

Poligonales punto a punto y los sistemas de referencia en Colombia

Wilson Ernesto Vargas Vargas

wevargasv@udistrital.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-3040-6661>

Elkin Darío Cañón Buitrago

edcanonb@udistrital.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-7899-5093>

Mario Arturo Rincón Villalba

mrinconv@udistrital.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-5746-5202>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Bogotá - Colombia

RESUMEN

En Colombia la proyección cartográfica basada en el sistema Transversa de Mercator, el cual consiste en un cilindro transversal como superficie de referencia tangencial a la esfera, priorizando ángulos y garantizando la conformidad esta manera, dicho sistema adoptó mediante resolución 068 de 2005 y posteriormente mediante la resolución 399 de 2011 del IGAC, los 6 orígenes Gauss con los que se contaba a la fecha. Sin embargo, en la actualidad, IGAC mediante resolución 471 de 2020 adoptó la nueva proyección cartográfica con origen Nacional conocido como CTM-12, el cual mantiene el mismo sistema de referencia, que es de tipo conforme, empleando el mismo cilindro transversal pero secante a la esfera, variando su escala en función de la longitud y el parámetro escalar.

La aplicación de metodologías para levantamientos topográficos en el campo de infraestructura vial hace de común empleo las poligonales punto a punto por su versatilidad y facilidad de materialización a lo largo de corredores viales, sin embargo, el uso de esta metodología hace que el control a la misma sea bastante riguroso con el fin de garantizar los errores en cierre tanto angulares como lineales.

En el presente artículo se pretende analizar las diferencias en el cálculo de poligonales punto a punto y de amarre calculadas en los tres sistemas de referencia que en este momento se manejan en Colombia para el desarrollo de trabajos de Infraestructura.

Palabras clave: poligonales; sistemas de referencia; punto a punto; precisión; origen nacional CTM-12.

Correspondencia: wevargasv@udistrital.edu.co

Artículo recibido 05 diciembre 2022 Aceptado para publicación: 05 enero 2023

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) .

Cómo citar: Vargas Vargas, W. E., Cañón Buitrago, E. D., & Rincón Villalba, M. A. (2023). Poligonales punto a punto y los sistemas de referencia en Colombia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 3106-3121. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4646

Point-to-Point polygonals and reference systems in Colombia

ABSTRACT

In Colombia, the cartographic projection based on the Transverse Mercator system, which consists of a transverse cylinder as a reference surface tangential to the sphere, prioritizing angles and guaranteeing conformity in this way, said system was adopted by resolution 068 of 2005 and later by means of the IGAC resolution 399 of 2011, the 6 Gaussian origins that were available to date. However, at present, the IGAC through resolution 471 of 2020 adopted the new National origin known as CTM-12, which maintains the same reference system, which is also of a conforming type that uses the same transverse cylinder but secant to the sphere, varying its scale depending on the length and the scalar parameter.

The application of methodologies for topographic surveys in the field of road infrastructure makes common use of point-to-point polygon due to its versatility and ease of materialization along road corridors, however, the use of this methodology makes control at the itself is quite rigorous in order to guarantee both angular and linear errors in closure.

This article aims to analyze the differences in the calculation of point-to-point polygonal and mooring calculated in the three reference systems that are currently used in Colombia for the development of Infrastructure works.

Keywords: *polygonal; reference systems; point to point; precision; national origin CTM12.*

INTRODUCCIÓN

Un sistema de referencia es empleado en geodesia para definir parámetros tales como orientación, ubicación y escala, sin embargo, por si solo representa únicamente un modelo conceptual, es por esta razón que se hace necesario la materialización de puntos en terreno con coordenadas que se encuentren referidas a dicho sistema, esto es lo que se conoce como un marco de referencia.

Para Colombia el marco de referencia es el ITRF (International Terrestrial Reference Frame), el cual cuenta con coordenadas geocéntricas y sus respectivas velocidades, las cuales se incluyen dado los movimientos tectónicos y algunas deformaciones en la superficie procedente de los mismos, afectando la posición de las estaciones materializadas en campo.

Ahora bien, gracias a estos fenómenos se hace necesario que las coordenadas sean trasladadas a una época de referencia debido a dichos procesos geodinámicos.

En el país, actualmente se manejan tres tipos de coordenadas (elipsoidales, planas de proyección y cartesianas tridimensionales), cada una de ellas empleadas según el tipo de proyecto a desarrollar. Para la ejecución de proyectos de infraestructura vial, el empleo de poligonales es de fundamental importancia ya que permiten controlar y conocer los errores finales y las precisiones obtenidas durante el levantamiento topográfico.

Uno de los métodos más empleados en el levantamiento es mediante poligonales punto a punto, por la forma y disposición a lo largo de los proyectos lineales, sin embargo, requiere un control bastante robusto, con el fin de garantizar la llegada a los puntos de cierre con alta precisión y poco error en distancia.

El empleo de los diferentes tipos de coordenadas depende principalmente de la escala del proyecto y la finalidad de este, es por tal motivo que es importante entender las precisiones y aquellas incertidumbres que se pueden generar al emplear un tipo de coordenadas no adecuadas para un proyecto en particular.

