

Solari, F. A., Rosatto, H. G., Álvarez, A. L., Lapido, M. y Barbosa, O. (2007): "Comparación de dos métodos de digitalización y su influencia en la precisión obtenida en la determinación de parámetros topográficos", *GeoFocus (Informes y comentarios)*, n° 7, pp. 14-23. ISSN: 1578-5157

COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS DE DIGITALIZACIÓN Y SU INFLUENCIA EN LA PRECISIÓN OBTENIDA EN LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TOPOGRÁFICOS

FABIO ADRIÁN SOLARI*, HÉCTOR GUSTAVO ROSATTO, ANA LAURA ÁLVAREZ,
MARIELA LAPIDO y OSVALDO BARBOSA

Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires. Argentina

*fsolari@agro.uba.ar

RESUMEN

Se realizó una experiencia con el objetivo de establecer la precisión con que se obtienen algunos parámetros topográficos utilizando dos métodos de digitalización en la realización de un MDE: el convencional, con mesa digitalizadora (vectorial) y un método mixto que une la rasterización producida por un escáner y la posterior vectorización con polilíneas generadas manualmente con un CAD. Se digitalizó un sector de una carta topográfica, estableciéndose la precisión con que se obtienen los parámetros topográficos más usados. Estos valores se compararon con los medidos directamente sobre la carta. El método de digitalización sobre tablero presentó un error posicional, de $\pm 16,4$ m, el cual es superior al admisible. Las diferencias altimétricas se explicarían por la presencia de la *banda epsilon* en las curvas de nivel digitalizadas en mesa, inexistente en el método mixto, presentándose éste como una alternativa superadora para la digitalización de mapas.

Palabras clave: MDE, digitalización, SIG

COMPARISON OF TWO DIGITIZING METHODS AND THEIR INFLUENCE ON ACCURACY OF SOME TOPOGRAPHIC PARAMETERS

ABSTRACT

A study was conducted with the objective of establishing the accuracy by which some topographic parameters can be obtained by using two digitizing methods in order to construct a DEM. The two methods were: the conventional, by means of a digitizing table (vector), and a mixed method that joins the raster layer produced by a scanner and the later vector conversion of manually generated polylines with a CAD. A sector of a topographic map was digitized in order to

Recibido: 7/3/2002

Aceptada versión definitiva: 14/9/2007

© Los autores
www.geo-focus.org

Solari, F. A., Rosatto, H. G., Álvarez, A. L., Lapido, M. y Barbosa, O. (2007): "Comparación de dos métodos de digitalización y su influencia en la precisión obtenida en la determinación de parámetros topográficos", *GeoFocus (Informes y comentarios)*, nº 7, pp. 14-23. ISSN: 1578-5157

establish the precision by which the most common topographic parameters can be obtained. The obtained values were compared to the ones specified by means of direct measuring on the map. The digitizing table system showed a positional error equivalent to $\pm 16,4\text{m}$, which is above the accepted amount. The resulting altimetric differences can be explained by the presence of an *epsilon band* in the contour lines digitized on the table, as such indetermination is inexistent in the mixed method, the mixed method is presented as the best alternative for the digitizing of maps.

Keywords: DEM, digitizing, GIS

1. Introducción

Los modelos digitales de elevaciones (MDE) son estructuras numéricas de datos que tienen como objeto la representación de la distribución espacial de la altitud o cota de la superficie del terreno. El primer paso para la construcción de un MDE consiste en la captura de la información altimétrica. La calidad de estos datos será fundamental para conseguir un modelo matemático del terreno aceptable (Martínez Marín *et al.* 2001). Dicha calidad cuenta, tanto en su origen como en su incorporación, ya que será una impronta en la calidad final del modelo y, consecuentemente, una limitante principal de los usos que se le pueda dar.

La captura directa de datos, realizada a partir de mediciones de campo efectuadas con instrumental topográfico clásico o de posicionamiento satelital, tiene la ventaja de su alta precisión e inmediatez. Sin embargo, cuentan con la desventaja de tener que ser realizados *ex profeso* y que se debe acceder físicamente al terreno a relevar.

