

Determination of the accuracy of calculation of volume of extracted mineral**Determinación de la precisión del cálculo de volumen de mineral extraído en la mina Che Guevara**

DOI:10.34119/bjhrv3n3-024

Recebimento dos originais:01/04/2020

Aceitação para publicação: 07/05/2020

Orlando Belete Fuentes

Doctor en Ciencias Técnicas por la Universidad de Moa. Moa-Cuba
Universidad de Holguin
Dirección: Ave XX Aniversario, Via Guradalavaca. Holguin- Cuba
E-mail: orlandobelette@gmail.com

Fabian Ricardo Ojeda Pardo

Máster en Metalurgia, por la Universidad de Moa-Cuba
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Dirección: Don Bosco y José Félix Pintado, Macas, Morona Santiago-Ecuador
E-mail: fabian.ojeda@epoch.edu.ec

Yordanys Batista-Legrá

Doctor en Ciencias Técnicas por la Universidad de Moa. Moa-Cuba
Universidad de Moa
Dirección: Ave. Calixto García Iñiguez N^a 15 y Ave. N^o 7 de Diciembre. Moa-Holguin-Cuba.
E-mail: ybatista@ismm.edu.cu

RESUMEN

Existe diferencia entre el volumen de mineral que se extrae de las minas y el que se envía a la planta, produciendo alteraciones en el proceso metalúrgico. El método tradicional de levantamiento taquimétrico que se utiliza para calcular el volumen viene acompañado de errores que lo hace exceder del valor permisible (2.5 %). Es objetivo de este trabajo determinar la precisión del cálculo de volumen de mineral extraído medido con estaciones totales y GPS en comparación con los métodos tradicionalmente usados. Los resultados obtenidos de la aplicación del estudio realizado, permitieron obtener un efecto económico para los yacimientos lateríticos Yagruma y Oriente del norte holguinero de 350 000 USD y una disminución de las discrepancias entre la mina y fábrica por el mineral alimentado en la empresa minera de 8,5 a 4,82 %. Los autores aportan una modificación a la ecuación de cálculo de volumen, donde se reflejan las irregularidades geológicas de estos yacimientos y la forma de realización de los trabajos de campo.

Palabras claves: volumen de mineral, yacimiento laterítico, levantamiento taquimétrico, norte holguinero

ABSTRACT

Exists a difference between the volume of ore extracted from the mines and that which is sent to the plant, producing alterations in the metallurgical process. The traditional method of tachymetric survey used to calculate volume is accompanied by errors that exceed the allowable value (2.5%). The objective of this work is to determine the precision of the volume calculation of extracted ore measured with total stations and GPS in comparison with traditionally used methods. The results obtained from the application of the study made it possible to obtain an economic effect for the lateritic Yagruma and Oriente deposits of the north of Holguin of the 350,000 USD and a decrease in the discrepancies between the mine and the factory for the mineral fed in the mining company of 8,5 to 4.82 %. The authors provide a modification to the volume calculation equation, which reflects the geological irregularities of these deposits and the way in which the field works are carried out.

Keywords: volume of mineral, lateritic deposit, tachometric survey, north Holguin

1 INTRODUCCIÓN

Durante la ejecución del levantamiento taquimétrico para calcular el volumen, el topógrafo minero se limita solamente a la realización de los cálculos sin considerar la valoración de la exactitud de las mediciones, hecho que conduce a minimizar la efectividad de la utilización de los métodos topográficos empleados para calcular volumen.

Se consideran los errores que se cometen a la hora de realizar el levantamiento topográfico, en estos yacimientos sobre la base de la complejidad de la minería y su perfeccionamiento.

Se tienen en cuenta las condiciones de explotación de los yacimientos y las exigencias que son presentadas por los organismos rectores, así como los flujos de menas extraídas con la calidad especificada por la planta metalúrgica.

Existe diferencia entre el volumen de mineral que se extrae de las minas y el que se envía a la planta, produciendo alteraciones en el proceso metalúrgico. El método tradicional de levantamiento taquimétrico que se utiliza para calcular volumen, viene acompañado de errores que lo hace exceder del valor permisible (2.5 %).

Trabajos de investigación realizados por [1], [3], [6], [7,8], [9] y [10], han tratado el cálculo de volumen por diferentes vías, utilizando métodos informáticos, matemáticos y otros, pero ninguno ha tratado los errores del cálculo de volumen cuando se utiliza el levantamiento taquimétrico, presentes en yacimientos minerales de corteza de intemperismo, en minas a cielo abierto, empleando estaciones totales y GPS.

En un estudio realizado por [3] sobre la precisión del cálculo de volumen en los yacimientos lateríticos de Moa y Punta Gorda, medidos con tecnología tradicional, analizó seis tipos de errores que incidían en el cálculo, son ellos: errores de la posición de los puntos en la red de levantamiento, errores de determinación de los contornos de los bordes superior e inferior de los escalones, errores por la irregularidad de los perfiles de los taludes; errores de la posición de los puntos en el levantamiento taquimétrico, errores de ubicación de los puntos en el plano y errores de medición de las áreas, obteniéndose valores por encima del 5%, muy distantes del error permisible.

Después el propio autor realiza una investigación en otros de los yacimientos con características geológicas distintas, que no incluye los anteriormente estudiados, por tener particularidades que lo diferencian grandemente. Con la aplicación de nuevas tecnologías (estaciones totales y GPS) en estos nuevos yacimientos, se descubren tres tipos de errores, que afectan el cálculo de volumen de mineral extraído [4].

El objetivo de esta investigación consiste en determinar la precisión del cálculo de volumen de mineral extraído medido con estaciones totales y GPS en los nuevos yacimientos lateríticos de Yagruma y Oriente.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos obtenidos proceden de mediciones topográficas realizadas en diferentes frentes de extracción en los yacimientos en cuestión pertenecientes a la región minera de Moa, Holguín, Cuba. Se aplica la teoría de los errores de las mediciones y se utiliza la regla de las tres sigmas para eliminar los posibles errores de la data. Se utiliza el método de estadística matemática para valorar la ley de distribución y la semejanza de dos yacimientos. Los cálculos se hicieron con los sistemas informáticos Surfer-8, Cartomap, AutoCAD civil3D 2010 [2].

