

Determinación del coeficiente conjunto de curvatura y refracción en yacimientos lateríticos de Moa

Walkis Herrera-Blanco
Orlando Belete-Fuentes
Yordanys E. Batista-Legrá

Resumen

En este trabajo se analizaron factores meteorológicos, así como la densidad de la capa de aire, la diferencia de altura sobre el nivel del mar, la variación de las condiciones atmosféricas en diferentes horas del día y la presión atmosférica. Se realizaron mediciones experimentales a partir de los trabajos organizativos, instrumentos utilizados y la red topográfica empleada. Para determinar el coeficiente conjunto de curvatura y refracción en estos yacimientos se usó el método de centración forzada. Se obtuvo un coeficiente conjunto de curvatura y refracción para los yacimientos lateríticos del municipio de Moa de 0,20 m, el cual difiere del valor aplicado nacionalmente (0,14 m). Se verifica que al aplicar el valor obtenido a las mediciones topográficas experimentales, las alturas de los puntos se aproximan más al valor real que cuando se calculan con 0,14 m.

Palabras clave: coeficiente de curvatura y refracción; estaciones totales; topografía minera; yacimientos lateríticos.

Estimation of the overall curvature coefficient and refraction in lateritic ore bodies

Abstract

In this work the meteorological factors, the air layer density, the differences in the height above sea level, the variations of the atmospheric conditions at different hours during the day and the atmospheric pressure were analyzed. Experimental measurements were completed based on organizational works, the instruments and the soil survey network used. The result indicates that the overall coefficient of curvature and refraction in the lateritic ore bodies in the municipality of Moa is 0,20 m. This differs from the coefficient of (0,14 m) applied on a national level. It was possible to observe that when applying 0,20 m to the experimental soil measurements the resulting height values of the locations were much closer to the actual value than when applying 0,14 m.

Keywords: curvature and refraction coefficient; mining soil survey; lateritic ore body.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo científico-técnico en materia de instrumentos topográficos aplicados a la minería toma auge en Cuba a partir del año 1998 con la llegada de las primeras Estaciones Totales. En el territorio de Moa (Holguín, Cuba) se comienza a aplicar esta tecnología por primera vez en la fábrica de níquel Pedro Sotto Alba, posteriormente en la industria Comandante Ernesto Che Guevara y en otras empresas como Ceproníquel (Álvarez y Chávez 2014).

Las mediciones topográficas se desarrollan en todos los yacimientos lateríticos de la región sin tener en cuenta el coeficiente conjunto de curvatura y refracción en las labores mineras, así como en la elaboración de planos mineros que brindan la información necesaria en la toma de decisiones en beneficio de los estudios de diferentes yacimientos. No existe un análisis de la exactitud en los trabajos de altimetría en estos yacimientos para la exploración geológica y la explotación minera, teniendo en cuenta el coeficiente conjunto de curvatura y refracción a partir del empleo de las Estaciones Totales (Manual de Hidrografía, 2010)

Kondrashkov (1974) realizó cálculo de coeficiente de refracción vertical y refracción lateral en un área muy extensa de Moscú, Rusia, donde afirmó que el coeficiente conjunto de curvatura y refracción influye en la precisión de los trabajos realizados con instrumentos de alta tecnología (Farjas-Abadía, 2006)

El coeficiente de curvatura y refracción fue determinado en Cuba por especialistas soviéticos en la década de los 60, en diferentes zonas del país, tomándose como valor medio 0,14 para los cálculos geodésicos.

Desde entonces no se conocen con certeza otros trabajos relacionados con el tema. Sucede que estos yacimientos lateríticos se encuentran ubicados en pendientes muy pronunciadas y grandes alturas, por lo que las variables meteorológicas hacen variar el coeficiente de refracción (Instituto Geográfico Nacional).

Los coeficientes de curvatura y refracción en los yacimientos lateríticos representan un factor a tener en cuenta en la selección de los instrumentos topográficos, confección de redes topográficas de apoyo a los trabajos de topografía aplicados a la minería, cálculo de reserva de mineral, planificación minera, replanteo de trochas, pozos geológicos, redes de perforación, confección de perfiles longitudinales y transversales, diseño de camino minero, entre otros.

