

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA

**Informe final del trabajo de graduación bajo la Modalidad de Práctica
Dirigida de Graduación, para optar por el grado de
Licenciado en Ingeniería Topográfica**

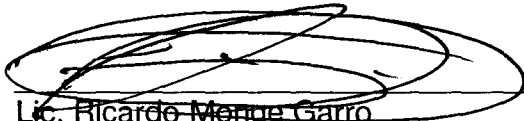
***“Base para la calibración de equipos
topográficos que miden distancias por
medios electromagnéticos,
Base Sabana-UCR”***

Gustavo Manuel Lara Morales

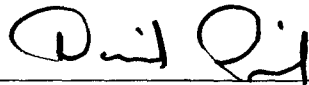
Carne: 951564

San José, Junio, 2015

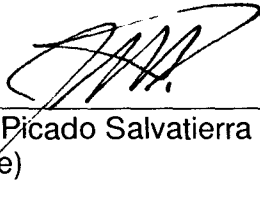
APROBACIÓN TRIBUNAL EXAMINADOR



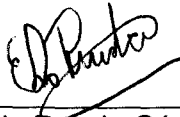
Lic. Ricardo Menge Garro
(Presidente del tribunal)



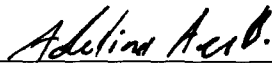
Lic. David Aguilar Vargas
(Miembro del tribunal)



Msc. Juan Antonio Picado Salvatierra
(Director de Informe)



Lic. Carlos Eduardo Rueda Sáenz
(Lector)



Lic. Adelina Arce Bogantes
(Lector)



Gustavo Manuel Lara Morales
SUSTENTANTE

DEDICATORIA

A mi esposa, a mis padres y hermanos

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo y colaboración de las siguientes personas: a los estudiantes que me ayudaron en los levantamientos de campo, Maxine Torres, Valeria Vargas, Adrián Jirón, Brayan Retana Mena, José Pablo Quesada, en especial a Jelmuth Rojas Salazar y Diego Esquivel, al profesor Msc. Juan Mc Gregor Sanabria a los Ingenieros Topógrafos Diego Cornejo y Gloriela Arce. Por parte de la Universidad de Costa Rica a Rolando Murillo Muñoz, Edwin Solórzano Campos, Antonio Sánchez Fernández, Juan Araque Skinner, Juan Antonio Picado Salvatierra y un agradecimiento muy especial a Carmen Cerdas Abarca por su gran apoyo y amistad.

“Pregúntate si lo que estás haciendo hoy te acerca al lugar donde quieres estar mañana” por Walt Disney

Resumen ejecutivo

El siguiente trabajo de graduación, describe los procedimientos empleados en la creación de una base de calibración para la Escuela de Ingeniería Topográfica de la Universidad de Costa Rica, la calibración de equipo topográficos que mide por medios electromagnéticos, tanto los de la institución como los de la comunidad en general.

La base se ubica en el costado sur del Parque Metropolitano La Sabana en la bahía de separación de la autopista Próspero Fernández, frente al Lago.

La metodología empleada fue la de mediciones con receptores GNSS de doble frecuencia, una nivelación geométrica con nivel láser de precisión y con un amarre libre sin la utilización de estaciones de referencia, ni correcciones de efemérides precisas, demostrando que es posible alcanzar alta precisión.

Los procedimientos que se desarrollaron a lo largo de todo el trabajo de campo y cálculo en oficina se realizaron de la siguiente forma:

1. Búsqueda del sitio.
2. Marcaje preliminar.
3. Creación final de los Hitos.
4. Mediciones con receptores GNSS.
5. Medición altimétrica local.
6. Medición con Estación Total.
7. Procesamiento de la información y ajustes.
8. Desarrollo de un programa de ajuste.

Esta base será llamada Base de Calibración Sabana-UCR, los resultados finales revelaron un error medio cuadrático de $\pm 0.00075\text{m}$ alcanzando con satisfacción la precisión necesaria para calibrar los equipos Topográficos.

Además de la creación de la base, éste trabajo entrega a la disposición de la comunidad una herramienta para la obtención de las constantes de ajuste de los equipos llamado “Programa para el ajuste de las constantes multiplicativa (m) y aditiva (b) para la Base de Calibración de la Sabana-UCR”, que será de acceso público y estará en la página oficial de la Escuela de Ingeniería Topográfica de la Universidad de Costa Rica.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

En el presente texto se utilizaran las siguientes abreviaturas:

GNSS:	Global Navigation Satellite Systems
EIT-UCR:	Escuela de Ingeniería Topográfica de la Universidad de Costa Rica
BC:	Base de Calibración
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global
FGCS:	<i>Federal Geodetic Control Subcommittee</i>
m:	Metro
mm:	Milímetros
pp:	Partes por millón
Msc:	Master en ciencias
RMS:	<i>Root mean square</i> (Error medio cuadrático)
Elev:	Elevación
D.H.:	Distancia horizontal
D.I.:	Distancia inclinada
D.V.:	Distancia vertical
dN:	Diferencia en Norte
dE:	Diferencia en Este
dHt:	Diferencia en altura
P.C.:	Punto de cambio
P.T.:	Punto de terreno
H.I.:	Elevación de instrumento

Tabla de Contenido

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación del tema elegido	3
1.3 Antecedentes.....	4
1.4 Objetivo General:.....	7
1.4.1 Objetivos Específicos:.....	7
1.5 Alcances	8
1.6 Proyecciones	8
1.7 Limitaciones.....	9
CAPÍTULO 2: Marco Teórico.....	10
2.1 Teoría científica que se toma como marco de referencia teórico para la práctica.....	11
2.2 El Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	11
2.3 Historia del GNSS.....	13
2.3.1 GNSS: definición de su composición, características y segmentos.	15
2.3.2 Prestaciones de los actuales sistemas GNSS	21
2.3.3 Funcionamiento de un sistema GNSS	22
2.3.4 ¿Cómo se calcula la posición?.....	24
2.3.5 Fuentes de error.....	25

2.3.6 Aplicaciones de los sistemas GNSS	26
2.4 Teoría del ajuste de observaciones por mínimos cuadrados.....	31
CAPÍTULO 3: Marco metodológico	34
3.1 Enfoque de la práctica	35
3.2 Fuentes y sujetos de información	35
3.2.1 Fuentes primarias	35
3.2.2 Fuentes secundarias.....	36
3.2.3 Sujetos.....	36
3.3 Descripción de los instrumentos y complementos.....	36
3.4 Diagrama de labores para la realización de la Base de Calibración Sabana-UCR.....	37
3.5 Cronograma de actividades.....	39
3.6 Ubicación de la Base de Calibración	40
3.6.1 Delimitación territorial.....	45
3.7 Inicio de labores de campo para el montaje de la Base de Calibración Sabana-UCR.....	45
3.8 Creación de los Hitos.....	48
3.8.1 Ficha de ubicación y descripción de los Hitos de la Base de Calibración la Sabana-UCR.	56
3.9 Medición de los Hitos con GNSS.....	59
3.10 Medición de las Elevaciones de los Hitos.....	66

3.11 Medición de las Distancias electromagnéticas	69
---	----

CAPITULO 4: Resultado de las mediciones y procesamiento de la información obtenida..... 72

4.1 Elección de <i>Software</i>	73
4.2 Análisis del procedimiento	73
4.3 Descargando datos GNSS.....	74
4.4 Procesando los Datos en <i>Topcon® Tools</i>	75
4.5 Ajustando los Datos por Mínimos Cuadrados.....	82
4.6 Programa de <i>Excel</i> para el cálculo de la determinación de posibles constantes multiplicativas y aditivas en el contraste de distanciómetros sobre la Base Sabana-UCR.....	88
4.6.1 Proceso de cálculos	88
4.6.2 Resultados obtenidos Distancias electromagnéticas	93
4.6.3 Programa e interface para el usuario	94

CAPITULO 5: Conclusiones y Recomendaciones..... 97

5.1 Conclusiones	98
5.2 Recomendaciones	100

Bibliografía

Anexos..... 105

Índice de Figuras

FIGURA N°1: CROQUIS BASE LA SABANA	5
FIGURA N°2: CROQUIS BASE LA PAZ.....	6
FIGURA N°3: CONSTELACIÓN DE SATÉLITES GPS	17
FIGURA N°4: CENTRO DE CONTROL DE MISIONES DE GPS	19
FIGURA N°5: RECEPTOR WOXTER 100 GPS CON BLUETOOTH	20
FIGURA N°6: FUNCIONAMIENTO DE UN GNSS.....	23
FIGURA N°7: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL FUNCIONAMIENTO DEL GNSS	25
FIGURA N°8: DIAGRAMA DE ACTIVIDADES ESTABLECIDAS EN LA METODOLOGÍA DE TRABAJO... 38	
FIGURA N°9: LÍNEAS PRELIMINARES 1 Y 2 CERCANÍA DE LA UCR.....	41
FIGURA N°10: LÍNEA PRELIMINAR 3 CERCA DEL CFIA	42
FIGURA N°11: LÍNEA PRELIMINAR 4 EN LA RUTA 2 FLORENCIO DEL CASTILLO	43
FIGURA N°12: LÍNEA PRELIMINAR 5 RUTA 32 AUTOPISTA BRAULIO CARRILLO.....	44
FIGURA N°13: LÍNEA FINAL DE LA BASE AUTOPISTA PRÓSPERO FERNÁNDEZ	46
FIGURA N°14: VISIÓN DESDE EL HITO N°1	47
FIGURA N°15: COLOCANDO TACO PRELIMINAR.....	47
FIGURA N°16: INDICACIONES AL ASISTENTE	48
FIGURA N°17: CROQUIS DE HITOS	49
FIGURA N°18: EXCAVANDO PARA CREAR HITO N°1	49
FIGURA N°19: EXCAVACIÓN TERMINADA HITO N°1	50
FIGURA N°20: PREPARACIÓN DE LA MEZCLA DE CEMENTO.....	51
FIGURA N°21: MOLDE PARA LOS HITOS.....	51
FIGURA N°22: ALINEANDO BASES DE PRISMA	52

FIGURA N°23: APLOMO DEL PIN DE ACERO DE HITO	53
FIGURA N°24: PIN DE ACERO, CENTRO A PLOMO	53
FIGURA N°25: HITO FINALIZADO.....	54
FIGURA N°26: DEMARCACIÓN REFRACTIVA DE CADA HITO	55
FIGURA N°27: CROQUIS DISTANCIAS ENTRE HITOS DE LA BC	56
FIGURA N°28: FICHA PARA LA UBICACIÓN DEL HITO N°1	57
FIGURA N°29: FICHA PARA LA UBICACIÓN DEL HITO N°6.....	58
FIGURA N°30: EQUIPO EMPLEADO EN LA MEDICIÓN DE LA BASE	59
FIGURA N°31: CONFIGURANDO EL COLECTOR.....	60
FIGURA N°32: ERROR DE COMUNICACIÓN COLECTOR.....	61
FIGURA N°33: DIAGRAMA DE MEDICIONES DESDE HITO N°1	62
FIGURA N°34: RECEPTOR GR-3 EN HITO N°1.....	62
FIGURA N°35: DIAGRAMA DE MEDICIONES DESDE HITO N°2.....	63
FIGURA N°36: DIAGRAMA DE MEDICIONES DESDE HITO N°3.....	63
FIGURA N°37: DIAGRAMA DE MEDICIONES DESDE HITO N°4.....	64
FIGURA N°38: DIAGRAMA DE MEDICIONES DESDE HITO N°5.....	64
FIGURA N°39: RECEPTOR HIPER+	65
FIGURA N°40: ESTUDIANTES EN HITO, CON UN HIPER+.....	66
FIGURA N°41: NIVEL LEICA® <i>SPRINTER 250</i>	67
FIGURA N°42: LECTURA A LA ESTADIA DE CÓDIGOS DE BARRA	67
FIGURA N°43: NIVELACIÓN GEOMÉTRICA	68
FIGURA N°44: RESPALDO DE LOS DATOS EN LIBRETA	68
FIGURA N°45: MEDICIÓN DE DISTANCIAS HORIZONTALES DE LA BASE.....	70

FIGURA N°46: ESTUDIANTE ASISTIENDO EN LABORES DE CAMPO.....	70
FIGURA N°47: ESTUDIANTES COLOCANDO BASES DE PRISMA EN HITOS.....	71
FIGURA N°48: <i>SOFTWARE</i> PC-CDU, PANTALLA PRINCIPAL	74
FIGURA N°49: <i>SOFTWARE</i> PC-CDU, PANTALLA PARA LA CONEXIÓN A RECEPTORES	75
FIGURA N°50: PANTALLA DE AJUSTES DE <i>TOPCOM® TOOLS</i>	76
FIGURA N°51: PANTALLA GRAFICO DE OCUPACIÓN	77
FIGURA N°52: CÁLCULOS DE MATRICES, AJUSTES DE MÍNIMOS CUADRADOS (A, B Y C)	86
FIGURA N°53: CALCULO MATRICIALES PROGRAMA CÁLCULO DE CONSTANTES	90
FIGURA N°54: HOJA 1 DEL PROGRAMA DE AJUSTES DE LAS CONSTANTES <i>M</i> Y <i>B</i>	95
FIGURA N°55: HOJA 2 DEL PROGRAMA DE AJUSTES, COMPROBACIÓN DE LOS DATOS.	96

Índice de Tablas

TABLA N°1: CRONOGRAMA _____	39
TABLA N°2: DATOS DE OBSERVACIONES GPS _____	78
TABLA N°3: DATOS NIVELACIÓN GEOMÉTRICA DE LOS HITOS _____	79
TABLA N°4: PROMEDIO DE ELEVACIONES DE LOS HITOS _____	80
TABLA N°5: DIFERENCIAS DE ELEVACIÓN ENTRE HITOS _____	81
TABLA N°6: DISTANCIAS HORIZONTALES REDUCIDAS DE LAS MEDIDAS CON GNSS _____	81
TABLA N°7: DISTANCIAS HORIZONTALES DE LA BASE DE CALIBRACIÓN AJUSTADAS _____	87
TABLA N°8: EL ERROR MEDIO CUADRÁTICO DE LAS DISTANCIAS HORIZONTALES DE LA BASE _____	87
TABLA N°9: DISTANCIAS HORIZONTALES DESDE HITO N°1 _____	91
TABLA N°10: DISTANCIAS HORIZONTALES DESDE HITO N°2 _____	91
TABLA N°11: DISTANCIAS HORIZONTALES DESDE HITO N°3 _____	92
TABLA N°12: DISTANCIAS HORIZONTALES DESDE HITO N°4 _____	92
TABLA N°13: DISTANCIAS HORIZONTALES DESDE HITO N°5 _____	92
TABLA N°14: DISTANCIAS HORIZONTALES FINALES MEDIDAS CON ESTACIÓN TOTAL _____	93

Índice de Anexos

ANEXO N° 1:.....	106
ANEXO N° 2:.....	111
ANEXO N° 3:.....	114
ANEXO N° 4:.....	117
ANEXO N° 5:.....	122
ANEXO N° 6:.....	125
ANEXO N° 7:.....	134

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Crear una Base de Calibración confiable por medio de la tecnología Global Navigation Satellite Systems (GNSS), para el mantenimiento y ajuste de los equipos de medición de distancias electromagnéticas de la Escuela de Ingeniería Topográfica de la Universidad de Costa Rica (EIT-UCR), obtener un insumo adecuado para el mantenimiento de las herramientas académicas empleadas por la EIT-UCR, para la formación de profesionales en Ingeniería Topográfica para ser objeto de estudio en futuras investigaciones y aportar una herramienta indispensable a la comunidad de Ingenieros Topógrafos.

El siguiente trabajo, describe el proceso de la creación de una Base de Calibración (BC), utilizando receptores GNSS de doble frecuencia, un nivel de precisión láser y utilizando el método de amarre libre.

1.2 Justificación del tema elegido

Los avances en la tecnología han dado un gran impulso a la Topografía, haciendo que los métodos y equipos de mediciones sean cada vez más precisos y ágiles. Las exigencias del desarrollo en infraestructuras del País, hacen que los trabajos en sean más rigurosos y exigentes, gran parte del peso de estas acciones recaen en las Ingenierías, siendo la Ingeniería Topográfica la principal herramienta para el desarrollo de proyectos, tanto en los estudio preliminares como en la materialización de los mismos y el control, es fundamental que los datos obtenidos sean correctos, para esto los equipos utilizados deben estar en buen estado y calibrados.

Siendo la EIT-UCR formadora de profesionales, y sumándose a las exigencias del mercado, requiere la creación y pertenencia de una BC, que sirva como herramienta para el control de calidad de sus equipos y como parte de la formación de los futuros profesionales, para esto debe suministrar las buenas prácticas a sus estudiantes en cuanto al estado y calibración de sus equipos ya que el distanciómetro es un componente de los equipos topográficos y un elemento indispensable en el levantamiento de datos de campo, en el replanteo y control, por lo tanto es fundamental el conocer su estado para poder entregar trabajos de calidad.

La base de La Paz está en funcionamiento, pero se encuentra en una zona vulnerable, que no es apta para estar con estudiantes y con equipo topográfico de alto costo, además ésta BC es del Registro Inmobiliario y de uso público, esto hace que pueda estar ocupada en los días que se realice una práctica por lo que es una limitante latente. Son por estos motivos y a falta de una BC propia, que la creación de la misma surge como una necesidad para la EIT-UCR.

1.3 Antecedentes

En el año 1988 se definió una BC en el Parque Metropolitano Sabana por el Catastro Nacional situado al costado sur del mismo, la cual fue definida, amojonada y medida en la isleta de separación vial, pero debido a la ampliación de la carretera San José a Santa Ana, se perdió (ver Figura N°1).

Por este hecho se decidió instalar una nueva base que la sustituyera. Se escogió la isla canalizadora de concreto ubicada en la radial oeste nueva, que une el Parque de la Paz con Desamparados (ver Figura N°2).

El instrumento utilizado para la creación de la Base La Sabana fue, Distomat DI-20, de casa Wild Herbrugg S.A de Suiza, con el cual se pueden obtener exactitudes de $\pm 3\text{mm} \pm 1\text{mm pp}$ y para la Base de la Paz se utilizaron receptores geodésicos del Sistema de Posicionamiento Global.

La Base de la Paz en la actualidad se encuentra accesible y se ha realizado un proyecto de Tesis que confirma que sus datos están buenos y se pueden usar para ajustar equipos topográficos, esto se puede ver en la tesis de A. Arroyo (2011) *Contraste de mediciones indirectas (RED) contra directas para el establecimiento de una base de calibración*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica.

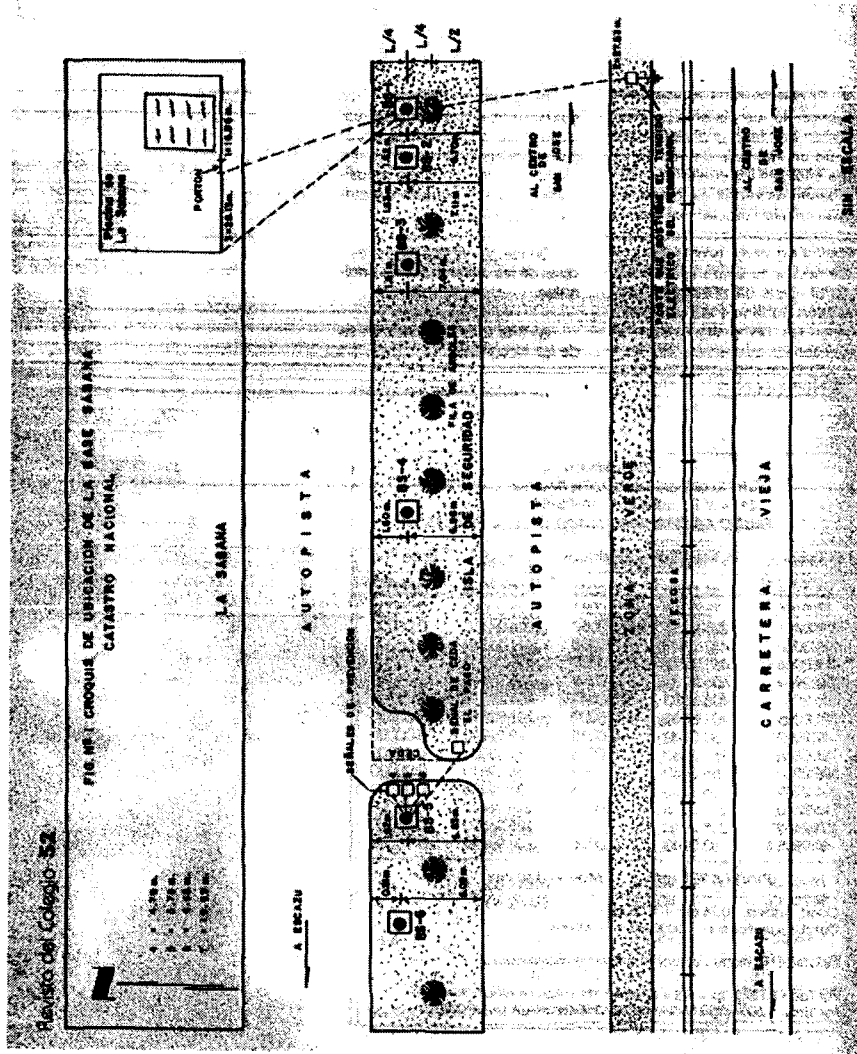


Figura N°1: Croquis Base La Sabana
Fuente: Revista de Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos 4,88 año 31

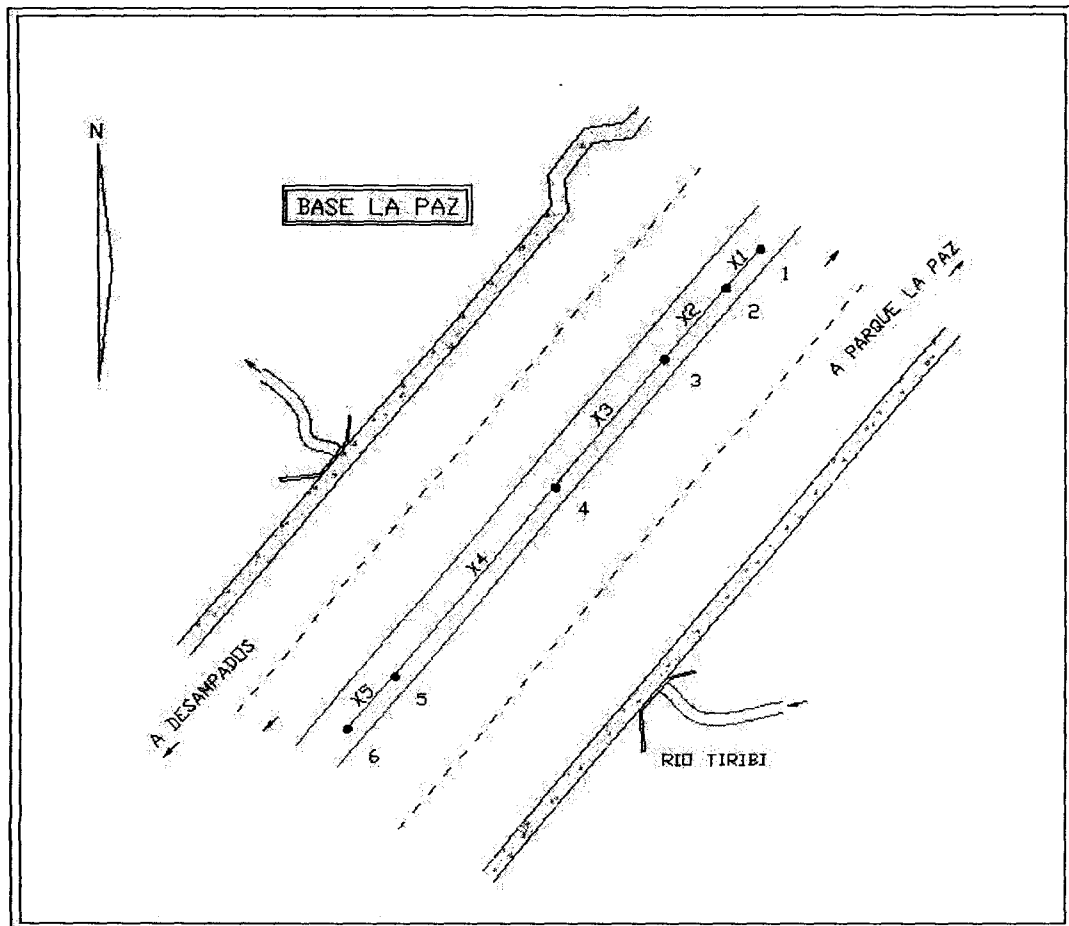


Figura N°2: Croquis Base La Paz

Fuente: Revista Azimut Año 4, Número 9 junio 2009. ISSN 1659-2948

La Base de la Sabana se perdió, pese a que era un sitio con las características idóneas para la ubicación de una BC, en lo que respecta a su ubicación por lo céntrico y de fácil acceso en relación a la ciudad de San José y por su cercanía con la sede Rodrigo Facio Brenes de la Universidad de Costa Rica ubicada en San Pedro Montes de Oca, es un lugar ideal para la creación de una nueva BC.

1.4 Objetivo General:

Crear una BC para equipos topográficos que midan distancias por medios electromagnéticos, con el uso de receptores GNSS y un amarre libre con la finalidad de brindar a la EIT-UCR, una base para calibrar sus equipos y una herramienta didáctica para sus cursos, además de ofrecer a la población que utilizan dichos instrumentos la posibilidad de verificar y obtener los datos para el ajuste de sus equipos topográficos.

1.4.1 Objetivos Específicos:

1. Localizar una alineación con visibilidad directa en sí misma y desde el horizonte hacia el cenit, en todas las direcciones, de una longitud aproximada a los 500m y en curva vertical a desnivel de un extremo al otro.
2. Establecer los extremos y los puntos internos de dicha alineación de la manera más adecuada.
3. Amojonar todos los puntos de dicha alineación de forma duradera y estable.
4. Crear las fichas de ubicación y descripción de la BC.
5. Medir con gran precisión las distancias entre los puntos de la BC en todas las combinaciones diferentes y obtener las alturas de los mismos, mediante nivelación geométrica.
6. Ajustar por mínimos cuadrados las distancias referidas anteriormente, para obtener distancias ajustadas de la BC.
7. Generar una aplicación para que los usuarios puedan calibrar sus distanciómetros.

8. Elaborar un informe final que detalle todo el proceso y muestre con cuadros, gráficos e imágenes los resultados obtenidos, sometidos al correspondiente control de calidad.

1.5 Alcances

Este trabajo permitirá al crear una BC que la EIT-UCR pueda verificar y corregir el estado de los equipos de mediciones por medios electromagnéticos, por otra parte permitirá que profesionales puedan verificar sus equipos, abriendo la posibilidad a diversas investigaciones, también puede ser parte de proyectos de ventas de servicios para calibrar equipos y abre la posibilidad de realizar nuevos trabajos de graduación, verificando o extendiendo los alcances de la misma.

