

CDU : 528 . 722 : 624 . 04 : 519 . 281 : 681 . 3 (129.1)

DETERMINACION DE DEFORMACIONES DE EDIFICIOS EN CONSTRUCCION POR METODOS FOTOGRAMETRICOS

C.Dr. Ing. Alexander G. Chibunichev . Instituto de Geodesia y Levantamiento Aereo de Moscú.
C.Dr. Ing. Fernando Bravo Lorenzo . Instituto Superior Minero Metalúrgico.

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas con el objetivo de determinar las deformaciones ocurridas en un edificio en construcción de 4 plantas.

El levantamiento del edificio se efectuó con una cámara universal fotogramétrica UMK . La determinación de las deformaciones se efectuó por el método analítico (con ayuda del estereocomparador Steko 1 818 y de las máquinas IBM).

Los resultados de la elaboración de los fotogramas se presentan en forma de perfiles para cada piso del edificio.

ABSTRACT

This paper analyzes the results of investigations realized in order to determine deformations occurred in a four-floor building under construction.

The mapping of the building was carried out with a universal photogrammetric camera UMK . Determination of deformations was carried out by the analytical method (helped by a stereocomparator Steko 1 818 and IBM machines).

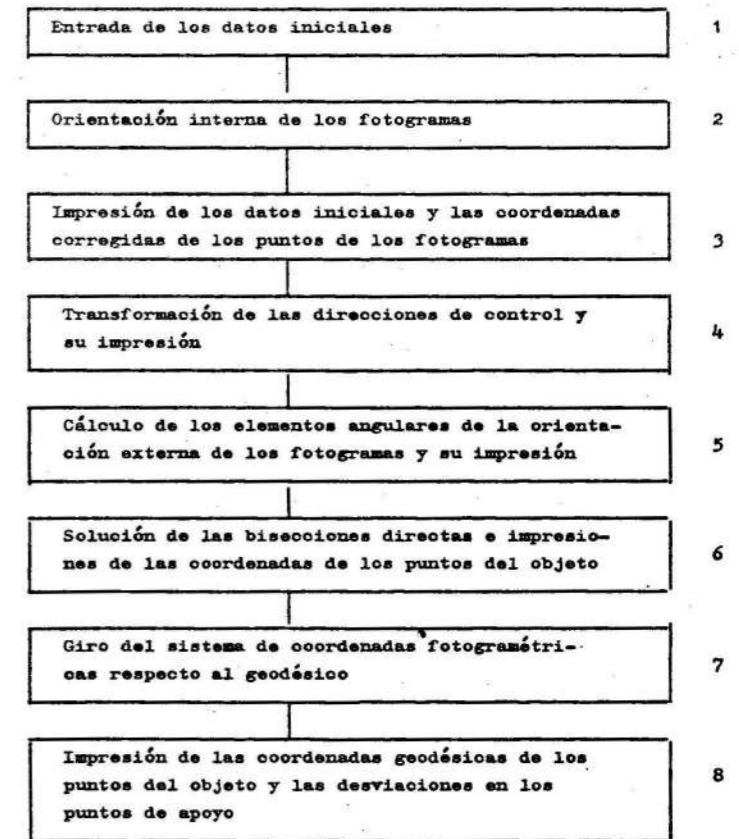
The results of the elaboration of photograms is presented as a profile for each floor.

En el presente trabajo se analizan los resultados de la aplicación del método analítico en el tratamiento de un par de fotogramas terrestres con el objetivo de estudiar las deformaciones en las construcciones y su desplazamiento espacial.