Son los métodos indirectos, que se basan en la cartografía topográfica, fotogramas aéreos e imágenes radar los que, a pesar de tener que sufrir un procesamiento, están más difundidos (Robinson, 1994). Esto se debe a que abarcan grandes áreas a la vez que existe una cobertura muy amplia de la superficie terrestre en escala detallada. El método de digitalizar manualmente la cartografía topográfica es el utilizado más frecuentemente para la construcción de los MDE (Carter, 1988).

Como la calidad de los modelos digitales de elevaciones depende del tipo y magnitud de los errores implicados, adquiriendo los datos de la manera antedicha, los mismos pueden producirse tanto en la posición de una cota o la trayectoria de una curva de nivel como en la asignación defectuosa de la altitud a una cota o curva de nivel. Los primeros errores mencionados afectan a los modelos vectoriales, y si este error es grande, el uso cuantitativo del MDE estará comprometido.

2. Antecedentes, justificación y objetivos

El error posicional se origina frecuentemente en el proceso de digitalización de la cartografía analógica, realizado usualmente en forma manual con tableros electrónicos. Se origina básicamente en causas operacionales, principalmente el error de la digitalización (Felicísimo, 1994; Foote y Huebner, 1995). Éste está compuesto por errores topológicos, estocásticos y de

Solari, F. A., Rosatto, H. G., Álvarez, A. L., Lapido, M. y Barbosa, O. (2007): "Comparación de dos métodos de digitalización y su influencia en la precisión obtenida en la determinación de parámetros topográficos", *GeoFocus (Informes y comentarios)*, nº 7, pp. 14-23. ISSN: 1578-5157

generalización, que se deben principalmente a la inexacta colocación del cursor sobre la curva de nivel (Flach y Chidley, 1988).

Los mencionados en primer término, consisten en el seguimiento de líneas equivocadas por faltas de atención, se detectan y eliminan en el control de calidad que debe efectuar el operador. Los errores estocásticos imperceptibles para el operador estarían autocorrelacionados, siendo procesos no aleatorios dependientes de la ubicación del punto introducido inmediatamente anterior, ya que el operador tiende a efectuar un trazo inercial de la línea, unas veces hacia un lado y otras hacia el otro (Keefer *et al.*, 1988).

La forma de aleatorizar este error consiste en realizar la digitalización punto a punto, obligando al operador a colocar el cursor sobre la línea en la pausa entre cada ingreso, o realizándola en el modo continuo pero con un intervalo de introducción que permita corregir la trayectoria inercial. Finalmente queda el error de generalización, fruto de representar las curvas de nivel de la carta topográfica por medio de polilíneas de menor complejidad y cantidad de vértices que las originales. Esta diferencia puede cuantificarse como un área de incertidumbre.

La magnitud del área de incertidumbre, representada como una banda de probabilidad llamada banda epsilon ϵ (Perkal, 1966, 8), es un estimador de la calidad del proceso de digitalización. Esta banda representa el entorno probabilístico de la localización de la curva de nivel "verdadera" (existente en el material a digitalizar) alrededor de la línea efectivamente digitalizada. Si es simétrica, indicaría la inexistencia de sesgo en la operación de digitalizado. Su error medio cuadrático puede ser utilizado como un estimador o índice de calidad del proceso de digitalización.

Por otra parte, existe la alternativa de digitalizar automáticamente el material cartográfico mediante un escáner, produciendo una rasterización. La imagen generada puede ser posteriormente vectorizada mediante polilíneas generadas manualmente con un programa del tipo CAD. Al poder realizar las aproximaciones necesarias por los sucesivos aumentos disponibles, es posible mantener el cursor siempre dentro de la imagen de la línea, aún cuando el trabajo es realizado por operadores poco expertos o con visión disminuída. A esta alternativa la denominamos método mixto de digitalización.