Se investigaron los siguientes errores propios del levantamiento taquimétrico y su influencia en el cálculo de volumen:

2.1 INFLUENCIA DE LOS ERRORES DE LA POSICIÓN DE LOS PUNTOS EN LA RED DE LEVANTAMIENTO EN EL CÁLCULO DE VOLUMEN

El levantamiento con estaciones totales que se realiza al principio y final de cada mes se ejecuta desde diferentes posiciones de los puntos de la red de apoyo, produciéndose grandes

desviaciones en la determinación de los volúmenes, influenciado en los errores de la posición del punto en la red de levantamiento.

Es evidente que si aumenta el ancho del frente de excavación, disminuye el error del cálculo de volumen. Los autores deducen que las exigencias para la exactitud en la determinación de los puntos de la red de levantamiento deben ser diferentes en dependencia del ancho del frente de excavación para cada mina.

Si el levantamiento del frente de excavación se hace desde varios puntos determinados independientemente, el error relativo en la determinación del volumen se determinará según ecuación 1 [2]:

$$mv_c = \pm \frac{m_c}{d\sqrt{k}} \quad (1)$$

Donde k - cantidad de puntos en la red de levantamiento.

m_c - error de la posición de los puntos en la red de levantamiento en el cálculo de volumen, m;

d - ancho del frente de excavación, m.

El error medio en la determinación del volumen no debe superar el 2.5 % (ecuación 2):

$$m = \pm \frac{2,5}{\sqrt{2}} = \frac{2,5}{1,41} = \pm 1,8 \% \quad (2)$$

Al utilizar en (2) la tolerancia obtenida con anterioridad, se logran los errores medios de la posición de los puntos de la red de levantamiento para los frentes de excavación de diferente ancho (tabla 1), considerando la variabilidad de la forma de los frentes de explotación. Así para los frentes de 33,33 m de ancho:

$$m_c = \pm 0,018(33.33) = 0,60 \text{ m.}$$

2.2 INFLUENCIA DE LOS ERRORES DE LOS CONTORNOS DE LOS BORDES SUPERIOR E INFERIOR DE LOS ESCALONES EN EL CÁLCULO DE VOLUMEN

El levantamiento taquimétrico en la mina se lleva a cabo desde los bordes superior e inferior de los contornos de los frentes de extracción, en una superficie irregular y en ocasiones con derrumbes, por eso, los puntos taquimétricos se sitúan generalmente cada 20 y 40 m aproximadamente, formándose la irregularidad de los contornos de los bordes y por consiguiente, errores de las áreas de las secciones [2].

Para poder determinar los errores producidos por la irregularidad de los contornos de los bordes, en la figura 1, a manera de ejemplo, se muestra un sector del borde determinado para los puntos 1, 2 y 3, donde los intervalos entre ellos se seleccionaron a una equidistancia (a) de 20 m y se determinaron las longitudes de las ordenadas (b) en el plano entre los bordes superior e inferior en el cual tomaron los siguientes valores: $b_1=8$ m, $b_2=14$ m, $b_3=10$ m; a- distancia entre puntos. El área real del sector limitado por el contorno del borde y la recta AB será igual a:

$$S_{A123B} = \frac{a(b_1 + b_2 + b_2 + b_3)}{2} = \frac{20(10 + 28 + 8)}{2} = 460 \text{ m}^2 \quad (3)$$

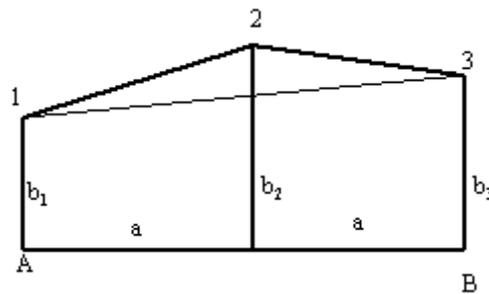


Figura 1. Representación de un contorno limitado por tres puntos. Fuente: elaboración propia.

Si el contorno real 1- 2- 3 se sustituye por el contorno 1-3, entonces el área de la figura A13B se determina por la ecuación 4:

$$S_{A13B} = \frac{2a(b_1 + b_3)}{2} = \frac{40(10 + 8)}{2} = 360 \text{ m}^2 \quad (4)$$

La diferencia entre los valores de las fórmulas (4) y (5) será ΔS , y se denomina irregularidad del contorno (ecuación 5):

$$\Delta S_1 = \frac{b_1 + b_3 - 2b_2}{4} * 2a = \frac{10 + 8 - 28}{4} * 40 = 100 \text{ m} \quad (5)$$

Al dividir el valor ΔS_1 entre la longitud del sector AB, es decir entre 2a:

$$2a \frac{(2b_1 + 2b_3 - b_1 - 2b_2 - b_3)}{4} = \frac{\Delta S}{2a} = \frac{100}{40} = 2.5 \text{ m} \quad (6)$$

De donde se obtiene el error por la irregularidad del contorno.

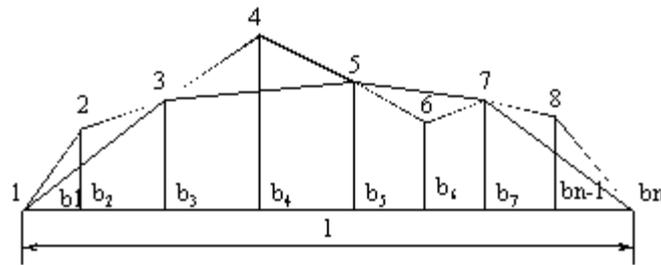


Figura 2. Representación de un contorno limitado por varios puntos. Fuente: elaboración propia.

Al variar la magnitud del intervalo se pueden obtener diferentes magnitudes de mb_{media} .

La determinación del error de mb_{media} se puede realizar mediante la comparación de las ordenadas medias obtenidas por el número limitado de puntos para los distintos intervalos de distancia y las ordenadas más probables ($b_{probable}$) obtenidas por el levantamiento más detallado (a intervalo de 5 m) de los contornos de los bordes (tablas 2 y 3) y se puede calcular por la siguiente expresión:

$$m_{b_{media}} = \pm \sqrt{\frac{[\delta * \delta]}{n}} \quad (7)$$

Donde:

$$\delta = b_{media} - b_{prob.}$$

n - cantidad de diferencias de las ordenadas medias y las ordenadas más probables.

El levantamiento de los contornos se realizó en un plano a escala 1:250 divididos en sectores experimentales de longitud de 40 m. El valor más probable de las ordenadas se obtuvo a intervalo de 5 m.

