



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
Facultad de Ingeniería

SEDE "OSCAR LUCERO MOYA"

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES

TRABAJO DE DIPLOMA

**CREACIÓN DEL POLÍGONO PATRÓN PARA EL DESARROLLO DE LA
TOPOGRAFÍA Y SUS DISCIPLINAS AFINES**

Autor: LEONEL ROJAS MORA

HOLGUÍN

2017



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
Facultad de Ingeniería

SEDE "OSCAR LUCERO MOYA"

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES

TRABAJO DE DIPLOMA

**CREACIÓN DEL POLÍGONO PATRÓN PARA EL DESARROLLO DE LA
TOPOGRAFIA Y SUS DISCIPLINAS AFINES**

Autor: LEONEL ROJAS MORA

Tutor: P.T Dr. C LUIS ENRIQUE ACOSTA GONZÁLEZ

HOLGUÍN

2017

PENSAMIENTO



No basta saber; se debe también aplicar. No es suficiente querer; se debe también hacer.

Johann Wolfgang Goethe (1749-1832)

DEDICATORIA

- A Dios, creador de todas las cosas, por darme como don el entendimiento de la ciencia.
- A mis padres, por sus consejos. Por su amor y su comprensión. Por impulsarme en todo momento de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

- A toda mi familia, quienes son los responsables de lo que soy, de quien soy y de que me encuentre en esta etapa de mi vida.
- Al Dr. Luis Enrique Acosta González, por su amistad, su tiempo y sus enriquecedoras sugerencias a mi tesis.
- Al colectivo de profesores responsables de mi formación, por su entrega en el trabajo.
- Al colectivo de trabajadores de las empresas Geocuba y Raudal. Especialmente a Aracelis, Arnaldo y Carlos. Porque sin su ayuda no hubiese sido posible realizar este proyecto con la calidad requerida.
- A mis amigos Saviel, Yoandrys, José Antonio, José Alfredo y Luis Yordanis, por su apoyo en los trabajos realizados.
- A todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo presentar una herramienta de apoyo para la gestión de la calidad en la formación del profesional en el Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Holguín, a partir de los resultados obtenidos en el proyecto Institucional “Creación del Polígono Patrón para el desarrollo de la Topografía y sus disciplinas afines en las carreras de Ingeniería Civil y Licenciatura en Educación Construcción”. Esta investigación resuelve la problemática de no contar con un polígono para la realización de las clases prácticas, que posibilitó el perfeccionamiento del trabajo metodológico y del proceso de enseñanza – aprendizaje en las asignaturas de Topografía (I y II), Proyectos Integradores (1 y 2) y Diseño Geométrico de Carreteras, durante la formación del profesional. Se realizó el reconocimiento, la monumentación de los puntos y la medición de la red de apoyo plano-altimétrica, que constituyen la plataforma para la realización del levantamiento topográfico, replanteo y control de obras, en las diferentes fases del proceso inversionista de una obra de ingeniería (estructural, vial e hidráulica). Estos resultados se sintetizan en una base de datos (x, y, z) que facilitan el trabajo de docentes y estudiantes, así como los futuros proyectos en el área de estudio. En el Trabajo de Diploma se utilizaron los métodos de investigación científica: teóricos, histórico-lógico, análisis y síntesis, hipotético- deductivo y la modelación; de igual manera utilizamos métodos matemáticos y estadísticos. Empleamos como Norma para la edición bibliográfica el sistema APA 2016.

ABSTRACT

This work has as objective to present a support tool for the administration of the quality in the formation of the professional in the Department of Constructions of the Faculty Engineering of the University of Holguín, starting from the results obtained in the Institutional project "Creation of the Patron Polygon for the development of the Topography and its related disciplines in the careers of Civil Engineering and Bachelor of Education Construction". This research solves the problem of not having a polygon for the realization of the practical classes that facilitated the improvement of the methodological work and of the teaching - learning process in the subjects of Topography (I and II), Integrative Projects (1 and 2) and Geometric Design of Highways, during the formation of the professional. It was carried out the recognition, the monumentation of the points and the measurement of the plane - altimetry network, that constitute the platform for the realization of the topographic surveying, location and control of works, in the different phases of the process investor of an engineering work (structural, road and hydraulic). These results are synthesized in a database (x, y, z), that facilitate the work of teachers and students, as well as the future projects in the study area. In the Work of Diploma the methods of scientific investigation were used: theoretical, historical-logical, analysis and synthesis, hypothetical - deductive and the modeling; in a same way we use mathematical and statistical methods. We use as Norma for the bibliographical edition the system APA 2016.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO – I: ESTADO ACTUAL DE LA TOPOGRAFÍA Y SUS DISCIPLINAS AFINES	4
Introducción al capítulo	4
I.1 Historia de la Topografía	4
I.2 Relación de la Topografía con otras Disciplinas.....	7
I.3 Superficies de referencia.....	10
I.3.1 El esferoide o elipsoide de referencia	11
I.4 Sistemas de coordenadas	13
I.4.1 Coordenadas geográficas	13
I.4.2 Coordenadas planas rectangulares	15
I.5 Teoría de errores.....	16
I.5.1 Errores sistemáticos y errores accidentales.....	16
I.5.2 Cálculo del error medio cuadrático.....	17
I.6 Tareas topográficas.....	17
I.6.1 Tarea topográfica directa	17
I.6.2 Tarea topográfica inversa	19
I.7 División operacional de la Topografía	20
I.8 Poligonación.....	20
I.8.1 Selección de las estaciones	21
I.8.2 Medición de los lados.....	22
I.8.3 Medición de los ángulos.....	22
I.8.4 Ajuste y cálculo de la poligonal	22
I.8.5 Conversión de Azimut a Rumbo	24
I.8.6 Calculo de los senos y cosenos	25
I.8.7 Determinación de las coordenadas.....	26
I.9 Nivelación.....	26
I.9.1 Métodos generales de nivelación.....	27
I.9.2 Nivelación geométrica	28

I.9.2.1 Nivelación simple	28
I.9.2.2 Nivelación compuesta	29
I.10 Instrumentos utilizados en la Topografía.....	30
I.11 Aporte de la Topografía a la formación del profesional	32
I.11.1 Objetivos educativos	33
I.11.2 Objetivos instructivos	34
I.12 Polígonos patrones.	36
Conclusiones parciales	37
CAPITULO-II: CREACIÓN DEL POLÍGONO PATRÓN EN LA SEDE OSCAR LUCERO MOYA.....	38
Introducción al capítulo	38
II.1 Proyección del polígono	38
II.1.1 Reconocimiento	39
II.1.2 Monumentación de los puntos	39
II.1.3. Medición de ángulos y distancias.....	41
II.1.4 Croquis de la poligonal.....	41
II.2 Cálculo y ajuste de la poligonal	42
II.2.1 Poligonal planimétrica por métodos tradicionales	42
II.2.1.1 Determinación del error angular permisible	43
II.2.1.2 Cálculo de las correcciones angulares y corrección de los ángulos ...	43
II.2.1.3 Determinación de los acimutes	44
II.2.1.4 Determinación de los rumbos.....	45
II.2.1.5 Cálculo de los ΔX y los ΔY	45
II.2.1.6 Determinación de las correcciones de ΔX y ΔY	47
II.2.1.6.1 Correcciones de ΔX	48
II.2.1.6.2 Correcciones de ΔY	49
II.2.1.7 Comprobación de las correcciones	49
II.2.1.8 Cálculo de los ΔX y ΔY corregidos.....	50
II.2.1.8.1 Cálculo de los incrementos en las coordenadas X corregidos	50
II.2.1.8.2 Cálculo de los incrementos en las coordenadas Y corregidos	51
II.2.1.9 Cálculo de las coordenadas X Y	51

II.2.1.9.1 Cálculo de las coordenadas X.....	51
II.2.1.9.2 Cálculo de las coordenadas Y.....	52
II.2.2 Nivelación	53
II.2.2.1 Cálculo de los desniveles.....	54
II.2.2.2 Determinación del error de cierre de la nivelación	55
II.2.2.3 Cálculo de las correcciones de los desniveles	55
II.2.2.4 Determinación de los desniveles corregidos.....	57
II.2.2.5 Determinación de las altitudes de los puntos	57
II.3 Resultados patrones obtenidos por la TS-11	59
II.4 Análisis comparativo de los resultados	59
Conclusiones parciales	60
CONCLUSIONES GENERALES	61
RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Las etapas del proyecto para la construcción de las obras ingenieras, exigen de gran rigor para garantizar seguridad, duración en servicio y eficiencia. Por tal motivo, no se concibe su concepción, diseño y ejecución sin la aplicación de los métodos de la Geodesia y la Topografía, que incluyen procesos imprescindibles como el levantamiento topográfico, el replanteo y el monitoreo de las deformaciones en los procesos de construcción y explotación.

En la Universidad de Holguín Sede "Oscar Lucero Moya" se manifiesta la problemática de no contar con un polígono para la realización de las prácticas de Topografía y sus disciplinas afines, adoptando como variante alternativa su realización el IP 26 de Julio, teniendo como inconveniente el traslado para esa unidad docente que requiere de aspectos organizativos, principalmente del aseguramiento del transporte. (Acosta, 2016).

Con la realización de este proyecto se pretende resolver el siguiente problema: La no existencia en la Universidad de Holguín de un polígono patrón, dificulta el desarrollo del PEA (Proceso de enseñanza aprendizaje) en la Topografía y sus Disciplinas afines para las carreras de Ingeniería Civil y Licenciatura en Educación Construcción.

Objeto de la investigación: Polígono Patrón de Topografía.

Campo de acción: Mediciones planimétricas y altimétricas.

Objetivo general:

Crear un Polígono Patrón para el desarrollo de la Topografía y sus disciplinas afines, para la formación del profesional en las carreras de Ingeniería Civil y Licenciatura Educación Construcción en la Universidad de Holguín.

Objetivos específicos:

1. Analizar el estado actual de la Topografía y las perspectivas de los Polígonos Patrones o Bases de Apoyo.
2. Crear la base de apoyo plano-altimétrica del polígono en la Sede Oscar Lucero Moya.

3. Obtener las coordenadas (x,y,z) de la base de apoyo plano-altimétrica del polígono en la Sede Oscar Lucero Moya.

Este proyecto se elabora bajo la hipótesis de que si se establece un polígono patrón para la enseñanza de la topografía y sus disciplinas afines es posible perfeccionar el PEA en las carreras de Ingeniería Civil y Licenciatura en Educación Construcción.

Métodos de la investigación (Cruz, 2014; Colectivo de autores, 2016):

Métodos teóricos:

- Análisis – síntesis: Para la construcción de los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan el objeto y campo de la investigación.
- Hipotético - deductivo: Para concebir la hipótesis de la investigación, precisar las variables y orientar la lógica de la investigación científica.

Métodos empíricos:

- Análisis de documentos: Para el análisis histórico del campo y del objeto a investigar, así como para la preparación en el campo de estudio.
- Observación: Para la realización del diagnóstico de las condiciones actuales del área a la que se le va a realizar las mediciones.

Métodos matemáticos y estadísticos:

- Estadístico - descriptivo: Para la presentación y procesamiento de los datos obtenidos en el proceso de levantamiento y trabajos de campo.

Novedad científica:

La creación de un polígono patrón para el desarrollo de la topografía y sus disciplinas afines, vinculado a un proyecto de investigación institucional constituye el primer reporte del tema en las universidades cubanas.

En los trabajos de campo se realizarán las mediciones utilizando dos métodos, los tradicionales (teodolito y nivel) y los más novedosos (estación total y GPS). Se analizarán y se compararán los resultados de ambos trabajos.

Actualidad de la investigación:

Esta investigación responde a una de las líneas de trabajo del departamento "La formación del ingeniero civil y prácticas de sostenibilidad".

Los resultados se vinculan con un proyecto institucional dirigido a la actualización de los conocimientos y contenidos para la formación del profesional, en función del desarrollo de las nuevas tecnologías de la Geomática.

Aporte de la investigación:

El aporte de la investigación consiste en que se va a crear un polígono patrón para el desarrollo de las ciencias topográficas en la Universidad de Holguín.

Límite de la investigación: Obtener la base de datos con las coordenadas (x,y,z), por métodos tradicionales y nuevas tecnologías de la poligonal Plano-Altimétrica.

La investigación está estructurada en dos capítulos, en el primero se caracteriza el estado actual de la Topografía y sus disciplinas afines. En el segundo capítulo se trata la creación de la base de apoyo plano-altimétrica del Polígono Patrón. Por último, se exponen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO – I: ESTADO ACTUAL DE LA TOPOGRAFÍA Y SUS DISCIPLINAS AFINES

Introducción al capítulo

Indiscutible es la importancia de la Topografía como disciplina dentro de la formación de un ingeniero civil, ya que todo cálculo estructural sería poco factible si previamente no se conocen las características de la zona donde se idea emplazar una construcción. Solo mediante un exhaustivo análisis del relieve de una zona, es posible llegar a realizar un proyecto económico, conociendo que los grandes movimientos de tierra en los procesos constructivos son los agentes que más influyen en que un proyecto no sea factible, desde el punto de vista económico, ambiental o ambos¹. En el presente capítulo haremos referencia de manera breve y simplificada a conocimientos generales pertenecientes a la técnica de la Topografía, como son los métodos más difundidos mediante los cuales se realizan levantamientos plano-altimétricos. La Topografía como ciencia se nutre de la geometría, la trigonometría, la física y la astronomía.

I.1 Historia de la Topografía

Asegurar a ciencia cierta quien, quienes o cuando se utilizó por primera vez un estudio topográfico es imposible, sin embargo, cabe mencionar que todas las antiguas civilizaciones tuvieron su aporte al desarrollo de esta ciencia. Desde los más remotos tiempos, hablamos de la época en que vivieron Thales de Mileto (640 a.n.e), ya el hombre mostraba interés en tener conocimiento sobre la forma de la tierra, su relieve y extensión. La biblia habla de la topografía, poniendo en boca de varios profetas alusiones a trabajos topográficos. En la época de los faraones de Egipto, ya se realizaban mediciones y replanteos en las tierras aledañas al Rio Nilo, las cuales se inundaban periódicamente cuando el rio crecía. En la antigua Babilonia se utilizaban mapas, los cuales fueron encontrados por arqueólogos.

Julio Cesar, líder del antiguo imperio romano, en sus expediciones de conquista se hacía acompañar de Geómetras y Agrimensores, los cuales se encargaban de

¹ Colectivo de autores: Modelo del profesional. Documento Rector para los Estudios de Ingeniería Civil en Cuba (Plan D)

indicar los valores de las tierras que poseían los pueblos derrotados, de manera que los impuestos que debían pagar fueran justos y proporcionales a estas. Debido al crecimiento del imperio romano, se hizo necesario el desarrollo de novedosos métodos e ingeniosos instrumentos, los cuales se utilizaron para trazar mapas con fines bélicos y catastrales².

Herón de Alejandría, fue una figura destacada entre los topógrafos de su época, escribió varios documentos en los que proponía procedimientos y métodos de mediciones los cuales fueron ampliamente usados por ingenieros de esos tiempos. Ya en el siglo I de nuestra era apareció el Tratado de Topografía, de la mano de Sexto Julio Frontino. Durante el siglo IV Inocencio I redactó el Arte de Medir la tierra. Después apareció el Codex Acerianus, encontrado en el siglo X pero que data del siglo V aproximadamente. En este último documento quedan reflejados todos los aportes del imperio romano.

Durante la Edad Media no se registran avances en ramas afines a la topografía, exceptuando a los árabes los cuales lograron avances en la Astronomía y la Geografía. A medida que fueron pasando los años las necesidades de comunicación, de vivienda, la expansión territorial, el crecimiento de la población mundial, el desarrollo de la agricultura y los grandes procesos bélicos tuvieron como consecuencia que la topografía sobrepasara su época primitiva y se haya convertido en una ciencia que requiere de gran exactitud. Nuevos descubrimientos científicos-técnicos y matemáticos se han ido incorporando posibilitando que haya evolucionado en cuanto a métodos e instrumentos.

La topografía (de topos, "lugar", y grafos, "descripción") es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales. Esta representación tiene lugar sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno, utilizando la denominación de geodesia para áreas mayores. Para esta representación se utiliza un sistema de coordenadas tridimensional, siendo los ejes X y la Y competencia de la

² Belete Fuentes Orlando. Topografía Félix Varela (2008).

planimetría, y el Z de la altimetría. Los mapas topográficos utilizan el sistema de representación de planos acotados, mostrando la elevación del terreno utilizando líneas que conectan los puntos con la misma cota respecto de un plano de referencia, denominadas curvas de nivel, en cuyo caso se dice que el mapa es hipsográfico. Dicho plano de referencia puede ser o no el nivel del mar, pero en caso de serlo se hablará de altitudes en lugar de cotas. (Domínguez, 1979; Fernández, A. et al 2008)

Planimetría: Es el conjunto de los trabajos efectuados para tomar en el campo los datos geométricos necesarios que permitan construir una figura semejante a la del terreno, proyectada sobre un plano horizontal.

Los levantamientos planimétricos se pueden ejecutar de varias maneras:

a) Con cinta exclusivamente.

b) Por medio de poligonales, determinado las longitudes de los lados y los ángulos que éstos forman entre sí;

c) Por triangulaciones, cubriendo la zona que se va a levantar, con redes de triángulos ligados entre sí. Por lo regular este método se emplea en el levantamiento de grandes extensiones de terreno, y se hace la medida directa de uno de sus lados que se denomina base, así como la de los ángulos de los triángulos.

Medida directa de distancias: En topografía, se entiende por distancia entre dos puntos la distancia horizontal. La medida directa de una distancia consiste en la aplicación material de la unidad de medida a lo largo de su extensión. El método más común de determinar distancias es con la medida directa por medio de la cinta.

El instrumento más usado para medir directamente son las Cintas de acero de 20, 30 o 50 metros de longitud, graduados en centímetros. Cinta de lona en la que se han entretejido alambres delgados de latón o de bronce para evitar que se alargue. Cinta de metal invar, de uso general para medidas muy precisas. El invar

es una aleación de acero y níquel a la que afectan poco los cambios de temperatura.