1.6 Proyecciones

Este proyecto ayudará a la comunidad de Ingenieros Topógrafos, tanto a estudiantes, docentes y a profesionales, en el desempeño de sus funciones y en el mejoramiento de la calidad de los trabajos que realicen con el uso de equipos de medición electromagnéticos.

Ayudar a toda la comunidad en general, reduciendo los posibles costos económicos en obras civiles por defectos en las mediciones o marcajes de los mismos, brindando la posibilidad que los profesionales tengan un lugar accesible para la calibración de sus equipos.

Se espera también que este proyecto de pie a futuras investigaciones, colaborando así con la Comunidad Universitaria del país.

1.7 Limitaciones

Por las características físicas que requiere la BC, hablamos de una línea con visual de al menos 500m y con un perfil longitudinal de terreno adecuado, esto hace que no sea fácil encontrar un lugar que cumpla estas características en los alrededores de la sede Rodrigo Facio Brenes de Universidad de Costa Rica, por lo que su ubicación será en la Sabana.

Para que sea de fácil acceso a la Comunidad es necesario ubicar la BC en una zona pública, y esto hace que sea difícil proteger los hitos de la delincuencia y factores externos.

La BC será procesada de forma local sin el uso de estaciones de referencia, ya que su objetivo es servir solo como una base para calibrar equipo topográfico que mida distancias por medios electromagnéticos, exponiendo además que no es necesaria la utilización de tales procesos para lograr los objetivos planteados.

La BC no estará enlazada a ningún sistema de proyecciones ni a ningún sistema de elevaciones, para efectos de este trabajo de graduación esto porque no es parte de los objetivos planteados.

CAPÍTULO 2: Marco Teórico

2.1 Teoría científica que se toma como marco de referencia teórico para la práctica.

El Principio o teoría científica que se toma como marco de referencia teórico para el trabajo que se pretende ejecutar, se basa en conocimientos que conforman el quehacer de la ingeniería topográfica, muy relacionada con el uso y aplicación de receptores geodésicos de doble frecuencia para determinar con alta precisión y exactitud distancias cortas de hasta 20 m de longitud, el uso de programas de proceso de observaciones GNSS para el cálculo de valores de magnitudes métricas, que se basan en la teoría del ajuste de observaciones por mínimos cuadrados para la definición de los resultados finales y de sus exactitudes.

2.2 El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) ¹

Es un sistema de radionavegación de los Estados Unidos de América, basado en el espacio, que proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo. A todo el que cuente con un receptor del GPS, el sistema le proporcionará su localización y la hora exacta en cualesquiera condiciones atmosféricas, de día o de noche, en cualquier lugar del mundo y sin límite al número de usuarios simultáneos.

El GPS se compone de tres elementos: los satélites en órbita alrededor de la Tierra, las estaciones terrestres de seguimiento y control, y los receptores del GPS propiedad de los usuarios. Desde el espacio, los satélites del GPS transmiten

¹ Gobierno de los Estados Unidos. (S.f.). Sistema de Posicionamiento Global Al Servicio del Mundo. Mayo 2015, de Oficina de Coordinación Nacional de Posicionamiento, Navegación, y Cronometría por Satélite
Sitio web: <http://www.gps.gov/spanish.php>
del Mundo. Mayo 2015, de Oficina de Coordinación Nacional de Posicionamiento, Navegación, y Cronometría por Satélite
Sitio web: <http://www.gps.gov/spanish.php>

señales que reciben e identifican los receptores del GPS; ellos, a su vez, proporcionan por separado sus coordenadas tridimensionales de latitud, longitud y altitud, así como la hora local precisa.

Hoy están al alcance de todos en el mercado los pequeños receptores del GPS portátiles. Con esos receptores, el usuario puede determinar con exactitud su ubicación y desplazarse fácilmente al lugar a donde desea trasladarse, ya sea andando, conduciendo, volando o navegando. El GPS es indispensable en todos los sistemas de transporte del mundo ya que sirve de apoyo a la navegación aérea, terrestre y marítima. Los servicios de emergencia y socorro en casos de desastre dependen del GPS para la localización y coordinación horaria de misiones para salvar vidas. Actividades cotidianas como operaciones bancarias, de telefonía móvil e incluso de las redes de distribución eléctrica, ganan en eficiencia gracias a de la exactitud cronométrica que proporciona el GPS. Agricultores, topógrafos, geólogos e innumerables usuarios trabajan de forma más eficiente, segura, económica y precisa gracias a las señales accesibles y gratuitas del GPS.

2.3 Historia del GNSS²

Como ya se ha mencionado se entiende por GNSS, al conjunto de sistemas de navegación por satélite, como son el GPS, GLONASS y el reciente Galileo. Es decir los sistemas que son capaces de dotar en cualquier punto y momento de posicionamiento espacial y temporal.

Sin embargo, el concepto de GNSS es relativamente reciente, puesto que su historia comienza en los años 70 con el desarrollo del sistema estadounidense GPS, que como ya hemos mencionado, tuvo en sus orígenes aplicaciones exclusivamente militares, y su cobertura a pesar de ser mundial, no era, como hoy se entiende "Global", es decir, era un sistema de uso exclusivamente militar cuyo control estaba bajo el DoD (*Department of Defense*) de los Estados Unidos, y sometido a un estricto control gubernamental.

No es hasta que se empiezan a tener en cuenta sus aplicaciones civiles, cuando el Gobierno de los Estados Unidos encarga realizar diversos estudios a distintas agencias como a RAND, con el propósito de analizar la conveniencia de emplear esta tecnología con fines civiles.

Así pues, tras diversos estudios, es en los noventa, a partir de la segunda mitad, cuando esta tecnología comienza a emplearse con fines civiles, y a alcanzarse numerosos acuerdos entre el Gobierno Estadounidense y distintos países de todo el mundo. Siendo el GPS hasta el momento el único sistema de navegación por satélite plenamente operativo, y debido a que el gobierno ruso decide no seguir adelante con GLONASS, los estadounidenses tienen en este período el control de los sistemas de posicionamiento con sus satélites.

Con el segmento espacial (red de satélites) perteneciente de manera exclusiva a los EEUU, el resto de países, como Japón, Australia, y el continente

² D. García Á. (2008) Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) (Tesis de Grado) Universidad Autónoma de Madrid, España

europeo, se centran en el desarrollo del segmento de tierra, es decir, de los centros de control y recepción de las señales GPS, y de elaborar sistemas de aumento (SBAS y GBAS) para dicha tecnología, que les permitan obtener un posicionamiento más preciso a través de distintos métodos que veremos más adelante.

Esto plantea inquietudes a nivel internacional, ya que, la capacidad que tienen los EEUU para emitir la señal civil del GPS es también la misma para distorsionarla o dejar de emitirla en caso de guerra o conflictos entre países (lo que se entiende como disponibilidad selectiva), surge así la necesidad para los demás países de tener su propio sistema de navegación por satélite, que les permita de manera autónoma disponer de esta tecnología sin dependencia de los EEUU.

Queda pues, un largo camino por recorrer para el resto de países en el desarrollo de nuevos sistemas de navegación por satélite. Europa plantea Galileo como sistema con un uso exclusivamente civil, si bien los gobiernos de los distintos países podrán emplearlo también con fines militares. Rusia relanza el proyecto GLONASS y otros países como China plantean el desarrollo de sistemas experimentales como COMPASS, la India IRNSS y Japón QZSS como sistemas regionales.

Si el GNSS plantea un futuro lleno de posibilidades, primero han de resolverse multitud de cuestiones, como capacidades de los nuevos sistemas, interoperabilidad con el GPS o costes entre otras cosas. Factores que implican a multitud de organizaciones, como agencias espaciales encargadas del desarrollo del sistema, gobiernos y otras agencias nacionales e internacionales encargadas de cuestiones legislativas.

Han proliferado en multitud de países agencias, publicaciones, asociaciones de GNSS con el fin de proponer aplicaciones, soluciones y acuerdos así como educar sobre esta tecnología, debido en parte a su prometedor futuro, y en parte a su complejo entorno internacional.

Hemos establecido ya un marco para definir qué características debe tener un sistema GNSS a estas alturas, ya que si bien el primero fue el GPS, su evolución así como el resto de sistemas que surjan en otros países deben tener una estructura básica muy similar para garantizar la interoperabilidad y las características entre distintos GNSS.

2.3.1 GNSS: definición de su composición, características y segmentos.

Los sistemas de navegación por satélite tienen una estructura claramente definida, que se divide en tres segmentos distintos: un segmento espacial, un segmento de control, un segmento de usuarios. No se entiende un GNSS sin alguno de estos tres elementos.

Hasta ahora la situación era la de sistemas dependientes del GPS, que no tenían segmento espacial, o que está en fase experimental, y por tanto son sistemas que por sí mismos no son completamente operativos, como el Galileo ahora en fase experimental.

Así, mientras que el segmento espacial hasta ahora ha pertenecido exclusivamente al GPS y al GLONASS (aunque su constelación de satélites no abarca una cobertura global), quedando relegados el resto de países a usarlos, los segmentos de control se han implantado de distinta manera en cada país (Japón, EEUU, Rusia) o continente (Europa), dando lugar a los sistemas de aumento basados en tierra o satélite, comentados anteriormente.

A continuación vamos a describir qué es lo que debe tener un GNSS en cada segmento para poder ser considerado como tal, y no un sistema de aumento dependiente de otro GNSS.

2.3.1.1 Segmento espacial

Es el segmento compuesto por los satélites que forman el sistema, tanto de navegación como de comunicación. Mientras que los primeros orbitan alrededor de la Tierra, repartiéndose en distintos planos orbitales, los segundos son los que forman los llamados sistemas de aumento que sirven para la corrección de errores de posicionamiento.

Satélites de navegación

El segmento espacial de un GNSS debe tener el suficiente número de satélites de navegación, tales que éstos puedan garantizar una cobertura global en todo momento.

Además para ser lo suficientemente robusto en el servicio, ha de tener un número que le permita transmitir información de manera redundante en caso de que algún satélite deje de prestar servicio, o para que haya un mayor número de satélites en una zona que nos permitan obtener un posicionamiento más preciso.

Los satélites por otro lado, han de estar colocados en distintos planos orbitales de tal forma que se cubra toda la Tierra de manera global en todo momento (actualmente el GPS garantiza un mínimo de 5 satélites visibles en cualquier parte del mundo). Sin embargo dependiendo del número de satélites, la distribución dentro de estos planos orbitales no tiene porqué ser uniforme.

Aunque entraremos en más detalle sobre las características técnicas en posteriores capítulos, basta con saber que el GPS estadounidense en la actualidad tiene una constelación de 30 satélites, distribuidos en seis planos orbitales de manera no uniforme, ya que los satélites adicionales que proporcionan información redundante se han ido añadiendo poco a poco a la constelación originalmente uniforme de 24 satélites.

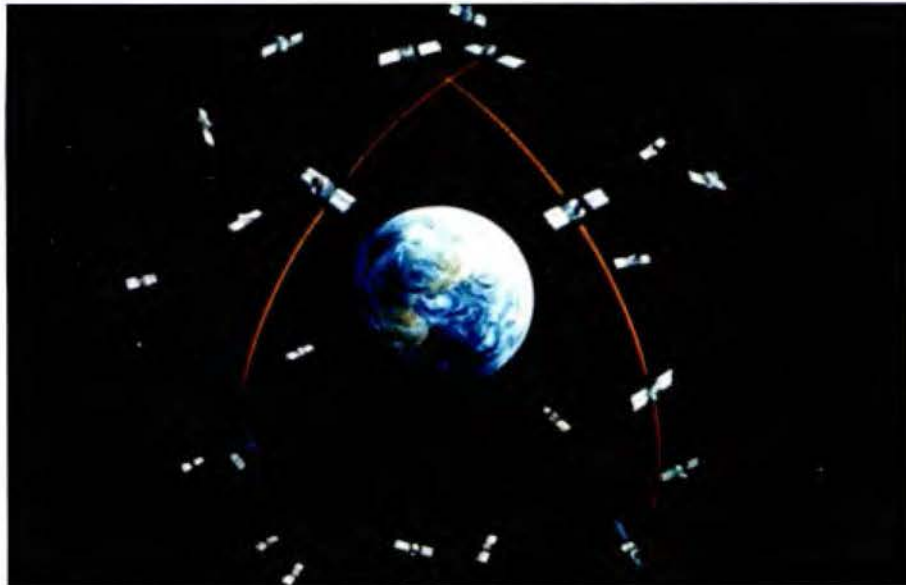


Figura N°3: Constelación de satélites GPS

Fuente: D. García Á. (2008) Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) (Tesis de Grado) Universidad Autónoma de Madrid, España

Satélites de comunicación

Por otro lado, en el SS podemos encontrarnos satélites de comunicación GEO, que forman los llamados sistemas de aumento, particulares de cada país. Dicho satélite retransmite la información con correcciones procedente del segmento de control, lo que aumenta la precisión del sistema. Ejemplos de sistemas de aumento son el WASS de EEUU, el EGNOS en Europa o el MFSAS de Japón y Australia.

2.3.1.2 Segmento de control

Formado por el conjunto de estaciones en tierra que recogen los datos de los satélites. Este segmento es complejo en su definición, siendo propio de cada país o coalición de países, y estructurándolos en función de distintos criterios como más convenga.

Sus funciones son garantizar las prestaciones del sistema mediante monitoreo del segmento espacial y aplicar correcciones de posición orbital y temporal a los satélites, enviando información de sincronización de relojes atómicos y correcciones de posicionamiento de órbitas a los distintos satélites.

Estructura del segmento de control

La estructura básica para todo GNSS, es un conjunto de estaciones de monitorización y una estación de control, que reciben las señales de los satélites y son capaces de llevar a cabo las funciones anteriormente citadas.

Cada estación genera su propia información sobre el funcionamiento del sistema, en última instancia esta información se envía a una estación de control que aplica dichas correcciones al satélite del GNSS, en cuanto a su posición orbital y coordenadas temporales, o bien retransmite la información a un satélite geoestacionario que forma un sistema de aumento (como se hace en la actualidad con el GPS, en países que no tienen un segmento espacial propio).

Como la posición de cada estación y las coordenadas temporales se conocen (cada estación está equipada con un reloj atómico de cesio), se pueden combinar las medidas obtenidas por varias estaciones para crear un sistema de navegación inverso que determine la localización espacial y temporal del satélite.

En última instancia se envía a través de las estaciones de monitorización o de control la nueva información al satélite, que corrige así su órbita y su mensaje de navegación.



Figura N°4: Centro de control de Misiones de GPS

Fuente: D. García Á. (2008) Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) (Tesis de Grado) Universidad Autónoma de Madrid, España

2.3.1.3 Segmento de usuario

Formado por los equipos GNSS que reciben las señales que proceden del segmento espacial. Este dispositivo está formado por un conjunto de elementos básicos que son:

Antena receptora de GNSS a la frecuencia de funcionamiento del sistema, de cobertura hemisférica omnidireccional. Puede ser de muchas formas y materiales, dependiendo de las aplicaciones y del coste del receptor: monopolo, dipolo, dipolo curvado, cónico-espiral, helicoidal o *microstrip*.

Receptor: es del tipo heterodino, basado en la mezcla de frecuencias que permite pasar de la frecuencia recibida en la antena a una baja frecuencia que podrá ser manejada por la electrónica del receptor. Contiene un reloj altamente estable (generalmente un oscilador de cristal) y normalmente una pantalla donde mostrar la información de posicionamiento.

Los receptores se encargan de tres funciones principales:

- *Satellite Manager*, que es la gestión de los datos que envía el satélite. En primer lugar el receptor está en modo INIT en el que se almacena el almanaque y el estado de los satélites en una memoria. Después pasa al modo NAV en el que almacena los datos necesarios para los cálculos.
- *Select Satellite*, que se encarga de encontrar los cuatro satélites con geometría óptima para la navegación, a partir de una lista de satélites visibles.
- *SV Position Velocity Acceleration*, que calcula la posición y velocidad de los satélites empleados en la navegación.



Figura N°5: Receptor WOXTER 100 GPS con Bluetooth

Fuente: D. García Á. (2008) Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) (Tesis de Grado) Universidad Autónoma de Madrid, España

Este segmento ha evolucionado mucho, desde sus principios donde un receptor era capaz de captar la señal de cuatro o cinco satélites, hasta la

actualidad que tienen hasta doce o veinte canales, lo que permite un mejor posicionamiento.

Además del número de canales (o señales de satélite que es capaz de captar), los receptores también se caracterizan por los sistemas de corrección internos (como DGPS) y también por los protocolos que utiliza con distintos fines, como comunicaciones entre dispositivos (mediante USB, *Bluetooth* o NMEA 0183).

Por último decir que es de vital importancia la existencia de acuerdos entre distintos GNSS de forma que los receptores de un sistema puedan recibir señales de los satélites de otro sistema o de sistemas de aumento, lo que implica que en la actualidad se trate de buscar un consenso de cómo deben evolucionar los GNSS.

2.3.2 Prestaciones de los actuales sistemas GNSS

Ahora que ya hemos definido la estructura básica de un sistema global de navegación por satélite, vamos a analizar las prestaciones básicas que debe ofrecer. Aunque entraremos en detalle en el próximo capítulo sobre las prestaciones de cada sistema en particular, vamos a analizarlas en este apartado de manera común a todos:

- Cobertura: todo GNSS debe tener una cobertura mundial, es decir, una constelación de satélites que sea suficiente como para garantizar el funcionamiento del sistema en cualquier parte del planeta. Como dijimos antes, necesitamos un mínimo de cuatro satélites para calcular las coordenadas espaciales y temporales.
- Disponibilidad: el sistema debe garantizar su normal funcionamiento durante un porcentaje muy elevado de tiempo, en torno al 95% o 99% si hablamos de aplicaciones críticas o no. Esto hace que se

introduzcan satélites redundantes a la constelación para garantizar el funcionamiento en caso de que alguno falle.

- **Precisión:** el sistema debe proporcionar un posicionamiento espacial y temporal preciso. Hablamos de un rango de metros en aplicaciones civiles en la actualidad, que varían de un sistema de aumento a otro; y de centímetros para aplicaciones militares del GPS.
- **Integridad:** la integridad es un concepto fundamental en la navegación. Hace referencia a cómo de fiables son los datos que se están usando para seguir una determinada ruta o realizar una determinada operación. Para cuantificar la integridad, se suele expresar el riesgo de pérdida de integridad como la probabilidad de un fallo no detectado. Es decir los satélites deben transmitir información fiable y no errónea.
- **Continuidad de servicio:** concepto que se refiere sobre todo al servicio prestado por el GPS, ya que el Gobierno Norteamericano podría apagar la señal civil que generan sus satélites, terminando o interrumpiendo así su servicio.

Así para garantizar todas las prestaciones del sistema, se debe tener el control del mismo, ya que la dependencia de otros sistemas, ya sea GPS o GLONASS, hace que los países sin su propio Sistema de Navegación por Satélite, no puedan garantizar dichas prestaciones; si bien con los sistemas de aumento si podemos garantizar algunas de éstas.

2.3.3 Funcionamiento de un sistema GNSS

En este apartado vamos a cubrir los aspectos clave del funcionamiento de los GNSS. Ahora que conocemos su estructura básica y las prestaciones que

debe ofrecer, vamos a ver el proceso que se da desde que se envía la información hasta que se recibe, y como se aprovecha dicha información para calcular el posicionamiento.

El funcionamiento de un Sistema de Navegación por Satélite involucra los distintos segmentos vistos anteriormente, de tal manera que se relacionan entre sí:

- Segmento espacial: envía la señal que se recibe en los segmentos de control y usuario.
- Segmento de control: recibe la señal del segmento de espacio, monitoriza y actualiza información enviando correcciones a los satélites si es preciso.
- Segmento de usuario: recibe información procedente del segmento espacial y calcula su posición.



Figura N°6: Funcionamiento de un GNSS

Fuente: D. García Á. (2008) Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) (Tesis de Grado) Universidad Autónoma de Madrid, España

2.3.4 ¿Cómo se calcula la posición?

El cálculo de la posición depende básicamente de dos parámetros que son la posición del satélite y el reloj del mismo. Dicha información es recogida en la señal enviada por el satélite hasta el receptor, siendo el proceso de cálculo el siguiente:

- La situación de los satélites es conocida por el receptor con base en las efemérides³, parámetros que son transmitidos por los propios satélites.
- El receptor GNSS mide su distancia de los satélites, y usa esa información para calcular su posición. Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar al receptor. Conocido ese tiempo y basándose en el hecho de que la señal viaja a la velocidad de la luz (salvo algunas correcciones que se aplican), se puede calcular la distancia entre el receptor y el satélite.
- Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.
- Son necesarios al menos cuatro satélites para obtener la posición, con tres satélites somos capaces de calcular la posición en tres dimensiones, mientras que el cuarto nos permite eliminar los errores de sincronismo.

Podemos resumir esto en el siguiente sistema de ecuaciones:

³ Conjunto de parámetros orbitales que indican la posición del satélite.

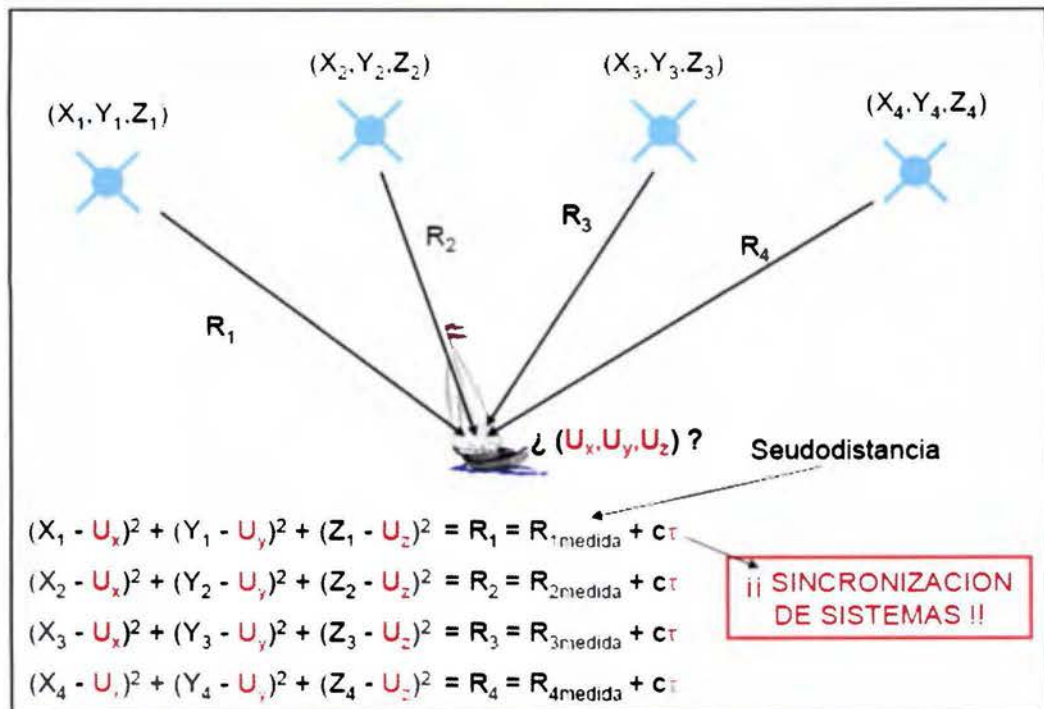


Figura N°7: Representación esquemática del funcionamiento del GNSS
Fuente: D. García Á. (2008) Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) (Tesis de Grado) Universidad Autónoma de Madrid, España

2.3.5 Fuentes de error

La información procedente de cada satélite que viaja en una señal puede verse afectada por distintas fuentes de error:

- Efectos atmosféricos
- Efectos multitrayecto
- Errores de efemérides y reloj
- Errores debidos a la relatividad
- Disponibilidad selectiva

Estos errores que degradan la precisión del servicio, han hecho que surjan como ya se han comentado sistemas de mejora para obtener mayores prestaciones.

2.3.6 Aplicaciones de los sistemas GNSS

Como ya se ha descrito anteriormente, el nacimiento de la tecnología GNSS tiene su origen en las aplicaciones militares del GPS, empezando a funcionar para aplicaciones civiles a finales de los 80. Vamos a ver ahora estos dos tipos de aplicaciones y a describir su estado actual, así como sus características.

2.3.6.1 GPS: el sistema militar

Los beneficios del GPS son cuantiosos, se ha convertido en un componente esencial para los sistemas militares estadounidenses, usándose en todo tipo de equipamiento militar como armas guiadas de alta precisión, o navegación y posicionamiento de las tropas en vehículos de tierra mar y aire. Podemos clasificar los servicios militares como:

- Servicios para Ejército del Aire: reconocimiento y localización de objetivos, repostaje en vuelo, cálculo de rutas, aproximación al aterrizaje, precisión de los bombardeos, etc.
- Servicios para Infantería: supervivencia, emplazamiento de la artillería, reconocimiento y localización de objetivos, recuperación de equipos, puntos de encuentro, evacuaciones, etc.
- Servicios para la Marina: navegación, operaciones anfibias, patrulla costera, emplazamiento de minas, posicionamiento de submarinos, etc.

Sin embargo el GPS ha vuelto al ejército de EEUU extremadamente dependiente de dichos dispositivos, lo que ha llevado a cabo el estudio de mecanismos de seguridad que garanticen que no se va a emplear su propia tecnología contra ellos mismos.

Mecanismos como la citada disponibilidad selectiva actualmente en desuso o el control que ejerce el gobierno sobre los receptores GPS que se venden, limitando su funcionalidad dependiendo de su altitud y velocidad, (no permiten una velocidad mayor de 515 m/s a una altitud mayor de 18 Km) evitando con dichas medidas que puedan colocarse en armas guiadas contra los EEUU.

2.3.6.2 GNSS: el sistema civil global

El uso del GPS como tecnología civil se inicia a partir de la década de los 90, y supone el inicio de un nuevo sector tecnológico con multitud de aplicaciones potenciales. Cabe destacar distintos tipos de aplicaciones:

- Automoción: los sistemas de navegación de automóviles basados en GPS, son la aplicación más conocida de esta tecnología en la actualidad. Son receptores GPS de distintas características, y sobre los que podemos cargar un *software* con diversa información (mapas, localizaciones, límites de velocidad, radares...), son capaces de analizar y planificar rutas en marcha. Constituyen un amplio mercado en la actualidad.
- Ferrocarriles: La navegación por satélite se utiliza ya en algunas aplicaciones tales como el apoyo al control del tráfico, la gestión de recursos ferroviarios o la asistencia al cliente, o el «control activo de los trenes». También se empleará en futuros sistemas de control de

trenes y señalización de la Unión Europea, a través del proyecto Galileo.

