



SISTEMAS DE COORDENADAS PROYECTADOS LOCALES

Ingeniero

Jairo Eduardo Vargas¹
geoprocesos.colombia@gmail.com

Recibido: 28 de Febrero 2012

Aprobado: 15 de Marzo 2012

Resumen

En este documento se presenta la definición de los sistemas de coordenadas locales en los centros urbanos y los problemas en la aplicación dentro de las etapas de construcción de una obra de ingeniería. Lo que se busca es crear el espacio para la discusión acerca de si todos de los parámetros de los actuales sistemas proyectados locales se deben mantener, o por el contrario, se puede llegar a una redefinición buscando eliminar diferencias en las magnitudes definidas en la cartografía y las obtenidas en terreno, dado que las precisión de los equipos y técnicas de medida son cada vez más avanzadas.

Palabras claves: Sistemas de Coordenadas, proyecciones, cartografía.

Abstract

This paper presents the definition of local coordinate systems in urban centers and the implementation problems in the construction stages of an engineering project. The goal is to create space for discussion on whether all the parameters of existing local systems should be designed to maintain; or could be redefined to eliminate differences between the measures defined in mapping and obtained in the field; regarding the huge improvements of details of equipment and measurement techniques.

Keywords: Coordinate systems, local projections, mapping.

1. Introducción

Actualmente, en Colombia se manejan dos Sistemas de Coordenadas de Referencia (CRS) proyectados para el manejo de la información cartográfica del país, por un lado está el sistema de Coordenadas Gauss-Kruger conocido anteriormente como Sistema de Coordenadas Planas de Gauss. Este es el sistema nacional, definido en sus inicios sobre el Datum Bogotá (Elipsoide Internacional de Hayford 1924) que utiliza una proyección Transversa de Mercator con 5 zonas, conocidas en Colombia como orígenes, y en el cual se establecieron valores de falso Norte de 1'000.000 m y Falso Este

de 1'000.000 m; el factor de escala utilizado es= 1 por estar proyectado sobre la superficie del elipsoide, es decir tienen una $h=0$ (se asume la tangencia del elipsoide y el terreno para ese punto).

Para las zonas urbanas de los municipios se dispone de sistemas proyectados locales definidos para cada centro poblado; estos sistemas utilizan una proyección plana local o acimutal que se define en un origen local que puede ser un vértice de la Antigua Red Nacional ARENA, o en algunos casos especiales como en la ciudad de Bogotá, se uti-

¹Ingeniero topográfico. Docente Escuela de Ingenieros Militares ESING

lizó una intersección virtual localizada sobre los 4° 41' de latitud Norte y 74° 09' longitud Oeste, determinados sobre el Elipsoide Internacional de Hayford. Actualmente, con la adopción del Marco Geocéntrico de Referencia Nacional MAGNA, estos valores fueron actualizados al elipsoide GRS80 (Geodetic Reference System 1980, Moritz et al. 1979), sin embargo, los valores definidos para la adopción de los parámetros de Falso Norte y Falso Este de cada proyección, fueron definidos convencionalmente y en muchos casos, estos valores son derivados de las coordenadas del vértice o el punto de origen en el sistema Gauss-Kruger.

Por otra parte, existe desconocimiento de los valores de definición del parámetro de escala de las proyecciones locales, en muchos casos se ha presentado una desinformación por parte de algunas entidades en la utilización del factor de escala como parámetro fundamental del sistema de Coordenadas, pues este valor relaciona las medidas en campo campo utilizadas en geomensura, con las medidas en los planos.

2. Sistemas de coordenadas de referencia

En concordancia con la normativa internacional, existe un estándar para la definición y conceptualización de los sistemas de Coordenadas de Referencia CRS, la ISO 19111 Referencia Espacial por Coordenadas, en Colombia el Comité Técnico de Normalización CTN 028 del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, realizó las discusiones sobre la terminología y disposiciones locales para la publicación del estándar Colombiano, de este estándar se puede resumir la clasificación de los sistemas de coordenadas como punto de partida para una clara identificación:

