



## Los factores meteorológicos en las mediciones topográficas con estaciones totales y el Sistema de Posicionamiento Global \*

**Hélio Mbigue Miguel Dos Santos**

Especialidad: Ingeniería en Minas

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

**Resumen:** Se determinó la influencia de los factores meteorológicos en las mediciones topográficas determinadas con estaciones totales y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en cualquiera de las condiciones climáticas que pudieran presentarse en yacimientos lateríticos cubanos. Su valor disminuye cuando se consideran los parámetros meteorológicos de 0,177 m a 0,152 m, para distancia de 2 000 m-3 000 m, y de 0,463 m a 0,383 m para distancia de 4 700 m. Se concluye que la influencia de factores meteorológicos puede ser considerada para la confección de planos topográficos a grandes escalas. Las determinaciones de las coordenadas de la base geodésica de apoyo del yacimiento está bien densificada, con buena precisión, considerando los factores meteorológicos (temperatura, presión atmosférica y humedad).

**Palabras clave:** redes geodésicas; GPS; estación total; yacimiento laterítico; topografía minera.

---

\* Trabajo tutorado por el Dr. Orlando Belete Fuentes, el M. Sc. Walkis Herrera Blanco y el M. Sc. Yordanys Batista Legrá.

Recibido: 12 diciembre 2014 / Aceptado: 30 octubre 2015.

## Meteorological factors in soil surveys performed with total stations and Global Positioning System

**Abstract:** The influence of meteorological factors in soil surveys performed with total stations and Global Positioning System was identified covering all the possible weather conditions that the lateritic ore bodies of Cuba may be exposed to. Its value decreases when the meteorological parameters of 0,177 a 0,152 m are considered for a distance of 4700 m. it is concluded that the influence of meteorological factors can be considered for the preparation of topographical drawings on a large scale. The determination of coordinates for the geodesic base supporting the ore body is well composed with a high accuracy considering all the meteorological factors (temperature, atmospheric pressure and humidity).

**Key words:** geodesic grid; GPS; total station; lateritic ore body; mining topography.

## Introducción

El empleo de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) en la determinación de las coordenadas de redes geodésicas de apoyo y de levantamiento es ampliamente tratado a escala mundial. En Cuba, al introducirse esta tecnología, diferentes empresas han modernizado sus instrumentos topográficos. Su empleo en las industrias trae consigo avances tecnológicos.

Con la evolución de los medios técnicos y la implantación y desarrollo de los GPS esta ciencia toma otras dimensiones y muy en especial en la necesidad de un mayor conocimiento de los operarios y especialistas en las tecnologías digitales, sin dejar de tener en cuenta los conocimientos elementales del arte tradicional de medir y de los métodos de mediciones (Belete, 1997).

El progreso científico-técnico que actualmente se produce en las ramas de la Geología y la Minería hace necesario el desarrollo de planos topográficos a grandes escalas, planificación minera y la exploración geológica. 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 incluya la determinación de la influencia de los factores meteorológicos que inciden en las mediciones topográficas determinadas con estaciones totales y GPS.

La señal GPS, en su camino entre el satélite y la antena receptora de la estación de rastreo, atraviesa capas de diferentes naturalezas y estados. De esta manera existen diferentes tipos de influencias que pueden provocar variaciones en la dirección de propagación, velocidad de propagación y en la potencia de la señal (Seeber, 1993).

Suárez (2009) generó un modelo de retraso troposférico a partir de medidas meteorológicas superficiales y GPS en los puntos ESPE-CIE-S061. Palma & Ramírez (2013) documentaron el proceso de diseño y construcción de una estación meteorológica con el objetivo de que, además de encontrarse registrando datos de diferentes sensores, la estación también haga uso de la tecnología GPS y que igualmente facilite el acceso a los datos empleando una interfaz web para monitorear el estado actual de los sensores.

Tanto los GPS como las estaciones totales determinan automáticamente los agentes atmosféricos tales como la presión, temperatura y humedad; factores que influyen grandemente en la exactitud de determinación de las coordenadas de los puntos y, por

tanto, en el cálculo de volumen de mineral extraído. Sin embargo, no se sabe con seguridad cómo estos factores meteorológicos inciden en las mediciones topográficas con GPS en yacimientos lateríticos; ese es, precisamente, el objetivo de este trabajo.

### **Trabajos topográficos realizados**

Se determinaron cuatro 4 puntos con GPS: 15 de 1<sup>ra</sup> categoría y 11 de 2<sup>da</sup> categoría, además 46 puntos de red de apoyo de 1<sup>ra</sup> y 2<sup>da</sup> clase. Todas las poligonales trazadas fueron de enlace.

La señalización de los pozos se realizó empotrando una estaca que sobresale 5 cm de la superficie del terreno para ubicar la posición exacta de los pozos y una que sobresale entre 50 cm y 120 cm del nivel del suelo, que lleva grabada en sus lados los valores de las coordenadas y los números del bloque y el pozo. Los valores de las coordenadas marcadas en las estacas durante el proceso de replanteo fueron sustituidos por las obtenidas en las mediciones del proceso de amarre.

Las mediciones se ejecutaron con el GPS Leica 1200, el cual está apto para su uso, según la verificación realizada en enero de 2013 emitida por el Órgano Metrológico No. 57.

El tiempo dado para las mediciones con el GPS fue el siguiente:

Para la base geodésica de apoyo de 1<sup>ra</sup> categoría: 60 min.

Para la base geodésica de apoyo de 2<sup>da</sup> categoría: 30 min.

Para la base geodésica de apoyo de 1<sup>ra</sup> clase: 15 min.

Para la base geodésica de apoyo de 2<sup>da</sup> clase: 10 min.

Para el replanteo y amarre de pozos ordinarios: 5 min.