MARCO DE REFERENCIA

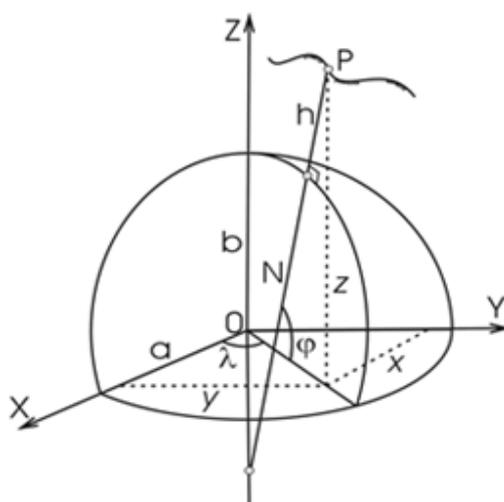
En Colombia se utilizan básicamente tres tipos de coordenadas: las cartesianas tridimensionales, las curvilíneas o elipsoidales y las planas de proyección, las cuales pueden ser Transversa de Mercator o cartesianas bidimensionales. Si bien, cada uno de estos tipos tiene sus ventajas y desventajas, en esencia, son tres formas diferentes, pero equivalentes, de establecer la ubicación geográfica de un punto. En las siguientes

secciones se presentan las definiciones correspondientes y la formulación que permite la conversión entre los diferentes tipos de coordenadas (Codazzi, 2004)

Coordenadas cartesianas tridimensionales

Corresponden con la extensión, en metros, de las líneas paralelas a los tres ejes coordenados $[X, Y, Z]$ que se extienden entre el punto y su intersección con cada eje (Figura 4). La ubicación geográfica del punto se expresa unívocamente con la tripleta $[X_p, Y_p, Z_p]$. Si el origen del sistema cartesiano $[X=0, Y=0, Z=0]$ coincide con el centro de masas terrestre, éstas se definen como coordenadas cartesianas geocéntricas.

Figura 1: *Coordenadas Cartesianas Tridimensionales (Codazzi, 2004)*



La principal ventaja de este tipo de coordenadas es que son independientes del elipsoide y permiten la referenciación de puntos u objetos alejados de la superficie terrestre, como por ejemplo los satélites. De allí, estas coordenadas se obtienen primariamente en el posicionamiento basado en técnicas espaciales (sistemas GNSS).

Coordenadas elipsoidales

También conocidas como geográficas o curvilíneas, corresponden con las cantidades latitud y longitud, las cuales se expresan en el sistema sexagesimal de grados, minutos y segundos. La latitud (ϕ) se define como el ángulo entre el plano ecuatorial y la normal (N) al elipsoide que pasa por el punto de interés (Figura 4); es positiva hacia el norte de la línea ecuatorial y negativa hacia el sur. Su rango está dado por $-90^\circ \leq \phi \leq +90^\circ$ o $90^\circ S \leq \phi \leq 90^\circ N$.

La longitud (λ) es el ángulo, medido sobre el plano ecuatorial, entre el meridiano de referencia (normalmente Greenwich) y el meridiano del punto de interés (Figura 4); es

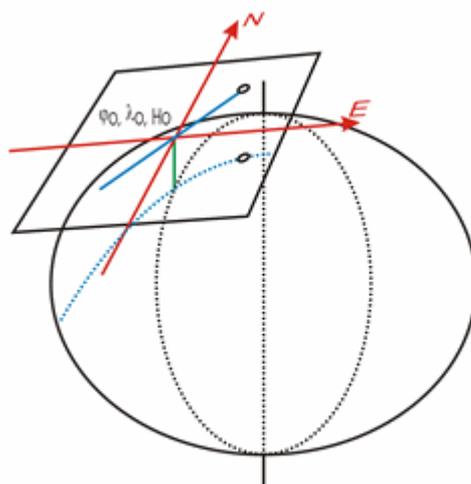
positiva al este de Greenwich y negativa hacia el oeste. Su rango se define mediante $-180^\circ \leq \lambda \leq +180^\circ$ o $180^\circ W \leq \lambda \leq 180^\circ E$, lo que también equivale a $0^\circ \leq \lambda \leq 360^\circ$.

Los valores de la latitud y la longitud están en función del tamaño, forma y ubicación del elipsoide de referencia seleccionado, es decir, que dependen completamente del datum geodésico; pero una vez ésta se ha definido, sus valores son unívocos. La tercera dimensión en este tipo de coordenadas está dada por la altura elipsoidal, la cual equivale a la distancia, medida a lo largo de la normal elipsoidal que pasa por el punto de interés, entre la superficie del elipsoide y dicho punto (Figura 1); ésta se expresa en metros.

Coordenadas planas

A pesar que las coordenadas de las redes nacionales (o marcos) de referencia son representadas en términos de sistemas cartesianos tridimensionales $[X, Y, Z]$ o sistemas elipsoidales $[\phi, \lambda, h]$, dichos valores resultan inconvenientes para el desarrollo de aplicaciones prácticas, ya que, por ejemplo, la extensión de un segundo de arco en longitud (ϕ), y en menor medida la de un segundo en latitud (λ), sobre la superficie terrestre varía de una latitud a otra o, en el caso de las coordenadas tridimensionales, sus diferencias en áreas pequeñas de trabajo se reflejan en las últimas cifras significativas de las cantidades. En este sentido, se acostumbra la representación de la superficie terrestre sobre un plano, mediante un sistema bidimensional de coordenadas rectangulares (ver Figura 2.), llamado Sistema de Proyección Cartográfica, el cual muestra la correspondencia biunívoca entre los puntos de la superficie terrestre (ϕ, λ) y sus equivalentes sobre un plano de proyección (N, E).