Actualmente las deformaciones en las construcciones se determinan, generalmente, mediante dos métodos: el fotogramétrico y el estereofotogramétrico. Para ello se utiliza como regla, el caso normal del levantamiento y la orientación de la cámara respecto al objeto en el instante de tomar fotografías por ejemplo utilizando el método fotogramétrico el bastidor de la cámara se instala paralelamente al plano del objeto y tienen que conservarse los elementos de orientación de los fotogramas [1,2] . Durante el estudio de las deformaciones a veces, por diferentes causas, no es posible instalar el plano del fotograma paralelamente al plano principal de la construcción; o utilizando el método estereofotogramétrico para determinar las deformaciones, a veces surge la necesidad de emplear además del caso normal otros casos de levantamiento (con vergente, paralelo, o general Por eso es racional, al estudiar las deformaciones

utilizar el método de levantamiento general, porque este método no pone límite para la orientación angular del fotograma en el espacio en el momento de tomar las fotos. Los tipos de levantamiento restantes son casos particulares del general. Por ello hemos elaborado el algoritmo y programa para el tratamiento de un par de fotogramas terrestres para el caso general del levantamiento. Más adelante se muestra el diagrama de bloque de este programa que fue confeccionado en lenguaje de programación Fortran - IV .

Diagrama del programa para el tratamiento de un par de fotogramas terrestres.



Vamos a considerar las etapas principales de este programa.

En calidad de datos iniciales sirven las mediciones realizadas en el estereocomparador y los resultados de las mediciones en el campo tales como; direcciones de control, es decir, ángulos horizontales y verticales para cualquier contorno definido o las coordenadas de los puntos de apoyo, la longitud y el ángulo de inclinación de la base o las coordenadas del extremo izquierdo de la base.

La orientación interna de los fotogramas, o sea el paso del sistema de coordenadas del estereocomparador al sistema de coordenadas del fotograma se lleva a cabo según la metodología conocida.

En calidad de fundamentación matemática en la obtención de la orientación angular del fotograma en el momento de tomar la fotografía, es decir, el cálculo de los elementos angulares de la orientación externa de los fotogramas α, ω, Σ (fig. 1) se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_F &= \frac{x'}{y'} ; \\ \operatorname{tg} \beta_F &= \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \end{aligned} \quad (1)$$

Donde

λ_F, β_F : son los ángulos fotogramétricos horizontal y vertical que determinan la posición de la dirección SM al punto M del terreno, $X' Y' Z'$ - las coordenadas espaciales del punto del fotograma m.

$$\begin{aligned} X' &= Ax + f & A &= \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \\ Y' &= Ay + f \\ Z' &= Az + f \end{aligned} \quad (2)$$

A es una matriz rotacional del sistema de coordenadas del fotograma $S'xyz$ con relación al sistema de coordenadas espaciales $SXYZ$. Los elementos de esa matriz son cosenos directores a_{ij} que dependen de los elementos angulares de la orientación externa del fotograma α, ω, Σ ; x, z son las coordenadas medidas en el estereocomparador del punto m del fotograma; f es la distancia focal de la cámara.

En las ecuaciones (1) las incógnitas son los elementos angulares de orientación externa del fotograma. Para hallarlos, de las ecuaciones (1) pasan a las ecuaciones de corrección:

$$\begin{aligned} b_1 \delta\alpha + b_2 \delta\omega + b_3 \delta\Sigma + l &= v \\ b'_1 \delta\alpha + b'_2 \delta\omega + b'_3 \delta\Sigma + l' &= v' \end{aligned} \quad (3)$$

Donde

b_1, b_2, \dots, b_3 son las derivadas parciales de la función (1) respecto a las variables correspondientes.

$\delta\alpha, \delta\omega, \delta\Sigma$, son las correcciones a los valores aproximados de los elementos de la orientación externa.

l y l' son los términos independientes que se calculan según las fórmulas:

$$\begin{aligned} l &= \operatorname{tg} \lambda_F - \operatorname{tg} \lambda_g \\ l' &= \operatorname{tg} \beta_F - \operatorname{tg} \beta_g \end{aligned} \quad (4)$$

λ_F, β_F son los ángulos fotogramétricos horizontal y vertical calculados según (1).

λ_g, β_g son los ángulos horizontal y vertical geodésicos, los cuales fueron medidos en el campo con un teodolito.