La aplicación de los coeficientes de curvatura y refracción en los yacimientos lateríticos, permite una mejora continua en las determinaciones altimétricas de los puntos de la red de apoyo en la mina, en el desarrollo de la exploración geológica así como en la explotación de los yacimientos lateríticos. Su aplicación en los trabajos topográficos mineros trae consigo avances tecnológicos fundamentalmente en tres aspectos.

- Aumento de la precisión y fiabilidad en la confección de las redes de apoyo topográficas.
- Aumento de la precisión y exactitud en las mediciones con la aplicación de la nueva tecnología topográfica.
- Brinda resultados más confiables en la confección de planos topográficos como apoyo a las labores mineras.

La necesidad de realizar un estudio de los factores que inciden en la determinación del coeficiente conjunto de curvatura y refracción en los yacimientos lateríticos del norte holguinero, para mejorar la precisión de los trabajos topográficos, es un problema que afecta la planificación minera a corto, mediano y largo plazo. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue determinar el coeficiente conjunto de curvatura y refracción en estos yacimientos de relieve abrupto y de condiciones meteorológicas variables.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en los yacimientos Camarioca Sur y Camarioca Norte, pertenecientes a los yacimientos lateríticos del norte holguinero, donde se realizaron experimentos para la determinación del coeficiente conjunto de curvatura y refracción en los yacimientos lateríticos de Moa, con la utilización del método de centración forzada en cada serie de mediciones. Las mediciones se realizaron con la estación Total Sokkia Set 3 010 y el GPS Leica 1 200 en tiempo real (Manual del usuario 2010).

Para el estudio se investigaron los factores que inciden en la determinación del coeficiente conjunto de curvatura y refracción que a continuación se exponen:

- **Las diferentes densidades de las capas del aire**

La densidad de las capas de aire disminuye con la altura. Si los rayos luminosos pasan de las capas más densas del aire a las menos densas los rayos se refractan alejándose de la perpendicular, en el caso contrario, se acercan a ella. Por la desviación de los rayos luminosos de la visual

aumenta el error de refracción; cuanto más larga sea la visual, tanto más se refractará el rayo. Por esta razón es necesario considerar la influencia de la refracción en las visuales largas, es decir, mayores de 300 m para obtener mediciones precisas (Alfonz 1984).

- **La diferencia de altura sobre el nivel medio del mar**

La determinación de los desniveles entre un punto y otro, o varios puntos sobre la superficie de la tierra, origina diferentes alturas sobre el nivel del mar. El cálculo de esos desniveles se efectúa considerando la tierra como plana y la atmósfera real (distancia medida). Al ser la tierra esférica y la atmósfera ideal (distancia ideal), la distancia medida para determinar los desniveles entre los puntos describe una línea recta, que al proyectarla sobre la superficie de la tierra delinea un arco (Figura 1) que introduce en las mediciones topográficas el error por curvatura y el error de refracción (Manual del usuario para los instrumentos Sokkia set 1996; Leica Geo office 2008).

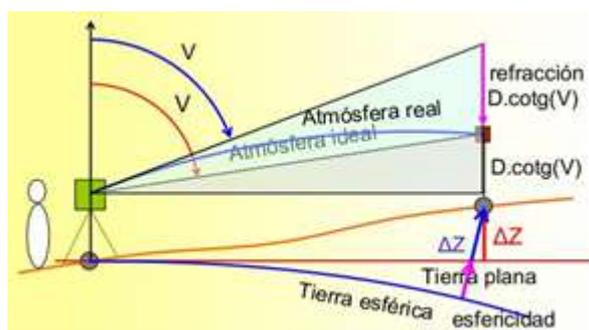


Figura 1. Error de curvatura y refracción.

- **La variación las condiciones atmosféricas en diferentes horas del día**

En las 24 horas del día, y fundamentalmente en el horario de la 6:00 am y las 7:00 pm, que se desarrollan las mediciones topográficas, se aprecia el mayor cambio de las condiciones atmosféricas como temperatura y humedad.