- **Aviación:** los sistemas GPS integrados en las actuales cabinas sirven para el guiado del piloto automático a través de la planificación de rutas. Para lograr una mayor precisión en ruta utilizan sistemas de aumento como WAAS o LAAS en función de donde se encuentren⁴.
- **Navegación marítima:** el GPS es utilizado en la actualidad por multitud de barcos para navegar por mares océanos e incluso lagos. Estos sistemas tienen un *software*, como el MOB, que permite el rescate marítimo de personas en el mar de manera mucho más sencilla, ya que establece la posición exacta en la que se produce el accidente⁵.
- **Agricultura:** el DGPS ha supuesto también una revolución en el mundo agrícola facilitando multitud de procesos: La gestión de activos, optimizando el uso de recursos en función del trozo de parcela en el que se encuentre la máquina, el trazado de lindes, la gestión forestal y el seguimiento de vehículos son sólo algunos ejemplos.
- **Inspección y mapeo de territorios (geodesia y geofísica):** el GNSS se emplea en la medición de datos para actualización de mapas cartográficos. Un ejemplo del uso del GNSS son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son una integración organizada de hardware, *software*, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión, en donde se utiliza el GNSS para la recogida de datos.

⁴ Organismos como la ICAO establecen la normativa y el uso de estos sistemas.

⁵ Organismos de la ONU como la IMO (Organización Internacional Marítima) dictan normas y proyectos relacionados con receptores GPS.

- Sincronización de equipos: el GPS es utilizado en la actualidad para la sincronización de distintos tipos de equipos por ser una fuente de tiempo muy precisa. Se usa por ejemplo en el protocolo NTP de Internet para la sincronización de equipos informáticos de una red, estableciendo el reloj del GPS como el maestro a partir de los que se sincronizan el resto. También se usa en comunicaciones TDMA para redes.
- Telefonía móvil: Algunos teléfonos móviles pueden vincularse a un receptor GPS diseñado a tal efecto. Suelen ser módulos independientes del teléfono que le proporcionan los datos de posicionamiento, los cuales son interpretados por un programa de navegación.
- Servicios de localización y emergencia: son servicios basados en el GPS integrado en un dispositivo móvil, que envía la información de la posición de éste a través de una red. Pueden tener distintas aplicaciones, como servicios de emergencia (localización de personas), o publicidad (localización de lugares). El uso del GPS para el ocio y tiempo libre es un segmento que tiene cada vez un mercado mayor: el senderismo, ciclismo, escalada, montañismo etc. Se han hecho eco de esta tecnología. La iniciativa GMES dentro del proyecto Galileo es un ejemplo del uso del GNSS con estos fines.
- Transporte multimodal: los GNSS van a permitir la localización y gestión de flotas de transporte (tierra, mar o aire), permitiendo mejores tiempos de entrega y el abaratamiento de costes.
- Elaboración de mapas de la ionosfera: la información que envían los satélites GPS es sensible a las perturbaciones de la ionosfera, que causan error en la señal que se propaga. A través de dicho error podemos medir las perturbaciones en la ionosfera y por tanto hacer un

mapa de la misma, a través del cual se podrán medir seísmos en cualquier parte del planeta en tiempo real.

Las nuevas aplicaciones que están surgiendo son también las responsables del diseño de los nuevos GNSS y de la actualización de versiones de GPS y GLONASS, a los que se les han añadido nuevas prestaciones que permitan dar nuevos servicios (en el capítulo 3 se presentan las prestaciones de los actuales GPS y GLONASS frente a las del nuevo Galileo, en este capítulo se observa la evolución de la tecnología para ofrecer cada vez mejores prestaciones y mayores servicios).

Por otro lado, estas aplicaciones tendrán un profundo impacto en diversos sectores mejorándolos positivamente: permitiendo optimizar desde la distribución de energía en una red eléctrica, a la mejora de redes de comunicaciones, la gestión más efectiva del transporte, o la monitorización de recursos para su uso más eficiente. Todas estas aplicaciones tienen un impacto económico positivo a través del abaratamiento de costes por el uso más eficiente de recursos, y el desarrollo de un nuevo mercado con múltiples oportunidades de negocios. Los GNSS mejorarán la calidad de vida en los países que inviertan en el desarrollo de proyectos basados en esta tecnología.

2.4 Teoría del ajuste de observaciones por mínimos cuadrados⁶.

Se usa de forma extensiva el método de ajuste por mínimos cuadrados, concretamente para las compensaciones de poligonales y redes, intersecciones directa e inversa, nivelación trigonométrica y transformaciones de coordenadas.

En la realización de un levantamiento topográfico (conjunto de operaciones necesarias para obtener puntos del terreno para poder representarlos de forma gráfica y numérica) normalmente se toman más observaciones que las necesarias, con objeto de reducir la posibilidad de errores y mejorar la precisión del resultado. Esto origina un modelo geométrico que está sobre determinado, o dicho de otra forma, un sistema con más ecuaciones que incógnitas. Los valores más probables para las coordenadas de las estaciones pueden ser calculadas mediante el ajuste simultáneo de las observaciones de forma que la suma de los cuadrados de sus residuos sea mínima, de ahí el término “mínimos cuadrados”.

Implementando el cálculo por mínimos cuadrados usando el método de las ecuaciones de observación, de forma que cada observación genera una o varias ecuaciones, que son ajustadas de forma simultánea. Matemáticamente se expresa con la siguiente ecuación matricial:

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P L$$

Dónde:

X= es un vector que contiene la diferencia entre las coordenadas actuales de cada base y las coordenadas resultantes

A= es la matriz de coeficientes que se crea a partir de los datos de las observaciones y coordenadas de las estaciones que intervienen en ellas,

P= es una matriz diagonal de pesos de las ecuaciones,

⁶ Aaplitop. (S.f.). Teoría del ajuste de observaciones por mínimos cuadrados. 20 enero 2014, de Aaplitop
 Sitio web: <http://www.aplitop.com/soporte/manuales/mdt/Topografia/introduccion3.htm>

$L=$ es un vector que contiene los residuos entre los valores observados y calculados para cada observación (términos independientes).

Un programa que utilice estos medios puede calcular por medio de un proceso iterativo la matriz X hasta que sus valores sean inferiores al umbral de convergencia especificado en la configuración del cálculo por mínimos cuadrados, o bien hasta que se supere el máximo de iteraciones. Normalmente, si el sistema está bien condicionado, debería converger en la segunda o tercera iteración. En caso contrario el programa presentará un mensaje de error, debiendo el usuario aumentar el número de iteraciones, disminuir la convergencia o bien comprobar las observaciones.

Si se ha solicitado el cálculo en tres dimensiones, el programa realizará separadamente un ajuste planimétrico para hallar las coordenadas definitivas "X,Y" y a continuación ejecuta el ajuste altimétrico para calcular la coordenada Z.

La ecuación matricial que calcula los residuos después del ajuste es:

$$V = AX - L$$

Dónde:

V = Vector de residuos

A = Matriz de coeficientes

X = Vector de diferencias entre coordenadas origen y destino

L = Vector de términos independientes

Por otra parte, la desviación estándar indicada en cada cálculo se obtiene por la siguiente fórmula:

$$S_0 = \sqrt{\frac{(V^T P V)}{r}}$$

Dónde:

S_0 = Desviación estándar

P = Matriz de pesos

r = Grados de libertad del sistema

Los grados de libertad se calculan restando el número de ecuaciones de observación (m) menos el número de incógnitas (n):

$$r = m - n$$

La desviación estándar de cada uno de los valores ajustados se obtiene por la fórmula:

$$S_{x_i} = S_0 \sqrt{Q_{x_i x_i}}$$

Dónde:

S_{x_i} = Desviación estándar del valor i ajustado

S_0 = Desviación estándar global del ajuste

$Q_{x_i x_i}$ = Elemento diagonal de la fila i, columna i de la matriz de covarianza

La matriz de covarianza se calcula con la ecuación:

$$Q = (A^T P A)^{-1}$$

Dónde:

Q = Matriz de covarianza

A = Matriz de coeficientes

P = Matriz de pesos

CAPÍTULO 3: Marco metodológico

3.1 Enfoque de la práctica

La práctica consistió en la materialización de una BC para equipo con mediciones electromagnéticas a partir del uso de receptores GNSS de doble frecuencia, los datos serán procesados de forma local sin el uso de estaciones de referencia, exponiendo además que para un sistema local como la BC no es necesario la utilización de procesos globales.

La práctica se realizara sobre terreno, se establecerán los hitos, se realizan las mediciones con GNSS, se medirá con Estación Total Leica® y se procesara, se contrastaran los datos y se entregaran los resultados.

3.2 Fuentes y sujetos de información

3.2.1 Fuentes primarias

Como fuentes primarias se utilizaran los receptores HiPer+ (ver Anexo N°5) y el GR-3 (ver Anexo N°4) de la marca *Topcon*® los dos, una Estación Total Leica® TS06 plus (ver Anexo N°2), un Nivel de Precisión electrónico Leica® *Sprinter* 250m (ver Anexo N°3) y *software* especializado *Topcon*® *Tools* v8.2.3, AutoCAD® Civil 3D 2009® y herramientas de *Microsoft*® *Office*® para el cálculos de las matrices de ajustes, pertenecientes a la EIT-UCR.

3.2.2 Fuentes secundarias

Como fuentes secundarias se buscó, Bibliografía, Publicaciones, Tesis y se consultó a Profesionales en el tema. Además información del sistema de imágenes satelitales y públicas, de *Google® Maps*, *Google® Earth* como soporte para el planeamiento y configuración de la BC.

3.2.3 Sujetos

La información será obtenida por la propia BC una vez materializada y de los datos obtenidos por los receptores GNSS *Topcon®*, la Estación Total *Leica®* y el Nivel de Precisión Electrónico *Leica®*.

3.3 Descripción de los instrumentos y complementos.

Para la ubicación preliminar de la BC, se buscó por medio de *Google® Maps* y *Google® Earth* los posibles lugares que cumplieran con la característica de 500m de línea recta.

Para la creación de los hitos de la base, se empleó varilla de acero de 50cm de largo, 100 kg de cemento preparado, pintura para la rotulación de los Hitos.

Para la ubicación de los hitos en cemento de la línea base, se requirió del siguiente equipo topográfico: cuatro bases nivelantes para Prisma, una Estación Total, cuatro trípodes, cuatro prismas, cinta métrica y otros por menores.

Una vez terminado el secado de los hitos, se midieron las distancias con Estación Total, Nivel de Precisión Electrónica y receptores GNSS, con sus accesorios básicos.

Los datos obtenidos por los receptores GNSS fueron descargados al computador y procesados por medio de varios *softwares*, *Topcon® Tools*, y herramientas *Office®*.

Los datos obtenidos por la Estación Total y el Nivel de Precisión Electrónica, fueron procesados con *AutoCAD® Civil 3D 2009®* y para obtener las distancias reducidas por medio de matrices se utilizó *Microsoft® Office® Excel 2007*.

3.4 Diagrama de labores para la realización de la Base de Calibración Sabana-UCR

Mostrando de manera simplificada las labores que se desarrollaran en el transcurso de este trabajo de graduación, se realiza un diagrama de flujo de actividades, que sintetiza las tareas principales que se realizaron para llegar a la creación de la BC Sabana-UCR, por medio de GNSS de doble frecuencia, con un ajuste local, con una nivelación geométrica de precisión y con un programa para el cálculo de las constantes multiplicativa y aditiva para el ajuste de un distanciómetro, llamado "Programa para el ajuste de las constantes multiplicativa (m) y aditiva (b) para la Base de Calibración de la Sabana-UCR".

Este diagrama puede servir de guía, para la programación de futuras actividades en la creación de una BC de este tipo o similar, siendo un recurso importante.

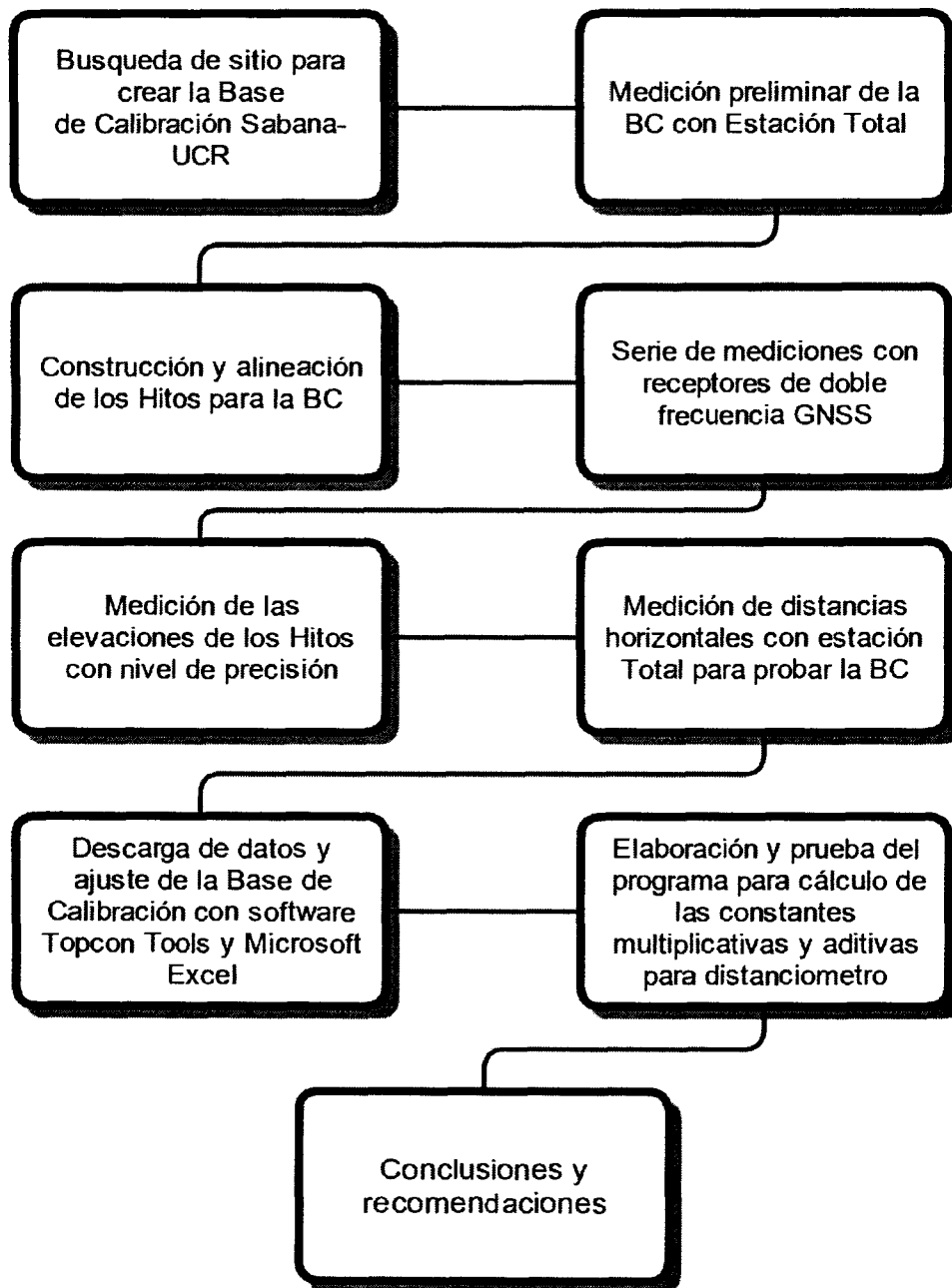


Figura N°8: Diagrama de actividades establecidas en la Metodología de trabajo
Fuente: Propia

3.5 Cronograma de actividades

A continuación se detallan los tiempos empleados para la realización de las actividades desarrollada en el presente trabajo, en el siguiente cronograma (ver Tabla N°1)

Tabla N°1: Cronograma

AÑO		2014										2015					
Mes		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	
ACTIVIDADES	Búsqueda del sitio para crear la BC	■															
	Medición preliminar de la BC con Estación Total	■															
	Consulta Bibliográfica		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Construcción y alineación de los Hitos para la BC						■	■									
	Serie de mediciones con receptores de debe frecuencia GNSS						■	■									
	Medición de las elevaciones de los Hitos con nivel de precisión						■	■									
	Medición de distancias horizontales con Estación Total para probar la BC							■	■								
	Descarga de datos y ajuste de la BC son software Topcon Tools y Microsoft Excel							■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Elaboración y prueba del programa para cálculo de las constantes multiplicativa y aditiva para distanciometro														■	■	
	Elaboración de un informe final															■	

Fuente: Propia

3.6 Ubicación de la Base de Calibración

Para poder cumplir con los requerimientos de la BC, que son una línea visual de al menos 500m con perfil cóncavo para evitar la refracción por calor, se hizo una búsqueda por medio del *Google® Earth*, para ubicar alguna línea que estuviera cerca de Universidad de Costa Rica. A pesar de conocer la ubicación y los antecedentes de la Base de la Sabana, esto con el fin de obtener una ubicación más favorable un cuanto a distancia de traslado desde la Universidad a la Base, y con el fin de reafirmar o no, que la ubicación de la Sabana es la idónea.

Producto de la búsqueda se pudo determinar varias líneas con las características que requerían, se presentan las propuestas a los profesores guías, y posterior a esto se organizan dos campañas de mediciones con Estación Total, para determinar si las líneas visuales cumplían con los requisitos

Las dos primeras líneas se ubican en la cercanía de la Universidad de Costa Rica, en San Pedro de Montes Oca, avenidas 2 y 4, que bordean los costados Norte y Sur el Parque *Roosevelt*, para esta medición se contó con la ayuda de un estudiante Diego Esquivel de la carrera de Ingeniería Topográfica de la UCR.

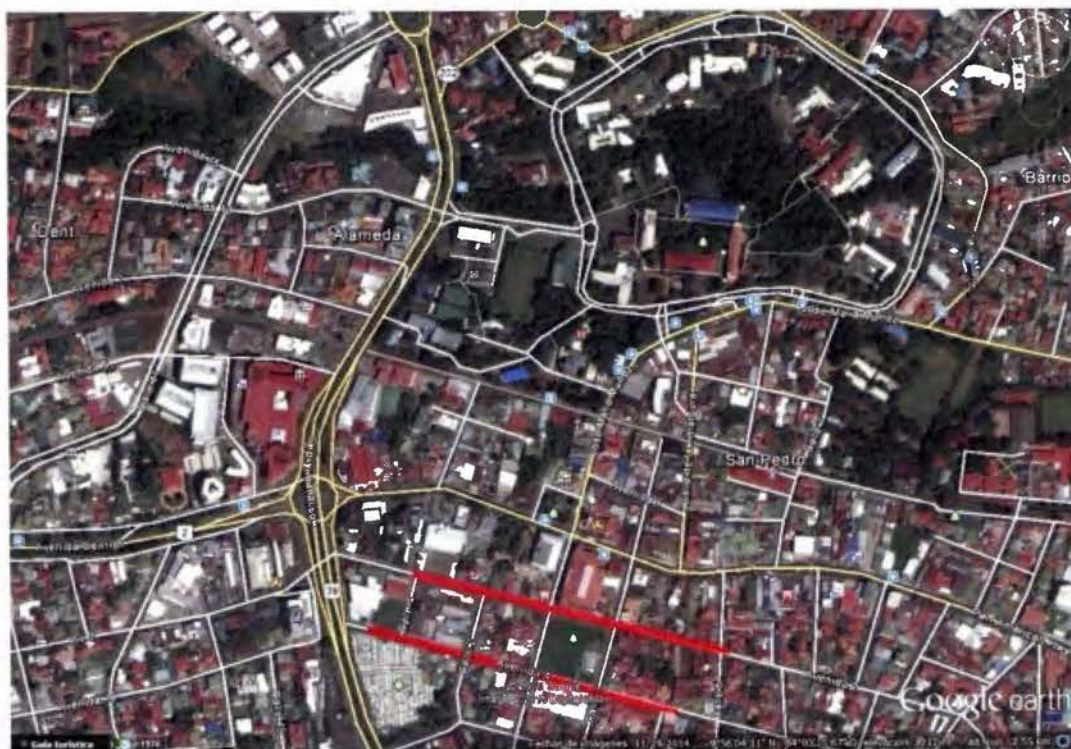


Figura N°9: Líneas preliminares 1 y 2 cercanía de la UCR

Fuente: Google® Earth ©2015, consultado en abril 2015

Instalando la Estación en un extremo de la línea y el prisma en el otro extremo, se buscó que tuvieran visual y que cumpliera con la distancia, en los dos casos si cumplían con la distancia, pero no con la línea visual, ya que se encontraban objetos en el derecho de vía que impedían la misma, tales como poste de luz, señales de tránsito, señales comerciales y vegetación, por lo que se descartan estas líneas para la colocación de la Base, esto ocasiona que sea difícil cumplir con el requisito que la base este cerca de la UCR.

La tercera línea se ubica en las cercanías del Colegio Federado de Ingenieros en el barrio José María Zeledón en la calle 85, se instala el equipo cerca de la Escuela con mismo nombre, y el prisma al otro extremo. Se presenta un obstáculo que es un árbol de la esquina de una casa, esto constituye un problema porque la única manera sería cortando las ramas o el árbol, también la

línea visual queda muy cerca de las propiedades, por lo que los portones abiertos o un carro impedirían las medición, además por ser un barrio cuenta con mucho cableado eléctrico y telefónico que obstruyen la señal emitida por los Satélites para los receptores GNSS, por estos motivos se descarta esta línea.



Figura N°10: Línea preliminar 3 cerca del CFIA
Fuente: Google® Earth ©2015, consultado en abril 2015

Una cuarta línea se localiza, en la Ruta 2 Florencio del Castillo, después de Tres Ríos, cerca del Residencial “Estan Anticua”, pasando el puente sobre el Río La Cruz, en el espaldón de la calle derecha, sentido San José – Cartago. Esta línea ofrece una visual sin obstáculos, y un perfil de terreno adecuado, pero se encuentra en una vía de alta velocidad por lo que es de alto riesgo tanto para las personas como para el equipo, por lo que es descartada como localización de una BC.



Figura N°11: Línea preliminar 4 en la Ruta 2 Florencia del Castillo

Fuente: Google® Earth ©2015, consultado en abril 2015

La quinta línea está en sobre la ruta 32 autopista Braulio Carrillo, en Tibás, Calle Blancos, después de la Bomba de Servicio Tour, del lado derecho de la vía sentido San José – Limón. Se coloca el prisma cerca de la Bomba de Servicio y la Estación al otro extremo, se hacen las mediciones de línea visual y se determina que si cumple con la distancia y el perfil, pero al igual que las condiciones de la cuarta línea, se expone al personal y al equipo a una zona de alto tránsito y riesgo por lo que se descarta también.



Figura N°12: Línea preliminar 5 ruta 32 autopista Braulio Carrillo
Fuente: *Google® Earth* ©2015, consultado en abril 2015

Terminando aquí las líneas previstas para explorar la posibilidad de montar la BC, esto hace replantear la idea del sitio para crear la BC, por lo que consultado con los asesores se definió que el lugar idóneo es donde anteriormente se encontraba establecida la BC de la Sabana.

Esto nos lleva a una sexta y última línea para la colocación de la BC, a la zona de la Sabana en San José, en la bahía de separación de la autopista Próspero Fernández, frente al Lago de la Sabana.

En este lugar se ubicó con anterioridad otra BC la cual fue destruida con la ampliación de la vía, este antecedente junto con las mediciones hechas en sitio, demuestran que el lugar cumple con las características de línea visual y perfil de terreno, por lo que se define esta como la línea idónea para la construcción de la BC.

3.6.1 Delimitación territorial

La BC se creará en la provincia de San José, Costa Rica, cantón Central, en el distrito de Mata Redonda, en el costado sur del Parque Metropolitano La Sabana, específicamente en la isla divisora de carriles de la Autopista José María Castro Madriz (ver Figura N°13).

3.7 Inicio de labores de campo para el montaje de la Base de Calibración Sabana-UCR

Primer día de campo en la Sabana, este día se dedica a la exploración y la definición de puntos temporales, que sirvan de guía en el análisis de los datos, para posteriormente poder ubicar los hitos fijos.

Se establece la ubicación de la primera estación en la bahía de separación de la autopista, empezando en el extremo Este, frente a la Piscina María del Milagro París.

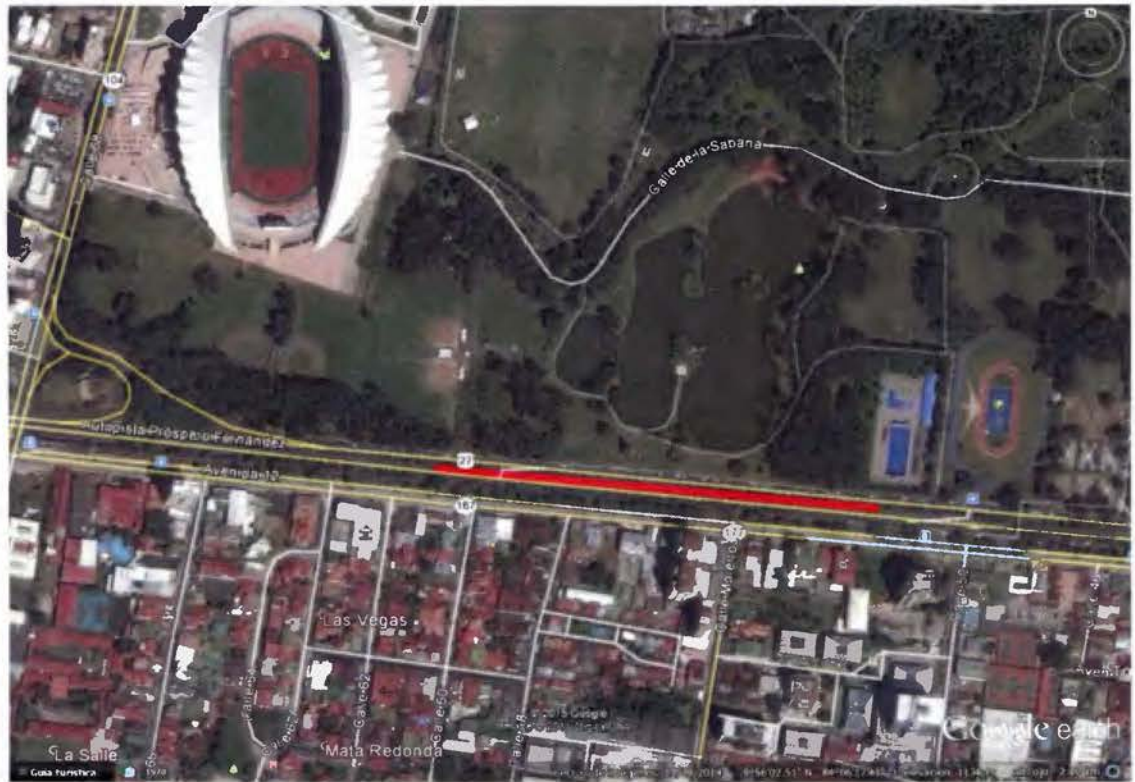


Figura N°13: Línea Final de la Base autopista Próspero Fernández
Fuente: Google® Earth ©2015, consultado en abril 2015

Para éste levantamiento se utilizó una Estación Total Leica®, dos prismas, varios tacos de madera, un mazo y accesorios, equipo básico para establecer los puntos y hacer un levantamiento de detalles.

El levantamiento se finaliza en un solo día de trabajo, sin inconvenientes, el clima fue soleado y despejado.