Cada dirección de control permite completar 2 ecuaciones de corrección (3) con 3 incógnitas. Por eso es suficiente tener 2 direcciones de control para obtener los elementos de la orientación externa del fotograma.

Como resultado de la resolución de las ecuaciones (3) según el método de mínimos cuadrados, se hallan los valores ajustados de las incógnitas.

Al conocer los elementos de orientación externa de los fotogramas (los ángulos α, ω, Σ se obtienen del ajuste y los valores X_s, Y_s, Z_s se sacan de los resultados de las mediciones de campo, o se proponen) se pue-

den resolver las intersecciones directas para hallar las coordenadas de los puntos del objeto XYZ. Para eso se aplican las ecuaciones que relacionan las coordenadas del punto de fotograma (x, z) y del objeto.

$$\begin{aligned} x &= f \frac{a_{11}(X-X_s) + a_{21}(Y-Y_s) + a_{31}(Z-Z_s)}{a_{12}(X-X_s) + a_{22}(Y-Y_s) + a_{32}(Z-Z_s)} \\ y &= f \frac{a_{13}(X-X_s) + a_{23}(Y-Y_s) + a_{33}(Z-Z_s)}{a_{12}(X-X_s) + a_{22}(Y-Y_s) + a_{32}(Z-Z_s)} \end{aligned} \quad (5)$$

En estas ecuaciones en calidad de incógnitas están X, Y, Z . Para hallarlos pasamos de las ecuaciones (5) a las ecuaciones de corrección del tipo:

$$\begin{aligned} b_1 \delta X + b_2 \delta Y + b_3 \delta Z + l &= v \\ b'_1 \delta X + b'_2 \delta Y + b'_3 \delta Z + l' &= v' \end{aligned} \quad (6)$$

Aquí b_1, b_2, \dots, b_3 son derivadas parciales de la función (5) respecto a las variables correspondientes; $\delta X, \delta Y, \delta Z$ son correcciones a los valores aproximados de las incógnitas; l y l' son términos independientes

$$\begin{aligned} l &= (x) - x \\ l' &= (z) - z \end{aligned}$$

(x) y (z) son las coordenadas del punto del fotograma, calculadas según (5); x, z son las coordenadas del mismo punto del fotograma, medidas en el estereocomparador.

Para cada par de puntos correspondientes m_1 y m_2 (fig. 1) se

completan 4 ecuaciones (6) .

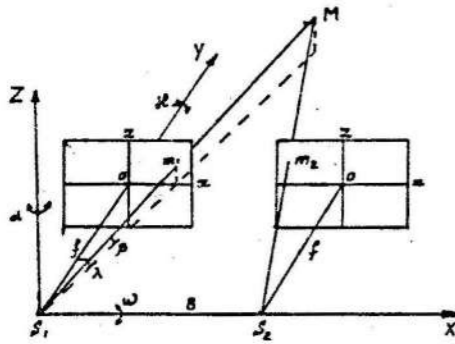


Fig 1 ELEMENTOS DE ORIENTACION EXTERNA DE LOS FOTOGRAMAS Y RELACION ENTRE EL PUNTO DEL TERRENO Y LAS IMAGENES SOBRE LOS FOTOGRAMAS

Como resultado de la resolución de estas ecuaciones según el método de mínimos cuadrados se encuentran las coordenadas más probables de los puntos del objeto.

Después, al analizar las coordenadas de los puntos característicos del objeto se pueden estudiar las deformaciones de este objeto o sus desplazamientos en el espacio.

El método dado fue utilizado para investigar las deformaciones de un edificio en construcción de 4 plantas tipo Girón.