**Procesamiento digital:** el procesamiento automatizado de los trabajos se realizó en dos etapas:

- Descarga de los ficheros desde la estación total a la computadora. Los ficheros resultantes de las mediciones se obtuvieron con extensión GSI o IDX.
- Procesamiento de los ficheros, utilizando los softwares especializados LeicaSurvey Office, para el manejo de los datos colectados en campo por la estación total, carga y descarga de datos, software de sistema y aplicaciones, editor de coordenadas, manejo de listas de códigos y llamadas a otras herramientas externas; así como el GifCon2.5.

## Determinación de coordenadas por GPS

Después de realizar el análisis de los puntos de 4<sup>to</sup> orden pertenecientes a la red geodésica nacional y los de 1<sup>ra</sup> categoría, ubicado dentro de los límites del yacimiento, con posibilidades para ser utilizados como referencia para las mediciones con GPS, se definió el programa de mediciones. La alta precisión en las mediciones se garantizó con la utilización del método estático de determinaciones GPS, en el cual la medición tiene lugar simultáneamente entre dos o más receptores:

- Estación de referencia, ocupada con un receptor GPS, cuyas coordenadas geodésicas son conocidas.
- Estación móvil, ocupada con un receptor GPS, cuyas coordenadas geodésicas se pretenden determinar.

Para desarrollar el amarre de los puntos utilizando el receptor GPS se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros de precisión:

Orden del punto GPS: 1<sup>ra</sup> y 2<sup>da</sup> categoría

Distancia entre los puntos: 5 000 m

Error relativo (ppm): 10 mm  $\pm$  2 ppm

Tipo de receptor: SR – 20

Método de medición: Estático

Cantidad de sesiones: 1

Velocidad de muestreo (s): 1

Duración de la sesión (horas): 2.

Para todos los puntos el ángulo máscara de observación fue de 15°.

En cada determinación se observó un mínimo de 7 satélites con un GDOP inferior a 3.

## Modelo digital del terreno

La verificación de los datos del modelo digital del terreno (MDT) en el área se realizó utilizando GPS diferencial de alta precisión, con error menor a un metro para cada coordenada. Las comprobaciones permitieron confirmar la correspondencia en la ubicación de los pozos en el campo en relación con las bases de datos.

No obstante, la información aportada por el MDT utilizado no tiene el grado de precisión requerido para el control de la explotación, por lo que se requiere realizar el

levantamiento topográfico a escala más detallada, escala 1:2000 o mayor, que permita contornear las superficies.

### **Influencia de los factores meteorológicos durante las mediciones topográficas con GPS**

Los efectos de las variaciones de la temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y la altura sobre el nivel medio del mar inciden sobre los resultados de las mediciones de las distancias y desniveles. Es preciso demostrar, para estos yacimientos, la posible incidencia de dichos factores meteorológicos en las mediciones topográficas.

La adquisición de GPS por parte del grupo empresarial Cubaníquel permitió su aplicación en todo tipo de trabajo de la topografía minera. Se incluye el cálculo de volumen de mineral extraído y se analizan los resultados de las mediciones en el campo; los cuales están influenciados por varias fuentes de errores, entre ellas las condiciones atmosféricas que, en muchas ocasiones, no se tienen en cuenta.

### **Trabajo experimental**

La incertidumbre de las mediciones se modeló por el método de simulación de Monte Carlo (Peña, 2001). La clave de dicha simulación consiste en crear un modelo matemático del sistema-proceso o actividad que se quiere analizar, identificando aquellas variables (inputs del modelo) cuyo comportamiento aleatorio determina el comportamiento global del sistema. Una vez identificados dichos inputs o variables aleatorias se llevó a cabo un experimento consistente en generar, con ayuda del ordenador, muestras aleatorias (valores concretos) para tales inputs y analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados.

Tras repetir este experimento, como la curva de información tiende a ser asintótica, lo que significa que a partir de un límite no tiene sentido incrementar el número de determinaciones, ya que no aporta nueva información y sí encarece el experimento, será necesario realizar un diseño experimental. Se dispuso de una serie de observaciones sobre el comportamiento del sistema, lo cual será de utilidad para entender el funcionamiento del mismo. Se estableció el modelo matemático, la identificación de las fuentes y componentes de la incertidumbre y se determinaron las variables aleatorias y sus distribuciones acumuladas (F).

Se generó un número aleatorio entre (0 y 1) y se determinó el valor de la variable aleatoria para el número aleatorio generado de acuerdo con las clases. Se calcularon los estadígrafos, medias y desviaciones estándar y los resultados para distintos tamaños de muestras. Para la investigación se diseñaron los experimentos utilizando el método plan factorial, fundamentado en la ecuación:  $2^n$ , donde  $n$  es la cantidad de variables que intervienen en el experimento.

En este caso intervienen tres variables no controladas, es decir, no reguladas en condiciones de laboratorio: temperatura, humedad y presión atmosférica.

Sustituyendo (n) por la cantidad de variables (3) entonces se obtiene:  $2^3=8$

Como resultado se realizaron ocho mediciones simultáneas o recíprocas para cada conjunto de puntos.

Las observaciones se realizaron con la medición de las distancias en la base de comparación de distanciómetros, con temperaturas: 26 °C y 29,5 °C; 30 °C y 34,5 °C; presión atmosférica entre 1 007 mb y 1 011 mb, considerando los parámetros meteorológicos y sin considerarlos. Las observaciones: Estación libre, Poligonal y Medir y registrar (método polar) se hicieron con iguales temperaturas y las mismas condiciones que el primer caso.

### **Resultado del experimento No. 1. Base de comparación de distanciómetros**

Se midieron 19 distancias en cada serie entre siete puntos y en un solo sentido sobre bases patrones de comparación, con longitudes conocidas de sus tramos en un rango entre 20 m y 270 m. Se utilizó el intercambio obligado de centrado para eliminar los errores por este concepto. El cálculo y evaluación de la constante aditiva se obtiene determinando el promedio a partir de las constantes obtenidas en cada tramo medido, mediante la fórmula:  $C_i = C_{bi} - C_{mi}$ .

Donde:

$C_{bi}$  - longitud convencionalmente verdadera de cada tramo de la base;

$C_{mi}$  - longitud de cada tramo de la base medida con la estación total.

El valor definitivo de la constante aditiva ( $C_p$ ) se obtuvo determinando el promedio de las constantes obtenidas en todos los tramos medidos por la fórmula:  $C_p = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$ .

Donde:  $n$  es la cantidad de tramos medidos.

Los errores residuales ( $V_i$ ) se calculan por la fórmula:  $V_i = C_i - C_p$

Los resultados de las mediciones realizadas aparecen en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Resultados obtenidos en la medición de las distancias en la base de comparación. Con temperatura 26 °C y 29,5 °C, presión atmosférica entre 1 007 mb y 1 011 mb, considerando los parámetros meteorológicos

No. de orden	$C_{bi}$	$C_{mi}$	$C_i$	$V_i$	$V_i^2$
1	19,978	19,984	-0,006	-0,008	0,000064
2	25,104	25,099	0,005	0,003	0,000009
3	35,007	35,006	0,001	-0,001	0,000001
4	40,053	40,046	0,007	0,005	0,000025
5	45,082	45,088	0,006	-0,008	0,000064
6	60,111	60,110	0,001	-0,001	0,000001
7	75,060	75,056	0,004	0,002	0,000004
8	80,088	80,090	-0,002	-0,004	0,000016
9	90,393	90,396	-0,003	-0,005	0,000025
10	100,164	100,160	0,005	0,003	0,000009
11	120,141	120,141	0,000	-0,002	0,000004
12	135,098	135,095	0,003	0,001	0,000001
13	150,432	150,431	0,001	-0,001	0,000001
14	160,203	160,199	0,004	0,002	0,000004
15	180,180	180,181	0,000	-0,002	0,000004
16	190,485	190,480	0,005	0,003	0,000009
17	225,492	225,486	0,006	0,004	0,000016
18	250,596	250,590	0,006	0,004	0,000016
19	270,573	270,573	0,000	-0,002	0,000004
$\Sigma$			<b>0,030</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000277</b>
$C_p$			<b>0,0016</b>	<b>m</b>	<b>0,0038</b>
				<b>M</b>	<b>0,00088</b>

Tabla 2. Resultados obtenidos en la medición de las distancias en la base de comparación. Con temperatura 26 °C y 29,5 °C, presión atmosférica entre 1 007 mb y 1 011 mb, sin configurar los parámetros meteorológicos

No. de orden	$C_{bi}$	$C_{mi}$	$C_i$	$V_i$	$V_i^2$
1	19,978	19,979	-0,001	-0,005	0,000025
2	25,104	25,099	0,005	0,001	0,000001
3	35,007	35,005	0,002	-0,002	0,000004
4	40,053	40,045	0,008	0,004	0,000016
5	45,082	45,087	-0,005	-0,009	0,000081
6	60,111	60,109	0,002	-0,002	0,000004
7	75,060	75,054	0,006	0,002	0,000004
8	80,088	80,092	-0,004	-0,008	0,000064
9	90,393	90,388	0,005	0,001	0,000001
10	100,164	100,157	0,007	0,003	0,000009
11	120,141	120,137	0,004	0,000	0,000000
12	135,098	135,097	0,001	-0,003	0,000009
13	150,432	150,427	0,005	0,001	0,000001
14	160,203	160,196	0,007	0,003	0,000009
15	180,180	180,179	0,001	-0,003	0,000009
16	190,485	190,477	0,008	0,004	0,000016
17	225,492	225,486	0,006	0,002	0,000004
18	250,596	250,585	0,011	0,007	0,000049
19	270,573		0,009	0,005	0,000025
$\Sigma$			<b>0,0077</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000331</b>
$C_p$			<b>0,004</b>	<b>m</b>	<b>0,0042</b>
				<b>M</b>	<b>0,00096</b>

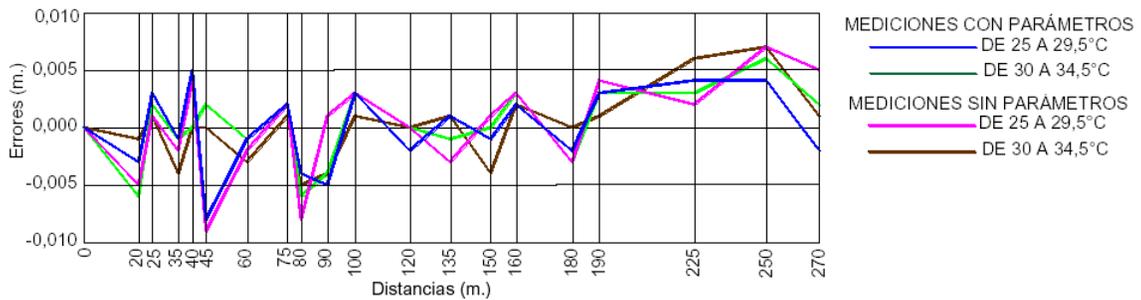


Figura 1. Comportamiento del resultado obtenido en las constantes aditivas de cada tramo entre puntos y por cada serie.

Al analizar la diferencia entre los errores de las constantes aditivas de las diferentes series que se exponen en la Figura 1 se observa que entre la mayor y menor magnitud de error existe una diferencia máxima de 0,0034 m; lo cual demuestra que la incidencia de los factores meteorológicos es despreciable para los trabajos topográficos relacionados con el cálculo de volumen de mineral extraído, en cualesquiera de las condiciones climáticas que pudieran presentarse en el territorio nacional. La representación gráfica del comportamiento de los valores promedios resultantes de la constante aditiva de cada serie se muestra en la Figura 2.