El error del volumen se determinó, según [4], para rocas blandas, por la ecuación 8:

$$m_{v_s} = \frac{(0.11 * a^{1.1} * h\sqrt{L})}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Donde:

a - intervalo entre puntos;

L - longitud del frente de excavación.

El error relativo de determinación del volumen se obtuvo por la siguiente relación (ecuación 9) [2]:

$$M_{v_s} = \frac{(0.11 * a^{1.1})}{d\sqrt{2L}} * 100 \quad (9)$$

Donde:

d- ancho del talud.

Se propone realizar el cálculo del error del volumen considerando la irregularidad del contorno K (ecuación 10):

$$m_{vs} = \frac{K * a * h * \sqrt{L}}{\sqrt{2}}, \quad m^3 \quad (10)$$

El resultado se comprueba (ecuación 11):

$$m_{vs} = \frac{m_s * h}{\sqrt{2}}, \quad m^3 \quad (11)$$

En ambas fórmulas se obtuvieron resultados idénticos.

En unidades relativas (ecuación 12):

$$M_{vs} = \frac{K * a}{d * \sqrt{L}} * 100, \quad \% \quad (12)$$

2.3 INFLUENCIA DE LA IRREGULARIDAD DE LOS PERFILES DE LOS TALUDES EN EL CÁLCULO DE VOLUMEN

En la actualidad, los bordes de los taludes de los escalones se determinan en dos posiciones, borde superior y borde inferior, con cuyas representaciones gráficas se calculan los volúmenes. Considerando lo antes expresado, es necesario determinar un tercer punto en el escalón para poder configurar bien el talud.

Si se calcula el volumen con relación a los puntos AB (volumen 1) y ABC (volumen 2) (figura 3), se obtiene una diferencia de volumen ocasionada por la configuración del talud del escalón y ocurre el denominado error por la configuración del talud, que ejerce gran influencia en el cálculo de volumen.

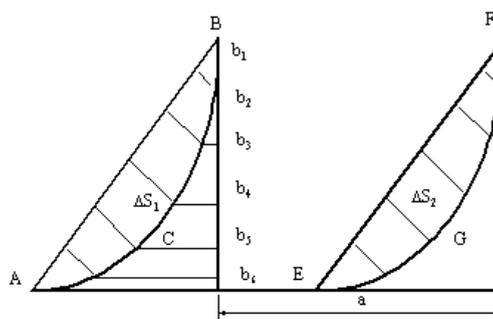


Figura 3. Configuración de los perfiles del talud

Donde:

C y G- Puntos de inflexión de las parábolas.

Con relación a la figura 3 donde ABC y EGF representan el perfil real del talud y AB y EF, el linealizado (ecuación 13):

$$S_R = S_g - \Delta S_1 + \Delta S_2 \quad (13)$$

Donde:

S_R y S_g - áreas de la sección transversal del perfil real y linealizado;

ΔS_1 y ΔS_2 - áreas entre los perfiles real y linealizado de los taludes;

1 y 2 - posición inicial y sucesiva del talud.

De la expresión (13) se deduce (ecuación 14):

$$S_g - S_R = \Delta S_1 - \Delta S_2 \quad (14)$$

Si, $S_g - S_R = \Delta$; entonces $\Delta S_1 - \Delta S_2 = \Delta$

En este caso Δ representa la diferencia entre las áreas de las secciones de los perfiles linealizado y real de los taludes y depende de la magnitud de las áreas ΔS_1 y ΔS_2 .

Si $\Delta S_1 = \Delta S_2$, entonces $\Delta = 0$ y por consiguiente, la posición de los puntos C y G no ejerce influencia en el volumen del frente de excavación. Como demuestra la investigación realizada, en la mayoría de los casos ΔS_1 y ΔS_2 no son iguales y tienen diferencias considerables.

Los trabajos experimentales para determinar los valores de ΔS_1 , ΔS_2 y Δ , se realizaron en distintas minas pertenecientes al grupo empresarial CUBANIQUEL, con diferentes condiciones minero-geológicas en sectores experimentales de 80 m de longitud a ambos lados del frente de excavación, a intervalos de 5 metros.

Todos estos resultados aparecen en la tabla 5 donde se observa que los valores medios de ΔS_1 y ΔS_2 tienen diferentes magnitudes.

La diferencia de los volúmenes del frente de excavación determinado en los taludes linealizado y real respectivamente [2] es (ecuación 15):

$$V = V_g - V_R \quad (15)$$

Donde:

V_g - volumen del talud

V_R - volumen real del talud

$$\begin{aligned} \text{Como : } V &= \left[\frac{(S_1 + S_n)}{2} + S_2 + S_3 + \dots + S_{n-1} \right] a \\ \text{entonces : } \Delta_v &= \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_n}{2} + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_{n-1} \right) a \\ \text{entonces : } \Delta_v &= \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_n}{2} + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_{n-1} \right) a \\ \text{Suponiendo que } \frac{\Delta_1 + \Delta_n}{2} &= \Delta_l \quad \text{entonces} \\ \Delta_v &= a(\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_{n-1}) \quad (16) \end{aligned}$$

Al dividir y multiplicar a (16) por n-1, se obtiene que

$$\Delta_v = a * n - 1 \frac{(\Sigma \Delta)}{n - 1}$$

Donde:

$$a(n-1) = \Sigma \Delta = \Delta_{media} L \text{ -longitud del frente de excavación.}$$

Donde:

$$m_{vo} = \Delta_v = \Delta_{media} * L$$

El error relativo de determinación del volumen del frente de excavación se determinó por ecuación 17:

$$M_{vo} = \frac{\Delta_{media}}{S} \quad (17)$$

Donde:

S- área media de la sección transversal del frente de excavación.

2.4 ERROR TOTAL DE DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL MINERAL EXTRAÍDO EN EL LEVANTAMIENTO TAQUIMÉTRICO

El error medio cuadrático de determinación del volumen del frente de excavación o del bloque en relación con la investigación realizada se determina por la ecuación 18:

$$M_v = \pm \sqrt{M_{vc} + M_{va} + M_{vo}} \quad (18)$$

Donde:

M_{vc} - error de la posición de los puntos en la red de levantamiento;

M_{va} - error de determinación de los contornos de los bordes superior e inferior de los escalones;

M_{vo} - error por la irregularidad de los perfiles de los taludes.

