	3mm+0.5ppm	5mm+0.5ppm	10mm+1ppm	15mm+1ppm

\* Por linea base

GEOMATIC INSTRUMENTS CORPORATION SAC "GEINCOR SAC" en su calidad de Único Distribuidor Autorizado de la Marca TOPCON, mediante su Laboratorio de Servicio Técnico certificado y autorizado por su proveedor Topcon Positioning Systems, certifica que habiendo efectuado las pruebas y regulaciones a los instrumentos anteriormente mencionados se encuentran dentro de las especificaciones técnicas de fabrica en lo referente a la precisión obtenida en postproceso y tiempo real.

**PATRON UTILIZADO:**

Estacion de Rastro Permanente GNSS NET-G3A L1/L2, RTK con Antena Geodesica Choke Ring CR-G5, Software Pinnacle Post Proceso, patronados por el Fabricante Topcon.

**NOTA:**

Los Receptores GNSS antes mencionados son de fabricacion Año 2012 y cuentan con las ultimas tecnologias aplicadas a los Sistemas GNSS, los cuales son reconocidos en el Peru por su alta precision y eficiencia en los trabajos efectuados.

Se expide el presente certificado a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Se sugiere efectuar una revision en el periodo máximo de 06 meses antes del 16 de Diciembre del 2019.

Santiago de Surco, 17 de Junio del 2019.

  
 CRISTIAN MENESES  
 GERENTE SERV. TÉCNICO



Nota: Tener en cuenta que los accesorios (Bases nivelantes y Bastones) son muy importantes para mantener la precision del Receptor GNSS. Revisar periodicamente dichos accesorios ya que esto puede ocasionar imprecisiones en su resultado.

Av. Paseo De La Castellana N° 567 - Surco  
 (01) 448 1889 / (01) 448 1891 / (01) 273 8230  
 946 206 342 981 044 863 981 044 865

ventas@geincor.com / geincor@geincor.com  
 www.geincor.com  
 Siguenos en: