

Original

Recibido: 24/05/2022 | Aceptado: 07/10/2022

**Influencia del gradiente térmico vertical en la exactitud de la refracción atmosférica en yacimientos lateríticos.**

**Influence of vertical temperature gradient in the accuracy of atmospheric refraction in lateritic deposits.**

Orlando Belette Fuentes. *Ing. Profesor Titular. Universidad de Holguín. Cuba.*

[[orlandobelette@gmail.com](mailto:orlandobelette@gmail.com)] 

Fabián Ricardo Ojeda Pardo. *Ing. Profesor auxiliar. Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. ESPOCH. Sede Morona Santiago. Morona Santiago- Ecuador.*

[[mayojeda18@gmail.com](mailto:mayojeda18@gmail.com)] 

Walkis Herrera Blanco. *Ing. Profesor auxiliar. Universidad de Moa. Holguín. Cuba.*

[[walkis1979@gmail.com](mailto:walkis1979@gmail.com)] 

**Resumen**

A partir del problema que presenta la precisión de las alturas de los puntos determinada por el método de la nivelación trigonométrica, en yacimientos lateríticos del norte holguinero, surge la necesidad de valorar la influencia que ejerce el gradiente vertical de temperatura en la exactitud de la refracción atmosférica. Se evidencia que el gradiente vertical de temperatura ejerce gran influencia en la determinación del coeficiente de refracción, hecho que provoca que se cometan errores en la determinación de los desniveles. El periodo de medición debe oscilar entre las 10:00 hasta las 18:00 horas, en el que se alcanzan valores de  $\delta=0.035$  °/m, inferior a 0.2 °/m, que es el valor máximo para considerar la mejor condición para las observaciones. No debe medirse en los intervalos de 12:00 a 15:00 horas, porque se pueden obtener grandes errores en la nivelación trigonométrica. Los resultados muestran que la temperatura del aire y el coeficiente de refracción, tanto por el día como por la noche, son inversamente proporcionales. En los periodos de altas temperaturas diurnas, la refracción es más estable.



**Palabras clave:** refracción; gradiente vertical de temperatura; nivelación trigonométrica; precisión, yacimientos lateríticos.

### **Abstract**

From the problem that presents the precision of the heights of the points determined by the trigonometric leveling method, in literary deposits of the north of Holguin, the need arises to assess the influence that the vertical temperature gradient exerts on the accuracy of the refraction. atmospheric. It is evident that the vertical temperature gradient exerts a great influence on the determination of the refraction coefficient, a fact that causes errors to be made in the determination of the unevenness. The measurement period must range between 10:00 a.m. and 6:00 p.m., where values of  $\delta=0.035$  °/m are reached, less than 0.2 °/m, which is the maximum value to consider the best condition for observations. It should not be measured in the intervals from 12:00 to 15:00, because large errors can be obtained in the trigonometric leveling. The results show that the air temperature and the refraction coefficient, both during the day and at night, are inversely proportional. In periods of high daytime temperatures, refraction is more stable.

**Keywords:** refraction; vertical temperature gradient; trigonometric leveling; precision; lateritic deposits.

### **Introducción**

Muchas investigaciones se han realizado sobre el estudio de la influencia de la refracción vertical en la exactitud de la nivelación trigonométrica. Según (Mozzhuhin, 2018 y Jonas, 2005), la refracción en la nivelación depende solamente del gradiente térmico vertical. Por el día de forma negativa, los rayos visuales se refractan con cero hacia arriba, por la noche se obtienen un cuadro inverso. Las condiciones más favorables para las observaciones se consideran aquellas,



cuando el gradiente térmico vertical no supera 0.2 °/m, en condiciones desfavorables el gradiente es de 0.5 °/m, el error por refracción con longitudes del rayo visual superior a 30 m supera los errores accidentales de la nivelación (Shen, et al., 2017, Siruskova, 2016, Zarco y Sinisa, 2014 y Vshivkova, 2010), investigaron la influencia de la refracción vertical en la exactitud de la nivelación trigonométrica. Sobre la determinación del coeficiente conjunto de curvatura y refracción en yacimientos lateríticos, Herrera et al., (2015) propusieron una metodología para aumentar la calidad de los Modelos Digitales del Terreno para calcular volumen de mineral, y (Zhang et al., 2012 y Hirt et al., 2010), presenta un estudio de este mismo tema, pero no se ha encontrado cómo influye el gradiente térmico vertical en la nivelación trigonométrica en estos yacimientos de compleja estructura y relieve multivariado.