La tarea del topógrafo es previa y/o durante un proyecto: un arquitecto o un ingeniero proyectista debe contar con un buen levantamiento plani-altimétrico o tridimensional previo del terreno y con "hechos existentes" (elementos inmóviles y fijos al suelo) ya sea que la obra se construya en el ámbito rural o urbano. Realizado el proyecto con base en este levantamiento, el topógrafo se encarga del "replanteo" del mismo: ubica los límites de la obra, los ejes desde los cuales se miden los elementos (columnas, tabiques...); establece los niveles o la altura de referencia. Luego la obra avanza y en cualquier momento, el ingeniero jefe de obra puede solicitar un "estado de obra" (un levantamiento in situ para verificar si se está construyendo dentro de la precisión establecida por los pliegos de condiciones en planos) al topógrafo. La precisión de una obra varía: no es lo mismo una central nuclear que la ubicación del eje de un canal de riego, por ejemplo. (Benítez, 1985; Belete,2008).

La introducción de la Geodesia de precisión en Cuba, y con ella la topografía, comenzó en 1946, cuando -dirigidos por los Estados Unidos- se determinaron las coordenadas geográficas de varios puntos de la costa, entre ellos: San Antonio, la Habana, Nuevitas, Maisí y Cienfuegos.

Posterior al triunfo de la Revolución se creó un organismo para dar respuesta a los trabajos topo-geodésicos que se denominó Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC) y que en la actualidad es la empresa GEOCUBA, el cual está adscrito a las FAR y trabaja de acuerdo a las necesidades del desarrollo económico del país.

I.2 Relación de la Topografía con otras Disciplinas

La topografía posee un papel de gran importancia en todas las ramas de la ingeniería. En lo que respecta a la construcción le es indispensable al ingeniero, al arquitecto y al constructor que va a realizar el proyecto de una obra, poseer un plano topográfico detallado de la zona para representar en él el proyecto y poder replantear después el mismo.

El paso inicial para realizar cualquier obra de Ingeniería Civil es conocer la topografía del terreno sobre el cual va enclavada la obra, por tanto, tiene aplicaciones en movimientos de tierra, rellenos topográficos, proyectos de carreteras, ferrocarriles, puentes, túneles, acueductos y alcantarillados, obras portuarias, presas, riego y drenaje, urbanización, aeropuertos³, etc.

Por su gran aplicación en los trabajos de construcción merece que se le tenga muy en cuenta, ya que el éxito de un proyecto está íntimamente relacionado con la precisión obtenida en los trabajos topográficos.

Los métodos de la topografía se utilizan en la instalación de líneas de ensamble industrial y otros dispositivos de fabricación, para el armado y montaje de equipo y maquinaria de gran tamaño, para establecer el control de aerofotografía, y en muchas actividades relacionadas en la geología, la silvicultura, la arquitectura del paisaje y la arqueología, etc., pero particularmente en obras de ingeniería civiles y militares.

El alineamiento óptico es una aplicación de la topografía en trabajos de ingeniería mecánica y taller.

Las ciencias topográficas poseen gran variedad de aplicaciones:

- Levantamiento de terrenos en general, para localizar y marcar linderos, medida y división de superficies y ubicación de terrenos en planos generales.
- Localización, proyecto, trazo y construcción de vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc.
- La topografía de minas tiene por objeto fijar y controlar la posición de trabajos subterráneos y relacionarlos con las obras superficiales.
- Levantamientos catastrales hechos con el propósito de localizar límites de propiedad y valorar los inmuebles para la determinación del impuesto correspondiente.

³ Alberto Fernández (2008): Topografía

-Topografía urbana es la denominación que con frecuencia se da a las operaciones que se realizan para la disposición de lotes, construcción de calles, sistemas de abastecimiento de agua potable y sistemas de drenaje.

-La topografía hidrográfica estudia la configuración de océanos, lagos, ríos, etc., para suministros de navegación, suministros de agua o construcción subacuática.

-La topografía fotogramétrica es la aplicación a la topografía de la ciencia de las mediciones por medio de fotografías. Se usa para levantamientos topográficos generales, levantamientos preliminares de rutas, para fines militares y para levantamientos en áreas agrícolas⁴.

La Topografía tiene una gran relación con la Geodesia y la Cartografía. Pues si pretendiéramos levantar una pequeña zona, no existirá inconveniente de considerarla plana, pero si la zona del levantamiento es grande, por ejemplo, una nación o una parte considerable de ella, en la que por obligación hay que considerar la curvatura terrestre, se tiene que entrar en los dominios de la geodesia y la cartografía. También existe una significativa con las ciencias geográficas: geomorfología, geobotánica, hidrología, etc.; ya que la topografía le ofrece los resultados de sus investigaciones en forma de mapas topográficos y perfiles, además ella trabaja con los resultados de la ciencias geográficas, para satisfacer uno de los requisitos fundamentales de los mapas topográficos que es mantener en el mapa la correspondencia geográfica con la naturaleza.

El surgimiento de la fototopografía condicionó una estrecha relación entre la topografía y la fotogrametría, disciplina técnico-ingeniera que estudia los métodos de mediciones de diferentes objetos, incluyendo los topográficos, a partir de sus representaciones fotográficas.

Las reglas y procedimientos de la fotogrametría dan la posibilidad, parcial y no integral de sustituir las mediciones geodésicas en el terreno, que implican grandes trabajos, por las mediciones sobre fotografía aéreas, en condiciones de gabinete.

⁴ Belete Fuentes Orlando. Topografía Félix Varela (2008).

Las mediciones geométricas necesarias para realizar mapas topográficos se llevan a cabo con equipos e instrumentos de medición, por lo general de gran precisión. Por ello es evidente la relación que existe entre la topografía y el estudio de los instrumentos geodésicos que, a su vez se basan en las leyes de la mecánica, la óptica y la radio electrónica.

La elaboración de los resultados de las mediciones tanto en el terreno como en el mapa, requiere del conocimiento de la geometría y la trigonometría, por esta causa el italiano Porro, fundador de la taquimetría y creador de la casa constructora de instrumentos topográficos "La Filotécnica", de Milán, designaba a la topografía con el nombre de "Geometría Aplicada".

Por último debe señalarse que cada vez se vuelve más significativa la relación entre la topografía, la electrónica, la cibernética y la computación. Esto se debe lógicamente, al deseo de automatizar, tanto los procesos de levantamientos, como la confección de mapas topográficos, así como la obtención de información a partir de los mapas ya terminados.

I.3 Superficies de referencia

La Geodesia es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la tierra y su campo gravitacional exterior, o sea, conocer la posición relativa de los puntos que nos converjan, cualesquiera que ellos sean.

Para conseguir los objetivos anteriormente expuestos, se distribuyen sobre la superficie objetos de estudio, puntos convencionalmente situados, denominándose los mismos puntos de control geodésicos, a partir de los cuales, se deduce la forma y dimensiones de un territorio y de todo el globo terráqueo.

Para situar estos puntos del control geodésico es necesario referenciarlos a una superficie de referencia que podrá ser real o arbitraria.

Dicha superficie de referencia se obtiene prolongando el Nivel Medio del Mar (NMM) por debajo de los continentes, y así obtendríamos una superficie de referencia con el mismo potencial en todos sus puntos, que se denomina **Geoide**, de forma irregular e imposible de representar matemáticamente. Este Geoide de

forma irregular y desconocida se adapta aproximadamente a un elipsoide de revolución, achatado por los polos o esferoide. Como el geoide es desconocido, no se puede aceptarlo como superficie de referencia, y es por eso que lo que se ha hecho es adoptar una superficie de referencia, y esta suele ser el esferoide.

Figura 1

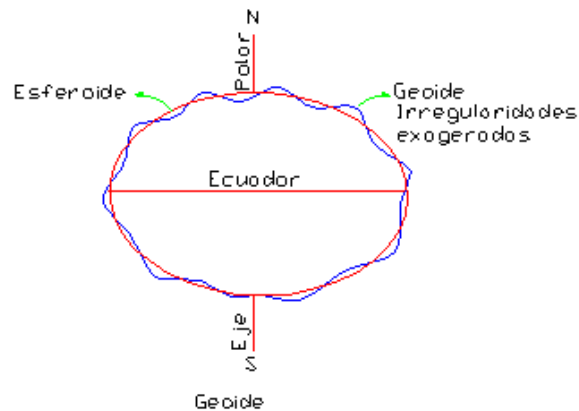


Fig. 1 El Geoide

I.3.1 El esferoide o elipsoide de referencia

Las medidas topográficas horizontales para el control fundamental se reducen siempre a sus equivalentes sobre el Geoide. Los ángulos horizontales se miden automáticamente en un plano horizontal; las medidas de longitudes inclinadas se reducen a sus equivalentes horizontales; y las efectuadas a grandes alturas (alturas) se reducen a sus equivalentes al nivel medio del mar.

Según Dominguez (1979), resulta imposible calcular un cierre topográfico o establecer un sistema coordinado sobre una superficie irregular como el Geoide, ha de elegirse una superficie matemática de modo que represente aproximadamente la verdadera forma de la Tierra, con un error despreciable, que las medidas sean hechas sobre esta superficie.

Puede utilizarse un plano en el levantamiento de una pequeña superficie, pero para un levantamiento amplio debe utilizarse una superficie que se aproxime más al Geoide.

Esta figura es generada por una elipse que gira sobre un eje menor, que coincide con el eje de la tierra. Han sido sugeridos y utilizados numerosos esferoides. En Cuba se utiliza el esferoide de Clarke de 1866 como superficie de referencia. Las dimensiones de este elipsoide son (Rodríguez, 1983; Benítez, 1985; Belete ,2008):

Semieje ecuatorial = 6378206,4 m

Semieje polar = 6356538,8 m

En el esferoide, como superficie de revolución, se denominan meridianos a las secciones producidas en ella por cualquier plano que contenga al eje de revolución. En los esferoides todos los meridianos será elipses aplastadas iguales entre si, o mejor dicho semielipses, por no considerar sino la mitad de la misma que contiene el punto que se considera y limitada por el eje menor, y se denominan paralelos a las circunferencias producidas por la intersección del esferoide con planos perpendiculares a su eje; evidentemente el centro del círculo de cada paralelo será la interacción de su plano con el eje de revolución. Al paralelo mayor, que contiene el centro del esferoide, se le denomina ecuador, los extremos del eje menor constituyen los polos Norte (N) y Sur (S). Figura 2.

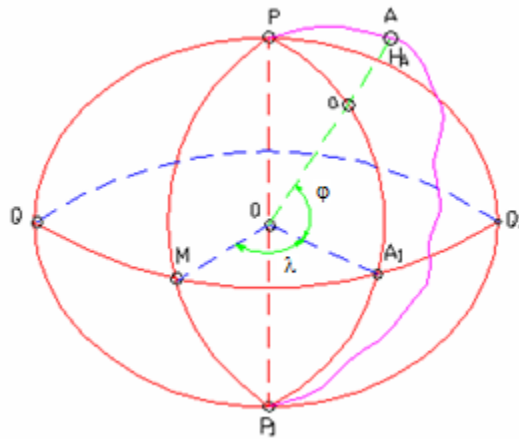


Figura 2. Representación del Elipsoide de referencia.

Varios autores (Benítez, 1985; Belete,2008; Da Silva & Lima 2015) esclarecen que no podemos confundir Geoide con Esferoide; el primero es una superficie física y real, mientras el segundo es una superficie arbitraria que sirve de fundamento para

el cálculo de la situación de los puntos geodésicos y para determinar con respecto a ella la configuración del Geoide.

I.4 Sistemas de coordenadas

I.4.1 Coordenadas geográficas

La posición de los puntos en la superficie terrestre se caracterizan por la distancia de los puntos buscados con respecto a los planos de partida y a las líneas que determinan el sistema de coordenada. Una de la coordenada es la altura absoluta (H_a), que muestra la separación del punto dado en la tierra de su proyección horizontal en una superficie de nivel.

Cordova (1985) al analizar el sistema de coordenadas que determina la posición de la proyección en el elipsoide, plantea que el sistema único de coordenada geográfica aceptado para todo el globo terráqueo es el de coordenadas geográficas.

Por otro lado (Benítez, 1985; Belete,2008) supone que la superficie de nivel de la tierra tenga forma de elipsoide (ver figura 2) y las normales a ella coincidan con la línea de la plomada. Tomemos en la superficie de la tierra un punto A y trazamos a través de él un plano PAP_1 , el cual intercepte al ecuador QQ_1 , en el punto A_1 . Trazamos la normal a la superficie del elipsoide en el punto A. La posición de la proyección horizontal a del punto A en el meridiano PAP_1 se determina por el ángulo φ entre la normal Aa y el plano QQ_1 , el cual se llama, latitud geográfica del punto A. La posición del meridiano del punto A se determina por el ángulo λ , que se forma entre el plano del meridiano que pasa por el punto dado y el plano del meridiano inicial (meridiano cero) PMP_1 . Este ángulo se llama longitud geográfica del punto A.

La latitud geográfica (φ) se mide a ambos lados del ecuador hacia los polos y varía de 0 hasta 90°. La latitud puede ser Norte o Sur según el punto se encuentre al Norte o al Sur del ecuador. Las longitudes geográficas se miden a ambos lados del meridiano cero y pueden ser Este u Oeste según se midan hacia la izquierda o hacia la derecha del meridiano inicial y su valor varía de 0° hasta 180°. Como inicial se toma el meridiano que pasa por el observatorio inglés llamado Greenwich y el se

llama meridiano de Greenwich. La latitud (φ), longitud (λ) y la altura absoluta (H_a) (según Figura 2) determinan la posición del punto en la superficie terrestre.

Cuando se explicaba por Cordova (1985) el sistema de coordenada geográfica se suponía que la normal a la superficie del elipsoide coincidía con la línea de la plomada, que como anteriormente se estudia coincide con la dirección de la fuerza de gravedad. En realidad no existe tal coincidencia como promedio para toda la tierra la diferencia en las direcciones de la línea de la plomadas y la normal es de 3 - 4", alcanzando en algunas regiones hasta decenas de segundo.

Las coordenadas geográficas que están relacionadas a la normal de la superficie del elipsoide se llaman geodésicas, ya que se obtiene de los cálculos geodésicos. Las coordenadas que se relacionan a la línea de la plomada se llaman astronómicas, por eso se calculan en base a las observaciones astronómicas. La diferencia angular entre las posiciones astronómicas y las posiciones geodésicas de un punto recibe el nombre de desviación de la vertical o desviación de la plomada, aproximadamente igual a la diferencia en dirección entre la normal del geoide y la normal al esferoide. La diferencia entre las coordenadas geográficas y astronómicas es de 3 - 4", expresada en forma lineal está en el orden de los 100m (a un 1" le corresponde aproximadamente 31m). Esto debe tenerse en cuenta cuando se van a utilizar las coordenadas geográficas de los puntos determinada por el método astronómico.

Bombino et al 1989, refiere que a pesar de las grandes ventajas del sistema de coordenadas geográficas ella no es cómoda para la utilización práctica en particular en los trabajos ingeniero - geodésicos. Las coordenadas geográficas se expresan en unidades angulares ya que los valores lineales de estas unidades en diferente parte del elipsoide terrestre son diferentes. Además los cálculos de las coordenadas se dificultan por el volumen de trabajo y la resolución, incluyendo las tareas simples que son muy difíciles.

De acuerdo con (Benítez, 1985; Belete, 2008; Da Silva & Lima 2015), el sistema más cómodo es el de coordenadas planas rectangulares, sin embargo, en este caso hay que previamente proyectar los puntos de la superficie del elipsoide terrestre en un plano determinado y luego en él se construye el sistema de

coordenada plana rectangular, esto se logra por medio de las proyecciones cartográficas.

I.4.2 Coordenadas planas rectangulares

Un punto queda determinado en un plano, por sus coordenadas rectangulares X , Y . El eje de las Y se considera como eje principal, el cual es perpendicular al eje de las X . Se le da a las coordenadas los signos $\pm Y$ y $\pm X$, para indicar el sentido de los ejes en que ellas se miden. Por ejemplo (véase Fig. 1.3), las coordenadas del punto P son $(+X +Y)$, las de P' $(+X -Y)$, las de P'' $(-X -Y)$ y las de P''' $(-X+Y)$.

En Topografía se supone fijo un sistema de ejes coordenados, de modo que las Y positivas están dirigidas hacia el Norte, y las X positivas hacia el Este, como se observa en la Figura 3. (Benítez, 1985; Belete, 2008).

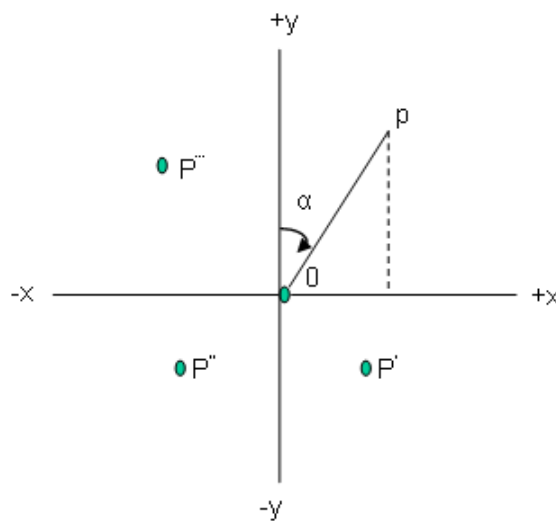


Figura 3. Sistema de coordenadas planas rectangulares.

La dirección de un radio vector OP , que sale del origen de coordenadas está determinado por el ángulo α que se forma con la dirección positiva del eje de las Y , es decir, contando de $+Y$ a $+X$, suponiendo que OP coincide primero con OY y que después gira alrededor de O , hacia OX , o sea de izquierda a derecha. A este ángulo se le llama acimut.

Según Belete (2008) este sistema difiere del habitual en trigonometría por la manera de computar los arcos, cuyo origen, en el sistema de coordenadas trigonométricas, está en el eje positivo de las X y crecen en sentido opuesto a las agujas del reloj, mientras que en topografía comienzan en el eje positivo de las YY y aumentan en dirección opuesta a la anterior. Además los cuadrantes en trigonometría se numeran en sentido contrario a las agujas del reloj y en topografía en el sentido de las agujas del reloj, contando en los dos casos desde el superior derecho como primer cuadrante, los otros serán el segundo, tercer y cuarto respectivamente.

