

PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROYECCIÓN LOCAL TRANSVERSA DE MERCATOR-PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL CON PARÁMETROS NORMALIZADOS PARA BOLIVIA

Ing. Boris Roger Fernandez Astro¹

Ing. Miguel Angel Vera Madera¹

Lic. Daniel Flores Vargas²

¹Escuela Militar de Ingeniería “Mcal. Antonio José de Sucre”

Ingeniería Geográfica

²Universidad Mayor de San Andrés

Carrera de Topografía y Geodesia

Resumen

La proyección UTM es la más empleada para trabajos cartográficos y levantamientos topográficos, pero debido a la precisión que se requiere para cada trabajo, es necesario realizar las correcciones de las distancias cartográficas o de cuadrícula en el plano UTM, esto se lo realiza con los respectivos factores de escala para convertirlas a distancias topográficas. Para evitar el empleo de estos factores de escala, la combinación de las proyecciones Local Transversa de Mercator – Plano Topográfico Local resulta en una proyección que genera menores deformaciones lineales a comparación de la proyección UTM.

Palabras clave: Deformación lineal, Universal Transversa de Mercator, Local Transversa de Mercator, Plano Topográfico Local, factor de escala.

Abstract

The UTM projection is most commonly used for cartographic works and surveying, but due to the accuracy required for each job, it is necessary to correct the cartographic distances or grid distances in the UTM plane, this is done with the respective scale factors to convert to topographical distances. To avoid the use of these scale factors, the combination of Local Transverse Mercator projection and Local Ground Based Plane results in a projection that generates lower linear deformations comparing to the UTM projection.

Keywords: linear deformation, Universal Transverse Mercator, Local Transverse Mercator, Local Ground Based Plane, scale factor.

Introducción

La representación de la Tierra en una superficie plana requiere de un proceso de transformación matemática, en que cada punto sobre la esfera o elipsoide se refiere a su correspondiente biunívoco en el plano. Existe diversidad de proyecciones cartográficas con características propias, estas proyecciones no son perfectas debido a que es matemáticamente imposible representar la superficie tridimensional de la Tierra en un plano de dos dimensiones sin haber introducido cierto tipo de distorsión. Estas distorsiones o deformaciones pueden ser: lineales, angulares o superficiales. Entonces de acuerdo a la finalidad particular, se utiliza la proyección más conveniente.

La proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), tiene su origen en la proyección Transversa de Mercator (TM). Divide la superficie terrestre en 60 husos de 6° cada uno y es mayormente utilizada para la representación en mapas de aplicaciones científicas, militares y de levantamientos topográficos. La proyección UTM es conforme (módulo de deformación angular igual a cero), en consecuencia las distancias y superficies representadas tienen cierta deformación controlada por un factor de escala. Aplicando dicha proyección en los trabajos de ingeniería pueden producirse diferencias más o menos significativas en las precisiones. Ya que estos trabajos tienen tolerancias de cierre lineal establecidos, para cumplir dichas tolerancias se aplican procesos y cálculos para “llevar” las coordenadas de los puntos en el plano UTM al terreno. Al ser esta una de las desventajas que posee, países de la región como Brasil y Chile adoptaron proyecciones locales que se adaptan mejor a su entorno para obtener los resultados deseados en los trabajos de ingeniería. No ocurre lo mismo en Bolivia, donde aún se utiliza la proyección UTM de manera convencional.

Características y parámetros de la proyección UTM

La clasificación cartográfica de la proyección UTM es: Cilíndrica, transversa, secante, conforme y analítica. Fue modificada y propuesta por los EE UU desde mediados del siglo XX para unificar un sistema de representación mundial, dividiendo al globo terráqueo en 60 Zonas de 6° en longitud ($\Delta\lambda$) cada una, teniendo un total 120 sistemas de coordenadas para los hemisferios Norte y Sur. Actualmente se usa como proyección oficial en la cartografía nacional, asimismo en aplicaciones militares, científicas y en levantamientos topográficos