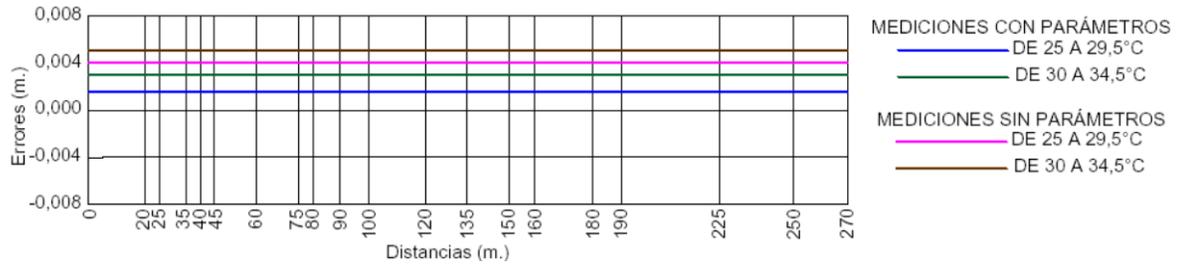


Figura 2. Representación gráfica del comportamiento de los valores promedio resultantes de la constante aditiva de cada serie.

## Resultado del experimento No. 2. Estación libre

Para las comprobaciones de la efectividad de la aplicación Estación libre se valoraron los aspectos tratados en el acápite anterior sobre la base de las posibilidades reales de utilización de la misma, en la que no es muy frecuente la disposición de una densificación geodésica que permita utilizar más de tres puntos de referencia y con base en ello. Se propuso comprobar si con solo dos o tres puntos de orientación y colocando prismas en cada uno de ellos para medir la distancia se podían obtener los valores de coordenadas dentro de los parámetros inferiores a los permisibles.

Se realizaron 13 combinaciones, en dependencia de la distribución de los puntos de las bases patrones de referencia, cuyas distancias oscilaron entre 20 m y 2 400 m. Los resultados se muestran en las Tablas 3 y 4 así como en la Figura 3.

De acuerdo con los resultados expuestos en ambas tablas llegamos a la conclusión de que para distancias de hasta 2 400 m, seleccionando puntos de orientación por el método Estación libre, se obtiene un error máximo promedio de 0,040 m.

En la Figura 3 se pueden apreciar los resultados de estas mediciones llevados a una gráfica en forma radial, donde se presentan los cambios de los errores absolutos obtenidos por cada tipo de serie, con respecto a un punto central que representa los valores del punto de apoyo tomado como referencia.

Al trazar circunferencias tangentes a los puntos más alejados del punto central se comprueba que en la medida en que aumentan las condiciones adversas, aumenta el error y la dispersión. También se observa que los errores mayores se presentan cuando se utilizan combinaciones con lados muy largos. En la medida en que se emplean lados más cortos los valores se acercan a cero y existe un menor grado de dispersión.

Al trazar las líneas sobre las magnitudes permisibles para las escalas 1:500 y 1:1000 se puede observar que aún en los puntos obtenidos con la mayor incidencia desfavorable los errores son inferiores a los permisibles. Los resultados demuestran que en este experimento se puede utilizar la aplicación Estación libre para determinar coordenadas de los puntos de la red de apoyo, para los trabajos topográficos con distancias de hasta 2 000 m y utilizar mediciones angulares y lineales a solo dos o tres puntos de orientación con coordenadas de orden superior.

Tabla 3. Resultados obtenidos en la determinación de coordenadas por el programa Estación libre, considerando los parámetros meteorológicos

Puntos de orientación	Fx	Fy	Error absoluto	Distancia (m)	Condiciones
7	0,002	0,002	0,003	20-206	26-29,5 °C; 1 011 mb
7	0,002	0,002	0,003	20-206	30-34,5 °C; 1 010 mb
3	0,002	0,002	0,003	20-206	26-29,5 °C; 1 011 mb
3	0,002	0,002	0,003	20-206	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	0,002	0,002	0,003	20-206	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	0,002	0,003	0,003	20-206	30-34,5 °C; 1 010 mb
3	0,000	0,000	0,000	400-500	26-29,5 °C; 1 011 mb
3	0,000	0,000	0,000	400-500	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	0,001	0,000	0,001	400-500	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	0,000	0,003	0,003	400-500	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	-0,046	0,030	0,055	800-2 100	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	-0,045	0,034	0,056	800-2 100	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	-0,007	0,009	0,011	1 000-1 300	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	0,005	0,015	0,016	1 000-1 300	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	-0,011	0,026	0,028	900-1 700	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	-0,020	0,033	0,039	900-1 700	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	-0,045	0,024	0,054	1 300-2 300	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	-0,048	0,039	0,062	1 300-2 300	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	0,039	0,079	0,088	1 700-2 400	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	0,069	0,064	0,094	1 700-2 400	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	-0,053	0,041	0,067	2 100-2 300	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	-0,025	0,075	0,079	2 100-2 300	30-34,5 °C; 1 010 mb
3	-0,053	0,029	0,060	800-2 300	26-29,5 °C; 1 011 mb
3	-0,053	0,036	0,064	800-2 300	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	0,079	0,015	0,080	2 300-2 400	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	0,089	0,043	0,099	2 300-2 400	30-34,5 °C; 1 010 mb
7	0,002	0,002	0,003	20-206	26-29,5 °C; 1 011 mb
7	0,002	0,002	0,003	20-206	30-34,5 °C; 1 010 mb
$\Sigma$	<b>-0,112</b>	<b>0,59</b>	<b>0,974</b>		
<b>Promedio</b>	<b>-0,004</b>	<b>0,023</b>	<b>0,037</b>		

Tabla 4. Resultados obtenidos en la determinación de coordenadas por el programa Estación libre, sin configurar los parámetros meteorológicos