En Topografía siempre se trabaja en el primer cuadrante, para evitar las coordenadas negativas, esto se logra situando el origen de coordenadas al Suroeste de la porción de la tierra que nos interesa.

I.5 Teoría de errores

El término error de acuerdo con Fernández, A. et al (2008) debe diferenciarse del término equivocaciones cuando estamos trabajando en topografía. Las equivocaciones llamadas también errores groseros pueden evitarse si se trabaja con cuidado, sin embargo, los errores como dependen de causas ajenas a la pericia del observador, son inevitables.

Las equivocaciones son grandes en comparación con la magnitud que se mide, mientras que los errores son prácticamente muy pequeños.

Cuando se mide una línea con cinta, si nos equivocamos en el conteo del número de la cintada, podemos decir que nos hemos equivocado, sin embargo si no se aprecia la fracción de metro, decímetro o centímetro en la última cintada, se ha cometido un error.

I.5.1 Errores sistemáticos y errores accidentales

Se llama errores sistemáticos al error que se produce debido a una causa determinada que obliga a cometerlo siempre según una ley fija. Se conocen en magnitud y signo y pueden ser eliminados conociendo la ley por el cual se rigen.

Los errores accidentales pueden ser personales, instrumentales y naturales.

La primera es motivada por la imperfección o ajuste defectuoso de los instrumentos de medición. Las limitaciones de los sentidos del hombre, tacto y vista originan los llamados errores personales, y los naturales se producen por circunstancias externas, tales como la temperatura, humedad, etc.

I.5.2 Cálculo del error medio cuadrático

El error medio cuadrático es el valor más probable de una medición aislada y se expresa por la siguiente fórmula (Benítez, 1985; Jiménez & León, 2012):

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{n-1}} \quad (1)$$

Donde r- son los errores aparentes y n- número de mediciones.

I.6 Tareas topográficas

Existen en la práctica topográfica dos tareas que se nos pueden presentar, la directa y la inversa.

I.6.1 Tarea topográfica directa

En esta tarea (Belete,2008) se conocen las coordenadas del primer punto X_1 e Y_1 , la distancia horizontal entre el primero y el segundo punto (d) y el acimut plano o topográfico α_{1-2} de la línea 1-2 y es necesario calcular las coordenadas del punto 2, es decir, X_2 y Y_2 . Figura 4.

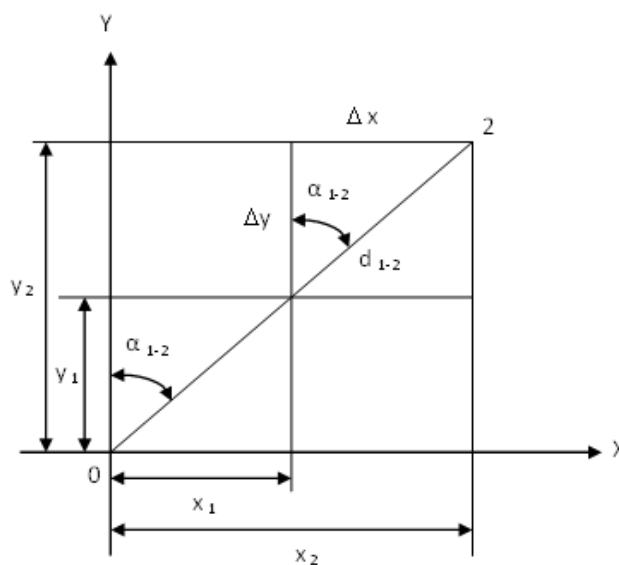


Figura 4. Tarea topográfica directa.

Proyectamos los puntos 1 y 2 en los ejes coordenados (véase fig. 1.4). La proyección de la distancia d sobre el eje X es igual a:

$$\Delta X = X_2 - X_1, \quad (2)$$

y en el eje Y

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1 \quad (3)$$

Del triángulo 1 a 2 tenemos que:

$$\Delta X = d \operatorname{sen} \alpha_{1-2} \quad (4)$$

$$\Delta Y = d \operatorname{cos} \alpha_{1-2} \quad (5)$$

y las coordenadas del punto 2 serán:

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{1-2} \quad (6)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{1-2} \quad (7)$$

En dependencia del valor del acimut topográfico el incremento de coordenada puede tener diferente signo. El signo del incremento se determina del signo de la función trigonométrica (sen o cos) de acuerdo al cuadrante a que se encuentre. En la tabla 1 se muestra la dependencia entre el acimut topográfico y el signo del incremento de coordenada.

Tabla 1. Acimut según su cuadrante.

Incremento de coordenadas	Acimut			
	0 – 90° I cuadrante	90° – 180° II cuadrante	180° – 270° III cuadrante	270° – 360° IV Cuadrante
Δx	+	+	-	-
Δy	+	-	-	+

I.6.2 Tarea topográfica inversa

En este caso se conocen las coordenadas de los puntos 1 y 2, es decir, X_1 , X_2 y Y_1 , Y_2 y se desea determinar el acimut topográfico α_{1-2} de la línea 1 - 2 y la distancia horizontal (d) entre ellos.

El signo de los incrementos de coordenadas se calcula fácilmente de las coordenadas de los puntos 1 y 2:

Conociendo los incrementos de coordenadas $\Delta X = X_2 - X_1$ y $\Delta Y = Y_2 - Y_1$ se puede calcular la tangente del ángulo α_{1-2} .

$$\operatorname{tg} \alpha_{1-2} = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} \quad (8)$$

por tanto

$$\alpha_{1-2} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (9)$$

El valor angular obtenido de la tangente de la tabla de funciones trigonométricas naturales es el ángulo r_{1-2} , para calcular el valor del acimut plano o topográfico es necesario saber los signos de los incrementos de coordenadas, es decir, saber el signo de las funciones trigonométricas (seno y coseno), por ejemplo si ΔX tiene el signo menos y ΔY el signo más. Por tanto, evidentemente $\operatorname{sen} \alpha_{1-2}$ es negativo y el $\operatorname{cos} \alpha_{1-2}$ es positivo, por consiguiente, la dirección se ubica en el IV cuadrante, y el acimut topográfico se calcula por la fórmula $\alpha_{1-2} = 360^\circ - r_{1-2}$ (vease la tabla 1.2).

Luego de determinar el valor de $\operatorname{sen} \alpha_{1-2}$ y el $\operatorname{cos} \alpha_{1-2}$ pasamos a determinar la distancia horizontal (d) entre los dos puntos por la siguiente fórmula de la matemática descriptiva.

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (10)$$

Belete (2008) afirma, que en Topografía siempre se trabaja en el primer cuadrante topográfico, es decir, que las coordenadas planas rectangulares X e Y de todos los puntos siempre serán positivos y además para determinar los signos (\pm) en los incrementos de coordenadas nos apoyamos en los cuadrantes trigonométricos,

enumerando los cuadrantes trigonométricos igual que los topográficos y también se hace coincidir el eje Norte - Sur con el eje de la Y.

I.7 División operacional de la Topografía

La Topografía general tiene dos ramas principales:

- **Planimetría:** Esta se ocupa de todas las operaciones de medición que permiten representar sobre el papel la posición relativa de los puntos, las líneas y objetos del terreno, considerándolos proyectados en un plano horizontal. En los trabajos planimétricos se realiza la medición de ángulos y distancias entre los puntos para determinar sus coordenadas X y Y.
- **Altimetría:** Es la parte de la topografía encargada de encontrar los desniveles que existan entre los diferentes puntos de una red, encontrando su elevación con respecto a una superficie de referencia. Debe cumplirse la condición de que esta superficie de referencia se encuentre por debajo del resto de los puntos, a la altura de los puntos con respecto a la superficie se le denominan cotas. Sin embargo, internacionalmente y con el objetivo de poder relacionar entre si trabajos diferentes se ha decidido tomar como referencia una misma superficie, la cual esta descrita por la superficie media de los mares en calma y se le asigna la cota cero.
- **Altiplanimetría:** combinación de las anteriores, se realizan trabajos planimétricos y altimétricos y se fusionan ambos obteniendo las coordenadas en los tres planos, X, Y, Z.

I.8 Poligonación

El método de Poligonación consiste en la realización de mediciones angulares y lineales para obtener la posición planimétrica (X, Y) de los puntos. Una poligonal es una línea quebrada, constituida por vértices (estaciones de la poligonal) y lados que unen dichos vértices. Los vértices adyacentes deben ser intervisibles. El levantamiento de la poligonal comprende la medición de los ángulos que forman las direcciones de los lados adyacentes (o los rumbos de estos lados) y las distancias entre los vértices.

La mayoría de los autores (Benítez, 1985; Belete, 2008; Jiménez & León, 2012) coincide en clasificar las poligonales en función de su cierre, en cerradas y abiertas. En el caso de las cerradas, si las coordenadas de salida y llegada son conocidas, entonces puede ser de rodeo o de ida y vuelta y cuando el cierre se realiza en puntos diferentes con sus respectivas orientaciones, la poligonal es de enlace.

Por otro lado Fernández et al (2008) no recomiendan el uso de las poligonales abiertas o colgantes por carecer de un control efectivo. En nuestra investigación utilizaremos una poligonal de rodeo.

Una poligonal cerrada tiene controles angulares y lineales y por lo tanto los errores de las mediciones pueden corregirse o compensarse. En cambio, si las coordenadas del primer y último vértice son desconocidas, la poligonal no se puede controlar ni compensar. Si se conocen las coordenadas solamente del primer vértice de una poligonal abierta, se dice que la poligonal está vinculada, pero no ofrece controles.

También se denominan poligonales de circuito cerrado, cuando la poligonal es cerrada y forma un polígono, mientras que a las poligonales abiertas con los extremos conocidos se las llama poligonal de línea cerrada.

I.8.1 Selección de las estaciones

Las estaciones de la poligonal se seleccionan de acuerdo a los objetivos del trabajo. Los vértices de la poligonal servirán de estaciones de apoyo en el relleno. De acuerdo a los puntos que se desean relevar, se elegirán los vértices de la poligonal.

Las estaciones adyacentes de la poligonal deben ser visibles entre sí. La distancia que separa las estaciones estará de acuerdo con el método y el instrumento que se utilice para medir la distancia. Las estaciones deben ubicarse en lugares que no estén expuestos a inundación, erosión, desplazamientos, o cualquier otro accidente que destruya la marca del punto.

A menudo se realizan mediciones de ángulos y distancias a puntos cercanos permanentes, para replantear la posición de la estación en el caso de que se destruya. A esta operación se le denomina balizamiento. A la vez que se seleccionan los puntos estación se realiza un croquis que servirá para la planificación de las tareas posteriores.

La marcación consiste en establecer marcas permanentes o semi-permanentes en las estaciones, mediante estacas de madera o hierro. Mediante la señalización se colocan jalones o banderolas en las estaciones para que sean visibles desde las estaciones adyacentes.

I.8.2 Medición de los lados

Los lados de una poligonal se miden con instrumentos MED (Medición Electrónica de Distancias) o con cintas de acero. Para trabajos expeditivos las distancias pueden obtenerse con taquímetro y mira vertical, con hilo o a pasos. Se miden al menos dos veces cada lado, con el objeto de tener un control y se obtiene la media de las dos lecturas.

I.8.3 Medición de los ángulos

Para medir los ángulos de una poligonal se procede a estacionar en cada uno de los vértices, siguiendo un sentido de giro predeterminado: en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido contrario. Se puede medir el rumbo o acimut del primer lado para que la poligonal quede orientada. Se procederá a medir los ángulos internos o externos. Los ángulos se miden aplicando la regla de Bessel, bisecando siempre la señal lo más cerca posible de la superficie del terreno. Cada vez que se realice una medición se va anotando los resultados en un registro de campo.

I.8.4 Ajuste y cálculo de la poligonal

1-Error de cierre angular:

Cuando se miden los ángulos internos de una poligonal cerrada es posible efectuar un control de cierre angular, dado que la suma de los ángulos interiores

de un polígono es igual a $180^\circ \times (n - 2)$, siendo n el número de vértices del polígono.

El error de cierre angular es igual a la diferencia de $180 (n - 2)$ menos la sumatoria de los ángulos interiores.

$$e = 180^\circ (n-2) - \text{Saint} \quad (11)$$

El error de cierre angular debe ser menor o igual que la tolerancia. Por tolerancia se entiende el mayor error permitido (e máx.). La tolerancia depende de los instrumentos que se utilizan y los métodos de levantamiento que se aplican. Si se trata de levantamientos poco precisos: $e \text{ máx.} = a \cdot n$; en donde a es la aproximación del instrumento de medida y n la cantidad de medidas.

Si en lugar de medir los ángulos internos se miden los ángulos externos, la suma debe ser igual a $180^\circ \times (n + 2)$.

Este control se realiza en el campo, de tal manera que si el error es mayor que la tolerancia (error grosero) puede realizarse la medición nuevamente, hasta obtener un error de cierre menor que la tolerancia.

Una vez obtenido el error de cierre angular menor o igual que la tolerancia se procede a compensar los ángulos. Una forma de compensar los ángulos es por partes iguales. Para obtener la corrección angular c , se divide el error por el número de vértices:

$$C = e/n \quad (12)$$

Obtenida la corrección, se suma o se resta de acuerdo al signo del error, a cada uno de los ángulos:

Ángulo observado + c

Otra forma de compensar es sumando el error de cierre angular directamente a un ángulo cuya medición haya sido difícil en el terreno.

2- Calculo de los Azimut:

Una vez ajustada la poligonal se procede a calcular los azimutes de las líneas del polígono, para ello es necesario conocer el acimut de la alineación anterior.

Tabla 2 Conversión de azimut a rumbo y viceversa.

Cuadrante	Azimut(Az)	Rumbo(R)
I	$Az=R$	$R=Az$
II	$Az=180^{\circ}-R$	$R=180^{\circ}-Az$
III	$Az=180^{\circ}+R$	$R=Az - 180^{\circ}$
IV	$Az=360^{\circ}-R$	$R=360^{\circ}-Az$

I.8.6 Calculo de los senos y cosenos

Una vez obtenidos los rumbos de las alineaciones podemos proceder a calcular los incrementos de las coordenadas X Y en el plano, para así finalmente determinar sus coordenadas rectangulares definitivas. Los incrementos los determinamos por las formulas:

$$\Delta X = \pm D * \text{sen}R \quad (14)$$

$$\Delta Y = \pm D * \text{cos}R \quad (15)$$

Donde:

ΔX : incremento en las coordenadas X.

ΔY : incremento en las coordenadas Y.

D : longitud de la alineación (distancia entre dos vértices consecutivos del polígono)

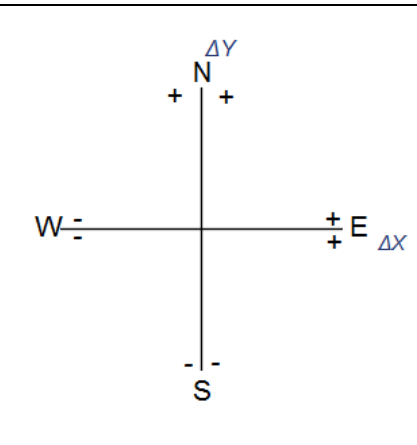
$\text{sen}R$: seno trigonométrico del rumbo de la línea correspondiente.

El signo del incremento lo determina el sentido del rumbo, siendo ΔY positivo si el Rumbo está en el primer o cuarto cuadrante, o sea si nace en el Norte, por lo contrario, si el Rumbo nace en el Sur y pertenece al segundo o tercer cuadrante el incremento ΔY es negativo.

En el caso de ΔX este es positivo si pertenece a los cuadrantes uno o dos, teniendo sentidos NE o SE respectivamente, y tiene signo negativo si posee sentido SW o NW encontrándose en los cuadrantes tres o cuatro. Tabla 3.

Tabla 3. Signos de rumbos e incrementos.

Rumbo	ΔX	ΔY
NE	+	+
NW	-	+
SW	-	-
SE	+	-



I.8.7 Determinación de las coordenadas

Como objetivo principal de toda poligonación tenemos determinar las coordenadas de los puntos o vértices del polígono, lo cual es muy sencillo una vez calculados los incrementos. Las coordenadas de los diferentes puntos se obtienen sumando algebraicamente a la coordenada de un punto el incremento correspondiente a su punto sucesor.

I.9 Nivelación

La nivelación es el procedimiento que tiene por objetivo la determinación del desnivel entre dos o más puntos del terreno. Si se conoce el desnivel entre dos puntos y la altura de uno de ellos puede entonces determinarse la del otro tal como se muestra en la Figura 6.

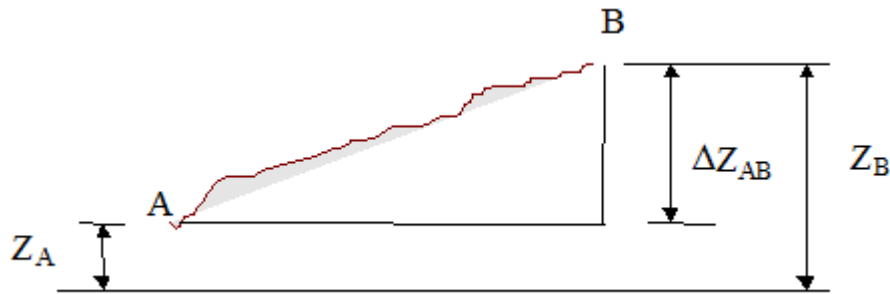


Figura 6. Esquema de una nivelación

La altura o cota del punto B será:

$$Z_B = Z_A + (\Delta Z_{AB}) \quad (16)$$

I.9.1 Métodos generales de nivelación

- Nivelación Geométrica.
- Nivelación Trigonométrica.
- Nivelación Barométrica.
- Nivelación Hidrostática.
- Nivelación por medio de S.A.T.

Nivelación Geométrica.

Es el método más preciso de nivelación y el empleado en los trabajos de creación de la Red Geodésica Vertical y múltiples trabajos de ingeniería, aunque resulta el más lento, en especial en zonas de relieve accidentado. Se fundamenta en dirigir visuales horizontales a reglas verticales colocadas en los puntos del terreno. Los instrumentos fundamentales son el nivel y las miras.

