COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR) OBTENIDAS POR FACTOR COMBINADO, PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL LTM – PTL Y GEODESIA GEOMÉTRICA TRADICIONAL GG

(Trabajo de campo y gabinete: planos topográficos catastro urbano municipio de La Paz)

UTM COORDINATES (UNIVERSAL TRASVERSE MERCATOR) OBTAINED BY COMBINED FACTOR, LOCAL TOPOGRAPHIC MAP LTM-PTL AND TRADITIONAL GEOMETRIC GEODESY GG
(Fieldwork and Cabinet: topographic plans urban cadastre municipio de La Paz)

Richard Jonel Salazar Espinoza*

RESUMEN

Identificada la superficie de trabajo (terreno de 13 vértices zona de Achachicala) y efectuada la mensura topográfica y geodésica. Se aplicó los métodos de georefenciación Factor Combinado FC, Plano Topográfico Local LTM-PTL y Geodesia Geométrica Tradicional GG para su conversión al sistema (Universal Trasversal Mercator) UTM, y representación física (trabajo de campo y gabinete) en los planos topográficos del catastro urbano municipio de La Paz.

Los resultados comparativos demuestran que la adopción del sistema de coordenadas UTM, en el catastro urbano para la representación física (plano topográfico), no es adecuada debido al tipo de información que no refleja la realidad donde: **superficialmente** por cada 100 m^2 hay una diferencia de 0,19989 m^2, y **linealmente** por cada 1000 m, se tiene una diferencia de 0,9978 m, respecto a la realidad - proyección.

PALABRAS CLAVE: Geo referenciación de planos Topográficos, Factor Combinado, Plano Topográfico Local.

SUMMARY

Delimited to the work surface (terrain of 13 vertices Achachicala area) and made the topographic and geodesic survey. It applied the georeferencing methods: Combined Factor FC, Local Topographic Map LTM-PTL and Geodesy Geométrica Tradicional GG for its conversion to the system (Universal Transversal Mercator) UTM, and the physical representation (field work and cabinet) in the topographic urbans plans, cadastre municipio de La Paz.

The comparative results show that the adoption of the UTM coordinate system, in the urban cadastre for the physical representation (topographic map), is not adequate due to the type of information that does not reflect the reality where: superficially for every 100 m^2 there is a difference of 0,19989 m^2, and linearly for each 1000 m, there is a difference of 0,9978 m, compared to reality - projection.

KEYWORDS: Geo referencing of Topographic Plans, Combined Factor, Local Topographic Map.

RESUMO

Delimitado para a superfície de trabalho (terreno de 13 vértices área Achachicala) se fez o levantamento topográfico e geodésico, e foram aplicados os métodos de georreferenciamento: Fator Combinado FC, Plano Topográfico Local LTM-PTL e Geodésia Geométrica Tradicional GG para sua conversão ao sistema (Universal Transversal Mercator) UTM, e a representação física (trabalho de campo e gabinete) nos planos urbanos, cadastro municipio de La Paz.

Os resultados comparativos mostram que a adoção do sistema de coordenadas UTM, no cadastro urbano para a representação física (mapa topográfico), não é adequada devido ao tipo de informação que não reflete a realidade onde: superficialmente para cada 100 m^2 existe uma diferença de 0,1999 m^2, e linearmente para cada 1000 m, há uma diferença de 0,9878 m, em relação à realidade - projeção.

PALAVRAS–CHAVE: Georreferenciamento de Planos Topográficos, Fator Combinado, Mapa Topográfico Local.

History of the article: Received 28/03/2018. Style review 14/05/2018. Accepted 24/05/2018.

INTRODUCCIÓN

Área de estudio y mensura

El área de estudio se ubicó al norte del municipio paceño, específicamente en la zona de Achachicala, donde, se establecen trece puntos vértices físicos importantes para la mensura a través del levantamiento topográfico que proporciona dimensiones horizontales (lineal-superficial) reales del terreno en coordenadas cartesianas, y el levantamiento geodésico que obtiene las dimensiones horizontales (lineal - superficial) bajo un sistema de referencia espacial representado por un sistema de proyección. Ambos levantamientos sirvieron de base para aplicar diferentes métodos de georeferenciación y llevar la información topográfica al sistema de coordenadas UTM.