Figura 2: Coordenadas planas (Codazzi, 2004)



El tipo de proyección utilizada obedece al objetivo de la cartografía. Las proyecciones cartográficas son herramientas que permiten la representación de la esfericidad terrestre en un plano, por medio de una conversión, más exactamente la representación de coordenadas elipsoidales (ϕ , λ) en el plano (N, E). De acuerdo con el tipo de proyección: equivalente, conforme y equidistante se prioriza un determinado aspecto en la representación sea área, ángulos o distancias, respectivamente. Sin embargo, es importante reiterar que no existe una proyección que pueda priorizar los 3 aspectos simultáneamente y que sea libre de distorsiones.

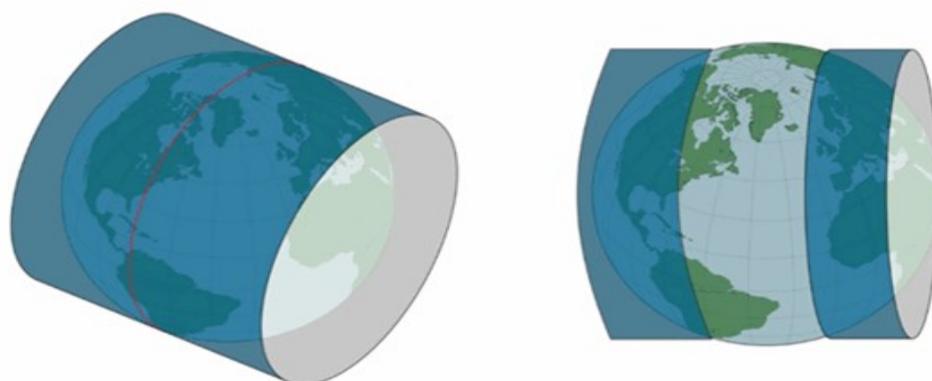
Proyección cartográfica Transversa de Mercator TM y su adaptación Gauss Krüger

La proyección cartográfica TM (ver Figura 3) es de tipo conforme, que prioriza ángulos garantizando así que un ángulo formado entre dos líneas sobre la superficie terrestre se conserve luego de aplicarse la proyección. Utiliza como superficie de referencia el área de un cilindro transverso, secante a la esfera, la escala de representación varía en función de la longitud y el parámetro de escala.

La adaptación Gauss-Krüger (ver Figura 3) es también una representación conforme usando un cilindro transverso como superficie de referencia, tangente al meridiano central. Donde la escala de representación se mantiene 1:1 sobre este meridiano central y al alejarse del mismo se producen distorsiones. Para controlar estas distorsiones, pueden adoptarse husos centrados en un meridiano de referencia, de este modo un país puede contar con varios usos de acuerdo con la extensión de su territorio. Los meridianos y paralelos se interceptan perpendicularmente, pero no son líneas rectas, sino curvas complejas, excepto el meridiano central (de tangencia) y el paralelo de referencia.

Figura 3: Representación de proyección Gauus-Kruger (izquierda) y UTM (derechas)

(Salvini & Bolivar, 2018)



Sin embargo, con el avance de las tecnologías de posicionamiento y la necesidad de centralizar toda la información del país para que sea disponible al mayor número de usuarios posible y se haga una eficiente gestión política de la misma, la adopción de varios husos en el territorio hace esta tarea aún más compleja. En efecto, con varios orígenes se presentan: problemas de ambigüedad en los datos, falta de continuidad en planchas cartográficas y la dificultad de tener un sistema de representación unificado que incluya información estadística, socio-económica, medioambiental, entre otras, a la cartografía base del país.

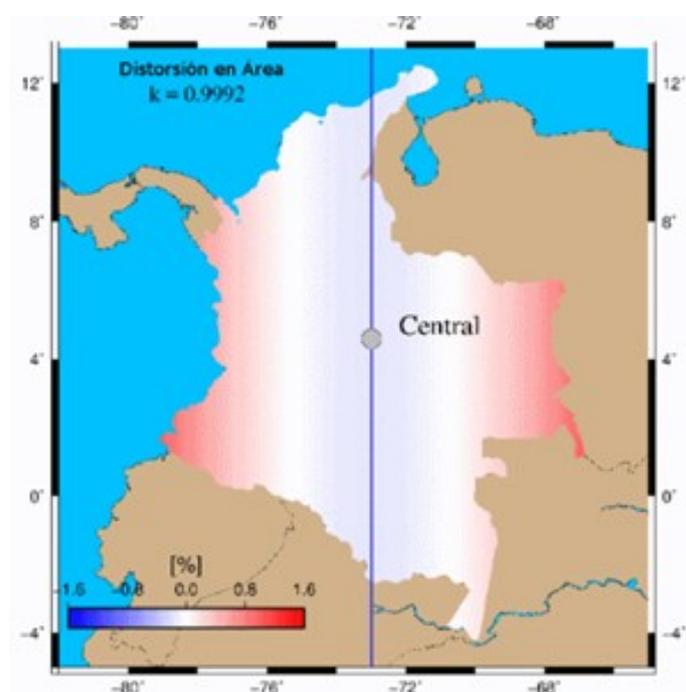
La tendencia mundial, para solucionar estos problemas, en la última década no sólo es la adopción de un sistema de proyección único a nivel país (Uganda, Tanzania, etc.) sino incluso a nivel de todos los países de la Unión Europea (INSPIRE, 2014). Los cuales priorizan en el tipo de proyección el área, ángulos o distancias, de acuerdo con sus necesidades. Todos estos países convergen que la adopción de un sistema de proyección único tiene un carácter social, económico y científico que soluciona la necesidad de una infraestructura de datos espaciales integrada, actualizada y exacta que permita analizar los datos de diferentes fuentes en el marco de un desarrollo sostenible en cada territorio.