Sistema	Descripción
Geográfico 3D	Es un sistema 3D con ejes de Latitud Longitud y altura elipsoidal
Geográfico 2D	Es un sistema 2D con ejes de Latitud Longitud
Proyectado	Es un sistema de georeferenciación por coordenadas en un sistema 2D definidos por Norte y Este
Vertical	Es un Sistema 1D con un eje llamado Altura ortométrica, Elevación o depresión, se mide en referencia al campo de gravedad local(n.m.mar)
Compuesto	Un sistema de Coordenadas geográfico 2D combinado con uno Vertical 1D pero que actúan independientemente
Ingeniería	Un sistema de referencia en 1D, 2D o 3D que no está basado en los geográficos ni en verticales, sistemas locales o grillas

2.1. Sistemas de Coordenadas Proyectados Locales

Un sistema de Coordenadas proyectado está definido por dos componentes: [1] la parte geográfica que guarda relación con el elipsoide y Datum. [2] La parte proyectada o sistema de proyección, utilizada con los valores adoptados en el origen (figura 1):

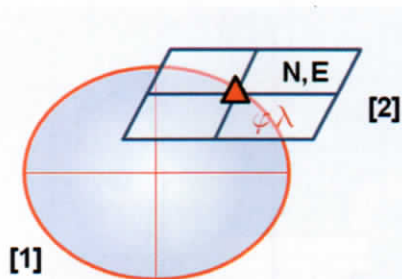


Figura 1. Sistemas de coordenadas

Técnicamente todo sistema proyectado local debe tener los siguientes elementos:

- Nombre o código: codificación respecto a un estándar o identificación dentro de un esquema (ISO 19111) o la OGP/EPSG.
- Datum: (elipsoide asociado) permite seleccionar los parámetros y el tipo de transformación en caso de ser requerida.
- Coordenadas Geodésicas en el Origen: son las coordenadas del punto de origen en el Datum adoptado, expresadas en latitud y longitud.
- Proyección: tipo de proyección utilizada (cilíndrica TM, UTM) o plana acimutal; cada proyección tiene una o varias zonas, en las proyecciones locales se define una zona simple.
- Falso norte y falso este: son los valores definidos de forma convencional y que se establecen como las coordenadas de inicio en el origen.
- Factor de escala: representa la altura a la cual se define el plano de proyección, este factor depende de la elevación media del área de trabajo.
- Unidades: (m) Para los países que adoptan el sistema Internacional de Unidades.

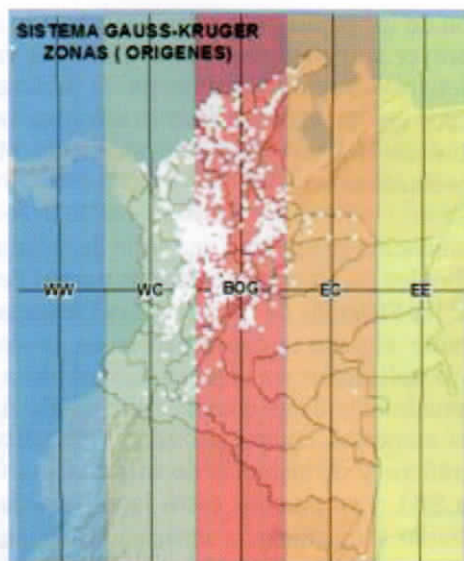


Figura 2. Puntos de cabeceras municipales

En la Figura 2 se pueden ver los puntos que corresponden a las cabeceras municipales o centros poblados de los municipios, y sobre ellos las 5 zonas de la proyección gauss-Kruger en Colombia.

3. Metodología

Los valores de origen en coordenadas geodésicas se adoptaron por la materialización de un punto de la Antigua Red Nacional ARENA, posición que más tarde fue actualizada a MAGNA para buscar que esta posición fuera compatible con el sistema de referencia del GPS el WGS84. Hoy en día, la posición del origen está definida por la posición referida en MAGNA; pero no toda la cartografía de los municipios está actualizada en MAGNA, con lo cual, se debe realizar una transformación entre los dos sistemas (Datum Bogotá a MAGNA).

Con la definición de los parámetros oficiales de transformación de Datum entre Bogotá y MAGNA-SIRGAS por parte del IGAC en el 2004, muchas empresas y compañías nacionales no han asimilado el cambio conceptual que ello implica y en muchos casos se presenta confusión en la uti-

lización de los parámetros y las zonas. Cada zona de la proyección puede estar atravesada por varias regiones, cada región tiene un set de parámetros diferentes que pueden ser siete (transformación de similitud de Helmert) o diez (modelo de Molodensky-Badekas).