DESARROLLO

Levantamiento Topográfico, bases de comparación

Se usó un equipo topográfico de alta precisión (Estación Total), la mensura del predio se realizó por radiación acompañado de poligonales, de acuerdo a la extensión del predio se puede aplicar coordenadas de referencias relativas, es decir que se asumen las coordenadas de estación y se aproxima al norte magnético como referencia angular, de esta forma se tiene como punto de partida el vértice número 01 donde se asignan coordenadas relativas de estación y se impone como referencia angular el Norte Magnético. En la tabla 1, se muestran los datos obtenidos a través del levantamiento topográfico. La descripción de la estación base para el levantamiento geodésico, se indica en la tabla 2.

Tabla 1
Levantamiento topográfico, Coordenadas Obtenidas

Coordenadas de estación: Este: 5000 m. **Norte**: 10000 m. **Cota**: 4757,459 m.
Referencia Norte Magnético

Punto	Este	Norte	Cota
1	5000,000	10000,000	4757,459
2	4822,242	9371,729	4734,412
3	4793,691	8691,460	4604,695
4	5617,659	8615,133	4680,130
5	5411,397	8103,633	4622,389
6	4892,204	7679,691	4330,725
7	5396,104	7533,504	4260,919
8	5836,116	7394,915	4250,989
9	4767,117	7049,627	4253,319
10	4788,401	6345,648	4512,274
11	6400,716	6770,818	4552,287
12	6462,779	6146,632	4518,739
13	4785,033	5738,930	4449,626

Fuente: Elaboración propia

Levantamiento Geodésico

Tabla 2
Descriptiva de la Estación Base

Información de la Estación Base			
Sistema de Referencia	WGS - 84	**Departamento**	La Paz
Provincia: Murillo	**Ciudad** El Alto	Lugar: Regimiento RC-4 Ingavi	
Latitud: 16 31 47,465,568 S		**Longitud:** 68 10 5,814,333 W	
Altura Elipsoidal: 4090,652 m		Altura Geométrica: 4040,9412 msnm	

Fuente: Elaboración propia

Se determinó las coordenadas UTM de los puntos vértice en estudio, a partir del posicionamiento GPS Sistema de Posicionamiento Global /GNSS Sistema Global de Navegación Satelital. El procedimiento de medición aplicado corresponde al estático, donde dos o más receptores posicionados en puntos diferentes alrededor de 60 minutos por sesión[1], recogen información necesaria para la resolución óptima de las variables que definen una posición. El punto de control es la estación BLPZ (INGA) que pertenece a la Red MARGEN-SIRGAS establecida por el Instituto Geográfico Militar de Bolivia. Ver tabla 2. Los datos obtenidos por los receptores son procesados para determinar la relación diferencial existente entre los puntos ocupados y el punto base, donde se tienen las coordenadas UTM. Ver tabla 3.

Tabla 3
Relación diferencial puntos ocupados y punto base, coordenadas UTM

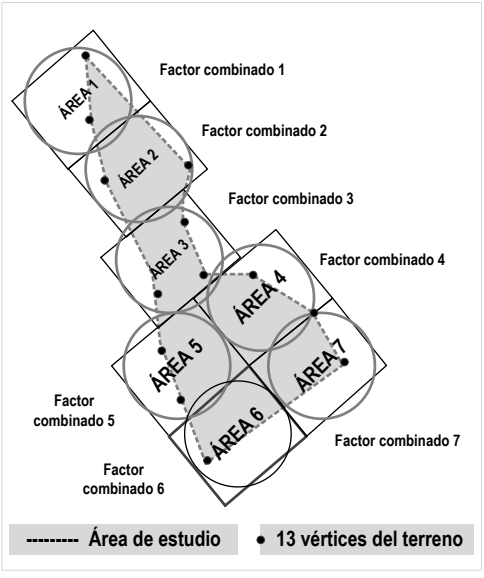
Punto	Estado	Este	Norte	Altura Elipsoidal
GPS01	Ajustado	593934,1170	8186678,6722	4686,1295
GPS02	Ajustado	593968,8837	8186026,6612	4631,3922
GPS03	Ajustado	594966,0515	8185567,6037	4616,6972
GPS04	Ajustado	594936,1139	8185016,8946	4542.5300
GPS05	Ajustado	594161,6131	8185373,6192	4583,9719
GPS06	Ajustado	595107,3644	8182576,6419	4464,6260
GPS07	Ajustado	596563,4042	8183504,5468	4536,7387
GPS08	Ajustado	594914,5250	8183151,9081	4533,2744
GPS09	Ajustado	596302,9997	8184075,2050	4576,2869
GPS10	Ajustado	594666,9315	8183811.2557	4280,3189
GPS11	Ajustado	595567,0377	8184483,4115	4280,9885
GPS12	Ajustado	595105,8475	8184472,4027	4293,9188
GPS13	Ajustado	594581,7406	8184447,9425	4366,7252

