



MINISTERIO DE LA EDUCACION SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
"DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"  
FACULTAD GEOLOGIA-MINERÍA  
Departamento de Minería

# Trabajo de Diploma

En Opción al Título de Ingeniero en Minas

**Título:** Procedimiento metodológico en la creación de red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído con Estaciones Totales

**Autor:** Chencho Wangdi

**Tutor:** Dr. C. Orlando Belete Fuentes

**Ing. Yordanis Esteban Batista Legrá**

MOA, 2009-2010  
AÑO DEL 52 ANIVERSARIO DEL TRIUNFO DE LA REVOLUCIÓN

## PENSAMIENTOS

- Inteligencia más carácter, esa es la meta de la verdadera educación.

Dr. Martin Luther King Jr.

- Usted puede convencerme de que estoy equivocado, pero no puede decirme que estoy equivocado sin antes convencerme.

Comandante Fidel Castro Ruz.

## DEDICATORIAS

- A mi querido Abuela, Señora Mani Lhamo, quien tiene una mayor importancia en mi vida.
- A mis queridos padres, Señor Phub Thinley Y Señora Phub Gyem, las principales personas que con sus sacrificios han logrado convertirme en lo que soy por este momento y por darme todo su apoyo en todos y cada uno de los momentos de mi vida.
- A mi Hermano Dechen Wangdi por los apoyos que siempre me ha brindado.
- A toda mi familia por darme la confianza y el apoyo que he necesitado para lograr llegar hasta aquí.

## AGRADECIMIENTOS

Primero de todos quiero agradecer a un número de personas que me han ayudado a realizar y terminar mi Trabajo de Diploma, sin mencionarlo mi Trabajo de Diploma no estaría completamente conformado, mis más profundos y sinceros agradecimientos de fondo de mi corazón a:

- A mis padres, Señor Phub Thinley y Señora Phub Gyem, las dos personas a quien yo quiero más que mi vida y para todos sacrificios que han hecho y para guiarme a ser lo que soy.
- A mi hermano Dechen Wangdi, mis primos Phurba, Karma y la prima Dawa Gem por todos sus apoyos.
- A todas Familias por su apoyo y su confianza.
- A mis tutores Dr. Orlando Belete Fuentes y Ing. Yordanis Esteban Batista Legrá gracias por lo mucho que me han ayudado, por las ideas que aportaron en este trabajo y por el tiempo dedicado, en mi mente siempre estarán presente.
- A todos los Maestros (Profesores) desde mi primaria hasta este momento de ser un ingeniero que me han ayudado en transcurso de mi vida de ser un hombre, un profesional y por todo por estar cerca cuando me hace faltaba ayuda de escuela o vida personal y en especial a los profesores de la Facultad de Minería que en este cinco años de carrera me han dado sus ayuda con sus conocimientos, ideas y por ser como los padres. Les agradezco mucho por siempre.
- A “ROYAL GOVERNMENT OF BHUTAN” y a la Revolución de “REPÚBLICA DE CUBA”, por darme esta beca y por permitirme haber hecho sueño.
- A todos mis amigos quien me han brindado sus ayuda cuando hace faltaba en los tiempo bueno y difíciles los años de mis carrera y en especial al Subash Bastola y Vijaya Katel (NEPAL), Geraldo Conde Eliseu (MOZAMBIQUE) y Verrete Lyndon Samson (DOMINICA).
- A mis compañeros de aula quienes siempre estuvieron a lado para ayudar y compartir los momentos especiales de mi vida.
- A los trabajadores del Departamento de topografía de Ceproníquel, Moa (Holguín).

**“A todos ustedes mis más sinceros y profundos agradecimientos”**

# RESUMEN

El presente trabajo trata del empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo del volumen del mineral extraído, se brindan los resultados de la evaluación de los trabajos ejecutados en las industrias del Níquel empleando nueva tecnología, realizando mediciones geodésicas en la creación de la red de apoyo para el cálculo del volumen del mineral extraído.

**En el Capítulo I:** se desarrolla el estado del arte del empleo de Estaciones Totales en la creación de red de apoyo para el cálculo del volumen del mineral extraído.

**En el Capítulo II:** se aborda la densificación de redes geodesias con el empleo de Estaciones Totales en la creación de red de apoyo para el cálculo del volumen del mineral extraído.

**En el Capítulo III:** se desarrolla un procedimiento metodológico para el empleo de Estaciones Totales en la creación de red de apoyo para el cálculo del volumen del mineral extraído.

# SUMMARY

The present work is about the application of Total Stations in the creation of network for volume calculation of the extracted mineral, also the results of the evaluation of the works executed in the Nickel industries using new technology, carrying out geodesic measurements in the creation of network for the volume calculation of the extracted mineral.

**In Chapter I:** The state of the art of the application of Total Stations is developed in the creation of network for the volume calculation of the extracted mineral.

**In Chapter II:** The densification of geodesies network is approached with the application of Total Stations in the creation of network for the volume calculation of the extracted mineral.

**In Chapter III:** A methodological procedure is developed for the application of Total Stations in the creation of network for the volume calculation of the extracted mineral.

# INDICE

	Páginas
<b>Introducción.</b>	9
<b>Capítulo I. Estado del arte para el empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.</b>	10
1.1. Generalidades.	10
1.2. Breve historia de la compañía Sokkia.	12
1.3. Términos y definiciones.	12
1.4. Particularidades para el cálculo de volumen.	13
1.5. Funciones de la Estación Total.	14
1.6. Teodolito y Estaciones Totales.	15
1.7. Comparación entre Teodolito y Estación Total.	15
1.8. Empleo de las Estaciones Totales en las industrias mineras.	16
1.9. Análisis Bibliográfico.	17
1.10. Algunas consideraciones sobre las Estaciones Totales.	17
1.11. Conclusiones parciales.	20
<b>Capítulo II. Densificación de redes geodésicas de apoyo con el empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.</b>	21
2.1. Breve caracterización físico geográfica de la zona.	21
2.2. Sistema geodésico empleado.	21
2.3. Realización de los experimentos para la construcción de redes geodésicas en la creación de red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.	21
2.4. Programas internos utilizados en la densificación de redes de apoyo.	22
2.4.1 Programa intersecciones.	22
2.4.2 Programa trisección inversa ó (Estación libre).	24
2.4.3 Programa serie de observaciones.	24
2.4.4 Poligonales.	25
2.4.5 Compensación de poligonales.	26
2.4.5.1 Compensación lineal (X, Y).	27
2.4.5.2 Compensación angular.	28

2.5. Evaluación de los resultados obtenidos.	28
2.5.1 Programa intersecciones.	28
2.5.2. Programa trisección inversa ó (Estación libre).	28
2.5.3. Serie de observaciones.	29
2.5.4. Poligonales.	29
2.5.5. Compensación de poligonales.	29
2.6. Conclusiones Parciales.	29

<b>Capítulo III. Procedimiento metodológico para el empleo de estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.</b>	30
3.1. Objetivo y alcance.	30
3.2. Términos y definiciones.	30
3.3. Requisitos técnicos principales.	31
3.4. Requisitos técnicos en la densificación de redes geodésicas con el empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.	32
3.4.1 Requisitos técnicos programa intersección.	32
3.4.2 Requisitos técnicos programa trisección inversa.	32
3.4.3 Requisitos técnicos programa serie de observaciones.	33
3.4.4 Requisitos técnicos poligonales.	34
3.4.5 Requisitos técnicos compensación de poligonales.	35
3.5. Contenido del proceso tecnológico.	35
3.5.1. Reconocimiento y selección de la base plano-altimétrica de apoyo.	36
3.5.2. Determinación de las coordenadas y alturas de los puntos de la red de apoyo.	36
3.5.3. Trabajos de preparación y organización.	36
3.5.3.1. Control y ajuste de los errores mecánicos.	37
3.5.3.2. Principales advertencias y precauciones de seguridad.	38
3.5.3.3. Configuración del equipo.	40
3.5.3.4. Orientación del equipo.	40
3.5.3.5. Determinación de las alturas de bastones y señales.	40
3.5.4. Definición de las misiones de trabajo.	41
3.5.5. Control de la calidad.	41



3.5.5.1. Control de la documentación del cliente.	41
3.5.5.2. Control de campo.	41
3.5.5.3. Control de gabinete.	42
3.5.6. Cuidado y almacenamiento de los equipos de medición.	42
3.5.7. Confección del informe técnico.	43
3.5.8. Trabajos de Archivo.	44
3.6. Conclusiones parciales.	44
<b>Conclusiones.</b>	45
<b>Recomendaciones.</b>	46
<b>Referencias Bibliográficas.</b>	47
<b>Anexos.</b>	48

# INTRODUCCIÓN

El progreso científico-técnico que actualmente se produce en las ramas de la construcción hace cada vez más necesario el desarrollo de la cantidad y complejidad de grandes objetos industriales, obras hidrotécnicas, centrales electronucleares, edificios de considerables alturas y otros. Aparejado a esto trae consigo nuevas y mayores exigencias de gran rigor con respecto a su seguridad, larga duración en servicio y una alta eficiencia, por tal motivo no se concibe su ejecución sin la aplicación de tecnologías apropiadas que incluye la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.

Los procedimientos metodológicos para la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído vigentes están confeccionados para los primeros instrumentos topográficos. Según la evolución y modernización de estos instrumentos, los fabricantes lanzan al mercado internacional las más recientes tecnologías, integradas por diferentes aplicaciones internas que posibilita la rapidez en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.

En la actualidad con el desarrollo de las nuevas tecnologías, adquiridas para realizar los trabajos geodésicos en las industrias del Níquel, se hace necesario elaborar un procedimiento metodológico con el empleo de Estaciones Totales para la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído, lo expresado anteriormente trae consigo la realización de trabajos topográficos con mayor exactitud.

Desde hace 10 años la Empresa de Proyectos del Níquel ha incrementado la adquisición de nuevas tecnologías, poniendo en práctica todas sus posibilidades en los trabajos geodésicos dentro de la propia industria, fundamentalmente en las minas durante las labores de extracción del mineral, **pero sin aplicar un procedimiento metodológico para la creación de la red de apoyo.**

## **Problema:**

**La necesidad de crear una red de apoyo para valorar la exactitud y el cálculo del volumen del mineral extraído con la nueva tecnología.**

## **Objetivo:**

**Elaborar un procedimiento metodológico para el empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo que permiten valorar la exactitud en el cálculo de volumen del mineral extraído.**

## **Objetivos específicos:**

- Revisión bibliográfica de los trabajos realizados.

- Evaluación de la exactitud de la red de apoyo creada con Estaciones Totales, utilizada para calcular volumen del mineral extraído.
- Realizar una caracterización de la Estación Total utilizada en las empresas de Níquel en Cuba.

### **Hipótesis:**

Con la elaboración de un procedimiento metodológico para el empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo del volumen del mineral extraído, se logra una mayor calidad, exactitud y productividad en los trabajos.

### **Actualidad e importancia del tema:**

El empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo del volumen del mineral extraído es ampliamente tratado a escala mundial, en Cuba, al introducirse esta tecnología diferentes empresas han modernizado sus instrumentos topográficos, es decir, se realiza una revolución en el desarrollo científico técnico. Su empleo en las industrias trae consigo avances tecnológicos fundamentalmente en tres aspectos.

1. Aumento de la precisión y fiabilidad de equipos e instrumentos topogeodésicos.
2. Automatización de los procesos de toma de datos y elaboración de resultados.
3. Uso de medios informáticos que aumentan la capacidad productiva y disminuyen el tiempo de ejecución de las obras.

### **Bases teóricas:**

1. Literatura científica -técnica consultada, sobre los temas a tratar.
2. Estudio y análisis de los manuales referencia de Estaciones Totales Sokkia.
2. Estudio y análisis de los manuales referencia de Estaciones Totales Leica.
3. Estudio y profundización de los trabajos geodésicos en las minas.

### **Bases prácticas:**

1. Base geodésica de la fábrica de Níquel Comandante Ernesto Che Guevara año 1986.

## CAPÍTULO I

### ESTADO DEL ARTE PARA EL EMPLEO DE ESTACIONES TOTALES EN LA CREACIÓN DE LA RED DE APOYO PARA EL CÁLCULO DE VOLUMEN DEL MINERAL EXTRAÍDO

#### 1.1 Generalidades

El empleo de Estaciones Totales en la creación de las redes de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído, en nuestro país comienza a tomar auge a partir del año 1999 con la llegada de las primeras Estaciones Totales de la marca Sokkia al grupo empresarial Cubaníquel.

Comienza después del año 1999 una revolución en el desarrollo de la técnica topográfica en diferentes empresas del país. En el año 1999 es adquirido por el Centro de Proyectos del Níquel de Moa, las Estaciones Totales Sokkia, su empleo y su funcionamiento están vinculados a los trabajos geodésicos en las industrias del Níquel del territorio y cálculo de volúmenes en las canteras de préstamo de las fábricas de Níquel del país.

Los primeros trabajos con el empleo de Estaciones Totales en la minería en el municipio Moa, Holguín comienzan a partir del año 1999 en las plantas de Níquel Ernesto Che Guevara, Pedro Soto Alba y René Ramos Latour, aplicando las ventajas que brindan estos instrumentos en los trabajos topográficos de campo en las minas.

Estas minas se encuentran situadas en la zona niquelífera de Moa y Nícaro (figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica de las minas en la zona niquelífera.

Con el impetuoso impulso de la minería en la Industria del Níquel y la ejecución de las tareas de desarrollo social y económico de la revolución y el desarrollo técnico de los instrumentos topográficos en todo el país, surge la necesidad de elaborar un procedimiento metodológico para el empleo de Estaciones Totales en la creación de las redes de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.

## **1.2. Breve historia de la compañía Sokkia**

Alrededor del mundo los instrumentos Sokkia son conocidos por su calidad y confiabilidad. Los instrumentos Sokkia comienzan desde alta tecnología (como Estaciones Totales, GPS, Libretas para colección de datos y software) a esenciales del campo (trípodes, herramientas de mano y suministros).

1920 - Compañía fundada como Sokkisha.

1943 - Establecida como compañía común pública.

1989 - Enumerada en la primera sección de la bolsa de acción de Tokio.

1992 - Cambió el nombre de la compañía a Sokkia.

## **1.3. Términos y definiciones**

**Estación Total:** Se denomina estación total a un instrumento electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico. Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD) de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, (seguidor de trayectoria) y la posibilidad de guardar información en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de acimutes y distancias.

**Set:** Serie.

**Sokkia:** Compañía Japonesa de Estaciones Totales.

**ICGC:** Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía.

**Bay Mining Company:** Compañía Americana que explotaba la fábrica de Níquel Pedro Soto Alba.

**Mina:** Es el conjunto de labores necesarias para explotar un yacimiento y, en algunos casos, las plantas necesarias para el tratamiento del mineral extraído. Las minas también reciben el nombre de explotaciones mineras, o, simplemente, explotaciones.

Las minas pueden dividirse: en minas a cielo abierto y en minas subterráneas.

**Redes Topográficas de Apoyo:** Consiste todo levantamiento topográfico en trasladar al plano, con su cota, puntos determinados del terreno, partiendo, en planimetría, de una recta escrupulosamente medida orientada que se denomina la base, y en altimetría, tomando como origen un punto cuya altitud sobre nivel medio del mar sea conocida, o al que se le asigne una cota arbitraria, arrastrando ésta a los demás puntos previo cálculo, de los desniveles parciales de uno a otro.

**Mineral:** En términos generales es toda sustancias o compuestos que se encuentra naturalmente con composición bien definida y propiedades físicas determinadas. En sentido más restringido, mineral es para el minero toda sustancia natural valiosa, se utilice o no para la obtención de metales, o el resultado de las operaciones de concentración a que se someten las sustancias extraídas de una explotación minera con objeto de ponerlos en condiciones de ser entregada al mercado.

**Volumen:** Del latín volumen, el concepto de volumen permite nombrar a la corpulencia o bulto de algo. De esta forma, se refiere a la magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones (largo, ancho y alto). En el Sistema Internacional, su unidad es el metro cúbico ( $m^3$ ).