La cartografía es habitualmente utilizada como fuente para la obtención de una serie de parámetros topográficos utilizados, por ejemplo, en el diagnóstico para la conservación de los recursos naturales (Walker y Willgoose, 1999). En la cartografía analógica, tradicionalmente se han medido longitudes y superficies con instrumentos mecánicos, particularmente curvímetro y planímetro polar respectivamente (Valdés Doménech, 1982). Esta metodología tiene la desventaja de depender de la habilidad del operador y de la dificultad en el almacenamiento de la información producida. La cartografía digital permite calcular los mismos parámetros topográficos a través de funciones programadas, como la medición de las polilíneas y cálculo de la superficie comprendida por éstas.

Solari, F. A., Rosatto, H. G., Álvarez, A. L., Lapido, M. y Barbosa, O. (2007): "Comparación de dos métodos de digitalización y su influencia en la precisión obtenida en la determinación de parámetros topográficos", *GeoFocus (Informes y comentarios)*, n° 7, pp. 14-23. ISSN: 1578-5157

Este trabajo tiene como objetivos:

- estimar la precisión de la digitalización de las curvas de nivel de un sector de una carta topográfica a través del valor ϵ de la banda épsilon, realizada en tablero digitalizador, a partir de su comparación con la misma carta vectorizada a partir de su imagen escaneada.
- establecer la diferencia de los valores de algunos parámetros topográficos obtenidos utilizando esas metodologías y los métodos mecánicos.

3. Materiales y métodos

Se llevó a cabo la digitalización de un sector de la carta topográfica 3560-11-3, denominada Mercedes, en escala 1: 50000 y equidistancia 2,5 m, publicada por el IGM en 1965. El sector corresponde a la cuenca del arroyo Del Oro.

3.1 Digitalización en tablero electrónico.

A fin de minimizar el error estocástico, debido a la dificultad física de mantener el cursor copiando exactamente la dirección seguida por la curva de nivel, se escogió un intervalo de muestreo cada 0,5 mm en modo continuo. Previamente, se realizó el calibrado del tablero con cuatro puntos externos al sector digitalizado. En la [figura 1](#) se observa el resultado obtenido manualmente con tablero digitalizador.

De igual modo, se procedió al escaneo del sector de la cuenca con un Scanner marca Contex FSS 3012 T, con una resolución de 400 dpi, y seguidamente se pasó a sistema vectorial siguiendo las líneas por la pantalla con el cursor ([figura 2](#)). El programa de computación usado fue AutoCAD Release 14 (Autodesk, 1997).

Los elementos cartográficos digitalizados fueron: Límites de la cuenca (demarcados previamente sobre la carta analógica), curvas de nivel con sus valores de cota y la red hidrográfica. Se registró el tiempo requerido para realizar ambos trabajos, los que fueron realizados por un mismo operador experimentado. Con esto se eliminaron en ambos casos los errores topológicos. En consecuencia, los errores remanentes del proceso realizado en tablero digitalizador son errores de generalización para la modelación, consistentes en la simplificación de la línea curva original al reemplazarla por una polilínea de segmentos rectos entre los puntos digitalizados. Como tiene gran importancia la conservación de las propiedades de la línea, se debe valorar la magnitud de este error.

Solari, F. A., Rosatto, H. G., Álvarez, A. L., Lapido, M. y Barbosa, O. (2007): "Comparación de dos métodos de digitalización y su influencia en la precisión obtenida en la determinación de parámetros topográficos", *GeoFocus (Informes y comentarios)*, nº 7, pp. 14-23. ISSN: 1578-5157

3.2. Cálculo del Error Cuadrático Medio (ECM)

El ECM vertical fue el estadístico utilizado para describir el error vertical del mapa digitalizado. Para el cálculo del ECM (m), se superpusieron las curvas de nivel homólogas y se midieron las distancias entre ellas, en forma perpendicular a la curva obtenida por el método mixto tomada como "verdadera", a un intervalo constante de 2 cm. De esta manera se generaron 170 muestras. Los errores resultantes e_i se ajustaron a una distribución normal y se calculó el Error Cuadrático Medio (m) para ambas coordenadas x e y , al igual que para la resultante d .