Con el fin de estudiar la precisión del método, en una de las

paredes del edificio fueron marcados 12 puntos con cruces negras (fig. 2) . Aquí está mostrada la disposición de los puntos en los límites de las paredes del edificio y su posición (imagen) sobre el fotograma. La anchura de la banda de cada cruz T fue calculada según la fórmula (1)

$$T = Y \frac{t}{f}$$

Donde

t es el ancho de la banda de la cruz sobre el fotograma, que debe ser 2-3 veces mayor que el diámetro de la marca flotante del estereocomparador (para el STEKO 1 818 = 0,05 mm) ; Y es la distancia de la base hasta el objeto y f es la distancia focal. En nuestro caso fue adoptado: Y = 20 m , t = 0,1 mm, f = 100 mm . Por lo tanto, T = 2 cm .

Las coordenadas de estos puntos fueron determinadas mediante la solución de las bisecciones directas sobre la base de los ángulos horizontales y verticales medidos en dos series, utilizando un teodolito de segundos THEO-10A desde una base de longitud igual a 5 m . La base se situó a una distancia de 24 m del edificio.

Desde la misma base se obtuvieron un par de fotogramas en el caso normal de levantamiento, con ayuda de una cámara universal fotogramétrica UMK. Posteriormente se midieron 12 puntos con el estereocomparador STEKO-1 818 y adicionalmente 4 puntos situados al mismo nivel en cada piso.

Los resultados de las mediciones fueron tratados según el programa descrito anteriormente en la máquina computadora EC-1 035 en el centro de cálculo del I.C.G.C, en la ciudad de La Habana, utilizando diferentes combinaciones en los puntos de apoyo. En la tabla 1 se muestran los resultados de la precisión obtenida en la determinación de las

coordenadas de los puntos del objeto, según el método propuesto.

En la primera columna están los errores medio cuadráticos en la obtención de las coordenadas de los puntos de apoyo para la resolución de la intersección directa.

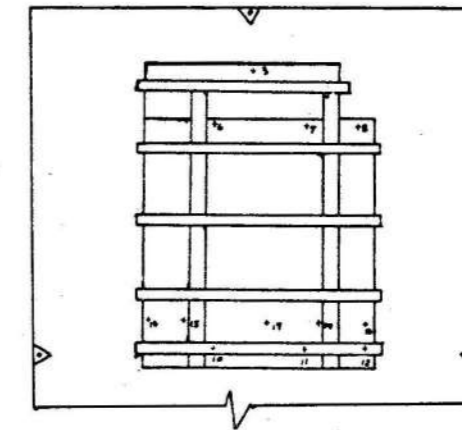


Fig 2 DISTRIBUCION DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN LA PARED DEL EDIFICIO Y EN EL PLANO DEL FOTOGRAMA

TABLA Nº.1

	Errores medio cuadráticos					
	de los puntos de apoyo	teóricos preliminares	Reales *			
			1	2	3	4
Mx (mm)	0,4	5	6	7	7	7
My (mm)	3,4	11	5	10	8	6
Mz (mm)	0,5	5	5	9	2	9

* Números de los puntos de apoyo utilizados para cada variante:
1) todos ; 2) 6,8,13,16 ; 3) 13,16 ; 4) 6,13

Para calcular estos errores se dedujeron las siguientes fórmulas:

$$M_x = \frac{B \sqrt{\cos^2 \lambda_2 \operatorname{sen}^2 \lambda_2 + \cos^2 \lambda_1 \operatorname{sen}^2 \lambda_1}}{\operatorname{sen}^2 \lambda_1 \operatorname{sen}^2 \lambda_2 (\operatorname{ctg} \lambda_1 + \operatorname{ctg} \lambda_2)^2}$$

$$M_y = \frac{M_\lambda \sqrt{\operatorname{sen}^4 \lambda_1 + \operatorname{sen}^4 \lambda_2}}{\operatorname{sen}^2 \lambda_1 \operatorname{sen}^2 \lambda_2 (\operatorname{ctg} \lambda_1 + \operatorname{ctg} \lambda_2)^2}$$

$$M_z = \frac{S}{\cos^2 \beta} M_\beta$$

Donde

B es la longitud de la base; λ_1 y λ_2 son los ángulos horizontales medidos desde los extremos izquierdo y derecho de la base respectivamente; β es el ángulo vertical; m_λ y m_β son los errores medio cuadráticos de medición de los ángulos horizontales y verticales; S es la distancia de la base hasta el punto. En nuestro caso: $B = 5 \text{ m}$, $\lambda_1 = 87^\circ$, $\lambda_2 = 81^\circ$, $m_\lambda = 4''.3$, $s = 24 \text{ m}$, $\beta = 24^\circ$, $m_\beta = 3''.4$. Los errores medios cuadráticos m_λ y m_β fueron calculados según las diferencias de mediciones dobles.