Nivelación Hidrostática.

Considerada por muchos tan precisa con la Nivelación Geométrica es sin dudas la menos empleada en nuestro país, se aplica fundamentalmente para la determinación de desniveles en locales con gran cantidad de obstáculos. Se fundamenta en el principio de los vasos comunicantes.

Nivelación Trigonométrica.

Menos precisa que las anteriores es sin embargo mucho más rápida y es muy empleada en la determinación de desniveles en los trabajos de relleno topográfico y en los trabajos de ingeniería donde no se requieren valores muy precisos. Se emplea el teodolito y señales de altura conocida sobre los puntos del terreno.

Nivelación Barométrica.

Es el método menos preciso aunque resulta el más rápido y económico, se emplea en los trabajos de reconocimiento en zonas montañosas donde se requieran valores aproximados del desnivel. Se fundamenta en la disminución de la presión atmosférica con la altura y se emplean barómetros aneroides.

Nivelación por medio de S.A.T.

Conocido como nivelación mediante GPS, es el más novedoso método de nivelación y se abre paso de forma vertiginosa (García, 2004) debido a la rapidez con que puede trabajarse debido a que no se requiere visibilidad entre los puntos. Se fundamenta en el posicionamiento de un punto sobre el terreno a partir de tres o más satélites de posición conocida en el espacio⁵.

I.9.2 Nivelación geométrica

La nivelación geométrica se divide en dos: nivelación simple y nivelación compuesta

I.9.2.1 Nivelación simple

Cuando los puntos cuyo desnivel se pretende hallar, están lo suficientemente cerca uno de otro, de tal forma que con una sola puesta de instrumento podemos dirigir visuales con el nivel a miras colocadas sobre dichos puntos (ver Figura 7).

⁵ Belete Fuentes Orlando. Topografía Félix Varela (2008).

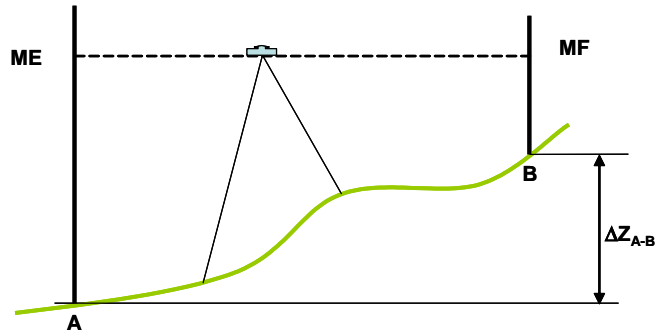


Figura 7. Nivelación simple.

I.9.2.2 Nivelación compuesta

Cuando los puntos cuyo desnivel se pretende hallar, están lo suficientemente distantes, tal que con una sola puesta de instrumento no podemos resolver nuestros problemas, estamos en el caso de la nivelación compuesta. Figura 8.

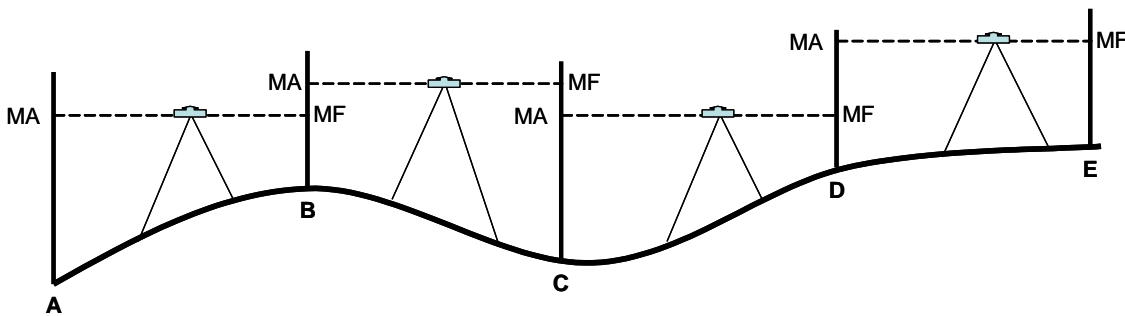


Figura 8. Nivelación compuesta.

De la figura anterior se puede plantear (Belete, 2008):

$$\Delta Z(A - B) = l_A - l'_B$$

$$\Delta Z(B - C) = l_B - l'_C$$

$$\Delta Z(C - D) = l_C - l'_D$$

$$\Delta Z(D - E) = l_D - l'_E$$

Sumando las nivelaciones simples anteriores se tiene:

$$\sum_{AB}^{DE} \Delta Z = \sum_A^D l - \sum_B^E l' \quad (17)$$

O lo que es lo mismo:

$$\sum_{AB}^{DE} \Delta Z = MA - \sum_B^E MF \quad (18)$$

Los puntos sobre los cuales se realizan una mira de frente y otra mira de espalda desde dos posiciones consecutivas del nivel, recibe el nombre de puntos de cambio y son el punto de unión de dos nivelaciones simples, por lo que requieren para su elección toda una serie de requisitos encaminados a garantizar el éxito de la nivelación.

Estos puntos deben ser situados en lugares firmes del terreno y limpios de vegetación, es norma usual utilizar sobre los puntos de cambio unos instrumentos denominados sapos o pines, que garantizan el no asentamiento del punto.

I.10 Instrumentos utilizados en la Topografía

Teodolito: es un instrumento ya sea mecánico o electrónico que se usa para medir los ángulos en los planos de un terreno por medio del uso de un lente de aumento y un sistema de conteo angular.

Nivel fijo: es un instrumento óptico cuya finalidad más importante es la determinación de desniveles de diferentes puntos en un terreno por medio de cotas y con la ayuda de un “estadal”.

Brújula topográfica: es un instrumento que cuenta con una aguja con punta imantada para ubicar los puntos cardinales. Su uso más común en la topografía es la ubicación del norte verdadero y con ello tener la información para los cálculos de “rumbo” y “azimut” de un terreno a medir.

Trípode: es un apoyo utilizado usualmente para la colocación y nivelación de los instrumentos mencionados anteriormente. Como su nombre lo dice tiene tres pies que se pueden manipular de acuerdo a la necesidad para tener a nivel los instrumentos mencionados anteriormente cuando estos se encuentren en terrenos a desnivel.

Baliza: es un accesorio, sea de plástico o madera que sirve para facilitar la ubicación de un punto en la medición de ángulos, o donde sea requerido. Son

usualmente de un color resaltante para ayudar al topógrafo a distinguirla a través del teodolito, ej. Jalón.

Nivel de mano: es un instrumento con la apariencia de un pequeño cilindro que sirve para nivelar distintos objetos o bien determinar alguna desnivelación a través del método óptico.

Mira: es un accesorio con la apariencia de una regla de medición. Puede estar hecha de madera o de aluminio en el caso de las más modernas. Tienen dos caras, una con conteo de centímetros para mediciones más precisas y otra con conteo de decímetros para que logren ser vistas a distancias mucho más lejanas. Son usadas junto con el nivel para el cálculo de desniveles en los terrenos.

Plomada: accesorio generalmente hecho de bronce pero que puede ser de cualquier otro material metálico (cobre, aleaciones de aluminio y latón cromado, plomo y bismuto) con un peso que varía entre los 225 y los 500gr y sirve para alinear el instrumento con un punto en el plano horizontal. Tradicionalmente se construían con una cuerda y una pesa de plomo (lo que le da nombre). Actualmente los equipos más modernos incorporan tecnología láser.

Distanciómetro: dispositivo electrónico para medición de distancias, funciona emitiendo un haz luminoso ya sea infrarrojo o laser, este rebota en un prisma o directamente sobre la superficie, y dependiendo del tiempo que el haz tarda en recorrer la distancia es como determina esta. El alcance de estos equipos puede ser de hasta 5000m.

Estación Total: es la integración de un teodolito electrónico con un distanciómetro, de tal forma que puede medir ángulos y distancias simultáneamente. La distancia horizontal, la diferencia de alturas y las coordenadas se calculan automáticamente. Todas las mediciones e información adicional se pueden grabar en memorias flash.

Cinta Métrica: también conocida como flexómetro, es un instrumento que sirve para medir longitudes ya sea en líneas o superficies curvas. Consiste en una cinta flexible graduada que se puede enrollar así como el transporte sea más fácil. Estas se construyen de distintos materiales y de diversos pesos y longitudes.

I.11 Aporte de la Topografía a la formación del profesional

La disciplina Topografía constituye una de las bases fundamentales para la formación del Ingeniero Civil, brindando los conocimientos teóricos y prácticos básicos necesarios para obtener la información del terreno sobre la cual se proyectan las obras civiles, y para su replanteo⁶.

A través de esta disciplina el estudiante adquiere uno de los primeros oficios básicos de su profesión y logra habilidades prácticas que le permiten incorporarse activamente al proyecto de obras a través de una función técnica específica.

El papel de esta disciplina en el plan de estudios consiste en brindar los conocimientos y habilidades necesarias para que un ingeniero civil pueda dirigir, organizar y controlar los trabajos de levantamiento y replanteo topográfico que se requieran para una obra civil de poca complejidad en condiciones topográficas favorables, según sus características técnicas, así como su formación en la interpretación y control de calidad de planos topográficos en formato analógico y digital. (Colectivo de autores, 2007).

El manejo de los instrumentos de medición del terreno, la habilidad para llevar esta información a croquis y planos así como la capacidad de interpretación de estos planos para la ejecución de trabajos de replanteo o de control de ejecución de las obras, constituyen la base topográfica del ingeniero civil. Al concluir la disciplina el estudiante habrá vencido el núcleo teórico práctico fundamental de la Topografía, y esto le permite integrar en los proyectos de años posteriores los conocimientos necesarios para la interacción del terreno con la obra proyectada. Por eso aunque se imparte en segundo año, debe lograrse que en los proyectos de la Disciplina Integradora existan actividades que permitan consolidar las habilidades alcanzadas. Tabla 4.

⁶ Belete Fuentes Orlando. Topografía Félix Varela (2008).

Tabla 4. Datos principales del programa de la Disciplina⁷

ASIGNATURAS DEL CURRÍCULO ESTATAL QUE INTEGRAN LA DISCIPLINA								
Asignatura	Fondo de Tiempo (horas)			Año	Sem.		EF	
	A/C	CL	T		I	II	Si	No
CURRÍCULO BASE								
Topografía I	42	18	60	2do	X			X
Topografía II	40	10	50	2do		X	X	
Total	82	28	110					

(A/C): Aulas/Clase **(CL):** Componente Laboral **(T):** Horas Totales
(EF): Examen Final

I.11.1 Objetivos educativos

1. Expresar en su actividad profesional los valores éticos y estéticos en correspondencia con nuestro proyecto social dirigidos hacia el desarrollo sostenible de las construcciones, sobre la base del respeto al entorno natural y al patrimonio construido.
2. Conocer la historia social y técnica de la profesión en el ámbito nacional e internacional para profundizar en la comprensión del objeto de su trabajo y el modo de actuación profesional, así como la responsabilidad social e individual en la asimilación, conservación y creación de una cultura de la profesión, profundizando en los conceptos de la ingeniería en general y de la ingeniería civil contemporánea en particular.
3. Desarrollar el amor a la profesión como actividad socioeconómica dedicada

⁷ Colectivo de autores: Modelo del profesional. Documento Rector para los Estudios de Ingeniería Civil en Cuba (Plan D). La Habana.2007.

fundamentalmente a la producción y conservación de las construcciones para el uso y beneficio del hombre, incentivando en los estudiantes capacidades para el trabajo independiente, una permanente auto superación, responsabilidad profesional, inquietudes investigativas, así como la originalidad y el ingenio creativo.

4. Comunicarse correctamente en forma oral y escrita en su lengua materna con el dominio del vocabulario técnico de la profesión, siendo capaces de buscar y consultar información científico técnica en idioma español e inglés así como emplear la computación y las TIC para el desarrollo de su actividad profesional y como medio de comunicación. Desarrollar un pensamiento lógicamente estructurado que le permita exponer y defender sus criterios.
5. Contribuir al desarrollo de su personalidad como futuro profesional de la construcción formando hábitos de trabajo en equipo, combinando los intereses individuales y colectivos en la toma de decisiones, de cumplimiento de normas, regulaciones y disposiciones vigentes en la esfera constructiva y en especial con la protección y seguridad del hombre y las que aseguran calidad de los trabajos.
6. Consolidar en los estudiantes el rol que como Ingenieros Civiles les tocará desempeñar en la defensa de la patria.

I.11.2 Objetivos instructivos

1. Realizar los trabajos de campo y de gabinete de un levantamiento topográfico de aplicación en Ingeniería Civil, aplicando las Normas e Instrucciones vigentes en el país.
2. Interpretar un plano topográfico, evaluar su calidad técnica y las posibilidades de su utilización para la realización de trabajos de Ingeniería Civil y actividades de la defensa del país.
3. Representar el relieve de una zona determinada del terreno, aplicando el método de las curvas de nivel, tanto en forma manual como mediante un programa de computación.

4. Replantear una obra de Ingeniería Civil de mediana complejidad, valorando el instrumental y seleccionando el método más adecuado para las tareas más generales y frecuentes de la profesión.
5. Controlar el proceso constructivo de una obra vial o estructural, utilizando para ello el instrumental y los métodos más adecuados a los requerimientos de la obra.
6. Identificar la tecnología más avanzada en la Topografía, así como utilizar la computación en la solución de problemas de modelación del terreno y obras de tierras.

Además de las razones expuestas anteriormente que evidencian la importancia de la topografía como ciencia aplicada dentro de la ingeniería, es importante mencionar que el estudio de esta disciplina aporta conocimientos y habilidades que contribuyen al desarrollo de un profesional competente. Esta materia destaca la necesidad de establecer límites razonables de exactitud, enfatiza el valor de las cifras significativas, ya que el ingeniero debe conocer cuando trabajar hasta el décimo, centésimo o el milésimo de una cantidad, o incluso hasta el número entero más próximo de acuerdo con la precisión requerida del trabajo realizado.

La topografía prepara al ingeniero en materia de realización de cálculos y croquis. Esquemas y cálculos bien hechos y limpios son señal de una mente ordenada, la cual es a su vez un índice de sólida preparación y competencia en ingeniería. El tomar buenas notas de campo en toda suerte de condiciones es una excelente preparación para la clase de registros y croquis que se esperan de los ingenieros. Un adiestramiento adicional de gran valor en las operaciones, es el disponer adecuadamente los cálculos.

Para ser un buen topógrafo no basta con tener los conocimientos teóricos. Es necesario además realizar prácticas de mediciones y apuntes de datos tomados en el campo, así como su procesamiento en el gabinete.

I.12 Polígonos patrones.

Los polígonos patrones, conocidos también como bases de comparación, están difundidos internacionalmente, siendo estos de gran importancia para asegurar la comprobación del estado óptimo del instrumental topográfico antes de realizar las mediciones, permitiendo realizar las verificaciones y ajustes correspondientes. En el territorio holguinero la empresa GEOCUBA ORIENTE NORTE, perteneciente al grupo empresarial GEOCUBA cuenta con seis bases de comparación; la base de comparación para distanciómetros electro-ópticos, ubicada en la parte noreste de la provincia, en el municipio Gibara entre el poblado de Gibara y la Playa Coletones en una zona conocida por los lugareños como Laguna Blanca, a unos 44 Km de la ciudad de Holguín. (Geocuba, 2011). Figura 9.



Figura 9. Puntos del Polígono Patrón "Caletones"

La base de comparación para Receptores GPS, ubicada en un territorio que comparten los municipios de Rafael Freire y Gibara comprendiendo los poblados Fray Benito, Potrerillo, la Loma de los Jagüeyes y Ojo de Agua. Los demás polígonos están localizados en la capital provincial, y son utilizados para comprobar y calibrar teodolitos, niveles, equipos de plancheta etc. Podemos mencionar además que en la base de apoyo de la empresa citada existe actualmente un punto de referencia internacional GPS. (Geocuba, 2003). Figura 10.

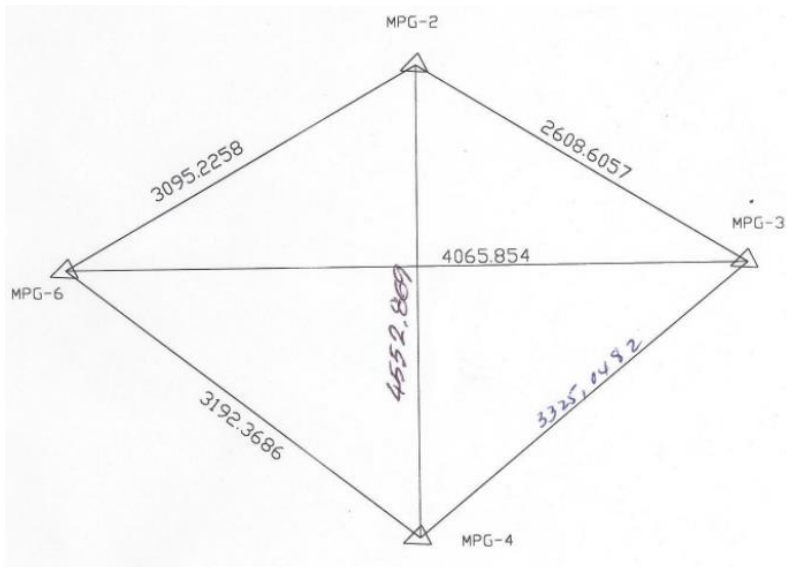


Figura 10. Esquema de la Base de comparación para GPS. Rafael Freyre.

Conclusiones parciales

1. La disciplina Topografía constituye una de las bases fundamentales para la formación del Ingeniero Civil, brindando los conocimientos teóricos y prácticos básicos necesarios para obtener la información del terreno sobre la cual se proyectan las obras civiles, y para su replanteo.
2. La creación del polígono Patrón permitirá la realización de las clases prácticas, el perfeccionamiento del trabajo metodológico y del proceso de enseñanza – aprendizaje en las asignaturas de Topografía (I y II), Proyectos Integradores (1 y 2) y Diseño Geométrico de Carreteras, durante la formación del profesional, lo que justifica la factibilidad de la realización de la presente investigación.

