

CONVERSIONES DE COORDENADAS UTM A TOPOGRÁFICAS Y VICEVERSA

En Bolivia la cartografía topográfica oficial (Escala 1: 250 000, 1: 100 000 y 1: 50 000) se edita en el sistema de proyección cartográfica UTM (Universal Transversa Mercator) y los mapas (Escala 1: 500 000 y 1: 1 000 000) en el sistema de proyección Lambert, ambos son proyecciones *conforme*, es decir que mantienen los ángulos y la semejanza de figuras superficiales comprendidas dentro de elementos infinitesimales de la superficie terrestre; esta propiedad hace de la proyección UTM una de las más convenientes para la resolución sobre el plano de los problemas topográficos.

Uno de los fines de las transformaciones (conversiones) cartográficas es simplificar los cálculos, afectando a las figuras del elipsoide de las oportunas correcciones para poder sustituirlas por sus transformadas en el plano, y de esta forma poder resolver los problemas por trigonometría plana rectilínea.

Dos son los problemas prácticos que normalmente se le presentan al usuario de la cartografía, para trabajos topográficos, que son la determinación de direcciones y distancias.

La dirección de la recta determinada por dos puntos A y B de la proyección (fig. 1) se define por el ángulo que esta recta forma con la parte positiva del eje de las Y. Este ángulo se llama *orientación* y no se debe confundir con el acimut geográfico, que como sabemos, es el ángulo formado por dirección AB con la meridiana geográfica.

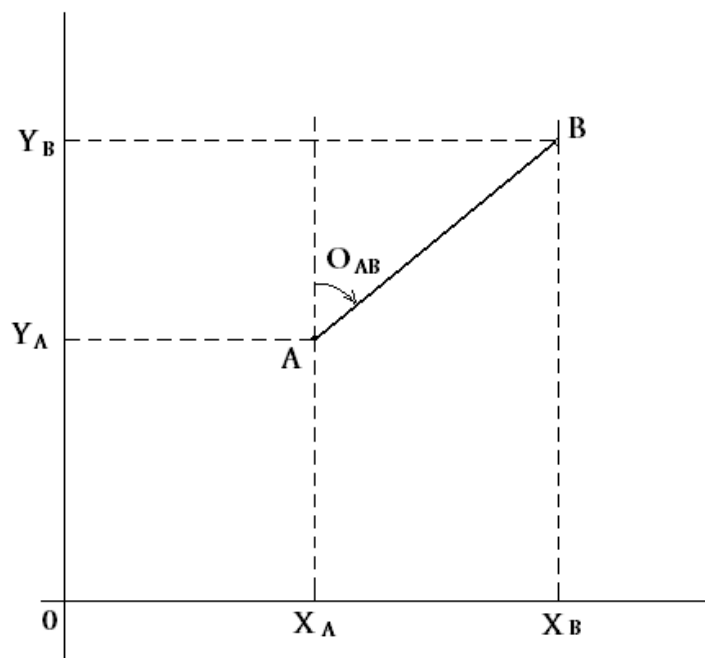


fig. 1 Cálculo de la orientación y distancia entre dos puntos

Esta orientación puede medirse directamente en el plano, con un transportador, si en el plano está dibujada la cuadrícula; pero, si se desea mayor precisión debe calcularse analíticamente. Para ello de la figura 1, tenemos:

$$\operatorname{tg} O_{AB} = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}$$

(for. 5)

Esta fórmula es completamente general, y nos determina la dirección de la recta AB, cuyo sentido se deduce de la situación relativa de ambos puntos.

La distancia que separa ambos puntos en la proyección se puede calcular por cualquiera de las fórmulas conocidas:

$$D_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

$$D_{AB} = \frac{X_B - X_A}{\operatorname{sen} O_{AB}}$$

$$D_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{\operatorname{cos} O_{AB}}$$

(for. 6)

Tanto en el empleo de estas fórmulas como en las (for. 5), las coordenadas deben ser exactas y no obtenidas gráficamente, ya que en este último caso se perdería la precisión que proporciona el cálculo analítico.