Fuente: Ajuste Leica Geo Office

Métodos de georeferenciación

a) Georeferenciación aplicando Factor combinado

Este método aplica los fundamentos básicos de un levantamiento topográfico, así, para llegar a obtener las coordenadas de un punto, es necesario apoyarse en otros previamente conocidos.
El uso del factor combinado permite calcular el producto de los factores de escala y elevación, a partir de las coordenadas geodésicas (obtenida por navegación GPS).



El método aplicado para el levantamiento cartográfico de los vértices del predio, es el método de radiación dentro de un radio de 1000 metros (Estación - Vértice) con el uso del factor combinado para la determinación de las coordenadas UTM. Puntos de control, ver tabla 4a.

Tabla 4a
Puntos de control

Control	Este	Norte	Elevación
Punto C. GPS-01	593934,1184	8186678,6711	4757,4590
Punto C. GPS-02	593968,8844	8186026,6630	4737,4124
Sist. Referencia	WGS-84		
Sist. Proyección	UTM - Zona 19 Sur		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4b, se indican los lugares donde se aplicó el Factor Combinado (FC) y la conversión de las trece coordenadas UTM.

Tabla 4b
Áreas donde se aplicó el Factor Combinado (FC) y coordenadas UTM

FACTOR COMBINADO									
	Latitud			Longitud			H_A	H_B	Fac. Comb.
1	16˚	23'	37"	68˚	07'	54"	4737	4664	0,998968
2	16˚	23'	57"	68˚	07'	13"	4686	4631	0,998977
3	16˚	23'	49"	68˚	07'	34"	4631	4542	0,998987
4	16˚	24'	51"	68˚	06'	39"	4542	4294	0,999017
5	16˚	25'	40"	68˚	06'	37"	4267	4523	0,999021
6	16˚	25'	49"	68˚	06'	26"	4531	4464	0,999006
7	16˚	25'	40"	68˚	06'	09"	4534	4576	0,998998

Vértices en coordenadas UTM					
Nº	Este	Norte	Nº	Este	Norte
1	593934,1170	8186678,6722	7	594936,1148	8185016,8959
2	593968,8844	8186026,6630	8	594966,0523	8185567,6052
3	594161,6141	8185373,6203	9	595105,8475	8184472,4027
4	594581,7406	8184447,9425	10	595107,3644	8182576,6419
5	594666,9315	8183811,2557	11	595567,0377	8184483,4115
6	594914,5250	8183151,9081	12	596302,9997	8184075,2050
			13	596563,4042	8183504,5468

Fuente: Elaboración propia

b) Georeferenciación cálculos matemáticos de la Geodesia geométrica tradicional

Las coordenadas finales de los vértices expresadas en coordenadas UTM, pasan por una serie de reducciones o correcciones de la información de terreno a información geodésica factible de usar en el elipsoide, para su posterior transformación a información plana UTM. Ver tabla 5.