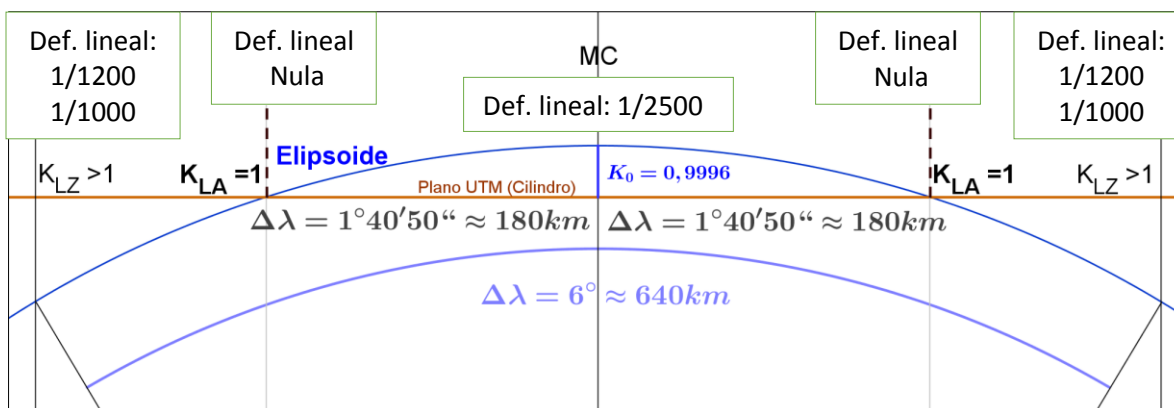
para ingeniería, puesto que tiene deformaciones aceptables hasta cierta escala de representación. Los parámetros y especificaciones presentados en la Tabla 1 fueron determinados por la “Defense Mapping Agency” de EE.UU. (actual NGA), así también están indicadas de manera visual en la Figura 1.

Tabla 1: Parámetros y especificaciones de la proyección UTM.

Zona UTM	Hemisferio Sur	Hemisferio Norte
Meridiano Central (MC) de la Zona UTM.	Cada 6° a partir de la longitud 177° W; haciendo un total de 60 Meridianos en todo el mundo.	
Factor de Escala en el Meridiano Central.	0,9996	
Origen Natural.	Latitud 0° (Ecuador); Longitud coincidente con cada Meridiano Central.	
Falso Norte y Falso Este.	N(Y): 10000000 m E(X): 500000 m	N(Y): 0 m E(X): 500000 m
Extensión de la Zona UTM.	6° de ancho (3° a cada lado del MC). Los límites latitudinales son: 84°N y 80°S	
Ubicación de las líneas automecoicas.	Aproximadamente 1°40'50" ó 180 km simétricamente respecto del Meridiano Central en la latitud media de Bolivia.	
Deformación lineal.	En el MC 1:2500	
	En la Línea Automecoica: Nula.	
	En el límite de la Zona: aprox. 1:1100 (para Bolivia).	

Fuente: DMA TM 8352.2

Figura 1. Vista de perfil de una Zona UTM.