- **La precisión atmosférica**

Los trabajos topográficos mineros en los yacimientos lateríticos se realizan a diferentes alturas sobre el nivel medio del mar, desde 15 m hasta más de 500 m, siendo este un factor a tener en cuenta en las mediciones experimentales. La Tabla 1 muestra la corrección por presión atmosférica a diferentes alturas sobre el nivel del mar (Manual del operador para los instrumentos de medición Sokkia Set 2008).

Tabla 1. Corrección por altitud sobre el nivel del mar

Presión		Altura sobre el nivel del mar (m)	Factor	
Pa	mm Hg		μ	1 : V
10^5	760	0	1	1
$0,97 \times 10^5$	735	300	0,967	1,034
$0,95 \times 10^5$	725	400	0,953 5	1,048
$0,93 \times 10^5$	707	600	0,917 8	1,074
$0,9 \times 10^5$	691	800	0,862	1,100
$0,88 \times 10^5$	674	1,000	0,887	1,127
$0,83 \times 10^5$	632	1,500	0,831 7	1,202
$0,78 \times 10^5$	596	2,000	0,884	1,275

Otros de los factores a tener en cuenta en la determinación del coeficiente de curvatura y refracción es la presencia de la vegetación, los errores accidentales introducidos por el instrumentista y los errores propios del instrumento.

2.1. Densificación de la red topográfica para las mediciones experimentales

La densificación geodésica planimétrica y altimétrica utilizada en las mediciones experimentales en este trabajo fue realizado por el grupo empresarial del MINFAR (GeoCuba) a partir del año 2010, estableciendo en la zona en estudio seis puntos de centración forzada, denominados FNC-1, FNC-2, FNC-3, FNC-4, FNC-5 y FNC-6, para una precisión de cuarto orden (Figura 2). Las coordenadas planas rectangulares de los puntos fueron determinadas a partir de los puntos de cuarto orden: PM-3 y PM-4 (Manual del usuario para los instrumentos Sokkia Set 2 000, 3 000, 4 000, 4 000s. 1996).



Figura 2. Puntos topográficos de centración forzada.

2.2. Trabajos organizativos para las mediciones experimentales

Con el objetivo de atenuar los errores accidentales y los errores propios del instrumento se verificaron y se seleccionaron las Estaciones Totales Sokkia Set 3 010 # 22 878 y 32 547, calibrada y certificada como apta para su uso por el laboratorio meteorológico correspondiente al grupo empresarial GeoCuba, Holguín, las cuales cumplen con los parámetros mínimos establecidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales parámetros técnicos de la Estación Total

Nº	Estación Total Set 3 010	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
6	Alcance máximo con un solo prisma en condiciones desfavorables	Hasta 1 500 m

2.3. Mediciones experimentales

En la segunda etapa de trabajo se realizaron las mediciones de campo, en un periodo de un año, desde el 10 de abril de 2011 hasta el 10 de abril de 2012. Se realizaron tres ciclos de medición por cada mes, en diferentes horarios y en diferentes condiciones atmosféricas (favorables y desfavorables). En cada ciclo de medición se tomaron los datos de temperatura, humedad, presión atmosférica y hora de la medición. Los

experimentos se diseñaron según el método factorial, fundamentado en la ecuación 2^n , donde n es la cantidad de variables que intervienen en el experimento. En este estudio intervienen tres variables no controladas o no reguladas en condiciones de laboratorio:

- Temperatura
- Humedad
- Presión atmosférica.

Se tomaron ocho mediciones simultáneas o recíprocas para cada conjunto de puntos. Los ciclos de medición se realizaron los días 10, 20 y 30 de cada mes, para un total de tres ciclos por mes, promediando las variables meteorológicas: temperatura, humedad y presión. Para las mediciones de la temperatura se utilizó un termómetro digital para temperaturas, entre -55°C y $+148^{\circ}\text{C}$; la humedad se tomó con el hidrómetro y la presión con el barómetro digital (Manual del operador 2008).