Figura N°14: Visión desde el Hito N°1
Fuente: Propia



Figura N°15: Colocando taco preliminar
Fuente: Propia



Figura N°16: Indicaciones al asistente
Fuente: Propia

3.8 Creación de los Hitos

Para la creación de los hitos de la BC se contó con la valiosa ayuda de dos estudiantes Diego Esquivel y Jelmuth Rojas, para la creación de los huecos, el traslado de materiales, el montaje de las bases de prisma, para la alinear los pines y de demás funciones.

El diseño de los bases será de forma cilíndrica de alrededor de 15 kg, una base de 0,60m a 0,65m con una altura de 0,15m y el cuerpo de 0,45m a 0,50m con una altura de 0,40m a 0,45m y una varilla de acero de 0,50m a 0,55m de largo.

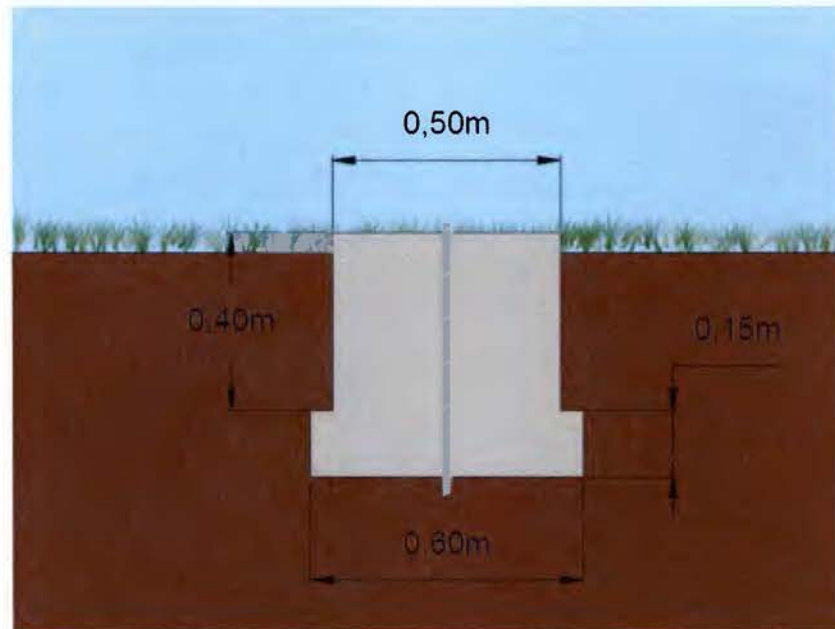


Figura N°17: Croquis de Hitos
Fuente: Propia

Para escavar los hitos se utilizó una pala curva o "palin", una lata vacía para extraer la tierra y dar forma a las paredes de los huecos y una cinta métrica para controlar la profundidad y el diámetro.



Figura N°18: Excavando para crear Hito N°1
Fuente: Propia



Figura N°19: Excavación terminada Hito N°1
Fuente: Propia

Una vez terminado las 6 fosas, se trasladó el material para preparar la mezcla de concreto en los puntos extremos, es decir el Hito N°1 y el Hito N°6, esto con el fin de utilizarlos como guía y así alinear los puntos internos para este proceso se esperó lo suficiente hasta que estuvieran secos y se montó en el Hito N°1 la Estación Total y en el Hito N°6 se montó un prisma con mireta sobre un trípode y una base de prisma, quedando aplomados sobre los puntos.



Figura N°20: Preparación de la mezcla de cemento
Fuente: Propia



Figura N°21: Molde para los Hitos
Fuente: Propia

Posteriormente se fue haciendo la mezcla para cada Hito, se utilizó un molde de plástico para que tuvieran la misma forma, y con la Estación Total en el Hito N°1 alineada al Hito N°6, se fueron montando bases para prisma sobre un trípode aplomado en cada uno de los demás Hitos para colocar la varilla de acero a plomo con la marca guía de la plomada óptica de la base de prisma.



Figura n°22: Alineando Bases de Prisma

Fuente: Propia



Figura N°23: Aplomo del pin de acero de Hito
Fuente: Propia



Figura N°24: Pin de acero, centro a plomo
Fuente: Propia



Figura N°25: Hito finalizado
Fuente: Propia

Al finalizar de montar los 6 Hitos y esperar que secan, se realizó un marcaje cuidadoso para que fueran fácilmente localizados.

Para el marcaje se utilizó una plantilla de triangulo y pintura anaranjado fosforescente, las marcas se hicieron en el cordón de bahía divisora de carriles.



Figura N°26: Demarcación refractiva de cada Hito
Fuente: Propia

3.8.1 Ficha de ubicación y descripción de los Hitos de la Base de Calibración la Sabana-UCR.

Para poder ubicar la BC se crean dos fichas de ubicación, con los cuales se podrá localizar los extremos de la misma, siendo éstos los Hitos N°1 y N°6, los demás Hitos serán fácilmente ubicables ya que están dentro de la línea que se forma entre los extremos y a las distancias que muestra la Figura N°27.

Las fichas serán de gran utilidad para los usuarios de BC, ayudando a determinar con facilidad y rapidez la ubicación de cada uno de los Hitos.

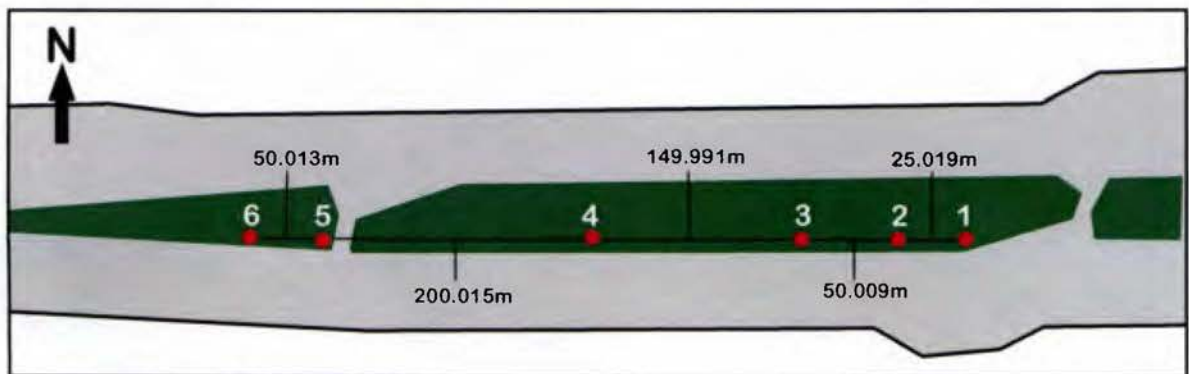


Figura N°27: Croquis distancias entre Hitos de la BC
Fuente: Propia

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Topográfica

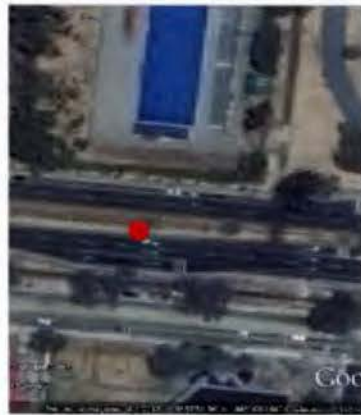
Ficha para la Ubicación del Hito N°1
Base de Calibración Sabana-UCR

Ubicación Geográfica:

Provincia: San José	Cantón: San José	Distrito: Mata Redonda
----------------------------	-------------------------	-------------------------------

Descripción: Costado sur del Parque Metropolitano La Sabana, por la piscina Olímpica, en la isla divisora de carriles de la Autopista José María Castro Madriz

Ubicación Hito N°1



Fuente: Google Earth 2015

Descripción del Hito N°1:

Base de cemento, con varilla de acero
Amarres a poste de Luz

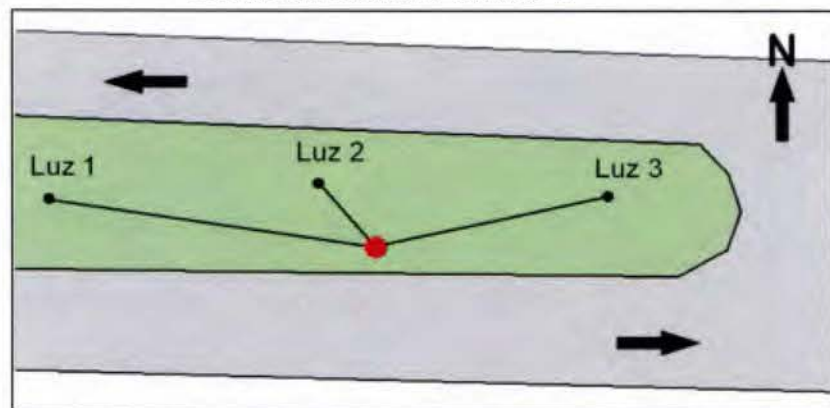
Coordenadas WGS84

Latitud:	9°55'58.20" N
Longitud:	84°06'6.22" O

Amarres al Hito N°1

Línea	Dist (m)	Rumbo
Luz 1-Hito N°1	71,40	S82°35'27"E
Luz 2-Hito N°1	11,60	S71°47'04"E
Luz 3-Hito N°1	49,00	N88°57'55"W

Croquis de los Amarres al Hito N°1



"Base para la calibración de equipos topográficos que miden distancias por medios electromagnéticos, Base Sabana-UCR" Tesis para grado de Licenciatura: Gustavo Lara Morales 2015

Figura N°28: Ficha para la ubicación del Hito N°1

Fuente: Propia

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Topográfica

Ficha para la Ubicación del Hito N°6
 Base de Calibración Sabana-UCR

Ubicación Geográfica:

Provincia: San José	Cantón: San José	Distrito: Mata Redonda
----------------------------	-------------------------	-------------------------------

Descripción: Costado sur del Parque Metropolitano La Sabana, por cancha de Baseball, en la isla divisora de carriles de la Autopista José María Castro Madriz

Ubicación Hito N°6



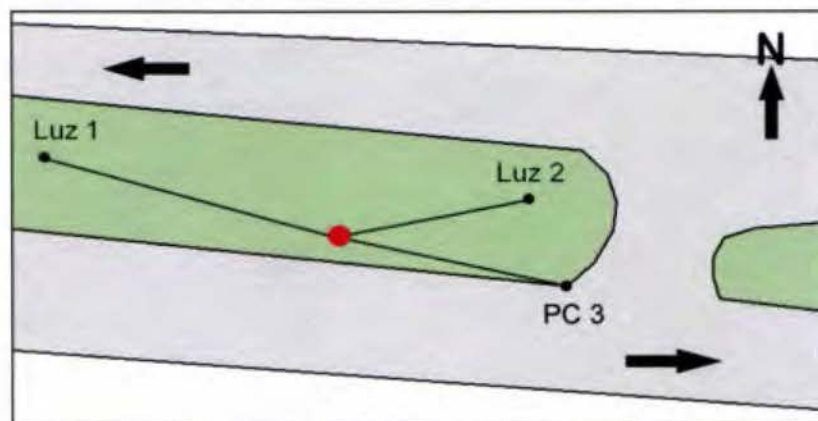
Fuente: Google Earth 2015

Descripción del Hito N°6:	
Base de cemento, con varilla de acero	
Amarres a porte de Luz y principio de curva (PC)	

Coordenadas WGS84	
Latitud:	9°55'59.76" N
Longitud:	84° 06'21.72" O

Amarres al Hito N°1		
Línea	Dist (m)	Rumbo
Luz 1-Hito N°6	16,21	S71°34'11"E
Luz 2-Hito N°6	43,85	N83°04'45"W
PC 3-Hito N°6	49,88	N79°11'37"W

Croquis de los Amarres al Hito N°6



"Base para la calibración de equipos topográficos que miden distancias por medios electromagnéticos, Base Sabana-UCR" Tesis para grado de Licenciatura: Gustavo Lara Morales 2015

Figura N°29: Ficha para la ubicación del Hito N°6
 Fuente: Propia

3.9 Medición de los Hitos con GNSS

Para la medición de los Hitos se utilizó, equipo proporcionado por la EIT-UCR, GNSS de doble frecuencia marca *Topcon*®.

Los receptores fueron, dos HiPer+ y dos GR-3, dos colectores de datos *Topcon*® además se lleva una Estación Total Leica® TS06 Plus, para otras tareas, como levantamiento de detalles y alineaciones.



Figura N°30: Equipo empleado en la medición de la Base
Fuente: Propia

Se cuenta con la ayuda del Msc. Juan Mc Gregor el Ingeniero Diego Cornejo y la ayuda de los estudiantes de la EIT-UCR, Diego Esquivel y José Pablo Quesada, dando inicio con las mediciones a las 8:00a.m. aproximadamente, colocando los cuatro receptores GNSS en los Hitos N°1, N°2, N°3 y N°4, para empezar la serie de mediciones desde el Hito N°1, siendo éste un punto fijo y siguiendo la configuración de levantamiento que se muestra a continuación: 1-2, 1-3, 1-4, 1-5 y 1-6, para luego seguir con la serie del Hito N°2, 2-3, 2-4, 2-5 y 2-6, la serie del Hito N°3, 3-4, 3-5 y 3-6, la serie del Hito N°4, 4-5 y 4-6, la medición final de Hito N°5 al Hito N°6.

Para registrar la información de alturas de receptores y tiempos de inicio y finalización, se anotaron en libreta de campo y posteriormente se pasaron los datos a fichas de registro ver Anexo N°1.



Figura N°31: Configurando el colector
Fuente: Propia



Figura N°32: Error de comunicación colector
Fuente: Propia

Pero al empezar se encontró con un problema de comunicación con los receptores GR-3, a los cuales no se les pudo dar la orden de iniciar las mediciones, contábamos con dos tipo de colectores de datos, pero ninguno tenían comunicación con los GR-3, dando un error en pantalla "*Failed to start logging!*", nos comunicamos con soporte técnico y después de analizar la situación nos dispusimos a llevar los receptores a formatearlos, para esto tuvimos que desplazarnos del sitio del levantamiento ya que no se contaba con Laptop, nos dirigimos a un domicilio en San Pedro Montes de Oca, donde con la ayuda del

software *True* de *Topcon*®, se pudieron formatear las unidades y esto solucionó el problema de comunicación, este evento tardó alrededor de 2 horas.

Una vez superada esta situación se logró avanzar como estaba planeado, que eran mediciones de una hora en capa Hito, iniciando en el Hito N°1 como se muestra en la Figura N°33

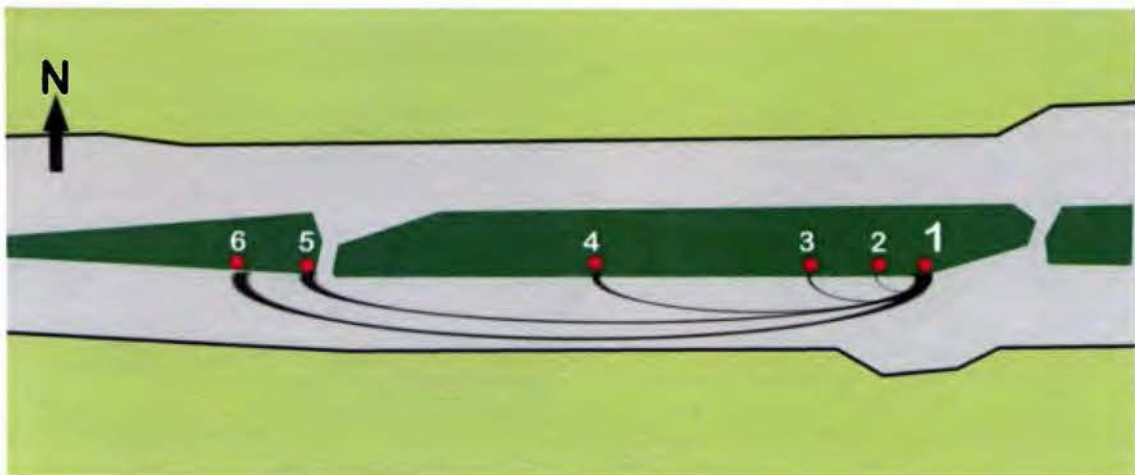


Figura N°33: Diagrama de mediciones desde Hito N°1
Fuente: Propia



Figura N°34: Receptor GR-3 en Hito N°1
Fuente: Propia

A continuación se ilustran las demás series de mediciones, que se hicieron desde cada Hito, dando como resultado un total de 15 distancias.

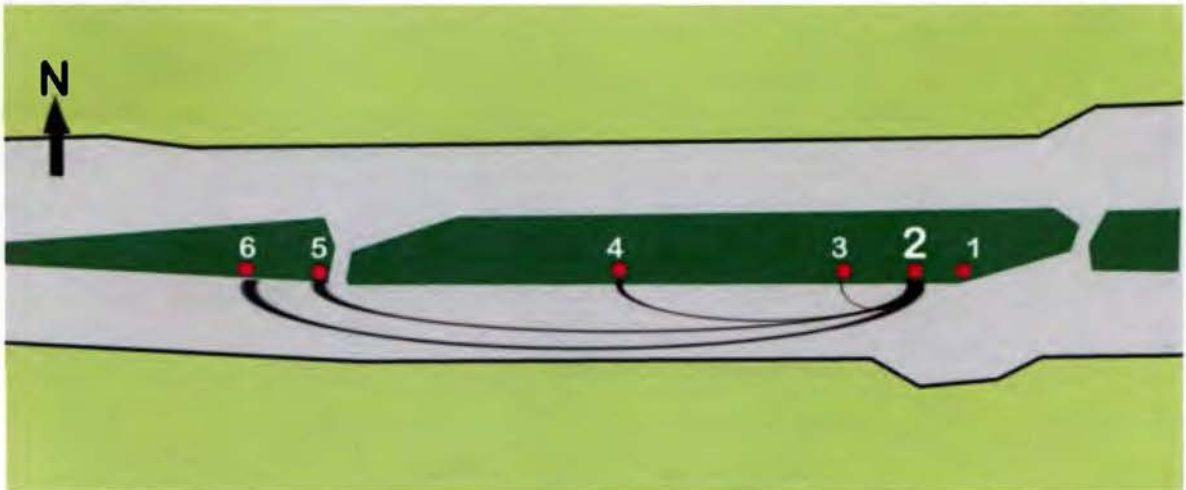


Figura N°35: Diagrama de mediciones desde Hito N°2
Fuente: Propia

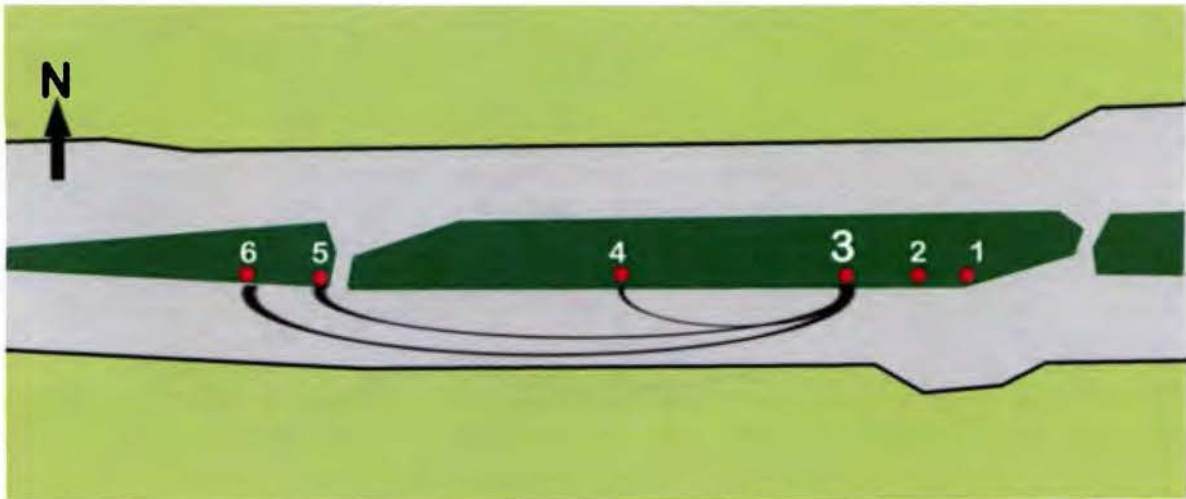


Figura N°36: Diagrama de mediciones desde Hito N°3
Fuente: Propia

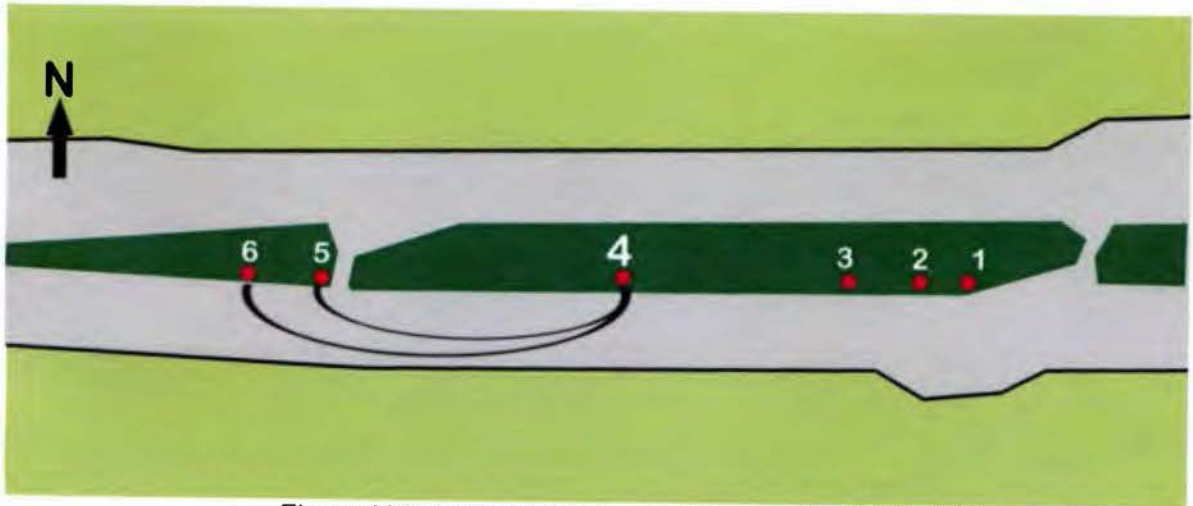


Figura N°37: Diagrama de mediciones desde Hito N°4
Fuente: Propia

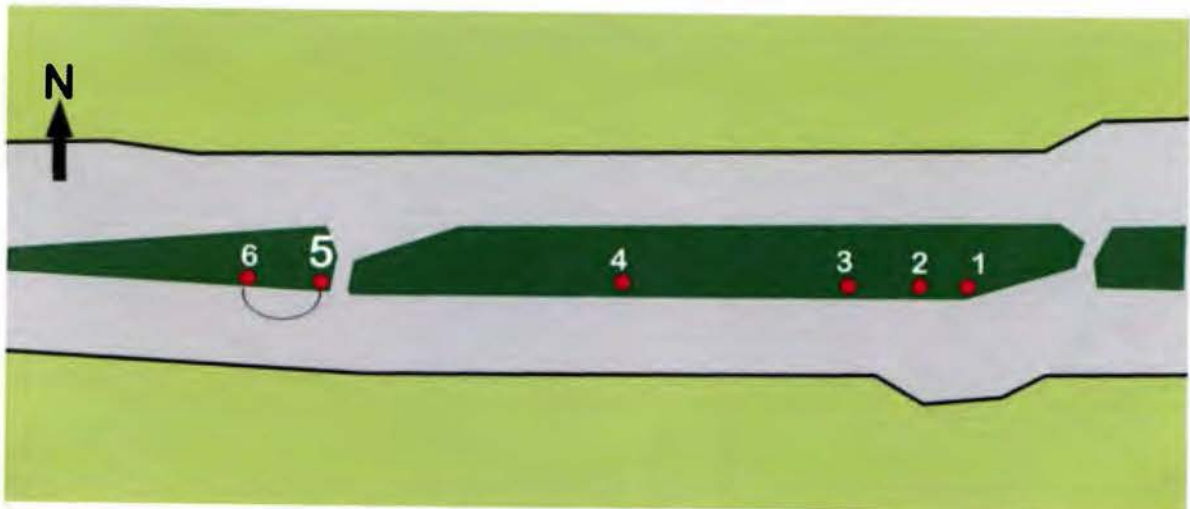


Figura N°38: Diagrama de mediciones desde Hito N°5
Fuente: Propia



Figura N°39: Receptor HiPer+
Fuente: Propia

En cada Hito de las series de mediciones, siempre estuvo una persona cuidando el equipo y verificando el estado del mismo.



Figura N°40: Estudiantes en Hito, con un HiPer+
Fuente: Propia

3.10 Medición de las Elevaciones de los Hitos

Para el análisis de los datos en oficina y determinar las distancias entre los puntos es necesario conocer la diferencia de elevación entre cada Hito, para esta información se utilizó equipo de la EIT-UCR, en específico un nivel electrónico modelo *Sprinter* 200, de la marca Leica® con su respectiva estadia código de barras y la ayuda el estudiante Diego Esquivel.



Figura N°41: Nivel Leica® *Sprinter 250*
Fuente: Propia



Figura N°42: Lectura a la estadia de códigos de barra
Fuente: Propia



Figura N°43: Nivelación geométrica
Fuente: Propia



Figura N°44: Respaldo de los Datos en Libreta
Fuente: Propia

El procedimiento de levantamiento fue el de un circuito de nivelación diferencial continua, saliendo del Hito N°6 como punto de inicio y siguiendo nivelando todos los puntos hasta el Hito N°1 y regresando por los mismos puntos, para obtener la elevación de cada punto dos veces. Los datos se recopilaron de forma manual, haciendo un promedio de 7 lecturas por Hito y anotando el promedio de las medidas.

3.11 Medición de las Distancias electromagnéticas

Para este día se planifica el levantamiento de las distancias sobre los Hitos finales con Estación Total, para poder realizar una comprobación del ajuste de la Estación con los datos finales de la BC.

Se cuenta con la ayuda de los estudiantes de la EIT-UCR, Adrián Jirón y Maxine Torres y de la Ingeniera Gloriela Arce, se emplea una Estación Total, Bases nivelantes para Prisma, trípodes y cinta métrica.

Procedimiento:

Se sigue el mismo procedimiento que el del levantamiento con GNSS (ver Figuras N°33, N°35, N°36, N°37 y N°38), se estaciona en el Hito 1 y se miden los Hitos 2, 3, 4, 5 y 6 anotando cuatro lecturas de distancias horizontales a cada Hito, para trabajar con promediadas, y así en cada Hito.

Se colocan los Prismas sobre las Bases nivelantes y se aploman sobre cada Hito, con la ayuda de los estudiantes, quienes permaneces en cada punto y ayudan a cambiar de Hito, los Prismas.



Figura N°45: Medición de distancias horizontales de la Base
Fuente: Propia



Figura N°46: Estudiante asistiendo en labores de campo
Fuente: Propia



Figura N°47: Estudiantes colocando bases de Prisma en Hitos
Fuente: Propia

CAPITULO 4: Resultado de las mediciones y procesamiento de la información obtenida

4.1 Elección de Software

Para el análisis de los datos de los receptores GNSS en la EIT-UCR se tienen dos programas el *Topcon® Tools* y *Trimble® Business Center*, debido a que los receptores son de la marca *Topcon®* en específico los modelos GR-3 y los HiPer+, es la elección más natural la de escoger el *Topcon® Tools* como *software* para el análisis por la alta compatibilidad que se obtendrá de la información descargada.