CAPITULO-II: CREACIÓN DEL POLÍGONO PATRÓN EN LA SEDE OSCAR LUCERO MOYA

Introducción al capítulo

Durante el desarrollo del presente capítulo haremos una detallada descripción de todo el trabajo realizado para llevar a cabo la creación del polígono patrón. La labor emprendida por nosotros como todo trabajo topográfico estuvo conformada por dos trabajos, el de campo y el de gabinete. En el trabajo de campo realizamos un reconocimiento del área donde emplazaríamos el polígono, su respectiva monumentación, mediciones y llenado de registros. En la parte de cálculo, o sea en los trabajos de gabinete, acometimos el cálculo y ajuste tanto de la poligonal como de la nivelación hasta obtener las coordenadas de los puntos en los tres planos X, Y, Z.

II.1 Proyección del polígono

El polígono patrón de la Universidad de Holguín se encuentra emplazado alrededor de la de sede Oscar Lucero Moya, bordeando toda el área de su perímetro. La poligonal está compuesta por 11 puntos, de estos siete fueron colocados por nosotros y aprovechamos en la proyección cuatro que ya existían, los cuales pertenecen al grupo empresarial Geocuba Oriente Norte. Figura 11.

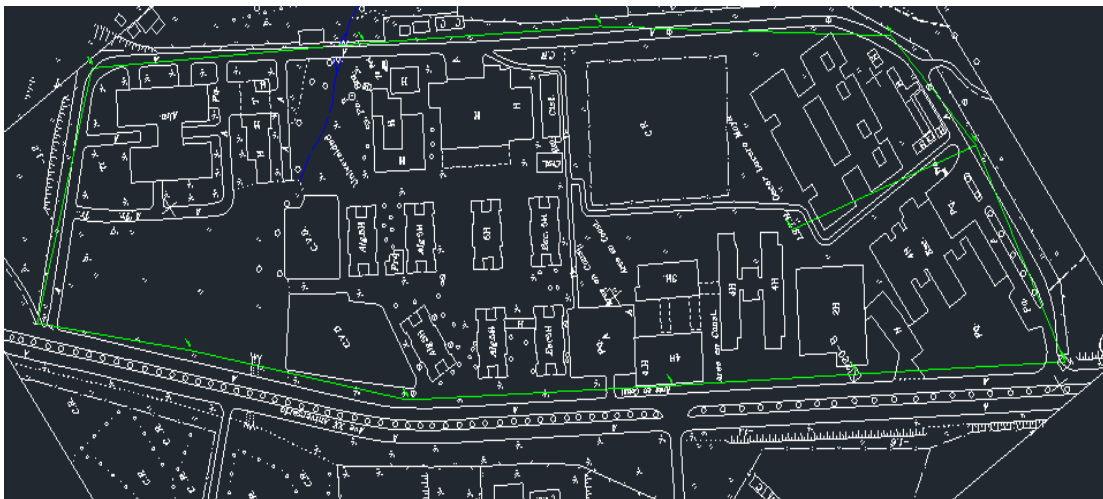


Figura 11. Proyección del Polígono Patrón en la sede "Oscar Lucero Moya".

La sede Oscar Lucero Moya de la Universidad de Holguín se encuentra ubicada en la parte noroeste de la ciudad, con domicilio legal en Avenida XX Aniversario, vía Guardalavaca, reparto Piedra Blanca.

II.1.1 Reconocimiento

En la primera parte de realización de este proyecto fue necesario llevar a cabo un recorrido preliminar por los límites de las diferentes áreas que componen el complejo universitario, desde el edificio docente hasta los almacenes de materiales, encontrándose entre estos varias edificaciones que componen las áreas de la biblioteca, oficinas administrativas, laboratorios, residencias estudiantiles, cocina-comedor, talleres etc. Siempre tuvimos como objetivo que dentro del polígono quedaran englobadas todas las áreas de la sede universitaria Oscar Lucero Moya. Durante el recorrido planteamos las posibles ubicaciones de los puntos, determinando el lugar más idóneo para realizar su monumentación, en lugares que garanticen la perduración en el tiempo de la chapilla geodésica. Igualmente reconocimos el lugar donde ya existían con anterioridad puntos pertenecientes a la red geodésica nacional y que estaban identificados por Geocuba. Luego a partir de los puntos iniciales fue posible crear la red de apoyo plano-altimétrica.

El terreno que ocupa la universidad es predominantemente llano, solo podemos encontrar en su extensión pocas y pequeñas ondulaciones, como el objetivo del polígono es rodear el área donde se encuentra emplazada la sede no contamos con puntos de difícil acceso, por lo tanto no es necesario abrir trochas ni desmochar o talar árboles. Nuestra única preocupación consistía en ubicar los puntos de manera tal que las construcciones existentes no interfirieran con la visibilidad entre estos. Todo lo anterior facilitó considerablemente los trabajos de campo posteriores.

II.1.2 Monumentación de los puntos

Una vez que teníamos noción de donde ubicar los puntos procedimos al trazado de la poligonal en un croquis de la Universidad para luego acometer la monumentación de dichos puntos, siempre teniendo en cuenta que entre estos

existiera una correcta visibilidad y distancia, las cuales posibilitaran una fácil y exacta medición. Contábamos con chapillas de aluminio proporcionadas por Geocuba, las cuales empotramos unas en el pavimento de la vía que bordea la parte posterior de la universidad y otras en la acera que existe frente a esta. En total colocamos nueve chapas debidamente identificadas con el nombre del punto que representan, la marca de Geocuba y su alerta de no destruir. De estas nueve chapas siete pertenecen a la poligonal cerrada creada y dos de ellas son puntos interiores estratégicamente ubicados. Figura 12.



Figura 12. Monumentación de los puntos del Polígono Patrón.

Una vez monumentados los puntos se realizó la Monografía de estos cumpliendo las indicaciones técnicas establecidas. (Geocuba, 2000), como se muestra en la Figura 13. El resto de las descripciones de los puntos, con su ubicación, coordenadas, se muestran en el Anexo 1.

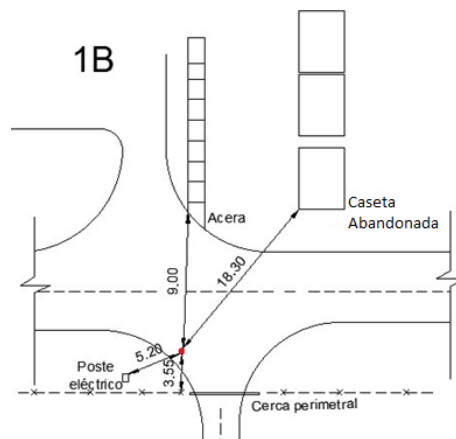


Figura 13. Croquis de ubicación un punto.

II.1.3. Medición de ángulos y distancias

Las mediciones las realizamos en dos ocasiones, una primera utilizando la estación total TS-11, equipo que de su clase es el más preciso en estos momentos que existe en el país. Con esta primera medición la TS-11 nos proporcionó un juego de coordenadas X, Y, Z que constituyen el principal resultado de nuestra investigación siendo nuestras coordenadas patronas. En un segundo momento realizamos las mediciones utilizando equipos más tradicionales; o sea, un teodolito para determinar ángulos y distancias y un nivel para obtener los desniveles existentes entre los diferentes puntos. Figura 14.



Figura 14. Mediciones en las dos campañas de campo.

Las mediciones angulares con el Teodolito se realizaron por el método del ángulo aislado o separado en dos posiciones, aplicando la Regla de Bessel y cumpliendo con las Normas Técnicas establecidas (Geocuba, 2000), donde como aspectos principales durante la medición fueron chequeadas las diferencias del valor angular y de las distancias obtenidas entre las dos posiciones.

II.1.4 Croquis de la poligonal

En la Figura 15 se muestra el croquis de la poligonal medida por el método tradicional, obtenido de los registros de campo, que aparecen en el Anexo 2.

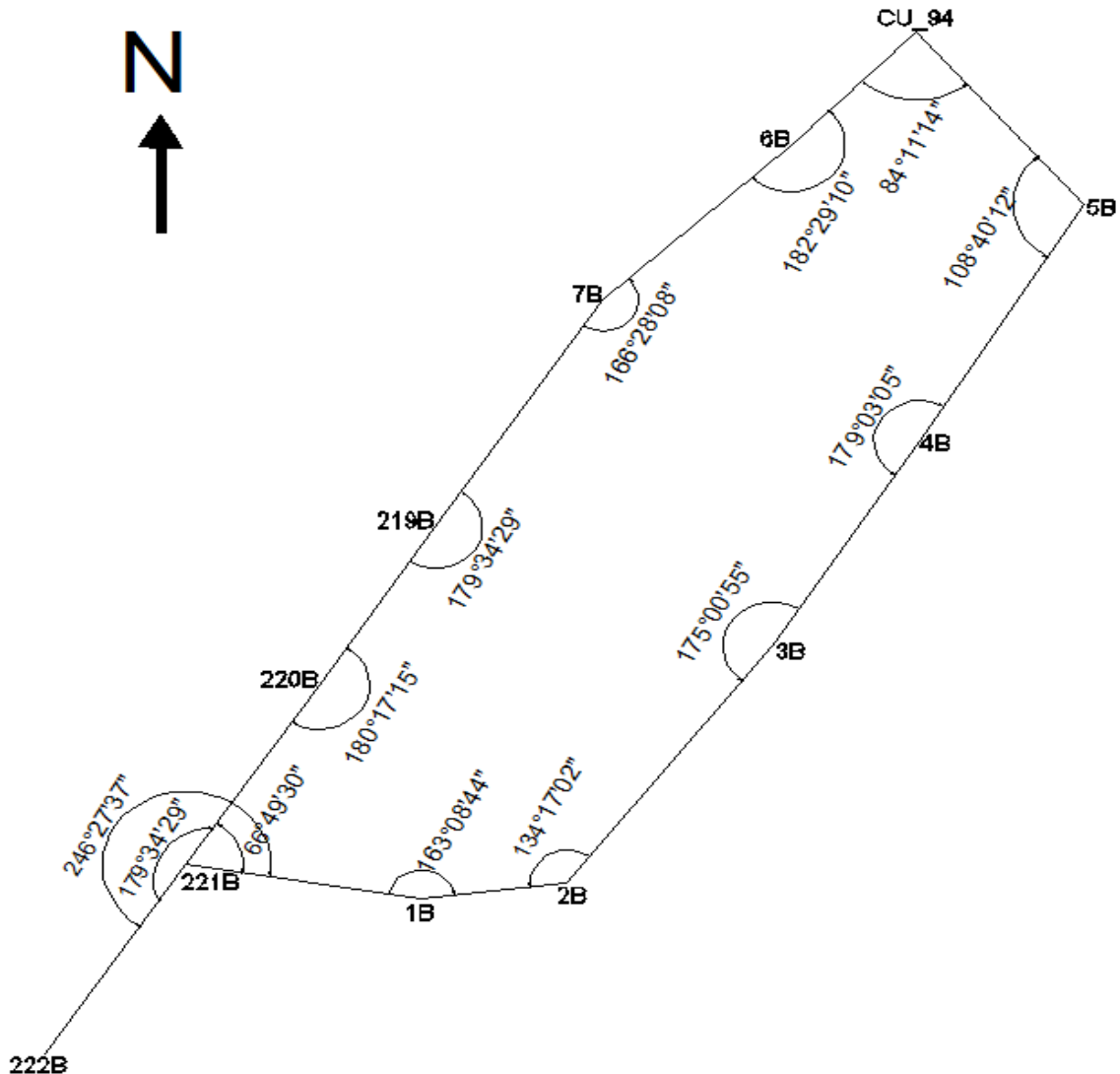


Figura 15. Croquis de la poligonal.

II.2 Cálculo y ajuste de la poligonal

El cálculo de la poligonal por el método tradicional se realizó cumpliendo las indicaciones técnicas vigentes (Raíces, 1983; Geocuba, 2000). En el caso de las mediciones realizadas con la nueva tecnología "TS-11" se ajustó a partir de la opción novedosa POLIGONAL-PRO (MET 30-09:10), incorporada al paquete de programas de esta Estación Total. (Geocuba. "MAN 31: 2011).

II.2.1 Poligonal planimétrica por métodos tradicionales

A partir de la mediciones de campo se realizó el cálculo y ajuste de la poligonal, comenzando por la compensación angular y luego la lineal, siguiendo las instrucciones técnicas vigentes (Raíces, 1983; Geocuba, 2000).

II.2.1.1 Determinación del error angular permisible

$$e_{ap} = 1' \sqrt{n}$$

$$e_{ap} = 1' \sqrt{11}$$

$$e_{ap} = 0^{\circ}03'18''$$

Error angular:

$$e_{\alpha} = \Sigma \alpha_{obs} - \Sigma \alpha_i = 1619^{\circ}57'10'' - 180^{\circ}(n-2)$$

$$e_{\alpha} = -0^{\circ}02'50''$$

$$e_{\alpha} < e_{ap}$$

$0^{\circ}02'50'' < 0^{\circ}03'18''$ Cumple la condición.

II.2.1.2 Cálculo de las correcciones angulares y corrección de los ángulos

$$C_{\alpha} = + \frac{e_{\alpha}}{n} = + \frac{02'50''}{8} = +15.45''$$

La corrección de cada ángulo queda reflejada en la Tabla 5:

Tabla 5. Corrección de ángulos observados.

Ángulo observado	Corrección	Ángulo corregido
66 ⁰ 49'15"	+15"	66 ⁰ 49'30"
163 ⁰ 08'28"	+16"	163 ⁰ 08'44"
134 ⁰ 16'46"	+16"	134 ⁰ 17'02"
175 ⁰ 00'40"	+15"	175 ⁰ 00'55"
179 ⁰ 02'50"	+15"	179 ⁰ 03'05"
108 ⁰ 39'56"	+16"	108 ⁰ 40'12"
84 ⁰ 10'58"	+16"	84 ⁰ 11'14"
182 ⁰ 29'10"	+16"	182 ⁰ 29'26"
166 ⁰ 27'53"	+15"	166 ⁰ 28'08"
179 ⁰ 34'14"	+15"	179 ⁰ 34'29"
180 ⁰ 17'00"	+15"	180 ⁰ 17'15"
Σ 1619 ⁰ 57'10"	+0 ⁰ 02'50"	1620 ⁰ 00'00"

Como mencionamos anteriormente contábamos con puntos monumentados y medidos por Geocuba los cuales poseen coordenadas que utilizamos durante la realización de nuestro trabajo, estos puntos se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6. Coordenadas de los puntos conocidos.

No	ID. Punto	X(m)	Y(m)	Orden	Método
1	CU-94	561998.545	249303.886	2da categoría	ET
2	219B	561741.086	248999.325	2da categoría	ET
3	220B	561679.022	248901.695	2da categoría	ET
4	221B	561607.974	248791.174	2da categoría	ET
5	222B	561532.344	248675.162	2da categoría	ET

II.2.1.3 Determinación de los acimutes

De los datos anteriores tenemos que:

$$\Delta X_{222B-221B} = 561532.344 - 561607.974 = -75.63m$$

$$\Delta Y_{222B-221B} = 248675.162 - 248791.174 = -116.012m$$

$$R = \arctan \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \arctan \frac{-75.63}{-116.012} = 33^{\circ}06'34''$$

Como ΔX y ΔY ambas son negativas estamos trabajando en el tercer cuadrante, entonces:

$$R = S33^{\circ}06'34''W$$

Convertimos el rumbo en azimut, siendo en el tercer cuadrante:

$$Az_{221-222} = 180^{\circ} + R = 180^{\circ} + 33^{\circ}06'34'' = 213^{\circ}06'34'' \text{ (inicio de la poligonal)}$$

Continuamos encontrando los acimutes del resto de los lados de la poligonal:

$$Az_{221-1B} = 213^{\circ}06'34'' + 246^{\circ}27'37'' = 459^{\circ}34'11'' - 360^{\circ} = 99^{\circ}34'11''$$

$$Az_{1B-2B} = (99^{\circ}34'11'' + 163^{\circ}08'44'') \pm 180^{\circ} = 262^{\circ}42'55'' - 180^{\circ} = 82^{\circ}42'55''$$

$$Az_{2B-3B} = (82^{\circ}42'55'' + 134^{\circ}17'02'') \pm 180^{\circ} = 216^{\circ}59'57'' - 180^{\circ} = 36^{\circ}59'57''$$

$$Az_{3B-4B} = (36^{\circ}59'57'' + 175^{\circ}00'55'') \pm 180^{\circ} = 212^{\circ}00'52'' - 180^{\circ} = 32^{\circ}00'52''$$

$$Az_{4B-5B} = (32^{\circ}00'52'' + 179^{\circ}03'05'') \pm 180^{\circ} = 211^{\circ}03'57'' - 180^{\circ} = 31^{\circ}03'57''$$

$$Az5B-CU94 = (31^{\circ}03'57'' + 108^{\circ}40'12'') \pm 180^{\circ} = 139^{\circ}44'09'' + 180^{\circ} = 319^{\circ}44'09''$$

$$AzCU94-6B = (319^{\circ}44'09'' + 84^{\circ}11'14'') \pm 180^{\circ} = 403^{\circ}55'23'' - 180^{\circ} = 223^{\circ}55'23''$$

$$Az6B-7B = (223^{\circ}55'23'' + 182^{\circ}29'26'') \pm 180^{\circ} = 406^{\circ}24'49'' - 180^{\circ} = 226^{\circ}24'49''$$

$$Az7B-219 = (226^{\circ}24'49'' + 166^{\circ}28'08'') \pm 180^{\circ} = 392^{\circ}52'57'' - 180^{\circ} = 212^{\circ}52'57''$$

$$Az219-220 = (212^{\circ}52'57'' + 179^{\circ}34'29'') \pm 180^{\circ} = 392^{\circ}27'26'' - 180^{\circ} = 212^{\circ}27'26''$$

$$Az220-221 = (212^{\circ}27'26'' + 180^{\circ}17'15'') \pm 180^{\circ} = 398^{\circ}44'41'' - 180^{\circ} = 212^{\circ}44'41''$$

$$Az221-222 = 212^{\circ}44'41'' + 00^{\circ}21'53'' = 213^{\circ}06'34''$$

II.2.1.4 Determinación de los rumbos

A partir de los acimutes de las alineaciones encontramos sus rumbos para tener un mejor sentido de la orientación de estas:

$$R_{221-1B} = 180^{\circ} - Az = 180^{\circ} - 99^{\circ}34'11'' = S80^{\circ}25'49''E$$

$$R_{1B-2B} = Az = N82^{\circ}42'55''E$$

$$R_{2B-3B} = Az = N36^{\circ}59'57''E$$

$$R_{3B-4B} = Az = N32^{\circ}00'52''E$$

$$R_{4B-5B} = Az = N31^{\circ}03'57''E$$

$$R_{5B-CU94} = 360^{\circ} - Az = 360^{\circ} - 319^{\circ}44'09'' = N40^{\circ}15'51''W$$

$$R_{CU94-6B} = Az - 180^{\circ} = 223^{\circ}55'23'' - 180^{\circ} = S43^{\circ}55'23''W$$

$$R_{6B-7B} = Az - 180^{\circ} = 226^{\circ}24'49'' - 180^{\circ} = S46^{\circ}24'49''W$$

$$R_{7B-219} = Az - 180^{\circ} = 212^{\circ}52'57'' - 180^{\circ} = S32^{\circ}52'57''W$$

$$R_{219-220} = Az - 180^{\circ} = 212^{\circ}27'26'' - 180^{\circ} = S32^{\circ}27'26''W$$

$$R_{220-221} = Az - 180^{\circ} = 212^{\circ}44'41'' - 180^{\circ} = S32^{\circ}44'41''W$$

II.2.1.5 Cálculo de los ΔX y los ΔY

Conociendo las longitudes de los lados de la poligonal y sus ángulos de orientación, podemos encontrar las variaciones en las coordenadas de los diferentes puntos mediante las fórmulas:

$$\Delta X = D \cdot \text{senAz};$$

$$\Delta Y = D \cdot \text{cosAz}$$

Donde:

ΔX -incremento en las coordenadas X.