Las mediciones topográficas (distancia horizontal, ángulo vertical, altura del instrumento y altura de la señal) se realizaron en el mismo período y cantidad de ciclo que las mediciones de las variables meteorológicas, promediando cada medición por ciclo. Se tomaron ocho mediciones simultáneas recíprocas, desde el punto FNC-3 al FNC-5, a una distancia aproximada de 449 m con 0,76 % de pendiente (Figura 3); desde el punto FNC-3 al FNC-2, a una distancia aproximada de 950 m con 0,38 % de pendiente (Figura 4) y desde el punto FNC-2 al FNC-4, a una distancia aproximada de 1 213 m, con una pendiente de 4 %.

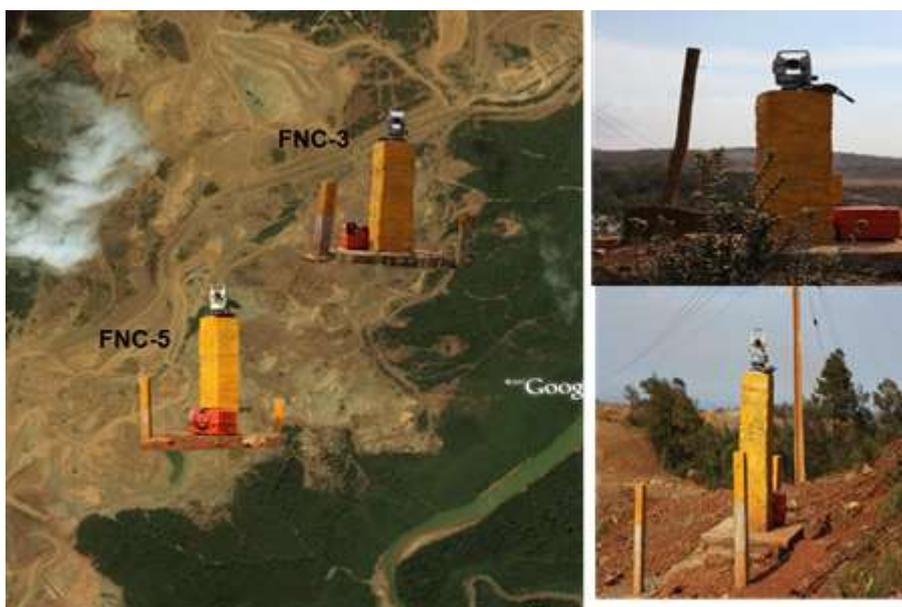


Figura 3. Mediciones recíprocas entre los puntos FNC-3 y FNC-5.



Figura 4. Mediciones recíprocas entre los puntos FNC-3 y FNC-2.

2.4. Determinación de la corrección por curvatura en los yacimientos lateríticos

La corrección por curvatura se determinó para las tres mediciones experimentales, aplicando a las distancias las correcciones atmosféricas. La corrección atmosférica de las distancias se determinó mediante la fórmula (1):

$$DR = Dg * \text{Sen } \beta \quad (1)$$

Donde:

DR= Distancia reducida al horizonte;

Dg= Distancia geométrica;

β = Ángulo vertical.

2.5. Determinación de la distancia reducida al nivel medio del mar

Se utilizó la fórmula del Carlson Software Inc. (2007).

$$DH = DR * CR. \quad CR = 1 - (HA/R + HB/R^2) \quad (2)$$

Donde:

DH= Distancia reducida al nivel del mar;

DR= Distancia reducida al horizonte;

CR= Corrección por reducción al radio de la tierra;

HA= Altura geométrica en el punto estacionado;

HB= Altura geométrica en el punto de orientación;

R= Radio medio de la tierra 6 378 206,4 m según el esferoide de Clarke de 1866 utilizado en los trabajos geodésicos en Cuba.

