

**DEFINICIÓN DE PLANOS TOPOGRÁFICOS LOCALES PARA UN CASO DE  
ESTUDIO, POLIGONAL CHOCONTÁ-SUESCA, SIGUIENDO LA  
METODOLOGÍA PLANTEADA POR LA NORMA BRASILEIRA NBR 14166**

**PABLO ALEXANDER BLANCO GARCÍA  
ESTIVEN ROJAS RONCANCIO**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA TOPOGRÁFICA  
BOGOTÁ  
2015**

**DEFINICIÓN DE PLANOS TOPOGRÁFICOS LOCALES PARA UN CASO DE ESTUDIO, POLIGONAL CHOCONTÁ-SUESCA, SIGUIENDO LA METODOLOGÍA PLANTEADA POR LA NORMA BRASILEIRA NBR 14166**

**PABLO ALEXANDER BLANCO GARCÍA  
ESTIVEN ROJAS RONCANCIO**

**Director: M.sc. Raúl Orlando Patiño Pérez**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA TOPOGRÁFICA  
BOGOTÁ  
2015**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Director**

---

**Calificador**

---

**Bogotá D.C. 11 de Marzo de 2016**

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este proyecto de grado a Dios y a nuestras familias, a Dios porque ha estado con nosotros iluminándonos y dándonos fuerzas durante el desarrollo de la tesis, y a nuestras familias porque han sido un apoyo incondicional, y son el motivo que nos ayuda a perseverar para alcanzar nuestras metas, también lo dedicamos a todas aquellas personas que con su voz de aliento nos apoyaron.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por habernos guiado, a nuestras familias quienes siempre son un apoyo incondicional, al cuerpo de profesores que han dejado huella y han contribuido con su conocimiento para la ejecución de este proyecto, y a nuestros amigos que siempre creyeron en nuestras capacidades.

## CONTENIDO

	Pág.
1. MARCO TEÓRICO.....	5
Qué es un Plano Topográfico Local ? .....	5
Norma NBR 14166(1998).....	6
Características para determinar planos topográficos locales (PTL`s).....	6
Tipos de Coordenadas Manejadas en Colombia .....	10
2. METODOLOGÍA .....	13
2.1. Elaboración de carteras de cálculo.....	13
2.2. Validación de Formulación planteada.....	14
2.3. Definición de PTL`S para Colombia siguiendo la Norma NBR 14166 Tramo Chocontá – Suesca .....	15
2.4. Conversión de coordenadas Geográficas a Planas Topográficas Locales siguiendo la Norma NBR 14166. ....	16
2.5 Metodología planteada por el IGAC.....	17
Definición Punto de Origen .....	18
Conversión de coordenadas Geográficas en Planas Cartesianas.....	20
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	21
3.1. Validación de Cálculos .....	21
3.2. Definición de PTL`S .....	27
3.4. Listado de coordenadas deltas de la poligonal proyectados sobre los PTL`s, método Norma NBR 14166. ....	28
3.5. Cálculo de la Poligonal Método Norma NBR 14166. ....	31
3.6. Listado de Coordenadas Deltas de la poligonal (Siguiendo la Metodología planteada por el IGAC).....	32
3.7. Cálculo de poligonal Método IGAC .....	34
3.8. Comparación de Resultados Método IGAC vs Metodología Brasil .....	35
4. CONCLUSIONES .....	37
5. BIBLIOGRAFIA .....	38
6. ANEXOS .....	39
6.1. Norma NBR 14166 .....	39
6.2. Uso del plan topográfico local en obras lineales de ingeniería: caso autopista presidente Dutra. ....	39
6.3. Plano topográfico local .....	39
6.4 Helmert 2D.....	39

## LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.Coordenadas MAGNA de los Orígenes Gauss-Kruger en Colombia.....	10
Tabla 2.Cálculo de coordenadas Topográficas locales a partir de coordenadas Geográficas .....	16
Tabla 3 Parámetros de Cálculo para determinar las coordenadas planas topográficas locales del punto.....	17
Tabla 4. Parámetros de Rotación y traslación (AV Dutra) .....	21
Tabla 5. Coordenadas del PTL-5 .....	22
Tabla 6.Características del PTL Origen .....	23
Tabla 7. Parámetros de Cálculo. ....	23
Tabla 8. Convergencia de Meridianos. ....	24
Tabla 9. Matriz de Rotación.....	24
Tabla 10. Coordenadas PTL-5 .....	24
Tabla 11. Validación de Cálculos. ....	25
Tabla 12. Validación de coordenadas. ....	26
Tabla 13. Plano Topográfico Local 1.....	27
Tabla 14. Tabla de Coordenadas Topográficas Locales método NBR .....	28
Tabla 15. Precisión.....	29
Tabla 16. Análisis Percentil .....	29
Tabla 17. Cálculo de Poligonal Chocontá –Suesca Método Norma NBR 14166.....	31
Tabla 18.Lista de Coordenadas Topográficas Locales Método Igac .....	32
Tabla 19.Precisión Método Igac .....	33
Tabla 20. Análisis de percentiles Método Igac. ....	33
Tabla 21. Cálculo de la poligonal Chocontá – Suesca Método Igac.....	34
Tabla 22.Comparación de resultados entre los dos Métodos.....	35

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Plano topográfico Local.....	5
Figura 2. Mapa Conceptual Norma Brasileira NBR 14166- Contenido. ....	6
Figura 3. Proyección Cartesiana. ....	11
Figura 4. Diagrama Metodológico. ....	13
Figura 5. Ingreso de Coordenadas del punto Origen.....	14
Figura 6. Características del PTL.....	14
Figura 7. Coordenadas del punto y convergencia de meridianos.....	14
Figura 8. Localización de la Poligonal.....	18
Figura 9. Perfil longitudinal del terreno. ....	19
Figura 10. Creación Punto de Origen (Magna Pro V.3) .....	19
Figura 11. Proyección de coordenadas (Geográficas- Planas Cartesianas) .....	20
Figura 12. Verificación de Cálculo- Calculadora UTM.....	22
Figura 13. Histograma de los valores de precisión .....	30



## RESUMEN

La Topografía es una ciencia básica para el desarrollo de proyectos de infraestructura, y en ella se encuentra una gran responsabilidad en su ejecución, es por esto que con el transcurrir del tiempo se ha hecho necesario la utilización de nuevas tecnologías, que agilicen los procesos y mejoren la calidad de los resultados, otorgando mayor fiabilidad en los datos.

Las nuevas metodologías han arrojado nuevas técnicas en la obtención de datos como la tecnología GNSS y los diferentes procesos de la ciencia de información geográfica, que al ser combinados con Topografía clásica realizada por equipos óptico mecánicos, difieren en las magnitudes, ya que las distancias de terreno no son directamente compatibles con las magnitudes proyectadas a un plano de referencia.

Los Planos Topográficos Locales (PTL) son una posible solución al problema de combinar y manejar información obtenida con herramientas modernas y topografía clásica. La definición de PTL se puede realizar con diferentes metodologías y con base a la importancia de este tema, se adoptó para la definición de PTL la norma Brasileña NBR 14166, la cual se implementó en el cálculo de la poligonal que va desde el municipio de Chocontá hasta Suesca, además los resultados se compararon con la metodología señalada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) mediante el método de Sistema de Coordenadas Planas Cartesianas Origen Local.

Se plantearon dos PTL para la cobertura del proyecto, teniendo en cuenta parámetros de traslación y rotación para mantener una continuidad en los datos, además de la proyección de cada uno de los puntos de la poligonal para posteriormente ser comparados y determinar que confiabilidad se puede tener siguiendo la metodología planteada en Brasil.

**PALABRAS CLAVES:** Planos Topográficos Locales, Sistema de coordenadas, Topografía.

## ABSTRACT

Topography is a basic science for the development of infrastructure projects, and it is a great responsibility for its implementation, which is why the elapse of time it has become necessary to use new technologies that streamline processes and improve the quality of results, providing more reliable data.

New methodologies have yielded new techniques in data collection and GNSS technology and different processes of geographic information science, which when combined with classical Topography by optical equipment mechanics, differ in magnitude as the distances field are not directly compatible with the magnitudes projected to a reference plane.

In reliance thereon Local Topographic Planes (PTL) are a possible solution to combine and manage information obtained with modern tools and classical topography. The definition of PTL can be performed with different methodologies and based on the importance of this issue was adopted for defining the Brazilian PTL 14166 standard, which was implemented in the calculation of the traverse which runs from the town of Chocontá up Suesca and has the parameters necessary to carry out the adoption of the NBR also the results were compared with the method proposed by the Codazzi (IGAC) by the method of Cartesian Plane Coordinate System Local Origin.