Sistema de proyección único para Colombia

En Colombia la proyección cartográfica oficial, se basa en una proyección Transversa de Mercator TM, usando un cilindro transverso como superficie de referencia y secante a la esfera. Este sistema prioriza ángulos (conforme), garantizando así que un ángulo formado entre dos líneas sobre la superficie terrestre se conserve luego de aplicarse la proyección. Los demás parámetros fueron seleccionados (Salvini & Bolivar, 2018), cuidadosamente de modo que, se cubriese todo el territorio continental, se evite el uso de coordenadas negativas y con un factor de escala $k=0,9992$ se optimizó que las distorsiones en la representación de área fuesen mínimas (Ver Figura 4).

Tabla 1: Parámetros del Sistema Único

Parámetro	Valor
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Origen: Latitud	4° N
Origen: Longitud	73° W
Falso Este	5.000.000
Falso Norte	2.000.000
Unidades	Metros
Factor de Escala	0.9992

Figura 4: Distorsiones en área calculadas para el sistema de proyección único de Colombia

(Salvini & Bolivar, 2018)

Poligonales Punto a Punto

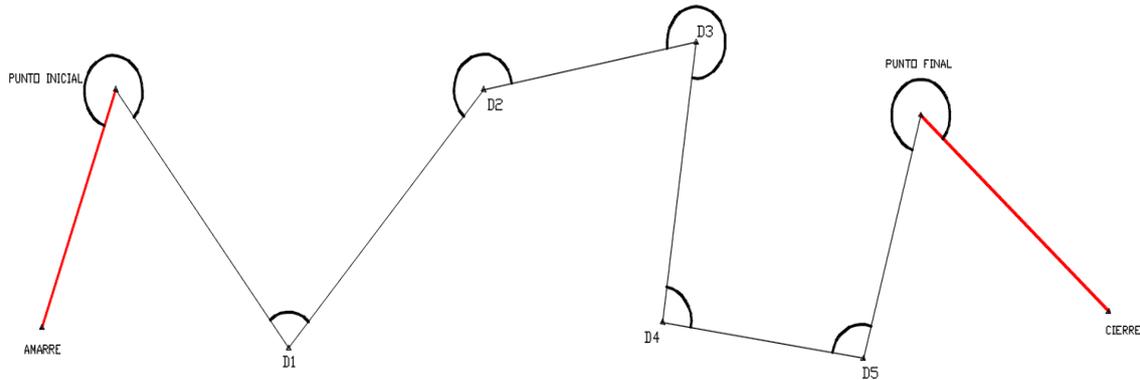
La poligonal punto a punto es un polígono geoméricamente abierto, ya que se inicia en un punto materializado en campo y que tiene coordenadas conocidas y se termina en otro punto distinto también de coordenadas conocidas. Esta poligonal se puede corregir y ajustar ya que es analíticamente es cerrada

Para este método se debe trabajar con coordenadas reales, además se recomienda que los puntos de apoyo sean de la misma red GPS, para que así se puedan alcanzar las precisiones requeridas (Vargas Vargas, Gonzalez Vergara, & Rincon Villalba, 2012)

Para el desarrollo de proyectos infraestructura vial donde se avanza por un corredor específico y se hace muy difícil regresar al punto inicial, regularmente se realizan

poligonales punto a punto con cuatro puntos de apoyo así; el punto inicial, punto de amarre, punto final y punto de cierre, tal como se presenta en la figura 5, donde se avanza por un corredor específico y se hace muy difícil regresar al punto inicial para realizar una poligonal cerrada (Vargas Vargas, Gonzalez Vergara, & Rincon Villalba, 2012)