En la segunda columna de la tabla están los errores medio cuadráticos esperados de la determinación de las coordenadas de los puntos mediante el método estereotogramétrico. Estos errores se pueden calcular según fórmulas conocidas [1]:

$$m_x = Y^2 \frac{m_p x_1}{B f^2};$$

$$m_y = Y^2 \frac{m_p}{f B}; \quad (8)$$

$$m_z = Y^2 \frac{m_p z_1}{B f^2}$$

Aquí Y es la distancia desde la base hasta el objeto, B es la base de toma; f es la distancia focal; m_p es el error medio cuadrático de medición de los paralelajes longitudinales en el Estereocomparador; x, z son las coordenadas del punto sobre el fotograma o para el caso dado: $y = 24 \text{ m}$; $m_p = 0,01 \text{ mm}$; $B = 5 \text{ m}$; $f = 100 \text{ mm}$; $x_1 = 40 \text{ mm}$; $z_1 = 40 \text{ mm}$

En las columnas restantes (variantes 1-4), aparecen los errores medios cuadráticos reales, obtenidos según las diferencias de las coordenadas geodésicas y las fotogramétricas en los puntos de apoyo y los puntos a determinar.

En la primer variante en calidad de puntos de apoyo participaron todos (12 puntos) (fig. 2). En la segunda variante los puntos de referencia son los puntos 6; 8; 13; 16; en la tercer y cuarta variante son los puntos 13; 16 y 6; 13 respectivamente.

Al analizar la distribución de los errores entre los puntos se determinó que en todas las variantes, los puntos 3, 6, 7 y 8 fueron hallados con menor precisión. Ello se explica dada su situación en la parte superior del edificio, y las desfavorables condiciones de observación que ello implica por el gran ángulo de inclinación del anteojo del teodolito en el que fue necesario realizar las mediciones. Además estos puntos se impresionaron en el borde del fotograma donde la influencia de posibles distorsiones del lente de la cámara es mucho mayor, mientras que los puntos restantes están situados en la parte central del fotograma (fig. 2). Por eso en aquellos casos, cuando en calidad de puntos de apoyo participaron los puntos 6 y 8, la precisión fue menor.

En la primera variante, cuando todos los puntos fueron considerados como puntos de apoyo, su influencia sobre la precisión total fue menor, porque la cantidad de puntos que están en condiciones favorables es mayor.

Teniendo en cuenta lo anterior y los resultados mostrados en la tabla 1, pueden plantearse las siguientes conclusiones:

1. Los errores medios cuadráticos teóricos suficientemente aceptables, no difieren significativamente de los reales.

2. Los puntos de apoyo deben elegirse en los bordes del objeto de tal manera que todos los puntos a determinar estén entre ellos. De esa forma, es suficiente tener dos puntos como mínimo (las direcciones de control) pero siempre es conveniente medir la mayor cantidad posible de puntos de apoyo (3-5) para tener un mayor control.
3. Deben elegirse los parámetros del levantamiento de tal modo que el objeto investigado se ubique en la parte central del fotograma.
4. El método dado puede ser aplicado para el estudio de las deformaciones en construcciones de viviendas del tipo Girón o en cualquier otra similar.