Puntos de orientación n	Fx	Fy	Error absoluto	Distancia (m)	Condiciones
7	0,002	0,002	0,003	20-206	26-29,5 °C; 1 011 mb
7	0,002	0,002	0,003	20-206	30-34,5 °C; 1 011 mb
3	0,002	0,002	0,003	20-206	26-29,5 °C; 1 011 mb
3	0,002	0,002	0,003	20-206	30-34,5 °C; 1 011 mb
2	0,002	0,002	0,004	20-206	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	0,002	0,007	0,007	20-206	30-34,5 °C; 1 011 mb
3	0,001	0,000	0,001	400-500	26-29,5 °C; 1 010 mb
3	0,003	0,001	0,003	400-500	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	0,004	0,002	0,004	400-500	26-29,5 °C; 1 010 mb
2	0,005	0,003	0,006	2 400-500	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	-0,046	0,030	0,055	800-2 100	26-29,5 °C; 1 010 mb
2	-0,045	0,034	0,056	800-2 100	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	-0,009	-0,009	-0,013	1 000-1 300	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	0,005	-0,018	0,019	1 000-1 300	30-34,5 °C; 1 011 mb
2	-0,013	0,029	0,032	900-1 700	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	-0,025	0,031	0,040	900-1 700	30-34,5 °C; 1 011 mb
2	-0,043	0,029	0,052	1 300-2 300	26-29,5 °C; 1 010 mb
2	-0,046	0,052	0,069	1 300-2 300	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	0,035	0,082	0,089	1 700-2 400	26-29,5 °C; 1 010 mb
2	0,070	0,068	0,098	1 700-2 400	30-34,5 °C; 1 010 mb
2	-0,056	0,043	0,071	2 100-2 300	26-29,5 °C; 1 010 mb
2	-0,026	0,081	0,085	2 100-2 300	30-34,5 °C; 1 010 mb
3	-0,055	0,039	0,067	800-2 300	26-29,5 °C; 1 011 mb
3	-0,059	0,036	0,069	800-2 300	30-34,5 °C; 1 011 mb
2	0,088	-0,021	0,090	2 300-2 400	26-29,5 °C; 1 011 mb
2	0,093	0,046	0,104	2 300-2 400	30-34,5 °C; 1 011 mb
<b>Σ</b>	<b>-0,107</b>	<b>0,577</b>	<b>1,046</b>		
<b>Promedio</b>	<b>-0,004</b>	<b>0,022</b>	<b>0,040</b>		

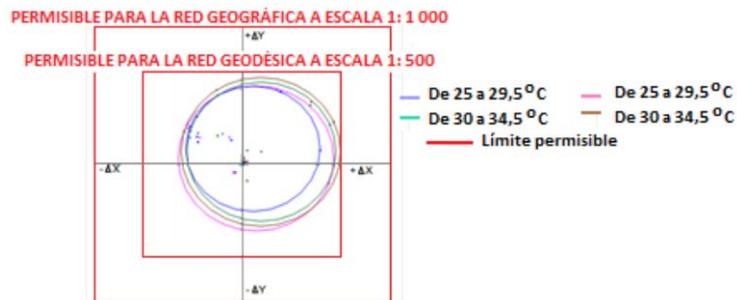


Figura 3. Comportamiento de las constantes obtenidas en la aplicación Estación libre.

### Resultado del experimento No. 3. Poligonal

Se escogieron tres tramos con puntos con coordenadas conocidas, cuyas magnitudes entre lados y longitud total se acercan a las establecidas para estos trabajos. Estuvo conformado por cuatro series de tres poligonales, con longitudes entre los 2 100 m y 4

700 m y lados entre 400 m y 1 000 m. Como señales de orientación se utilizó el bastón portaprisma apoyado en las manos de los operarios, los que velaron por el correcto centrado y verticalidad. La elección de la aplicación para este caso fue Medir y registrar. Los resultados alcanzados aparecen en las Tablas 5 y 6.

Como resultado del trabajo reflejado en las Tablas 5 y 6 se tiene que, en todos los casos, los errores lineales relativos están por debajo del error lineal permisible de 1/10 000. Al realizar una valoración con los errores absolutos promedios, entre 2 000 m y 3 000 m y a 4 700 m, se comprueba que los mismos son inferiores al error lineal permisible de 1/10 000. Se acepta la efectividad de la medición de poligonales con la aplicación Medir y registrar para poligonales de 1<sup>ra</sup> y 2<sup>da</sup> categoría.

Tabla 5. Resultados obtenidos en las poligonales, considerando los parámetros meteorológicos

Fx	Fy	Error absoluto	Distancia (m)	Error lineal relativo	Condiciones
-0,116	-0,053	0,128	2 103	1/15 400	26-29,5 °C; 1 011 mb
-0,111	-0,085	0,139	2 103	1/15 100	30-34,5 °C; 1 011 mb
0,036	0,159	0,163	2 671	1/16 300	26-29,5 °C; 1 011 mb
0,051	0,171	0,178	2 671	1/15 000	30-34,5 °C; 1 011 mb
-0,158	-0,245	0,202	4 769	1/16 300	26-29,5 °C; 1 011 mb
0,404	0,249	0,474	4 769	1/10 000	30-34,5 °C; 1 011 mb
<b>-0,035</b>	<b>0,048</b>	<b>0,152</b>	<b>Errores promedios entre 2 000 y 3 000 m</b>		
<b>0,123</b>	<b>0,02</b>	<b>0,383</b>	<b>Errores promedios a 4 700 m</b>		

Tabla 6. Resultados obtenidos en las poligonales, sin configurar los parámetros meteorológicos