El volumen también es la intensidad del sonido y el cuerpo material de un libro encuadernado. Para la geometría, se trata del espacio ocupado por un cuerpo, mientras que para la numismática, es el grosor de una moneda o una medalla.

**Peso volumétrico:** Se llama peso volumétrico de una roca a la relación que existe entre su peso y el volumen que ella ocupa. El peso volumétrico  $\gamma_v$  habitualmente se calcula por la fórmula:

$$\gamma_v = \frac{P}{V}$$

Donde:

$\gamma_v$  –Peso volumétrico,  $\frac{g}{cm^3}$  o  $\frac{kg}{m^3}$

$V$  –Volumen de la muestra ensayada,  $cm^3$

#### 1.4. Particularidades para el cálculo de volumen

En las empresas del Níquel el volumen del mineral extraído se determina una vez al mes luego de actualizados los planos de trabajo y los cortes por bloques por el método de las áreas medias y secciones verticales.

La determinación del pozo para el cual es necesario realizar el cálculo, se hace mediante el análisis del levantamiento topográfico a escala 1:500 y en los perfiles a escala 1:500 por 1:200.

El cálculo de la cantidad de masa minera extraída en estos yacimientos de la Unión del Níquel se realiza con una precisión que supera el error mínimo permisible (2.5%), las áreas con un error mayor de  $10 \text{ m}^2$ , la potencia y la cota mayores de 0.1m.

Estos volúmenes de masa minera extraída además de no ser controlados por un método efectivo alcanzan una diferencia en su determinación que varía desde 10 000 hasta 30 000  $\text{m}^3$  y en ocasiones mayor de 30 000  $\text{m}^3$  al mes, lo que conlleva consecuencias perjudiciales para la Mina e influyen de manera directa en el salario del trabajador, porque estos errores a veces son positivos y a veces negativos. Todos estos problemas surgen por la falta de control operativo.

La masa volumétrica se determina por el método del pozo criollo, calicata que se realiza con dimensiones de 1 x 1.5 m en el yacimiento con densidad de 10 - 12 pozos criollos por kilometro cuadrado de área de mineral en el caso de mina Moa y casi uno por bloque en la mina Ernesto Che Guevara.

El cálculo de las reservas de metal existentes en el yacimiento se realiza aplicando el contenido medio de metal al tonelaje total de las reservas de la mena, las cuales a su vez, han sido calculadas sobre la base de la masa volumétrica establecida.

### **1.5. Funciones de la Estación Total**

Vista como un teodolito, una Estación Total se compone de las mismas partes y funciones. El estacionamiento y verticalización son idénticos, aunque para la Estación Total se cuenta con niveles electrónicos que facilitan la tarea. Los tres ejes y sus errores asociados también están presentes: el de verticalidad, que con la doble compensación ve reducida su influencia sobre las lecturas horizontales, y los de colimación e inclinación, con el mismo comportamiento que un teodolito clásico, salvo que el primero puede ser corregido por software, mientras que el segundo la corrección debe realizarse por métodos mecánicos.

El instrumento realiza la medición de ángulos a partir de marcas realizadas en discos transparentes. Las lecturas de distancia se realizan mediante una onda electromagnética portadora con distintas frecuencias que rebota en un prisma ubicado en el punto y regresa, tomando el instrumento el desfase entre las ondas. Algunas Estaciones Totales presentan la capacidad de medir "a sólido", lo que significa que no es necesario un prisma reflectante.

Este instrumento permite la obtención de coordenadas de puntos respecto a un sistema local o arbitrario, como también a sistemas definidos y materializados. Para la obtención de estas coordenadas el instrumento realiza una serie de lecturas y cálculos sobre ellas y demás datos suministrados por el operador. Las lecturas que se obtienen con este instrumento son las de ángulos verticales, horizontales y distancias. Otra

particularidad de este instrumento es la posibilidad de incorporarle datos como coordenadas de puntos, códigos, correcciones de presión y temperatura, las mediciones están 2 y 5 kilómetros según la serie del instrumento.

### **1.6. Teodolito y Estaciones Totales**

Genéricamente se los denomina Estaciones Totales porque tienen la capacidad de medir ángulos, distancias y niveles, lo cual requería previamente de diversos instrumentos. Estos teodolitos electro-ópticos hace tiempo que son una realidad técnica accesible desde el punto de vista económico. Su precisión, facilidad de uso y la posibilidad de almacenar la información para descargarla después en programas de CAD ha logrado que desplacen a los teodolitos, que actualmente están en desuso.

La mayor precisión de la estación total (pocos milímetros frente a los centímetros del GPS) la hacen todavía necesaria para determinados trabajos, como la colocación de apoyos de neopreno bajo las vigas de los puentes, la colocación de vainas para hormigón potenciado, el replanteo de vías férreas, etc.

### **1.7. Comparación entre Teodolito y Estación Total**

Antes del advenimiento de la Estación Total electrónica, los topógrafos utilizaron un instrumento conocido como teodolito para medir ángulos y para calcular distancia. El teodolito emplea dos discos, uno en la vertical y uno en el plano horizontal, que se rota manualmente para fijar un ángulo. El topógrafo entonces lee el ángulo usando un microscopio minúsculo unido al lado del instrumento.

A partir de los años 1900, antes de Estaciones Totales electrónicas, los topógrafos tuvieron que utilizar un teodolito o aún un compás y una cadena para medir ángulos, y distancias. Puesto que ésta era la única tecnología disponible, y los gobiernos del estado tuvieron que crear los límites oficiales de la tierra para los negocios y los ciudadanos, las medidas tomadas por los topógrafos que usaban estos instrumentos fueron hechas oficiales en registros gubernamentales. La tecnología total de la estación ha asistido a topógrafos de varias maneras:

En primer lugar, ha eliminado error humano a un grado grande. Con un teodolito, el topógrafo debe mirar con fijeza a través de un microscopio minúsculo para ver el ángulo, y después lo anota correctamente en su libro de registro. La Estación Total registra estos datos, que el topógrafo descarga simplemente sobre su computadora cuando él vuelve a su oficina.

En segundo lugar, la Estación Total ha eliminado totalmente la necesidad de medir líneas a mano. En el pasado, los topógrafos tuvieron que utilizar la cadena para



marcar líneas, y después cuentan los acoplamientos para medir la distancia con la mayoría de la exactitud. Las cadenas no son fiables porque pueden perder acoplamientos en tránsito y se deforman en tiempo muy caliente o frío, y la meta de un topógrafo es conseguir una medida dentro de algunos centímetros. Hoy en la actualidad con las Estaciones Totales se mide grandes distancias sin la necesidad de llegar al objetivo a medir.

Los teodolitos todavía tienen un lugar en diferentes trabajos topográficos, donde se necesita solamente medir un ángulo simple, pero desde los años 70 han sido substituidos casi totalmente por la estación total electrónica. La eliminación tanto del error y del trabajo adicional hace la estación total y la tecnología del GPS los principales instrumentos de los trabajos geodésicos.

### **1.8. Empleo de las Estaciones Totales en las industrias minerías**

A continuación se muestra la relación de las industrias en las que se ha empleado las Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraída.

1. Fábrica de níquel René Ramos Latour.
2. Fábrica de níquel Ernesto Che Guevara.
3. Fábrica de níquel Pedro Soto Alba.

En las fábricas de Níquel del territorio, obras ingenieras que nos ocupa en este trabajo, se han realizado mediciones geodésicas, durante los primeros años de su puesta en marcha. En la fábrica Pedro Soto Alba los primeros trabajos topográficos en el cálculo de volumen del mineral extraído fueron realizados por los topógrafos de la compañía Bay Mining Company. Luego después del triunfo de la revolución el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC), hoy GEOCUBA, continuó los trabajos en conjunto con la Empresa de Proyectos del Níquel hasta la actualidad.

En año 2007, comienza el proyecto de expansión de la fábrica Pedro Soto Alba con el objetivo de incrementar la producción de Níquel, a partir de este proyecto los trabajos topográficos en la industria minería con la aplicación de las nuevas tecnología (Estación Total), toman auge en el territorio explotándose al máximo todos los programas internos de los instrumentos, adquiriendo los topógrafos nuevas experiencias en el cálculo de volumen del mineral extraído.

En la industria Ernesto Che Guevara los trabajos de topografía minera con la aplicación de la nueva tecnología comienzan a partir de la llegada de la primera Estación Total en el año 1999 a la Empresa de Proyectos del Níquel (CEPRONÍQUEL).

Esta Empresa de Proyectos del Níquel, pionera en la aplicación de las Estaciones Totales en el territorio se enfrentan a trabajos topográficos de grandes envergadura en diferentes estructuras de la industria, logrando explotar al máximo los diferentes programas de estos instrumentos. Al incrementarse los trabajos topográficos con la aplicación de la nueva tecnología se hace necesario elaborar un procedimiento metodológico para el empleo de Estaciones Totales para el cálculo de volumen del mineral extraído.

### **1.9. Análisis Bibliográfico**

La búsqueda bibliográfica se realizó teniendo en cuenta la materialización de los objetivos propuestos, para ello primeramente se efectuó la revisión en Internet de las páginas que abordan sobre el empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído. Se consultó los manuales de empleo de las Estaciones Totales de la marca Sokkia y Leica.

Por otro lado, se revisaron trabajos sobre el tema, desde el punto de vista teórico práctico, que aportaron resultados relevantes acerca de la creación de la red de apoyo para cálculo de volumen del mineral extraído en las industrias mineras con la aplicación de la nueva tecnología, los informes técnicos, productos de las mediciones geodésicas efectuadas en diferentes estructuras de las fábricas de níquel Pedro Soto Alba y Ernesto Che Guevara en el período Mayo 1997 hasta Diciembre 2008, así como mediciones experimentales en la red geodésica de las empresas antes mencionadas.

### **1.10. Algunas consideraciones sobre las Estaciones Totales**

Desde el surgimiento de las grandes civilizaciones, se han utilizado diferentes herramientas y útiles para las mediciones lineales y angulares. Con el paso del tiempo, las rústicas herramientas fueron evolucionando en instrumentos de medición con mejores cualidades para obtener resultados más exactos.

El término Estación Total tomó amplia difusión en el comercio de la Topografía a partir de la aparición de un único instrumento que posibilitara la medición angular y lineal. Tal vez esto se deba a que, previa a la aplicación de la electrónica en la Topografía, la tecnología imperante conducía a tratar separadamente la planimetría de la altimetría. A partir de los instrumentos mencionados, el tratamiento planimétrico y altimétrico se realiza en una única operación, seguramente fue éste el motivo de la actual denominación, sin embargo, hay autores que consideran taquímetro electrónico una denominación más apropiada.

Los instrumentos inicialmente diferían entre sí, por su precisión angular y alcance del distanciómetro (bastante reducidos comparados con los actuales), aunque no se perdía de vista la precisión lineal. De esta forma existían Estaciones Totales de 10'', 5'', 3'' y 1'', básicamente y precisiones lineales del orden de  $\pm 5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm}$ . Estos valores corresponden a precisiones en la determinación de una dirección y en la medición de distancias respectivamente, que por lo general, difieren de las resoluciones que son los

menores valores angulares o lineales que aparecen en la pantalla. Por entonces la información se leía en pantalla y se transcribía en la libreta de campo.

A partir de 1983 aparecieron las colectoras de datos, también denominadas libretas electrónicas donde se almacenaba la información medida en la Estación, se calculaban valores de replanteo o se resolvían diversos problemas topográficos, a partir de 1985 comenzaron a aparecer Estaciones Totales con capacidad para almacenar información y procesadores incluidos, que suplían a las colectoras de datos, se dio en designarlas en el mercado como Estaciones Totales inteligentes. Siguiendo con la terminología más ortodoxa, convendría identificarlas como taquímetro electrónico con registro de información y programas incorporados que es el tipo de instrumento más difundido en la actualidad y que acepta algunas variantes respecto a los siguientes aspectos:

## **1. De la memoria**

**Memoria interna:** Donde se almacenan el software del sistema y otras aplicaciones, además de la información de los datos de las mediciones, que se envía en forma bidireccional, hacia y desde la computadora, mediante un cable de transmisión.

**Memoria removible o externa:** Para almacenar el software del sistema o las aplicaciones, además de la información de los datos de las mediciones, que se envía en forma bidireccional desde y hacia la computadora, ya sea en un elemento de memoria estándar (tarjetas PCMCIA con capacidades desde 512 kilobytes hasta 4 megabytes o teclados removibles de mayor costo y volumen).

## **2. De los programas**

Un número de programas fijos para la Estación (que sólo puede variar con la aparición de otra versión del software).

Programas intercambiables por el usuario, de manera de reemplazar los programas estándar, que traen incorporadas las Estaciones Totales, por otros de la biblioteca de programas del fabricante. Generalmente esta categoría permite al usuario mediante programa personalizado, editar sus propios programas y cargarlos en la estación.

Existen Estaciones servos asistidos o motorizados, las Estaciones clásicas y hasta la fecha de mayor difusión, son las Estaciones Manuales, (mal denominadas mecánicas), esto significa simplemente que los movimientos del círculo horizontal y vertical se realizan manipulándola con la ayuda de los tornillos de fijación o pequeños movimientos.

La técnica de medición de distancias en las Estaciones Totales Electrónicas está basada en el cronometraje de alta precisión. El tiempo es la magnitud de la física moderna, que más precisamente se puede definir y reproducir. En la medición de distancias se determina, mediante oscilaciones de cristal de cuarzo, el tiempo que necesita un impulso de luz entre dos puntos. Este rayo de luz infrarroja invisible,

recorre en un segundo aproximadamente 300 000 kilómetros. El trayecto de ida y vuelta de una distancia 1500 metros, lo hace en nada menos que en una cienmilésima de segundo (0,000 001 s). La temperatura, humedad del aire y la intensidad luminosa, influyen en el tiempo de recorrido del impulso de la luz. Por ello, teniendo en cuenta estos parámetros, la Estación Total electrónica de Leica realiza automáticamente en un plazo de 1-2 segundos, cientos de estas mediciones a la vez. Sobre esta base, se calcula la distancia exacta. Con la mejora continua en la precisión de los relojes de cuarzo, los errores en las mediciones de las distancias con Estaciones Totales Electrónicas cada día se hacen más pequeños y hasta el momento existen Estaciones Totales Electrónicas capaces de obtener ángulos con errores inferiores a 0,5'' y precisiones lineales del orden de  $\pm 1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ .

La tendencia actual es la de introducir las Estaciones Totales Electrónicas para trabajos de campo, este medio posee las características de almacenar gran cantidad de datos y de colectarlas de forma rápida, dinámica y precisa, contiene programas de tareas geodésicas y topográficas de todo tipo, se realizan nivelaciones trigonométricas con una precisión similar a la diferencial o geométrica, pueden transferir coordenadas y alturas de puntos, así como, acopiar las diferentes características de los elementos simbólicos cartográficos mediante códigos y otros parámetros que tradicionalmente solo podían hacerse mediante anotaciones en las libretas de campo, con el tedioso y largo proceso de gabinete, existiendo la omisión de elementos, errores o equivocaciones humanas en el pase de los datos. Convirtiéndose en los equipos de campo más solicitados y usados en la actualidad.

Las mayores razones por las cuales las Estaciones Totales Electrónicas han ganado en confianza y popularidad son:

1. Es un instrumento totalmente electrónico, las mediciones y lecturas de los ángulos así como el almacenamiento de los resultados, se hacen de forma electrónica, evitando se cometan errores de campo a gabinete.
2. Se puede medir una distancia con un error promedio de  $\pm 1 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$  y medirse un ángulo con precisión de 1 segundo sexagesimal.
3. Aumento considerable de la productividad del trabajo, por ejemplo, la composición laboral de una comisión de campo tradicional es de 4-5 hombres mientras que con las Estaciones Totales Electrónicas se puede reducir de 2-3 en dependencia del tipo de trabajo, ya que en lugares donde los contornos están muy cercanos unos de otros, la medición y toma de los datos es tan rápida, que un tercer hombre estaría inutilizado, resultando un ahorro significativo en horas-hombres.