3 DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La precisión en la determinación de los puntos de la red de levantamiento está condicionada por la precisión necesaria en la determinación de los volúmenes de extracción de la masa minera y el ancho de los frentes que se emplean en la mina, cuyos resultados se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la determinación de los errores medios de la posición de los puntos en la red de levantamiento

Yacimiento	mc, m	L, m	d, m	H, m	M_v, m^3	$M_{vc} \%$
Yagruma	0,60	100	67,7	8,16	643,28	1,96
Oriente	0,60	100	67,7	7,34	904,57	2,18

En la tabla 2 se pueden apreciar los resultados de la determinación del coeficiente de irregularidad (K) de los contornos superior e inferior de los escalones para diferentes distancias entre puntos (a). Como se observa, los contornos de los yacimientos Yagruma son más complejos que los de Oriente, según el coeficiente de irregularidad (K) obtenido

Tabla 2. Resultado del cálculo del coeficiente de irregularidad (K)

Yacimiento	Sector	Errores de m_{bmedia}			Coeficiente de irregularidad (K)		
		a=10	a=20	a=40	a=10	a=20	a=40
Yagruma	11	0.46	0.73	1,28	0.58	0.61	0,59
Oriente	14	0.62	0.75	1,82	0.91	0.54	0,28

En la tabla 3 se presentan los errores relativos de determinación del volumen sin considerar el coeficiente de irregularidad de los contornos (K).

Estos errores fueron calculados por las fórmulas (8) y (9) para rocas blandas con coeficiente de fortaleza $f=2$ (según Protodiákonov).

Tabla 3. Resultado de los errores relativos de determinación del volumen sin considerar el coeficiente K

Yacimiento	Sector	M _{sa} (m ²)			Errores relativos de determinación del volumen					
		10	20	40	m ³			%		
					10	20	40	10	20	40
Yagruma	11	49	90,2	163	113	246	512	0.54	1.12	2.35
Oriente	14	70	81,3	193,4	193	415	887	0.42	1.07	2.24

El autor de esta investigación hizo modificaciones a las fórmulas (10), (11) y (12) que consideran el coeficiente de irregularidad de los contornos en el cálculo de volumen. Los resultados obtenidos se aproximan con mayor exactitud al valor real.

El resultado de la precisión del cálculo de volumen considerando el coeficiente K se muestra en la tabla 4

Tabla 4. Resultado de los errores relativos de determinación del volumen considerando el coeficiente K.

Yacimiento	Sector	m _{sa} m ²)			Error relativo de determinación del volumen					
		10	20	40	m ³			%		
					10	20	40	10	20	40
Yagruma	11	52	91,3	166	365	626	1123	1.13	2.27	4.56
Oriente	14	70	86,7	184	862	959	2016	1.44	2.65	5.29

Estos errores disminuyen con la reducción de la distancia entre los puntos de detalle (a) y de la ubicación correcta de la parte quebrada donde hace cambio de dirección el contorno del borde. Si se toma una distancia (a) de 10 y 20 m, el error disminuye hasta 1.13-1.44 %. En la tabla No.5 se muestran los errores de los perfiles de los taludes.

Tabla 5. Determinación de los errores por la irregularidad de los perfiles de los taludes

Yacimiento	rentes de arranque	ΔS_1 (m ²)	ΔS_2 (m ²)	Δ_{media}	ΔV (m ³)	Mvo (%)
Yagruma	1	9.68	11.05	-1,37	323.2	2.31
	2	7.34	11.07	-3,73	609.6	3.63
	3	5.92	9.81	-3,89	619.2	3.72
Oriente	1	9.91	13,84	-3,93	192.0	3.95
	2	8,82	11,10	-2,28	563.2	0.12
	3	7,48	8,31	0,830	915.3	8,34

De la tabla 5 se observa que los errores del volumen por la influencia de la configuración del talud son causados por la variabilidad de la forma de la superficie del talud y no por distancia entre los puntos.

Este problema se resuelve enfocando en el frente con el rayo láser de la estación total. La aplicación de este equipo electrónico en la minería contribuye a la elevación de la precisión de los resultados.

Finalmente se presenta en la tabla 6 un resumen de los errores determinados en ambos yacimientos, realizando mediciones con la nueva tecnología.

Tabla 6. Resumen de los errores de determinación del volumen de mineral extraído en diferentes frentes de arranque de los yacimientos estudiados con el uso de la estación total y GPS.

Cálculo de los errores del volumen de mineral extraído				
Yacimiento	Errores por la posición de los puntos en la red de levantamiento (M _{vc})	Errores de los contornos de los bordes de los escalones (M _{va})	Errores por irregularidad de los perfiles de los taludes (M _{vo})	Error total (M _v)
Yagruma	1,96	3,22	2,51	2,77
Oriente	2,18	4,14	3,78	3,18

Con relación a las investigaciones realizadas sobre la precisión de determinación de los volúmenes utilizando la estación total y GPS, se estableció que el levantamiento taquimétrico garantiza la determinación de los volúmenes de mineral extraído con la exactitud necesaria durante la extracción de las lateritas con excavadoras con bancos de 8x8x3 m, llegando a sobrepasar el límite permisible en poca magnitud (tabla 6). Se necesita perfeccionar el método de trabajo de campo, reduciendo la distancia desde el instrumento al reflector e introduciendo el coeficiente conjunto de curvatura y refracción.

Los autores aportan una modificación a la ecuación 12, donde reflejan las irregularidades geológicas de estos yacimientos y la forma de realización de los trabajos de campo.

Se analizó además, la diferencia entre el mineral que determina la Unidad Básica Minera (real topográfico), el alimentado a hornos (HR-1), el flujo tecnológico de los minerales desde y hacia los depósitos, los inventarios al comienzo y final del mes, el rechazo de la planta de secaderos y de la planta de beneficio para el año 2012 y lo que va del 2013 abarcando un año y medio de explotación (anexo 1).

Del análisis de los 17 meses estudiados, en nueve de ellos se reportaron valores por debajo del 4.7 % (ver anexo 1).

Sin embargo, se ha podido observar que al cerrar el año, se obtuvieron resultados positivos 0.98 % en el 2012 y 1.25 % en lo que va del 2013 entre el volumen procesado por la industria y los cálculos topográficos con solo 0.27 % de diferencia, pudiéndose notar que en los meses donde la diferencia es mayor en tiempos posteriores su comportamiento alcanza los volúmenes esperados.