Fx	Fy	Error absoluto	Distancia (m)	Error lineal relativo	Condiciones
-0,125	-0,083	0,150	2 103	1/14 000	26-29,5 °C; 1 011 mb
-0,133	-0,080	0,155	2 103	1/13 500	30-34,5 °C; 1 011 mb
0,058	0,185	0,194	2 671	1/13 768	26-29,5 °C; 1 011 mb
0,064	0,197	0,207	26 711	1/12 900	30-34,5 °C; 1 011 mb
-0,279	-0,356	0,452	4 769	1/10 500	26-29,5 °C; 1 011 mb
0,404	0,249	0,474	4 769	1/10 000	30-34,5 °C; 1 011 mb
<b>-0,034</b>	<b>0,055</b>	<b>0,177</b>	<b>Errores promedios entre 2 000 y 3 000 m</b>		
<b>0,063</b>	<b>-0,054</b>	<b>0,463</b>	<b>Errores promedios a 4 700 m</b>		

#### Resultado del experimento No. 4. Medir y registrar (método polar)

Se tomaron 12 puntos ubicados a distancias entre 100 m y 2 400 m, en los que se observaron cuatro series de mediciones. Para las mediciones a los puntos se utilizó como apoyo al prisma el bastón portaprisma. Se eligieron puntos ubicados a distancias intermedias donde se colocaron las señales sobre trípodes, con centración forzada por medio de la plomada óptica, con el objetivo de tener una idea sobre la influencia del

movimiento involuntario del bastón portaprisma en las manos del operario en el punto determinado con bastón (Tablas 7 y 8).

El resultado de las mediciones se llevó a una gráfica, que presenta la tendencia del aporte de cada error obtenido por cada distancia medida entre el punto de apoyo y el punto de piquete y entre series. Se puede comprobar que, en la medida en que aumentan las condiciones desfavorables y la distancia, aumenta el error y la dispersión entre ellos. También se observa que existe una incidencia significativa en el error y la dispersión en los puntos donde el prisma está colocado sobre el bastón, en comparación con los que se colocaron sobre trípodes (Figura 4).

Al observar el trazado de las líneas por el valor de los errores permisibles para las diferentes escalas se observa que sobre los 1 800 m se realiza una intersección para las condiciones más adversas y que a la distancia de 1 732 m se mantiene agrupada la dispersión de los errores, la cual aumenta considerablemente a la distancia de 2 417 m.

Estos análisis brindan los argumentos necesarios para la elección de la distancia máxima del instrumento al punto en su determinación planimétrica y se puede considerar según lo expuesto: hasta la distancia de 1 000 m se pueden obtener valores que garantizan un error por debajo de los parámetros permisibles en los trabajos de cálculo de volumen de mineral extraído.

Tabla 7. Errores absolutos obtenidos en la determinación de coordenadas de un punto, por medio de la aplicación Medir y registrar (método polar), considerando los parámetros meteorológicos

No. de orden	Error absoluto	Distancia (m)	Error relativo	Condiciones
1	0,005	100	1/20 000	26-29,5°C; 1 010 mb
2	0,005	100	1/20 000	30-34,5°C; 1 011 mb
3	0,011	250	1/22 700	26-29,5 °C; 1 010 mb
4	0,012	250	1/20 800	30-34,5 °C; 1 011 mb
5	0,014	376	1/26 800	26-29,5 °C; 1 015 mb
6	0,016	376	1/23 000	30-34,5 °C; 1 007 mb
7	0,019	414	1/21 700	26-29,5 °C; 1 010 mb
8	0,026	414	1/15 900	30-34,5 °C; 1 011 mb
9	0,023	530	1/23 000	26-29,5 °C; 1 015 mb
10	0,025	530	1/21 200	30-34,5 °C; 1 007 mb
11	0,016	621	1/38 800	26-29,5 °C; 1 010 mb
12	0,018	621	1/34 500	30-34,5 °C; 1 011 mb
13	0,025	667	1/26 600	26-29,5 °C; 1 010 mb
14	0,026	667	1/25 600	30-34,5 °C; 1 011 mb
15	0,031	808	1/26 000	26-29,5 °C; 1 010 mb
16	0,034	808	1/23 700	30-34,5 °C; 1 007 mb
17	0,040	1 022	1/24 300	26-29,5 °C; 1 010 mb
18	0,042	1 022	1/26 600	30-34,5 °C; 1 011 mb

19	0,044	1 172	1/23 900	26-29,5°C; 1 015 mb
20	0,049	1 172	1/24 000	30-34,5 °C; 1 007 mb
21	0,071	1 732	1/24 300	26-29,5 °C; 1 013 mb
22	0,066	1 732	1/26 200	30-34,5 °C; 1 015 mb
23	0,217	2 417	1/11 100	26-29,5 °C; 1 015 mb
24	0,262	2 417	1/9 200	30-34,5 °C; 1 007 mb
	<b>0,022</b>	<b>Errores promedios hasta 1 000 m</b>		
	<b>0,118</b>	<b>Errores promedios de 1 000-2 417 m</b>		

Tabla 8. Errores absolutos obtenidos en la determinación de coordenadas de un punto, por medio de la aplicación Medir y registrar (método polar), sin configurar los parámetros meteorológicos