4.2 Análisis del procedimiento

Al iniciar el análisis de la información obtenida con los receptores GNSS, se presentan dos panoramas posibles, que son hacer un ajuste local o un ajuste apoyado de las estaciones de referencia cercanas.

Cada uno de los procedimientos con llevan a una recopilación y a un análisis de los datos muy diferente, con el ajuste local se procesa la información obtenida con los receptores más una nivelación local y con el ajuste apoyado de estaciones de referencia se requiere obtener los datos de corrección diferencial para los días de levantamiento, obtener las efemérides precisas, las corrección de las estaciones de referencias, parámetros específicos de cada estación de referencia y una nivelación con datos referidos al nivel medio del mar.

Conociendo los dos procedimientos y para efectos de esta Práctica Dirigida y de los objetivos establecido, se confirma y se opta por el ajuste de la BC por medio de un ajuste local, no obstante cabe la posibilidad de hacer un proyecto de investigación o un trabajo de graduación que evalué esta segunda opción de cálculo.

Para establecer la BC lo que se requiere es obtener la distancia horizontal ajustada de una serie de puntos, en este caso de cinco distancias horizontales

ajustadas. No se busca que la BC esté Georeferenciada a un sistema de proyección determinado ni que este amarrado a la Cartografía Nacional, ya que para ajustar y verificar equipos topográficos que miden distancias por medios electromagnéticos es suficiente y correcta solo la información local.

4.3 Descargando datos GNSS

Para la descarga de los datos de los receptores GNSS se utiliza el *software* PC-CDU en su versión 7.12, de la casa de *Topcon®*, siendo este un *software* de pasos muy sencillos para la descarga de datos.

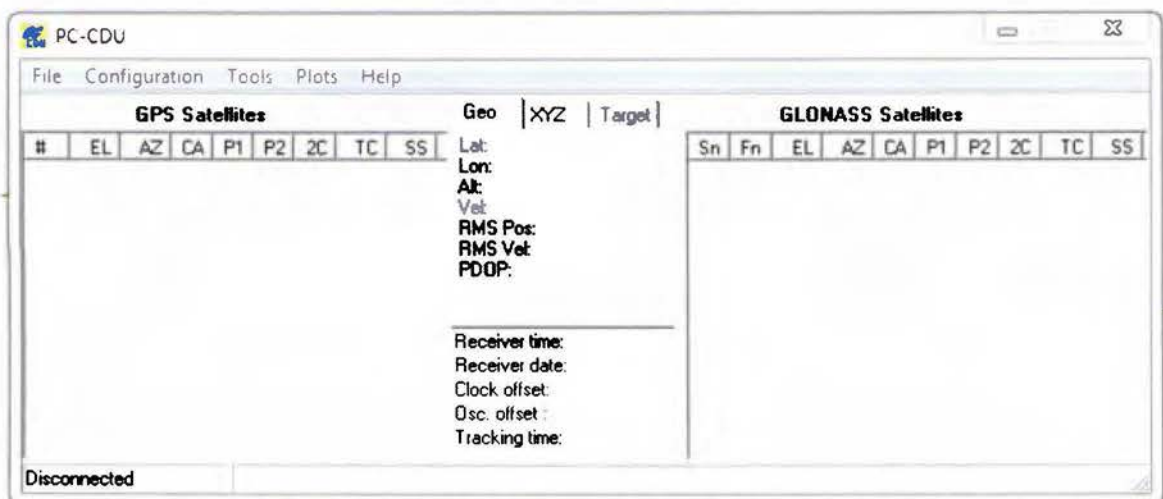


Figura N°48: *Software* PC-CDU, pantalla principal
Fuente: *Topcon®* PC-CDU versión 7.12

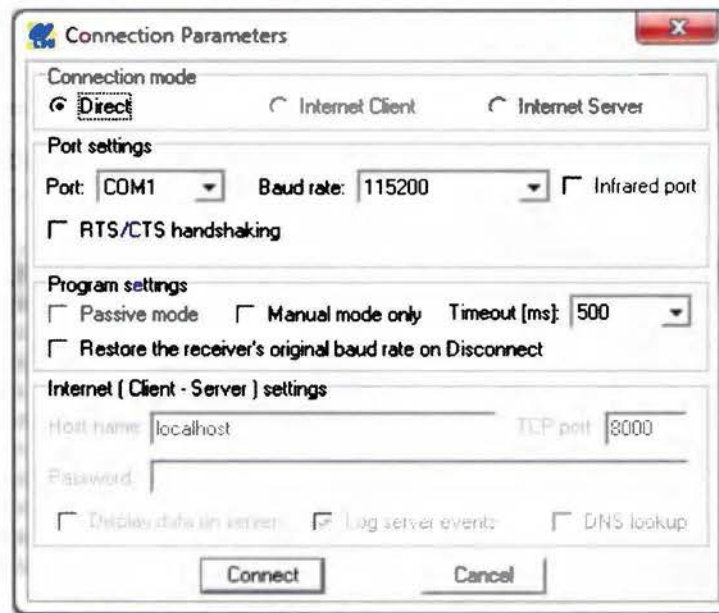


Figura N°49: Software PC-CDU, Pantalla para la conexión a receptores
Fuente: Topcon® PC-CDU versión 7.12

4.4 Procesando los Datos en Topcon® Tools

Los datos descargados fueron procesados y analizados en el *software* de cálculo y ajustes Topcon® Tools v8.2.3, con el cual se obtuvieron distancias horizontales de la BC.

Lo primero es crear un proyecto y configurar los parámetros establecidos de precisión, máscara de elevación, ajustes y demás, posterior se cargan los datos descargados de los receptores y se revisa que cada punto cuente con la información correcta, nombre de punto, el tipo de antena, altura y tipo de altura vertical o inclinada, si el punto es de control, y se depuran los puntos innecesarios.

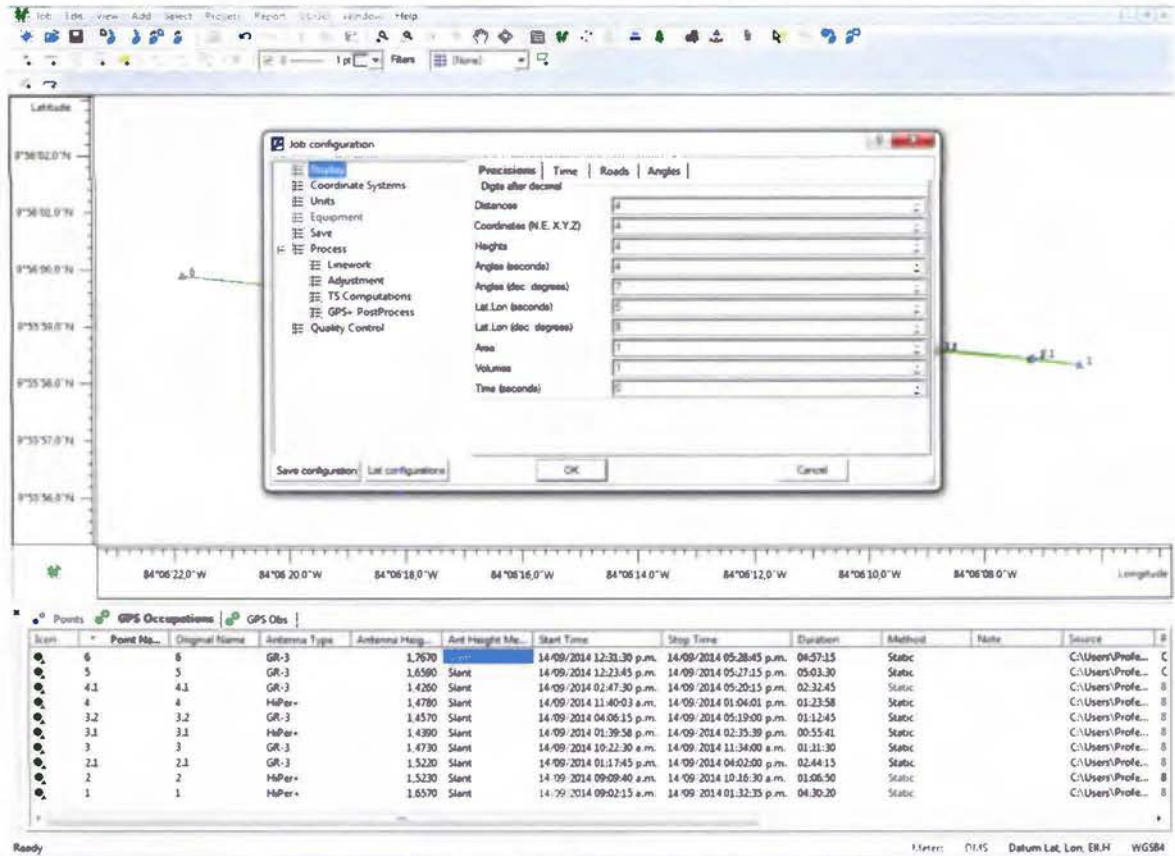


Figura N°50: Pantalla de ajustes de Topcon® Tools
Fuente: Topcon® Tools v.8.2.3

Una vez teniendo los datos y la configuración correcta, se verifica que los tiempos de las series de observación sean correctos y para esto se puede ver un gráfico de tiempos de ocupación.

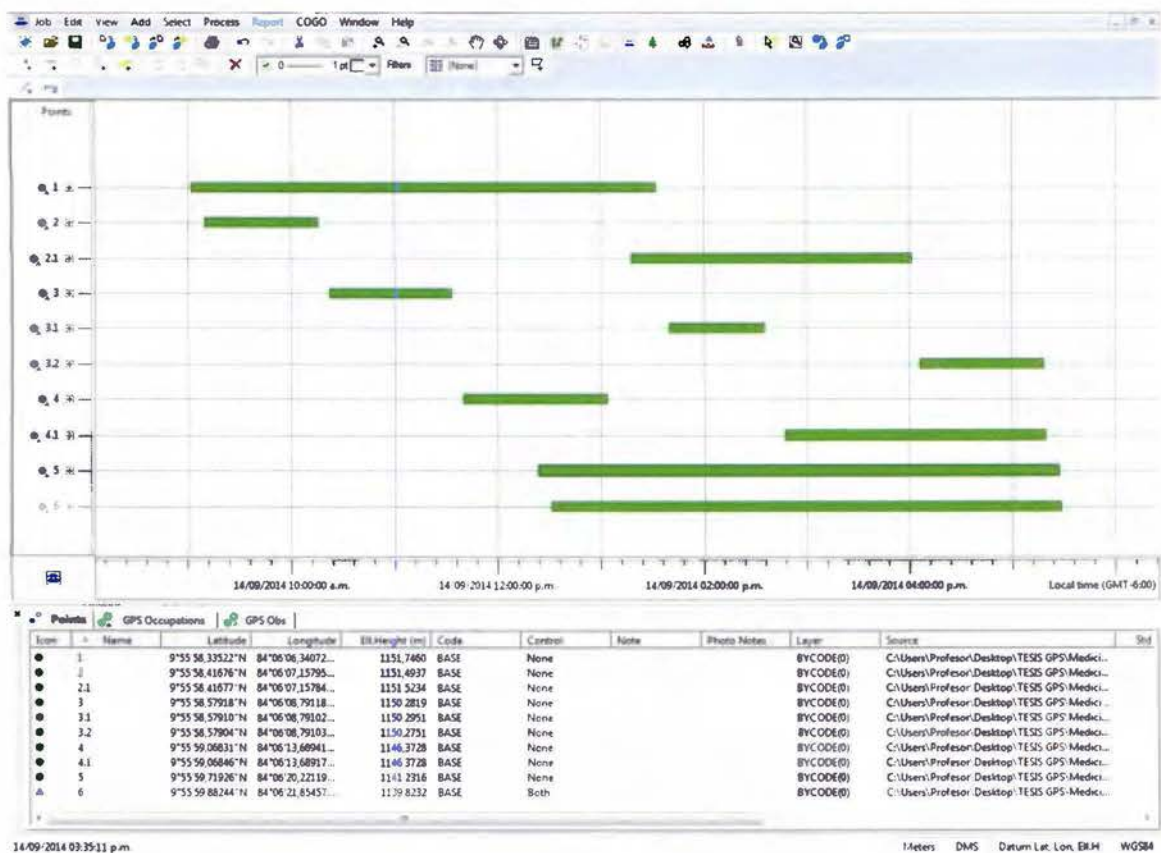


Figura N°51: Pantalla Grafico de ocupación
Fuente: Topcon® Tools v.8.2.3

Es un proceso muy importante, ya que confirma los tiempos de ocupación de cada punto son correctos y certifica que las series tienen la información necesaria para pasar al siguiente paso, que es el de proceder a realizar el ajuste de los datos, de los cuales obtenemos la siguiente tabla de parámetros:

Tabla N°2: Datos de observaciones GPS



Project Summary

Project name: Tesis Mayo Primer.ttp

Surveyor:

Comment:

Linear unit: Meters

GPS Observations					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
1-2.1	2,50617	-24,89544	-0,22260	0,00333	0,00570
1-3	7,49700	-74,65856	-1,46450	0,00178	0,00340
1-4	22,52842	-223,89319	-5,37710	0,00093	0,00210
1-5	42,52564	-422,90595	-10,50950	0,00311	0,00630
1-6	47,54885	-472,66065	-11,94040	0,00229	0,00420
2.1-3.1	4,98822	-49,75831	-1,22850	0,00359	0,00670
2.1-4.1	20,03316	-198,99599	-5,03809	0,00342	0,00459
2.1-5	40,01816	-398,00741	-10,27620	0,00201	0,00360
2.1-6	45,03710	-447,76748	-11,69400	0,00183	0,00310
3.2-4.1	15,03524	-149,23556	-3,90210	0,00561	0,01050
3.1-5	35,03224	-348,24660	-9,05130	0,00420	0,00760
3.2-6	40,04510	-398,00891	-10,45750	0,00337	0,00580
4.1-5	19,99770	-199,01616	-5,15060	0,00315	0,00520
4-6	25,02263	-248,77114	-6,54840	0,00244	0,00500
5-6	5,01464	-49,76402	-1,40860	0,00233	0,00320

Fuente: Topcon® Tools v.8.2.3

Estos datos son las diferencias de las coordenadas geodésicas tridimensionales de cada medición entre cada Hito, con su respectiva precisión horizontal y vertical.

Con estos datos obtenidos del *Topcon® Tools*, que son el resultado las mediciones con GNSS y con la ayuda de las diferencias de elevación a partir de una nivelación geométrica, se podrá calcular las distancias reducidas al horizonte.

Tabla N°3: Datos nivelación geométrica de los Hitos

PUNTO	P.C. (+)	H.I.	P.C. (-)	P.T. (-)	ELEVACION	HI N°	CORECC HI	ELEV HI
BN-6	2,7433	90,6558			87,9125	0	0,0000	87,9124
5				1,3392	89,3166	1	0,0001	89,3166
PC	2,5868	92,9588	0,2838		90,3720	1	0,0001	90,3720
PC	2,6984	95,3077	0,3495		92,6093	2	0,0003	92,6095
4				0,8679	94,4398	3	0,0004	94,4401
PC	2,9538	97,8794	0,3821		94,9256	3	0,0004	94,9259
PC-PIN	2,8244	100,5116	0,1922		97,6872	4	0,0005	97,6876
3				2,1947	98,3169	5	0,0007	98,3175
2				0,9561	99,5555	5	0,0007	99,5561
BN-1	0,5122	100,5116	0,5122		99,9994	5	0,0007	100,0000
2				0,9561	99,5555	6	0,0008	99,5562
3				2,1947	98,3169	6	0,0008	98,3176
PC-PIN	0,1922	97,8794	2,8244		97,6872	6	0,0008	97,6879
PC	0,2844	95,3080	2,8558		95,0236	7	0,0009	95,0244
4				0,8679	94,4401	8	0,0010	94,4410
PC	0,2249	92,9590	2,5739		92,7341	8	0,0010	92,7350
PC	0,2100	90,6545	2,5145		90,4445	9	0,0012	90,4456
5				1,3392	89,3153	10	0,0013	89,3165
BN-6			2,7433		87,9112	10	0,0013	87,9124
SUMA	+15,2304		-15,2317					
ERROR		-0,0013						

Fuente: Propia

Una vez calculada la nivelación se obtiene un error de -0,0013 m, éste error se compensó, dándole peso al número de veces que se estaciona el nivel.

Con el nivel electrónico también se registró la distancia horizontal del recorrido y éste fue de 949,43 m, calculando la precisión de la nivelación utilizando

los parámetros de la *Federal Geodetic Control Subcommittee*⁷ (FGCS) con la fórmula:

$$C = m * \sqrt{k}$$

Dónde:

C = es el error de cierre permisible en milímetros en el circuito

m = es una constante

k = es la longitud total del circuito nivelado en kilómetros

Despejando m se obtiene la fórmula:

$$m = C/\sqrt{k}$$

Utilizando los valores de la nivelación $m = 1.33$ clasificándose dentro de una nivelación de Clase I de Primer Orden según la FGCS, siendo la más alta calificación de precisión según esta tabla.

Utilizando los datos compensados y analizando la información y al ser tomadas dos veces, se decide utilizar el promedio de las medidas como dato final de elevaciones, como se muestra en la Tabla N°3.

Tabla N°4: Promedio de elevaciones de los Hitos

PUNTO	IDA ELEV. (m)	VUELTA ELEV. (m)	PROMEDIO ELEV. (m)
1	100,00000	100,00000	100,00000
2	99,55610	99,55620	99,55615
3	98,31750	98,31760	98,31755
4	94,44010	94,44100	94,44055
5	89,31660	89,31650	89,31655
6	87,91240	87,91240	87,91240

Fuente: Propia

⁷ Paul R Wolf - Charles D. Ghilani. (2008). Topografía. México: Alfaomega

A partir de las elevaciones obtenemos las distancias verticales o diferencias de elevación:

Tabla N°5: Diferencias de elevación entre Hitos

LINEA	D.V. (m)
1-2	-0,44385
2-3	-1,23860
3-4	-3,87700
4-5	-5,12400
5-6	-1,40415

Fuente: Propia

Por último se calcularon las distancias reducidas al horizonte de la BC con la ayuda de los datos de diferencias de elevación o distancia vertical (D.V.), obtenidas en la nivelación de precisión como se muestra en la Tabla N°5

Tabla N°6: Distancias horizontales reducidas de las medidas con GNSS

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	D.J. (m)	D.V. Nivel (m)	D.H. (m) Base
1-2	2,50617	-24,89544	-0,22260	25,02226	-0,44385	25,01832
1-3	7,49700	-74,65856	-1,46450	75,04832	-1,68245	75,02946
1-4	22,52842	-223,89319	-5,37710	225,08799	-5,55945	225,01932
1-5	42,52564	-422,90595	-10,50950	425,16858	-10,68345	425,03433
1-6	47,54885	-472,66065	-11,94040	475,19634	-12,08760	475,04258
2.1-3.1	4,98822	-49,75831	-1,22850	50,02280	-1,23860	50,00746
2.1-4.1	20,03316	-198,99599	-5,03810	200,06527	-5,11560	199,99986
2.1-5	40,01816	-398,00741	-10,27620	400,14616	-10,23960	400,01513
2.1-6	45,03710	-447,76748	-11,69400	450,17864	-11,64375	450,02803
3.2-4.1	15,03524	-149,23556	-3,90210	150,04178	-3,87700	149,99169
3.2-5	35,03224	-348,24660	-9,05130	350,12123	-9,00100	350,00551
3.2-6	40,04510	-398,00891	-10,45750	400,15505	-10,40515	400,01975
4.1-5	19,99770	-199,01616	-5,15060	200,08466	-5,12400	200,01904
4.1-6	25,02263	-248,77114	-6,54840	250,11216	-6,52815	250,02695
5-6	5,01464	-49,76402	-1,40860	50,03587	-1,40415	50,01616

Fuente: Propia, cálculos en *Microsoft® Office® Excel 2007*

Para el cálculo de esta tabla se emplearon las siguientes fórmulas:

$$D.I. = \sqrt{dN^2 + dE^2 + dHt^2}$$

D.I. = Distancia inclinada
dN = Diferencia Norte
dE = Diferencia Este
dHt = Diferencia altura

$$D.H. = \sqrt{D.I.^2 - D.V.^2}$$

D.H. = Distancia horizontal
D.I. = Distancia inclinada
D.V. = Distancia vertical

4.5 Ajustando los Datos por Mínimos Cuadrados

El resultado de las distancias horizontales de la BC, ahora serán sometidas a un ajuste de mínimos cuadrados para así poder obtener las distancias ajustadas definitivas de la BC, además de obtener los valores de error medio cuadrático y sus residuales.

Para esto se utilizó las siguientes ecuaciones matriciales para el ajuste por observaciones mediatas de las distancias entre puntos de la base a definir para calibración de instrumentos electrónicos que miden distancias.

Ecuaciones originales de observación

$$L_i + V_i = a_i x_1 + b_i x_2 + \dots + u_i x_u$$

$$i = 1 \dots n$$

$n > u$ (n es el número de observaciones y u es el número de incógnitas)

Ecuación de partida:

$$\sum_{i=1}^n P_i V_i V_i = \text{mínimo}$$

$\underline{L}_{(n,1)}$ = vector de las distancias medidas con n filas y 1 columna;

$\underline{V}_{(n,1)}$ = vector de los residuales de las observaciones, obtenidos en el ajuste, con n filas y 1 columna;

$\underline{X}_{(u,1)}$ = vector de las incógnitas entre puntos de la base, obtenidos en el ajuste, con u filas y 1 columna;

$\underline{P}_{(n,n)}$ = matriz de los pesos asignados a las distancias medidas, con n filas y n columnas;

$\underline{A}_{(n,u)}$ = matriz de los coeficientes que multiplican a las incógnitas, con n filas y u columnas.

El problema se resuelve utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\underline{X} = (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{P} \underline{L}$$

$$\sigma_0^2 = (\underline{V} \underline{P} \underline{V}^T) / (n-u); \text{ el error medio cuadrático de cualquier observación}$$

$$\underline{\Sigma}_{xx} = \sigma_0^2 (\underline{A}^T \underline{P} \underline{A})^{-1}; \text{ la matriz de la varianza covarianza de las incógnitas}$$

El valor asignado a los pesos de las observaciones será igual a la unidad (porque las distancias a medir con medios electromagnético van a ser muy cortas), por lo que las ecuaciones anteriores se simplifican de la siguiente manera:

$$\underline{X} = (\underline{A}^T \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{L}$$

$$\sigma_0^2 = (\underline{V} \underline{V}^T) / (n-u)$$

$$\underline{\Sigma}_{xx} = \sigma_0^2 (\underline{A}^T \underline{A})^{-1}$$

Este proceso matemático se efectuará en la hoja de cálculo, *Microsoft® Office® Excel 2007* ya que reduce la posibilidad de error en el proceso de los cálculos y mantiene la precisión de los datos al no perder información por redondeos.

A continuación se muestran extractos de la hoja de cálculos (ver Figura N°52) y se muestran los resultados finales (ver Tabla N°7 y N°8)

A:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Hoja de cálculo para el Ajuste por Mínimos Cuadrados, Tesis Gustavo Lara 2015							
2								
3		Matris A						
4		1,00000	2,00000	3,00000	4,00000	5,00000		
5	1	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		
6	2	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000		
7	3	1,00000	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000		
8	4	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,00000		
9	5	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000		
10	6	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000		
11	7	0,00000	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000		
12	8	0,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,00000		
13	9	0,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000		
14	10	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000		
15	11	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	0,00000		
16	12	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	1,00000		
17	13	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000		
18	14	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000		
19	15	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000		
20								
21								
22		Matris Traspuesta At						
23		1,00000	2,00000	3,00000	4,00000	5,00000	6,00000	7,00000
24	1	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000
25	2	0,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
26	3	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,00000	1,00000
27	4	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	1,00000	0,00000	0,00000
28	5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000
29								
30								
31		At*A						
32		1,00000	2,00000	3,00000	4,00000	5,00000		
33	1	5,00000	4,00000	3,00000	2,00000	1,00000		
34	2	4,00000	8,00000	6,00000	4,00000	2,00000		
35	3	3,00000	6,00000	9,00000	6,00000	3,00000		
36	4	2,00000	4,00000	6,00000	8,00000	4,00000		
37	5	1,00000	2,00000	3,00000	4,00000	5,00000		

B:

	A	B	C	D	E	F	G	H
41	(At*A) Inversa							
42		1,00000	2,00000	3,00000	4,00000	5,00000		
43	1	0,33333	-0,16667	0,00000	0,00000	0,00000		
44	2	-0,16667	0,33333	-0,16667	0,00000	0,00000		
45	3	0,00000	-0,16667	0,33333	-0,16667	0,00000		
46	4	0,00000	0,00000	-0,16667	0,33333	-0,16667		
47	5	0,00000	0,00000	0,00000	-0,16667	0,33333		
48								
49								
50								
51	Prueba							
52		1,00000	2,00000	3,00000	4,00000	5,00000		
53	1	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		
54	2	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000		
55	3	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000		
56	4	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000		
57	5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	1,00000		
58								
59								
60								
61		t			At*L			
62	1-2	25,01832		1	1225,14402			
63	1-3	75,02946		2	2300,17618			
64	1-4	225,01932		3	3075,15620			
65	1-5	425,03433		4	2950,19131			
66	1-6	475,04258		5	1625,13347			
67	2-3	50,00746						
68	2-4	199,99986						
69	2-5	400,01513						
70	2-6	450,02803						
71	3-4	149,99169						
72	3-5	350,00551						
73	3-6	400,01975						
74	4-5	200,01904						
75	4-6	250,02695						
76	5-6	50,01616						
77								
					Xs(At*A)-1*(At*L)			
				1	25,01864			
				2	50,00869			
				3	149,99082			
				4	200,01549			
				5	50,01260			

C:

	A	B	C	D	E	F	G	H
81								
82		A*X		Vn=(A*X)-L		(Vn**Vn)		Vn**Vn/(n-4)
83	1-2	25,01864		0,00032		0,00000		0,00001
84	1-3	75,02733		-0,00213		0,00000		
85	1-4	225,01815		-0,00117		0,00000		Sigma-0
86	1-5	425,03364		-0,00069		0,00000		0,00225
87	1-6	475,04625		0,00367		0,00001		
88	2-3	50,00869		0,00123		0,00000		
89	2-4	199,99951		-0,00035		0,00000		
90	2-5	400,01500		-0,00013		0,00000		
91	2-6	450,02761		-0,00043		0,00000		
92	3-4	149,99082		-0,00087		0,00000		
93	3-5	350,00631		0,00080		0,00000		
94	3-6	400,01891		-0,00083		0,00000		
95	4-5	200,01549		-0,00354		0,00001		
96	4-6	250,02810		0,00114		0,00000		
97	5-6	50,01260		-0,00356		0,00001		
98						SUMA		0,00005
99								
100								
101								
102	Linea	Obs Ajst (m)						
103	1-2	25,01864						
104	1-3	75,02733						
105	1-4	225,01815						
106	1-5	425,03364						
107	1-6	475,04625						
108	2-3	50,00869						
109	2-4	199,99951						
110	2-5	400,01500						
111	2-6	450,02761						
112	3-4	149,99082						
113	3-5	350,00631						
114	3-6	400,01891						
115	4-5	200,01549						
116	4-6	250,02810						
117	5-6	50,01260						

Linea	Error Medio Cuadratico (m)
X1	0,00075
X2	0,00075
X3	0,00075
X4	0,00075
X5	0,00075

Figura N°52: Cálculos de matrices, ajustes de mínimos cuadrados (A, B y C)
 Fuente: Propia, cálculos en Microsoft® Office® Excel 2007

Después de todo el proceso de cálculo, las mediciones con GNSS y la nivelación de precisión, las distancias ajustadas de la BC son:

Tabla N°7: Distancias horizontales de la Base de Calibración ajustadas

Línea	D.H. Ajust (m)
1-2	25,01864
1-3	75,02733
1-4	225,01815
1-5	425,03364
1-6	475,04625
2-3	50,00869
2-4	199,99951
2-5	400,01500
2-6	450,02761
3-4	149,99082
3-5	350,00631
3-6	400,01891
4-5	200,01549
4-6	250,02810
5-6	50,01260

Fuente: Propia, cálculos en Microsoft® Office® Excel 2007

Tabla N°8: El error medio cuadrático de las distancias horizontales de la Base

Línea	Error Medio Cuadrático (m)
1-2	0,00075
2-3	0,00075
3-4	0,00075
4-5	0,00075
5-6	0,00075

Fuente: Propia, cálculos en Microsoft® Office® Excel 2007

4.6 Programa de *Excel* para el cálculo de la determinación de posibles constantes multiplicativas y aditivas en el contraste de distanciómetros sobre la Base Sabana-UCR

4.6.1 Proceso de cálculos

Para crear un programa que ajuste las mediciones realizadas con un medio electromagnético, se necesitan las distancias horizontales ajustadas de la BC, como datos de referencia y las distancias horizontales medidas con el equipo que se quiere calibrar

Lo que se busca es obtener el factor multiplicativo (m) de escala para la distancia y la constante aditiva (b), que representa el centro de plomada del equipo. Esto se representa en la fórmula:

$$y = m(x - v) + b$$

y = distancias ajustadas de la Base

x = distancias electromagnéticas

v = residuos

m = constante multiplicativa

b = constante aditiva

Para resolver esta ecuación al igual que con el ajuste de las BC, hacemos uso de *Microsoft Office* Excel 2007, para hacer un cálculo por medio de matrices y así poder obtener los datos buscados.