Tabla 5
Coordenadas UTM obtenidas cálculos matemáticos de la Geodesia geométrica tradicional

Nº	Este	Norte	Nº	Este	Norte
1	593934,1170	8186678,6722	7	596563,3969	8183504,6424
2	593968,8836	8186026,6885	8	594914,5481	8183152,0144
3	594966,0593	8185567,6764	9	596302,9900	8184075,2972
4	594936,1277	8185016,9782	10	594666,9751	8183811,2865
5	594161,6496	8185373,6909	11	595567,0853	8184483,4388
6	595107,3900	8182576,7390	12	595105,8935	8184472,4299
			13	594581,7803	8184447,9859

Fuente: Elaboración propia

[1] Sesión grupo de datos GPS/GNSS grabados simultáneamente por dos o más receptores.

c) Georreferenciación utilizando un Plano Topográfico Local LTM-PTL

La obtención de coordenadas UTM, a partir de otro sistema de coordenadas, para este caso, corresponde al uso de un Plano Topográfico Local LTM-PTL[2]. sistema de coordenadas que tiene las mismas características que la proyección UTM, debido a que ambas proceden del mismo sistema de proyección que es la proyección Transversa de Mercator. La diferencia está en que la proyección UTM, conserva parámetros definidos, sin embargo, un PTL puede ser modificado a partir de un LTM. Es por esta razón, que iniciado el levantamiento topográfico con puntos de referencia en el sistema de coordenadas PTL, y apoyándose en las características propias de sistema LTM-PTL, se asume que este sistema cuenta con información georeferenciada útil para la transformación a coordenadas UTM y viceversa.

La tabla 6, muestra los dos puntos de control obtenidos por posicionamiento GPS/GNSS, perteneciente a un sistema de coordenadas LTM-PTL, siguiendo el levantamiento topográfico de los vértices del terreno, por el método de radiación, para posteriormente efectuar la conversión desde las coordenadas PTL a coordenadas UTM.

Tabla 6
Puntos de control, Plano Topográfico Local LTM-PTL y conversión a coordenadas UTM

	Este	Norte	Elevación
Pto. C. (GPS-01)	187140,3036	2184867,7495	4757,4590
Pto. C. (GPS-02)	187178,3208	2184215,2685	4737,4124
Sist. Ref.	WGS-84		
Sist. Proy.	LTM-PTL Achachicala		
Falso Norte	4000000 m	**Falso Este**	200000 m
Meridano Central	68° 00' 00" W	**Factor de Escala**	1.00070854

Coordenadas UTM obtenidas

Nº	Este	Norte	Nº	Este	Norte
1	593934,1170	8186678,6722	7	596563,4397	8183504,5639
2	593968,8844	8186026,6637	8	594914,5520	8183151,9375
3	594966,0926	8185567,6374	9	596303,0378	8184075,2269
4	594936,1534	8185016,9275	10	594666,9634	8183811,2876
5	594161,6537	8185373,6545	11	595567,0753	8184483,4392
6	595107,3863	8182576,6687	12	595105,8839	8184472,4327
			13	594581,7764	8184447,9752

Fuente: Elaboración propia

Balance de resultados, métodos de georeferenciación y base de comparación

Uso del Sistema de Coordenadas UTM en el Catastro Urbano

Los resultados obtenidos en la medición topográfica de los 13 vértices del área de estudio, y las mediciones de posicionamiento GNSS para el área y perímetro, establece lo siguiente:

	Medición Topográfica	Medición GNSS (UTM)	Diferencia
Área (m²)	3598242,15	3591049,5	7192,6525
Área (Ha)	359,824215	359,10495	0,71965
Perímetro (m)	10609,3259	10598,7398	10,5861

El proposito general del catastro urbano es obtener información geográfica confiable y oportuna que sea de utilidad general, este aspecto compromete a que la información técnica proporcionada al usuario sobre extensión superficial y perimetral, sea una representación fiel del terreno, sin embargo, debido al uso de sistemas refertenciales y sistemas de proyección universales para la georeferenciación de estos planos, esta información no es adecuada o no representa en la realidad al terreno en cuestión.

[2] Proyección Local Transversal de Mercator – Plano Topográfico Local.

1) Análisis de coordenadas UTM, obtenidas por Factor Combinado FC

Se tiene como base de comparación las coordenadas UTM obtenidas por posicionamiento GPS/GNSS, además de las mismas coordenadas obtenidas por levantamiento cartográfico con empleo del factor combinado.