A continuación se realizan una serie de aclaraciones sobre los parámetros necesarios para la definición de los Sistemas de Coordenadas Proyectados, abordando algunos inconvenientes en la definición y/o aplicación en ingeniería, debido a que conceptualmente estos elementos han sido dados por las empresas comercializadoras de software cartográficos y de sistemas de Información Geográfica SIG, y en muchos casos la universidad ha contribuido a masificar la utilización de muchas aplicaciones, desconociendo el sentido académico y dejando la parte conceptual a un lado.

4. Fundamentación teórica

4.1 Origen Geográfico y Datum

En este aspecto se presenta una imagen que resume varios de los inconvenientes en la operación entre los sistemas de coordenadas, hay que identificar dos aspectos fundamentales; por una parte, se tiene la operación necesaria para vincular las posiciones referidas en la cartografía en datum Bogotá y su paso al sistema MAGNA-SIRGAS.

Mientras las regiones en tonalidades representan los parámetros necesarios para la transformación de Datum entre Bogotá y MAGNA-SIRGAS (Figura 3) por región, la zona enmarcada representa la zona de influencia del origen Bogotá en Datum MAGNA ($4^{\circ} 34' 46,3215''N$ y $74^{\circ} 04' 39,0285''W$).

Para este caso en particular, la zona del origen Bogotá atraviesa las 8 regiones de transformación (consultar la guía de parámetros oficiales de transformación del IGAC) al generar el sistema de proyección en un software o al hacer una conversión de coordenadas, se tiene que especificar muy bien el método y los parámetros de transformación por cada región, es decir que no sólo basta saber en qué origen se traba-

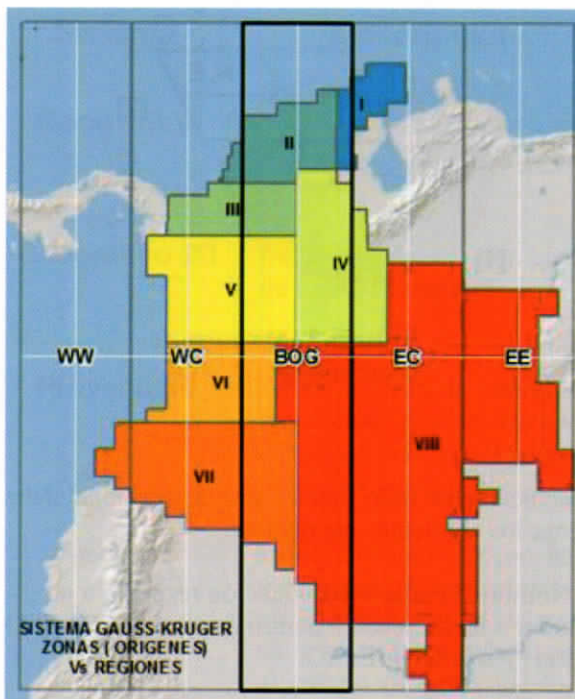


Figura 3 Conversión de coordenadas

ja, también es importante saber en qué región y qué método se van a utilizar en la transformación.

A manera de aclaración se establece la siguiente grafica que ayuda a comprender la situación:

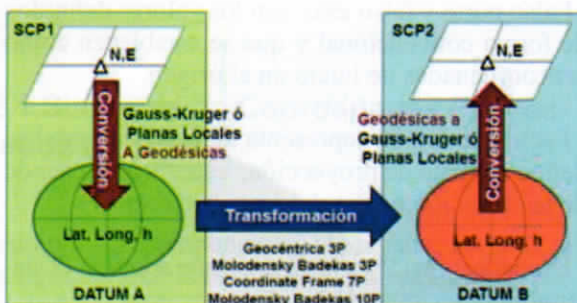


Figura 4 Sistema de DATUM

4.2. Falso Este y Falso Norte

Los valores de origen geodésico fueron establecidos en un punto materializado en la mayoría de los casos, su valor depende del Datum definido; actualmente el valor oficial es el determinado sobre el Sistema MAGNA-SIRGAS (GRS80). Mientras esta posición es universal (inequívoca) al estar sobre un sistema geocéntrico, los valores de Falso Norte y Falso Este fueron definidos por convención, en algunos casos, con los mismos valores obtenidos en la proyección Gauss-Kruger utilizada nacionalmente (Tabla 1)