No. de orden	Error absoluto	Distancia (m)	Error relativo	Condiciones
1	0,005	100	1/20 000	26-29,5 °C; 1 010 mb
2	0,006	100	1/16 700	30-34,5 °C; 1 011 mb
3	0,013	3 250	1/19 200	26-29,5 °C; 1 010 mb
4	0,014	250	1/17 800	30-34,5 °C; 1 011 mb
5	0,017	376	1/22 100	26-29,5 °C; 1 015 mb
6	0,018	376	1/20 800	30-34,5 °C; 1 007 mb
7	0,025	414	1/16 500	26-29,5 °C; 1 010 mb
8	0,026	414	1/15 900	30-34,5 °C; 1 011 mb
9	0,027	530	1/19 600	26-29,5 °C; 1 015 mb
10	0,028	530	1/18 900	30-34,5 °C; 1 007 mb
11	0,020	621	1/31 000	26-29,5 °C; 1 010 mb
12	0,021	621	1/29 500	30-34,5 °C; 1 011 mb
13	0,028	667	1/23 800	26-29,5 °C; 1 010 mb
14	0,031	667	1/21 500	30-34,5 °C; 1 011 mb
15	0,036	808	1/22 400	26-29,5 °C; 1 010 mb
16	0,039	808	1/20 700	30-34,5 °C; 1 007 mb
17	0,043	1 022	1/23 700	26-29,5 °C; 1 010 mb
18	0,044	1 022	1/23 200	30-34,5 °C; 1 011 mb
19	0,062	1 172	1/18 900	26-29,5 °C; 1 015 mb
20	0,070	1 172	1/16 700	30-34,5 °C; 1 007 mb
21	0,080	1 732	1/21 600	26-29,5 °C; 1 013 mb
22	0,083	1 732	1/20 800	30-34,5 °C; 1 015 mb
23	0,292	2 417	1/8 300	26-29,5 °C; 1 015 mb
24	0,297	2 417	1/8 100	30-34,5 °C; 1 007 mb
	<b>0,025</b>	<b>Errores promedios hasta 1 000 m</b>		
	<b>0,147</b>	<b>Errores promedios de 1 000-2 417 m</b>		

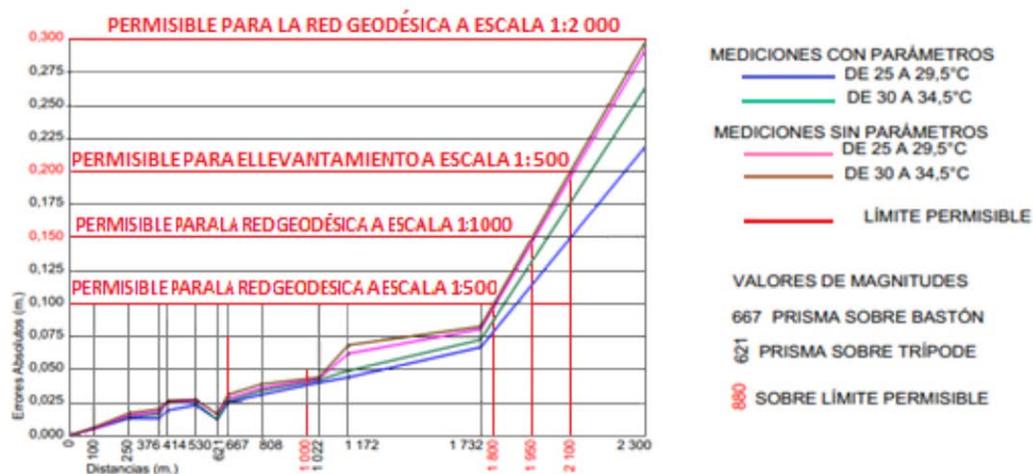


Figura 4. Resultados obtenidos en la aplicación Medir y registrar, para la determinación de coordenadas de un punto, desde puntos geodésicos con coordenadas conocidas.

### Resultado del experimento No. 5. Nivelación

Se realizaron mediciones en cuatro series en un solo sentido, sobre diez puntos con cotas conocidas ubicados a distancias entre 1 000 m y 1 172 m. En el punto se colocó el prisma sobre bastón sostenido por el operario, que mantuvo la verticalidad y centración correcta. Se eligieron puntos ubicados a distancias intermedias, en los que se colocó el prisma sobre trípode. Se logró una mayor estabilidad en el momento de la medición. Los resultados obtenidos aparecen en las Tablas 9 y 10 y en la Figura 5.

En la medida en que aumentan las condiciones desfavorables y la distancia, aumenta el error y la dispersión entre ellos. Existe una incidencia significativa en el error y la dispersión en los puntos donde el prisma está colocado sobre el bastón, en comparación con los que se colocaron sobre trípodes.

El trazado de las líneas por el valor de los errores permisibles para las diferentes escalas muestra que sobre los 625 m se realiza una intersección con la línea que representa el error máximo permisible para la nivelación de IV orden, en las condiciones más adversas. A la distancia cercana a los 880 m se intercepta la línea que representa el error máximo permisible para la nivelación técnica. Con la línea del error en las condiciones más adversas y a los 1 090 m la misma línea se intercepta con la línea que representa el error para la equidistancia de 0,25 m.

Estos análisis brindan los argumentos para la elección de la distancia máxima del instrumento al punto en su determinación altimétrica y se puede considerar, de acuerdo con lo comprobado en este experimento, que hasta la distancia de 1 000 m se pueden obtener valores que garantizan un error por debajo de los parámetros permisibles en los trabajos para el cálculo de volumen de mineral extraído.

Tabla 9. Errores obtenidos en la determinación de las alturas de los puntos, por medio de la aplicación Medir y registrar, considerando los parámetros meteorológicos

No. de orden	Error	Distancia (m)	Condiciones
1	0,001	100	26-29,5 °C; 1 010 mb
2	0,001	100	30-34,5 °C; 1 011 mb
3	0,002	250	26-29,5 °C; 1 010 mb
4	-0,004	250	30-34,5 °C; 1 011 mb
5	-0,005	414	26-29,5 °C; 1 015 mb
6	0,005	414	30-34,5 °C; 1 007 mb
7	0,010	530	26-29,5 °C; 1 010 mb
8	-0,012	530	30-34,5 °C; 1 011 mb
9	-0,009	621	26-29,5 °C; 1 015 mb
10	0,010	621	30-34,5 °C; 1 007 mb
11	0,016	667	26-29,5 °C; 1 010 mb
12	-0,018	667	30-34,5 °C; 1 011 mb
13	0,028	734	26-29,5 °C; 1 010 mb
14	-0,034	734	30-34,5 °C; 1 011 mb
15	-0,032	808	26-29,5 °C; 1 010 mb
16	0,033	808	30-34,5 °C; 1 007 mb
17	0,039	1 022	26-29,5 °C; 1 010 mb
18	0,043	1 022	30-34,5 °C; 1 011 mb
19	0,064	1 172	26-29,5 °C; 1 015 mb
20	0,070	1 172	30-34,5 °C; 1 007 mb
	<b>0,002</b>	<b>Errores promedios hasta 1 000 m</b>	
	<b>0,067</b>	<b>Errores promedios de 1 000-1 172 m</b>	