$$ECM(m) = \sqrt{1/n \cdot \sum e_i^2}$$

Posteriormente, y con el fin de establecer la precisión con que se obtienen los parámetros topográficos de uso más difundido, se determinaron, para ambos mapas: Perímetro y superficie de la cuenca, longitud del cauce principal, longitud de la red de drenaje y pendiente media de la cuenca. Se midieron asimismo estos parámetros con la metodología mecánica utilizada habitualmente: el planímetro polar y el curvómetro (Valdés Doménech, 1982), para establecer su comparación. Los resultados fueron analizados a través del test de rangos múltiples de Duncan.

4. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en el cálculo del ECM en las coordenadas x , y y en la resultante d se observan en la [tabla 1](#). Puede apreciarse que el ECM tomó valores de $\pm 11,8$ m para x ; $\pm 10,3$ m para y y de $\pm 16,4$ m para su resultante d .

La distribución de frecuencias se visualiza en la [figura 3](#). Se observa una distribución normal, simétrica y con medias cercanas a cero, lo que confirma la presunción de aleatoriedad del error posicional.

Aceptando como máximo error admisible al triple del ECM (Jordan, 1961, 5), los valores límites correspondientes serían de $\pm 35,4$ m para x , $\pm 30,9$ m para y y $\pm 49,2$ m para d . En éste último caso, dos de las 170 observaciones lo excedieron.

La exactitud horizontal propuesta por el USGS (1947) para la cartografía topográfica nacional de los EE.UU. aplicable a líneas poco definidas, como lo son las curvas de nivel, indica que no más del 10% de los puntos testeados podrán tener un error mayor a $\pm 0,8$ mm, equivalentes a ± 40 m. En este caso, sólo 6 de los 170 puntos (3,5%) se encontraron por encima de ese límite.

Para un valor de banda épsilon $e = \pm 1,96 \cdot m$ (Felicísimo, 1994), el correspondiente en este caso es de $\pm 32,1$ m. Esta banda representa la zona por la cual pasa la línea original en el mapa digitalizado con tablero, con una probabilidad del 95%. Un límite aceptable o tolerancia del error cartográfico en mapas digitalizados manualmente, para esta escala, fue propuesta por el mismo autor en $\pm 12,5$ m de terreno, correspondiente a $\pm 0,25$ mm en la carta. El valor hallado se encuentra fuera de este límite.

Solari, F. A., Rosatto, H. G., Álvarez, A. L., Lapido, M. y Barbosa, O. (2007): "Comparación de dos métodos de digitalización y su influencia en la precisión obtenida en la determinación de parámetros topográficos", *GeoFocus (Informes y comentarios)*, n° 7, pp. 14-23. ISSN: 1578-5157

El error posicional encontrado de $\pm 16,4$ m implicaría, de acuerdo a la pendiente promedio de esta cuenca, un error en la altitud determinada de cada punto de $\pm 0,10$ m. Considerando que el ECM esperado para una carta topográfica con equidistancia 2,5 m es de $\pm 0,42$ m (Solari *et al.*, 1996), esa imprecisión estaría aumentando prácticamente en un 25 % el error altimétrico de la carta digitalizada.

El tiempo registrado para realizar ambos trabajos fue similar: La digitalización en tablero electrónico insumió 3 horas y media, a lo que se le sumó media hora más para su edición, mientras que la digitalización en pantalla insumió un total de 4 horas.

Los resultados de los parámetros topográficos calculados a partir de las digitalizaciones y de la medición mecánica directa se observan en la [tabla 2](#).

Realizada la prueba de rangos múltiples sobre estos parámetros, no se verificó la existencia de diferencias significativas al nivel del 10 %. Una explicación a estos resultados sería, en el caso de la pendiente, que su cálculo implicó la utilización de los valores de longitud de las curvas de nivel y de la superficie de la cuenca, los cuales tampoco difirieron significativamente.