De la siguiente situación se ha determinado que ha ocurrido en algunos meses, compensándose las diferencias posteriormente, atribuibles a que se hayan quedado zonas sin medir producto de inundaciones por la lluvia u otras razones, y al realizar las nuevas actualizaciones se han cubierto éstas en el levantamiento, arrojando los resultados esperados.

De los resultados analizados se muestran algunos meses con una diferencia mayor del 4.5%, esto quiere decir, que aunque se utilizan las estaciones totales y otras tecnologías de punta en el tratamiento de los datos, que han permitido una disminución de los errores en las mediciones topográficas, existen otras fuentes de error que posibilitan que la diferencia entre el real minado y el alimentado a hornos sobrepase el 4.5%.

Si comparamos este resultado con el obtenido anteriormente (teodolitos y miras), vemos que esta diferencia se hace mayor (tabla 8).

Tabla 8. Reporte mensual del cálculo de volumen con la tecnología tradicional

MES	Real minado, t	Según modelo, t	Diferencia, t	%
ENERO	128 652	116 075	12 575	9.8
FEBRERO	128 646	114 931	13 715	10.0
MARZO	113 694	102 154	11 540	10.1
ABRIL	64 036	60 689	3 347	5.2
MAYO	72 796	67 665	5 131	7.0
JUNIO	123 927	112 805	11 122	9.0
JULIO	146 979	134 909	12 070	8.2
AGOSTO	83 179	76 799	6 380	7.7
SEPTIEMBRE	81 947	75 258	6 689	8.2
OCTUBRE	134 946	123 359	11 587	8.6
NOVIEMBRE	89 538	81 902	7 636	8.5
DICIEMBRE	99 926	91 379	8 547	8.5
TOTAL	1 268 262	1 157 923	110 339	8.7

Como se puede ver en la tabla 8, los resultados de la tecnología tradicional en todos los meses se encuentran por encima del 7.5 %, pudiéndose apreciar una marcada diferencia con los resultados que actualmente se obtienen con las estaciones totales y GPS.

Se realizó una comparación de los gastos para la ejecución de una hectárea de levantamiento topográfico detallado a la escala 1:1000, entre el método tradicional y con estaciones totales electrónicas (figura 4). Como se ve de la figura 4, los gastos cuando se usa la estación total son menores, por tanto, también lo será en el cálculo de volumen.

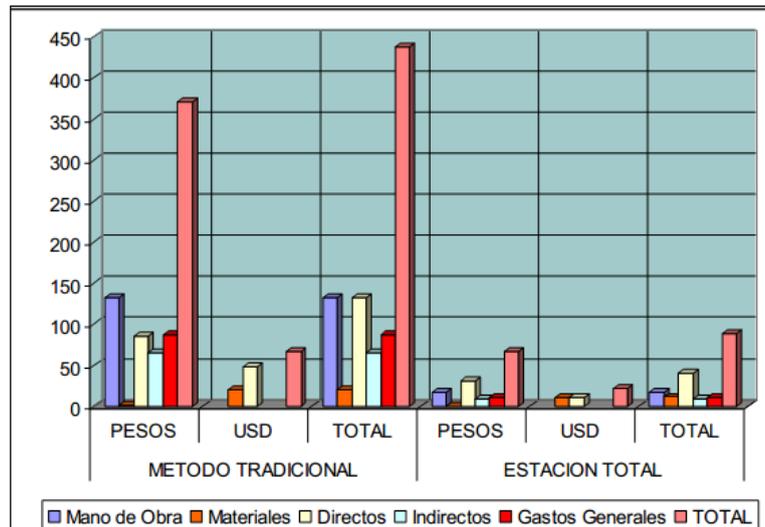


Figura 4. Comparación de los gastos método tradicional y estaciones totales.

Se calculó el volumen con la aplicación de Surfer8, Cartomap6 y AutoCAD civil3D 2010.

En esta investigación se calcula el volumen de mineral extraído, con el empleo de los siguientes sistemas informáticos:

- Cálculo de volumen con Surfer8.
- Cálculo de volumen mediante Cartomap6.
- Cálculo de volumen mediante AutoCAD Civil 3D 2010

3.1 VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para la validación de los sistemas informáticos Surfer8, CARTOMAP 6 y AutoCAD Civil 3D 2010, se analizaron y compararon los resultados obtenidos del cálculo de volumen de mineral, y se diseñó una figura geométrica regular, a partir del cual se creó un fichero de datos, para obtener el modelo digital de las superficies superior e inferior de la figura y se procedió a calcular el volumen de la misma, por el método manual empleando expresiones matemáticas, y aplicando los sistemas informáticos antes mencionados.

Una vez realizados los cálculos, se procede hacer el análisis y comparación de los resultados obtenidos y de la interpolación de las curvas de nivel creadas por cada uno de los sistemas informáticos ya explicados.

3.2 CREACIÓN DEL FICHERO DE DATOS A PARTIR DE UNA FIGURA GEOMÉTRICA REGULAR

Para validar los sistemas informáticos se creó una figura geométrica regular con sus magnitudes lineales (ancho, largo y alto), que representa a un cuerpo mineral (figura 5), y posteriormente a partir de la figura geométrica se crearon dos ficheros de datos, con el AutoCAD Civil 3D. El primer fichero de la superficie base de la figura y el segundo de la superficie superior (figura 5), en cada superficie se crearon 50 puntos distribuidos en 10 filas y 5 columnas a una distancia de 20 m entre fila y columna.

Los números y nombres asignados a los puntos son únicos, cada punto tiene propiedades que incluyen sus coordenadas planas rectangulares XY, una altura geométrica referida al nivel medio del mar, determinado para representar las curvas de nivel, y una descripción de los elementos.

Una vez asignadas las características a los 50 puntos, se procede a exportar los puntos como una base de datos en formato de texto (txt), para calcular el volumen mediante los sistemas informáticos.

3.3 CÁLCULO DE VOLUMEN DE LA FIGURA REGULAR MEDIANTE UNA EXPRESIÓN MATEMÁTICA

Para obtener un resultado real y confiable, se calculó el volumen de la figura 4 mediante la expresión matemática del volumen de un ortoedro, y el resultado obtenido será la base de comparación para los volúmenes obtenidos mediante los sistemas informáticos [8].