A continuación se muestran extractos de los procesos en la hoja de cálculo:

A:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	CALIBRACIÓN DE DISTANCIÓMETROS EN LA BASE LA SABANA UCR									
2										
3	Distancias de la Base de Calibración con GNSS									
4	A									
5	25,0183214	-1								
6	75,0294630	-1								
7	225,0193223	-1								
8	425,0343329	-1								
9	475,0425761	-1								
10	50,0074635	-1								
11	199,9998616	-1								
12	400,0151277	-1								
13	450,0280307	-1								
14	149,9916867	-1								
15	350,0055109	-1								
16	400,0197468	-1								
17	200,0190358	-1								
18	250,0269532	-1								
19	50,0161626	-1								
20										
21										
22										
23	A1									
24	25,0183	75,0295	225,0193	425,0343	475,0426	50,0075	199,9999	400,0151	450,0280	149,9917
25	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000
26										
27										
28	A1*A									
29	1278286,5573	-3725,2736								
30	-3725,2736	15,0000								
31										
32										
33	Distancia(A1*A)²									
34	0,000002832	0,000703328								
35	0,000703328	0,241339371								
36										
37										
38	Distancias Electromagnéticas									
H 4 H Constantes Cálculos <div style="float: right;"> 0 1 </div>										
Info <div style="float: right;"> 1 </div>										

B:

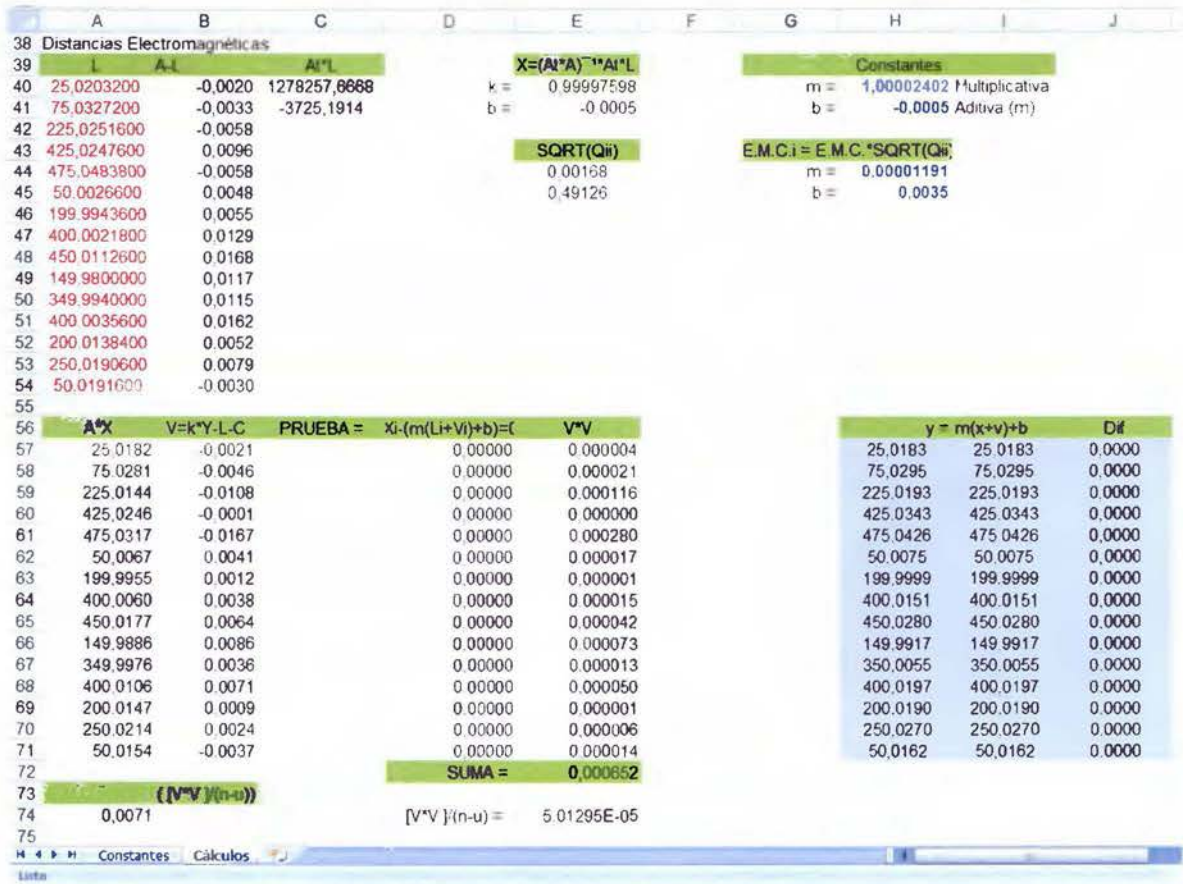


Figura N°53: Calculo matriciales Programa cálculo de constantes
 Fuente: Propia, cálculos en Microsoft® Office® Excel 2007

Para comprobar los resultados del programa de calibración, se utilizarán las distancias horizontales tomadas con la Estación Total Leica®, estas distancias se muestran a continuación:

Tabla N°9: Distancias Horizontales desde Hito N°1

Lín°ea	n°	D.H. (m)	Lín°ea	n°	D.H. (m)	Lín°ea	n°	D.H. (m)
1-2	1	25,0204	1-3	1	75,0329	1-4	1	225,0253
	2	25,0202		2	75,0328		2	225,0250
	3	25,0203		3	75,0329		3	225,0252
	4	25,0205		4	75,0329		4	225,0251
	5	25,0202		5	75,0321		5	225,0252

Lín°ea	n°	D.H. (m)	Lín°ea	n°	D.H. (m)
1-5	1	425,0247	1-6	1	475,0481
	2	425,0250		2	475,0487
	3	425,0249		3	475,0484
	4	425,0245		4	475,0483
	5	425,0247		5	475,0484

Fuente: Propia

Tabla N°10: Distancias Horizontales desde Hito N°2

Lín°ea	n°	D.H. (m)	Lín°ea	n°	D.H. (m)
2-3	1	50,0025	2-4	1	199,9940
	2	50,0026		2	199,9944
	3	50,0027		3	199,9945
	4	50,0028		4	199,9942
	5	50,0027		5	199,9947

Lín°ea	n°	D.H. (m)	Lín°ea	n°	D.H. (m)
2-5	1	400,0021	2-6	1	450,0111
	2	400,0024		2	450,0111
	3	400,0020		3	450,0112
	4	400,0023		4	450,0114
	5	400,0021		5	450,0115

Fuente: Propia

Tabla N°11: Distancias Horizontales desde Hito N°3

Lín°ea	n°	D.H. (m)	Lín°ea	n°	D.H. (m)	Lín°ea	n°	D.H. (m)
3-4	1	149,9799	3-5	1	349,9942	3-6	1	400,0031
	2	149,9802		2	349,9939		2	400,0036
	3	149,9801		3	349,9938		3	400,0034
	4	149,9799		4	349,9941		4	400,0039
	5	149,9799		5	349,9940		5	400,0038

Fuente: Propia

Tabla N°12: Distancias Horizontales desde Hito N°4

Lín°ea	n°	D.H. (m)	Lín°ea	n°	D.H. (m)
4-5	1	200,0140	4-6	1	250,0191
	2	200,0137		2	250,0190
	3	200,0136		3	250,0192
	4	200,0140		4	250,0190
	5	200,0139		5	250,0190

Fuente: Propia

Tabla N°13: Distancias Horizontales desde Hito N°5

Lín°ea	n°	D.H. (m)
5-6	1	50,0190
	2	50,0191
	3	50,0193
	4	50,0193
	5	50,0191

Fuente: Propia

4.6.2 Resultados obtenidos Distancias electromagnéticas

Una vez finalizado el proceso de levantar las distancias horizontales con cinco repeticiones desde cada Hito, se obtiene una tabla de distancias horizontales promediadas con sus respectivas desviaciones estándar.

Estos datos serán procesados con la información de la BC, para obtener los parámetros de ajuste de este Estación Total y conocer las constantes multiplicativa y aditiva.

Tabla N°14: Distancias horizontales finales medidas con Estación Total

Linea	Promedio D.H. (m)	Desviación Estandar σ (m)
1-2	25,02032	0,00013
1-3	75,03272	0,00035
1-4	225,02516	0,00011
1-5	425,02476	0,00019
1-6	475,04838	0,00022
2-3	50,00266	0,00011
2-4	199,99436	0,00027
2-5	400,00218	0,00016
2-6	450,01126	0,00018
3-4	149,98000	0,00014
3-5	349,99400	0,00016
3-6	400,00356	0,00032
4-5	200,01384	0,00018
4-6	250,01906	0,00009
5-6	50,01916	0,00013

Fuente: Propia

4.6.3 Programa e interface para el usuario

Uno de los objetivos de esta Tesis, es la de generar y ofrecer una aplicación para que los usuarios puedan calibrar sus equipos, esto sería la herramienta final de la BC y sería la forma más directa de llegar a todas las personas que buscan conocer el estado de los equipos con los que realizan trabajos de levantamientos topográficos e investigación para el desarrollo de País.

La forma más sencilla de brindarle a los usuarios una herramienta, sin la necesidad de instalar un programa, fue la de generar un archivo en formato *Excel*, con protección de datos para evitar cambios en los parámetros y en los procesos de cálculo programados, dejando solo un área para ser modificada por los usuarios con los datos obtenidos con el equipo que se busca ajustar,

Este archivo podrá ser descargado desde la página oficial de la EIT-UCR, el cual estará disponible oportunamente.

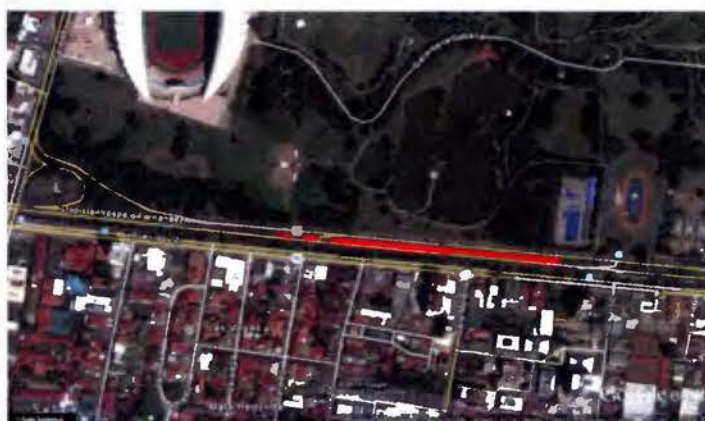
Podemos ver en ejemplo de la interface del usuario (ver Figura N°54), para el ingreso de los datos y una segunda hoja (ver Figura N°55) donde se muestran los resultados del ajuste de las distancias horizontales, al ingresar las constantes multiplicativa y aditiva obtenidas del proceso de cálculo.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA / FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA

Programa para el ajuste de las Constantes
 Multiplicativa (m) y Aditiva (b) de Distancímetros
 Base de Calibración Sabana-UCR 2015
 Creada por Gustavo Lara Morales / Versión 1.0 Mayo 2015

Ingrese las D.H. medidas en metros en la columna de color verde

Linea	Distancímetro D.H. (m)			
1-2	25.02032			
1-3	75.03272	Constantes para el equipo		
1-4	225.02516	Multiplicativa	$m =$	1.00002402202
1-5	425.02476	Aditiva (m)	$b =$	-0.0005
1-6	475.04838			
2-3	50.00266	Error Medio Cuadrático		
2-4	199.99436	Multiplicativa	$\sigma = \pm$	0.00001191495
2-5	400.00218	Aditiva (m)	$\sigma = \pm$	0.0035
2-6	450.01126			
3-4	149.98000			
3-5	349.99400			
3-6	400.00356			
4-5	200.01384			
4-6	250.01906			
5-6	50.01916			



Base de Calibración de la Sabana-UCR. por Gustavo Lara Morales.

Figura N°54: Hoja 1 del Programa de ajustes de las constantes m y b
 Fuente: Propia

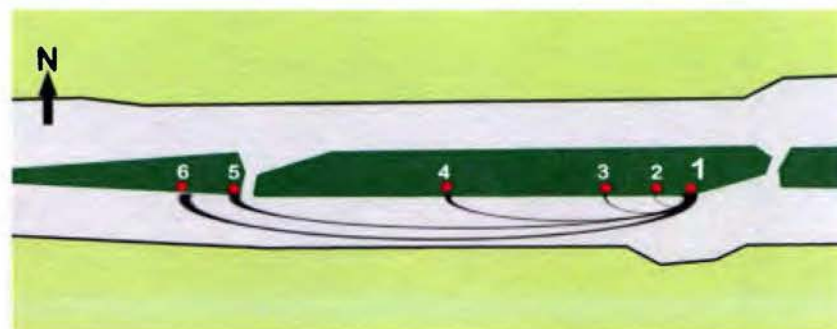
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA / FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA

Programa para el ajuste de las Constantes
 Multiplicativa (m) y Aditiva (b) de Distanciómetros
 Base de Calibración Sabana-UCR 2015
 Creada por Gustavo Lara Morales

Comprobación de los Datos Ajustados

$$\text{Fórmula: } y=m(x-v)+b$$

Linea	Base de Calibración D.H. (m)	Distanciómetro (x) D.H. (m)	Residuos (v) (m)	Distanciómetro Ajustado D.H. (m)
1-2	25.0183	25.0203	0.0021	25.0183
1-3	75.0295	75.0327	0.0046	75.0295
1-4	225.0193	225.0252	0.0108	225.0193
1-5	425.0343	425.0248	0.0001	425.0343
1-6	475.0426	475.0484	0.0167	475.0426
2-3	50.0075	50.0027	-0.0041	50.0075
2-4	199.9999	199.9944	-0.0012	199.9999
2-5	400.0151	400.0022	-0.0038	400.0151
2-6	450.0280	450.0113	-0.0064	450.0280
3-4	149.9917	149.9800	-0.0086	149.9917
3-5	350.0055	349.9940	-0.0036	350.0055
3-6	400.0197	400.0036	-0.0071	400.0197
4-5	200.0190	200.0138	-0.0009	200.0190
4-6	250.0270	250.0191	-0.0024	250.0270
5-6	50.0162	50.0192	0.0037	50.0162



Ejemplo: Serie desde Hito 1

Figura N°55: Hoja 2 del Programa de ajustes, comprobación de los datos.
 Fuente: Propia

CAPITULO 5: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

De conformidad al resultado del error medio cuadrático para cada distancia (± 0.75 mm) obtenido del ajuste por mínimos cuadrados de la Base Sabana-UCR, podemos ver que se logró una gran precisión en su implementación y materialización definitiva.

Se logró localizar una alineación con visibilidad directa en sí misma y desde el horizonte hacia el cenit, en todas las direcciones, de una longitud aproximada a los 500m y en curva vertical para evitar la refracción de la luz a desnivel de un extremo al otro, en la bahía de separación al costado Sur del Lago, en el parque La Sabana.

Se lograron establecer los extremos y los puntos internos de dicha alineación de la manera más adecuada, con varilla de acero y bases de cemento en el uso de la Estación Total Leica® TS06plus.

Se lograron amojonar los extremos y los puntos internos de dicha alineación de la manera más adecuada, con varilla de acero y bases de cemento, con el uso de bases nivelantes para prisma

Se realizó la ficha de ubicación y descripción de la BC Sabana-UCR, para que sea posible su ubicación por todas las personas que requieran calibrar sus equipos de medición de distancias electromagnéticas.

Fue posible medir con gran precisión las distancias entre los puntos de la BC la Sabana-UCR en todas las combinaciones diferentes con el uso de receptores GNSS de doble frecuencia y además se pudo obtener las alturas de los mismos,

mediante nivelación geométrica, con el uso de un nivel de precisión láser, obteniendo una nivelación con un error de 0.0013m calificándose como Clase I de Primer Orden según la FGCS.

Se alcanza el objetivo de ajustar por mínimos cuadrados las distancias obtenidas con los receptores de doble frecuencia GNSS, con el uso de *Microsoft® Office® Excel*, alcanzando un error medio cuadrático de ± 0.00075 m.

Se logra plasmar un informe final que detalla todo el proceso y demuestra con cuadros, gráficos e imágenes los resultados obtenidos, sometidos al correspondiente control de calidad.

Se crea una aplicación para que los usuarios puedan calibrar sus distanciómetros, llamado “Programa para el ajuste de las constantes multiplicativa (m) y aditiva (b) para la Base de Calibración de la Sabana-UCR”, que podrá ser accesada oportunamente en la página oficial de la EIT-UCR.

Se demuestra que el uso de receptores de doble frecuencia con un ajuste local es suficiente y correcto para alcanzar la exactitud necesaria en la creación de una BC para equipos que miden distancias por medios electromagnéticos; y que se puede descartar el uso de estaciones de referencia, la corrección diferencial, las efemérides precisas, las correcciones de las estaciones de referencias y la nivelación con datos referidos al nivel medio del mar, reduciendo los costos y los tiempos de levantamiento y procesamiento de la información.

La Base Sabana-UCR está disponible y utilizable para calibrar instrumentos de medición electromagnéticas de distancias, cuya exactitudes nominales de fabricación, especifiquen un error medio cuadrático mayor a ± 0.75 mm.

5.2 Recomendaciones

Siempre y cuando se vaya a realizar un proyecto de ingeniería topográfica, en el cual se utilicen distanciómetros para la determinación exacta de distancias, se recomienda contrastarlos en la BC Sabana-UCR antes y después de la realización de dicho proyecto.

Para la obtención de las medidas se deben de realizar con condiciones climatológicas idóneas, evitando las condiciones de lluvia, las horas de mayor incidencia solar, y las que el fabricante indique en sus fichas técnicas de seguridad, esto con el fin de no incorporar factores externos a las correcciones, de no ser así es recomendable aplicar primero las correcciones atmosféricas antes de someter las medidas a la corrección de la BC.

Antes de proceder a dicha verificación se debe constatar que el o los instrumentos, se encuentren perfectamente ajustados en lo que se refiere a errores sistemáticos, como por ejemplo, verticalidad en todas las direcciones de la plomada óptica, centro de cruz filar coincidente con el eje óptico del instrumento e hilo vertical coincidente con la línea de plomada y demás ajustes.

El instrumento de medición que se vaya a someter al ajuste de sus constantes, debe utilizar los prismas y las bases nivelantes de la misma marca y modelo, deben ser originales, para evitar errores sistemáticos por incompatibilidad de parámetros, normas y constantes entre fabricantes distintos.

Para poder obtener las 15 medidas necesarias con el distanciómetro se recomienda seguir los procedimientos de estacionamiento y medidas indicados en las figuras N°33, N°35, N°36 y N°37.

Se recomienda utilizar el “Programa para el ajuste de las constantes multiplicativa (m) y aditiva (b) para la Base de Calibración de la Sabana-UCR”, creado y comprobado como parte de éste trabajo de graduación, el cual estará disponible oportunamente en la página oficial de la EIT-UCR.

Bibliografía

Libros:

- R. Monge (2015). *Principios de Geodesia*. Escuela de Ingeniería Topográfica. Universidad de Costa Rica.
- R. Monge - A. Arce (2013). *Guía técnica para georreferenciar planos de agrimensura*. Registro Inmobiliario. Costa Rica.
- R. Monge - Y. Céspedes (2013) *Configuración y ajuste de redes satelitales de elevada exactitud interna y ubicación relativa, para el análisis de la posición de los centros de las antenas de las estaciones de referencia de operación continua del Registro Nacional de Costa Rica, antes y después del terremoto del 5 de setiembre del 2012*. Registro Nacional. Costa Rica, 2013.
- Paul R Wolf - Charles D. Ghilani. (2008). *Topografía*. México: Alfaomega
- J. Roldán (1988) *Ajuste 1*. Universidad Nacional. Escuela de Topografía Catastro y Geodesia. Costa Rica.
- A. Arroyo (2011) *Contraste de mediciones indirectas (RED) contra directas para el establecimiento de una base de calibración*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica.
- D. García Á. (2008) *Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)* (Tesis de Grado) Universidad Autónoma de Madrid, España

Revistas:

M. Aguilar. (2009). La base de calibración La Paz. Azimuth, 9, 6 y 7pp.

R. Monge. (1988). La base de calibración Sabana. Revista del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 4, 48-54pp

Páginas Web:

Gobierno de los Estados Unidos. (S.f). Sistema de Posicionamiento Global Al Servicio del Mundo. Mayo 2015, de Oficina de Coordinación Nacional de Posicionamiento, Navegación, y Cronometría por Satélite

Sitio web: <http://www.gps.gov/spanish.php>

Google Maps. (2015). Parque Metropolitano la Sabana. 2015, de Google Maps

Sitio web: <https://www.google.co.cr/maps/>

Google Earth (2015) ©2015 Google e Image ©2015 DigitalGlobe. Aplicación para Windows: Google Earth 7.1.5.1557

Sitio web: <https://www.google.es/intl/es/earth/download/ge/agree.html>

Leica Geosystems. (S.f). Leica Flexline TS06plus BRO es. 13 de mayo 2015, de Systop.com

Sitio web:

http://www.systop.com.mx/web/PDF/Leica_Flexline_TS06plus_BRO_es.pdf

Leica Geosystems. (S.f). Leica Sprinter BRO es. 13 de mayo 2015, de Systop.com

Sitio web:

http://www.systop.com.mx/web/PDF/Leica_Sprinter_BRO_es-2.pdf

Topcon Positioning Systems, Inc. (Junio 2006). Manual del Operador del GR-3. 13 de Abril 2015, de Topcon Positioning Systems, Inc.

Sitio web:

http://www.Topcon.co.jp/en/positioning/products/pdf/gr-3_e.pdf

Topcon Positioning Systems, Inc. (Setiembre 2013). Manual de Instrucciones del Hiper+. 13 de Abril 2015, de Topcon Positioning Systems, Inc.

Sitio web:

<http://www.Topconpositioning.es/admin/archivos/20131113162916.pdf>

Aaplitop. (S.f). Teoría del ajuste de observaciones por mínimos cuadrados. 20 enero 2014, de Aaplitop

Sitio web:

<http://www.aplitop.com/soporte/manuales/mdt/Topografia/introduccion3.htm>

Anexos

Anexo N° 1:
Fichas de las observaciones con GPS

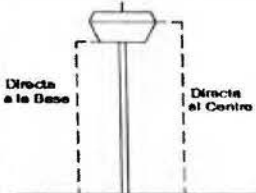

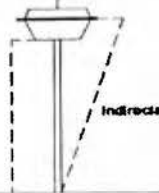


UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA TOPOGRAFICA
Mediciones con GPS, Método Estático.

①



Proyecto	Observador	Fecha	
Tesis Lara	Gustavo Lara	14/9/2014	
Medida de la altura de Antena			
Antena sin Plato	Antena sin Plato	Antena con Plato	
 <p>Directa a la Base Directa al Centro</p>	 <p>Indirecta</p>	 <p>Directa a la Base Indirecta</p>	
Receptor	Antena		
	Tipo	Numero de Serie	
Sesiones			
Estacion	1	Altura de la antena	
Día GPS	Archivo	Promedio	Directa al Centro
Hora de Inicio	9:02		Directa a la Base
Hora de Finalización	13:32		1657 Indirecta
Observaciones	Hiper t		
Estacion	2	Altura de la antena	
Día GPS	Archivo	Promedio	Directa al Centro
Hora de Inicio	9:09		Directa a la Base
Hora de Finalización	10:16		1523 Indirecta
Observaciones	Hiper t		
Estacion	3	Altura de la antena	
Día GPS	Archivo	Promedio	Directa al Centro
Hora de Inicio	10:22		Directa a la Base
Hora de Finalización	11:34		1473 Indirecta
Observaciones	Hiper t		

Elaborado por el Ing. Juan G. Mc Gregor Sanabria

Teléfono: 2511-5741

Sitio web: www.eit.ucr.ac.cr

Fax: (506) 2224-0571



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA TOPOGRAFICA
Mediciones con GPS, Método Estático.