A partir de la distancia geométrica corregida se procedió a obtener directamente, por la fórmula (3), la distancia reducida a la cuerda en la superficie de referencia.

$$DH = \frac{Dg^2 - (Hb - Ha)^2}{\sqrt{\left[1 + \frac{Ha}{R}\right] * \left[1 + \frac{Hb}{R}\right]}} \quad (3)$$

Donde:

Dg= Distancia geométrica corregida;

Ha= Altura geométrica en el punto estacionado más la altura del instrumento;

Hb= Altura geométrica en el punto orientado más la altura del instrumento;

R= Radio medio de la tierra 6 378 206,4 m

A partir de la distancia geométrica corregida se procedió a calcular la corrección por curvatura para las tres mediciones experimentales por la fórmula (4) (Manual de Hidrografía, 2010).

$$Ee = \frac{d^2}{2R} \quad (4)$$

Donde:

Ee = Corrección por curvatura;

d = Distancia geométrica corregida;

R= Radio medio de la tierra 6 378 206,4 m

2.6. Determinación de la corrección por refracción en los yacimientos lateríticos

La corrección por refracción se determina por la fórmula de Alfonz (1984):

$$K = 0,5 - \frac{R}{2 * \omega} * (\Delta + \Delta' - 180^\circ) \quad (5)$$

Sustituyendo el ángulo ω en función de la longitud (D) del lado geodésico y del radio (R) de la tierra.

La corrección por refracción (Figura 5) se calculó para las tres mediciones experimentales, aplicando la fórmula de Domínguez (1974).

$$K = 0,5 - \frac{R}{2 * D} * \frac{(\Delta + \Delta' - 180^\circ)}{\rho''} \quad (6)$$

Donde:

K= Corrección por refracción;

R= Radio medio de la tierra 6 378 206,4

D= Distancia reducida a la cuerda en la superficie de referencia;

Δ= Ángulo vertical (distancia cenital) en el punto (A);

Δ'= Ángulo vertical (distancia cenital) en el punto (B);

$\rho'' = 206\,265''$

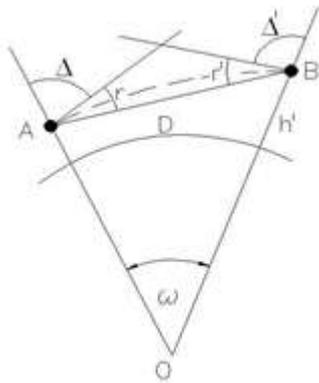


Figura 5. Determinación de la corrección por refracción.

2.7. Determinación de la corrección conjunta curvatura y refracción en los yacimientos lateríticos

La introducción de la nueva técnica topográfica en el municipio de Moa permitió aplicar la corrección conjunta de curvatura y refracción a las mediciones mineras de campo, antes o después de medir, en el procesamiento de descarga de estas o propiamente en el software empleado. A partir del cálculo de la corrección por curvatura y refracción se determinó la corrección conjunta curvatura y refracción (C_c) para los tres ciclos, mediante la fórmula (7).

$$C_c = Ee + Er = \frac{D^2}{2R} - K \frac{D^2}{R} \quad (7)$$

2.8. Determinación del coeficiente conjunto curvatura y refracción para los yacimientos lateríticos

En Cuba se estableció 0,14 como valor promedio de coeficiente de refracción, pero en todo el territorio nacional la posición geográfica y las

condiciones atmosféricas son diversas, por tanto, el coeficiente conjunto de curvatura y refracción es diferente y se calcula por la siguiente ecuación (8).

$$W = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{3} \quad (8)$$

$$W_1 = Ee_1 - Er_1; \quad W_2 = Ee_2 - Er_2; \quad W_3 = Ee_3 - Er_3$$

Donde:

Ee_1 = Corrección por curvatura medición experimental #1;

Ee_2 = Corrección por curvatura medición experimental #2;

Ee_3 = Corrección por curvatura medición experimental #3;

Er_1 = Corrección por refracción medición experimental #1;

Er_2 = Corrección por refracción medición experimental #2;

Er_3 = Corrección por refracción medición experimental #3;

W_1 = Corrección conjunta curvatura y refracción medición experimental #1;

W_2 = Corrección conjunta curvatura y refracción medición experimental #2;

W_3 = Corrección conjunta curvatura y refracción medición experimental #3;

W = Coeficiente conjunto curvatura y refracción para los yacimientos lateríticos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La corrección por curvatura se obtuvo, según la fórmula (1), para la primera medición experimental, desde el punto FNC-3 al FNC-5, **DR** = 449,209 m; para la segunda medición experimental, desde el punto FNC-3 al FNC-2, **DR** = 950,729 m, y para la medición experimental #3, desde el punto FNC-2 al FNC-4, **DR** = 1 574,324 m.