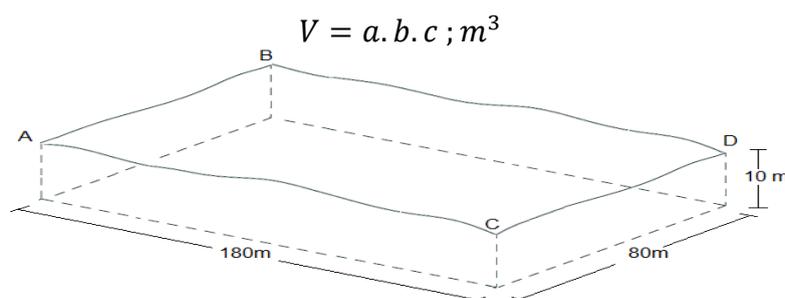


Figura 5. Figura geométrica regular

El resultado obtenido mediante la expresión matemática es de: $V = 180 * 80 * 10 = 144\ 000\ m^3$

3.4 CÁLCULO DE VOLUMEN

Para realizar el cálculo de volumen de la figura con los sistemas informáticos, se importó la base de datos creada con AutoCAD Civil 3D y se creó el modelo digital de las dos superficies de la figura (figura 6), posteriormente se procedió a calcular el volumen, siguiendo la metodología antes explicada.

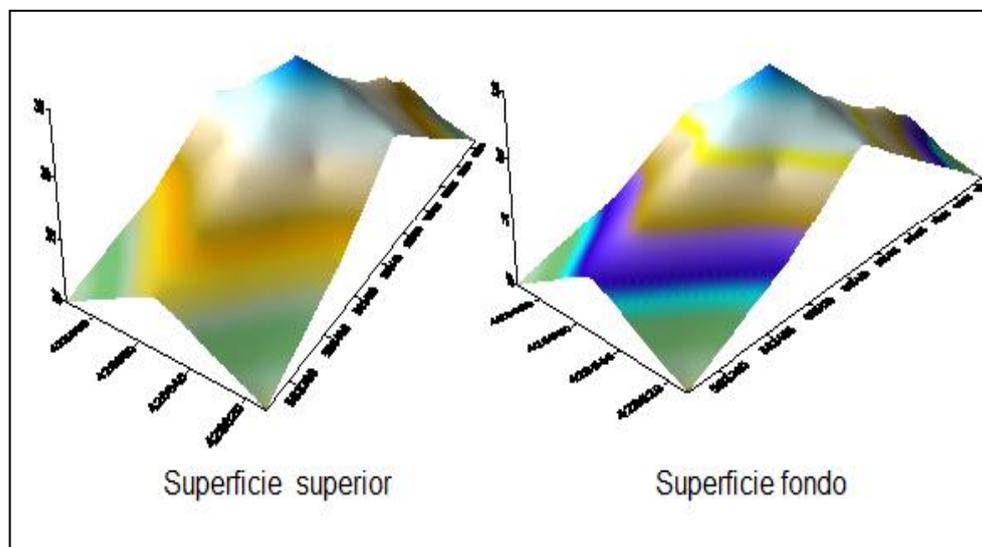


Figura 6. Modelo Digital en 3D de la figura regular

3.5 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL SURFER8

Tabla 9. Volumen obtenido con el Surfer8

Volumen total			
Trapezoidal Rule	Simpson's Rule	Simpson's 3/8 Rule:	
144 000.00000125	144 000.00000125	144 000.00000125	
Volumen de corte y relleno			
Volumen positivo (corte)	Volumen negativo (relleno)	Volumen neto (Corte-relleno)	
144000.00000127	0	144000.00000127	

3.6 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL CARTMAP6

Tabla 10. Volumen obtenido con el Cartomap6

Nivel inicial	Nivel final		Paso normal	Paso mínimo
Terreno real	Nivel1		10.000	1.000
Superficie afectada	Superficie desmonte	Superficie terraplén	Volumen Desmonte	Volumen terraplén
144 000.000	144 000.000	0.000	144 000.000	0.000

3.7 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL AUTOCAD CIVIL 2010

Tabla 11. Volumen obtenido con el AutoCAD civil 2010

Superficie		
Superficie de comparación		
Superficie		
Volumen		
Terraplén	Neto	Factor en desmonte
0.00	144 000.00	1.000
Desmonte (ajustado)	Terraplén (ajustado)	Neto (ajustado)
144 000.00	0.00	144 000.00

Cálculo de volumen de la figura irregular (terreno real)

Como figura irregular se tomó en cuenta la base de datos obtenida del levantamiento topográfico de las dos superficies de la escombrera de la Empresa Ernesto Che Guevara, se procedió a crear el modelo digital del terreno (figura 7) y a calcular el volumen con CARTOMAP 6 y AutoCAD Civil 3D 2010, posteriormente se compararon los resultados, con el obtenido mediante cálculo manual

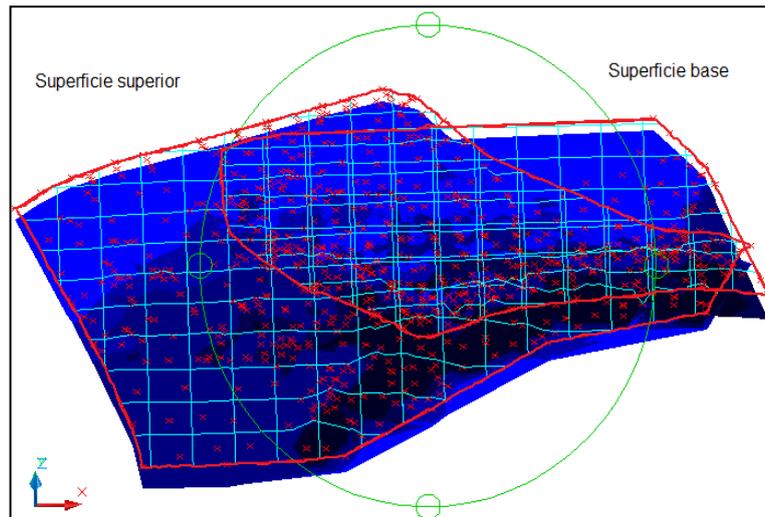


Figura 7. Superficies de la figura irregular

3.8 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL CARTMAP6

Tabla 12. Volumen obtenido con el Cartomap6

Nivel inicial	Nivel final		Paso normal	Paso mínimo
Terreno real	Nivel1		10.000	1.000
Superficie afectada	Superficie desmonte	Superficie terraplén	Volumen Desmonte	Volumen terraplén
26 375.781	23 983.984	2 391.797	114 589.237	2 797.361