Estas tecnologías traen consigo la necesidad de una mayor preparación de los operarios, ya que es mucho mayor la rigurosidad en el cuidado, mantenimiento y explotación en este tipo de equipo que los tradicionales, ellos deben dominar, además de los conocimientos técnicos tradicionales, el uso de las fuentes de alimentación,

carga de baterías, tarjetas especiales de memoria de datos, almacenamiento y vías de transmisión de datos así como, el uso y explotación de los diferentes software de medición y sus combinaciones, y los software de transmisión, procesamiento de datos y dibujo.

### **1.11. Conclusiones Parciales**

1. Teniendo en cuenta lo expuesto en este capítulo y conociendo los aspectos fundamentales del problema a tratar en dicho trabajo, nos planteamos como objetivo fundamental elaborar un procedimiento metodológico para el empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.
2. Las Estaciones Totales significan una tecnología altamente ventajosa, donde un instrumento totalmente electrónico evita que se cometan errores de colecta, manipulación, cálculo y procesamiento de los datos, con alta precisión y aumento considerable de la productividad.
3. Desde la introducción de las Estaciones Totales en la Zona Niquelífera, ha existido una constante aplicación de sus posibilidades en todos los campos de la geodesia, geodesia aplicada y la topografía.

## **CAPÍTULO II**

### **DENSIFICACIÓN DE REDES GEODÉSICAS CON EL EMPLEO DE ESTACIONES TOTALES EN LA CREACIÓN DE LA RED DE APOYO PARA EL CÁLCULO DE VOLUMEN DEL MINERAL EXTRAÍDO.**

#### **2.1. Breve caracterización físico geográfica de la zona**

El área de estudio se encuentra enmarcada dentro del municipio Moa, el cual se ubica hacia el Noroeste de la provincia Holguín, limitando al Norte con el Océano Atlántico, al Sur con el municipio de Yateras, por el Este con el municipio de Baracoa, y al Oeste con los municipios Sagua de Tánamo y Frank País. Ver anexo (1).

El relieve predominante es montañoso, principalmente hacia el Sur, donde es más accidentado en la Sierra de Moa, la vegetación está compuesta fundamentalmente por Latifolias. Económicamente, la región está dentro de las más industrializadas del país, cuenta con grandes riquezas minerales.

#### **2.2. Sistema geodésico empleado**

El sistema geodésico empleado para la realización de los experimentos en este trabajo de diploma es la red geodésica estatal establecida por la empresa Geocuba Holguín a partir de 1986, densificada en toda el área y perímetro de la fábrica de Níquel Ernesto Che Guevara, ver anexo (2). Las coordenadas de estos puntos se obtuvieron mediante la utilización de los métodos geodésicos de triangulación y poligonometría, cumpliendo los requisitos técnicos según las instrucciones técnicas vigentes.

Posteriormente chequeada y comprobadas las coordenadas de los puntos de apoyo, nos dimos la tarea de la determinación de las coordenadas planimétrica y altimétrica de las Estaciones seleccionadas para los experimentos, aplicando los diferentes programas internos de las Estaciones Totales Sokkia Set 3X.

#### **2.3. Realización de los experimentos para la construcción de redes geodésicas en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído**

Se realizaron mediciones experimentales empleando la Estación Total Sokkia serie Set 3x, en la base geodésica de la planta de níquel Ernesto Che Guevara con el objetivo de evaluar la exactitud de las mediciones en los diferentes programas internos de la Estación Total, destinados a la densificación de redes y lograr así obtener un procedimiento metodológico que detallara los principales parámetros técnicos a emplear por el grupo de topografía de Ceproniquel en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.

## 2.4. Programas internos utilizados en la densificación de redes de apoyo

En este trabajo de diploma se utilizaron los programas internos de la Estación Total Sokkia serie Set 3x de manera tal que la metodología se aplicable a las diferentes series de Estaciones Totales considerando que los fabricantes contemplen los programas con otro nombre, tabla (2.1).

Tabla 2.1. Programas internos de la estación.

N°	Programas de la Estación Total.
1	Intersecciones.
2	Trisección inversa.
3	Serie de observaciones.
4	Poligonales.
5	Compensación de poligonales.

### 2.4.1. Programa intersecciones

El programa intersección conocido como intersección directa calcula las coordenadas del punto utilizando los acimutes y las distancias, la intersección que se forma es directa por acimut, el programa permite calcular las siguientes intersecciones:

1. Dos acimutes.
2. Acimut y distancia.
3. Dos distancias.

Se midieron dos intersecciones de la red geodésica de la planta Ernesto Che Guevara, mediciones experimentales intersección (1 y 2), ver anexos (3 y 4), en cada intersección se calcularon cinco coordenadas al instante de la medición sobre coordenadas conocidas del punto a determinar teniendo en cuenta los parámetros meteorológicos, se utilizó el intercambio obligado de centrado para eliminar los errores por este concepto, el resultado de los cálculos para evaluar los programas de la estación total se obtienen mediante las fórmulas (2.1, 2.2, 2.3, 2.4). Los valores residuales (m) se determinan a partir de las diferencias de los valores de las coordenadas obtenidas con la Estación Total en el año 2010 y las coordenadas calculadas con los instrumentos tradicionales en el año 1986 mediante la fórmula:

$$m = \text{Lim} - \text{Lo} \quad (2.1)$$

Donde:

m: Valores residuales.

Lim: Coordenadas obtenidas en el año 2010.

Lo: Coordenadas calculada del año 1986.

El valor de la media aritmética (Li) se obtiene por la formula:

$$Li = Lo + \frac{\sum m}{n} \quad (2.2)$$

Donde:

Li: Es el valor de la media aritmética.

Lo: Coordenadas calculada del año 1986.

$\sum m$ : Sumatoria de los valores residuales de las coordenadas obtenidas.

n: Es la cantidad de coordenadas obtenidas en el año 2010.

Los errores residuales (V), se calculan por la fórmula:

$$V = Li - Lim \quad (2.3)$$

Donde:

V: Los errores residuales.

Li: Es el valor de la media aritmética.

Lim: Coordenadas obtenidas en el año 2010.

Para la comprobación del error medio cuadrático ( $\mu$ ) se calcula por la siguiente fórmula:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} \quad (2.4)$$

Las mediciones de las intersecciones se realizaron directamente en el terreno, la Estación Total permite calcular las coordenadas del punto al instante de la medición, a partir de obtener directamente en pantalla los acimutes y las distancias, para la determinación de las coordenadas del punto se utilizaron dos acimutes y dos distancias, anexos (3 y 4).

En la determinación de las coordenadas del punto 4-22<sup>a</sup> se partió de los puntos bases de 4to orden Pedro y Che, ver croquis en los anexos (3 y 4). Se realizaron cinco series de mediciones de acimut y distancia a un intervalo de tiempo de 3 a 5 minutos entre medición; Posteriormente se procedió determinar las coordenadas de la estación 4-41A, con el mismo principio de la determinación de las coordenadas de la estación anterior, pero a partir de los monumentos de orden superior Nelson y Roja.

Como se puede apreciar en los resultados de los anexos (5 y 6), el error medio cuadrático entre las coordenadas del año 1986 y las coordenadas obtenidas con la Estación Total en el año 2010 no supera los  $\pm 0.003$  m considerando los parámetros meteorológicos, se comprueba que las mediciones se ejecutaron con buena calidad. En



los anexos (7 y 8) se refleja los resultados de las incertidumbres entre las coordenadas del año 1986 y las coordenadas obtenidas en el año 2010.

Donde:

Hora (i): Hora de inicio de las mediciones.

Hora (t): Hora de terminación de mediciones.

Temp (i): Temperatura de inicio de las mediciones.

Temp (t): Temperatura de terminación de las mediciones.

#### **2.4.2. Programa trisección inversa ó (Estación libre)**

El programa trisección inversa calcula las coordenadas de una estación desconocida o libre mediante las observación de una serie de posiciones conocidas desde el punto desconocido. Las observaciones se hacen mediante el programa de toma de series del menú (programa), las series pueden tomarse antes de llevar a cabo una trisección inversa. La Estación Total realiza una reducción por mínimos cuadrados por lo que se utilizan todos los datos, entre mayor cantidad de series de mediciones el instrumento calcula las coordenadas del punto con mayor exactitud. La trisección inversa requiere de un mínimo de:

1. Dos observaciones con ángulos horizontales y verticales, incluyendo al menos una distancia geométrica.
2. Tres observaciones angulares.

Para evaluar los resultados de la determinación de las coordenadas mediante el uso de este programa, se realizaron dos trisecciones inversas, en cada trisección se midieron cinco series de mediciones, las mediciones y los resultados experimentales se observan en los anexos (9, 10, 11y 12).

En la determinación de las coordenadas del punto 4-17A, se midieron hacia los tres puntos de 4to orden, Betty, Rene y Carlos, (ver anexo 9), se realizaron las observaciones según el Manual del usuario de Sokkia, en cada serie de observación, se midieron tres acimutes y tres distancias con el objetivo de evaluar la precisión. Las coordenadas obtenidas en el punto 4-7A se determinaron con el mismo principio de medición, a los puntos Tito, Leo y Juan, ver anexo (10).

Los resultados de los anexos (11 y 12) demuestran que para distancias menores de 250 m los errores obtenidos en la determinación de las coordenadas son insignificantes. Las incertidumbres obtenidas entre las coordenadas de los puntos del año 1986 y las coordenadas del año 2010 se reflejan en los anexos 13 y 14.

#### **2.4.3. Programa serie de observaciones**

La Estación Total proporciona un método estructurado para recoger series múltiples de observaciones desde una estación. Promedia series de observaciones tomadas en cara 1 y cara 2 (limbo izquierdo y limbo derecho) y también promedia series de observaciones. Los resultados pueden usarse para cálculos de poligonales o trisección inversa.

El programa proporciona un mecanismo para la toma estructurada de observaciones mediante una serie de parámetros. La toma de series puede hacerse de manera totalmente libre o ser conducida a través de parámetros y puntos previamente introducidos.

Para evaluar la precisión del programa serie de observaciones se realizaron dos mediciones experimentales, utilizando el método de densificación poligonométrico, ver figuras (2.1 y 2.2) y anexos (15 y 16). En cada experimento se midieron tres series de observaciones angulares, cinco distancias y cinco desniveles desde una misma estación. Se consideraron los parámetros meteorológicos, como resultado final la estación promedio las series de observación de cada estación.

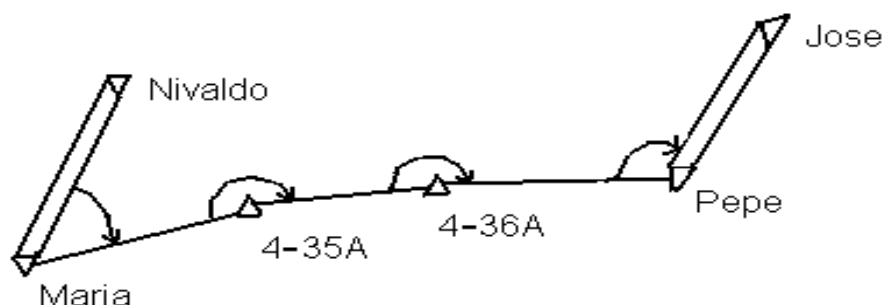


Figura 2.1 Esquema de la poligonal (1).



Figura 2.2 Esquema de la poligonal (2).

#### 2.4.4. Poligonales

Para evaluar el método de densificación por poligonales mediante el uso de la estación total se realizaron dos poligonales experimentales de enlace orientada en su dos extremos, tomando como vértices monumentos con coordenadas conocidas, para el cálculo se utilizaron los datos de los anexos (15 y 16) obtenidos del programa serie de observaciones.

Las mediciones experimentales para cada poligonal se ejecutaron utilizando el método de medición de ángulo circular para tres posiciones, se midieron cinco distancias y cinco desniveles con el objetivo de determinar el valor más probable. Los ángulos obtenidos en las tres posiciones no sobrepasan los  $\pm 2''$ , el error medio cuadrático ( $\mu$ ) para cada punto, entre las coordenadas obtenida por cada año son menores a 0.003 m, estos resultados se reflejan en los anexos (17 y 18).

Las incertidumbres de las coordenadas obtenidas en el año 1986 y las coordenadas del año 2010 se reflejan en los anexos (19, 20, 21 y 22).

Para el experimento (1) se partió de los monumentos de 4to orden Maria y Nivaldo utilizando la centración forzada, determinamos los ángulos y las distancias a los puntos 4-35A Y 4-36A, cerrando la poligonal a los puntos Pepe y José. Posteriormente realizamos las mismas secuencias de mediciones para los puntos 4-9A y 4-5A en el experimento (2) desde los puntos Tito y Raúl cerrando la poligonal en los monumentos Martha y Jorge.

#### 2.4.5. Compensación de poligonales

El programa compensación de poligonal permite especificar una secuencia de estaciones a través de la que se calcula, y opcionalmente se ajusta una poligonal. Para evaluar los resultados del programa, se ajustaron las dos poligonales realizadas en el año 1986 con instrumentos tradicionales y las poligonales medidas con Estación Total en el año 2010, los resultados de las compensaciones se muestran en las tablas (2.1 y 2.2).

Los resultados de las tablas (2.1 y 2.2) demuestran los siguientes aspectos:

1. El error angular obtenido en el año 2010 es menor que el obtenido en 1986.
2. El error lineal en (X) en año 2010 es inferior al del año 1986.
3. El error lineal en (Y) en año 2010 es menor al del año 1986.
4. El error lineal total obtenido en el año 2010 es menor que el obtenido en 1986.
5. E error relativo en el año 2010 es inferior al del año 1986.

Tabla 2.1. Resultados de la compensación año 1986.

Nº	Poligonal (1).	Poligonal (2).
1	Error Angular Obtenido= 00° 00' 15"	Error Angular Obtenido= 00° 00' 12"
2	Error Angular Permisible= 00° 00' 20"	Error Angular Permisible= 00° 00' 20"
3	Error Lineal Total= 0. 03293m	Error Lineal Total= 0.01266m
4	Error Lineal en X= -0.01499m	Error Lineal en X= -0.01163m
5	Error Lineal en Y= 0.02932m	Error Lineal en Y= 0.00500m

6	Error Lineal Relativo= 1/14504.29	Error Lineal Relativo= 1/34198.29
7	Error Lineal Admisible= 1/10000	Error Lineal Admisible= 1/10000
8	Perímetro de la Poligonal= 477.65m	Perímetro de la Poligonal= 432.86m

Tabla 2.2. Resultados de la compensación año 2010.

Nº	Poligonal (1).	Poligonal (2).
1	Error Angular Obtenido= 00° 00' 10"	Error Angular Obtenido= 00° 00' 06"
2	Error Angular Permisible= 00° 00' 20"	Error Angular Permisible= 00° 00' 20"
3	Error Lineal Total= 0. 01205m	Error Lineal Total= 0.00668m
4	Error Lineal en X= -0.00419m	Error Lineal en X= -0.00076
5	Error Lineal en Y= 0.01129m	Error Lineal en Y= 0.00664m
6	Error Lineal Relativo= 1/39647.14	Error Lineal Relativo= 1/64755.04
7	Error Lineal Admisible= 1/10000	Error Lineal Admisible= 1/10000
8	Perímetro de la Poligonal= 477.65m	Perímetro de la Poligonal= 432.85m

#### 2.4.5.1. Compensación lineal (X, Y)

El programa tiene disponible dos métodos de ajuste de coordenadas, la norma Compas (o Bowditch) y la norma Transit.

La norma Compas o (Prop. Log de ejes) distribuye el error de las coordenadas proporcionalmente a las longitudes de los tramos según las fórmulas (2.5).

$$\text{Ajuste en (Y)} = \frac{L}{TL} \times \text{cierre en (Y)} \quad \text{Ajuste en (X)} = \frac{L}{TL} \times \text{cierre en (X)} \quad (2.5)$$

Donde:

L: Longitud del tramo.

TL: Suma de la longitud de los tramos.