Una de las causas principales de surgimiento de la refracción es la presencia de gradientes térmicos por el paso del rayo visual. El objetivo de esta investigación es determinar la influencia del gradiente térmico vertical en la precisión de la refracción atmosférica en yacimientos lateríticos.

### **Materiales y métodos**

La investigación se realizó en los yacimientos lateríticos de Cantarrana, La Delta y Yagrumaje Sur, pertenecientes al grupo empresarial Cubaníquel, con desnivel promedio de 251 m, se midieron las distancias y desniveles con las estaciones totales Sokkia Set 3010 #22878 y 32547, temperatura del aire, presión atmosférica y humedad a la altura del rayo visual (1.5 m), en recorrido de ida y regreso. Las mediciones se llevaron a cabo en el polígono geodésico de cada yacimiento, desde las 6:00 hasta las 18:00 horas en la temporada de verano, en días soleados y sin precipitaciones, y la elaboración de los resultados se realizó con el software Excel y se comprobó con el Statgraphics Plus V 5.1 Español.



El gradiente térmico vertical ( $\delta=\Delta t/\Delta z$ ) se midió en 12 puntos de la visual a diferentes horas del día, fundamentalmente en el verano, por ser esta zona minera un eterno verano.

### **Análisis y discusión de los resultados**

Con los datos obtenidos en la tabla 1, se construyeron los gráficos: temperatura media del aire (1), los coeficientes de refracción vertical (2) y gradiente térmico vertical (3) en los yacimientos estudiados.

**Tabla 1.**

<b>Hora</b>	<b>Altura, m</b>	<b>Temperatura, °C</b>	<b>Presión (hPA)</b>	<b>Humedad, %</b>	<b><math>\partial T/\partial Z</math>, (°K/m)</b>	<b>K</b>
06:00	162	23.05	762	15	0.08614977	0.347
07:00	171	24.45	757	15	0.04524887	0.227
08:00	173	25	756	14	0.02427185	0.166
09:00	219	25.5	750	13	0.01112471	0.128
10:00	258	28.1	746	15	0.01073345	0.12
11:00	286	29.6	740	11	0.0240096	0.161
12:00	324	29.63	734	10	0.03806334	0.2
13:00	340	29.95	732	10	0.05649718	0.25
14:00	379	29.3	729	9	0.04527163	0.22
15:00	408	28.4	725	9	0.03852504	0.2
16:00	434	27.6	723	8	0.02825657	0.175
17:00	470	27.7	720	8	0.02726281	0.172
18:00	500	26.9	706	8	0.02143163	0.156
<b>Promedio</b>						<b>0.194</b>

**Datos de los agentes atmosféricos obtenidos durante el período de mediciones.**



Gráfico 1.