La determinación de la distancia reducida al nivel medio del mar, mediante la fórmula (2), se obtuvo para la medición experimental #1, desde el punto FNC-3 al punto FNC-5. Los resultados fueron:

CR=0,0999963846, **DH**=449,192 m; para la medición experimental #2, desde el punto FNC-3 al punto FNC-2, **CR**=0,999963846, **DH**=950,695 m y para la medición experimental #3, desde el punto FNC-2 al punto FNC-4, **CR**=0,99996331, **DH**=1 574,266 m.

A partir de la distancia geométrica corregida se obtuvo, por la fórmula (3), la distancia reducida a la cuerda en la superficie de referencia, obtenida por la fórmula (3), para la medición experimental #1, desde el punto FNC-3 al punto FNC-5, **DH**=449,140 m; para la medición experimental #2, desde el punto FNC-3 al punto FNC-2, **DH**=950,619 m y para la medición experimental #3, desde el punto FNC-2 al punto FNC-4, **DH**=1 573,469 m.

El cálculo de la corrección por curvatura, por la fórmula (4), se obtuvo para la medición experimental #1, desde el punto FNC-3 al punto FNC-5, $E_e=0,0158$ m; en la medición experimental #2, desde el punto FNC-3 al punto FNC-2, $E_e=0,0708$ m y en la medición experimental #3, desde el punto FNC-2 al punto FNC-4, $E_e=0,194$ m.

Con el cálculo de la corrección por curvatura para las tres mediciones experimentales se obtuvieron los siguientes valores (Tabla 3).

Tabla 3. Corrección por curvatura obtenida en las mediciones experimentales

Nº	Distancia (m)	Ángulo Vertical	Pendiente (%)	Corrección por curvatura (m)
1	449,146	89° 33' 46"	0,76	0,015
2	950,619	89° 37' 53"	0,38	0,070
3	1573,469	88° 20' 32"	4,0	0,194

Las correcciones por curvatura en las mediciones experimentales permitieron establecer los valores (Tabla 4) para distancias desde 250 m hasta 2 500 m en las mediciones topográficas mineras en los yacimientos lateríticos del municipio de Moa.

Tabla 4. Valores de corrección por curvatura para los yacimientos lateríticos

Nº	Distancias (m)	Corrección por curvatura (m)
----	----------------	------------------------------

1	250	0,005
2	350	0,010
3	450	0,016
4	550	0,024
5	650	0,033
6	750	0,044
7	850	0,057
8	950	0,071
9	1 000	0,078
10	1 100	0,095
11	1 200	0,113
12	1 300	0,133
13	1 400	0,154
14	1 500	0,176
15	2 000	0,313

La corrección por refracción se determinó en la medición experimental #1, estacionando la primera Estación Total en el punto FNC-3 y la segunda en el punto FNC-5, planteado por la fórmula (7) se obtiene un valor de $K=0,210$ m. En la medición experimental #2 se colocó la primera Estación Total en el punto FNC-3 y la segunda Estación Total en el punto FNC-2, $K=0,265$ m y en la medición experimental #3, situando una Estación Total en el punto FNC-2 y la otra en el punto FNC-4, $K=0,389$ m.

Tabla 5. Corrección por refracción obtenida en las mediciones experimentales

Nº	Distancia (m)	Corrección por refracción (m)
1	449,146	0,210
2	950,619	0,265
3	1573,469	0,389

Los resultados de la corrección conjunta de curvatura y refracción a las mediciones mineras de campo, para los tres ciclos de mediciones fueron:

En la medición experimental #1: $Cc=0,008$ m;

En la medición experimental #2: $Cc=0,032$ m;

En la medición experimental #3: $Cc=0,043$ m.