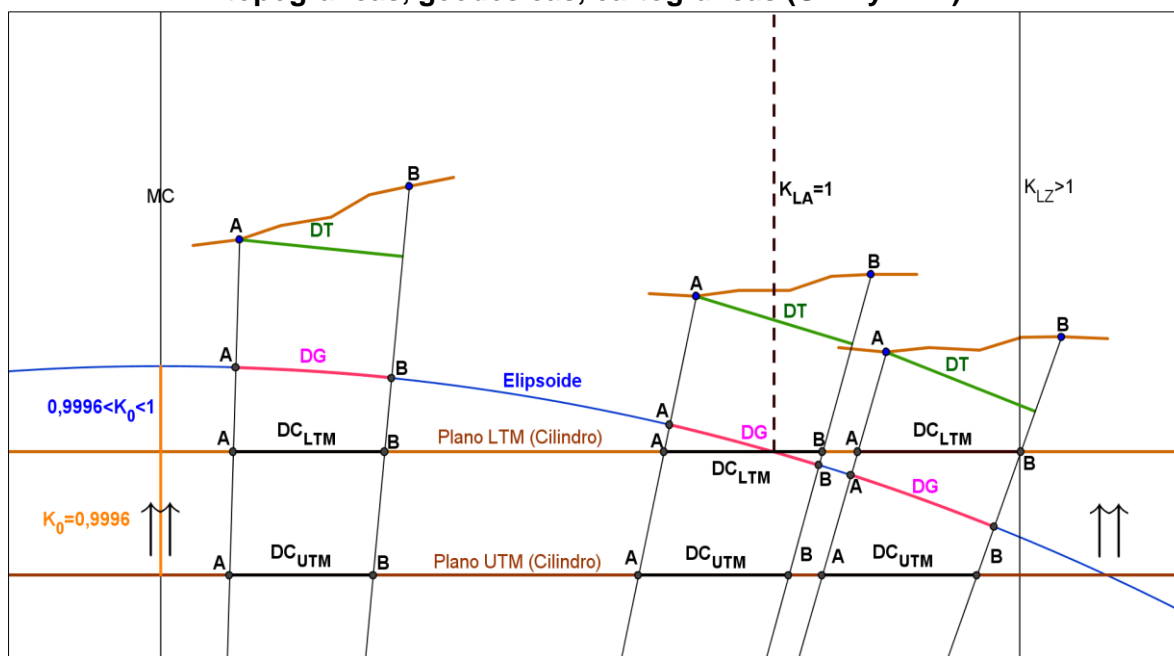
Fuente: Elaboración propia

Características de la proyección LTM

La proyección LTM es una variante de la proyección UTM, “hereda” todas las características de la misma, es: Cilíndrica, transversa, secante, conforme y analítica. La proyección LTM es establecida aproximando el plano de la proyección (cilindro) a la tangencia con el elipsoide de referencia por donde se extiende el Meridiano Central y efectuando el cambio del Factor de Escala de dicho Meridiano Central de la nueva Subzona a un valor que este comprendido entre: $0,9996 < K_0 < 1$.

A continuación, se analizan las distancias topográficas (DT), distancias geodésicas (DG) y distancias cartográficas (DC) en UTM y LTM, entre los puntos A y B, para tres regiones específicas: Cercanías del Meridiano Central, sobre la Línea Automecoica y el Límite de la Zona, según se muestra su disposición en la Figura 2.

Figura 2. Vista de perfil de la Subzona LTM y la relación entre distancias topográficas, geodésicas, cartográficas (UTM y LTM).



Fuente: Elaboración propia

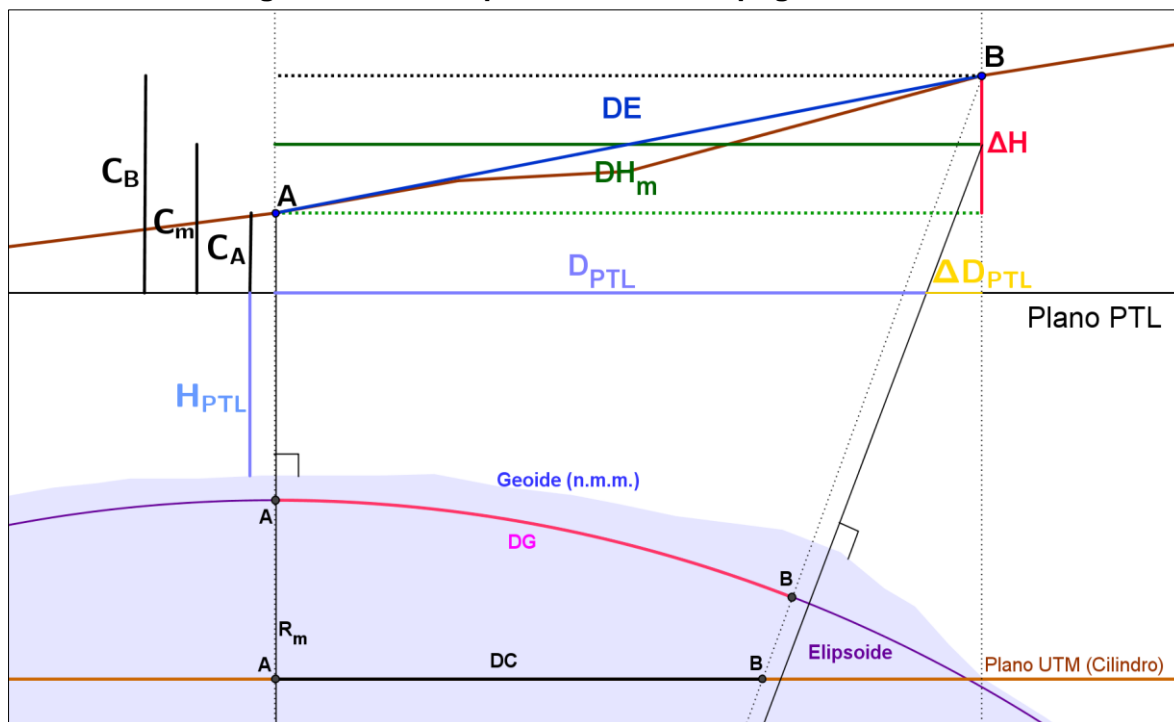
Entonces de manera analítica a partir de la Figura 2 se pueden considerar las siguientes afirmaciones:

- Las distancias geodésicas y cartográficas serán menores a las distancias topográficas debido a la separación entre sus superficies de representación, o más bien dicho, por la altitud sobre el nivel medio del mar donde se encuentra la superficie topográfica. Si esta superficie estuviera próxima al nivel medio del mar, casi coincidiría con el elipsoide y las distancias topográficas serían muy próximas a las geodésicas. Si el caso se da en el límite de una Subzona las distancias topográficas inclusive podrían ser menores a las cartográficas, pero no se da esto en Bolivia, porque la altitud mínima está alrededor de los 70 msnm (Río Paraguay, Departamento de Santa Cruz).
- El plano UTM al ser llevado más cerca a la tangencia con el elipsoide y denominarse LTM, aproxima las distancias cartográficas LTM a las geodésicas.