D-distancia entre los dos puntos (longitud del tramo).

senAz-seno trigonométrico del ángulo de dirección acimut.

ΔY -incremento en las coordenadas Y.

cosAz-coseno trigonométrico del ángulo de dirección acimut.

Entonces para determinar las variaciones en X tenemos:

$$\Delta X_{221-1B} = 127.75 (\text{sen} 99^{\circ} 34' 11") = +125.97\text{m}$$

$$\Delta X_{1B-2B} = 78.45 (\text{sen} 82^{\circ} 42' 55") = +77.82\text{m}$$

$$\Delta X_{2B-3B} = 182.59 (\text{sen} 36^{\circ} 59' 57") = +109.88\text{m}$$

$$\Delta X_{3B-4B} = 149.14 (\text{sen} 32^{\circ} 00' 52") = +79.06\text{m}$$

$$\Delta X_{4B-5B} = 170.29 (\text{sen} 31^{\circ} 03' 57") = +87.87\text{m}$$

$$\Delta X_{5B-CU-94} = 139.08 (\text{sen} 319^{\circ} 44' 09") = -89.89\text{m}$$

$$\Delta X_{CU-94-6B} = 96.52 (\text{sen} 223^{\circ} 55' 23") = -66.96\text{m}$$

$$\Delta X_{6B-7B} = 138.75 (\text{sen} 226^{\circ} 24' 49") = -100.50\text{m}$$

$$\Delta X_{7B-219} = 165.85 (\text{sen} 212^{\circ} 52' 57") = -90.04\text{m}$$

$$\Delta X_{219-220} = 115.84 (\text{sen} 212^{\circ} 27' 26") = -62.17\text{m}$$

$$\Delta X_{220-221} = 131.10 (\text{sen} 212^{\circ} 44' 41") = -70.91\text{m}$$

Y para determinar los incrementos en Y:

$$\Delta Y_{221-1B} = 127.75 (\text{cos } 99^{\circ} 34' 11") = -21.24\text{m}$$

$$\Delta Y_{1B-2B} = 78.45 (\text{cos } 82^{\circ} 42' 55") = +9.95\text{m}$$

$$\Delta Y_{2B-3B} = 182.59 (\text{cos } 36^{\circ} 59' 57") = +145.82\text{m}$$

$$\Delta Y_{3B-4B} = 149.14 (\cos 32^{\circ}00'52'') = +126.46\text{m}$$

$$\Delta Y_{4B-5B} = 170.29 (\cos 31^{\circ}03'57'') = +145.87\text{m}$$

$$\Delta Y_{5B-CU94} = 139.08 (\cos 319^{\circ}44'09'') = +106.13\text{m}$$

$$\Delta Y_{CU94-6B} = 96.52 (\cos 223^{\circ}55'23'') = -69.52\text{m}$$

$$\Delta Y_{6B-7B} = 138.75 (\cos 226^{\circ}24'49'') = -95.66\text{m}$$

$$\Delta Y_{7B-219} = 165.85 (\cos 212^{\circ}52'57'') = -139.28\text{m}$$

$$\Delta Y_{219-220} = 115.84 (\cos 212^{\circ}27'26'') = -97.74\text{m}$$

$$\Delta Y_{220-221} = 131.10 (\cos 212^{\circ}44'41'') = -110.27\text{m}$$

II.2.1.6 Determinación de las correcciones de ΔX y ΔY

Teóricamente $\Sigma \Delta X = 0$ y $\Sigma \Delta Y = 0$ pero en las mediciones de distancias se producen errores, siendo:

$$\Sigma \Delta X = +125.97 + 77.82 + 109.88 + 79.06 + 87.87 - 89.89 - 66.96 - 100.50 - 90.04 - 62.17 - 70.91 = +0.13\text{m}.$$

$$\Sigma \Delta Y = -21.24 + 9.95 + 145.82 + 126.46 + 145.87 + 106.13 - 69.52 - 95.66 - 139.28 - 97.74 - 110.27 = +0.52\text{m}.$$

Estos valores son conocidos como errores totales lineales (E_t), entonces tenemos que:

$$E_{t\Delta X} = +0.13\text{m y}$$

$$E_{t\Delta Y} = +0.52\text{m}.$$

Calculamos las correcciones por el método de la brújula en el cual utilizamos las siguientes formulas:

$$C_{\Delta X} = \pm \frac{\Sigma \Delta X}{P} * l$$

$$C_{\Delta Y} = \pm \frac{\Sigma \Delta Y}{P} * l$$

Donde:

$C_{\Delta X}$ - corrección de los ΔX parciales.

CΔY- corrección de los ΔY parciales.

P- perímetro de la poligonal.

l- longitud del lado en cuestión.

ΣΔX- sumatoria de los ΔX (error en los incrementos de las coordenadas X).

ΣΔY- sumatoria de los ΔY (error en los incrementos de las coordenadas Y).

II.2.1.6.1 Correcciones de ΔX

$$C_{\Delta X_{221-1B}} = -\frac{0.13}{1495.36} * 127.75 = -0.011106 \approx -0.01m$$

$$C_{\Delta X_{1B-2B}} = -\frac{0.13}{1495.36} * 78.45 = -0.0068201 \approx -0.01m$$

$$C_{\Delta X_{2B-3B}} = -\frac{0.13}{1495.36} * 182.59 = -0.0158736 \approx -0.02m$$

$$C_{\Delta X_{3B-4B}} = -\frac{0.13}{1495.36} * 149.14 = -0.0129656 \approx -0.01m$$

$$C_{\Delta X_{4B-5B}} = -\frac{0.13}{1495.36} * 170.29 = -0.0148043 \approx -0.02m$$

$$C_{\Delta X_{5B-CU94}} = -\frac{0.13}{1495.36} * 139.08 = -0.012091 \approx -0.01m$$

$$C_{\Delta X_{CU94-6B}} = -\frac{0.13}{1495.36} * 96.52 = -0.008391 \approx -0.01m$$

$$C_{\Delta X_{6B-7B}} = -\frac{0.13}{1495.36} * 138.75 = -0.0120623 \approx -0.01m$$

$$C_{\Delta X_{7B-219}} = -\frac{0.13}{1495.36} * 165.85 = -0.144157 \approx -0.01m$$

$$C_{\Delta X_{219-220}} = -\frac{0.13}{1495.36} * 115.84 = -0.0100706 \approx -0.01m$$

$$C_{\Delta X_{220-221}} = -\frac{0.13}{1495.36} * 131.10 = -0.0113973 \approx -0.01m$$

II.2.1.6.2 Correcciones de ΔY

$$C_{\Delta Y_{221-1B}} = -\frac{0.52}{1495.36} * 127.75 = -0.0444241 \approx -0.04m$$

$$C_{\Delta Y_{1B-2B}} = -\frac{0.52}{1495.36} * 78.45 = -0.0272804 \approx -0.03m$$

$$C_{\Delta Y_{2B-3B}} = -\frac{0.52}{1495.36} * 182.59 = -0.0634943 \approx -0.06m$$

$$C_{\Delta Y_{3B-4B}} = -\frac{0.52}{1495.36} * 149.14 = -0.0518623 \approx -0.05m$$

$$C_{\Delta Y_{4B-5B}} = -\frac{0.52}{1495.36} * 170.29 = -0.059217 \approx -0.06m$$

$$C_{\Delta Y_{5B-CU94}} = -\frac{0.52}{1495.36} * 139.08 = -0.048364 \approx -0.05m$$

$$C_{\Delta Y_{CU94-6B}} = -\frac{0.52}{1495.36} * 96.52 = -0.0335641 \approx -0.03m$$

$$C_{\Delta Y_{6B-7B}} = -\frac{0.52}{1495.36} * 138.75 = -0.0482493 \approx -0.05m$$

$$C_{\Delta Y_{7B-219}} = -\frac{0.52}{1495.36} * 165.85 = -0.0576626 \approx -0.06m$$

$$C_{\Delta Y_{219-220}} = -\frac{0.52}{1495.36} * 115.84 = -0.0402825 \approx -0.04m$$

$$C_{\Delta Y_{220-221}} = -\frac{0.52}{1495.36} * 131.10 = -0.045589 \approx -0.05m$$

II.2.1.7 Comprobación de las correcciones

Para comprobar si las correcciones encontradas son las correctas las sumamos y las comparamos con el error total lineal (Et), debiendo ambos valores ser iguales pero de signo contrario, o sea:

$$\sum C_{\Delta X} = -Et_{\Delta X}$$

Tenemos que:

$$\Sigma C_{\Delta X} = -0.01 - 0.01 - 0.02 - 0.01 - 0.02 - 0.01 - 0.01 - 0.01 - 0.01 - 0.01 - 0.01 = -0.13m$$

$$Et_{\Delta X} = \Sigma \Delta X = 0.13$$

$$-0.13 = -0.13$$

Las correcciones de los incrementos en X están correctas.

Análogamente en Y tenemos:

$$\sum C_{\Delta Y} = -Et_{\Delta Y}$$

$$\Sigma C_{\Delta Y} = -0.04 - 0.03 - 0.06 - 0.05 - 0.06 - 0.05 - 0.03 - 0.05 - 0.06 - 0.04 - 0.05 = -0.52m$$

$$Et_{\Delta Y} = \Sigma \Delta Y = 0.52$$

$$-0.52 = -0.52$$

Las correcciones de los incrementos en Y están correctas.

II.2.1.8 Cálculo de los ΔX y ΔY corregidos

Ya determinadas las correcciones podemos obtener los ΔX y los ΔY corregidos:

II.2.1.8.1 Cálculo de los incrementos en las coordenadas X corregidos

$$\Delta X_{corr} = \Delta X + C_{\Delta X}$$

$$\Delta X_{221-1B} = +125.97 - 0.01 = +125.96m$$

$$\Delta X_{1B-2B} = +77.82 - 0.01 = +77.81m$$

$$\Delta X_{2B-3B} = +109.88 - 0.02 = +109.86m$$

$$\Delta X_{3B-4B} = +79.06 - 0.01 = +79.05m$$

$$\Delta X_{4B-5B} = +87.87 - 0.02 = +87.85m$$

$$\Delta X_{5B-CU94} = -89.89 - 0.01 = -89.90m$$

$$\Delta X_{CU94-6B} = -66.96 - 0.01 = -66.97m$$

$$\Delta X_{6B-7B} = -100.50 - 0.01 = -100.51m$$

$$\Delta X_{7B-219} = -90.04 - 0.01 = -90.05m$$

$$\Delta X_{219-220} = -62.17 - 0.01 = -62.18m$$

$$\Delta X_{220-221} = -70.91 - 0.01 = -70.92m$$

II.2.1.8.2 Cálculo de los incrementos en las coordenadas Y corregidos

$$\Delta Y_{corr} = \Delta Y + C_{\Delta Y}$$

$$\Delta Y_{221-1B} = -21.24 - 0.04 = -21.28m$$

$$\Delta Y_{1B-2B} = +9.95 - 0.03 = +9.92m$$

$$\Delta Y_{2B-3B} = +145.82 - 0.06 = +145.76m$$

$$\Delta Y_{3B-4B} = +126.46 - 0.05 = +126.41m$$

$$\Delta Y_{4B-5B} = +145.87 - 0.06 = +145.81m$$

$$\Delta Y_{5B-CU94} = +106.13 - 0.05 = +106.08m$$

$$\Delta Y_{CU94-6B} = -69.52 - 0.03 = -69.55m$$

$$\Delta Y_{6B-7B} = -95.66 - 0.05 = -95.71m$$

$$\Delta Y_{7B-219} = -139.28 - 0.06 = -139.34m$$

$$\Delta Y_{219-220} = -97.74 - 0.04 = -97.78m$$

$$\Delta Y_{220-221} = -110.27 - 0.05 = -110.32m$$

II.2.1.9 Cálculo de las coordenadas X Y

II.2.1.9.1 Cálculo de las coordenadas X

$$X_{1B} = X_{221} \pm \Delta X_{221-1B} = 561607.974 + 125.96 = 561733.934m$$

$$X_{2B} = X_{1B} \pm \Delta X_{1B-2B} = 561733.934 + 77.81 = 561811.744m$$

$$X_{3B} = X_{2B} \pm \Delta X_{2B-3B} = 561811.744 + 109.86 = 561921.604m$$

$$X_{4B} = X_{3B} \pm \Delta X_{3B-4B} = 561921.604 + 79.05 = 562000.654m$$

$$X_{5B} = X_{4B} \pm \Delta X_{4B-5B} = 562000.654 + 87.85 = 562088.504m$$

$$X_{CU94} = X_{5B} \pm \Delta X_{5B-CU94} = 562088.504 - 89.90 = 561998.604m$$

$$X_{6B} = X_{CU94} \pm \Delta X_{CU94-6B} = 561998.604 - 66.97 = 561931.634m$$

$$X_{7B} = X_{6B} \pm \Delta X_{6B-7B} = 561931.634 - 100.51 = 561831.124m$$

$$X_{219} = X_{7B} \pm \Delta X_{7B-219} = 561831.124 - 90.05 = 561741.074m$$

$$X_{220} = X_{219} \pm \Delta X_{219-220} = 561741.074 - 62.18 = 561678.894m$$

$$X_{221} = X_{220} \pm \Delta X_{220-221} = 561678.894 - 70.92 = 561607.974m$$

II.2.1.9.2 Cálculo de las coordenadas Y

$$Y_{1B} = Y_{221} \pm \Delta Y_{221-1B} = 248791.174 - 21.28 = 248769.894m$$

$$Y_{2B} = Y_{1B} \pm \Delta Y_{1B-2B} = 248769.894 + 9.92 = 248779.814m$$

$$Y_{3B} = Y_{2B} \pm \Delta Y_{2B-3B} = 248779.814 + 145.76 = 248925.574m$$

$$Y_{4B} = Y_{3B} \pm \Delta Y_{3B-4B} = 248925.574 + 126.41 = 249051.984m$$

$$Y_{5B} = Y_{4B} \pm \Delta Y_{4B-5B} = 249051.984 + 145.81 = 249197.794m$$

$$Y_{CU94} = Y_{5B} \pm \Delta Y_{5B-CU94} = 249197.794 + 106.08 = 249303.874m$$

$$Y_{6B} = Y_{CU94} \pm \Delta Y_{CU94-6B} = 249303.874 - 69.55 = 249234.324m$$

$$Y_{7B} = Y_{6B} \pm \Delta Y_{6B-7B} = 249234.324 - 95.71 = 249138.614m$$

$$Y_{219} = Y_{7B} \pm \Delta Y_{7B-219} = 249138.614 - 139.34 = 248999.234m$$

$$Y_{220} = Y_{219} \pm \Delta Y_{219-220} = 248999.234 - 97.78 = 248901.494m$$

$$Y_{221} = Y_{220} \pm \Delta Y_{220-221} = 248901.494 - 110.32 = 248791.174m$$

En la Tabla 7 se muestran los resultados del cálculo de la poligonal, mostrando los errores de cierres, los cuales se encuentran entre los límites fijados por las normativas vigentes y al final se obtienen los valores de las coordenadas ajustadas (x,y).

Tabla 7. Registro de corrección coordenadas (X, Y).

Pto	Acimut	Distancia	ΔX	ΔY	ΔX correg	ΔY correg	X	Y
222								
221	213°06'34"						561.607.974	248.791.174
1B	99°34'11"	127.75	+125.97	-21.24	+125.96	-21.28	561.733.934	248.769.894
2B	82°42'55"	78.45	+77.82	+9.95	+77.81	+9.92	561.811.744	248.779.814
3B	36°59'57"	182.59	+109.88	+145.82	+109.86	+145.76	561.921.604	248.925.574
4B	32°00'52"	149.14	+79.06	+126.46	+79.05	+126.41	562.000.654	249.051.984
5B	31°03'57"	170.29	+87.87	+145.87	+87.85	+145.81	562.088.504	249.197.794
CU 94	319°44'09"	139.08	-89.89	+106.13	-89.90	+106.08	561.998.604	249.303.874
6B	223°55'23"	96.52	-66.96	-69.52	-66.97	-69.55	561.931.634	249.234.324
7B	226°24'49"	138.75	-100.50	-95.66	-100.51	-95.71	561.831.124	249.138.614
219	212°52'57"	165.85	-90.04	-139.28	-90.05	-139.34	561.741.074	248.999.234
220	212°27'26"	115.84	-62.17	-97.74	-62.18	-97.78	561.678.894	248.901.494
221	212°44'41"	131.10	-70.91	-110.27	-70.92	-110.32	561.607.974	248.791.174
222	213°06'34"							
Σ		1495.36	0.13	0.52	0	0		

II.2.2 Nivelación

Las mediciones altimétricas se realizaron por el método de la nivelación geométrica compuesta en dos puestas de instrumento, con un nivel H-3T y miras plegables y cumpliendo con las Normas Técnicas establecidas (Geocuba, 2000), donde como aspectos principales durante la medición fueron chequeadas las diferencias de los desniveles obtenidos entre las dos puestas de instrumento. Figura 16.