3.9 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL AUTOCAD CIVIL 2010

Tabla 13. Volumen obtenido con el AutoCAD civil3D 2010

Superficie			
Superficie base	Superficie de comparación		
Fondo	Superficie		
Volumen			
Desmonte	Terraplén	Neto	Factor en desmonte
114 500.61	2 237.65	112 262.96	1.000
Factor en terraplén	Desmonte(ajustado)	Terraplén (ajustado)	Neto (ajustado)
1.000	114 500.61	2 237.65	112 2.96

Comparación de los resultados obtenidos

Una vez obtenidos los resultados del cálculo de volumen de la figura geométrica regular, por Surfer8, Cartomap6 y AutoCAD civil3D 2010, se comparó con el resultado real, obtenido mediante la expresión matemática. Los resultados obtenidos no varían el volumen real realizado de forma manual, por lo tanto se comprobó que son válidos para su aplicación en el cálculo de volumen del mineral.

En el caso de la figura irregular (terreno real) se obtuvieron los resultados con el Cartomap6 y el AutoCAD Civil 3D 2010, en este caso no se realizó el cálculo de volumen con el software Surfer8, porque su uso para el cálculo de volumen se encuentra limitada, para las superficies de diferentes límites XY y la diferencia del tamaño de las superficies.

Los resultados obtenidos de la figura irregular varían, entre los sistemas informáticos y el cálculo manual en 1% como máximo, lo cual se encuentra dentro del rango aceptable de 4%.

3.10 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA FIGURA REGULAR

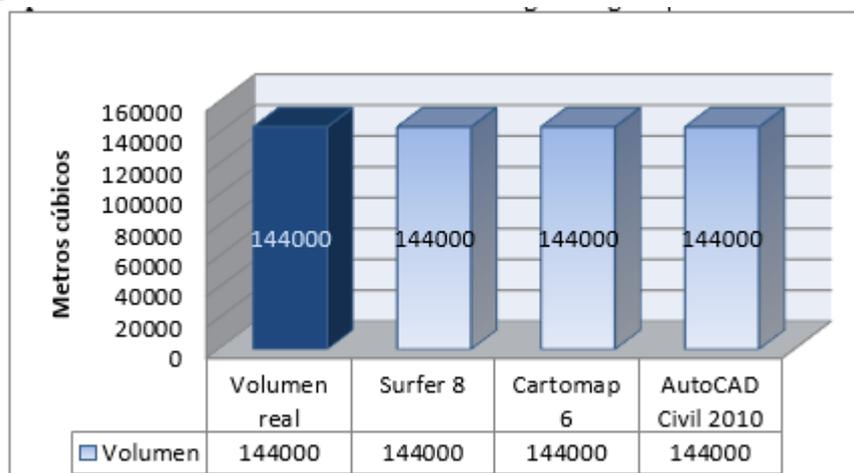


Figura 8. Comparación de los volúmenes obtenidos

3.11 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA FIGURA IRREGULAR

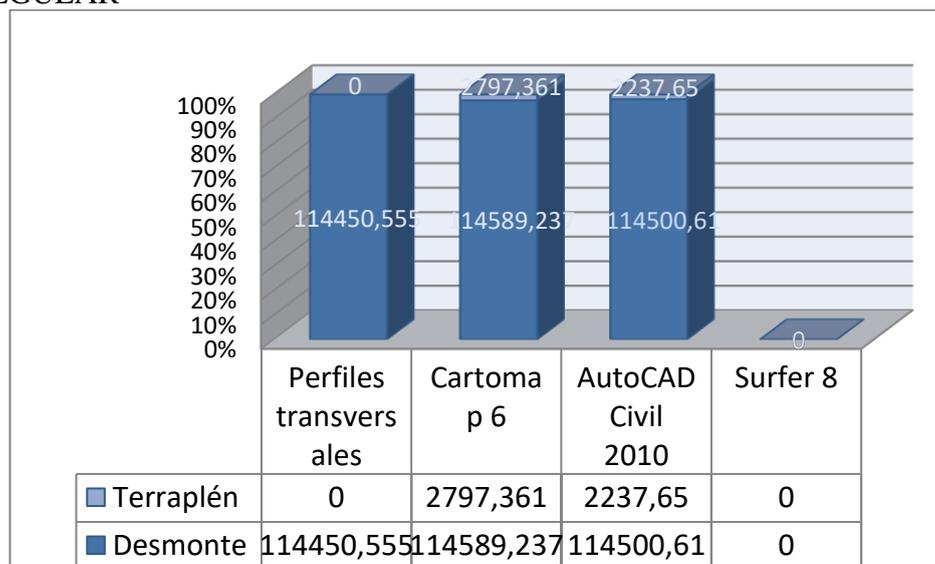


Figura 9. Comparación de los volúmenes obtenidos

3.12 VALORACIÓN DE LA EFECTIVIDAD ECONÓMICA DE LOS TRABAJOS DE CÁLCULO DE VOLUMEN DE MINERAL EXTRAÍDO CON EL USO DE LAS ESTACIONES TOTALES.

La efectividad económica de la aplicación de este resultado, se analizó mediante una comparación entre el método tradicionalmente realizado y el uso de estaciones totales electrónicas. En primer lugar, se analizan los gastos de tiempo empleado para la ejecución de una hectárea de los trabajos topográficos para el cálculo de volumen de mineral extraído para cada una de las tecnologías, cuyos resultados aparecen en la tabla 14.

Tabla 14. Tiempo empleado para la ejecución de una hectárea por métodos tradicionales y estaciones totales electrónicas

Método tradicional		Estación total	
Tiempo de ejecución		Tiempo de ejecución	
Hora	Día	Hora	Día
10.87	1.36	2.13	0.27

4 CONCLUSIONES

La determinación de la precisión del cálculo de volumen de mineral extraído cuando se mide con estaciones totales y GPS en el levantamiento taquimétrico en los yacimientos lateríticos de Yagruma y Oriente, permitió disminuir la diferencia entre el mineral que se extrae en los frentes de arranque y el que se envía a la fábrica metalúrgica en 4,82 % por debajo del valor obtenido en tiempos anteriores (8.5 %), alcanzándose un efecto de alrededor de 3500 000 USD al año.