El coeficiente conjunto de curvatura y refracción (W), determinado por la fórmula (7) para los yacimientos lateríticos en el municipio de Moa, se determinó a partir de las tres mediciones experimentales realizadas:

$$W_1 = Ee_1 - Er_1 = 0,015 - 0,210 = 0,195m$$

$$W_2 = Ee_2 - Er_2 = 0,070 - 0,265 = 0,195m$$

$$W_3 = Ee_3 - Er_3 = 0,194 - 0,389 = 0,195m$$

$$W = (W_1 + W_2 + W_3) / 3 = (0,195 + 0,195 + 0,195) / 3 = 0,195 \approx 0,20m$$

Se obtuvo 0,20 m como coeficiente conjunto de curvatura y refracción para las mediciones topográficas mineras en los yacimientos lateríticos del municipio de Moa. La Tabla 6 representa la corrección conjunta del coeficiente de curvatura y refracción a diferentes distancias aplicando 0,20 m como coeficiente conjunto de curvatura y refracción.

Tabla 6. Corrección de las magnitudes lineales

Nº	Distancia (m)	Corrección por curvatura (m)	Corrección por refracción (m)	Corrección Conjunta (m)	Coeficiente conjunto curvatura y refracción (m)
1	250	0,005	-0,001	0,004	0,20
2	350	0,010	-0,004	0,006	0,20
3	450	0,016	-0,006	0,010	0,20
4	550	0,024	-0,009	0,015	0,20
5	650	0,033	-0,013	0,020	0,20
6	750	0,044	-0,018	0,026	0,20
7	850	0,057	-0,023	0,034	0,20
8	950	0,071	-0,028	0,043	0,20

9	1 000	0,078	-0,031	0,047	0,20
10	1 100	0,095	-0,038	0,057	0,20
11	1 200	0,113	-0,045	0,068	0,20
12	1 300	0,133	-0,053	0,080	0,20
13	1 400	0,154	-0,061	0,093	0,20
14	1 500	0,176	-0,070	0,106	0,20
15	2 000	0,313	-0,125	0,188	0,20

Según los datos de la Tabla 6, las correcciones son directamente proporcionales a la distancia, considerando que se debe aplicar el coeficiente a partir de 350 m en las mediciones topográficas durante los trabajos mineros.

3.1. Validación del coeficiente conjunto de curvatura y refracción en la red topográfica de apoyo

Para validar 0,20 m como coeficiente conjunto de curvatura y refracción (W) en los yacimientos lateríticos se realizaron dos mediciones experimentales: la primera medición con 0,14 m, coeficiente promedio determinado en Cuba por los especialistas soviéticos, y la segunda medición experimental con 0,20 m, determinado en este trabajo investigativo.

Las mediciones experimentales se desarrollaron en la misma red topográfica de apoyo donde se realizaron las mediciones experimentales para determinar el coeficiente conjunto de curvatura y refracción. En cada punto se llevaron a cabo seis mediciones, determinándose en cada medición las coordenadas planas rectangulares (X , Y , Z) para los puntos FNC-2, FNC-3, FNC-4 y FNC-5. Las coordenadas reales (patrón) se relacionan en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultado de las mediciones experimentales

Nº	(X)m	(Y)m	(Z)m	Categoría para (X,Y)	Categoría para (Z)	Nomenclatura
1	695 412,823	218 449,749	234,012	IV Orden	II Orden	FNC-2
2	695 668,117	217 532,085	230,595	IV Orden	II Orden	FNC-3
3	694 512,475	217 163,326	279,910	IV Orden	II Orden	FNC-4
4	695 295,992	217 280,519	234,041	IV Orden	II Orden	FNC-5

4. DISCUSIÓN

Los resultados de la altura real comparada con la aplicación de los diferentes coeficientes conjuntos de curvatura y refracción muestran diferencias (Tabla 8).