Componentes de Falso Norte y Falso Este en los sistemas Gauss-Kruger y Planas Locales (m)				
Municipio	Norte plana	Este plana	Norte gauss	Este gauss
<i>Chiquin/rá</i>	1112727,041	1028132,111	1112727,041	1028132,111
<i>Duitama</i>	1135726,110	1116131,053	1135726,110	1116131,053
<i>Paipa</i>	1131053,039	1106371,135	1131053,039	1106371,135
<i>Pto Boyacá</i>	1152018,636	945717,922	1152018,636	945717,922
<i>Sogamoso</i>	1123647,033	1127807,512	1123647,033	1127807,512
<i>Tunja</i>	1103772,028	1080514,910	1103775,281	1080398,116

Tabla 1

Esta definición inicial no deja espacio para la diferenciación, lo que en algunos puede generar confusiones al no saber en qué sistema se está trabajando, un punto podría estar en el sistema nacional Gauss-Kruger o sobre un sistema local, ya que los valores de Falso Norte y Falso Este son iguales y espacialmente están muy cerca el uno del otro (Tabla 2)

Para este caso, se realizó la conversión de las coordenadas de un punto localizado en las inmediaciones de Boyacá y Santander, calculado sobre el Sistema Local del Municipio de Puente Nacional (Santander). El punto fue calculado en los sistemas proyectados Gauss-Kruger y Plano Locales del municipio, en la Tabla II se compilan los resultados:

Lo que busca es comprobar que si se omite la descripción de los parámetros del sistema de coordenadas, lo cual es muy común en los programas CAD (Diseño asistidos por Computador, por sus siglas en inglés), y se grafican las coordenadas de un mismo punto en los dos sistemas, se puede ver que la diferencia espacial es muy pequeña para determinar si se está trabajando en dos sistemas de coordenadas, o definir cuál sistema es el que se está utilizando:

Comparación espacial en Sistemas Proyectados (m)				
Vértice	Norte	Este	Sistema	Origen
<i>C1-BOY-268-1</i>	1130859,792	1059454,078	<i>Gauss Kruger</i>	<i>Bogotá</i>
	1130846,485	1059449,188	<i>plano Local</i>	<i>Puente Nacional</i>
<i>Diferencia (m)</i>	13,307	4,890		

Tabla 2

Este es uno de los principales inconvenientes a la hora de trabajar con productos geográficos, en muchos proyectos se dispone de planos en CAD y registros de coordenadas de levantamientos o puntos determinados en una fase inicial del proyecto, muchas veces no son las mismas compañías las que desarrollan el proyecto en su totalidad, lo que se puede prestar para interpretaciones erróneas en los puntos de control o en los planos de construcción pues no se definen o se etiquetan los productos geográficos adecuadamente. Retomando la norma NTC 4611, Metadatos Geográficos, está muy orientada a productos geográficos en especial formatos y productos SIG; pero los reportes, planos en CAD y registros de coordenadas de muchos proyectos no cumplen con esta normativa. En conclusión, en muchos casos se mezclan coordenadas Planas Gauss-Kruger y coordenadas Planas Locales en un mismo proyecto.

El problema puede tener diferentes grados de complejidad; si el proyecto está en la fase inicial, o es una prefactibilidad de un proyecto vial, un estudio general en un bloque de exploración o una obra de infraestructura, el problema puede controlarse por la escala de la cartografía, pero si el proyecto llega a una fase constructiva, ya en la obra civil los problemas se pueden incrementar exponencialmente. Un alineamiento mal definido, un corredor que se sobrepone sobre un predio o un puente que no coincide en sus cotas, son problemas comunes en ingeniería, que en la mayoría de casos provienen de una mala interpretación de un sistema y la falta de definición del producto geográfico. Esta situación se puede atenuar si los valores de los sistemas de coordenadas nacionales y locales fueran completamente diferentes en sus valores planos; esta diferencia numérica haría pensar a los proyectistas que se está trabajando con dos sistemas diferentes.

Una propuesta que podría ayudar a minimizar estas situaciones es la redefinir los orígenes planos de los sistemas proyectados locales, utilizando en el parámetro de Falso Norte y Falso Este los valores definidos por el DANE para la identificación de los Municipios, estos valores al ser únicos e irrepetibles pueden ayudar a identificar un espacio de coordenadas, tenga o no información de metadatos o descriptores de registro de información. Con sólo saber los valores de coordenadas en el espacio se podría concluir a qué región o zona pertenecen.