Two PTL were raised to cover the project, taking into account parameters of translation and rotation to maintain continuity in the data, in addition to the projection of each of the points of the polygon and then are compared and determined that reliability can be following the methodology proposed in Brazil.

**KEYWORDS:** Local topographical plans, coordinate system, Topography.

## INTRODUCCIÓN

En Brasil las actividades Catastrales relevantes son representadas a través de Planos Topográficos Locales manejados en escalas desde 1:1000 hasta 1:1, estas actividades corresponden a levantamientos que tienen que ver con proyectos de infraestructura vial, diseños de Ingeniería, entre otros. En Colombia se manejan orígenes para la mayoría de municipios y ciudades esto con el fin de que los levantamientos topográficos realizados utilicen para su proyección el origen local más cercano.

En el proyecto presentado a continuación se plantea una metodología que pretende realizar una comparación entre la Norma NBR 14166 y la metodología utilizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia (IGAC), Sistema de Coordenadas Planas Cartesianas Origen Local. Para ello se utilizó como base una poligonal que se realizó en la vía que comunica a Chocontá - Suesca con una longitud aproximada de 20 km.

Primero se realizó un estudio bibliográfico de la Norma y la Metodología del IGAC, determinando las principales características de los PTL'S. También se usaron dos documentos planteados por Ivan Valeije Idoeta con el fin de validar los cálculos propuestos.

Por últimos se determinaron los PTL'S para el caso de la poligonal Chocontá-Suesca y se realizó el cálculo de la poligonal por los dos métodos con el fin de realizar una comparación de resultados.

## GENERALIDADES

El trabajo de grado se inscribe en el marco del proyecto de investigación “*Desarrollo de un nuevo sistema de proyección cartográfica orientado al trabajo con escalas grandes en proyectos de infraestructura de la ingeniería colombiana a partir de la definición y elaboración de planos topográficos locales*”, llevada a cabo por centro de investigaciones de la Universidad Distrital, Por los docentes investigadores Raúl Orlando Patiño Pérez, Edilberto Niño Niño y Edilberto Sarmiento Sarmiento, el cual fue seleccionado en la convocatoria N° 10-2012, clasificado con el código 3-30-307-12, aprobado según Acta N° 34 de 2012-09-27 del centro de Investigaciones.

Los antecedentes que se tienen del proyecto de investigación fueron dos proyectos de ingeniería Topográfica; el primero de los estudiantes Juan David Méndez y Ronald Sierra, fue una aproximación que se hizo para determinar planos topográficos locales utilizando para ello información de la norma brasilera, del manual de carretera de vías de Chile y la metodología del Instituto Colombiano Agustín Codazzi, el proyecto sirvió como base para profundizar más sobre el tema; pero la información con la cual se llevó a cabo carecía de la rigurosidad y fiabilidad por falta de recursos para su ejecución. El segundo proyecto fue llevado a Cabo por la estudiante Lorena Becerra ella planteaba la generación de los PTLs, pero con base a información LIDAR, este proyecto también fue una aproximación debido a que no tenía la suficiente información para la generación de los PTLs.

El proyecto de investigación necesita información de alta calidad para adelantar su objetivo, por ello se realizó una poligonal abierta aplicando regla de Bessel para cada uno de los vértices, así mismo fueron posicionados los puntos de amarre y puntos intermedios con una diferencia de altura de 80 metros, esta poligonal se realizó en la vía que comunica a Chocontá y Suesca con una longitud aproximada de 20 km.

Los objetivos del presente proyecto pretende definir Planos Topográficos Locales utilizando la poligonal levantada, siguiendo la metodología planteada en la norma Brasilera NBR 14166 y comparando los resultados con el modelo solución del Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia (IGAC), Sistema de Coordenadas Planas Cartesianas Origen Local. Esto se realizara a través de Cálculo de la información levantada de la poligonal siguiendo las dos metodologías y comparando sus resultados

# 1. MARCO TEÓRICO

Qué es un Plano Topográfico Local ?