Con respecto a las diferencias en los valores planimétricos, Brinker y Wolf (1982) proponen un rango de precisión para el planímetro polar entre 0,5 y 1 % del área medida, mientras que la diferencia máxima verificada entre las superficies medidas alcanzó el 0,75%. No se han encontrado referencias bibliográficas con respecto a la precisión del curvímetro, pero los fabricantes mencionan un valor del 0,2 %. Las diferencias entre las longitudes medidas con curvímetro y las realizadas a partir de las digitalizaciones se encuentran en el orden del 2 %, reduciéndose esta diferencia al 0,4 % cuando se compararon los valores de longitud obtenidos por los dos métodos de digitalización.

La ausencia de diferencias significativas entre los valores de los parámetros topográficos calculados en base a los distintos métodos, se debería a que la influencia del error posicional en los datos que intervienen en su cálculo se autocompensarían dada la distribución normal verificada.

5. Conclusiones

El método de digitalización sobre tablero presentó un error posicional, expresado como ECM, equivalente a $\pm 16,4$ m, el cual es superior al admisible. Esta cuantificación indicaría la necesidad de reemplazar esta metodología por el propuesto método mixto. Estas diferencias posicionales, explicadas por la presencia de la banda ϵ de las curvas de nivel digitalizadas en mesa digitalizadora, implicarían una distorsión en los parámetros topográficos calculados sobre esa base cartográfica. Sin embargo, las diferencias obtenidas entre ambos métodos de digitalización no fueron significativas en dichos parámetros. Tampoco se constataron diferencias significativas con respecto al método mecánico. No obstante, insumiendo el mismo tiempo operativo, el método mixto se presenta como una alternativa superadora para la digitalización de mapas.

Solari, F. A., Rosatto, H. G., Álvarez, A. L., Lapido, M. y Barbosa, O. (2007): "Comparación de dos métodos de digitalización y su influencia en la precisión obtenida en la determinación de parámetros topográficos", *GeoFocus (Informes y comentarios)*, nº 7, pp. 14-23. ISSN: 1578-5157

Referencias bibliográficas

- Brinker, R.C. y Wolf, P.R. (1982): *Topografía Moderna*. México, Ed. Harla S.A.
- Carter, J. (1988): "Digital representations of topographic surfaces", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, pp. 1577-1580.
- Felicísimo, A. M. (1994): *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. España, Pentalfa Ediciones.
- Flach, J.D.; Chidley, T.R.E. (1988): "Digital elevation models and their application to remote sensing of water resources". *Proceedings of the 1988 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Igarss)*, 3, pp 1545-1546.
- Foote, K.E.; Huebner, D.J. (1995): "Error, Accuracy, and Precision", *The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The University of Colorado at Boulder*.
- Jordan, W.(1961): *Tratado general de Topografía*. España., Ed. G. Gil.
- Keefer, B.J.; Smith, J.L.; Gregoire, T.G.(1988): "Simulating manual digitizing error with statistical models", *GIS/LIS '88 Proceedings*, 1, pp 475-483.
- Martínez Marín, R.; González Gámez, F. y Gordo Murillo, C. (2001): "Análisis de las metodologías habituales para la generación de modelos digitales del terreno", *Mapping*, Octubre-noviembre.
- Perkal, J. (1966): "On the length of empirical curves". *Discussion Paper 10 Ann Arbor, Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers* (citado en Felicísimo, 1994).
- Robinson, G.J. (1994): "The accuracy of digital elevation models derived from digitized contour data", *Photogrammetric Record.*, 14, 83, pp. 805-814.
- Solari, F.A.; Rosatto, H.G.; Barros, M.J.; Casala P.; Iturralde, J.L. (1996): "Confiabilidad de la cartografía topográfica existente en una zona de la Pampa Deprimida (Argentina)", *II CLIA y XXV CONBEA*. Baurú. Brasil CD. TFS 047.
- Valdés Doménech, F. (1982): *Aparatos topográficos*. Barcelona, Ediciones CEAC, S.A.
- Walker, J.P.; Willgoose, G.R. (1999): "On the effect of digital elevation model accuracy on hydrology and geomorphology", *Water Resources Research*, 357, pp 2259-2268.