Figura 5. Poligonal Punto a Punto con cuatro puntos de apoyo



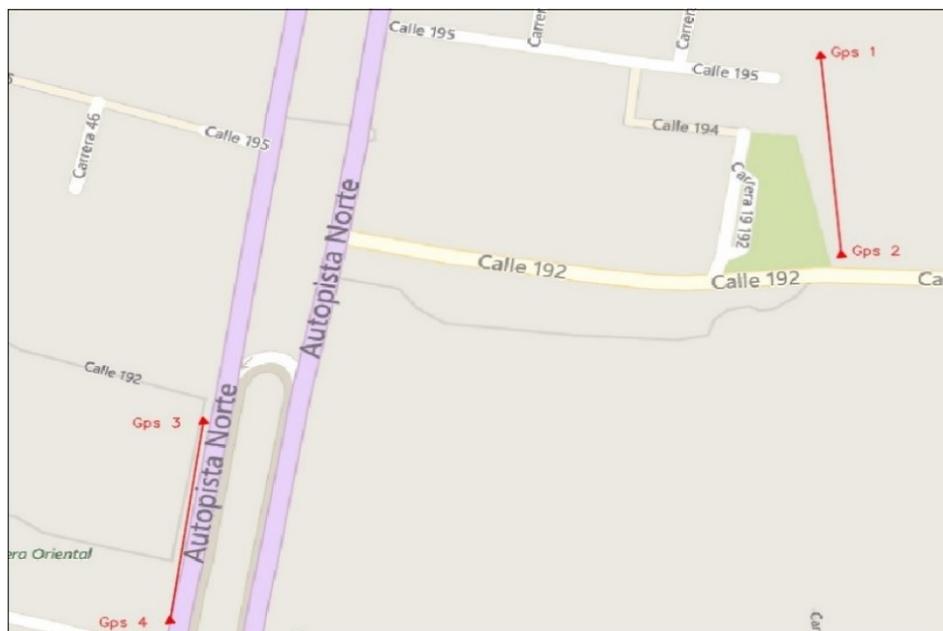
(Vargas Vargas, Gonzalez Vergara, & Rincon Villalba, 2012)

Para este tipo de poligonales según la norma NTC-6271 (Técnicas, 2018) en Trazado, Rehabilitación y Pavimentos de Carreteras, se especifica un error permitido en ángulo de 5 segundos por el número de vértices y de 1:10000 en distancia

METODOLOGÍA

Para tener los cuatro puntos base para el desarrollo del trabajo se materializaron 4 puntos GPS como lo indica la siguiente Figura

Figura 6: Localización de los puntos de control.



Fuente: Elaboración con base en Google Maps

Para el proyecto se realizó el posicionamiento por el método de estático diferencial, con lo cual se pueden obtener precisiones altas sobre la superficie terrestre, con esta metodología se calculan posiciones de los puntos materializados, con respecto a otro u otros puntos cuyas coordenadas rectangulares (X, Y, Z) son conocidas. Localizando los receptores GPS en cada uno de estos puntos que reciben las señales simultáneamente, permitiendo el registro de datos para que posteriormente se ejecute el cálculo por comparación de las pseudodistancias medidas y estimar así las coordenadas reales por observación.

Figura 7: *Posicionamiento de Puntos GPS*



La totalidad de los vértices fueron posicionados con equipos doble frecuencia L1+L2, teniendo en cuenta la longitud de éstos a las estaciones base para definir los tiempos mínimos de rastreo y establecer de esta forma las componentes rectangulares de los vectores base.

Las Coordenadas de los cuatro puntos en época 2018.0, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2: Coordenadas geocéntricas y geográficas de los puntos GPS

PUNTO Nomenclatura	GEOCÉNTRICAS TRIDIMENSIONALES (3 decimales)			GEOGRÁFICAS (gg° mm' ss.sssss")		
	X	Y	Z	Latitud	Longitud	h_Elipsoidal
GPS 1	1748546.590	-6113597.769	527360.380	4°46'21.92361"N	74°02'20.29654"W	2574.197
GPS 2	1748569.266	-6113609.950	527150.342	4°46'15.06370"N	74°02'19.69799"W	2574.610
GPS 3	1746058.897	-6114231.824	528307.979	4°46'52.85347"N	74°03'43.53819"W	2579.424
GPS 4	1745927.526	-6114255.426	528479.353	4°46'58.44716"N	74°03'47.84610"W	2580.379

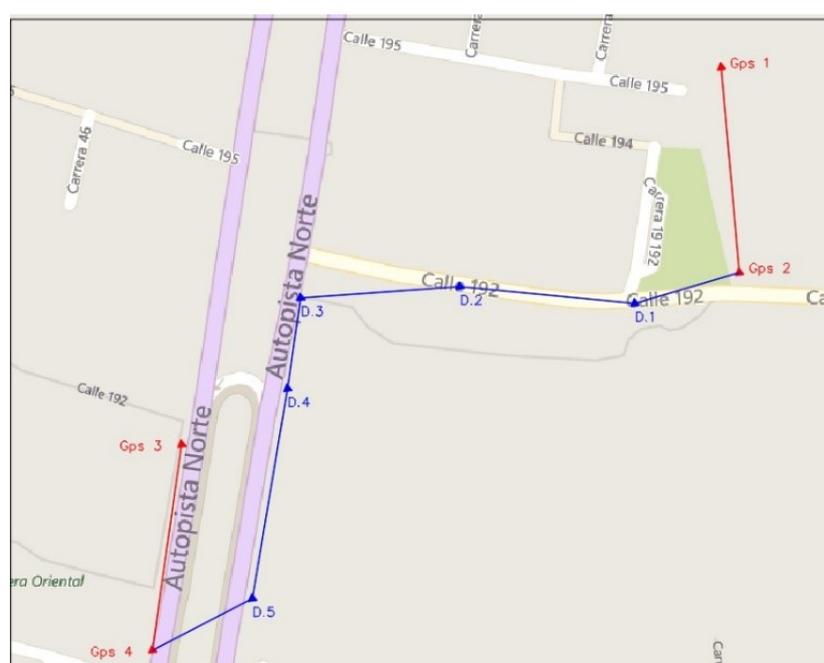
Con estas coordenadas se determinaron las coordenadas de los puntos base en los tres sistemas de referencia, como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 3: Coordenadas Planas de los puntos GPS

Punto	Cartesianas bogotá		Gauss central		Ctm-12	
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este
GPS 1	119529.404	104278.629	1019523.992	1004275.098	2085470.557	4884826.550
GPS 2	119318.605	104297.114	1019313.275	1004293.554	2085259.946	4884844.665
GPS 3	119142.224	103729.278	1019137.020	1003725.927	2085084.690	4884277.124
GPS 4	118930.937	103699.555	1018925.820	1003696.195	2084873.671	4884247.081

Para la realización de la poligonal se utilizó una estación total, leyendo ángulos y distancias horizontales por el método de ceros atrás, como lo muestra la siguiente Figura

Figura 8: Localización de la poligonal trazada



Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps.