**Variación de la temperatura media del aire en el yacimiento Cantarrana.**

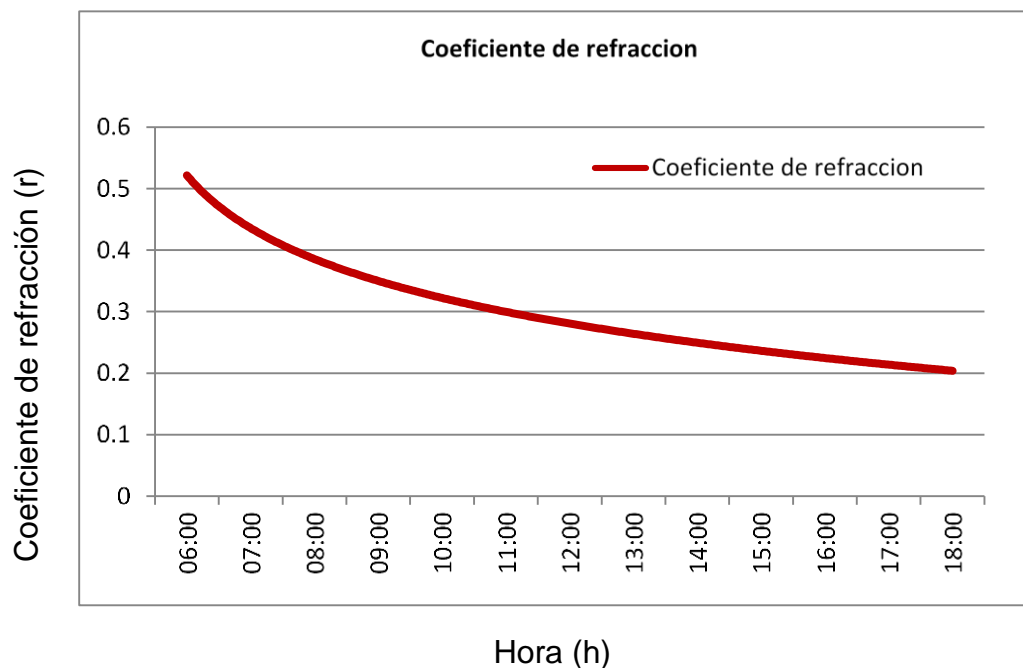
**Fuente: elaboración propia.**

La temperatura más alta en los días de verano se reporta desde las 11:00 hasta las 15:00 horas, según gráfico 1. En este periodo no se deben realizar mediciones de los desniveles, porque se obtienen resultados adversos de las alturas de los puntos, necesarios para la construcción del Modelo Digital del Terreno (MDT).

El gráfico 2 muestra la variación del coeficiente de refracción vertical en el yacimiento Cantarrana



**Gráfico 2.**



**Variación del coeficiente de refracción vertical en el yacimiento Cantarrana.**

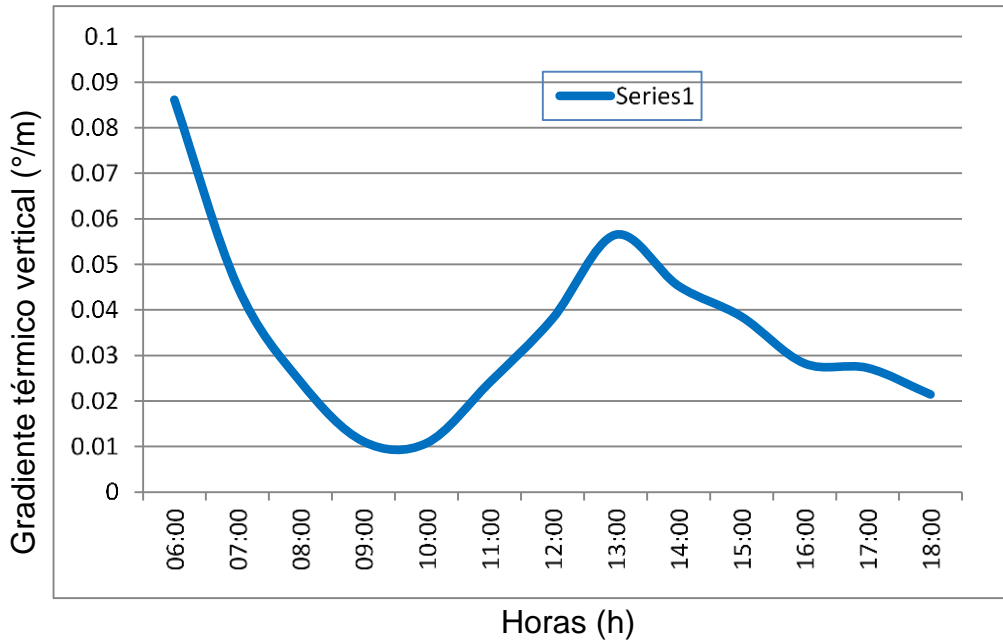
**Fuente: elaboración propia.**

Como se muestra en el gráfico 2, durante el recorrido diurno, la refracción se acompaña de una determinada tendencia. Así, pues, desde las 6:00 hasta las 10:00 horas, el valor del coeficiente de refracción disminuye considerablemente, después de las 10:00 hasta las 18:00 horas disminuye con menor frecuencia y después de las 18:00 horas, comienza a aumentar. Por el día muestra una cierta tendencia a disminuir.