Proyecto	Observador	Fecha
Medida de la altura de Antena		
Antena sin Plato 	Antena sin Plato 	Antena con Plato
Receptor	Antena	
	Tipo	Numero de Serie
Sesiones		
Estacion	4	Altura de la antena
Día GPS	Archivo	Promedio
Hora de Inicio	11:40	Directa al Centro
Hora de Finalización	13:04	Directa a la Base
Observaciones	Hipert	1476 Indirecta
Estacion	5	Altura de la antena
Día GPS	Archivo	Promedio
Hora de Inicio	12:23	Directa al Centro
Hora de Finalización	17:27	Directa a la Base
Observaciones	GR-3	1659 Indirecta
Estacion	6	Altura de la antena
Día GPS	Archivo	Promedio
Hora de Inicio	12:31	Directa al Centro
Hora de Finalización	17:29	Directa a la Base
Observaciones	GR-3	1767 Indirecta

Elaborado por el Ing. Juan G. Mc Gregor Sanabria

Teléfono: 2511-5741

Sitio web: www.eit.ucr.ac.cr

Fax: (506) 2224-0571



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA TOPOGRAFICA
 Mediciones con GPS, Método Estático.

3



Receptor	Antena		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Tipo</td> <td style="width: 50%;">Numero de Serie</td> </tr> </table>	Tipo	Numero de Serie
Tipo	Numero de Serie		

Sesiones

Estacion	2	Altura de la antena	
Dia GPS	Archivo	Promedio	Directa al Centro
Hora de Inicio	13:17		Directa a la Base
Hora de Finalización	16:02		1,522 Indirecta
Observaciones	Hipert		

Estacion	3	Altura de la antena	
Dia GPS	Archivo	Promedio	Directa al Centro
Hora de Inicio	13:39		Directa a la Base
Hora de Finalización	14:35		1,437 Indirecta
Observaciones	Hipert		

Estacion	4	Altura de la antena	
Dia GPS	Archivo	Promedio	Directa al Centro
Hora de Inicio	14:47		Directa a la Base
Hora de Finalización	17:20		1,426 Indirecta
Observaciones	Hipert		


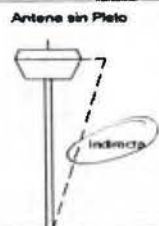
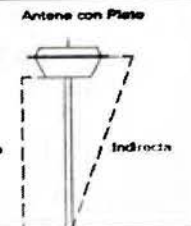
Elaborado por el Ing. Juan G. Mc Gregor Sanabria



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA TOPOGRAFICA
 Mediciones con GPS, Método Estático.



Proyecto	Observador	Fecha
Medida de la altura de Antena		
Antena sin Plato 	Antena sin Plato 	Antena con Plato 
Receptor	Antena	
	Tipo	Numero de Serie

Sesiones

Estacion	Altura de la antena	
3	Archivo	Promedio
Dia GPS		Directa al Centro
Hora de Inicio	16:06	Directa a la Base
Hora de Finalizacion	17:19	Indirecta
Observaciones	Hiper+	1457

Estacion	Altura de la antena	
	Archivo	Promedio
Dia GPS		Directa al Centro
Hora de Inicio		Directa a la Base
Hora de Finalizacion		Indirecta
Observaciones		

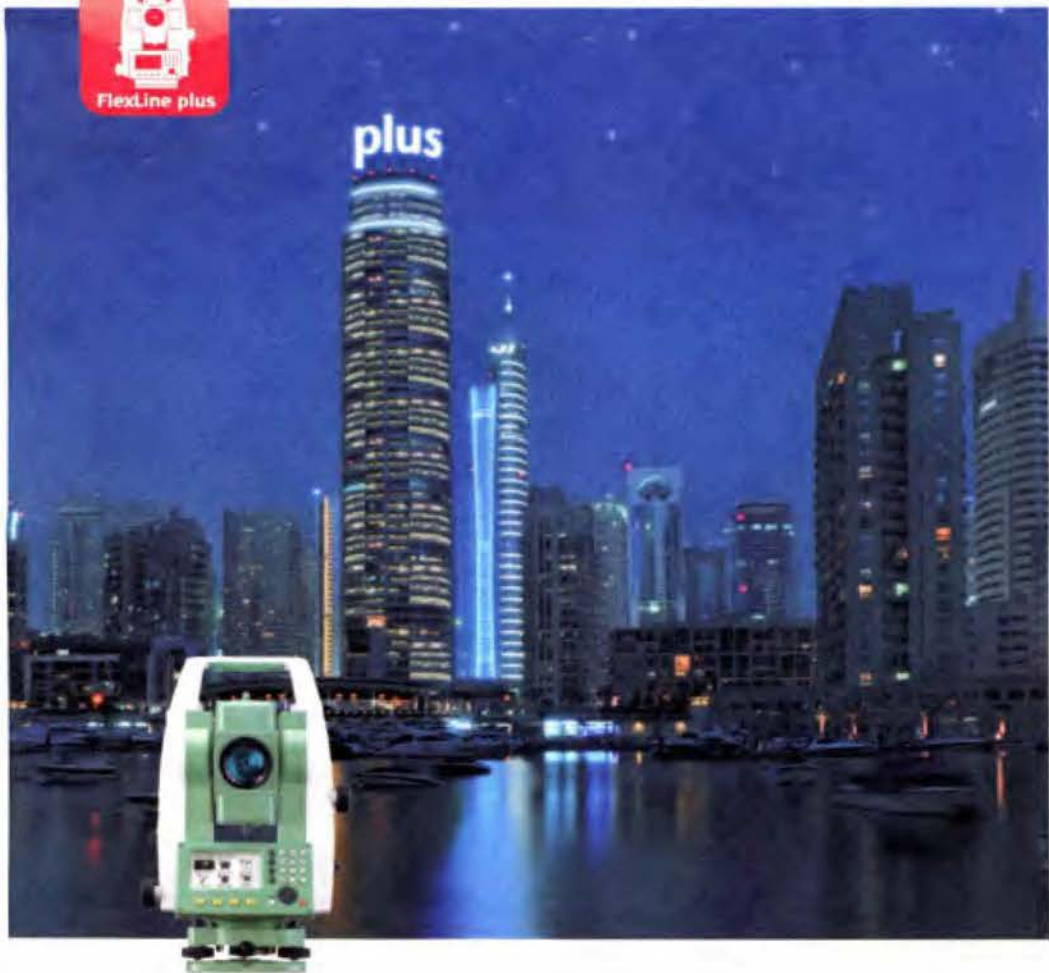
Estacion	Altura de la antena	
	Archivo	Promedio
Dia GPS		Directa al Centro
Hora de Inicio		Directa a la Base
Hora de Finalizacion		Indirecta
Observaciones		

Elaborado por el Ing. Juan G. Mc Gregor Sanabria

Anexo N° 2:
Ficha técnica Estación Total Leica® TS06plus

Leica FlexLine TS06plus

La Alta Precisión
encuentra la Alta Eficiencia



- when it has to be right

Leica
Geosystems

Leica FlexLine Plus

Características probadas, Instrumentos Fiables

Leica FlexLine TS06plus. Especificaciones Técnicas:

	Medición Angular (TA, V)		Distorsión	
	Precisión H ¹	1" (0.3 mgon) / 3" (10.0 mgon) 3" (1 mgon) / 5" (1.5 mgon) 3" (2 mgon)	Auténtica	30 x
	Método	Absoluto, continuo, diámetro en todos los modelos	Resolución	3"
	Resolución en pantalla	0.1" / 0.1 mgon / 0.01 mil	Campo de Visión	7° 35' x 1.66 gon 4.7 m a 100 m
	Compensador	Compensación por Cuadruple Eje en todos los modelos	Rango de Enfoque	3.7 m a infinito
	Precisión configurable del Compensador	0.5" / 0.5" / 1" / 1.5" / 2"	Retículo	Illuminado, 11 líneas de brilo
	Medición de distancias a piezo		Tecido y Pantalla	
	Rango ¹ Prisma Circular (Leica GPR1)	3,500 m	Tecido Alfanumérico completo con pantalla táctil. Alta resolución, Gáficos 100 x 288 píxeles, Iluminación de pantalla, 5 líneas de brilo	
	Rango ¹ Diana reflectante 180 mm x 60 mm	3500 m ¹ 11000 m ¹	Resolución	CO, G
	Rango ¹ Largo alcance (Leica GPR1, BSOAR106H)	110,000 m	Sistema Operativo	
	Precisión H ¹	Precisión: 1.5 mm±2.0 ppm Preciso Máximo: 2.0mm ±2.0 ppm Tracking: 3.0 mm±2.0 ppm 1.0 s	Modelos OS	Windows
	Tamaño típico de medición ¹		Formado Láser	
	Medición de distancias sin prisma¹		Tipo	Diámetro Láser, 5 líneas de brilo
	Rango ¹	500 m ¹ a 1000 m	Precisión de pantalla	1.5 mm a 1.5 m altura de instrumento
	Pinhales B500 / B1000	± 500 m ¹ a 1000 m	Batería	
	Precisión H ¹	± 2 mm±2 ppm	Tipo	Ion-Li
	Tamaño puntas láser	A 30 m, aprox. 7 x 10 mm A 50 m, aprox. 8 x 20 mm	Autonomía de trabajo ¹	aprox. 40 horas
	Almacenamiento de datos / Conexiones		Peso	
	Memoria interna	Máx. 100,000 puntos control, Máx. 60,000 medidas	Estación total incluyendo GSB211 y base nivelante	5.1 kg
	USB ¹	• Serie (Read/Write hasta 115,200) • USB Tipo A y mini B, • Bluetooth [®] inalámbrico, clase 1, 150 m • 3,1000 m (Leica IC520)	Temperatura de Trabajo	
	Formato de Datos	CSV / DDF / LandXML / CSV / ASCII delimitado por usuario	Version Arica (15° E a 50° 1-31° E a +123° E)	
	Luces Guía de Replanteo (ECL)		Polvo / Agua / IEC 60520 / Humedad	IP55, 95%, sin condensación
	Rango de trabajo (condiciones atmosféricas promedio)	5 m ¹ a 150 m	Software integrado Leica FlexLine plus	
	Precisión de Posicionamiento	5 cm a 100 m	Aplicaciones Incluidas: Levantamiento incl., visualización de Altop, Replanteo, Estacionamiento, Inversa, Inversa Local, Inversa Helicent, Orientación (Ángulos / Coordenadas), Transformación de Cota, Ania (Plano / Fachada), MDT, Cálculo de volumen, Distancia entre puntos (ALB), Altura Retorta, Puntos ocultos, Contratación de Orientación, Offset, Línea de Referencia, Arco de Referencia, Plano de Referencia, COGO, Carreteras 2D	
			Aplicaciones Extras: Carreteras 3D, Poligona	
			Protección Ambiental	
			RoHS-compliant, Código PPM/PUL	

Comparación entre Modelos. Configuraciones & Opciones de Estaciones Totales Manuales

	TS06plus	TS06plus	TS06plus	TS06plus
1" de precisión angular	○	●	○	○
Precisión en medición a piezo, medida	3.0 ppm ± 2 ppm	1.5 mm ± 2 ppm	1.5 mm ± 2 ppm	1.5 mm ± 2 ppm
Rango de medición sin prisma	500 m incluido / 1000 m opción	500 m incluido / 1000 m opción	500 m incluido / 1000 m opción	500 m incluido / 1000 m opción
Pantalla con gráficos y iluminación de pantalla	400x288 píxeles en blanco y negro	Alta Resolución en Blanco y Negro	400x288 píxeles en blanco y negro	400x288 píxeles en blanco y negro
Tecido alfanumérico completo con teclas de función	○	●	○	○
Segundo Tecido	○	○	○	○
Iluminación de teclado	○	○	○	○
Luces Guía de Replanteo	○	○	○	○
USB Tipo A y mini B	○	●	○	○
Bluetooth [®] inalámbrico	○	●	○	○
Tarjeta SD	○	○	○	○
Soporte de imagen	○	○	○	○
Función Smart Station GNSS	○	○	○	○
Software Onboard (comando de pack)	FlexLine plus (versión)	FlexLine plus (versión)	FlexLine plus (versión)	FlexLine plus (versión)

Legend:

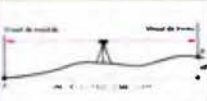
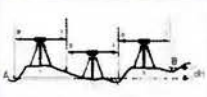
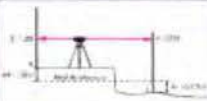
- Present
- Absent

Anexo N° 3:
Ficha técnica Nivel Láser Leica® *Sprinter* 250

Leica Sprinter
Siga adelante...
Pulse el botón



El software integrado de Leica Sprinter

<p>Altura delta*</p>		<p>Esta función calcula la diferencia de altura entre puntos. Introduzca su punto de referencia, mida su visual de espalda y luego sus distancias relativas (visuales de frente). La altura delta siempre se calcula y visualiza.</p>
<p>Itinerario altimétrico**</p>		<p>Si solo dispone de visuales de espalda y de frente o bien de visuales intermedios, esta la tarea de itinerario altimétrico que necesita. Introduzca su punto de referencia de inicio, mida sus visuales de espalda, visuales intermedios y visuales de frente hasta que haya alcanzado su punto final. Todas las mediciones se guardan en el orden apropiado.</p>
<p>Corte y relleno**</p>		<p>Esta aplicación integrada indica los resultados de corte y relleno basados en un nivel de referencia. Introduzca su nivel de referencia requerido y punto de referencia. Tome la visual de espalda e inicie la medición. El programa muestra ahora los resultados de corte y relleno. Las diferencias de altura, comparadas con su nivel de referencia.</p>

* 150/150W/250M ** 150W/250M



Especificaciones técnicas	Sprinter 50	Sprinter 150/150M	Sprinter 250M
Precisiones de altura	Desviación típica en medición de altura por km de doble nivelación ISO 17123-2†		
-Medición electrónica*	2.0 mm	1.5 mm	1.0/0.7* mm
-Medición óptica	Con mira de aluminio estándar con escala E/ con graduación: 2.5 mm		
Lectura de mira sencilla	Desviación típica: 0.6 mm (electrónica) y 1.2 mm (óptica) a 30 m		
Alcance	Desviación típica de medición de distancia de 30 mm para D = 10 m y (distancia en m x 0.001) para D > 30 m		
Alcance	2 - 100 m (electrónico)		
Modos de medición	ALTAZIMUT y NIVELACIÓN		
Tiempo para medida alstada	< 3 seg.		
Compensador	Compensador de pendiente de auto-nivelación por espejos (rango 4°/10 min)		
Anteojo	Aumento: (óptico) 24x		
Registro de datos	Hasta 1.000 puntos (Sprinter 150M) hasta 3.000 puntos		
Condiciones ambientales	IP55		
Forma de alimentación	Pilas secas AA (4 x LR04/UM3) 1.5V		
Peso	< 2.5 kg		

† Con mira de aluminio con código de barras Sprinter, puede alcanzarse 0.7 mm con una de fibra de vidrio con código de barras Sprinter (3 m, 1 sección)

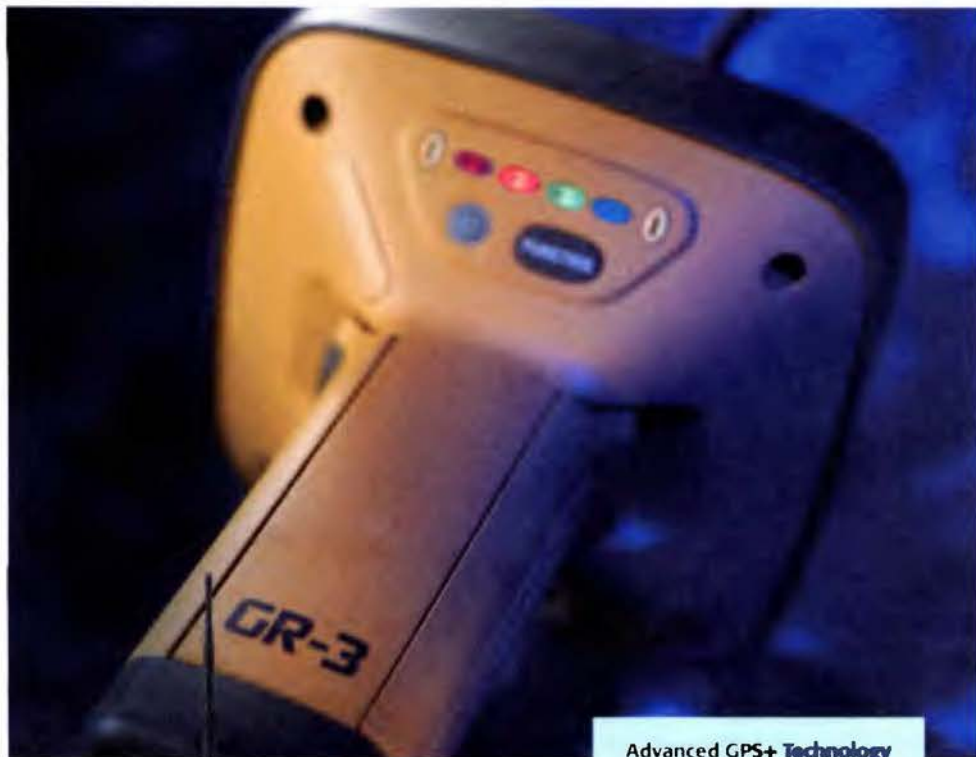
Anexo N° 4:
Ficha técnica receptor GR-3 *Topcon*®

GR-3

 TOPCON



G3 ENABLED GNSS RECEIVER



Advanced GPS+ Technology

- G3 SATELLITE TRACKING (GPS, GLONASS, GALILEO)
- ADVANCED RUGGED SYSTEM DESIGN
- BLUETOOTH WIRELESS TECHNOLOGY
- 72 UNIVERSAL TRACKING CHANNELS
- OPTIONAL INTERNAL GSM/GPRS CELLULAR COMMUNICATION



It's time.

Topcon is proud to be the world leader in advanced satellite positioning technology. From our leadership with dual constellation GNSS receivers, springs the next generation of satellite positioning technology – G3.

G3 is the first technology to combine all three satellite positioning systems – GPS, GLONASS, and the European Galileo system. In addition to adding the Galileo system to Topcon's industry leading GPS+GLONASS technology, the new G3 chip technology incorporates all the planned signal modernization of the GPS and GLONASS satellite systems, representing a system that is designed to track all available positioning satellite signals, available now or planned for the future!

The new G3 technology from Topcon ensures our users that a system they invest in today will still be fully operational far into the foreseeable future, eliminating the need to buy a new receiver as the new signals come on line. Only Topcon offers the Universal Tracking Technology found in the new G3 receiver system, demonstrating clear technology leadership.

Just imagine combining all the power of the new G3 tracking technology in a small, rugged field receiver. The new Topcon GR-3 receiver represents the next generation of advanced system design and tracking technology from Topcon, and truly sets new standards of performance, accuracy, and innovative receiver design.

Offering advanced design features not found in other receivers, the GR-3's modern design provides the flexibility and ease-of-use you demand. Bluetooth technology provides GR-3 users with the advantages of a completely cable-free system setup, with any Windows CE field controller, and the ultra-rugged construction of the GR-3 is designed to take the punishment of any jobsite.

Topcon's GR-3 with its Universal Signal Tracking and a wide array of advanced design features is truly a revolutionary receiver, far ahead of any other receiver technology available!

Welcome to the next generation of satellite positioning technology!



TOPCON

The new Topcon GR-3 represents the next generation in GPS+ receiver technology.



G3 Tracking Technology

- 72 "Universal" channels support all current and planned satellite positioning signals
- All GPS Signals
- All Glonass Signals
- All Galileo Signals



Advanced System Design

- Hot-Swappable Batteries
- Li-ION Rechargeable or Alkaline
- Completely Cable-Free Design
- Convenient Quick-Snap pole mounting system



Memory & Communication

- Easy Access SD & SIM Cards
- Integrated Radio TX/RX 410-470MHz
- Optional Internal GSM/GPRS
- Bluetooth Wireless Technology



Ultra Rugged Construction

- Durable magnesium housing
- I-Beam construction for added strength
- Weatherproof design
- Withstands 2(m) pole drop onto concrete
- Environmentally sealed external ports

Combine the GR-3 with a Topcon Controller!

- Topcon's FC Series Field Controllers
- Full color touch screen
- Graphical Windows interface
- Operates the full suite of Topcon field controller software packages
- Wireless operation via Bluetooth connection



The GR-3 is the next generation RTK GPS system from Topcon. This exciting new system incorporates G3 tracking technology to track all three satellite positioning systems as well as new design features not found in any other system.



Accessories



Optional Smart Charger

(Not used in Base or Base/Rover packages)

Functions

- Charge Batteries
- External Power Supply
- Integrated Tripod Hook

Topcon Tools Office Software Suite

Post processing raw GPS data, verification of RTK measurements or combining satellite data with terrestrial measurements, Topcon's Topcon Tool Software Suite provides unsurpassed power and flexibility.

Field Controller Software

TopSURV
Topcon's professional Survey Field Control Software.

Pocket 3-D
Topcon's Field Software designed specifically for the contractor.

Cable-Free Base & Rover Operation

- No hassles from broken cables
- Quick, easy setup & teardown
- Simple to learn & use
- All fits in one small hard sided case



The Leader in Positioning Technology..

Your authorized Topcon dealer has the answer for all of your precise positioning needs. Whether you're looking for precision GPS+ control for surveying and engineering applications or layout and grade management on a construction job site, your local Topcon dealer offers the widest range of products to get the job done quickly and accurately.

And don't forget, Topcon also offers the industry's easiest-to-use GPS+ machine control systems. Capable of working as an indicate-only system or fully automatic grade control, Topcon offers systems to automate your motorgrader, paver, profiler, dozer, excavator, or ag/land leveling machines.

There's only one company that offers you all of the positioning tools to keep you competitive in today's market. They're only available from your local dealer, and they're only from Topcon.

The Leader in Customer Satisfaction...

To ensure that your Topcon system maintains peak performance, your local Topcon dealer offers factory trained and certified service technicians. And just in case service assistance isn't available in your area, our factory offers a repair and support policy second to none.



TOPCON CORPORATION
 75-1, Hirasawa-cho, Maibashi-ku, Tokyo 174, 8560, Japan
 Phone: (+81) 3-3556-2121/2121 Fax: (+81) 3-3569-4214
 www.topcon.co.jp

Specifications subject to change without notice.
 © 2007 Topcon Corporation. All rights reserved.

Basic Specifications

TRACKING	
Number of Channels	72 Universal Channels
Signals Tracked:	
GPS	L1, L2, & L5 carrier, CA, L1 P, L2 P, L2C
GLONASS	L1, L2, & L5 carrier, L1CA, L2CA, L1 P, L2 P
GALILEO	E2-L1-E1, E5
WAAS/EGNOS	Yes
Antenna Type:	Integrated Micro-Center on Flat Ground Plane
ACCURACY	
Real time RTK accuracy	H: 10mm+1ppm V: 15mm+1ppm
Post processed Static:	H: ±3.0mm+0.5ppm V: ±5.0mm+0.5ppm
COMMUNICATIONS	
Optional Radio Type	Integrated Tx/Rx 410-470MHz
Base Radio Output	0.250 - 1.0 Watts, selectable
Cellular Communications	Integrated via SIM Card, GSM/GPRS
Wireless Communications	Integrated Bluetooth version 1.1 comp
DATA & MEMORY	
Memory	Internal, Removable SD Memory Card
Data Update/Output Rate:	1 - 20Hz Selectable
Real Time Data Output	TPS, RTCM SC104, CMR, CMR+
ASCII Output	NMEA 0183 version 3.0
Control & Display Unit	Optional, External, Mobile Computer
ENVIRONMENTAL	
Enclosure	Magnesium I-Beam Housing
Operating Temperature	-20 to +50C, with batteries
Environmental Specification	IP66 waterproof/dustproof
Shock Rating	2 meter pole drop

External DIGITAL BASE RADIO TRL-35



TRL-35 digital 35 watt UHF radio represents the next generation of radio design for RTK communications. By utilizing DSP technology and advanced digital design, the TRL-35 delivers greater reliability than previous UHF radios and sets new standards for performance and innovative design. Don't let the small size fool you, within it's compact case the TRL-35 packs a powerful punch...35 watts of clean, penetrating, digital power! Just take a look at some of the outstanding features of the TRL-35, features that far exceed all of the competition!

- 100% digital radio delivers longer range in difficult conditions than older UHF technology
- Incredibly small size! Only 6" x 2.0" x 2.8" (H x W x D)
- Pacific Crest PDL and Trimtalk compatible
- Jobsite tough! 100% dustproof and rainproof with IP66 environmental rating!
- Wide frequency range of 410MHz to 470MHz with programmable band widths
- Compatible with HPer+, HPer XT, and GR-3 UHF integrated rover receivers and all Topcon RTK base receivers



Your local Authorized Topcon dealer is:

Fuente: http://www.Topcon®.co.jp/en/positioning/products/pdf/gr-3_e.pdf

Anexo N° 5:
Ficha técnica receptor HiPer+ *Topcon*®



 PRECISION GPS+





HiPer 

Wireless, integrated GPS+ receiver system



ISO 9001:2000
FM 65448

If you are looking to add the most advanced GPS technology to your business, look no further than the new Topcon HiPer+.



From the extremely successful HiPer series of compact, integrated GPS receivers, the new HiPer+ continues to offer the advantages of a small, lightweight design, and the power of dual-constellation satellite tracking with the added features of wireless communication and an advanced center-mount UHF antenna design that boosts RTK performance and distance, without any degradation of GPS signals.

That's why at Topcon, we are proud to boast that we are the new leader in precision GPS systems and technology! A pretty big boast, but one that we back up with the broadest, most advanced product lineup in the industry. The HiPer+ takes it's place along side 8 other precision dual-frequency receiver designs. We feel that in order to best serve our customer's needs, just one or two receiver options is not enough. Topcon prides itself on being able to customize a GPS solution that best fits your needs, instead of forcing you to conform to only one or two systems.

A member of Topcon's award winning line of GPS technology, the HiPer+ already boasts some impressive technology firsts:

- World's First wireless dual-constellation GPS System
- World's First advanced performance center-mount RTK UHF antenna
- World's First GPS system capable of 1Gb internal data storage
- World's First integrated 40 channel dual frequency receiver with integrated Bluetooth™ Technology
- World's First GPS System with advanced Co-Op tracking for unsurpassed under-canopy performance

Only from Topcon, the World leader in precision positioning technology!

Just as with the other models in the HiPer family of receivers, the HiPer+ offers an integrated design that includes a GPS receiver, antenna, power supply, and RTK radio link, all in a compact, waterproof, durable housing that is designed to take the bumps and bruises of the field.



The HiPer+ also has the option of dual-constellation (GPS + Glonass) tracking which provides 40% more satellite coverage than GPS alone. This added advantage virtually eliminates downtime due to poor satellite coverage, or in those difficult environments where satellite obstructions knock out GPS only systems.