Código DANE	Departamento	Municipio	Norte plana	Este plana	área km ²
5887	Antioquia	Yarumal	5887	5887	2,369
11001	Bogotá D.C	Bogotá D.C	110010	110010	380,359
15176	Boyacá	Chiquinquirá	15176	15176	4,987
15516	Boyacá	Paipa	15516	15516	2,994
15759	Boyacá	Sogamoso	15759	15759	21,585
15001	Boyacá	Tunja	150010	150010	19,077
17446	Caldas	Marulanda	17446	17446	0,173
25099	Cundinamarca	Bojacá	25099	25099	1,219
25126	Cundinamarca	Cajicá	25126	25126	3,634
25175	Cundinamarca	Chía	25175	25175	12,338
25183	Cundinamarca	Chocontá	25183	25183	1,025
25214	Cundinamarca	Cota	25214	25214	1,575
25269	Cundinamarca	Facatativá	25269	25269	10,183
25288	Cundinamarca	Fúquene	25288	25288	0,172
25322	Cundinamarca	Guasca	25322	25322	0,659
25377	Cundinamarca	La calera	25377	25377	0,911
25473	Cundinamarca	Mosquera	25473	25473	5,246
25754	Cundinamarca	Soacha	25754	25754	22,019
25843	Cundinamarca	Ubaté	25843	25843	2,311
25898	Cundinamarca	Zipacon	25898	25898	0,19
25899	Cundinamarca	Zipaquirá	25899	25899	11,468
47745	Magdalena	Sitionuevo	47745	47745	0,604
68867	Santander	Vetas	68867	68867	0,149

Tabla 3: Orígenes Cartesianos Locales: Falso Norte y Falso Este basados en los códigos DANE.

Más que una iniciativa, es una propuesta para manejo de información espacial utilizando la metodología y codificación adoptada por el DANE en su Sistema de Información Geográfico, y que actualmente es un estándar nacional.

C. Determinación del Factor de Escala FE

El factor de escala de la proyección está definido por la elevación media del centro poblado sobre el cual se define el sistema Proyectado local, mientras más alto sea el centro o cabecera del municipio, mayor será el valor del factor de escala. Para definir el factor de escala de una zona se utiliza la expresión (1):

$$FE = \frac{Rm + Hm}{Rm} \quad (1)$$

Donde:

Hm: Altura media del centro poblado en m.

Rm: es el valor del Radio medio (radio de curvatura) o simplemente el semieje menor del elipsoide GRS80 a: 6'378.137m

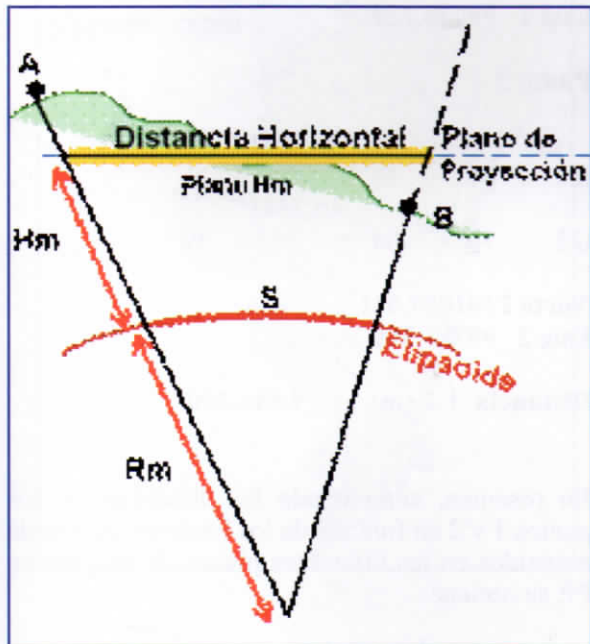


Figura 5. Factor de Escala FE

Normalmente, en Colombia los valores de factor de escala para las proyecciones Planas Locales están entre 1,00000 y 1,00052, si bien no parece una cifra significativa, este cambio en los decimales representa un amplio rango de elevación, por ejemplo, esta diferencia de 0,0005 representa una diferencia de 3.350 m aproximadamente.