La norma Transit distribuye el error de las coordenadas proporcionalmente a los incrementos de las propias coordenadas (Y, X) de cada tramo ver formulas (2.6).

$$\text{Ajuste en (Y)} = \frac{\Delta N}{\sum / \Delta N /} \times \text{cierre en (Y)}; \quad \text{Ajuste en (X)} = \frac{\Delta E}{\sum / \Delta E /} \times \text{cierre en (X)} \quad -- (2.6)$$

Donde:

$\Delta N$ : Incremento de coordenadas en (Y) para el tramo.

$\Delta E$ : Incrementos de coordenadas en (X) para el tramo.

#### 2.4.5.2. Compensación angular

Para el ajuste angular hay tres opciones disponible: proporcional, lineal, ninguno.

**Proporcional:** El cierre angular se distribuye entre los ángulos de la ruta de la poligonal basándose en la suma de las inversas de las longitudes de los tramos hacia delante y hacia atrás a cada punto. Los tramos de los puntos de referencia y punto siguiente se consideran de longitud infinita a efectos de este cálculo.

**Lineal:** El cierre angular se distribuye por igual entre todos los ángulos de la ruta de la poligonal.

**Ninguno:** No se lleva a cabo ningún ajuste angular.

### 2.5. Evaluación de los resultados obtenidos

#### 2.5.1. Programa intersecciones

Una vez realizadas las dos mediciones experimentales utilizando el método geodésico intersecciones en los puntos con coordenadas conocidas de la base geodésica de la planta de Níquel Ernesto Che Guevara, los resultados de las coordenadas obtenidas están dentro de los parámetros técnicos para la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído. Las diferencias en las coordenadas de los puntos con coordenadas conocidas del año 1986 y las coordenadas obtenidas en el año 2010 son de  $\pm 0.003$  m en un rango de 500 m de distancia desde el punto a determinar y la base, los parámetros meteorológicos no influyen sobre las mediciones.

#### 2.5.2. Programa trisección inversa ó (Estación Libre)

En los dos experimentos con la utilización de este programa se determina que los parámetros meteorológicos en diferentes horas y días de la medición no determinan errores en la medición, los errores en las coordenadas son insignificantes para un rango de 250 m de distancia, las coordenadas son determinadas con exactitud para diferentes posiciones del punto a determinar.

### **2.5.3. Serie de observaciones**

Los experimentos desarrollados para evaluar el resultado del programa serie de observaciones son positivos, los errores son despreciables.

### **2.5.4. Poligonales**

Los resultados de los dos experimentos mediante el uso del programa poligonal son evaluados de satisfactorios, las mediciones no excedieron  $\pm 2''$  angularmente en las tres posiciones, el error entre las cinco distancias y los cinco desniveles estuvo dentro del rango de  $\pm 0.003$  m.

### **2.5.5. Compensación de poligonales**

El resultado de los experimentos demuestra la precisión que el programa calcula y reduce los errores permisibles en la compensación de cada poligonal.

## **2.6. Conclusiones Parciales**

1. Las coordenadas obtenidas mediante el programa o método de densificación geodésico intersección, se determinaron con buena precisión para la densificación de redes geodésicas en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.
2. Los parámetros meteorológicos no influyen sobre las mediciones en ninguno de los métodos geodésicos.
3. Las coordenadas obtenidas mediante el programa o método de densificación geodésico trisección inversa se determinaron con buena precisión para la densificación de redes geodésicas en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.
4. El programa serie de observación permite atenuar los posibles errores del instrumentista.
5. Las coordenadas obtenidas mediante el programa o método de densificación geodésico poligonales se determinaron con buena precisión para la densificación de redes geodésicas en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.
6. El programa compensación de poligonales nos facilita la rapidez en el cálculo de las coordenadas de los puntos.

## CAPÍTULO III

### PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA EL EMPLEO DE ESTACIONES TOTALES EN LA CREACIÓN DE LA RED DE APOYO PARA EL CÁLCULO DE VOLUMEN DEL MINERAL EXTRAÍDO

#### 3.1. Objetivo y alcance

El objetivo de este capítulo es, establecer un procedimiento metodológico para el empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.

El procedimiento metodológico está referido a los instrumentos adquiridos por la empresa de proyectos del Níquel (Ceproniquel), a la firma SOKKIA, para la serie Set 3x y Set 3010, su empleo presupone conocimientos previos sobre Estaciones Totales Electrónicas y el uso de sus manuales de usuarios.

#### 3.2. Términos y definiciones

**RHGE:** Red Hidrográfica y Geodésica Estatal.

**DEM:** (Distance Electronics Measuring) Medición Electrónica de Distancia.

**Estación Total Electrónica:** Taquímetro electrónico que ejecuta de forma automática las mediciones angulares y lineales, con registro de la información y programas de trabajo incorporados.

**Memoria interna:** Dispositivo instalado dentro del instrumento, donde se almacena la información para ser enviada en forma bidireccional hacia y desde la computadora, mediante un cable de transmisión.

**Memoria removable:** Dispositivo magnético, donde se almacena la información para ser enviada en forma bidireccional hacia y desde la computadora, ya sea en un elemento de memoria estándar (Tarjeta PCMCIA de diferentes capacidades) o teclados removibles de mayor costo y volumen.

**N.M.M:** Nivel medio del mar.

**ppm:** Partes por millón.

**EMC:** Error medio cuadrático.

### 3.3. Requisitos técnicos principales

El primer requisito técnico que debe de tenerse en cuenta para la realización de cualquier medición o trabajo es, que todo instrumento a utilizar, debe estar calibrado y certificado como apto para el uso por los laboratorios meteorológicos correspondientes al grupo empresarial Geocuba y deben de garantizar los parámetros mínimos establecidos en las tablas (3.1 y 3.2).

En el anexo (23) se relacionan los instrumentos y accesorios para una comisión de trabajo.

Tabla 3.1. Principales requisitos técnicos Estación Total Sokkia Set 3010.

No.	Set 3010	Parámetros
1	Error en la medida de un ángulo horizontal.	2"
2	Sensibilidad del nivel electrónico.	5"
3	Desviación estándar en la medición de un ángulo horizontal o vertical.	0,4"
4	Desviación estándar en la medición de una distancia.	0,0010 m.
5	Error en la medida normal de una distancia.	2 mm + 2 ppm
7	Alcance máximo con un solo prisma en condiciones desfavorables.	Hasta 1500 m.

Tabla 3.2. Principales requisitos técnicos Estación Total Sokkia Set 3x.

No.	Set 3x	Parámetros
1	Error en la medida de un ángulo horizontal.	2"
2	Sensibilidad del nivel electrónico.	2"
3	Desviación estándar en la medición de un ángulo horizontal o vertical.	0,4"
4	Desviación estándar en la medición de una distancia.	0,0005 m.
5	Error en la medida normal de una distancia.	2 mm + 3 ppm
7	Alcance máximo con un solo prisma en condiciones desfavorables.	Hasta 1500 m.



### 3.4. Requisitos técnicos en la densificación de redes geodésicas con el empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído

#### 3.4.1. Requisitos técnicos programa intersección

Según los resultados de las mediciones experimentales realizadas en el **capítulo II** mediante la utilización del programa intersección (método de densificación intersección), se determinan los siguientes requisitos técnicos en el empleo de Estaciones Totales en la creación de red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído, ver tabla (3.3).

Tabla 3.3. Requisitos técnicos programa intersección.

Nº	Parámetros.	1ra Categoría.
1	Longitud de los lados. • Máximo.	1000m.
2	EMC en la medición de los acimutes.	$\pm 3''$
3	EMC en la medición de las distancias.	$\pm 3\text{mm}$
4	EMC en la posición del punto.	$\pm 3\text{mm}$
5	EMC en la medición de los desniveles.	$\pm 3\text{mm}$
6	EMC en el cierre al horizonte.	$\pm 3''$
7	Serie de mediciones angular.	3
8	Serie de mediciones de distancias.	3
9	Cantidad de punto a medir.	5
10	Distancias entre puntos de la base.	$\geq 500\text{m}$

En la toma de las mediciones se utilizara la misma altura de la señal, constante del prisma, realizar los estacionados mediante centración forzada, utilizar radios de comunicación.

#### 3.4.2. Requisitos técnicos programa trisección inversa

Los requisitos técnicas mediante el uso del programa trisección inversa son los mismo requisitos del programa intersección, tabla (3.4), el programa calcula las coordenadas del punto con dos o tres puntos base.

Tabla 3.4. Requisitos técnicos programa trisección inversa.

Nº	Parámetros.	1ra Categoría.
1	Longitud de los lados. • Máximo.	1000m.
2	EMC en la medición de los ángulos.	$\pm 3''$
3	EMC en la medición de los acimutes.	$\pm 3''$
3	EMC en la medición de las distancias.	$\pm 3\text{mm}$
4	EMC en la medición del punto.	$\pm 3\text{mm}$
5	EMC en la medición de los desniveles.	$\pm 3\text{mm}$
6	EMC en el cierre al horizonte.	$\pm 3''$
7	Serie de mediciones angular.	3
8	Serie de mediciones de distancias.	3
9	Cantidad de punto a medir.	5
10	Distancias entre puntos de la base.	$\geq 500\text{m}$

Cuando se lleva a cabo el cálculo de la trisección inversa, asegurarse de que la geometría de las observaciones, produce un resultado estable. Por ejemplo, en una trisección inversa de dos distancias, el resultado será inestable si el ángulo entre las observaciones está cerca de los  $180^\circ$ . De manera similar, en una trisección inversa de tres puntos, un resultado no fiable se dará si los tres puntos y el instrumento están en círculo.

### 3.4.3. Requisitos técnicos programa serie de observaciones.

Tabla 3.5. Requisitos técnicos programa serie de observaciones.

Nº	Parámetros.	1ra Categoría.
1	EMC en la medición de los ángulos.	$\pm 3''$
2	EMC en la medición de los acimutes.	$\pm 3''$
3	EMC en la medición de las distancias.	$\pm 3\text{mm}$
4	EMC en la medición del punto.	$\pm 3\text{mm}$
5	EMC en la medición de los desniveles.	$\pm 3\text{mm}$
6	EMC en el cierre al horizonte.	$\pm 3''$
7	Serie de mediciones angular.	3
8	Serie de mediciones de distancias.	3
10	Orden de la cara (limbo).	F1/F2
11	Numero de serie.	F1

12	Orden de observación.	123.....123
13	Cierre inicial.	Si
14	Preentrada de puntos.	Si
15	Revisión de series.	Si

Se debe de introducir al instrumento el orden y la cantidad de mediciones antes de realizar el trabajo.

#### 3.4.4. Requisitos técnicos poligonales

La tabla (3.6) refleja los requisitos técnicos a cumplir en la densificación de las redes de apoyo mediante el uso del método de densificación poligonométrico. Estos requisitos son evaluados según resultados de las mediciones experimentales con el empleo de Estaciones Totales.

Tabla 3.6. Requisitos técnicos poligonales.

Nº	Parámetros.	1ra Categoría.
1	Longitud máxima de la poligonal. <ul style="list-style-type: none"> <li>• De enlace</li> <li>• Entre punto inicial y punto nudo.</li> <li>• Entre puntos nudos.</li> </ul>	3000m. 1500m. 1000m.
2	Longitud de los lados. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Máximo.</li> </ul>	1000m.
3	EMC en la medición de los ángulos.	± 3"
4	EMC en la medición de las distancias.	± 3mm
5	EMC en la posición del punto.	± 3mm
6	EMC en la medición de los desniveles.	± 3mm
7	EMC en el cierre al horizonte.	± 3"
8	Serie de mediciones angular.	3
9	Serie de mediciones de distancias.	3
10	Cantidad de punto a medir.	5
11	Distancias entre puntos de la base.	500m
13	Número de máximo de vértices.	20
14	Número de mínimo de vértices.	2
15	Error relativo.	1/10 000
16	Error de cierre angular.	$10''\sqrt{n}$

### **3.4.5. Requisitos técnicos compensación de poligonales**

Antes de compensar la poligonal se debe de tener en cuenta los siguientes requisitos técnicos:

1. Especificar la secuencia de los estacionados.
2. Especificar el orden de la ruta de la poligonal.
3. Realizar las observaciones desde todas las estaciones con toma de series.
4. No repetirse las nomenclaturas de las estaciones.
5. Introducir correctamente los datos de las estaciones.
6. Definir la precisión de la poligonal.
7. Definir el método de ajuste de las coordenadas.
8. Seleccionar el método de ajuste angular.
9. Calcular la compensación de la poligonal después de introducir y rectificar los datos.

### **3.5. Contenido del proceso tecnológico**

El proceso tecnológico para el empleo de Estaciones Totales la creación de red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído consta de las etapas siguientes.

1. Reconocimiento y selección de la base plano-altimétrica de apoyo.
2. Determinación de coordenadas y alturas de los puntos de la red de apoyo.
3. Trabajos de preparación y organización.
4. Definición de las misiones de trabajo.
5. Control de la calidad.
6. Cuidado y almacenamiento de los equipos de medición.
7. Confección del Informe Técnico.
8. Trabajos de Archivo.

### **3.5.1. Reconocimiento y selección de la base planimétrica y altimétrica de apoyo**

Tiene como propósito seleccionar los puntos de la RHGE que servirán como apoyo al trabajo y para la determinación de las coordenadas de los puntos de densificación plano-altimétrica. Se priorizarán puntos de la RHGE de orden superior al 4to Orden, así como estaciones planimétricas cuyas alturas se hayan determinado por nivelación geométrica.

Se analizarán los trabajos anteriormente realizados, por si existiera base de apoyo de 1ra y 2da categoría que pueden servir para la creación de red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.

Debe verificarse que los datos de los puntos de la RHGE estén en los archivos correspondientes y en un mismo sistema de coordenadas planas rectangulares y en caso de las zonas existan varios sistemas de coordenadas, debe escogerse el sistema que prevalece en la zona de trabajo o realizar las transformaciones de un sistema al otro aplicando los diferentes hardware de transformación.

Los puntos de apoyo deben de cumplir los requisitos técnicos según instrucciones vigentes.

### **3.5.2. Determinación de las coordenadas de los puntos de la red de apoyo**

Ante la realización de los trabajos, es necesario la introducción correcta de los datos de los puntos de la RHGE en los ficheros de trabajo y velar porque los mismos no se encuentren repetidos o que existan dos puntos con la misma nomenclatura, pero ubicados en distintos lugares y por lo tanto tienen diferentes coordenadas que puede traer desviaciones fatales en la orientación.

Las coordenadas de los puntos de la red de apoyo, se pueden determinar por cualesquiera de los programas de medición que poseen las Estaciones Totales Sokkia, se recomienda utilizar el programa más adecuado de acuerdo a la disposición de los puntos de la RHGE, pudiéndose utilizar el programa intersección, trisección inversa, serie de observaciones, poligonales, compensación de poligonales u otros según convenga, estos programas fueron evaluados sus precisiones en el **capítulo II**.

### **3.5.3. Trabajos de preparación y organización**

Ante todo y como explicábamos al inicio, se deben de tener todos los certificados de calibración del instrumento y de los accesorios de medición. Se debe chequear el completamiento de todo el equipamiento y accesorio de trabajo, los cuales se reflejan en el anexo (23).

Con vistas a asegurar un trabajo ininterrumpido, se debe garantizar que las baterías de alimentación del instrumento y de los radios de comunicación, se encuentren a plena capacidad de carga, el tiempo de carga garantizará una capacidad de trabajo de tres a cuatros horas por encima de la jornada laboral de 8 horas, o sea de 11 a 12 horas de capacidad de trabajo.

Cualquier interrupción de la jornada laboral que se produzca por insuficiencia en la alimentación del equipo o las comunicaciones, pueden ser más costosa que el valor de los medios antes mencionados.

La tarjeta de memoria interna o removible, debe garantizar la suficiente capacidad para acumular el total de mediciones por jornada laboral, por lo que el operario del instrumento, debe velar que la acumulación de mediciones por ficheros de trabajo no sobrepasen esta cifra y de esta manera, evitar problemas en la descarga de dichos datos a la PC, así como evitar interrupciones de la jornada laboral por insuficiente capacidad de memoria, debiendo descargar los datos sistemáticamente.