So when considering your precision GPS options, take a good look at the new HiPer+. We're confident you'll see for yourself what everyone's talking about.



www.topcon.com

1400 National Dr. • Livermore, CA 94551
Phone: (925) 245-8100

Patents Pending

© 2004 Topcon Corporation All rights reserved.
P/N: 7010-0572 Rev. C Printed in U.S.A. 10/04



FC-100 Rugged Windows CE™ Field Computer



GR-1000 Modular GPS+ Base Receiver



Description	40 channel integrated GPS+ receiver/antenna with MINTER interface
Tracking Specifications	
Tracking Channels: standard	40 L1 GPS (20 GPS L1+L2 on Cinderella days)
Tracking Channels: optional	20 GPS L1+L2 (GD) GPS L1 + GLONASS (GG) 20 GPS L1+L2+GLONASS (GGD)
Signals Tracked	L1/L2 C/A and P Code & Carrier and GLONASS
Performance Specifications	
Static: Rapid Static	H: 3mm + 0.5ppm V: 5mm + 0.5ppm
RTK	H: 10mm + 1ppm V: 15mm + 1ppm
Power Specifications	
Battery	Internal Lithium-Ion Batteries plus 1 external power port for 14+ hours of operation
External power input	6 to 28 volts DC
Power consumption	Less than 4.2 watts
GPS+ Receiver Specifications	
GPS / GLONASS Antenna	Integrated
Antenna Type	Center-mount UHF Antenna
Ground Plane	Antenna on a flat ground plane
Radio Specifications	
UHF Radio Modem	Internal Rx or External Tx/Rx
Base Power Output	0.5W/2.0W/3.5W
CDPD & GSM Modem	Optional Accessory
Wireless Communications	
Communication	Bluetooth™ version 1.1 comp
Ports	
Communication Ports	4x serial (RS232)
Other I/O Signals	1pps Event Marker
Status Indicator	4x3 color LED's, two-function keys (MINTER)
Control & Display Unit	External: FC-1000, Ranger or 3rd Party
Memory & Recording	
Internal Memory	Up to 128 MB
Data Update Rate	Up to 20 times per second (20Hz)
Data Type	Code & Carrier from L1 and L2, GPS & GLONASS
Data Requirements	
Real-time data outputs	RTCM SC104 ver 2.1, 2.2, 2.3, 3.0 CMR, CMR+
ASCII Output	NMEA 0183 version 3.0
Other Outputs	TPS format
Output Rate	Up to 20 times per second (20Hz)
Environmental Specifications	
Enclosure	Aluminum extrusion, waterproof
Operating Temperature	-30 °C to 60 °C
Dimensions	W 159 x H 172 x D 88 mm / 6.25 x 6.75 x 3.5 in
Weight	1.65 kg / 3.64 lbs

*Bluetooth™ logo approvals are a courtesy of Intel. Please contact your Topcon representative for more information.

Topcon sells GPS products into the precision markets only

Go to www.topcongps.com for details

© 2004 Topcon Corporation. All rights reserved. Performance specifications are subject to change without notice. Performance specifications are provided for reference only. Actual performance may vary. Performance specifications are provided for reference only. Actual performance may vary. Performance specifications are provided for reference only. Actual performance may vary. Performance specifications are provided for reference only. Actual performance may vary.

Anexo N° 6:
Extracto de la Revista del Colegio Federado de Ingenieros y
Arquitectos de Costa Rica, Año 31, número 4, 1988

ING. HONGE GARRO RICARDO
CATASTRO NACIONAL
SAN JOSE

REVISTA del COLEGIO 

FEDERADO DE INGENIEROS Y DE ARQUITECTOS DE COSTA RICA

NUMERO 4/88 AÑO 31

La base de calibración Sabana

Revista del Colegio 48

Ing. Ricardo Monge Garro

Siempre y cuando se vaya a realizar un proyecto en el cual intervenga la medición confiable de distancias, se hace recomendable contrastar el instrumento, que se piensa utilizar para este fin, en una base de calibración. Es conveniente, para mayor seguridad, hacer esto antes de iniciar y luego de finalizar las observaciones para la toma de los datos que servirán para calcular los valores, de las longitudes de las líneas, dentro de un determinado sistema de referencia.

Una base de calibración sirve solamente para comparar instrumentos de una exactitud menor a la del aparato que sirvió para definir las magnitudes de las distancias entre los diferentes puntos que la constituyen. Se debe poner especial cuidado e interés en el buen funcionamiento del equipo auxiliar, como son los barómetros, termómetros, base nivelante con plomada óptica, etc, así como de su correcta utilización, para no introducir otros errores que aquellos inevitables.

La base Sabana es utilizada por el Catastro Nacional en el común desempeño de sus labores, pero sin embargo, puede ser usada por cualquier usuario potencial que así lo requiera, bajo su entera responsabilidad por la delicada manera en que se debe operar para obtener datos correctos y por los criterios o decisiones que tome, luego del proceso de ajuste de las observaciones reducidas. Por lo tanto ofrecemos como parte de este trabajo toda la información que

pueda ser ocupada, tanto sobre los datos iniciales de medición de la base de calibración como de los resultados finales, luego del desarrollo matemático de los mismos. La figura N° 1 muestra la localización física de los mojonos de esta base de calibración.

El instrumento usado para la definición de los valores de las distancias entre los puntos de la base de calibración, fué el "Distomat" DI-20, de la casa Wild Heerbrugg S.A. de Suiza. El fabricante asegura que se pueden obtener con él exactitudes de $\pm 3\text{mm} \pm 1\text{mm/Km}$. Es un instrumento electroóptico que usa una longitud de onda portadora de

CUADRO N° 2 Elementos de la ecuación matricial									
$Y = A X - L$									
VI	X1	X2	X3	X4	X5	C	L(mm)	P	
1	1	0	0	0	0	-1	0.0	1.00	
2	1	1	0	0	0	-1	-2.7	1.00	
3	1	1	1	0	0	-1	-5.1	1.00	
4	1	1	1	1	0	-1	-2.7	1.00	
5	1	1	1	1	1	-1	-0.7	1.00	
6	0	1	0	0	0	-1	0.0	1.00	
7	0	1	1	0	0	-1	-0.7	1.00	
8	0	1	1	1	0	-1	-2.7	1.00	
9	0	1	1	1	1	-1	1.0	1.00	
10	0	0	1	1	0	-1	0.0	1.00	
11	0	0	1	1	0	-1	-1.7	1.00	
12	0	0	1	1	1	-1	1.0	1.00	
13	0	0	0	1	0	-1	0.0	1.00	
14	0	0	0	1	1	-1	2.7	1.00	
15	0	0	0	0	1	-1	0.0	1.00	

CUADRO N° 1					
Mediciones directas (sin ajustar) reducidas al horizonte realizadas con el Distanciómetro DI-20 de Wild sobre la base de calibración Sabana.					
Línea	FECHA DE MEDICION			Promedio (m)	E.M.C. (mm)
	25-03-86	12-11-88	15-03-88		
1-2	25.012	25.013	25.011	25.0120	± 0.58
1-3	75.010	75.012	75.008	75.0100	± 1.16
1-4	226.039	226.040	226.039	226.0393	± 0.33
1-5	431.306	431.303	431.312	431.3070	± 2.65
1-6	481.311	481.304	481.303	481.3060	± 2.52
2-3	50.002	50.001	49.999	50.0007	± 0.88
2-4	201.033	201.030	201.032	201.0317	± 0.88
2-5	406.296	406.295	406.294	406.2950	± 0.58
2-6	456.296	456.295	456.296	456.2957	± 0.33
3-4	151.032	151.031	151.032	151.0317	± 0.33
3-5	356.297	356.297	356.292	356.2953	± 1.67
3-6	406.296	406.294	406.295	406.2950	± 0.58
4-5	205.264	205.272	205.260	205.2653	± 3.53
4-6	255.266	255.264	255.265	255.2650	± 0.58
5-6	49.998	49.995	49.998	49.9970	± 1.00

0.835 μm , infrarroja y tiene un alcance máximo de medida de aproximadamente 14 km, trabajando bajo excelentes condiciones de visibilidad y usando un número no menor a 11 prismas sobre la señal reflectora.

Cada punto de la base de calibración fue amojonado y es visible superficialmente por medio de una placa de aluminio, con la leyenda en alto relieve "Catastro Nacional". Cada placa tiene un punto de medición firmemente grabado y al lado la respectiva numeración.

CUADRO N° 3
Base "La Sabana" (1988)
(TABLA DE DISTANCIAS HORIZONTALES
ENTRE LOS VERTICES) CATASTRO NACIONAL

Línea	Distancia(m) ajustada	E.M.C. (mm)	Distancia(m) redondeado
1-2	25.01051	± 0.79	25.0105
2-3	49.99994	± 0.79	49.9999
3-4	151.03059	± 0.79	151.0306
4-5	205.26551	± 0.79	205.2655
5-6	49.99883	± 0.79	49.9988
1-3	75.01045	± 0.89	75.0105
1-4	226.04105	± 1.04	226.0411
1-5	431.30656	± 1.22	431.3066
1-6	481.30538	± 1.41	481.3054
2-4	201.03054	± 0.89	201.0305
2-5	406.29605	± 1.04	406.2961
2-6	456.29487	± 1.22	456.2949
3-5	356.29610	± 0.89	356.2961
3-6	406.29493	± 1.04	406.2949
4-6	255.26434	± 0.89	255.2643
$M_0 = \pm 1.31 \text{ mm.}$			
Mediciones hechas con el Wild Distomat DI-20, N°41.225 C.N.			

El cuadro N° 1 muestra los valores de las distancias medidas en tres fechas distintas, durante un intervalo de tiempo de dos años, en los cuales se midió la base tres veces. Se promedió cada longitud parcial y se obtuvo en cada caso el error medio cuadrático de cada promedio. Los promedios se usaron para realizar el ajuste de la base de calibración Sabana y así poder obtener las distancias ajustadas que son las que sirven para contrastar los instrumentos de medición de distancias.

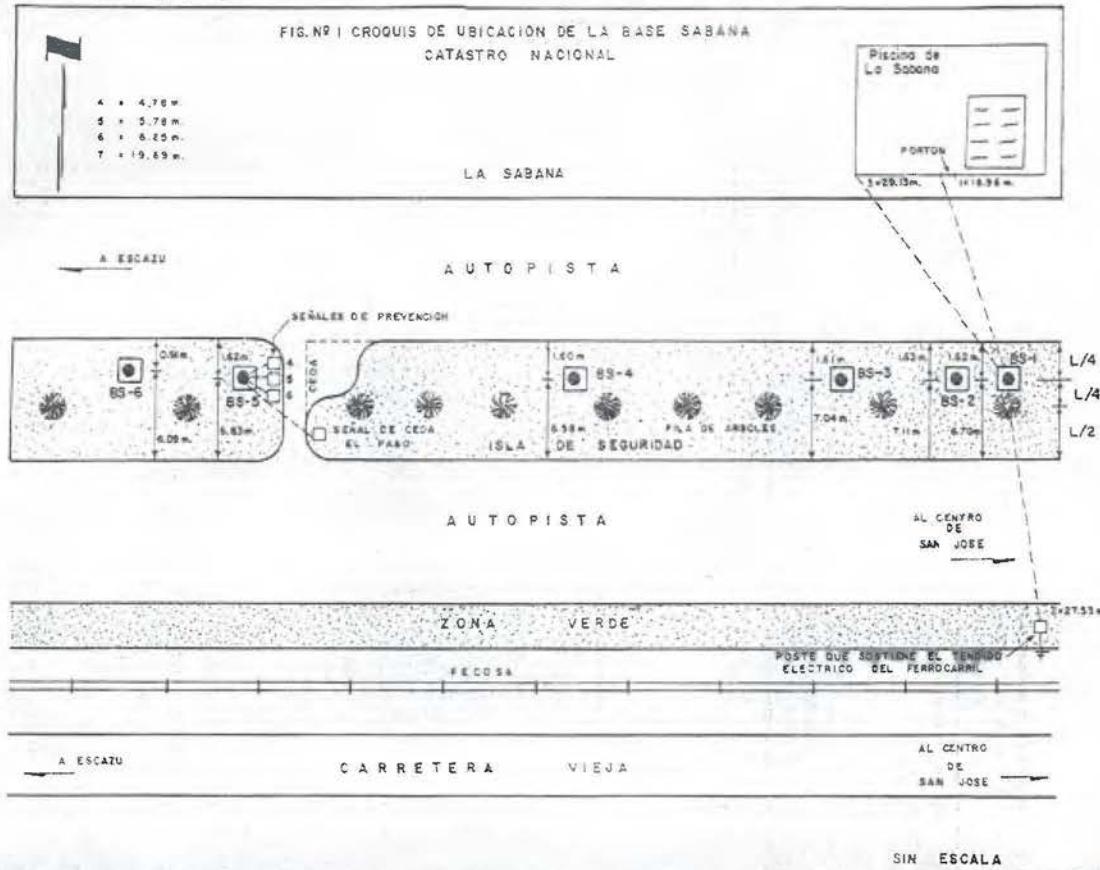
El cuadro N° 2 muestra los coeficientes y los valores correspondientes al sistema de ecuaciones de las observaciones originales escritas en forma modificada, según la ecuación matricial. $V = \Delta X - L$.

Donde: V = Vector de los residuos de las observaciones originales.

Δ = Matriz de los coeficientes de las incógnitas

X = Vector de las incógnitas

CUADRO N° 4				
CHEQUEO DE DISTANCIOMETRO: CMW-20				
FECHA: 18-05-88				
Exact. Aparato: a,b (cmts) .5 .3 # Obs: 15				
D. Base	D. Medida	Residuos	F (x)	Base-F(x)
25.0105	25.0040	0.0091	25.01050	0.00000
75.0105	75.0050	0.0081	75.01050	0.00000
226.0411	226.0380	0.0057	226.04110	0.00000
431.3066	431.3180	-0.0088	431.30660	0.00000
481.3054	481.3060	0.0000	481.30540	0.00000
456.2949	456.2920	0.0054	456.29490	0.00000
406.2961	406.3030	-0.0043	406.29610	0.00000
201.0305	201.0340	-0.0009	201.03050	0.00000
49.9999	50.0040	-0.0015	49.99990	0.00000
151.0306	151.0380	-0.0048	151.03060	0.00000
356.2961	356.3050	-0.0063	356.29610	0.00000
406.2949	406.3040	-0.0066	406.29490	0.00000
255.2643	255.2670	-0.0001	255.26430	0.00000
205.2655	205.2610	0.0071	205.26550	0.00000
49.9988	50.0040	-0.0026	49.99880	0.00000
(PVV) = 4.721 cm		Mo = +/- 0.60 cm		
Const. Aditiva: -0.26 cm +/- 0.08 cm				
Const. Multiplicativa: 1.0000040 +/- 0.0000067				
Hipotesis: No existe constante aditiva ni multiplicativa				
Por Tad = 3.132 > Tp = .95 = 2.160 SE RECHAZA LA HIPOTESIS				
Por Tmu = 0.600 < Tp = .95 = 2.160 NO SE RECHAZA LA HIPOTESIS				



L = Vector de las diferencias entre las observaciones originales y las aproximaciones de las incógnitas. (En este caso de ajuste)

Se incluye también dentro del cuadro N° 2 los valores de los pesos de las observaciones asumidos igual a la unidad.

Mediante la solución por mínimos cuadrados del sistema de ecuaciones mostrado anteriormente, a través de la ecuación matricial:

$$X = (A^T P A)^{-1} (A^T P L)$$

Obtenemos los valores de las incógnitas.

$$\begin{aligned} X_1 &= 25.0105 \text{ m} \pm 0,79 \text{ mm.} \\ X_2 &= 49.9999 \text{ m} \pm 0,79 \text{ mm.} \\ X_3 &= 151.0306 \text{ m} \pm 0,79 \text{ mm.} \\ X_4 &= 205.2655 \text{ m} \pm 0,79 \text{ mm.} \\ X_5 &= 49.9988 \text{ m} \pm 0,79 \text{ mm.} \\ C &= -0.07 \text{ mm} \pm 0,72 \text{ mm.} \end{aligned}$$

El error medio cuadrático de la unidad del peso $M_0 = \pm 1,31$ mm.

La prueba sobre la exactitud de los cálculos realizados se efectúa introduciendo en ecuaciones originales de observación, los resultados correspondientes del ajuste junto con los valores de las observaciones originales y realizando el cálculo respectivo.

$$L_i + V_i + C = X_k$$

L_i = Observación original
 V_i = Residuo de la observación original

ANEXO N° 1 ALTURAS DE LAS PLACAS DE LA BASE

PUNTO	ALTURAS
PLACA # 1	1135.905
PLACA # 2	1135.400
PLACA # 3	1134.318
PLACA # 4	1130.365
PLACA # 5	1125.145
PLACA # 6	1123.725

$M_0 = \pm 7 \text{ mm.}$

C = Constante aditiva
 X_x = Incógnita

El resultado de esta prueba se obtuvo en todos los casos para todas las ecuaciones de las observaciones originales, correctamente.

Prueba para la asignación de pesos y sobre el modelo de ajuste, para un grado de libertad $f = 9$ y una probabilidad $P = 0.95$.

$$\frac{(PVV)}{X_{9,97.5}^2} \leq \sigma^2 \leq \frac{(PVV)}{X_{9,2.5}^2}$$

$$\frac{15.38}{19.0} \leq \sigma^2 \leq \frac{15.38}{2.70}$$

$$0.81 \leq \sigma^2 \leq 5.70$$

X_x^2 = Distribución CHI CUADRADO

(PVV) = Suma de los cuadrados de los elementos residuales de las observaciones, multiplicados por los pesos correspondientes.

La prueba demuestra que existe un 95% de probabilidad de que sea correcto nuestro modelo matemático y nuestra estimación de la precisión de las mediciones. Sin embargo la estimación de la precisión pudo haber sido el doble y siempre habríamos obtenido los mismos resultados en el ajuste.

Para ilustración de la utilización de la base, damos el siguiente ejemplo resuelto. El Catastro ha enviado una cuadrilla de topografía a que realice medi-

ciones en la base de calibración, con un aparato cuya exactitud teórica es de $\pm 5 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm/km}$.

Los resultados de la medición aparecen en el cuadro N° 4 en la columna que corresponde a las distancias medidas. Es claro que se ha realizado con anterioridad la reducción por meteorología y al horizonte para cada distancia medida, antes de introducirlo como dato para el ajuste por mínimos cuadrados.

El ajuste que se realiza para el procesamiento de estos datos, es parecido al que se analizó anteriormente, sólo que ahora se toma en cuenta que las distancias de la base son conocidas y se consideran libres de error, por haberse determinado en su oportunidad, con instrumental y metodología de mucho mayor exactitud. También, únicamente la ecuación que corresponde a la distancia entre el punto uno y el seis (la de mayor longitud) contempla la influencia de una constante de multiplicación.

Tendremos por lo tanto cuatro ecuaciones de la forma:

$$L_1 + V_1 + C = S_1$$

Y una ecuación del tipo.

$$M(L_1 + V_1) + C = S_6$$

Donde: M = Constante multiplicativa

S_x = Distancias exactas conocidas

Al escribir en forma modificada la segunda ecuación, obteno-

mos una ecuación no lineal que se lineariza por medio del uso de la serie de Taylor y aproximaciones para las dos incógnitas C y M.

Los resultados del ajuste y las pruebas estadísticas nos demuestran la existencia de una constante aditiva para el distanciómetro CMW-20, con un valor de -2.6 mm a una probabilidad del 95% (Prueba t de Student).

En cuanto al valor despejado para la constante multiplicativa, vemos que su deriva es igual a cuatro partes por millón, sin embargo la prueba estadística indica con una probabilidad del 95%, que puede ser que esta constante no exista; por esto no tendríamos mayor seguridad sobre este asunto, hasta que realicemos nuevas pruebas, o midamos la frecuencia del distanciómetro CMW-20, con un frecuencímetro de alta exactitud, que haya sido contrastado. Esto último se hizo en este caso, usando el frecuencímetro marca Racal Dana propiedad de Catastro Nacional y al hacerlo constatamos que la frecuencia de medición fina del CMW-20, se encontraba correcta, lo que quiere decir que el factor de escala no existe.

En el cuadro N° 3, se dan los valores ajustados de todas las distancias medidas con el Distomat DI-20 de Wild, que fueron reducidas por meteorología y al horizonte, que son las mismas que se ha usado en el ejemplo del contraste anteriormente expuesto como distancias conocidas y libres de error.

Anexo N° 7:
Extracto revista Azimuth, Año 4, número 9, junio 2009

Azimuth
Geomática - Topografía - Geodesia

Publicación oficial del Colegio de Ingenieros Topógrafos de Costa Rica Año 4, Número 9, junio 2009

ISSN: 1659-2948

FIG

LA IMPORTANCIA DEL REGISTRO INMOBILIARIO
 para el ejercicio profesional del topógrafo
 pág. 10

ESTADO DE LA RED GEODÉSICA DE COSTA RICA
 pág. 11


 Colegio de Ingenieros Topógrafos de Costa Rica


REGULARIZACIÓN DE CATASTRO Y REGISTRO
 Propiedades inscritas y seguras

Parte Pagada
 Part. Paga
 Permiso
 N° 176 **CORREOS**

ACCION CIT

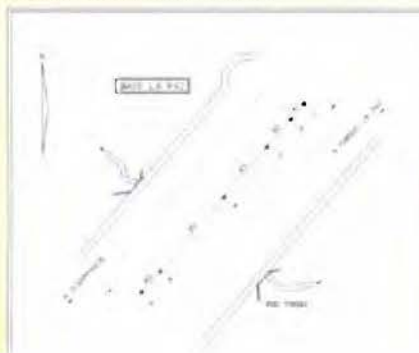
“La base de calibración La Paz”

Resumen: La base de calibración La Paz tiene como finalidad brindar a los usuarios de instrumentos electrónicos que miden distancias, la posibilidad de contrastar su equipo en ella, para obtener mediante la rutina denominada “Calibración de instrumentos base La Paz”, u otra similar o programada por los mismos, la constante multiplicativa y aditiva de este, así como sus errores medios cuadráticos.

Ing. Marlon Aguilar Chaves
Subdirector
Registro inmobiliario - División Catastro

Comentarios y ajustes: Ing. Ricardo Monge Garro; programación: Ing. Ricardo Monge Garro e Ing. Junior Castro Astúa; mediciones: Ing. Junior Castro Astúa, Per. Top. Javier Umaña Montoya, Ing. Frank Trejos Fernández e Ing. José Manuel Carrillo Quirós.

Debido a la ampliación de la carretera San José a Sant Ana, en la parte situada al costado sur del Parque Metropolitano La Sabana, la base de calibración Sabana, definida, amojonada y medida en el año de 1988 por el Catastro Nacional, en la isleta de separación vial, se perdió. Por lo tanto, se decidió instalar una nueva base que la sustituyera; se escogió la isla canalizadora de concreto ubicada en la radial oeste nueva, que une el Parque de la Paz con Desamparados (ver anexos de croquis y fotografía de localización).



Los mojones son pines de bronce de 1.2 cm de diámetro y 6 cm de largo, debidamente alineados y numerados de norte a sur con números del 1 al 6. Esto indica de que la cantidad posible de mediciones en ella es de $(n)(n-1)/2$, donde “n” es la cantidad de vértices, o sea $(6)(6-1)/2 = 15$ observaciones independientes.

El método de medición aplicado fue **estático relativo**, con sesiones mínimas de media hora y separación con las siguientes de 10'. Se utilizaron receptores geodésicos del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), programados para una máscara de elevación de 15°, un PDOP menor que 7 y épocas de 15”.

Con las sesiones realizadas, se calcularon las 15 distancias inclinadas entre los puntos de la base (sobre el terreno) y utilizando las cotas medidas se redujeron al horizonte para ajustar por mínimos cuadrados de la base. Así se obtuvieron 15 distancias horizontales independientes ajustadas y sus errores medios cuadráticos. El error medio cuadrático general resultó igual a ± 1.6 mm.

Las tablas que siguen a continuación muestran los valores de nivelación s.n.m. que se obtuvieron, así como las distancias GPS al horizonte ajustadas por el método de mínimos cuadrados:

Alturas de los puntos de la base	
Punto	Alturas s.n.m. (m)
N° 1	1145,837
N° 2	1144,726
N° 3	1143,908
N° 4	1138,483
N° 5	1133,792
N° 6	1133,481

Diferencia de cierre de nivelación = 2 mm

Tabla de incógnitas ajustadas		
Incógnita	Valor (m)	σ_y (mm)
X ₁	025,1115	± 1,0
X ₂	049,9191	± 1,0
X ₃	150,0000	± 1,0
X ₄	200,0147	± 1,0
X ₅	056,0197	± 1,0

$\sigma_x = \pm 3,8$ mm

Tabla de distancias ajustadas		
Línea	Distancia (L + X _i)	σ_y (mm)
1-2	025,1115	± 1,0
2-3	049,9191	± 1,0
3-4	150,0000	± 1,0
4-5	200,0147	± 1,0
5-6	056,0197	± 1,0
1-3	075,0306	± 1,0
1-4	225,0346	± 1,0
1-5	425,0493	± 1,0
1-6	481,0690	± 1,0
2-4	199,9231	± 1,0
2-5	399,9378	± 1,0
2-6	455,9575	± 1,0
3-5	150,0187	± 1,0
3-6	350,0334	± 1,0
4-6	250,0481	± 1,0

Finalmente, ofrecemos la portada de la rutina "Calibración de instrumentos base La Paz", con los resultados de un ejemplo real de una estación total topográfica contrastada en la base La Paz. Esta aparecerá en la página Web que oportunamente estaremos indicando.

TOPOGRAFIA FRANCISCO REYES

Asesoría Técnica y Legal - Zona Marítimo Terrestre

BASE LA PAZ

RUTINA PARA CALIBRAR INSTRUMENTOS ELECTRONICOS QUE MIDE DISTANCIAS

LÍNEA	INTRODUZCA * DISTANCIA (m)	VALOR DE LAS CONSTANTES
1 -> 2	73,0000	REF. PRINCIPAL = 1,0000023
2 -> 3	24,9270	ADITIVA (m) = 0,029
3 -> 4	140,0700	
4 -> 5	190,0000	
5 -> 6	70,0000	
1 -> 3	73,0000	ERRORES MEDIOS CUADRADICOS
1 -> 4	249,0000	E.M.C. MED. = 1 = 0,0000066
1 -> 5	417,0000	E.M.C. ADIT. (m) = 1 = 0,002
1 -> 6	487,0000	
2 -> 4	490,0000	DATOS DEL INSTRUMENTO
2 -> 5	289,0000	MARCA
2 -> 6	479,0000	MODELO
3 -> 5	475,0000	SERIE
3 -> 6	445,0000	OPCIONES
4 -> 6	276,0000	

Nota *

En el caso de que el programa funcione correctamente y brinde los resultados que corresponden al instrumento utilizado, deberá medirse, varias veces las distancias en la línea a ser utilizada reduciendo por temperatura, por el método de mínimos cuadrados que arroja los datos que se muestran en el ejemplo.

Elaborado por Francisco Reyes de la Asesoría Técnica y Legal del Registro Geográfico del Magisterio Nacional



- Levantamiento en Agrimensura y Topografía con GPS doble frecuencia Radian IS – Sokkia
- Estaciones Totales Sokkia 610
- Fotointerpretación
- Batimetría
- Oceanografía Física

Tel: 2235-1129 / 8383-2098
 Fax: 2241-3491
 E-mail: topreyes@racsa.co.cr
freyes@cfa.or.cr
www.topreyes.com