Componentes de un PTL

Los componentes principales de cualquier PTL son: la altura media del área de trabajo (H_{PTL}), las alturas máxima y mínima de dicho PTL, el plano donde se reducen las distancias obtenidas en campo. Al igual que la topografía clásica, considera a las direcciones de la plomada paralelas, en dos o más puntos cercanos (Figura 3).

Figura 3. Vista de perfil del Plano Topográfico Local.



Fuente: Elaboración propia, información recopilada del Manual de Carreteras de Chile.

Se definió el intervalo de alturas principales de cada PTL cada 500 m. a partir de la altura 250 m hasta 4750 m. Para que las deformaciones de las distancias en el PTL estén dentro de las tolerancias se establece un desnivel máximo de ± 250 m. respecto de cada PTL. Ya definidos todos los parámetros PTL normalizados para Bolivia se los resume en la Tabla 2.

Tabla 2: Resumen de parámetros y especificaciones de la proyección LTM-PTL.

Proyección LTM-PTL			
Meridiano Central (MC) de la Subzona LTM-PTL.		Cada 1° a partir de la longitud 69,5° W; haciendo un total de 13 Meridianos para Bolivia.	
Origen Natural.		Latitud 0° (Ecuador); Longitud coincidente con cada Meridiano Central.	
Falso Norte y Falso Este.		N(Y): 5000000 m E(X): 250000 m	
Extensión de la Subzona LTM-PTL.		1° de ancho (30' a cada lado del MC).	
Traslapo.		Hasta 50 metros a partir de las alturas máximas y mínimas del PTL.	
Alturas y Factores de Escala en el Meridiano Central de los PTL.			
Denominación	Altura PTL	K PTL	Rango de alturas del PTL
PTL_250	250	1,0000393082	0-500
PTL_750	750	1,0001179245	500-1000
PTL_1250	1250	1,0001965409	1000-1500
PTL_1750	1750	1,0002751572	1500-2000
PTL_2250	2250	1,0003537736	2000-2500
PTL_2750	2750	1,0004323899	2500-3000
PTL_3250	3250	1,0005110063	3000-3500
PTL_3750	3750	1,0005896226	3500-4000
PTL_4250	4250	1,0006682390	4000-4500

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Para la validación de la propuesta del presente trabajo, se realizó la medición con estación total (aplicando las respectivas correcciones atmosféricas) entre los puntos geodésicos: P028, CALV, P27 y KILLI KILLI; pertenecientes a la red geodésica municipal de la ciudad de La Paz (Figura 4). Tomándose como base P028 que es intervisible con los demás puntos.

A partir de las coordenadas geodésicas de cada punto, se transformó a coordenadas UTM para obtener sus respectivas distancias calculadas sobre el plano (Tabla 3).

Figura 4. Ubicación de los puntos P028, CALV, P27 y KILLI KILLI.



Fuente: Google Earth

Tabla 3: Coordenadas iniciales y distancias en el plano UTM.

Punto	Coordenadas Geodésicas (WGS-84)			Coordenadas UTM (WGS-84)			
	Latitud (gg mm ss.sssss)	Longitud (gg mm ss.sssss)	Altura Elipsoidal (m)	Norte (m)	Este (m)	Zona UTM	Distancia Cartográfica (m)
P028	16 30 21,994 S	68 06 20,494 W	3757,951	8174868,650	595442,038	19	1032,811
P-27	16 29 48,781 S	68 06 25,819 W	3876,274	8175890,013	595288,686	19	
P028	16 30 21,994 S	68 06 20,494 W	3757,951	8174868,650	595442,038	19	4596,455
CALV	16 30 32,652 S	68 08 55,140 W	3977,447	8174560,969	590855,893	19	
P028	16 30 21,994 S	68 06 20,494 W	3757,951	8174868,650	595442,038	19	2599,891
KILLI KILLI	16 29 43,316 S	68 07 38,485 W	3754,524	8176067,382	593134,990	19	

Fuente: Elaboración propia

Para la transformación de los mismos puntos con coordenadas geodésicas en coordenadas LTM-PTL, se incluyeron sus respectivas alturas elipsoidales. Luego se calcularon las

distancias en el plano de la proyección LTM-PTL para obtener las diferencias con las distancias horizontales obtenidas en campo detalladas a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4: Diferencias entre distancias LTM-PTL y distancias obtenidas en campo.