Figura 16. Mediciones de campo "nivelación"

El esquema del itinerario de la nivelación, con los diferentes puntos y los desniveles, se muestra en la Figura 17.

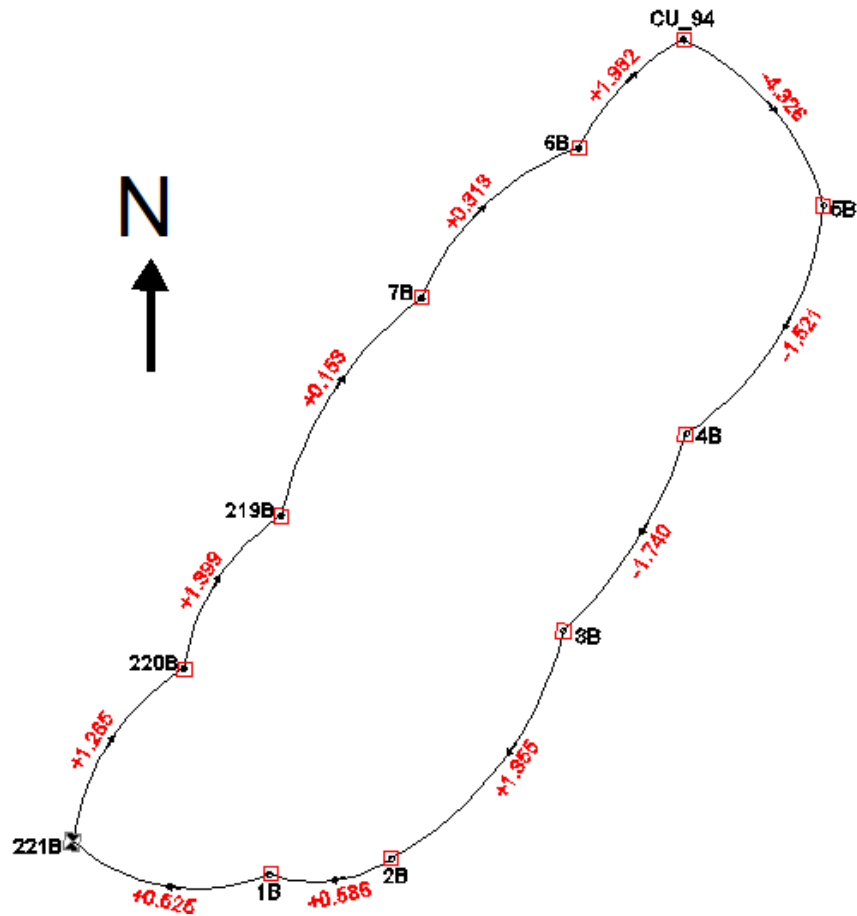


Figura 17. Esquema del itinerario de la nivelación

II.2.2.1 Cálculo de los desniveles

$$\Delta Z = ME - MF$$

$$\Delta Z_{221-1B} = 1.152 - 1.677 = -0.525 \text{ m}$$

$$\Delta Z_{1B-2B} = 1.335 - 1.921 = -0.586 \text{ m}$$

$$\Delta Z_{2B-3B} = 0.767 - 2.122 = -1.355 \text{ m}$$

$$\Delta Z_{3B-4B} = 2.751 - 1.011 = +1.740 \text{ m}$$

$$\Delta Z_{4B-5B} = 2.402 - 0.881 = +1.521 \text{ m}$$

Para obtener el desnivel entre los puntos 5B y CU-94 fue necesario realizar dos puestas de instrumentos, utilizando un sapo⁸.

⁸ Objeto utilizado para marcar un punto por un corto periodo de tiempo, para ayudar en las mediciones de nivelación compuesta.

$$\Delta Z_{5B-S1} = 1.952 - 0.500 = +1.452\text{m}$$

$$\Delta Z_{S1-CU-94} = 2.943 - 0.067 = +2.876\text{m}$$

En total:

$$\Delta Z_{5B-CU94} = \Delta Z_{5B-S1} + \Delta Z_{S1-CU-94} = 1.452 + 2.876 = +4.328\text{m}$$

$$\Delta Z_{CU94-6B} = 0.474 - 2.456 = -1.982\text{m}$$

$$\Delta Z_{6B-7B} = 0.957 - 1.270 = -0.313\text{m}$$

$$\Delta Z_{7B-219} = 1.817 - 1.970 = -0.153\text{m}$$

$$\Delta Z_{219-220} = 0.820 - 2.219 = -1.399\text{m}$$

$$\Delta Z_{220-221} = 0.770 - 2.035 = -1.265\text{m}$$

II.2.2.2 Determinación del error de cierre de la nivelación

$$\Sigma \Delta Z \approx 0$$

$$\Sigma \Delta Z = -0.525 - 0.586 - 1.355 + 1.740 + 1.521 + 4.328 - 1.982 - 0.313 - 0.153 - 1.399 - 1.265 = +0.011\text{m}$$

II.2.2.3 Cálculo de las correcciones de los desniveles

$$C = \frac{-e}{\Sigma D} * Di$$

Donde:

C-corrección de ΔZ .

e-error de la nivelación.

D-perímetro de la poligonal.

Di-longitud del tramo.

$$C_{221-1B} = \frac{-0.011}{1510} * 127.75 = -0,000930\text{m} \approx -1\text{mm}$$

$$C_{1B-2B} = \frac{-0.011}{1510} * 78.45 = -0,000571\text{m} \approx -1\text{mm}$$

$$C_{2B-3B} = \frac{-0.011}{1510} * 182.59 = -0,00129\text{m} \approx -1\text{mm}$$

$$C_{3B-4B} = \frac{-0.011}{1510} * 149.14 = -0,00105m \approx -1mm$$

$$C_{4B-5B} = \frac{-0.011}{1510} * 170.29 = -0,00120m \approx -1mm$$

$$C_{5B-CU94} = \frac{-0.011}{1510} * 139.08 = -0,00098m \approx -1mm$$

$$C_{CU94-6B} = \frac{-0.011}{1510} * 96.52 = -0,00068m \approx -1mm$$

$$C_{6B-7B} = \frac{-0.011}{1510} * 138.75 = -0,00098m \approx -1mm$$

$$C_{7B-219} = \frac{-0.011}{1510} * 165,85 = -0,00118m \approx -1mm$$

$$C_{219-220} = \frac{-0.011}{1510} * 115.84 = -0,00082m \approx -1mm$$

$$C_{220-221} = \frac{-0.011}{1510} * 131.10 = -0,00093m \approx -1mm$$

Buscamos el valor de la corrección por otra fórmula:

$$C = \frac{-e}{n}$$

Donde:

C-corrección de ΔZ .

e-error de la nivelación.

n-número de tramos.

Tenemos que:

$$C = \frac{-0,011}{11} = -0.001m = -1mm.$$

Entonces la corrección de cada tramo es igual a -1mm.

II.2.2.4 Determinación de los desniveles corregidos

Para realizar la compensación, sumamos algebraicamente a los desniveles calculados las correcciones encontradas anteriormente, quedando de la siguiente manera:

$$\Delta Z_{corr} = \Delta Z + C_{\Delta Z}$$

$$\Delta Z_{221-1B} = -0.525 - 0.001 = -0.526m$$

$$\Delta Z_{1B-2B} = -0.586 - 0.001 = -0.587m$$

$$\Delta Z_{2B-3B} = -1.355 - 0.001 = -1.356m$$

$$\Delta Z_{3B-4B} = +1.740 - 0.001 = +1.739m$$

$$\Delta Z_{4B-5B} = +1.521 - 0.001 = +1.520m$$

$$\Delta Z_{5B-CU94} = +4.328 - 0.001 = +4.327m$$

$$\Delta Z_{CU94-6B} = -1.982 - 0.001 = -1.983m$$

$$\Delta Z_{6B-7B} = -0.313 - 0.001 = -0.314m$$

$$\Delta Z_{7B-219} = -0.153 - 0.001 = -0.154m$$

$$\Delta Z_{219-220} = -1.399 - 0.001 = -1.400m$$

$$\Delta Z_{220-221} = -1.265 - 0.001 = -1.266m$$

II.2.2.5 Determinación de las altitudes de los puntos

$$Z = Z + \Delta Z; \text{ y } Z_{221} = 148.00m$$

$$Z_{1B} = Z_{221} \pm \Delta Z_{221-1B} = 148 - 0.526 = 147.474m$$

$$Z_{2B} = Z_{1B} \pm \Delta Z_{1B-2B} = 147.474 - 0.587 = 146.887m$$

$$Z_{3B} = Z_{2B} \pm \Delta Z_{2B-3B} = 146.887 - 1.356 = 145.531m$$

$$Z_{4B} = Z_{3B} \pm \Delta Z_{3B-4B} = 145.531 + 1.739 = 147.270m$$

$$Z_{5B} = Z_{4B} \pm \Delta Z_{4B-5B} = 147.270 + 1.520 = 148.790m$$

$$Z_{CU94} = Z_{5B} \pm \Delta Z_{5B-CU94} = 148.790 + 4.327 = 153.117m$$

$$Z_{6B} = Z_{CU94} \pm \Delta Z_{CU94-6B} = 153.117 - 1,983 = 151.134m$$

$$Z_{7B} = Z_{6B} \pm \Delta Z_{6B-7B} = 151.134 - 0.314 = 150.820m$$

$$Z_{219} = Z_{7B} \pm \Delta Z_{7B-219} = 150.820 - 0.154 = 150.666m$$

$$Z_{220} = Z_{219} \pm \Delta Z_{219-220} = 150.666 - 1.400 = 149.266m$$

$$Z_{221} = Z_{220} \pm \Delta Z_{220-221} = 149.266 - 1.266 = 148.00m$$

En la Tabla 8 se muestran los resultados del cálculo de la nivelación geométrica de enlace, con los errores de cierres, los cuales se encuentran entre los límites fijados por las normativas vigentes y al final se obtienen los valores de las alturas ajustadas (Z).

Tabla 8. Registro de ajuste nivelación geométrica.

Pto	D(Km)	$\Delta Z(m)$	correcc(mm)	ΔZ correg	Z
222					
221	0.13	-0.525	-1	-0.526	148.000
1B	0.08	-0.586	-1	-0.587	147.474
2B	0.18	-1.355	-1	-1.356	146.887
3B	0.15	1.740	-1	1.739	145.531
4B	0.17	1.521	-1	1.520	147.270
5B	0.14	4.328	-1	4.327	148.790
CU 94	0.10	-1.982	-1	-1.983	153.117
6B	0.14	-0.313	-1	-0.314	151.134
7B	0.17	-0.153	-1	-0.154	150.820
219B	0.12	-1.399	-1	-1.400	150.666
220B	0.13	-1.265	-1	-1.226	149.266
221					148.000
222					
Σ	1.51	0.011			

II.3 Resultados patrones obtenidos por la TS-11

Como explicábamos al inicio del capítulo, los resultados patrones los obtuvimos realizando las mediciones pertinentes con un equipo de alta confiabilidad, la TS-11, con la cual se obtuvo el siguiente grupo de coordenadas. Ver Tabla 9.

Tabla 9. Coordenadas obtenidas con la Estación Total.

Punto	X	Y	Z
219B	561741,025	248999,237	150,674
220B	561678,96	248901,65	149,273
221B	561607,936	248791,12	148,000
1B	561733,75	248769,94	147,472
2B	561811,695	248779,902	146,891
3B	561921,541	248925,645	145,531
4B	562000,469	249051,888	147,279
5B	562088,317	249197,800	148,797
6B	561931,405	249234,259	151,142
7B	561830,857	249138,421	150,826
8B	561844.994	248989.635	148.256
9B	561764.357	248890.752	147.742
CU94	561998,406	249303,900	153,129

II.4 Análisis comparativo de los resultados

Realizamos una comparación entre ambos resultados, los obtenidos con la aplicación de la de punta (TS-11) y los tradicionales. En la Tabla 10 se muestra en análisis comparativo con respecto a los valores patrones, es decir, la Estación Total (X,Y) y el Nivel para la Z, donde podemos observar organizadamente las coordenadas obtenidas a partir de los diferentes métodos. La mayor diferencia en las coordenadas (X, Y) se encuentra en el punto 7B con un valor de 26.7 cm. Lo cual puede ser producto de la compensación, por encontrarse el mismo en el área central de la red. No obstante, la base de datos del Polígono Patrón satisface las expectativas para ser utilizada con fines docentes y de proyecto.

Tabla 10. Análisis comparativo de los resultados.

Punto	Método de medición ; Coordenadas "X,Y,Z", en metros							Diferencias(m)		
	Tradicional				Nuevas tecnologías					
	Teodolito			Nivel	ET TS-11 "Patrón"			X	Y	Z
	X	Y	Z	Z	X	Y	Z			
219B	561741,074	248999,274	150,67	150,666	561741,025	248999,237	150,674	-0,049	-0,037	-0,008
220B	561678,894	248901,494	149,268	149,266	561678,96	248901,65	149,273	0,066	0,156	-0,007
221B	561607,974	248791,174	148	148,000	561607,936	248791,12	148,000	-0,038	-0,054	0,000
1B	561733,934	248769,894	147,474	147,474	561733,75	248769,94	147,472	-0,184	0,046	0,002
2B	561811,744	248779,814	146,892	146,887	561811,695	248779,902	146,891	-0,049	0,088	-0,004
3B	561921,604	248925,574	145,534	145,531	561921,541	248925,645	145,531	-0,063	0,071	0,000
4B	562000,654	249051,984	147,265	147,270	562000,469	249051,888	147,279	-0,185	-0,096	-0,009
5B	562088,504	249197,794	148,776	148,790	562088,317	249197,800	148,797	-0,187	0,006	-0,007
6B	561931,634	249234,324	151,13	151,134	561931,405	249234,259	151,142	-0,229	-0,065	-0,008
7B	561831,124	249138,614	150,819	150,820	561830,857	249138,421	150,826	-0,267	-0,193	-0,006
CU94	561998,604	249303,874	153,105	153,117	561998,406	249303,900	153,129	-0,198	0,026	-0,012

Conclusiones parciales

1. Los trabajos se realizaron cumpliendo los requisitos técnicos establecidos en las normativas vigentes.
2. Los valores obtenidos en el cierre angular y lineal estuvieron en el rango permisible, al igual que el error en la nivelación.
3. Los valores de las coordenadas X, Y obtenidos con la Estación Total TS-11, así como las coordenadas Z obtenidas a partir de la nivelación geométrica, constituyen un patrón para el uso docente y futuros proyectos. Además de ser el sentido fundamental de esta investigación.

CONCLUSIONES GENERALES

1. El Polígono Patrón es una herramienta de apoyo para la formación del profesional, que permite el desarrollo de la Topografía y sus disciplinas afines en las carreras de Ingeniería Civil y Licenciatura en Educación Construcción en la Universidad de Holguín.
2. Esta investigación resuelve la problemática de no contar con un polígono para la realización de las clases prácticas, que posibilitó el perfeccionamiento del trabajo metodológico y del proceso de enseñanza – aprendizaje en las asignaturas de Topografía (I y II), Proyectos Integradores (1 y 2) y Diseño Geométrico de Carreteras, durante la formación del profesional.
3. Los resultados se sintetizan en una base de datos (x, y, z), que facilitan el trabajo de docentes y estudiantes, así como los futuros proyectos en el área de estudio.
4. Los resultados del análisis comparativo, con respecto al Patrón, demostró que el sistema de coordenadas obtenidas, satisface las exigencias técnicas vigentes para las mediciones planimétricas y altimétricas.

RECOMENDACIONES

1. Que se dé continuación el actual proyecto para en un futuro obtener un levantamiento completo de la universidad y sus zonas aledañas, con su respectivo MDT.
2. Presentar el trabajo en otros eventos científicos y publicar los resultados.
3. Que se dé participación activa al estudiantado en estos trabajos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acosta González, L.E. Perfil del Proyecto Institucional 2016-65 “Creación del Polígono Patrón para el desarrollo de la Topografía y sus disciplinas afines en las carreras de Ingeniería Civil y Licenciatura en Educación Construcción en la Universidad de Holguín” .2016
2. Belete fuentes, O. Topografía. Félix Varela. 2008.
3. Benítez, Raúl. Topografía para Ingenieros Civiles Tomo I. La Habana: Editorial Pueblo y Educación 1985.
4. Bombino N.; E. Sánchez J. González B. Y R Pozo. Redes Geodésicas Y Planimétricas. Editorial, Pueblo Y Educación. La Habana Cuba. 1989.
5. Bombino N.; E. Sánchez, M. Pérez. Geodesia Para Ingenieros Aerofotogeodestas. Editorial, Pueblo Y Educación. La Habana Cuba. 1988.
6. Colectivo de autores: Modelo del profesional. Documento Rector para los Estudios de Ingeniería Civil en Cuba (Plan D). La Habana. 2007.
7. Cordova C. G. Geodesia. Tomo I. Editorial Ciencia Técnica. 1985.
8. Cruz Cabezas, M. A. ¿Cómo se estructura y construye un Trabajo de Diploma? Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. 2014.
9. Domínguez García Tejera, Francisco. Topografía General y Aplicada. Madrid: Editorial Dossat S.A., 1970.
10. Fernández, A. et al 2008. Topografía
11. García Díaz J. Metodología para nivelación espacial GPS en polígonos geodinámicos. En: Filial UCT geodinámica de Geocuba IC. Geomática 2004.
12. GEOCUBA “Normas Cubanas para la realización de los trabajos topográficos de levantamiento y replanteo”. 2000.
13. Geocuba UCT (2003) PDT “ Evaluación de las características metrológicas del polígono de calibración de GPS”.
14. Geocuba Oriente Norte (2011) Informe Técnico “Medición de la base de comparación de campo “Caletones” para la verificación y calibración de distanciómetros electro-ópticos del Laboratorio de Metrología no. 57.