El contraste entre las coordenadas de cada vértice revela las potenciales diferencias existentes entre los valores obtenidos por el método empleado. Ver tabla 7.

Tabla 7
Diferencias coordenadas UTM-GNSS y FC factor combinado

V*	Este (m)	Norte (m)	Dist. (m)	V*	Este (m)	Norte (m)	Dist. (m)
1	0,0000	0,0000	0,0000	7	0,6490	-1,1211	1,2954
2	0,0154	-0,4356	0,4359	8	0,6756	-0,7539	1,0123
3	0,1363	-0,8738	0,8844	9	0,7558	-1,4866	1,6677
4	0,4057	-1,4967	1,5507	10	0,7343	-2,7520	2,8483
5	0,4550	-1,9227	1,9758	11	1,0638	-1,4847	1,8265
6	0,6124	-2,3657	2,4437	12	1,5502	-1,7660	2,3499
				13	1,7172	-2,1500	2,7516

***V**: Número de vértice zona de estudio*

Fuente: Elaboración propia

Diferencias área y perímetro; Coordenadas UTM-GNSS y Factor Combinado FC.

	Área (m²)	Área (Ha)	Perímetro (m)
UTM – GNSS	3591049,496	359,105	10598,740
UTM – FC	3588640,564	358,864	10595,239
Diferencia	2408,932	0,241	3,501

2) Análisis Coordenadas UTM, aplicando PTL Plano Topográfico Local

Se tiene como base de comparación las coordenadas UTM, obtenidas por posicionamiento GPS/GNSS, además las mismas coordenadas obtenidas por levantamiento topográfico cartográfico empleando PTL. Ver tabla 8.

Tabla 8
Diferencias de coordenadas, de área y perímetro; UTM-GNSS y PTL Plano Topográfico Local

V*	Este (m)	Norte (m)	Dist. (m)	V*	Este (m)	Norte (m)	Dist. (m)
1	0,0000	0,0000	0,0000	7	-0,0386	-0,0316	0,0499
2	0,0000	-0,0007	0,0007	8	-0,0403	-0,0322	0,0516
3	-0,0396	-0,0342	0,0523	9	-0,0364	-0,0300	0,0472
4	-0,0358	-0,0327	0,0485	10	-0,0219	-0,0268	0,0346
5	-0,0319	-0,0319	0,0451	11	-0,0376	-0,0277	0,0467
6	-0,0270	-0,0294	0,0399	12	-0,0381	-0,0219	0,0439
				13	-0,0355	-0,0171	0,0394

***V**: Número de vértice zona de estudio*

	Área (m²)	Área (Ha)	Perímetro (m)
UTM – GNSS	3591049,496	359,105	10598,740
UTM – PTL	3591066,214	359,107	10598,739
Diferencia	-16,717	-0,002	0,001

Fuente: Elaboración propia

3) Análisis Coordenadas UTM, obtenidas por cálculos aplicados de la Geodesia Geométrica tradicional GG

Se tiene como base de comparación las coordenadas UTM, obtenidas por posicionamiento GPS-GNSS, además de las mismas coordenadas obtenidas por levantamiento topográfico sujeto a post proceso por medio de cálculos matemáticos de la geodesia geométrica tradicional para la obtención de coordenadas UTM.

El contraste entre las coordenadas de cada vértice revela las potenciales diferencias existentes entre los valores obtenidos por el método empleado. Ver tabla 9.

Tabla 9
Diferencias coordenadas UTM (GNSS – GG)

V*	Este (m)	Norte (m)	Dist. (m)	V*	Este (m)	Norte (m)	Dist. (m)
1	0,0000	0,0000	0,0000	7	-0,0129	-0,0823	0,0833
2	0,0008	-0,0255	0,0255	8	-0,0070	-0,0712	0,0716
3	-0,0355	-0,0706	0,0790	9	-0,0460	-0,0272	0,0535
4	-0,0397	-0,0434	0,0588	10	-0,0256	-0,0971	0,1004
5	-0,0436	-0,0308	0,0534	11	-0,0476	-0,0273	0,0548
6	-0,0231	-0,1063	0,1088	12	0,0097	-0,0922	0,0927
				13	0,0073	-0,0956	0,0958