La variación del gradiente térmico vertical en todo el día, determinado en el yacimiento Cantarrana se comporta como sigue (gráfico 3).



Gráfico



3.

Variación del gradiente térmico vertical en el yacimiento Cantarrana.

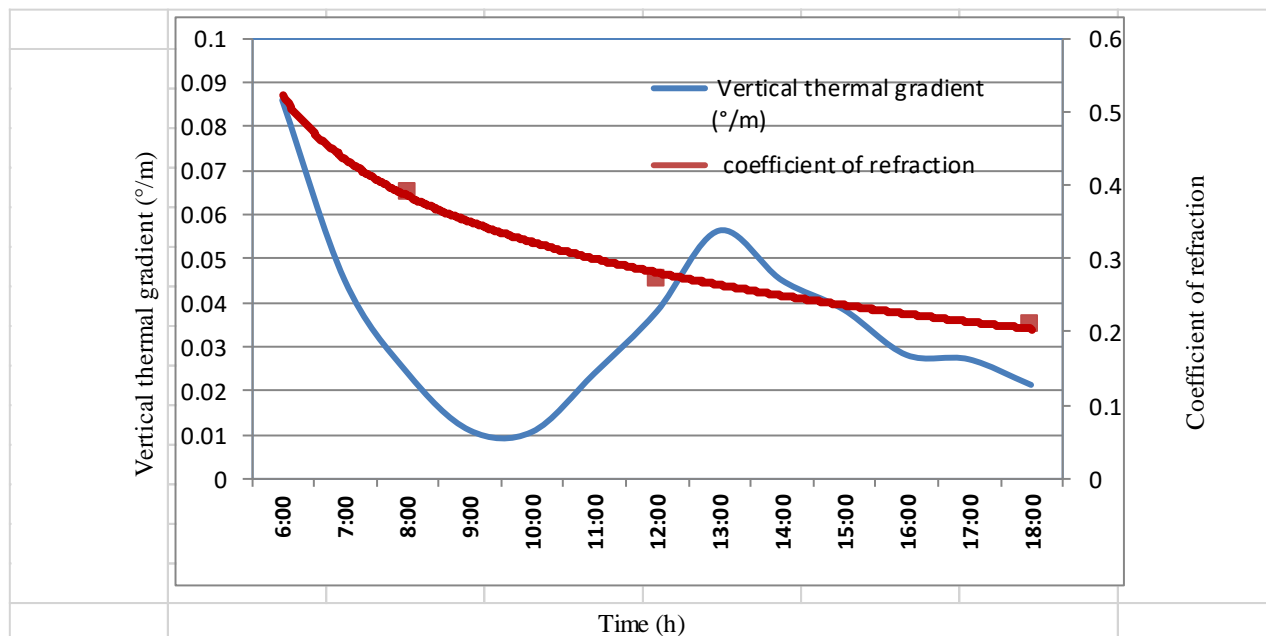
Fuente: Elaboración propia.

Al analizar el gráfico 3 se puede concluir que el tiempo desde las 10:00 hasta las 18:00 horas es el horario más favorable para la realización de la nivelación trigonométrica en los yacimientos lateríticos de Moa, pues es el periodo de tiempo donde el gradiente presenta menor variación. Desde las 6:00 hasta las 9:00 muestra una caída brusca y luego comienza a ascender, esto se produce debido al calentamiento diurno en las primeras horas del día.

En el gráfico 4 se presenta la interposición de los gráficos que muestran la variación del gradiente térmico vertical y el coeficiente de refracción en el yacimiento Cantarrana.



**Gráfico 4.**



**Interposición de los gráficos que muestran la variación del gradiente térmico vertical y el coeficiente de refracción en el yacimiento Cantarrana.**

**Fuente: Elaboración propia.**

El gráfico 4 indica que la intersección de las curvas que presenta el gradiente térmico vertical con la del coeficiente de refracción (12:00 y 15:00 horas), es el tiempo en que no deben realizarse las mediciones, porque se pueden obtener grandes errores en la determinación de los desniveles.

En la investigación realizada a una altura de 489 m sobre el nivel medio del mar, el gradiente térmico vertical tuvo un valor de  $\sigma=0.035$  °/m, inferior a 0.2 °/m, que es el valor máximo para considerar la mejor condición para las observaciones.