En la figura 3, a modo de ejemplo, están mostrados los perfiles de las deformaciones ocurridas en las paredes del edificio (fig. 2). Los perfiles fueron confeccionados según las desviaciones de las vigas portadoras de cada planta, y sus posiciones horizontales. En la fig. 3 se ve que el edificio tiene una inclinación pronunciada, que pudo ser provocada por errores en la cimentación o por problemas de asentamientos posteriores. Perfiles similares fueron obtenidos para todas las paredes del edificio que demostraron de un modo evidente la existencia de deformaciones y sus valores.

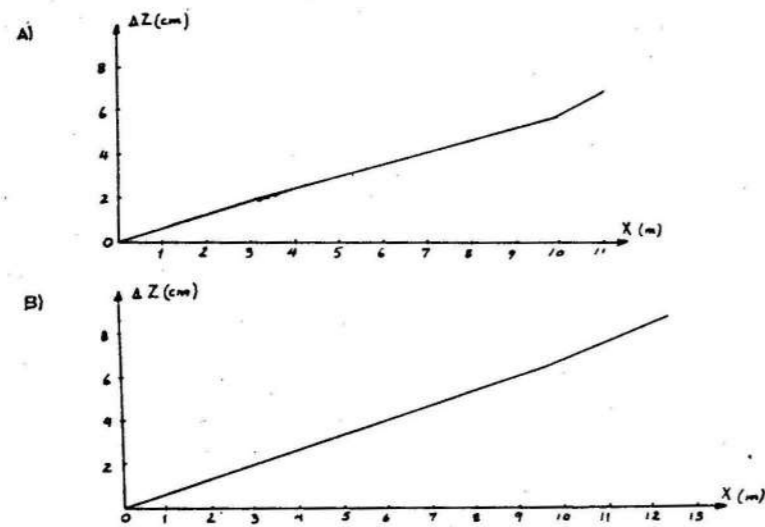


Fig 3 A,B PERFILES DEL CUARTO Y TERCER PISO DEL EDIFICIO

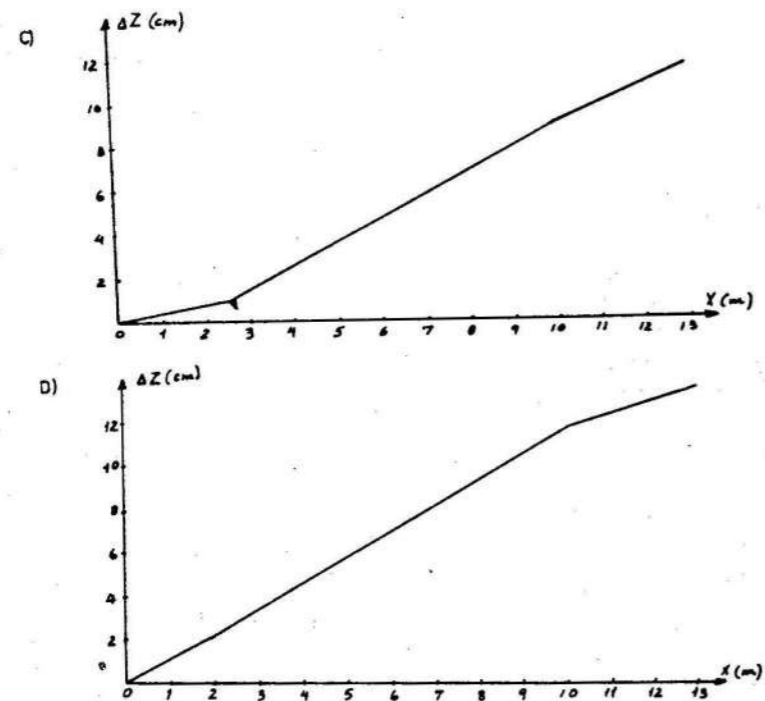


Fig 3 C,D PERFILES DEL SEGUNDO Y PRIMER PISO DEL EDIFICIO

Consideremos un ejemplo más, En la tabla 2 están mostrados los resultados de la precisión obtenida en la determinación de las coordenadas de los puntos pertenecientes a otra pared del edificio. La particularidad de esta variante es que se cumplió el caso general de levantamiento desde el techo de un edificio vecino.