Para este ejemplo se materializaron cuatro deltas de la poligonal

Figura 9: Levantamiento de la Poligonal



Los datos de campo se presentan en la siguiente tabla

Tabla 4: Datos de Campo

	<i>DELTA</i>	<i>G</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>DIST. HOR.</i>
B	GPS 1	0	0	0	
I	GPS 2				
F	D.1	258	29	30	110.965
B	GPS 2	0	0	0	
I	D.1				
F	D.2	201	59	36	178.980
B	D.1	0	0	0	
I	D.2				
F	D.3	170	26	54	162.425
B	D.2	0	0	0	
I	D.3				
F	D.4	102	17	53	94.114
B	D.3	0	0	0	
I	D.4				
F	D.5	181	12	39	218.298
B	D.4	0	0	0	
I	D.5				
F	GPS 4	233	0	1	114.825
B	D.5	0	0	0	
I	GPS 4				
F	GPS 3	305	34	35	

Con las coordenadas de amarre se procedió al cálculo la poligonal, por los diferentes sistemas de coordenadas:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cálculo de la poligonal con coordenadas Cartesianas Bogotá.

Tabla 5: Cálculo de la poligonal en Sistema de Coordenadas Cartesianas

	DELTA	ANG. OBS	AZIMUT	AZIMUT CORREGIDO	DIST. HOR.	PROYECCIONES		CORRECCIONES		PROYECCIONES CORR		N	E	DELTA
						N.S	E.W.	N.S	E.W.	N.S	E.W.			
B	GPS 1	0°0'0"	354°59'19"		211.597							119529.404	104278.629	GPS 1
I	GPS 2											119318.605	104297.114	GPS 2
F	D.1	258°29'30"	253°28'49"	253°28'49"	110.965	-31.553	-106.385	0.000	0.002	-31.553	-106.383	119287.052	104190.731	D.1
B	GPS 2	0°0'0"	73°28'49"											
I	D.1													
F	D.2	201°59'36"	275°28'25"	275°28'25"	178.980	17.072	-178.164	0.000	0.003	17.072	-178.161	119304.125	104012.569	D.2
B	D.1	0°0'0"	95°28'25"											
I	D.2													
F	D.3	170°26'54"	265°55'19"	265°55'19"	162.425	-11.551	-162.013	0.000	0.002	-11.551	-162.011	119292.574	103850.558	D.3
B	D.2	0°0'0"	85°55'19"											
I	D.3													
F	D.4	102°17'53"	188°13'12"	188°13'12"	94.114	-93.147	-13.456	0.000	0.001	-93.147	-13.455	119199.427	103837.104	D.4
B	D.3	0°0'0"	8°13'12"											
I	D.4													
F	D.5	181°12'39"	189°25'51"	189°25'51"	218.298	-215.347	-35.770	0.000	0.003	-215.347	-35.767	118984.080	103801.337	D.5
B	D.4	0°0'0"	9°25'51"											
I	D.5													
F	GPS 4	233°0'1"	242°25'52"	242°25'52"	114.825	-53.142	-101.787	0.000	0.002	-53.142	-101.785	118930.937	103699.552	GPS 4
B	D.5	0°0'0"	62°25'52"											
I	GPS 4													
F	GPS 3	305°34'35"	8°0'27"	8°0'27"	213.367							119142.224	103729.278	GPS 3

De igual manera se presenta el cálculo de la poligonal con coordenadas Planas de Gauss-Origen Central.

Tabla 6: Cálculo de la poligonal en Planas de Gauss

	DELTA	ANG. OBS	AZIMUT	AZIMUT CORREGIDO	DIST. HOR.	PROYECCIONES		CORRECCIONES		PROYECCIONES CORR		N	E	DELTA
						N.S	E.W.	N.S	E.W.	N.S	E.W.			
B	GPS 1	0°0'0"	354°59'40"		211.597							1019523.992	1004275.098	GPS 1
I	GPS 2											1019313.275	1004293.554	GPS 2
F	D.1	258°29'30"	253°29'10"	253.4861	110.965	-31.542	-106.388	0.019	0.032	-31.523	-106.356	1019281.752	1004187.198	D.1
B	GPS 2	0°0'0"	73°29'10"											
I	D.1													
F	D.2	201°59'36"	275°28'46"	275.4794	178.980	17.091	-178.162	0.031	0.052	17.121	-178.110	1019298.874	1004009.088	D.2
B	D.1	0°0'0"	95°28'46"											
I	D.2													
F	D.3	170°26'54"	265°55'40"	265.9278	162.425	-11.534	-162.014	0.028	0.047	-11.506	-161.967	1019287.367	1003847.120	D.3
B	D.2	0°0'0"	85°55'40"											
I	D.3													
F	D.4	102°17'53"	188°13'33"	188.2259	94.114	-93.145	-13.465	0.016	0.027	-93.129	-13.438	1019194.238	1003833.682	D.4
B	D.3	0°0'0"	8°13'33"											
I	D.4													
F	D.5	181°12'39"	189°26'12"	189.4367	218.298	-215.343	-35.792	0.037	0.063	-215.306	-35.728	1018978.932	1003797.954	D.5
B	D.4	0°0'0"	9°26'12"											
I	D.5													
F	GPS 4	233°0'1"	242°26'13"	242.4370	114.825	-53.132	-101.792	0.020	0.033	-53.112	-101.759	1018925.820	1003696.195	GPS 4
B	D.5	0°0'0"	62°26'13"											
I	GPS 4													
F	GPS 3	305°34'35"	8°0'48"	8.0134	213.367							1019137.020	1003725.927	GPS 3