Solari, F. A., Rosatto, H. G., Álvarez, A. L., Lapido, M. y Barbosa, O. (2007): "Comparación de dos métodos de digitalización y su influencia en la precisión obtenida en la determinación de parámetros topográficos", *GeoFocus (Informes y comentarios)*, n° 7, pp. 14-23. ISSN: 1578-5157

TABLAS

Tabla 1. Error posicional (m) de las coordenadas x e y y la resultante d

	x	y	d
ECM (m)	11,8	10,3	16,4
E Máximo (3m)	35,4	30,9	49,2
Rango	73,1	63,6	84,4
Mínimo	-24,6	-36,4	-30,7
Máximo	48,5	27,2	53,6
e			32,1

Fte. Elaboración propia sobre 170 puntos de muestra.

Tabla 2. Parámetros topográficos de la Cuenca del Arroyo del Oro, según 3 métodos de medición.

	Medición mecánica	Tablero	Método Mixto
Perímetro de la cuenca	35.003 m	35.481 m	35.415 m
Superficie de la cuenca	6.604 ha	6.654 ha	6.620 ha
Longitud del cauce ppal.	13.733 m	14.334 m	14.263 m
Longitud red de drenaje	53.833 m	54.868 m	54.090 m
Curvas de nivel			
Longitud de CN 27,5 m	3.000 m	3.488 m	3.386 m
Longitud de CN 30 m	10.800 m	11.606 m	11.669 m
Longitud de CN 32,5 m	17.000 m	17.930 m	18.091 m
Longitud de CN 35 m	26.900 m	30.070 m	30.282 m
Longitud de CN 37,5 m	31.000 m	33.128 m	33.220 m
Longitud de CN 40 m	25.800 m	27.495 m	27.562 m
Longitud de CN 42,5 m	16.800 m	18.119 m	18.105 m
Longitud de CN 45 m	12.500 m	13.498 m	13.607 m
Longitud de CN 47,5 m	10.00 m	11.114 m	11.165 m
Longitud de CN 50 m	2.000 m	2.137 m	2.138 m
Longitud total de las CN	165.200 m	168.585 m	169.225 m
Pendiente media	0.62 %	0.63 %	0.64 %

Nota: No existen diferencias significativas entre los métodos (Test de Rangos Múltiples de Duncan, 10 % de nivel de significancia).

Fte. Elaboración propia en base a mediciones sobre la carta topográfica IGM 3560-11-3.

Solari, F. A., Rosatto, H. G., Álvarez, A. L., Lapido, M. y Barbosa, O. (2007): "Comparación de dos métodos de digitalización y su influencia en la precisión obtenida en la determinación de parámetros topográficos", *GeoFocus (Informes y comentarios)*, n° 7, pp. 14-23. ISSN: 1578-5157

FIGURAS

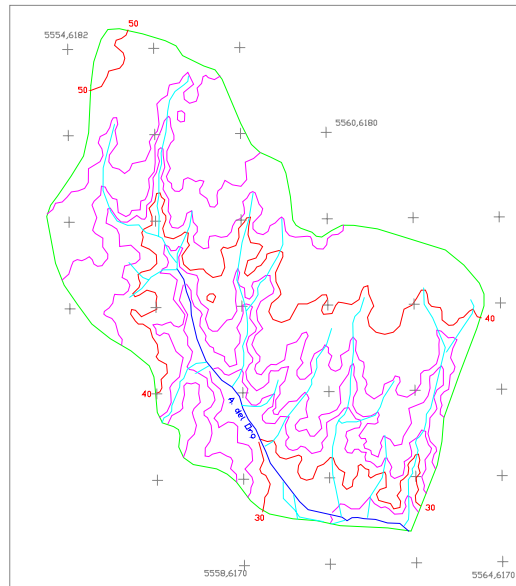


Figura 1. Cuenca Arroyo del Oro digitalizada en tablero.
Figura ilustrativa, no está en la escala original