Tabla 10. Errores obtenidos en la determinación de las alturas de los puntos, por medio de la aplicación Medir y registrar, sin configurar los parámetros meteorológicos

No. de orden	Error	Distancia (m)	Condiciones
1	0,003	100	26-29,5 °C; 1 010 mb
2	0,003	100	30-34,5 °C; 1 011 mb
3	-0,004	250	26-29,5°C; 1 010 mb
4	0,006	250	30-34,5 °C; 1 011 mb
5	0,007	414	26-29,5 °C; 1 015 mb
6	-0,009	414	30-34,5 °C; 1 007 mb
7	0,012	530	26-29,5 °C; 1 010 mb
8	-0,013	530	30-34,5 °C; 1 011 mb
9	0,011	621	26-29,5 °C; 1 015 mb
10	0,014	621	30-34,5 °C; 1 007 mb
11	-0,025	667	26-29,5 °C; 1 010 mb
12	-0,030	667	30-34,5 °C; 1 011 mb
13	0,034	734	26-29,5 °C; 1 010 mb
14	0,039	734	30-34,5 °C; 1 011 mb
15	-0,036	808	26-29,5 °C; 1 010 mb
16	0,041	808	30-34,5 °C; 1 007 mb

17	0,047	1 022	26-29,5 °C; 1 010 mb
18	-0,057	1 022	30-34,5 °C; 1 011 mb
19	-0,081	1 172	26-29,5 °C; 1 015 mb
20	0,098	1 172	30-34,5 °C; 1 007 mb
	<b>0,006</b>	<b>Errores promedios hasta 1 000 m</b>	
	<b>0,099</b>	<b>Errores promedios de 1 000-1 172 m</b>	

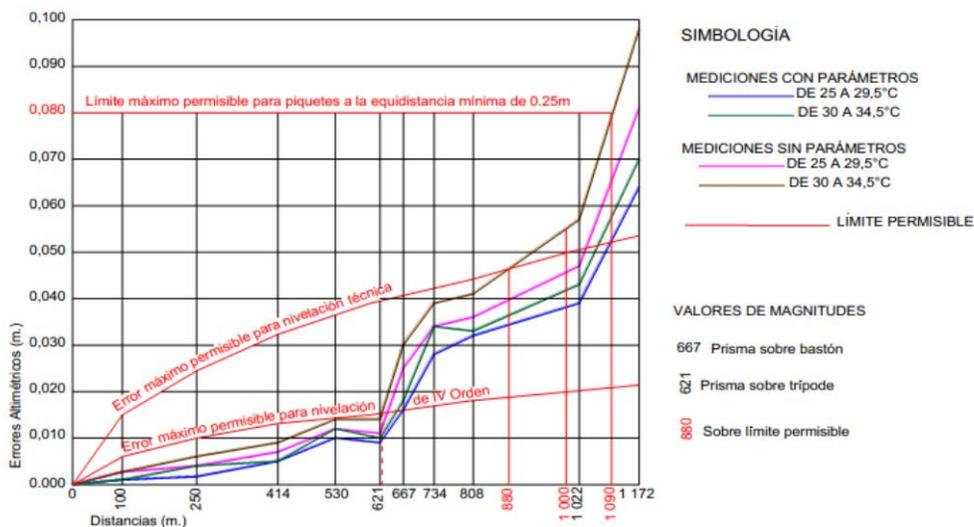


Figura 5. Representación de los resultados obtenidos en la aplicación Medir y registrar, para la determinación de coordenadas de un punto, desde puntos geodésicos con coordenadas conocidas.

Evidentemente se observa que los errores obtenidos, considerando los parámetros meteorológicos, son menores si no se consideran.

### Conclusiones

La determinación de las coordenadas de la red geodésica de apoyo del yacimiento con GPS mostró buena precisión al considerar los factores meteorológicos (temperatura, presión atmosférica y humedad).

La influencia de los factores meteorológicos, en cualquiera de las condiciones climáticas que pudieran presentarse en los yacimientos lateríticos cubanos, para los trabajos topográficos relacionados con el cálculo de volumen de mineral extraído medidos con estaciones totales y GPS, no se pueden despreciar. Su valor disminuye cuando se consideran los parámetros meteorológicos de 0,177 m a 0,152 m, para distancia de 2 000-3 000 m, y de 0,463 m a 0,383 m para distancia de 4700 m.

La investigación realizada sobre la determinación de los factores meteorológicos permitió realizar mediciones topográficas con estaciones totales y GPS para la confección de planos topográficos a grandes escalas.

### Referencias bibliográficas

BELETE, O. 1997: Perfeccionamiento de la determinación del mineral extraído a través del cálculo de volumen y la masa volumétrica. *Minería & Geología* 14(2).

PALMA, V. J. & RAMÍREZ, F. R. 2013: *Estación meteorológica multiparamétrica sincronizada con GPS y monitoreada a través de internet*. Tesis de grado. Universidad de El Salvador.

PEÑA, D. 2001: Deducción de distribuciones: el método de Monte Carlo. *Fundamentos de Estadística*. Alianza Editorial, Madrid.

SEEBER, G. 1993: *Satellite Geodesy Foundations, Methods and Applications*. Walter de Gruyter, New York.

SUÁREZ, A. 2009: *Generación de un modelo de retraso troposférico a partir de medidas meteorológicas superficiales y GPS en los puntos ESPE-CIE-S061*. Tesis. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Sede Sangolquí. Consulta: 10 nov 2012. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/759/1/T-ESPE-026605.pdf>