En la investigación realizada sobre la precisión de la determinación de los volúmenes, se estableció que se necesita perfeccionar el método de trabajo de campo, reduciendo la distancia desde el instrumento al reflector e introduciendo el coeficiente conjunto de curvatura y refracción. Los autores aportan una modificación a la ecuación de cálculo, donde reflejan las irregularidades geológicas de estos yacimientos y la forma de realización de los trabajos de campo.

Se aporta, por primera vez, un estudio sobre los errores que afectan el cálculo de volumen en estos yacimientos. Se evidencian que los errores de la posición de los puntos en la red de levantamiento, no ejercen influencias significativas en la exactitud de la determinación de volumen, a diferencia de los errores de determinación de los contornos de los bordes superior e inferior de los escalones y de la irregularidad de los perfiles de los taludes, que ejercen mayor influencia .

REFERENCIAS

[1] Alves da Silva, et.al. Evaluating the accuracy in volume calculation in a pile of waste using UAV, GNSS and LiDAR [en línea]. 22(2), 2016. [fecha de consulta 12 de mayo de 2017]. Disponible en:

www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982

[2] Batista, Y. and Belete, O. Consideraciones sobre la exactitud de las redes de levantamiento topográfico [en línea]. 29(3), 2013. [fecha de consulta 03 de abril de 2017]. Disponible en:

<https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/issue/view/106>.

[3] Belete - Fuentes O. Vías para el perfeccionamiento del cálculo de volumen de mineral extraído en yacimientos lateríticos cubanos, tesis (doctorado en ingeniería), Cuba, Instituto Superior Minero Metalurgico, 1999, 92 pp.

[4] Belete, O., Estenoz, S. and Diéguez, Y. Performance mining equipment (extraction-load-transportation) in the Ernesto Guevara Factory [en línea]. 39(1), 2016. [Fecha de consulta 22 de junio de 2017]. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rbct.n39.49117>

[5] Correa, A. La ingeniería de rocas en la de explotación racional e integral de canteras: énfasis en el análisis cinemático. Revista Ingeniería e Investigación, DYNA, 79, pp. 81-88, 2012.

[6] Hernandez-Hernandez, K. Cálculo de volúmenes de movimiento de tierra mediante el Acad Land Desktop 2013: <http://www.monografias.com/trabajos95/titulo-calculo-volumenes-movimiento-tierra-acad-land-desktop/titulo-calculo-volumenes-movimiento-tierra-acad-land-desktop.shtml#ixzz4xrLikcl2>

[7] Legra, A. Automatización del control del cálculo de extracciones en la mina de la empresa niquelera Ernesto Che Guevara [en línea]. 26(2), 2010. [fecha de consulta 17 de enero de 2016]. Disponible en:

<https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/48>.

[8] Legrá, A. Consideraciones sobre el cálculo de volúmenes geológico - mineros por métodos clásicos. [en línea]. 11(2), 1994. [fecha de consulta 12 de mayo de 2016]. Disponible en: <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/490>.

[9] Meza- Linares, E. Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017. Metodología para el cálculo de reservas en minas a cielo abierto utilizando drones [en línea]. 2017. [fecha de consulta 19 de julio de 2017]. Disponible en: www.ptolomeo.unam.mx:8080/.../Metodología%20para%20el%20cálculo%20de%20...

[10] Quesada- Rodríguez, D. and Suárez- Morales, D. Procedimiento para el cálculo de volumen y tonelaje en modelos de bloques con restricciones geométricas [en línea]. 2015. [fecha de consulta 17 de enero de 2016]. Disponible en: https://www.researchgate.net/.../278009867_Procedimiento_para_el_calculo_de_volume...Full-text (PDF).

ANEXO 1

Tabla 7 Análisis de la precisión del cálculo de volumen en la empresa minera para el 2012 y lo que va del 2013.

Mes/Año	Vol. Min. Topog.	Vol. A dep.	Vol. Alim. De Dep.	Vol. Tot. Alim. a Fca.	Vol. Alim. HR-	Inv. In. Dep. Int.	Inv. Fin. D. Int.	Dif.	Vol. Rechazo	Volum.	Difer.	Precisión %	Inv. In. Tolva y Silo	Inv. Fin. Tolva y Silo	Difer.
Enero	200981	33364	44644	212261	185464	37980	31520	-6460	16621	195625	16636	7.8	6363	4413	-1950
Febrero	212125	61200	27808	178733	165236	31520	33566	2046	7519	174801	3932	2.2	4413	3258	-1155
Marzo	315934	151116	30140	194958	181286	33566	40548	6982	15409	203677	-8719	-4.5	3258	5192	1934
Abril	247823	118599	92594	221818	196296	40548	38429	-2119	14101	208279	13539	6.1	5192	7497	2305
Mayo	234819	119288	86746	202277	205416	38429	31110	-7319	16895	214992	-12715	-6.3	7497	4645	-2852
Año 2013	1211681	483567	281932	1010047	933698	37980	31110	-6869	70545	997374	12673	1.255			0
Enero	256299	28036	53362	281625	249199	16663	31565	14902	19125	283226	-1601	-0.6			0
Febrero	263687	23972	19336	259051	247189	31565	25869	-5696	12339	253832	5219	2.0			0
Marzo	273502	45372	41562	269693	269341	25869	14707	-11161	10149	268329	1364	0.5			0
Abril	220907	30476	54634	245065	251881	14707	11444	-3264	13459	262076	-17011	-6.9			0
Mayo	261171	21338	42888	282721	250039	11444	11337	-107	19484	269416	13305	4.7			0
Junio	248750	18114	19372	250008	238878	11337	16794	5457	13937	258272	-8264	-3.3			0
Julio	286937	27962	27606	286581	262351	16794	26038	9244	8739	280334	6247	2.2			0
Agosto	279614	37961	29032	270685	231343	26038	39022	12984	5923	250250	20435	7.5			0
Septiembre	273123	37728	24746	260142	229486	39022	47610	8588	5791	243864	16277	6.3			0
Octubre	186623	41777	53466	198312	196677	47610	28834	-18776	5844	183745	14567	7.3			0
Noviembre	166408	14088	69310	221630	237366	28834	22465	-6369	15008	246004	-24375	-11.0			0
Diciembre	157369	47348	98218	208239	196038	41195	37980	-3215	11740	204563	3676	1.8			0
Año 2012	2874390	374172	533532	3033750	2859788	311076	313663	2587	141537	3003912	29838	0.98			0