Otro inconveniente en los sistemas de coordenadas es la mala utilización del factor de escala o en algunos casos la omisión en la definición o en la aplicación de las operaciones de conversión (geodésicas a proyectadas o viceversa).

Para dar una idea general del error que se puede cometer, se diseñó el siguiente ejemplo para ilustrar la magnitud del problema y las repercusiones que esto generaría en un proyecto, como siempre el valor del error puede o no ser manejable en términos de la etapa del proyecto o la resolución espacial del producto a trabajar.

En este caso se dispone de dos puntos calculados sobre la proyección Plana Cartesiana Local de Bogotá definida sobre el datum MAGNA-SIRGAS (GRS80).

Parámetros del Origen

f0	04° 40'	49,7500"	N
l0	74° 08'	47,7300"	W
Norte 0	109320,965		
Este 0	92334,879		

CÁLCULO 1:

Proyección en un plano al nivel medio del mar
Donde la altura = 0

Plano de Proyección	0,000m
Factor de escala (1)	1,000000

Punto 1
 f1 04° 35' 48,5213"
 N
 47,5824"
 l1 74° 04' W

Norte 1100068,435

Este 1 99737,015

Punto 2

f2 04° 36' 48,5241"
 N
 46,2541"
 l2 74° 04' W

Norte 2101911,553

Este 2 99777,784

Distancia 1-2 (m) 1.843,569

CÁLCULO 2:

Proyección a 2.550 m (plano de proyección de Bogotá)

Plano de Proyección 2.550m
 Factor de escala (1) 1,000402471

Punto 1

f1 04° 35' 48,5213"
 N
 47,5824"
 l1 74° 04' W

Norte 1 100064,712

Este 1 99739,974

Punto 2

f2 04° 36' 48,5241"
 N
 46,2541"

l2 74° 04' W

Norte 2101908,571

Este 2 99780,760

Distancia 1-2 (m) 1.844,311

CÁLCULO 3:

Proyección en un plano medio con altura de 3.200 m

Plano de Proyección 3.200m
 Factor de escala (1) 1,000505062

Punto 1

f1 04° 35' 48,5213"
 N
 47,5824"
 l1 74° 04' W

Norte 1100063,762

Este 1 99740,729

Punto 2

f2 04° 36' 48,5241"
 N
 46,2541"
 l22 74° 04' W

Norte 2101907,811

Este 2 99781,519

Distancia 1-2 (m) 1.844,500

En resumen, comparando las distancias de los puntos 1 y 2 en función de los Factores de Escala obtenidos en los diferentes planos de proyección PP, se obtiene:

Plano de Proyección	Factor de escala	Distancia (m)	Diferencia (m)
0,000 1	,000000000	1.843,569	
2.550 1	,000402471	1.844,311	0,742
3.200 1	,000505062	1.844,500	0,931

Tabla 4. Comparación de distancias 1 y 2 en función FE

Como se observa en la Figura 6, en el caso de la ciudad de Bogotá, el plano de proyección definido para el mapa digital en su proyección plana local está localizado sobre los 2.550m, pero sólo un 30% del área de la ciudad (124 Km²) se encuentran bajo esta altura, lo que significa que en el 70% restante el factor de escala de la proyección no se ajusta muy bien a la realidad local. En la práctica, elevar el plano de proyección sería una solución técnica teniendo en cuenta que esto puede favorecer los trabajos topográficos y las mediciones en la cartografía serían más cercanas a las mediciones en terreno.