La introducción de las coordenadas y alturas de los puntos de la RHGE o de apoyo existentes en la zona del proyecto, se realizará cuidadosamente y una vez introducidos en la memoria, deben de verificarse con la ayuda de una segunda persona integrante del equipo de trabajo o del responsable de calidad del departamento.

El proceso de preparación para el empleo de Estaciones Totales en la creación de red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído consta de las etapas siguientes:

1. Control y ajuste de los errores mecánicos.
2. Principales advertencias y precauciones de seguridad.
3. Configuración del equipo.
4. Orientación del equipo.
5. Determinación de las alturas de bastones y señales.

#### **3.5.3.1. Control y ajuste de los errores mecánicos**

Estos errores se comprobarán ante efectuar cualquier trabajo de verificación en el instrumento y los mismos deben de realizarse sistemáticamente o cuando sufran una caída o golpe accidental.

1. Errores por deformaciones del trípode.
2. Ajuste del nivel esférico.
3. Ajuste de la base nivelante.
4. Ajuste de la plomada óptica y láser.
5. Ajuste del bastón porta-prisma.

❖ Las Estaciones Totales Electrónicas tienen los siguientes errores electrónicos:

1. Error de colimación del compensador de dos ejes.
2. Error de índice del círculo vertical.
3. Error de colimación horizontal.
4. Error de perpendicularidad o eje de muñones.

Estos errores pueden variar a lo largo del tiempo y en función de la temperatura. Por eso se recomienda efectuarlas en el orden arriba indicado y en los momentos siguientes:

1. Antes de utilizarlos por primera vez.
2. Antes de efectuar mediciones de precisión.
3. Después de un transporte prolongado.
4. Después de un período de trabajo prolongado.
5. Cuando exista diferencias de temperaturas superiores a 10 °C.
6. Cuando corresponda según los documentos normalizativos para las verificaciones del distanciómetros.

Cuando estos errores no pueden ser corregidos o eliminados, se debe a un desperfecto en el funcionamiento interno y por lo tanto es necesario llevarlo de inmediato a los servicios técnicos de Sokkia.

### **3.5.3.2. Principales advertencias y precauciones de seguridad**

Para un seguro de la Estación Total y la prevención de lesiones a los usuarios u otras personas, es necesario analizar y señalar las advertencias y precauciones de la zona que cubra cada punto de estacionado del instrumento, ya que cada lugar, posee características diferentes que pueden causar daños a personas u objetos y los mismos deben de contemplarse de forma general en los proyectos Técnico General y Ejecutivo.

❖ Las advertencias y precauciones de seguridad más importantes son:

#### **Advertencias:**

1. No utilizar el instrumento sin instrucción previa del usuario.

2. No use el instrumento en zonas expuesta a grandes cantidades de polvo o ceniza, en lugares que no haya ventilación adecuada ni cerca de materiales inflamables.
3. No apuntar directamente al sol.
4. Cuando coloque el instrumento en la maleta de transporte, asegúrese que todos los cierres, incluidos los laterales, están cerrado.
5. No desensamble, reconstruya, mutile, incinere, caliente o cortocircuito la batería y el cargador.
6. No emplee un voltaje diferente al indicado.
7. Aunque el equipo está diseñado para trabajar bajo ciertas condiciones de humedad, se prohíbe terminantemente el uso durante la ocurrencia de lluvias de cualquier tipo.
8. No utilizar el instrumento o accesorios bajo la amenaza o la ocurrencia de tormentas eléctricas o donde exista el peligro de impacto por descarga eléctrica.
9. Proteger celosamente el emplazamiento del instrumento o de las señales fijas de orientación en cualquier condición o intensidad, del tránsito de todo tipo de vehículos, personas o animales.
10. Cuando se trabaje con el bastón de reflector y la prolongación del mismo, en inmediaciones de instalaciones eléctricas o cualquier tipo de redes técnicas aéreas o soterradas, existe el peligro de descarga eléctrica que puede provocar hasta la muerte, por lo que las medidas de precaución a tomar serán en extremo rigurosas.
11. El instrumento no debe estar suelto o colocado sobre el trípode sin el atornillado o fijación correcta al mismo.

**Precaución:**

1. No utilice la maleta de transporte a modo de escalera.
2. No lance el peso de la plomada.
3. Fije bien los tornillos de la base nivelante.
4. No toque líquidos que gotee de las baterías.
5. Cuando monte el instrumento en el trípode, fije el tornillo de centrado.
6. Fije bien los tornillos de las patas de los trípodes sobre el que se monta el instrumento.



7. Fije los tornillos de las patas del trípode antes de moverlos.

### **3.5.3.3. Configuración del equipo**

La configuración de las principales funciones de trabajo deberá realizarse según se establece en los manuales para cada tipo de instrumento, prevaleciendo el Sistema Métrico Decimal, para las mediciones lineales y el Sistema Sexagesimal, para las mediciones angulares, se puede realizar otro tipo de configuración cuando los requisitos de calidad del mismo así lo exijan. Las mediciones de las distancias deben de efectuarse por el método de medida estándar o fina, según la precisión del trabajo.

En las aplicaciones estándar, la distancia se corrige solo a nivel de las influencias atmosféricas, la corrección geométrica y las distorsiones de proyección se ponen a 0,00, se pueden introducir los valores de presión atmosférica y la temperatura o introducir el valor ppm. Dados los parámetros que se ofrecen en las tablas de configuración de los valores ppm. de acuerdo a la temperatura, presión y altura sobre el N.M.M en el lugar de la medición, se recomienda utilizar las correcciones íntegras de la distancia por correcciones atmosféricas derivadas de la temperatura, la presión o la altura sobre el N.M.M y la humedad relativa en el lugar de estacionado del instrumento y recomendamos predeterminar una configuración de valores medios de una temperatura ambiente del aire de 30 °C, una humedad relativa del 70% y la presión atmosférica por la interpolación automática que ejecuta el instrumento de acuerdo a la altura sobre el N.M.M. en el punto de estacionado. Si se conocieran valores meteorológicos más precisos o confiables se pueden utilizar. En la configuración deben aparecer los datos del proyecto la fecha por día de trabajo y el nombre del topógrafo.

### **3.5.3.4. Orientación del equipo**

La centración del instrumento y señales se hará por cualesquiera de los medios existentes (plomadas ópticas, láser), siempre y cuando se garantice un error máximo de **centración** de 1 mm.

La orientación del instrumento depende del tipo de trabajo a utilizar y la disposición de los puntos de orientación o de referencias, el estacionado debe de realizarse en lugares donde no exista peligro que afecten las mediciones. En el capítulo anterior se realizaron mediciones experimentales que evaluaron las precisiones de diferentes programas de la estación total los cuales pueden emplearse en la orientación del instrumento, se recomienda utilizar el programa de orientación en dependencia de las condiciones antes expuestas.

### **3.5.3.5. Determinación de las alturas de bastones y señales**

Para evitar errores en la determinación de las cotas en la creación de red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído por diferencia en los datos de las

alturas de las señales, se debe establecer por cada equipo de trabajo y de acuerdo a su experiencia y comodidad, una altura de bastón de reflector estándar, y solo se debe variar cuando las condiciones lógicas del trabajo así lo exijan. Deben de utilizarse prismas de un mismo tipo de manera que la configuración de la constante de corrección del prisma sea la misma para ambos bastones y para todas las señales, se debe de comprobar en cada estacionado las alturas de la señal.

#### **3.5.4. Definición de las misiones de trabajo**

En esta etapa se determina la tarea de cada integrante del equipo, el orden de ejecución de los trabajos, punto de inicio, terminación y las reglas de seguridad.

La definición de la composición del equipo de trabajo dependerá del volumen de trabajo a ejecutar, se debe de discutir el proyecto técnico, la tarea técnica, el uso de los diferentes accesorios de medición y los requisitos técnicos para la creación de red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído. El uso de los diferentes accesorios de medición dependerá de las características de la zona de trabajo.

#### **3.5.5. Control de la calidad**

Este procesamiento está conformado por tres etapas que son:

1. Control de la documentación del cliente.
2. Control de campo.
3. Control de gabinete.

##### **3.5.5.1. Control de la documentación del cliente**

La documentación del cliente debe realizarse en conjunto entre el especialista de la calidad y el especialista del departamento, una vez llegada la documentación se analizarán los datos del cliente y los datos técnicos del proyecto, en los datos del cliente se revisará el nombre, apellidos, centro de procedencia, tipo de trabajo que solicita y la firma de constancia del solicitante del proyecto.

En la tarea técnica el cliente brindará al departamento todas las informaciones que faciliten el trabajo de la comisión.

##### **3.5.5.2. Control de campo**

El control general del trabajo se efectuará por otra comisión que no realiza las mediciones, se realizarán mediciones en todas las estaciones de la puesta del instrumento, las mediciones control debe sobrepasar el 10% de la cantidad de detalles medidos, el jefe de la comisión elaborará el reporte diario de trabajo, el reporte diario debe de llevar la firma del supervisor del proyecto.

### **3.5.5.3. Control de gabinete**

En el control de gabinete se recalcularan los métodos de densificación planimétrica y altimétrica empleado, se efectuará la extracción de las mediciones comprobadas en el terreno mediante los diferentes software, posteriormente el proceso de las mediciones se efectuará mediante los software de dibujo, se calculará las incertidumbre de las mediciones de control por cada estructura. Las mediciones deben de conservarse en carpetas habilitadas en la PC como copia de seguridad hasta que se concluya definitivamente el proyecto y sea certificada su terminación.

### **3.5.6. Cuidado y almacenamiento de los equipos de medición**

Para el transporte o el envío del equipo utilice siempre el embalaje original de Estación Total Sokkia (maletín de transporte y caja de cartón). Para el transporte en el campo cuide siempre de transportar el instrumento en la caja de transporte o llevar el trípode con el instrumento en posición vertical con las patas abiertas encima del hombro.

No se debe transportar nunca el instrumento suelto en el vehículo, ya que podría resultar dañado por golpes o vibraciones. Siempre ha de transportarse dentro de su maletín y bien asegurado.

Observe que los valores límites de temperatura para el trabajo deberán estar entre los -20 °C y +50 °C y la de almacenamiento deben estar entre -40 °C y +70 °C. Durante la transportación en verano, debe de tenerse en cuenta que la temperatura de la cabina o lugar donde se coloque no sobrepase estos parámetros y siempre debe de conocerse que aunque la temperatura ambiente sea inferior a los +50 °C, la exposición prolongada de los rayos solares sobre el estuche o el instrumento hacen que el mismo asimile dicha insolación y acumule más temperatura que la ambiental, llegando a alcanzar valores superiores a dicha cifra.

Para almacenar el instrumento en el interior de un edificio, se debe utilizar también el maletín y dejarlo en un lugar seguro.

Si el instrumento se ha mojado, sacarlo del maletín. Secar (a temperatura máxima de 40 °C) y limpiar el instrumento, los accesorios y el maletín y sus interiores de espuma. Volver a guardarlo cuando todo el equipo esté bien seco.

Mientras se esté utilizando en el campo, mantener cerrado el maletín.

❖ Para la limpieza del objetivo, el ocular y los prismas se debe de:

1. Soplar el polvo de lentes y prismas.
2. No tocar el cristal con los dedos.

3. Limpiar únicamente con un paño limpio y suave. En caso de necesidad, humedecerlo ligeramente con alcohol puro.

No utilizar otros líquidos, dado que podrían atacar los elementos de material sintético.

Los cables y enchufes no deben ensuciarse y hay que protegerlos de la humedad. Si los enchufes de los cables de conexión están sucios, limpiarlos soplando.

### **3.5.7. Confección del informe técnico**

El informe técnico se ejecuta al concluir un proyecto determinado, este documento es elaborado por el Jefe de la comisión que participa directamente en el proyecto o por el especialista de la calidad, los cuales firmarán como constancia de la responsabilidad de los datos mostrados en el mismo, en el que hacen una descripción general del producto realizado, y el mismo debe de contener los aspectos relacionados en cuanto a: descripción, volumen, base planimétrica y altimétrica, tipo de proyección, sistema de altura, precisión deseada, calidad, requisitos técnicos, precisión obtenida, desviaciones del proyecto y los índices de calidad obtenidos, como resultado del trabajo realizado, así como las conclusiones generales del producto contratado. Este informe debe de tener niveles de revisión y aprobación de las instancias técnicas y administrativas del departamento ejecutor.

Entre los elementos más importantes del informe técnico tenemos los siguientes:

1. Datos generales.
2. Introducción.
3. Especificaciones Técnica.
4. Control de los trabajos y evaluación de la calidad.
5. Valoración económica.
6. Anexos.
7. Destino.
8. Relación de los Materiales de Entrega.

Estos son los aspectos generales más significativos de un informe técnico y cada empresa establece el formato de los informes técnicos, de acuerdo a la organización y estructura de su sistema de calidad y el mismo queda como constancia del resultado del trabajo.

### **3.5.8. Trabajos de Archivo**

Concluido el proyecto todas las informaciones del mismo deben de guardarse en formato digital y en la computadora de mayor memoria del departamento, se actualizará el catálogo de coordenada vigente, las información guardarse con los siguientes parámetros.

1. Código del proyecto.
2. Fichero en formato TXT.
3. Plano en formato DXF.
4. Informe técnico.

### **3.6. Conclusiones parciales**

1. Se establece un procedimiento metodológico para el empleo de Estaciones Totales en la creación de la red de apoyo para el cálculo de volumen del mineral extraído.
2. El procedimiento metodológico está referido a los instrumentos adquiridos por la empresa de proyectos del Níquel (Ceproniquel), a la firma SOKKIA, para la serie Set 3x y Set 3010.

## CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo de diploma, sobre el empleo Estaciones Totales en la creación de red de apoyo para el cálculo del volumen del mineral extraído, nos permite realizar las siguientes conclusiones.

1. Se elaboró un procedimiento metodológico para el empleo de Estaciones Totales en la creación de red de apoyo para el cálculo del volumen del mineral extraído, logrando una mayor integridad, calidad, eficiencia, rentabilidad, precisión y productividad, en los grupos de especialistas que trabajan en la actividad referida al Centro de Proyectos del Níquel.
2. Se evaluó la exactitud de la red de apoyo creada con Estaciones Totales, y se comprobó en los resultados experimentales que la incidencia de los factores meteorológicos en **diferentes condiciones climáticas** que pudieran presentarse en las mediciones son despreciables

## RECOMENDACIONES

De acuerdo a todo lo antes expuesto y a los resultados obtenidos recomendamos:

1. Establecer en el centro de proyectos del Níquel, la aplicación del procedimiento metodológico para el empleo de Estaciones Totales en la creación de red de apoyo para el cálculo del volumen del mineral extraído.
2. Continuar perfeccionando este documento, a partir de los trabajos realizados y el conocimiento adquiridos, por parte del grupo de especialista de topografía del centro de proyectos del Níquel de Moa y estudiantes quinto año de la carrera ingeniería en mina.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. **Alexandrovich Radiestsku Leonid y Cabrera Marzo Pablo.** Geodesia ingeniera. Editorial pueblo y educación. Ciudad de la Habana 1990.