Tabla 8. Comparación de las alturas aplicando distintos coeficientes

Nº	Altura real (m)	Altura con 0,14 (W)	Altura con 0,20 (W)	ΔZ Real-0,14	ΔZ Real-0,20	Nomenclatura
1	234,012	234,043 m	234,001 m	-0,031 m	-0,011 m	FNC-2
2	230,595	230,625 m	230,610 m	-0,030 m	-0,015 m	FNC-3
3	279,910	279,943 m	279,919 m	-0,033 m	-0,009 m	FNC-4
4	234,041	234,090 m	234,062 m	-0,049 m	-0,021 m	FNC-5

Para el punto FNC-2 el valor que más se aproxima a la altura real del punto es 234,001 m, aplicando el coeficiente conjunto de curvatura refracción determinado en este trabajo investigativo. De la misma manera se obtuvo la altura de los puntos FNC-3, FNC-4 y FNC-5.

La altura real del punto FNC-3 es de 230,595 m, el valor obtenido 230,610 m, que es el valor más próximo al real.

Las alturas de los puntos determinadas mediante la nivelación trigonométrica, con la aplicación de 0,14 m como coeficiente conjunto de curvatura y refracción, se alejan del valor real, sin embargo, con la aplicación de 0,20 m, las alturas de los puntos se aproximan más a la real, determinada por la nivelación geométrica.

5. CONCLUSIONES

El estudio realizado en estos yacimientos lateríticos permitió demostrar que al aplicar el coeficiente conjunto de curvatura y refracción determinado de 0,20 m a las mediciones topográficas experimentales, las alturas de los puntos se aproximan más al valor real que cuando se calcula con $W=0,14$ m.

6. REFERENCIAS

- ALFONZ, P. 1984: *Cálculos geodésicos*. Tomo 1. Editorial Pueblo y Educación, La Habana.
- ÁLVAREZ, D. & CHÁVEZ, N. 2014: Predicción y simulación de las zonas de visibilidad de radar en 3D en el territorio de Cuba. *Revista Telemática* 13(4): 15-19 ISSN 1729-3804.
- AUTODESK. INC. 2010: Manual de usuario AutoCAD Civil. Copyright USA.
- CARLSON SOFTWARE. Inc. 2000-2007: Guía de usuario Carlson X-Port. Copyright USA.

- CEPRONÍQUEL. 1996: Manual del usuario para los instrumentos Sokkia Set 2 000, 3 000, 4 000, 4 000s.
- CEPRONÍQUEL. 2008: Leica Geo Office 3.0. Software.
- CEPRONÍQUEL. 2008: Manual del operador para los instrumentos de medición Sokkia Set 1X, 2X, 3X y 5X.
- Determinación del coeficiente de curvatura y refracción en Cuba: en Manual de Hidrografía, [en línea]. Disponible en: www.iho.int/iho_pubs/CB/C-13/spanish/C-13_Capitulo_6.pdf.
- FARJAS ABADÍA, M. Determinación del coeficiente de curvatura y refracción: [en línea]. Disponible en: http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/NT_Teoria.pdf. Accedido: febrero 2014
- DOMÍNGUEZ, F. 1974: *Topografía General y Aplicada*. Editorial Dossat, España, p. 347.
- KONDRASHKOV, A. V. 1974: *Revista geodesia y aerofotolevantamiento*. Tomo 9. Editorial Moscú.
- Trabajos topográficos para la determinación del coeficiente de curvatura y refracción, en: Instituto Geográfico Nacional, España. [en línea]. Disponible en: www.ign.es/ign/resources/acercade/aig/a3.pdf

Walkis Herrera-Blanco. wherrera@moa.minem.cu

Máster en Topografía Minera. Asistente. Empresa de Proyectos del Níquel

Orlando Belete-Fuentes. obelete@ismm.edu.cu

Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez.

Yordanys Esteban Batista-Legrá. yebatista@ismm.edu.cu

Máster en Topografía Minera. Asistente. Empresa de Proyectos del Níquel.