***V**: Número de vértice zona de estudio*

Las diferencias obtenidas por coordenadas UTM-GNSS y Geodesia Geométrica Tradicional GG, para las áreas y el perímetro son:

	Área (m²)	Área (Ha)	Perímetro (m)
UTM – GNSS	3591049,960	359,105	10598,740
UTM – GG	3590888,471	359,089	10598,545
Diferencia	161,489	0,016	0,195

Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

Los resultados finales al momento de utilizar los diferentes métodos de información topográfica georeferenciados y convertidos al sistema de coordenadas UTM[3], bajo el análisis de los 13 vértices del terreno dentro del área de estudio establece los siguientes resultados:

- Georeferenciación empleando el Factor Combinado, **Superficialmente:** Por cada 100 m^2 el error es de 0,070 m^2. **Linealmente:** Por cada 1000 m hay 0,018 m de error.
- Georreferenciación empleando un Plano Topográfico Local LTM-PTL: **Superficialmente:** Por cada 100 m^2 hay 0,0005 m^2 de error. **Linealmente:** Por **c**ada 1000 m, el error es de 0,00009 m.
- Georeferenciación por medio de cálculos matemáticos de la Geodesia Geométrica Tradicional GG: **Superficialmente:** Por cada 100 m^2, el error corresponde a 0,0045 m^2. **Linealmente:** Por cada 1000 m, el error es de 0,0183 m.

Estos errores corresponden únicamente al proceso de georeferenciación, es decir que, no son atribuibles a errores instrumentales o errores del operador.

CONCLUSIONES

En nuestro medio para la representación cartográfica se aplica indiscutiblemente la proyección UTM Universal Trasversal de Mercator, sin embargo este sistema de proyección al tratarse de un sistema para escalas medianas (de 1:10.000 a 1:250.000), tiene limitaciones de aplicación que se representan en el catastro urbano proporcionando información técnica incompatible entre realidad-proyección, evidencia que surge a través del trabajo de campo y gabinete efectuado para la georeferenciación por Factor Combinado FC, Plano Topográfico Local LTM-PTL y Geodesia Geométrica Tradicional GG de la coordenadas UTM.

En consecuencia, el sistema de coordenadas UTM, para la representación física de (planos topográficos) catastro urbano del municipio de La Paz, no es adecuado debido al tipo de información que no refleja la realidad-proyección como se muestra a continuación:

- **Superficialmente**: por cada 100 m^2 se tiene una diferencia de 0,19989 m^2.
- **Linealmente:** por cada 1000 m (1 km) existe una diferencia de 0,9978 m.

BIBLIOGRAFÍA

Asín, F. M., 1983. Geodesia y cartografía matemática. Madrid – España,

C.N.R., Ministerio de Agricultura, 2014, Manual de procedimientos geodésicos y topográficos. Santiago de Chile,

Caviedes, P. G., 2000, Geodesia teórica y práctica, Universidad de Santiago de Chile,

Esri, C. ©. (1995-2010). Biblioteca de ayuda de ArcGIS, acerca de las proyecciones cartográficas, California, USA,

Leica, G., 2000, Manual de empleo TC(R), Copyright Leica, Heerbrugg – Suiza,

Vera, M. A., 2012, Las proyecciones cartográficas y la topografía, La Paz – Bolivia,

MBN., 2010, Manual de normas tecnicas de mensura, Segunda edición, Chile.

[3] El sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (Universal Transverse Mercator, UTM) se relaciona con la proyección cartográfica transversa de Mercator, elaborada desde la proyección de Mercator normal, secante a un meridiano en vez de hacerla tangente al Ecuador, las magnitudes en este sistema UTM se expresan en metros sobre el nivel del mar, (base de la proyección del elipsoide de referencia), a diferencia del sistema de coordenadas geográficas, expresadas en longitud y latitud.

(*), MSc. Ciencias Geomáticas, Licenciado en Topografía y Geodesia,
Director carrera de Topografía y Geodesia,
Facultad de Tecnología – UMSA.