2. **Batista Legrá Yordanis Esteban.** Mediciones geodésicas en las estructuras de peligro, vulnerabilidad y riesgo. Academia Naval Granma. Ciudad de la Habana 2007.
3. **Belete Fuentes Orlando.** Análisis de los errores topográficos cometidos en la determinación de los volúmenes de masa minera extraída con la utilización de los resultados del levantamiento taquimétrico. Revista Geología y Minería. Vol. XII, N<sup>o</sup>1, 1995, 49 p.
4. **Bombino Duardo, Norelve y coautores.** Geodesia para Ingenieros Aerofotogeodestas. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, 1988.
5. **Córdova Carbona Gustavo.** Geodesia tomo 1. Editorial Científico Técnica 1985.
6. **Díaz Hernández Ciro.** Trabajos geodésicos para la construcción de obras ingenieras. Editorial pueblo y Educación. La Habana Cuba 1988.
7. **Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía.** Instrucciones Técnicas Poligonometría. Departamento Técnico 1969.
8. **JSIMA.** Manual del operador Sokkia set 1x, 2x, 3x, 5x. Editorial Japón 2008.
9. **JSIMA.** Manual referencia Sokkia set 2000, 3000, 4000, 4000s. Editorial Japón. 2008.
10. **Leica.** Manual de operador Leica. Editorial Suiza 2008.
11. **Norma Ramal NR FA 01-01:2001.** Hidrografía y Geodesia. Instrumentos de Medición. Almacenamiento y Manipulación. Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia. La Habana.
12. **Sebastián Pérez Sánchez Armando.** Metodología para los levantamientos topográficos a la escala 1:2000, 1:1000, 1:500, con el uso de las Estaciones Totales electrónicas. Academia Naval Granma. Ciudad de la Habana 2004.
13. **Suárez Mena Jorge.** Informe Técnico Filtro de manga Industria Che Guevara. Ceproniquel 2008.
14. **Sundakov. A.** Trabajos Geodésicos para la Construcción de Grandes Obras Industriales y Altos Edificios. Editorial Mir. Moscú. 1981.

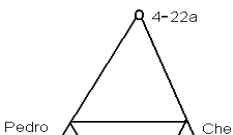


# ANEXOS

ANEXO 1: Ubicación geográfica de la Industria del Níquel.



ANEXO 3: Mediciones experimentales intersección (1).

Puntos base	Coordenadas (X) 1986	Coordenadas (Y) 1986	Coordenadas (Z) 1986	Croquis	
(1) Pedro	703358.888	221117.452	51.019		
(2) Che	703542.516	221130.666	49.731		
(3) 4-22 <sup>a</sup>	703425.334	221225.963	47.012		
Puntos a Determinar	Acimutes	Distancia	Coordenada Obtenida. (X) 2010	Coordenada Obtenida. (Y) 2010	Parámetros
(1) 4-22 <sup>a</sup>	31° 28' 51"	127.239	703425.334	221225.963	Hora (i): 8:30am
	309° 07' 10"	151.040			
(2) 4-22 <sup>a</sup>	31° 28' 53"	127.238	703425.336	221225.964	Hora (t): 10:10am
	309° 07' 12"	151.042			
(3) 4-22 <sup>a</sup>	31° 28' 52"	127.240	703425.333	221225.962	Temp (i): 29° C
	309° 07' 11"	151.041			
(4) 4-22 <sup>a</sup>	31° 28' 52"	127.239	703425.335	221225.964	Temp (t): 30° C
	309° 07' 11"	151.042			
(5) 4-22 <sup>a</sup>	31° 28' 50"	127.240	703425.334	221225.964	
	309° 07' 11"	151.039			

ANEXO 4: Mediciones experimentales intersección (2).

Puntos base	Coordenadas (X) 1986	Coordenadas (Y) 1986	Coordenadas (Z) 1986	Croquis	
(1) Nelson	703424.748	222147.368	26.468		
(2) Roja	703559.912	222127.215	24.422		
(3) 4-41ª	703502.125	222055.725	26.782		
Puntos a Determinar	Acimutes	Distancia	Coordenada Obtenida. (X) 2010	Coordenada Obtenida. (Y) 2010	Parámetros
(1) 4-41ª	139° 49' 28"	119.940	703502.125	222055.725	Hora (i): 10:35am  Hora (t): 12:10pm  Temp (i): 30° C  Temp (t): 31° C
	218° 56' 58"	91.925			
(2) 4-41ª	139° 49' 29"	119.941	703502.126	222055.725	
	218° 56' 57"	91.924			
(3) 4-41ª	139° 49' 30"	119.939	703502.122	222055.724	
	218° 56' 59"	91.927			
(4) 4-41ª	139° 49' 29"	119.940	703502.124	222055.724	
	218° 56' 59"	91.926			
(5) 4-41ª	139° 49' 30"	119.941	703502.125	222055.724	
	218° 56' 57"	91.926			

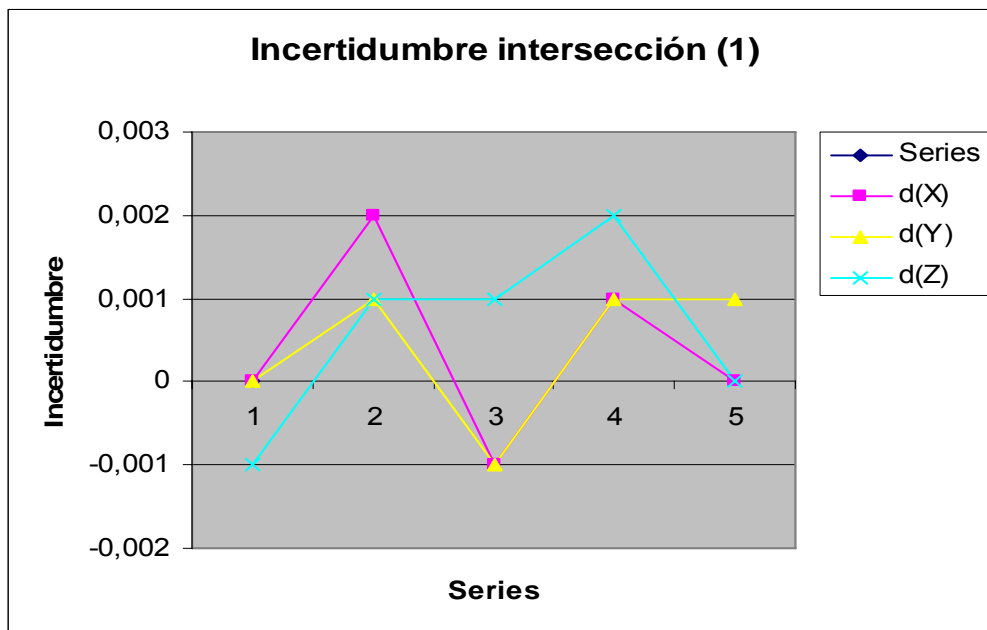
ANEXO 5: Resultados de las mediciones intersección (1).

Nomenclatura De los puntos Base	Coordenadas (X) 1986	Coordenadas (Y) 1986	Coordenadas (Z) 1986
(1) Pedro	703358.888	221117.452	51.019
(2) Che	703542.516	221130.666	49.731
(3) 4-22 <sup>a</sup>	703425.334	221225.963	47.012
Nomenclatura del punto a determinar	Coordenadas Obtenidas. (X) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Y) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Z) 2010
4-22A	703425.334	221225.963	47.011
	703425.336	221225.964	47.013
	703425.333	221225.962	47.013
	703425.335	221225.964	47.014
	703425.334	221225.964	47.012
Coordenadas 1986.	703425.334	221225.963	47.012
m=lim-lo	000000.000	000000.000	-00.001
	000000.002	000000.001	00.001
	-000000.001	-000000.001	00.001
	000000.001	000000.001	00.002
	000000.000	000000.001	00.000
$Li=lo+\sum \frac{m}{n}$	703425.334	221225.963	47.013
V=li-lim	000000.000	000000.000	00.002
	-000000.002	-000000.001	00.000
	000000.001	000000.001	00.000
	-000000.001	-000000.001	-00.001
	000000.000	-000000.001	00.001
$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$	000000.001	000000.001	00.001

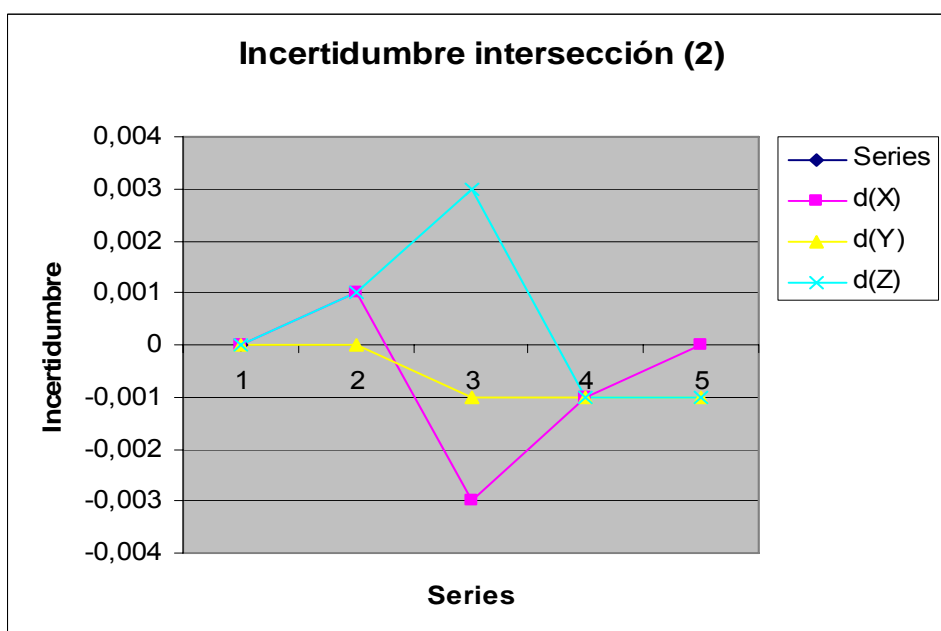
ANEXO 6: Resultados de las mediciones intersección (2).

Nomenclatura De los puntos Base	Coordenadas (X) 1986	Coordenadas (Y) 1986	Coordenadas (Z) 1986
(1) Nelson	703424.748	222147.368	26.468
(2) Roja	703559.912	222127.215	24.422
(3) 4-41 <sup>a</sup>	703502.125	222055.725	26.782
Nomenclatura del punto a determinar	Coordenadas Obtenidas. (X) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Y) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Z) 2010
4-41A	703502.125	222055.725	26.782
	703502.126	222055.725	26.783
	703502.122	222055.724	26.785
	703502.124	222055.724	26.781
	703502.125	222055.724	26.781
Coordenadas 1986.	703502.125	222055.725	26.782
m=lim-lo	000000.000	000000.000	00.000
	000000.001	000000.000	00.001
	-000000.003	-000000.001	00.003
	-000000.001	-000000.001	-00.001
	000000.000	-000000.001	-00.001
$Li=lo+\sum \frac{m}{n}$	703502.124	222055.724	26.782
V=li-lim	-000000.001	-000000.001	00.000
	-000000.002	-000000.001	-00.001
	000000.002	000000.000	00.003
	000000.000	000000.000	00.001
	-000000.001	000000.000	-00.001
$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$	000000.002	000000.001	00.002

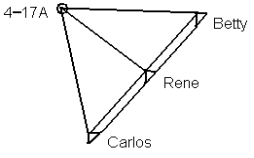
ANEXO 7: Incertidumbre de las series de mediciones punto 4-22A.



ANEXO 8: Incertidumbre de las series de mediciones punto 4-41A.

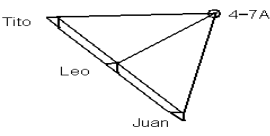


ANEXO 9: Mediciones experimentales trisección (1).

Puntos base	Coordenadas (X) 1986	Coordenada (Y) 1986	Coordenada (Z) 1986	Croquis	
(1) Betty	703096.613	220939.653	61.679		
(2) Rene	703119.816	221116.111	51.026		
(3) Carlos	703159.703	221251.738	46.868		
4-17 <sup>a</sup>	703080.613	221180.421	51.538		
Puntos a Determinar.	Acimutes	Distancia	Coordenadas Obtenida. (X) 2010	Coordenadas Obtenida. (Y) 2010	Coordenadas Obtenida. (Z) 2010
(1) 4-17 <sup>a</sup>	227° 57' 30"	106.496	703080.613	221180.421	51.540
	328° 38' 02"	75.317			
	356° 11' 53"	241.299			
(2) 4-17A	227° 57' 32"	106.495	703080.612	221180.419	51.539
	328° 38' 01"	75.316			
	356° 11' 52"	241.300			
(3) 4-41A	227° 57' 32"	106.497	703080.614	221180.423	51.538
	328° 38' 02"	75.318			
	356° 11' 54"	241.301			
(4) 4-41A	227° 57' 30"	106.496	703080.614	221180.422	51.540
	328° 38' 03"	75.317			
	356° 11' 54"	241.2301			
(5) 4-41A	227° 57' 29"	106.496	703080.611	221180.418	51.539
	328° 38' 01"	75.316			
	356° 11' 51"	241.297			
Parámetros	Hora (i): 2:30 pm	Hora (t): 3.00 pm	Temp (i): 30° C	Temp (t): 30° C	

ANEXO 10: Mediciones experimentales trisección (2).



Puntos base	Coordenadas (X) 1986	Coordenada (Y) 1986	Coordenada (Z) 1986	Croquis	
(1) Tito	703668.233	221278.458	47.431		
(2) Leo	703690.273	221143.854	48.901		
(3) Juan	703725.562	220942.539	59.916		
4-7 <sup>a</sup>	703762.376	221149.125	48.020		
Puntos a Determinar	Acimutes	Distancia	Coordenadas Obtenida. (X) 2010	Coordenadas Obtenida. (Y) 2010	Coordenadas Obtenida. (Z) 2010
(1) 4-7 A	143° 56' 55"	159.968	703762.376	221149.126	48.023
	85° 49' 08"	72.295			
	10° 06' 15"	209.840			
(2) 4-7A	143° 56' 58"	159.970	703762.377	221149.122	48.021
	85° 49' 06"	72.296			
	10° 06' 14"	209.841			
(3) 4-7A	143° 56' 57"	159.967	703762.375	221149.125	48.023
	85° 49' 08"	72.294			
	10° 06' 15"	209.842			
(4) 4-7A	143° 56' 56"	159.968	703762.375	221149.123	48.022
	85° 49' 10"	72.294			
	10° 06' 16"	209.841			
(5) 4-7A	143° 56' 57"	159.969	703762.376	221149.123	48.020
	85° 49' 09"	72.295			
	10° 06' 17"	209.838			
Parámetros	Hora (i): 8:10 pm	Hora (t): 9.02 pm	Temp (i): 28° C	Temp (t): 29° C	

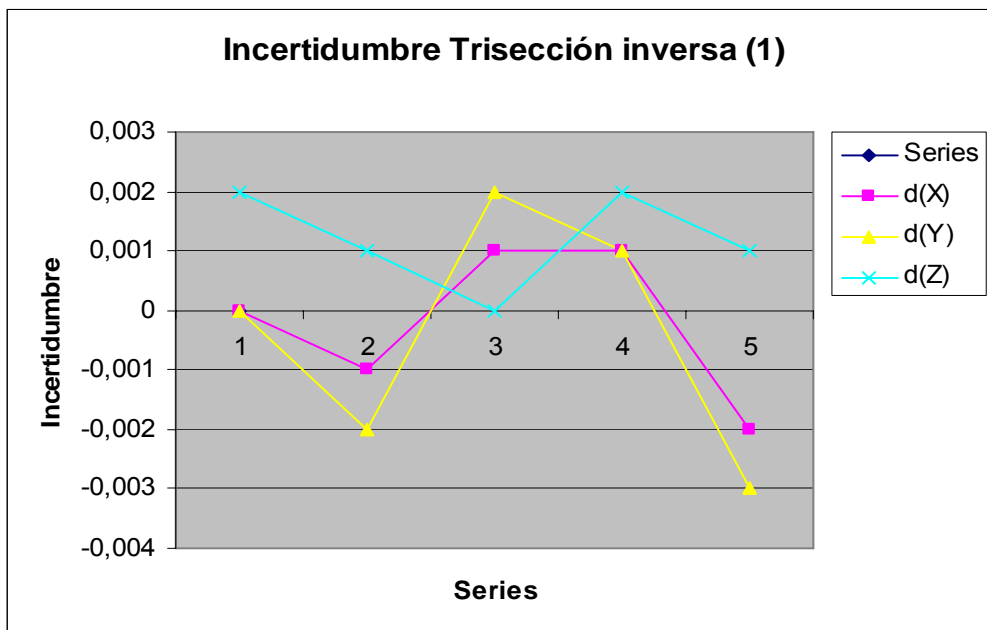
ANEXO 11: Resultados de las mediciones trisección (1).