CALCULO DE LA DISTANCIA TOPOGRÁFICA

Las fórmulas (for.6) nos dan el valor de la distancia entre los puntos A y B en la proyección, pero, en alguna ocasión se nos puede presentar la necesidad de conocer la distancia que realmente existe entre ellos en el elipsoide, que difiere de aquella debido al módulo de anamorfosis lineal K, conocido como factor de escala de la proyección UTM, y además, por la corrección de altitud, conocido como el factor de altitud para trabajos topográficos.

El valor de K viene dado por la expresión:

$$K = \frac{\Delta l'}{\Delta l} = \frac{\text{Proyección}}{\text{terreno}}$$

Por lo tanto la distancia entre los puntos en el terreno será:

$$\Delta l = \frac{\Delta l'}{K}$$

(for.7)

El valor de K puede obtenerse en las Tablas de la proyección o bien, puede calcularse con suficiente aproximación para cualquier punto de Bolivia, por la expresión:

$$K = 0.9996 (1 + 0.012371 * q^2)$$

(for.8)

Siendo:

$$q = (X_m - 500,000) * 10^{-6}$$

En la que, X_m , es la abscisa del punto medio de la distancia expresado en metros.

Ejemplo:

Calcular la distancia existente entre los puntos A y B sobre el elipsoide, sabiendo que las coordenadas de dichos puntos son:

$$A: X = 779039.823, Y = 8073843.717$$

$$B: X = 778966.910, Y = 8073836.735$$

La distancia en la proyección UTM es, según la primera fórmula de las (for.6):

$$X_B - X_A = -72.913$$

$$Y_B - Y_A = -6.982$$

$$D = \sqrt{72.913^2 + 6.982^2} = \sqrt{5365.054} = 73.246 \text{ m}$$

El valor de K lo obtenemos por la expresión (for.8); para ello calculamos los valores de:

$$X_m = \frac{779039.823 + 778966.910}{2} = 779003.367$$

$$q = (779003.367 - 500\,000) * 10^{-6} = 0.279003367$$

$$K = 0.9996 * (1 + 0.012371 * q^2) = 0.9996 * 1.00096299 = 1.000562609$$

Y por lo tanto la distancia en el elipsoide será, según (for.7):

$$De = \frac{73.246}{1.000562609} = 73.205 \text{ metros}$$

La corrección por altitud la podemos obtener del estudio de la figura 2, de la que se deduce:

$$\frac{Dt}{De} = \frac{R + H}{R}$$

Y de aquí:

$$Dt = De \frac{R + H}{R}$$

(for.9)

En la que H es la altitud media de los puntos A y B, y R el radio de la Tierra, ambos valores expresados en metros, tomándose para R el valor de 6 376 000 metros, radio promedio en Bolivia.

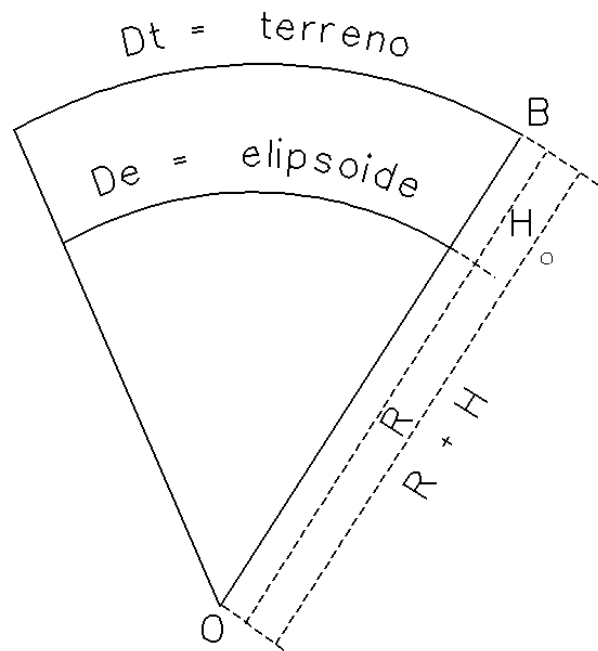


Fig. 2 – Corrección por altitud

Esta corrección es pequeña en general, pero no debe despreciarse ya que para altitudes de 700 metros, alcanza valores de cierta consideración, especialmente dignos de tenerse en cuenta cuando se realizan medidas con aparatos de medición electrónica de distancias, capaces de medir distancias de kilómetros con muy pocos centímetros de error.