Finalmente, el cálculo con el sistema de referencia único Origen Nacional (CTM-12), es:

Tabla 7: Cálculo de la poligonal en proyección cartográfica origen nacional CTM-12

	DELTA	ANG. OBS	AZIMUT	DIST. HOR.	PROYECCIONES		CORRECCIONES		PROYECCIONES CORR		N	E	DELTA
					N.S	E.W.	N.S	E.W.	N.S	E.W.			
B	GPS 1	0°0'0"	355°5'3"								2085470.557	4884826.550	GPS 1
I	GPS 2										2085259.946	4884844.665	GPS 2
F	D.1	258°29'30"	253°34'33"	110.965	-31.375	-106.437	0.050	0.080	-31.325	-106.357	2085228.620	4884738.308	D.1
B	GPS 2	0°0'0"	73°34'33"										
I	D.1												
F	D.2	201°59'36"	275°34'9"	178.980	17.369	-178.135	0.080	0.129	17.450	-178.006	2085246.070	4884560.302	D.2
B	D.1	0°0'0"	95°34'9"										
I	D.2												
F	D.3	170°26'54"	266°1'3"	162.425	-11.281	-162.032	0.073	0.117	-11.208	-161.915	2085234.862	4884398.387	D.3
B	D.2	0°0'0"	86°1'3"										
I	D.3												
F	D.4	102°17'53"	188°18'56"	94.114	-93.124	-13.611	0.042	0.068	-93.082	-13.543	2085141.781	4884384.844	D.4
B	D.3	0°0'0"	88°18'56"										
I	D.4												
F	D.5	181°12'39"	189°31'35"	218.298	-215.287	-36.129	0.098	0.158	-215.189	-35.971	2084926.592	4884348.873	D.5
B	D.4	0°0'0"	98°31'35"										
I	D.5												
F	GPS 4	233°0'1"	242°31'36"	114.825	-52.973	-101.875	0.052	0.083	-52.921	-101.792	2084873.671	4884247.081	GPS 4
B	D.5	0°0'0"	62°31'36"										
I	GPS 4												
F	GPS 3	305°34'35"	88°6'11"								2085084.690	4884277.124	GPS 3

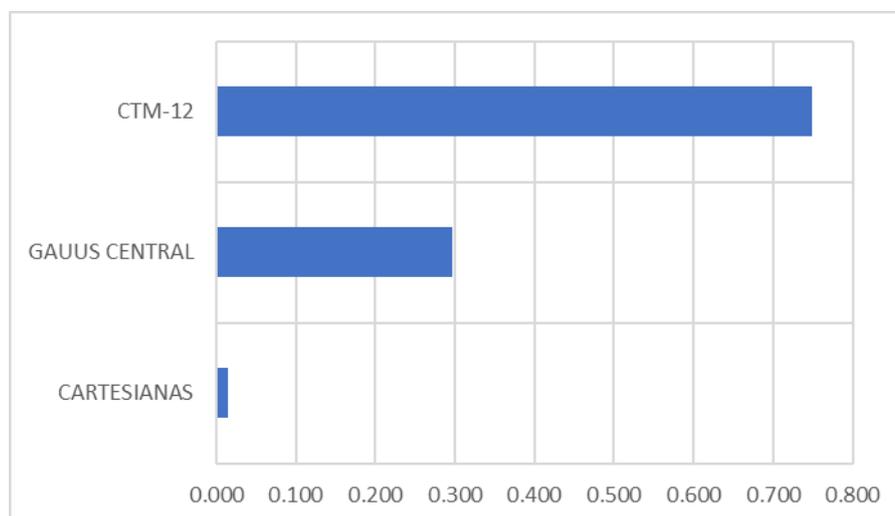
Los datos estadísticos de las tres poligonales calculadas, se presentan en la siguiente tabla

Tabla 8: Estadísticas de la poligonales

Datos	CARTESIANAS - BOGOTÁ	GAUSS – ORIGEN CENTRAL	CTM-12
Error en ángulo	0°0'2"	0°0'2"	0°0'2"
Longitud de la Poligonal (m)	879.605	879.605	879.605
ERROR (N.S) (m)	-0.001	0.151	0.395
ERROR (E.W) (m)	0.015	0.255	0.635
ERROR EN DISTANCIA (m)	0.015	0.296	0.748
PRECISIÓN	57312	2970	1175

Los errores en distancia de la poligonal en cada sistema son (unidades en m)