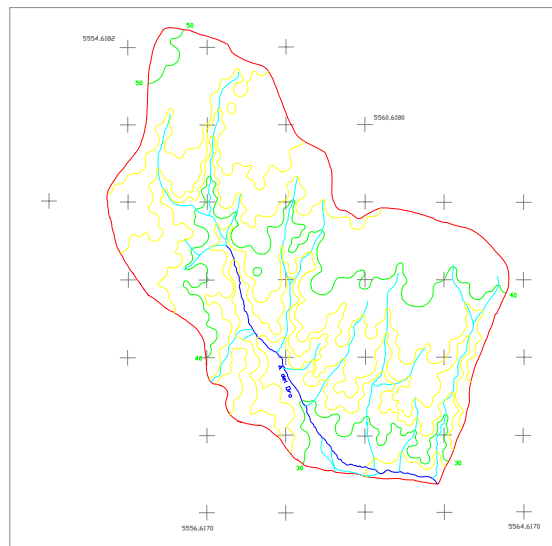


Figura 2. Cuenca Arroyo del Oro digitalizada en pantalla.
Figura ilustrativa, no está en la escala original

Solari, F. A., Rosatto, H. G., Álvarez, A. L., Lapido, M. y Barbosa, O. (2007): "Comparación de dos métodos de digitalización y su influencia en la precisión obtenida en la determinación de parámetros topográficos", *GeoFocus (Informes y comentarios)*, n° 7, pp. 14-23. ISSN: 1578-5157

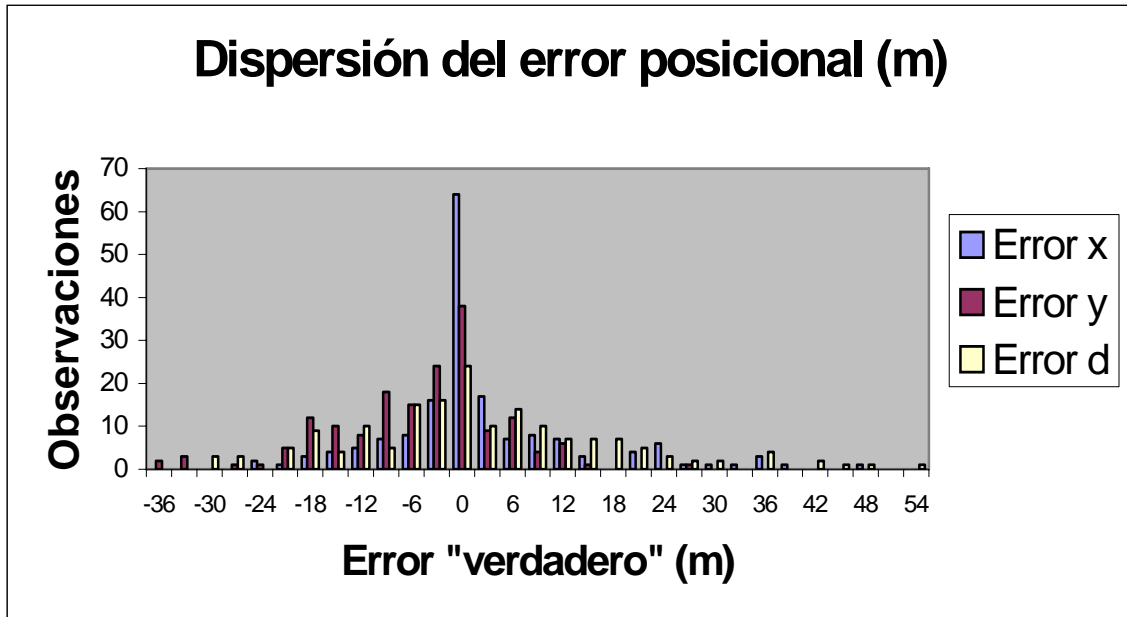


Figura 3. Distribución de frecuencia de los errores posicionales x , y y d .