En ese caso el eje de la cámara tuvo una inclinación de unos 15° ($\omega = 15^\circ$) y fue girada a 20° ($\alpha = \pm 20^\circ$) a la izquierda y a la derecha respecto al caso normal de levantamiento. Tales ángulos de inclinación fueron tomados dadas las condiciones concretas del levantamiento.

Para cada uno de los casos de levantamiento fueron determinados dos puntos de apoyo (en total 6 puntos) en cada uno de los cuales se determinó su precisión. En calidad de puntos de apoyo fueron utilizados los contornos nítidos de cada piso. La precisión obte-

nida según los puntos comunes de los diferentes casos de levantamiento, fue baja ya que estos puntos no fueron marcados.

De aquí se deduce que para aumentar la precisión de las determinaciones fotogramétricas es necesario utilizar en el objeto investigado puntos marcados y situados convenientemente.

Este ejemplo confirma que el método fotogramétrico no pone límites para los ángulos de inclinación de la cámara. No obstante es necesario continuar las investigaciones dirigidas a perfeccionarlo.

Una de las posibles vías para aumentar la precisión en la determinación de las coordenadas de los puntos es utilizar el caso de levantamiento convergente aumentando el ángulo de intersección hasta 90° . Desde el punto de vista teórico del algoritmo del programa, es necesario investigar el problema de la determi-

TABLA Nº. 2

	Teóricos	Errores medio cuadráticos	
		Reales calculados según las diferencias sobre	
		Los puntos de apoyo	Los puntos comunes
M_x (mm)	17	9	33
M_y (mm)	32	18	27
M_z (mm)	13	6	12

nación conjunta de los elementos angulares y lineales de orientación externa de los fotogramas, porque su determinación por separado (como en nuestro caso) provoca desigual exactitud en estos

grupos de elementos. Todo esto tiene gran importancia en el caso de levantamientos desde distancias cortas. Además, hay que tener en cuenta la distorsión del objetivo de la cámara.

REFERENCIAS

1. LOBANOV, A.N.: Fototopografía, Moscú, Nedra, 1983.

2. SERDIUKOV, V.M.: Fotogrametría en trabajos de construcción ingenieriles Moscú, Nedra, 1977.

CDU: 543.426 : 549.263 (729.1)

ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES SISTEMAS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X, PARA LA DETERMINACIÓN DE FE Y NI EN MENAS LATERÍTICAS CUBANAS

C.Dr. Juan Julián Meitín Casas . Centro Nacional de Investigaciones Científicas
Lic. Fermín de la Fuente Calvo . Centro Nacional de Investigaciones Científicas

RESUMEN

Se analizaron los resultados de la aplicación de varios métodos de análisis por fluorescencia de rayos X, de dispersión energética y de no dispersión, así como diferentes métodos matemáticos para la corrección de los efectos de la matriz en muestras de menas lateríticas para la determinación de Fe y Ni.

Este trabajo tiene como objetivo escoger el método más adecuado para el desarrollo de un instrumento radioisotópico para la determinación del contenido de Fe y Ni, y también, crear las bases para el desarrollo posterior de un analizador multielemental de menas y minerales.

Para la obtención de la radiación característica de los elementos analizados se utilizó una fuente de Pu 238, detectores de centelleo, proporcional, y semiconductores de Si (Li) y Ge puro.

ABSTRACT

The application of several energy dispersive and non-dispersive x-ray fluorescence methods, and different mathematical methods for matrix effect correction, were used for Fe and Ni content determination in lateritic ores.

The aim of the present paper is the selection of the most suitable method for the development of a radioisotope instrument for Fe and Ni contents determination, and to the proper grounds for the further developments of a multi-element analyzer for ores and minerals.

In order to obtain the characteristic radiation of the analysed elements, a Pu 238 source, scintillation detectors, as well as proportional, Si (Li) and Ge semiconductors were used.