Figura 10: Comparación de los errores en Distancia de las poligonales en metros



CONCLUSIONES

Comparando las distancias mediadas en campo y las distancias calculadas con las coordenadas en cada sistema de referencia se obtuvo:

Tabla 9: Comparación en distancias entre GPS calculadas y medidas en campo

Punto	Campo	Cartesianas - bogotá	Gauss - origen central	Ctm-12
GPS 1 - GPS 2	211.597	211.608	211.524	211.389
GPS 3 - GPS 4	213.367	213.367	213.283	213.147

Las diferencias encontradas fueron:

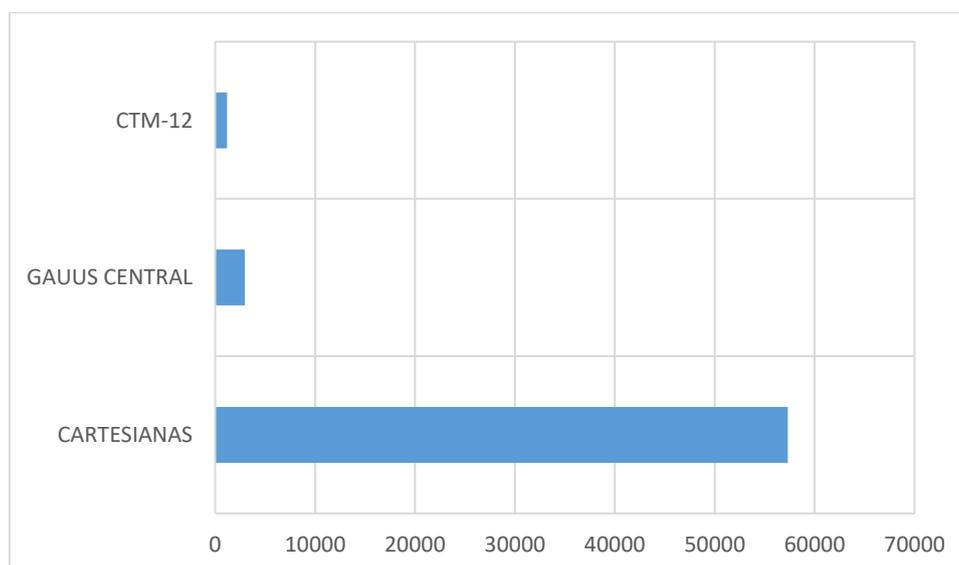
Tabla 10: Diferencias entre distancias entre GPS calculadas y medidas en campo

PUNTO	CARTESIANAS - BOGOTÁ	GAUSS – ORIGEN CENTRAL	CTM-12
GPS 1 - GPS 2	0.011	-0.073	-0.208
GPS 3 - GPS 4	0.000	-0.084	-0.220

Comparando los errores en distancia entre los puntos de amarre de la poligonal se tiene, que el mayor valor es para el Origen Único Nacional (CTM-12), en los dos vectores medidos, GPS-1 a GPS-2 de 20.8 cm y de GPS-3 a GPS-4 de 22 cm, por otro lado, el error en el vector GPS-1 a GPS-2 empleando el sistema Gauss fue de 7.3 cm y 8.4 cm para el vector entre el GPS-3 a GPS-4 respectivamente.

Ahora bien, analizando la precisión de cada una de las poligonales tenemos:

Figura 11: Comparación de precisiones de las poligonales



Donde se puede concluir que la única poligonal que cumple la normatividad para este tipo de poligonales, es aquella realizada con el sistema de proyección cartesiana para el caso de estudio con origen Bogotá.

El uso de este sistema de proyección CTM-12 depende de varios factores, uno de ellos el propósito del trabajo, la escala de trabajo a emplear en el proyecto y por último y no por ello menos relevante, el tipo de información a trabajar, recordando que uno de los principales usos en el país es el catastro multipropósito y la generación de cartografía base en el territorio nacional, por lo cual es el profesional en topografía quien deberá evaluar la pertinencia de emplear este sistema o no, dependiendo la intención del trabajo.

Por lo tanto, de requerirse un proyecto en el sistema de proyección CTM-12, será necesario realizar el respectivo levantamiento de poligonales y detalles, empleando un origen cartesiano o local existente y posteriormente convertir dichas coordenadas obtenidas mediante el aplicativo Magna Sirgas Pro V 5.1 al tipo de coordenadas Origen Nacional (CTM-12), posteriormente con estas coordenadas, se procede a generar la respectiva cartografía.

LISTA DE REFERENCIAS

- Codazzi, I. G. (2004). Aspectos prácticos de la adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA SIRGAS como Datum oficial de Colombia. Bogotá: IGAC.
- Gonzalez Vergara, C. J., Rincón Villalba, M. A., & Vargas Vargas, W. E. (2012). Planimetría. Bogotá: Editorial UD.
- Salvini, D., & Bolivar, F. A. (2018). Propuesta de la Proyección Cartográfica única para la Administración de Tierras en Colombia. Bogotá: Unidad de Restitución de Tierras.
- Tecnicas, I. C. (2018). Información Geográfica para Estudios Topográficos NTC-6271. Bogotá: Incontec.
- Vargas Vargas, W. E., Gonzalez Vergara, C. J., & Rincon Villalba, M. A. (2012). Topografía: Conceptos y Aplicaciones. Bogotá: Ecoe Ediciones.