Punto	Coordenadas LTM-PTL (WGS-84)					Distancia Horizontal obtenida en campo (m)	Diferencia DH con LTM-PTL	Error - Deformación: 1/
	Norte (m)	Este (m)	Subzona LTM	h PTL (m)	Distancia Cartográfica (m)			
P028	3173232,405	292121,657	194	3750	1033,740	1033,759	0,019	53776
P-27	3174254,303	291965,634	194	3750				
P028	3173232,405	292121,657	194	3750	4600,602	4600,630	0,028	163593
CALV	3172913,064	287532,152	194	3750				
P028	3173232,405	292121,657	194	3750	2602,232	2602,188	0,044	58657
KILLI KILLI	3174426,489	289809,564	194	3750				

Fuente: Elaboración propia

Teniéndose como resultado final que las deformaciones cartográficas añadidos los errores que puedan existir en la medición, están dentro de las tolerancias establecidas. Hay que resaltar que la distancia horizontal más larga que se midió con estación total entre P028 y CALV fue la de menor error – deformación como se aprecia en la última columna de la Tabla 4. En topografía, en levantamientos de carreteras o catastro es poco probable tener que medir distancias “largas”, incluso por la misma limitación que tiene el instrumento, por lo que en distancias horizontales cortas las diferencias con las distancias LTM-PTL serían mínimas. De esta manera no es necesario ningún tipo de corrección de las distancias LTM-PTL ni la aplicación de factores de escala.

Conclusiones

- La proyección LTM-PTL reduce la deformación lineal entre las distancias topográficas horizontales medidas en campo y las distancias de cuadrícula calculadas en el plano PTL, siendo una mejor alternativa a los cálculos respectivos en la proyección UTM.
- Para trabajos de precisión en proyectos de replanteo y diseño de carreteras se facilita el cálculo de distancias topográficas en gabinete solamente configurando en el software CAD o SIG los parámetros establecidos para la proyección LTM-PTL.

Las conclusiones para el uso de la proyección UTM si es que no se realiza el correspondiente cálculo de los factores de escala y corrección de las distancias cartográficas son las siguientes:

- La proyección UTM ha demostrado tener limitaciones para los trabajos de ingeniería en escalas grandes, considerando su deformación de acuerdo a los requerimientos de precisión y el establecimiento de tolerancias lineales.
- El cálculo de factores de escala para compensar las distancias en UTM puede generar errores en campo si es que no se lo realiza de la manera adecuada.

Referencias

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento. NBR 14166. Rio de Janeiro, 1998. 23 p.
- [2] DEFENSE MAPPING AGENCY (USA). DMA technical manual The universal grids: Universal Transverse Mercator (UTM) and Universal Polar Stereographic (UPS). DMATM 8358.2, Virginia, 1989. 14 p.
- [3] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (Chile). Manual de carreteras volumen N°2 Procedimientos de estudios viales. Santiago, 2001. 581 p.
- [4] TORRES, Alvaro y VILLATE, Eduardo. Topografía. Bogotá : Norma, 1968. 307 p.
- [5] VALEIJE, I. Iván. Uso del plano topográfico local en obras lineales de ingeniería: Caso Autopista Presidente Dutra. Universidade de Sao Paulo Escola Politecnica : 2002. 128 p.
- [6] VARGAS VILLA, Ruben. Propuesta metodológica para el empleo del sistema de proyección Local Transversal de Mercator (LTM) en obras de ingeniería lineal. Trabajo de Grado (Licenciatura en Ingeniería Geográfica). La Paz, Bolivia, Escuela Militar de Ingeniería Antonio José de Sucre, 2009. 179 p.
- [7] VERA, M. Miguel. Geodesia geométrica II. Escuela Militar de Ingeniería Antonio José de Sucre. 2013. 72 p.
- [8] WESTRA, Erik. Python geospatial development (Desarrollo geoespacial en Python). 2nd. ed. Birmingham : Packt Publishing Ltd., 2013. 508 p.
- [9] ZEPEDA, René. Proyección cartográfica Transversa de Mercator Local como norma de ingeniería vial en Chile. En: Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra (2006).