Nomenclatura De los puntos Bases	Coordenadas (X) 1986	Coordenadas (Y) 1986	Coordenadas (Z) 1986
(1) Betty	703096.613	220939.653	61.679
(2) Rene	703119.816	221116.111	51.026
(3) Carlos	703159.703	221251.738	46.868
4-17 A	703080.613	221180.421	51.538
Nomenclatura del punto a determinar	Coordenadas Obtenidas. (X) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Y) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Z) 2010
4-17A	703080.613	221180.421	51.540
	703080.612	221180.419	51.539
	703080.614	221180.423	51.538
	703762.375	221180.422	51.540
	703080.611	221180.418	51.539
Coordenadas 1986.	703080.613	221180.421	51.538
m= lim-lo	000000.000	000000.000	00.002
	-000000.001	-000000.002	00.001
	000000.001	000000.002	00.000
	000000.001	000000.001	00.002
	-000000.002	-000000.003	00.001
$Li=lo+\frac{\sum m}{n}$	703080.613	221180.421	51.539
V=li-lim	000000.000	000000.000	-00.001
	000000.001	000000.002	00.000
	-000000.001	-000000.002	00.001
	-000000.001	-000000.001	-00.001
	000000.002	000000.003	00.000
$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$	000000.001	000000.002	00.001

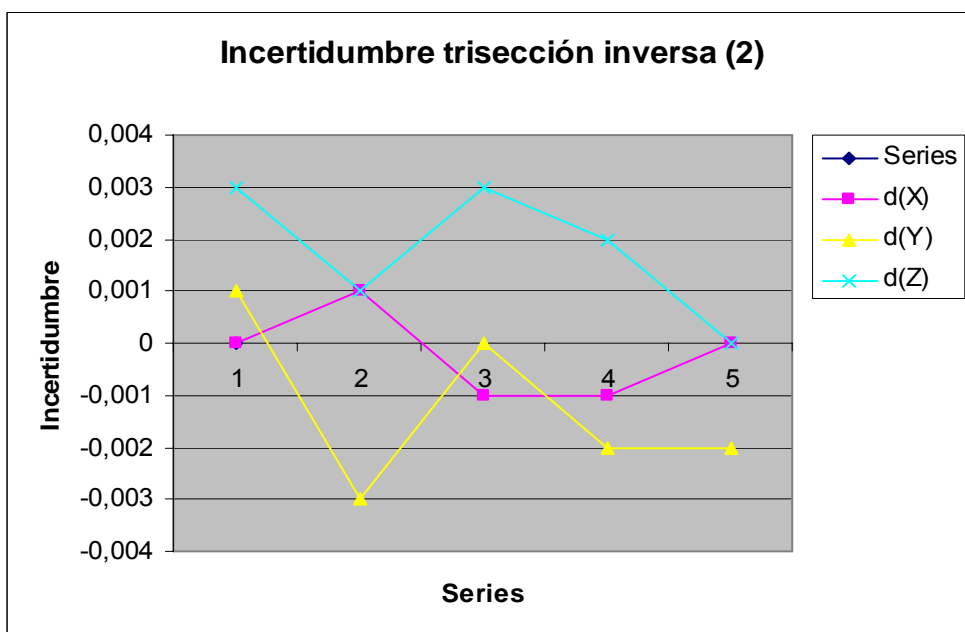
ANEXO 12: Resultados de las mediciones trisección (2).

Nomenclatura De los puntos Base	Coordenadas (X) 1986	Coordenadas (Y) 1986	Coordenadas (Z) 1986
(1) Tito	703668.233	221278.458	47.431
(2) Leo	703690.273	221143.854	48.901
(3) Juan	703725.562	220942.539	59.916
4-7 <sup>a</sup>	703762.376	221149.125	48.020
Nomenclatura del punto a determinar	Coordenadas Obtenidas. (X) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Y) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Z) 2010
4-7A	703762.376	221149.126	48.023
	703762.377	221149.122	48.021
	703762.375	221149.125	48.023
	703762.375	221149.123	48.022
	703762.376	221149.123	48.020
Coordenadas 1986.	703762.376	221149.125	48.020
m=lim-lo	000000.000	000000.001	00.003
	000000.001	-000000.003	00.001
	-000000.001	000000.000	00.003
	-000000.001	-000000.002	00.002
	000000.000	-000000.002	00.000
$Li=lo+\sum \frac{m}{n}$	703762.376	221149.123	48.022
V=li-lim	000000.000	-000000.003	-00.001
	-000000.001	000000.003	00.001
	000000.001	-000000.002	-00.001
	000000.001	000000.000	00.000
	000000.000	000000.000	00.002
$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$	000000.001	000000.002	00.001

ANEXO 13: Incertidumbre de las series de mediciones punto 4-17A.



ANEXO 14: Incertidumbre de las series de mediciones punto 4-7A.



ANEXO 15: Mediciones experimentales serie de observación (1).

Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel determinado
Orientado. Nivaldo	1	D	00	00	02	00	02	114.506	+ 5.451
		I	180	00	02	00	02	114.508	+ 5.453
		D	48	05	19	48 05 18		114.505	+ 5.451
Estacionado. Maria		I	220	05	21	05	20	114.506	+ 5.453
		D	00	00	00			114.508	+ 5.452
		I	180	00	02	00	01	114.505	+ 5.451
Punto Determinado. 4-35ª	Hora(I) 8:10 am	Hora(T) 9:10 am	Te/I 25°C	Te/T 26°C			Distancia Promedio 114.506	Desnivel Promedio + 5.452	
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. Nivaldo	2	D	60	00	00	00	02	114.508	+ 5.454
		I	240	00	01	00	01	114.506	+ 5.452
		D	108	05	20	48 05 19		114.507	+ 5.454
Estacionado. Maria		I	228	05	22	05	21	114.508	+ 5.453
		D	60	00	01			114.506	+ 5.451
		I	240	00	03	00	02	114.508	+ 5.454
Punto Determinado. 4-35ª	Hora(I) 9:10 am	Hora(T) 9:45 am	Te/I 26°C	Te/T 27°C			Distancia Promedio 114.507	Desnivel Promedio + 5.453	
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. Nivaldo	3	D	120	00	02	00	02	114.507	+ 5.450
		I	00	00	02	00	01	114.505	+ 5.452
		D	168	05	22	48 05 21		114.506	+ 5.450
Estacionado. Maria		I	348	05	24	05	23	114.508	+ 5.450
		D	120	00	02			114.508	+ 5.453
		I	00	00	04	00	03	114.506	+ 5.452
Punto Determinado. 4-35ª	Hora(I) 9:55 am	Hora(t)1 0:20 am	Te/I 27°C	Te/T 28°C			Distancia Promedio 114.507	Desnivel Promedio + 5.451	
Ángulo obtenido: 48° 05' 19"				Distancia obtenida: 114.507			Desnivel obtenido: + 5.452		

Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos ° ' "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. Maria	1	D	00	00	00	00	02	121.448	- 3.965
		I	180	00	00	00	00	121.446	- 3.967
		D	152	26	28	152 26 27		121.448	- 3.967
Estacionado. 4-35 <sup>a</sup>		I	332	26	30	26	29	121.445	- 3.966
		D	00	00	02			121.446	- 3.965
		I	180	00	01	00	02	121.448	- 3.967
Punto Determinado. 4-36 <sup>a</sup>	Hora(I)10 :25 am	Hora(t) 10:34 am	Te/I 28°C	Te/T 29°C				Distancia Promedio 121.447	Desnivel Promedio - 3.966
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos ° ' "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. Maria	2	D	60	00	00	00	01	121.449	- 3.966
		I	240	00	01	00	01	121.451	- 3.965
		D	212	26	26	152 26 26		121.451	-3.966
Estacionado. 4-35 <sup>a</sup>		I	32	26	28	26	27	121.450	- 3.966
		D	60	00	00			121.449	- 3.964
		I	240	00	01	00	01	121.450	- 3.964
Punto Determinado. 4-36 <sup>a</sup>	Hora(I) 10:40 am	Hora(t) 11:15 am	Te/I 29°C	Te/T 30°C				Distancia Promedio 121.450	Desnivel Promedio - 3.965
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos ° ' "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. Maria	3	D	120	00	01	00	02	121.447	- 3.965
		I	00	00	03	00	02	121.450	- 3.967
		D	272	26	30	152 26 29		121.452	- 3.969
Estacionado. 4-35 <sup>a</sup>		I	92	26	32	26	31	121.450	- 3.967
		D	120	00	00			121.447	- 3.965
		I	00	00	00	00	00	121.447	- 3.965
Punto Determinado. 4-36 <sup>a</sup>	Hora(I) 9:55 am	Hora(t)1 1:55 am	Te/I 30°C	Te/T 31°C				Distancia Promedio 121.449	Desnivel Promedio - 3.966
Ángulo obtenido:152° 26' 27"			Distancia obtenida: 121.449				Desnivel obtenido: - 3.966		

Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. 4-35ª	1	D	00	00	00	00	02	241.690	- 0.886
		I	180	00	01	00	01	241.692	- 0.887
		D	210	13	35	210 13 35		241.692	- 0.889
Estacionado. 36-A		I	30	13	37	13	36	241.694	- 0.887
		D	00	00	02			241.692	- 0.885
		I	180	00	02	00	02	241.690	- 0.885
Punto Determinado. Pepe	Hora(I) 1:00 pm	Hora(t) 1:25 pm	Te/I 31°C	Te/T 31°C				Distancia Promedio 241.690	Desnivel Promedio - 0.887
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel Determinado
Orienta-do. 4-35ª	2	D	60	00	01	00	00	241.692	- 0.887
		I	240	00	03	00	02	241.690	- 0.885
		D	270	13	33	210 13 34		241.690	-0.885
Estacionado. 36-A		I	90	13	36	13	34	241.692	- 0.888
		D	60	00	00			241.694	- 0.888
		I	240	00	04	00	02	241.691	- 0.885
Punto Determinado. Pepe	Hora(I) 1:30 pm	Hora(t) 1:25 pm	Te/I 31°C	Te/T 32°C				Distancia Promedio 241.692	Desnivel Promedio - 0.886
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. 4-35ª	3	D	120	00	00	00	02	241.691	- 0.885
		I	00	00	02	00	01	241.693	- 0.888
		D	330	13	38	210 13 37		241.691	- 0.886
Estacionado. 36-A		I	150	13	40	13	39	241.694	- 0.885
		D	120	00	02			241.691	- 0.885
		I	00	00	04	00	03	241.692	- 0.887
Punto Determinado. Pepe	Hora(I) 2:10 pm	Hora(t) 2:35 pm	Te/I 32°C	Te/T 31°C				Distancia Promedio 241.692	Desnivel Promedio - 0.886
Ángulo obtenido:210° 13' 37"				Distancia obtenida: 241.692				Desnivel obtenido: - 0.886	

Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. 4-36ª	1	D	00	00	02	00	01	108.196	+ 1.104
		I	180	00	02	00	02	108.198	+ 1.106
		D	97	22	18	97 22	18	108.198	+ 1.104
I		277	22	20	22	19	108.196	+ 1.104	
D		00	00	01			108.197	+ 1.105	
I		180	00	01	00	01	108.196	+ 1.104	
Estacionado. Pepe									
Punto Determinado. Jose	Hora(l) 2:40 pm	Hora(t) 2:55 pm	Te/l 31°C	Te/T 30°C				Distancia Promedio 108.197	Desnivel Promedio + 1.105
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. 4-36ª	2	D	60	00	00	00	01	108.198	+ 1.103
		I	240	00	02	00	01	108.196	+ 1.105
		D	157	22	20	97 22	17	108.196	+ 1.107
I		337	22	17	22	18	108.198	+ 1.105	
D		60	00	00			108.196	+ 1.104	
I		240	00	00	00	00	108.196	+ 1.104	
Estacionado. Pepe									
Punto Determinado. Jose	Hora(l) 3:00 pm	Hora(t) 3:20 pm	Te/l 30°C	Te/T 29°C				Distancia Promedio 108.197	Desnivel Promedio + 1.105
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. 4-36ª	3	D	120	00	02	00	01	108.195	+ 1.105
		I	00	00	02	00	02	108.197	+ 1.103
		D	217	22	18	97 22	18	108.197	+ 1.103
I		37	22	20	22	29	108.196	+ 1.105	
D		120	00	01			108.196	+1.105	
I		00	00	01	00	01	108.195	+ 1.104	
Estacionado. Pepe									
Punto Determinado. Jose	Hora(l) 2:10 pm	Hora(t) 2:35 pm	Te/l 32°C	Te/T 31°C				Distancia Promedio 108.196	Desnivel Promedio + 1.104
Ángulo obtenido: 97° 22' 18"			Distancia obtenida: 108.197				Desnivel obtenido: + 1.105		



ANEXO 16: Mediciones experimentales serie de observación (2).

Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. Raul	1	D	00	00	00	00	01	194.772	+ 0.114
		I	180	00	02	00	01	194.774	+ 0.116
		D	47	10	18	47 10 18		194.776	+ 0.114
Estacionado. Tito		I	227	10	20	10	19	194.772	+ 0.115
		D	00	00	02			194.775	+ 0.115
		I	180	00	02	00	02	194.774	+ 0.114
Punto Determinado. 4-9ª	Hora(I) 8:15 am	Hora(t) 8:35 am	Te/I 27°C	Te/T 27°C			Distancia Promedio 194.774	Desnivel Promedio + 0.115	
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. Raul	2	D	60	00	04	00	02	194.770	+ 0.115
		I	240	00	02	00	03	194.772	+ 0.117
		D	107	10	21	47 10 18		194.772	+ 0.116
Estacionado. Tito		I	287	10	19	10	20	194.773	+ 0.116
		D	60	00	02			194.772	+ 0.117
		I	240	00	02	00	01	194.774	+ 0.115
Punto Determinado .4-9ª	Hora(I) 8:41 am	Hora(t) 9:02 am	Te/I 28°C	Te/T 28°C			Distancia Promedio 194.772	Desnivel Promedio + 0.116	
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. Raul	3	D	120	00	01	00	01	194.771	+ 0.114
		I	00	00	03	00	02	194.773	+ 0.114
		D	167	10	21	47 10 19		194.773	+ 0.116
Estacionado. Tito		I	347	10	19	10	20	194.772	+ 0.116
		D	120	00	00			194.771	+ 0.114
		I	00	00	02	00	01	194.773	+ 0.116
Punto Determinado. 4-9ª	Hora(I) 9:08 am	Hora(t) 9:29 am	Te/I 28°C	Te/T 29°C			Distancia Promedio 194.772	Desnivel Promedio + 0.115	
Ángulo obtenido: 47° 10' 19"				Distancia obtenida: 194.773				Desnivel obtenido:+ 0.115	

Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos ° ' "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. Tito	1	D	00	00	01	00	01	103.778	+ 0.497
		I	180	00	01	00	01	103.779	+ 0.499
		D	193	23	57	193 23 57		103.781	+ 0.496
Estacionado. 4-9ª		I	13	23	59	23	58	103.781	+ 0.497
		D	00	00	01			103.778	+ 0.497
		I	180	00	01	00	02	103.780	+ 0.498
Punto Determinado. 4-5ª	Hora(I) 9:32 am	Hora(t) 9:54 am	Te/I 29°C	Te/T 9°C				Distancia Promedio 103.780	Desnivel Promedio + 0.497
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos ° ' "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. Tito	2	D	60	00	00	00	01	103.777	+ 0.496
		I	240	00	00	00	00	103.777	+ 0.496
		D	253	23	59	193 23 58		103.779	+ 0.498
Estacionado. 4-9ª		I	73	23	59	23	59	103.778	+ 0.497
		D	60	00	01			103.777	+ 0.496
		I	240	00	01	00	01	103.779	+ 0.497
Punto Determinado. 4-5ª	Hora(I) 10:00 am	Hora(t) 10:25 am	Te/I 29°C	Te/T 30°C				Distancia Promedio 103.778	Desnivel Promedio + 0.497
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos ° ' "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. Tito	3	D	120	00	00	00	00	103.777	+ 0.496
		I	00	00	00	00	00	103.775	+ 0.496
		D	313	23	58	193 23 58		103.775	+ 0.497
Estacionado. 4-9ª		I	133	23	58	23	58	103.777	+ 0.495
		D	120	00	00			103.776	+ 0.495
		I	00	00	00	00	00	103.776	+ 0.496
Punto Determinado. 4-5ª	Hora(I) 10:51 am	Hora(t)1 1:15 am	Te/I 30°C	Te/T 31°C				Distancia Promedio 103.776	Desnivel Promedio + 0.496
Ángulo obtenido: 47° 10' 19"			Distancia obtenida: 194.773				Desnivel obtenido:+ 0.115		

Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos ° ' "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. 4-9ª	1	D	00	00	02	00	01	134.295	+ 0.843
		I	180	00	02	00	02	134.296	+ 0.845
		D	171	18	48	171 18	46	134.295	+ 0.845
Estacionado. 4-5ª		I	351	18	46	18	47	134.294	+ 0.843
		D	00	00	01			134.296	+ 0.844
		I	180	00	01	00	01	134.296	+ 0.844
Punto Determinado. Martha	Hora(l)1 1:20 am	Hora(t) 11:49 am	Te/l 31°C	Te/T 32°C				Distancia Promedio 134.295	Desnivel Promedio + 0.844
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos ° ' "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. 4-9ª	2	D	60	00	01	00	02	134.296	+ 0.844
		I	240	00	03	00	02	134.296	+ 0.844
		D	231	18	47	171 18	46	134.294	+ 0.846
Estacionado. 4-5ª		I	51	18	49	18	48	134.294	+ 0.845
		D	60	00	02			134.295	+ 0.845
		I	240	00	02	00	02	134.296	+ 0.844
Punto Determinado. Martha	Hora(l) 11:55 am	Hora(t) 12:20 am	Te/l 32°C	Te/T 33°C	Hu/l	HuT		Distancia Promedio 134.296	Desnivel Promedio + 0.845
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos ° ' "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. 4-9ª	3	D	120	00	00	00	01	134.295	+ 0.842
		I	00	00	00	00	00	134.295	+ 0.844
		D	291	18	47	171 18	47	134.297	+ 0.844
Estacionado. 4-5ª		I	111	18	49	18	48	134.298	+ 0.843
		D	120	00	01			134.296	+ 0.842
		I	00	00	01	00	01	134.296	+ 0.844
Punto Determinado. Martha	Hora(l) 12:27 pm	Hora(t)1 2:42 pm	Te/l 33°C	Te/T 33°C				Distancia Promedio 134.296	Desnivel Promedio + 0.844
Ángulo obtenido:171° 10' 19"			Distancia obtenida: 134.296				Desnivel obtenido:+ 0.844		

Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. 4-5ª	1	D	00	00	02	00	01	126.252	- 5.178
		I	180	00	02	00	02	126.252	- 5.176
		D	157	30	36	157 30 36		126.254	- 5.176
Estacionado. Martha		I	337	30	38	30	37	126.253	- 5.178
		D	00	00	01			126.252	- 5.177
		I	180	00	01	00	01	126.252	- 5.176
Punto Determinado. Jorge	Hora(I)1 2.33 am	Hora(t) 12.58 am	Te/I 33°C	Te/T 33°C				Distancia Promedio 126.253	Desnivel Promedio - 5.177
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. 4-5ª	2	D	60	00	02	00	02	126.252	- 5.177
		I	240	00	02	00	03	126.250	- 5.177
		D	217	30	38	157 30 36		126.250	- 5.179
Estacionado. Martha		I	37	30	38	30	38	126.251	- 5.178
		D	60	00	02			126.252	- 5.178
		I	240	00	02	00	02	126.252	- 5.178
Punto Determinado. Jorge	Hora(I) 1:03 pm	Hora(t) 1:25 pm	Te/I 33°C	Te/T 32°C				Distancia Promedio 126.251	Desnivel Promedio - 5.578
Nomenclatura.	Posición	Limbo	Ángulos °   '   "			Promedios y ángulo determinado		Distancia al punto   a determinar	Desnivel Determinado
Orientado. 4-5ª	3	D	120	00	00	00	01	126.254	- 5.177
		I	00	00	02	00	01	126.251	- 5.179
		D	277	30	35	157 30 35		126.253	- 5.179
Estacionado. Martha		I	97	30	37	30	36	126.253	- 5.178
		D	120	00	00			126.252	- 5.177
		I	00	00	00	00	00	126.252	- 5.177
Punto Determinado. Jorge	Hora(I) 1:32 pm	Hora(t) 1:44 pm	Te/I 32°C	Te/T 32°C				Distancia Promedio 126.253	Desnivel Promedio - 5.178
Ángulo obtenido:157° 30' 36"			Distancia obtenida: 126.252				Desnivel obtenido:- 5.177		

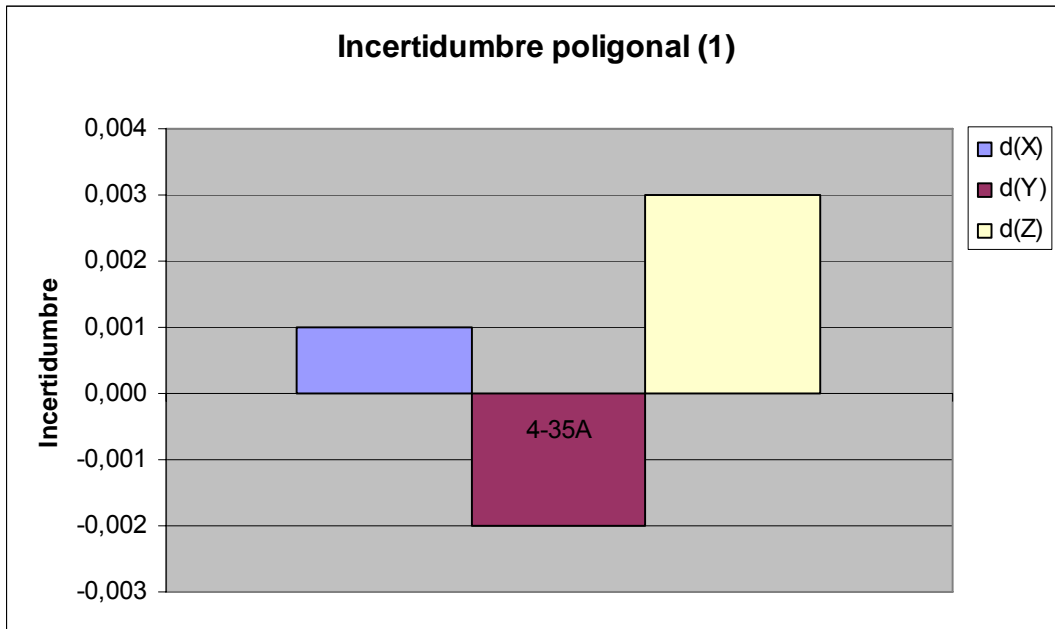
ANEXO 17: Resultados experimentales poligonal (1).

Puntos	Coordenadas (X) 1986	Coordenadas (Y) 1986	Coordenadas (Z) 1986	Croquis
(1) 4-35 <sup>a</sup>	703435.685	222013.434	29.114	
(2) 4-36 <sup>a</sup>	703535.434	222082.725	25.149	
Puntos	Coordenadas Obtenidas. (X) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Y) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Z) 2010	
(1) 4-35 <sup>a</sup>	703435.686	222013.432	29.117	
(2) 4-36 <sup>a</sup>	703535.431	222082.720	25.146	
$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$	±000000.001	±000000.001	±00.002	
$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$	±000000.002	±000000.003	±00.002	

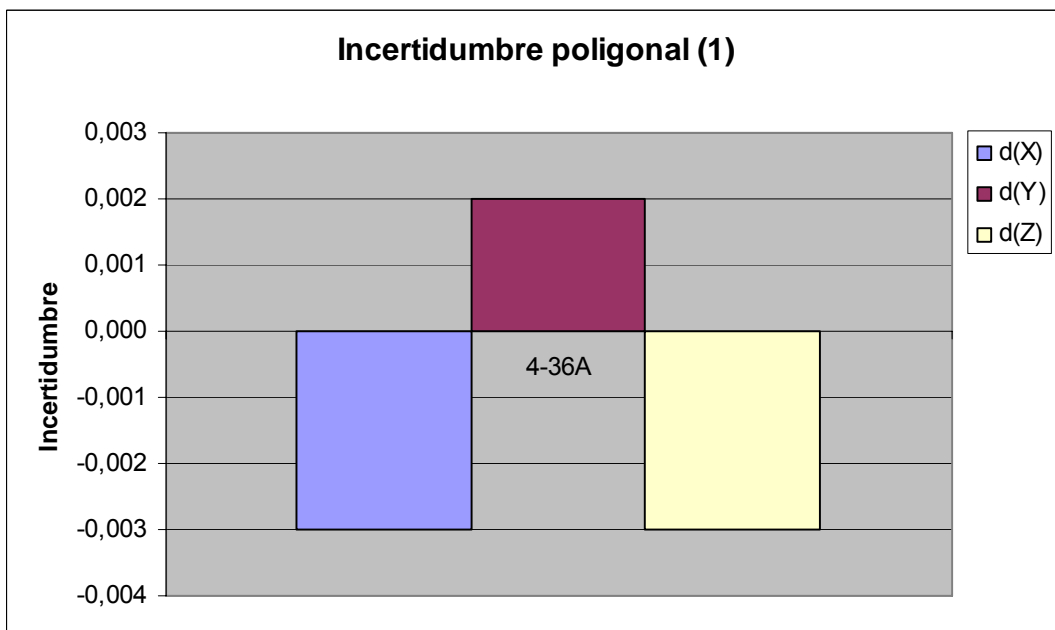
ANEXO 18: Resultados experimentales poligonal (2).

Puntos	Coordenadas (X) 1986	Coordenadas (Y) 1986	Coordenadas (Z) 1986	Croquis
(1) 4-9 <sup>a</sup>	703544.473	222235.958	24.026	
(2) 4-5 <sup>a</sup>	703646.444	222216.673	24.523	
Puntos	Coordenadas Obtenidas. (X) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Y) 2010	Coordenadas Obtenidas. (Z) 2010	
(1) 4-9 <sup>a</sup>	703544.475	222235.962	24.022	
(2) 4-5 <sup>a</sup>	703646.445	222216.676	24.526	
$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$	±000000.001	±000000.003	±00.003	
$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$	±000000.001	±000000.002	±00.002	

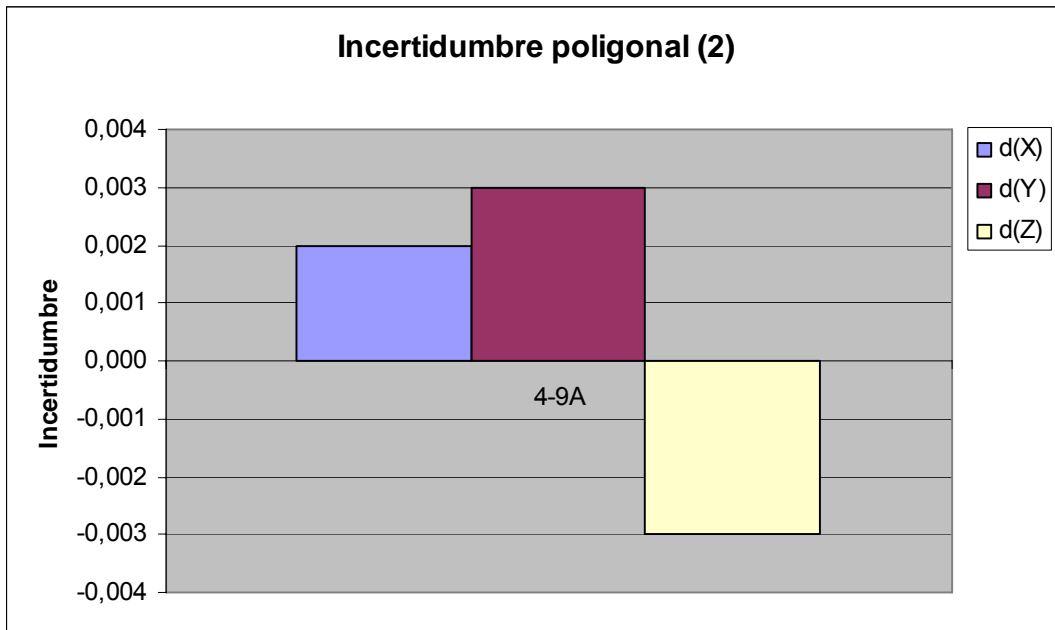
ANEXO 19: Incertidumbre de las series de mediciones punto 4-35A.



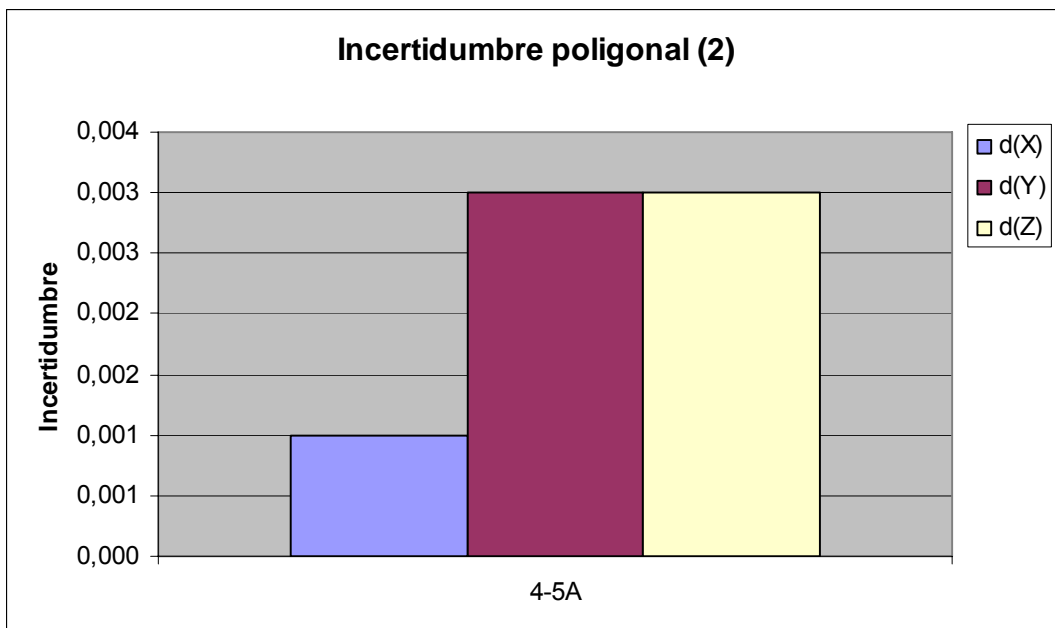
ANEXO 20: Incertidumbre de las series de mediciones punto 4-36A.



ANEXO 21: Incertidumbre de las mediciones punto 4-9A.



ANEXO 22: Incertidumbre de las mediciones punto 4-5A.



ANEXO 23: Relación del equipamiento y accesorios.

Nº	Instrumento o accesorio.	Cantidad.
1	Estación Total Sokkia Set 3x	1
2	Batería interna.	2
3	Batería externa.	1
4	Cable de alimentación de batería externa.	1
5	Tarjeta de memoria.	1
6	Cargador de baterías externa, interna.	2
7	Trípode para el instrumento.	1
8	Trípode para señales y prismas.	2
9	Base nivelante.	3
10	Juego de porta prismas con prismas.	3
11	Bastón de reflector.	2
13	Cinta métrica de 2 a 5 m.	1
14	Paraguas.	1
15	Radios de comunicación portátil con batería	3
16	Batería de repuesto para radios.	3
17	Cargador de batería de radios.	3
18	Libreta para anotaciones y croquis.	1
19	Lapicero.	2
20	Marcadores permanentes.	2
21	Centra punzón.	1
22	Mandarria.	1
23	Nivel de carpintería.	1