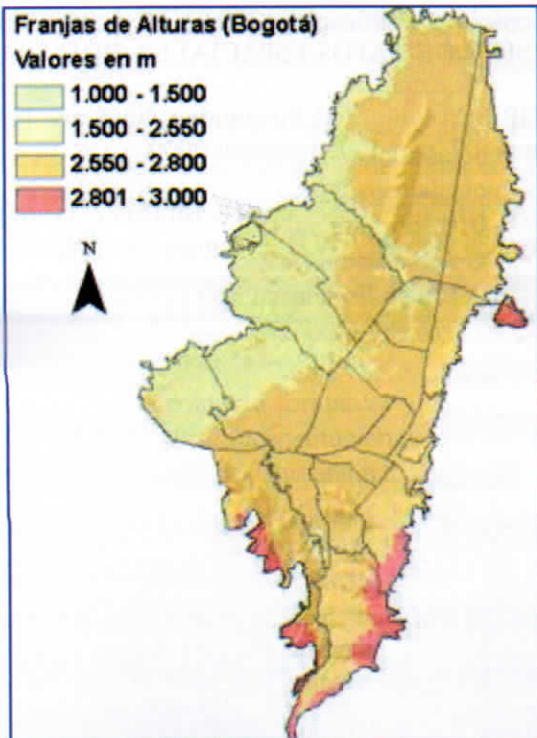


Figura 6 Elevación del plano de proyección

En el caso de Bogotá, donde el Plano de Proyección está fijado sobre los 2.550 m de altura, se observa que en zonas que superen el valor del plano de proyección pueden tener diferencias cercanas a los 0,10m por cada 100m de distancia.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Dado el alcance de este artículo, se pretende poner en contexto los errores en la aplicación de los sistemas de coordenadas en la práctica, sin embargo, es positivo pensar en que todos los sistemas de coordenadas son definiciones convencionales y no son absolutas en un sentido estricto. Vale la pena pensar en redefinir algunos parámetros de los sistemas locales pensando en estar acorde con los lineamientos de manejo de información geográfica y aprovechando las herramientas que tienen los programas informáticos utilizados en cartografía y sistemas de información geográfica. Algunos de los elementos que se pueden redefinir están relacionados con los parámetros de factores de escala en función de la altura de los planos de proyección y los valores de Falso Norte y Falso Este.

Una discusión válida queda planteada y se puede pensar en redefinir los factores de escala basados en los planos de proyección de algunos municipios, casos como el de Bogotá D.C, donde sólo el 30% del área de la ciudad está cerca del plano de proyección puede ser un ejemplo. La propuesta es elevar el plano de proyección sobre los 2.600 o 2.700 m en la ciudad de Bogotá D.C, para minimizar las diferencias por escalamiento entre las medidas del terreno y el valor en cartografía.

Otra idea es la de utilizar valores de Falso Este y Falso Norte basados en los códigos DANE, esto resultaría provechoso para el manejo espacial por coordenadas y supone una clara diferenciación entre el sistema Gauss-Kruger y los sistemas proyectados locales, los cuales, en muchos casos, tienen valores espacialmente cercanos y generan ambigüedades.

Otro aspecto a tratar es la definición de normativas para el manejo de información espacial en las diferentes etapas de un proyecto de

ingeniería, lo que permitiría minimizar errores de cálculos y rediseños en las etapas finales de una obra relacionadas con la construcción.

Finalmente, desde la academia se debe proponer una actualización conceptual a los profesionales de la ingeniería, para estar acorde con los avances tecnológicos alcanzados por los Sistemas de Información Geográfica y los adelantos en equipos e instrumentos de medición y nuevas tecnologías como el LIDAR, los Sistemas Satelitales de Navegación Global GNSS y el desarrollo y aplicación de Sistemas de Información Geográfica.)

Bibliografía

Datums and Map Projections, Illiffe and Lott, Whittles Publishing 2007.

H. MORITZ (1979) : Report of Special Study Group N° 539 of I.A.G., Fundamental Geodetic Constants, presented at XVII General Assembly og I.U.G.G., Canberra

International Association of Geodesy (1971) : Geodetic Reference System 1967. Publi. Spéc. n° 3 du Bulletin Géodésique, Paris.

IAG Special Study Group 5.39 (Moritz, 1979, sec.2).

ISO 19111:2007- Spatial referencing by coordina-

tes

ISO 19111-2:2009 Geographic information -- Spatial referencing by coordinates -- Part 2: Extension for parametric values

ISO 19111:2007 Geographic information -- Spatial referencing by coordinates

ISO/TS 19101-2:2008 Geographic information -- Reference model -- Part 2: Imagery

ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación, 2002 NTC 4611 - INFORMACION GEOGRAFICA. METADATO GEOGRAFICO.

ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación, 2003 NTC 5204 - PRECISION DE REDES GEODESICAS.

ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación, 2003 NTC 5205 - PRECISION DE DATOS ESPACIALES (PDE).

OGP Surveying and Positioning Guidance Note number 7, part 1 – November 2009.

W.A. HEISKANEN, and H. MORITZ (1967) : Physical Geodesy. W.H. Freeman, San Francisco