Para la norma NBR 14166 (1998) un Plano Topográfico Local está definido como:

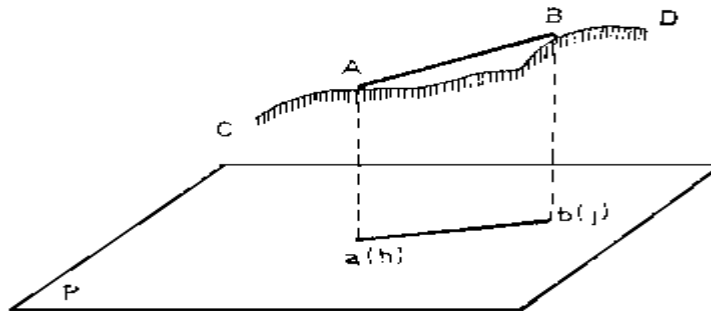
Plano topográfico elevado al nivel medio del terreno del área de cobertura del Sistema Topográfico Local, según la normal a la superficie con referencia al punto de origen del sistema (punto de tangencia del plano topográfico de proyección en el elipsoide de referencia) (p.7).

Ivan Idoeta define un PTL como:

Sistema de representación, en planta, de las posiciones relativas de puntos de un levantamiento topográfico con origen en un punto de coordenadas geodésicas conocidas, donde todos los ángulos y distancias de su determinación son representados, en verdadera manera, sobre el plano tangente a la superficie de referencia (Elipsoide de Referencia) (p.7).

Un PTL permite representar en uno o varios planos, los levantamientos topográficos que por su longitud o diferencia de nivel necesitan de un sistema de proyección que represente las distancias y áreas de acuerdo a la realidad del terreno. [Ver Figura 1]

Figura 1. Plano topográfico Local



Fuente: <http://www.proteccioncivil.org/>

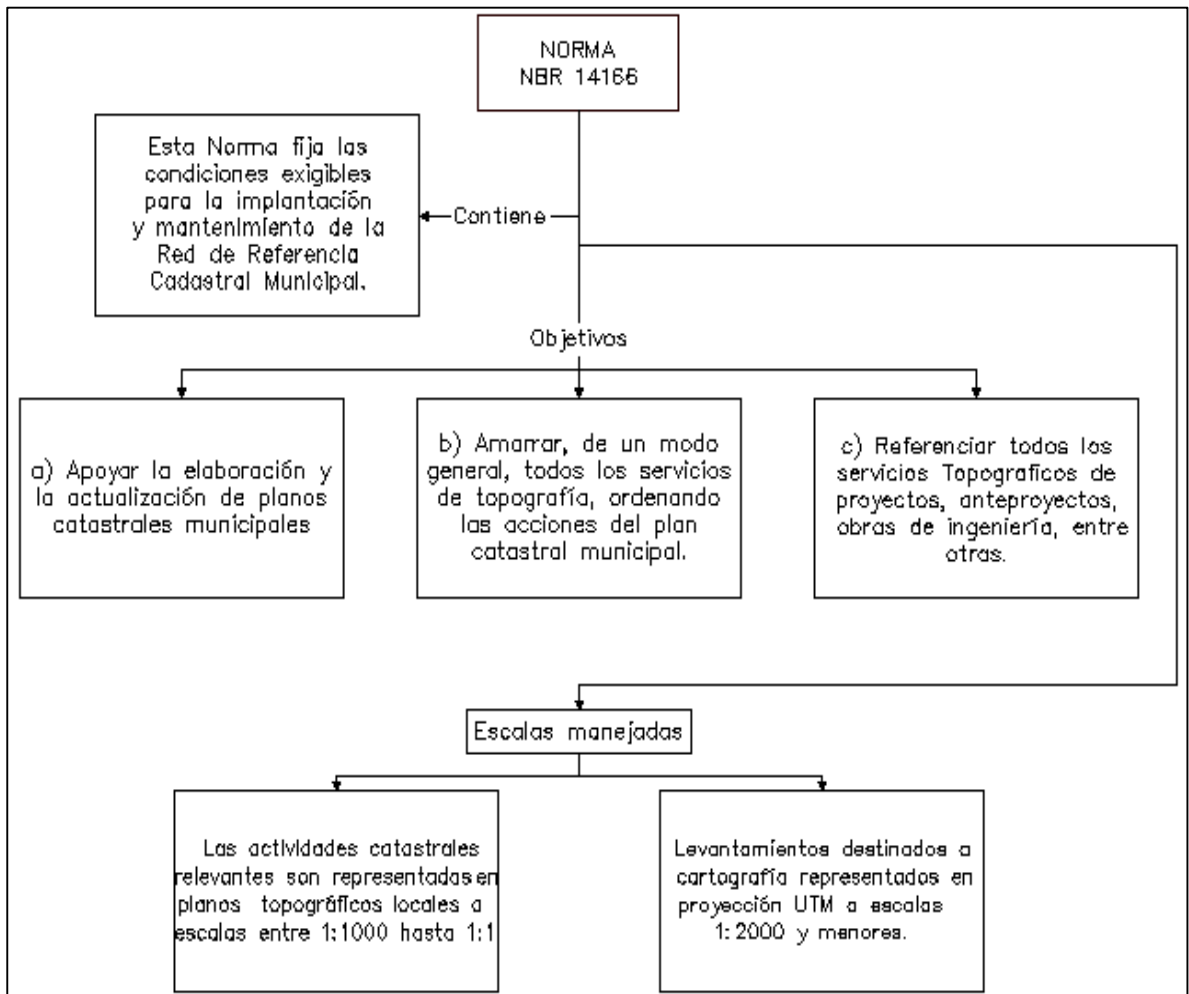
La representación de un PTL en Brasil se realiza utilizando proyecciones UTM (Universal Transversal de Mercator), RTM (Regional Transversal de Mercator) y LTM (Local Transversal de Mercator), debido a esta característica se puede aplicar a los proyectos y trabajos de ingeniería; además cuando se alcance el límite del