EJEMPLO:

Obtener la distancia que separa en el terreno a los puntos A y B del ejemplo anterior; sabiendo que altitud media es de 2696.180 metros.

De la fórmula (for.9) se tiene:

$$Dt = 73.205 \frac{6\ 376\ 000 + 2696.180}{6\ 376\ 000} = 73.236 \text{ metros}$$

CALCULO DE COORDENADAS TOPOGRÁFICAS O LOCALES

Las distancias medidas previamente sobre el terreno, sufren un doble proceso de transformación, primero sobre el elipsoide (reducción) y luego sobre el plano (proyección). Esto quiere decir, que las medidas tomadas sobre el plano al hacer el diseño de un proyecto, no le corresponden directamente con las que habrá que plasmar posteriormente en el campo al hacer el replanteo.

A la escala de un proyecto de ingeniería de dimensiones moderadas, este problema tiene sencilla solución. Puede establecerse un sistema topográfico local o particular de **coordenadas rectangulares planas**, basadas en las deducidas de una **poligonal conforme**.

Para ello debe establecerse una línea base con dos puntos **A** y **B** conocidas, con coordenadas UTM, identificando a uno de los extremos de la línea base como punto de partida o pivote, que tendrá su equivalente en coordenadas locales, puede ser la misma numeración en X y Y u otras con las que pueda representarse.

A partir de este punto conocido **A** se calculan las distancias y orientaciones de todos los puntos que se desea convertir, inclusive el punto **B** de línea de referencia u orientación.

Los factores de escala **K** y de elevación se multiplican entre sí para obtener el factor combinado, convirtiéndose en la única variable que cambia de formula, en el cálculo de distancias, que para el caso de conversiones de UTM a topográficas se procede a multiplicar por la distancia de proyección y para el caso de conversión de topográficas a UTM se procede a dividir por la distancia topográfica o de terreno.

En las siguientes tablas No. 1 y 2 se aprecian los resultados de las conversiones,

COORDENADAS TRANSFORMADAS DE UTM A TOPOGRÁFICAS

COORDENADAS UTM			FACTORES DE CONVERSION						COORDENADAS TOPOGRÁFICAS		
PUNTO	ESTE	NORTE	ELEVACION	DIST. PROY	FAC. ESCALA	FAC. ALTITUD	FAC. COMBINADO	DIST. TOP	ORIENTACION	X	Y
A	779039.823	8073843.717	2695.643							779039.823	8073843.717
B	778966.910	8073836.735	2696.717	73.247	1.00056261	0.999576252	1.000139	73.236	264° 31' 48.544"	778966.920	8073836.736
P1	779016.910	8073896.735	2697.217	78.102	1.00056261	0.999576252	1.000139	78.092	39° 48' 20.056"	779016.913	8073896.728
P2	779024.910	8073906.735	2698.017	12.806	1.00056261	0.999576252	1.000139	12.804	38° 39' 35.31"	779024.912	8073906.727

Tabla No. 1

COORDENADAS TRANSFORMADAS DE TOPOGRÁFICAS A UTM

COORDENADAS TOPOGRÁFICAS			FACTORES DE CONVERSION						COORDENADAS UTM		
PUNTO	X	Y	ELEVACION	DIST. TOP	FAC. ESCALA	FAC. ALTITUD	FAC. COMBINADO	DIST. PROY	ORIENTACION	ESTE	NORTE
A	779039.823	8073843.717	2695.643							779039.823	8073843.717
B	778966.920	8073836.736	2696.717	73.236	1.00056261	0.999576252	1.000139	73.247	264° 31' 48.663"	778966.910	8073836.735
P1	779016.913	8073896.728	2697.217	78.092	1.00056261	0.999576252	1.000139	78.103	39° 48' 19.38"	779016.910	8073896.735
P2	779024.912	8073906.727	2698.017	12.805	1.00056261	0.999576252	1.000139	12.807	38° 39' 32.794"	779024.910	8073906.735

Tabla No. 2