Como es sabido, la temperatura del aire a la altura del rayo visual y, particularmente, el gradiente térmico vertical ejerce influencia en la refracción. Los gráficos de variación de la temperatura, su gradiente térmico vertical en el transcurso del día y el coeficiente de refracción, (gráficos 1, 2 y 3) muestran que la temperatura del aire y el coeficiente de refracción, tanto por el día como por la noche son inversamente proporcionales. En los periodos de altas temperaturas diurnas, la refracción es más estable.

La refracción vertical crece con el aumento de la distancia entre puntos y, además, depende de la hora del día, la cobertura de las nubes, la altura del rayo visual sobre la superficie terrestre ( $>1.5$ ), el carácter de la cobertura de la tierra, etc. Por lo tanto, el cálculo exacto de la refracción vertical, no es posible y los ángulos verticales en la triangulación se miden con menor exactitud que los ángulos horizontales.

### **Conclusiones**

1. Se ha podido comprobar que el gradiente vertical de temperatura ejerce gran influencia en la determinación del coeficiente de refracción en los yacimientos lateríticos del este cubano. Sus mediciones deben realizarse desde las 10:00 hasta las 18:00 horas, cuando se alcanzan valores de  $\delta=0.035$  °/m, inferior a 0.2 °/m, que es el valor máximo para considerar la mejor condición para las observaciones. No debe medirse en los intervalos de 12:00 a 15:00 horas porque se pueden obtener grandes errores en la nivelación trigonométrica.

2. Los resultados muestran que la temperatura del aire y el coeficiente de refracción, tanto por el día como por la noche, son inversamente proporcionales. En los periodos de altas temperaturas diurnas, la refracción es más estable.



## **Referencias bibliográficas**

Herrera Blanco, W., Belette Fuentes, O., y Batista Legrá, Y. (2015). Determinación del coeficiente conjunto de curvatura y refracción en yacimientos lateríticos de Moa. *Revista Minería y Geología*, 31(3), 26-44.

Hirt C., Guillaume S., Wisbar A.M, Bürki B.t y Sternberg H.(2010). Monitoreo del coeficiente de refracción en la atmósfera inferior mediante una configuración controlada de mediciones recíprocas simultáneas del ángulo vertical. *Journal of geophysical Research*, 15(1), 14-22. <https://doi.org/10.1029/2010JD014067>

Jonas Skeivalas (2005). Determinación de la influencia de la refracción en la nivelación precisión. *Optical Engineering*, 44(1), 013603. <https://doi.org/10.1117/1.1827224>.

Mozzhuhin, O. A. (2018). La refracción en la nivelación trigonométrica bilateral. Determinación de las correcciones. *Geodesia y Cartografía*, 4(2), 8-13. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2018-934-4-8-13>.

Sirucková, H. (2016). Nivelación experimental en la interfaz de entornos ópticos. Department of Special Geodesy, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague. Czech Technical University in Prague. *Acta Polytechnica*, 56(2),138–146. <http://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/ap>

Shen, Y., Huang, T., Guo, X. y Zang, Q. (2017). Método de inversión de coeficiente de refracción atmosférica basado en la red de nivelación trigonométrica. Journal of surveying engineering. *Journal of Surveying Engineering* ISSN (print): 0733-9453 | ISSN (online): 1943-5428. <https://ascelibrary.org/journal/jsued2>



Vshivkova, O. (2010). Cálculo racional de la refracción con el empleo del Gradientómetro geodésico. Universidad Estatal de Moscú de Geodesia y Cartografía. *Revista Geodesia y Aerofotosionka*, 1(2), 2-6.

Zarco, N. y Sinisa D. (2014). Comparación de las diferencias de altura obtenidas por la nivelación trigonométrica y el método de nivelación espiritual. "Hidroelektrane Đerdap", Kladovo, Serbia University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia, 2(4), *Geonauka*. <https://doi.org/10.14438/gn.2015.01>

Zhang, Zh., Zhang, K., Deng, Y. y Luo, Ch. (2012). Investigación sobre nivelación trigonométrica precisa en lugar de la nivelación de primer orden. *Geo-spatial Information Science*, 8 (4), 235-239. <https://doi.org/10.1007/BF02838654>