15. Geocuba. "MAN 31: 2011" Manual para ajuste de poligonales sobre plataforma CartoMap.
16. Gerardo Crescencio Jiménez Sáez / Juan Carlos León Gil "Topografía general para Ingenieros Civiles" Tomos I y II. Editorial Félix Varela. La Habana. 2012
17. Colectivo de Autores. (2016) Indicaciones Metodológicas para la gestión de los trabajos de diplomas en el departamento de construcciones. Departamento de Construcciones. Universidad de Holguín. Sede: Oscar Lucero Moya.
18. Irineu da Silva e Paulo Cesar Lima Segantine "Topografía para engenharia. Teoría y práctica de Geomática. Elsevier. Brasil 2015.
19. MET 30-09:10. "Metodología para el trazado de viales con el empleo de estaciones totales Leica- FlexLine de la serie TS 02-06 y 09" (Trabajo de campo). Documento Técnico 30-19. Cuba. 49p.
20. Raíces Vidal, O. "Método unificado de los mínimos cuadrados". 1983.
21. Rodríguez León, Luís. Topografía Básica Tomo I y II. La Habana. Editorial Pueblo y Educación 1983.

ANEXOS

Anexo 1. Monografías (descripciones) de los puntos.

Datos geodésicos del punto.	
Proyecto: Polígono patrón en la sede "Oscar lucero Moya" de la UHO.	
Provincia: Holguín.	
Monografía detallada.	Coordenadas(en metros)
	X=561733.755
	Y=248769.940
	Z=147.474
	<p>Situado en la vía que bordea la parte posterior de la sede Oscar lucero moya de la UHO, se encuentra el Punto 1B, el mismo está empotrado en el pavimento y tiene las siguientes referencias a partir del croquis ilustrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 9.0m al S de la acera. • 18.30m al SW de la caseta. • 3.55m al N de la cerca perimetral. • 5.20m al NE del poste eléctrico.
Elaborado por: Leonel Rojas Mora.	Fecha: Abril 2017
Revisado por: Dr. Luis Enrique Acosta Gonzáles.	Fecha: Abril 2017

Datos geodésicos del punto.	
Proyecto: Polígono patrón en la sede "Oscar lucero Moya" de la UHO.	
Provincia: Holguín.	
<p>Monografía detallada.</p> <p style="text-align: center;">2B</p>	<p>Coordenadas(en metros)</p> <p>X=561811.695</p> <p>Y=248779.902</p> <p>Z=146.887</p> <p>Situado en la vía que bordea la parte posterior de la sede Oscar lucero moya de la UHO, se encuentra el Punto 2B, el mismo está empotrado en el pavimento y tiene las siguientes referencias a partir del croquis ilustrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 26.0m al SE de la caseta abandonada. • 6.10m al S del borde interno de la vía. • 6.20m al N de la cerca perimetral. • 37.0m al SW de la última columna del edificio en construcción.
Elaborado por: Leonel Rojas Mora.	Fecha: Abril 2017
Revisado por: Dr. Luis Enrique Acosta Gonzáles.	Fecha: Abril 2017

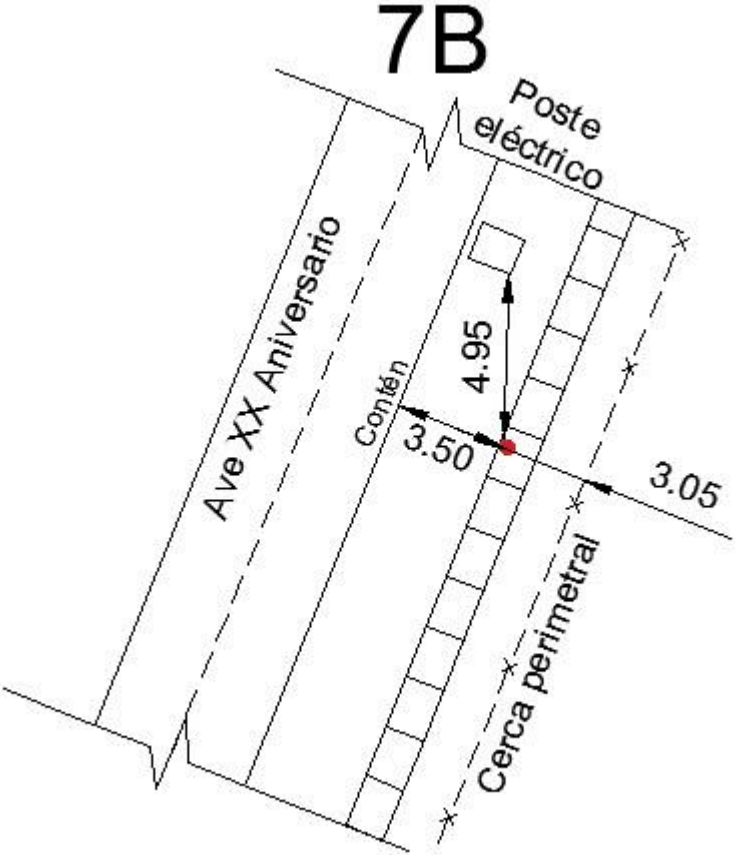
Datos geodésicos del punto.	
Proyecto: Polígono patrón en la sede "Oscar lucero Moya" de la UHO.	
Provincia: Holguín.	
Monografía detallada.	Coordenadas(en metros)
<p style="text-align: center;">3B</p>	X=561921.541
	Y=248925.645
	Z=145.531
	<p>Situado en la vía que bordea la parte posterior de la sede Oscar lucero moya de la UHO, se encuentra el Punto 3B, el mismo está empotrado en el pavimento y tiene las siguientes referencias a partir del croquis ilustrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 43.80m al SE del tanque que abastece a la sede universitaria. • 41.0m al SE del poste eléctrico. • 7.20m al W de la cerca perimetral. • 5.30m al E del borde interno de la vía.
Elaborado por: Leonel Rojas Mora.	Fecha: Abril 2017
Revisado por: Dr. Luis Enrique Acosta Gonzáles.	Fecha: Abril 2017

Datos geodésicos del punto.	
Proyecto: Polígono patrón en la sede "Oscar lucero Moya" de la UHO.	
Provincia: Holguín.	
Monografía detallada.	Coordenadas(en metros)
<p style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-left: 20px;">4B</p>	X=562000.469
	Y=249051.888
	Z=147.270
	<p>Situado en la vía que bordea la parte posterior de la sede Oscar lucero moya de la UHO, se encuentra el Punto 4B, el mismo está empotrado en el pavimento y tiene las siguientes referencias a partir del croquis ilustrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 7.0m al SW de la portería. • 23.40m al NW del supiadero. • 11.0m al NE del tanque de gas. • 16.50m al NE del supiadero.
Elaborado por: Leonel Rojas Mora.	Fecha: Abril 2017
Revisado por: Dr. Luis Enrique Acosta Gonzáles.	Fecha: Abril 2017

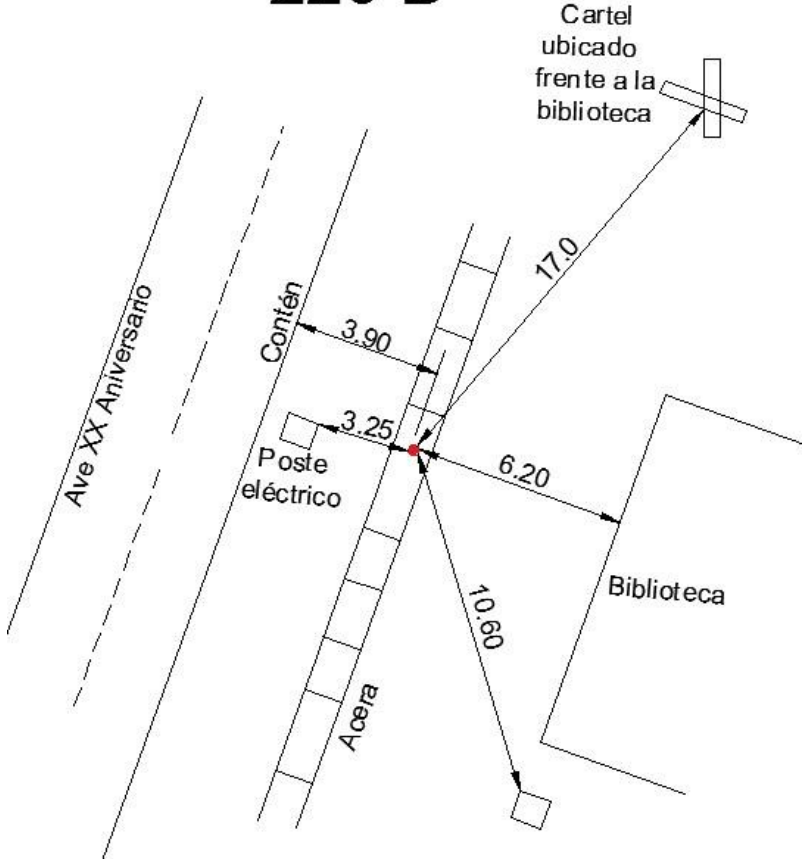
Datos geodésicos del punto.	
Proyecto: Polígono patrón en la sede "Oscar lucero Moya" de la UHO.	
Provincia: Holguín.	
<p>Monografía detallada.</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-top: 20px;">5B</p>	<p>Coordenadas(en metros)</p> <p>X=562088.317</p> <p>Y=249197.800</p> <p>Z=148.790</p> <p>Situado en la vía que bordea la parte posterior de la sede Oscar lucero moya de la UHO, se encuentra el Punto 5B, el mismo está empotrado en el pavimento y tiene las siguientes referencias a partir del croquis ilustrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 13.70m al SW de la esquina de la cerca perimetral. • 4.0m al W de la cerca perimetral. • 42.40m al NE de la alcantarilla. • 11.20m al NE de la cerca.
Elaborado por: Leonel Rojas Mora.	Fecha: Abril 2017
Revisado por: Dr. Luis Enrique Acosta Gonzáles.	Fecha: Abril 2017

Datos geodésicos del punto.	
Proyecto: Polígono patrón en la sede "Oscar lucero Moya" de la UHO.	
Provincia: Holguín.	
<p>Monografía detallada.</p> <p>CU94</p> <p>Contén</p> <p>Ave XX Aniversario</p> <p>Poste eléctrico</p> <p>Poste eléctrico</p> <p>7.40</p> <p>12.20</p> <p>23.0</p>	<p>Coordenadas(en metros)</p> <p>X=561998.406</p> <p>Y=249303.900</p> <p>Z=153.117</p> <p>Situado en la Avenida XX Aniversario donde culmina la cerca perimetral de la sede, se encuentra el Punto CU94, el mismo está empotrado en el contén de la avenida y tiene las siguientes referencias a partir del croquis ilustrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 12.20m al SW del poste de alumbrado público. • 7.40m al SW del contén opuesto. • 23.0m al NE del poste de alumbrado público.
Elaborado por: Leonel Rojas Mora.	Fecha: Abril 2017
Revisado por: Dr. Luis Enrique Acosta Gonzáles.	Fecha: Abril 2017

Datos geodésicos del punto.	
Proyecto: Polígono patrón en la sede "Oscar lucero Moya" de la UHO.	
Provincia: Holguín.	
Monografía detallada.	Coordenadas(en metros)
	X=561931.405
	Y=249234.259
	Z=151.134
	<p>Situado en la Avenida XX Aniversario, se encuentra el Punto 6B, el mismo está empotrado en acera que bordea la parte frontal de la UHO y tiene las siguientes referencias a partir del croquis ilustrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 22.80m al NE del poste de alumbrado público. • 5.60m al SW del poste de alumbrado público. • 4.70m al SE del contén. • 1.97m al NW de la cerca perimetral de la sede universitaria.
Elaborado por: Leonel Rojas Mora.	Fecha: Abril 2017
Revisado por: Dr. Luis Enrique Acosta Gonzáles.	Fecha: Abril 2017

Datos geodésicos del punto.	
Proyecto: Polígono patrón en la sede "Oscar Lucero Moya" de la UHO.	
Provincia: Holguín.	
<p>Monografía detallada.</p>  <p>7B</p> <p>Ave XX Aniversario</p> <p>Poste eléctrico</p> <p>Contén</p> <p>3.50</p> <p>4.95</p> <p>3.05</p> <p>Cerca perimetral</p>	<p>Coordenadas(en metros)</p> <p>X=561830.857</p> <p>Y=249138.421</p> <p>Z=150.820</p> <p>Situado en la Avenida XX Aniversario, se encuentra el Punto 7B, el mismo está empotrado en acera que bordea la parte frontal de la UHO y tiene las siguientes referencias a partir del croquis ilustrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3.50m al NE del Contén. • 4.95m al SE del poste de alumbrado público. • 3.05m al NW de la cerca perimetral de la sede universitaria.
Elaborado por: Leonel Rojas Mora.	Fecha: Abril 2017
Revisado por: Dr. Luis Enrique Acosta Gonzáles.	Fecha: Abril 2017

Datos geodésicos del punto.	
Proyecto: Polígono patrón en la sede "Oscar lucero Moya" de la UHO.	
Provincia: Holguín.	
Monografía detallada.	Coordenadas(en metros)
<p style="text-align: center;">219 B</p>	X=561741.025
	Y=248999.237
	Z=150.666
	<p>Situado en la Avenida XX Aniversario, se encuentra el Punto 219 B, el mismo está empotrado en acera que bordea la parte frontal de la UHO y tiene las siguientes referencias a partir del croquis ilustrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 20.0m al NE de la alcantarilla. • 4.55m al NE del poste de alumbrado público. • 3.15m al NW de la cerca perimetral. • 7.20m al SW de la última columna del edificio en construcción.
Elaborado por: Leonel Rojas Mora.	Fecha: Abril 2017
Revisado por: Dr. Luis Enrique Acosta Gonzáles.	Fecha: Abril 2017

Datos geodésicos del punto.	
Proyecto: Polígono patrón en la sede "Oscar lucero Moya" de la UHO.	
Provincia: Holguín.	
<p>Monografía detallada.</p> <h2 style="text-align: center;">220 B</h2> 	<p>Coordenadas(en metros)</p> <p>X=561678.960</p> <p>Y=248901.650</p> <p>Z=149.266</p> <p>Situado en la Avenida XX Aniversario, se encuentra el Punto 220 B, el mismo está empotrado en acera que bordea la parte frontal de la UHO y tiene las siguientes referencias a partir del croquis ilustrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3.25m al SE del poste de alumbrado público. • 3.90m al SE del contén de la avenida. • 6.20m al NW de la Biblioteca "Benito Juárez". • 10.60m al NW de la última columna de la biblioteca. • 17.0m al SW del cartel ubicado frente a la biblioteca.
Elaborado por: Leonel Rojas Mora.	Fecha: Abril 2017
Revisado por: Dr. Luis Enrique Acosta Gonzáles.	Fecha: Abril 2017

Datos geodésicos del punto.	
Proyecto: Polígono patrón en la sede "Oscar lucero Moya" de la UHO.	
Provincia: Holguín.	
Monografía detallada. <h1 style="margin: 0;">221 B</h1>	Coordenadas(en metros) X=561607.930 Y=248791.120 Z=148.00
	Situado en la Avenida XX Aniversario donde comienza la cerca perimetral de la sede universitaria, se encuentra el Punto 221 B, el mismo está empotrado en la acera y tiene las siguientes referencias a partir del croquis ilustrado: <ul style="list-style-type: none"> • 8.20m al NE del poste de alumbrado público. • 11.10m al SE del separador central de la avenida. • 4.40m al SW de la portería. • 13.15m al SW de la acera.
Elaborado por: Leonel Rojas Mora.	Fecha: Abril 2017
Revisado por: Dr. Luis Enrique Acosta Gonzáles.	Fecha: Abril 2017

Anexo 2. Registros de campo.

Registro poligonal.

Estacionado	Vértice Observado	Anteojó	Horizontal			Promedio	Ángulo	Distancia (m)
			°	'	"			
221B	222B	D	0	00	40	00'48"	179°38'07"	----
		I	180	00	55			
	220B	D	179	38	46	38'55"		131.10
		I	359	39	04			
1B	221B	D	0	00	41	00'46"	163°08'28"	127.75
		I	180	00	50			
	2B	D	163	10	24	09'14"		78.45
		I	343	09	24			
2B	1B	D	0	00	07	00'16"	134°16'46"	78.45
		I	180	00	15			
	3B	D	134	16	50	17'02"		182.59
		I	314	17	15			
3B	2B	D	0	00	30	00'40"	175°00'40"	182.59
		I	180	00	50			
	4B	D	175	01	02	01'20"		149.14
		I	355	01	38			
4B	3B	D	0	00	40	00'44"	179°02'50"	149.14
		I	180	00	49			
	5B	D	179	03	22	03'34"		170.29
		I	359	03	46			
5B	4B	D	0	00	15	00'29"	108°39'56"	170.29
		I	180	00	43			
	CU-94	D	108	40	20	40'25"		139.08
		I	228	40	30			
CU-94	5B	D	0	00	10	00'22"	84°10'28"	139.08
		I	180	00	35			
	6B	D	84	10	57	11'20"		96.52
		I	264	11	42			
6B	CU-94	D	0	00	26	00'08"	182°29'10"	96.52
		I	179	59	51			
	7B	D	182	29	35	29'18"		138.75
		I	02	28	50			
7B	6B	D	0	00	10	00'26"	166°27'53"	138.75
		I	180	00	42			
	219B	D	166	27	54	28'19"		165.85
		I	346	28	34			
219B	7B	D	0	00	39	00'44"	179°34'14"	165.85
		I	180	00	50			
	220B	D	179	34	52	34'58"		115.84
		I	359	35	04			
220B	219B	D	0	00	27	00'30"	180°17'00"	115.84
		I	180	28	25			
	221B	D	180	17	25	17'30"		131.10
		I	0	22	32			