PTL se puede usar otro con el mismo principio de forma que se ubiquen en secuencia.

### Norma NBR 14166(1998)

La Figura 2 representa un resumen del contenido de la norma NBR 14166 y sus objetivos, cabe aclarar que desde el 07 de diciembre de 2009 todo levantamiento catastral para la definición de parcelas territoriales se deber referenciar todo al Sistema Geodésico Brasileiro (SBG).

Figura 2. Mapa Conceptual Norma Brasileira NBR 14166- Contenido.



Fuente: Propia, algunos conceptos se tradujeron al español literalmente de la norma NBR 14166. Características para determinar planos topográficos locales (PTL's)

- ✓ Área de Cobertura del Sistema Topográfico Local

La superficie topográfica es tangente al elipsoide de referencia en un punto de origen del Sistema Topográfico, su longitud máxima es de 70 km de tal manera que el error relativo, debido a la ligera curvatura de la Tierra, no exceda de 1:50 000. y 1:20 000 , y el tamaño máximo del plano topográfico es la mitad de la diagonal de un cuadrado de 100 km, correspondiente a la superficie máxima de todo el sistema localización topográfica.

El área de cobertura del Sistema Topográfico Local se reduce, en caso de que la superficie terrestre sea muy accidentada en su relieve, presentando áreas en las que haya desniveles superiores a 150 m, para más o para menos, en relación al plano topográfico local adoptado, lo que determinará la subdivisión del sistema en sistemas parciales.

Con el fin de elevar un plano topográfico desde la proyección al nivel del área de objeto del sistema topográfico, las coordenadas planas rectangulares son afectadas por un factor de elevación que ofrece la superficie topográfica local; el factor de elevación será calculado utilizando la siguiente formula:

$$c = \frac{Rm + Ht}{Rm}$$

En donde:

C: factor de elevación, factor adimensional.

Ht: Altura media del terreno en metros.

Rm: Radio medio terrestre igual a la raíz de M\*N, en el radio de la esfera adoptada por Gauss en metros.

M Radio de curvatura del meridiano, medida sobre el elipsoide de referencia del origen del sistema topográfico local en metros

N Radio de curvatura del primer vertical al elipsoide meridiano del origen del sistema topográfico local en metros.

✓ Coordenadas plano rectangulares (X, Y)

Las Coordenadas Cartesianas definen la ubicación planimétrica de puntos medidos en el terreno representándolos a través de un sistema topográfico local, cuyo origen está en el punto de tangencia del PTL con la superficie de referencia (Elipsoide de referencia, SAD 69)

Las coordenadas plano-rectangulares de los puntos levantados, topográficamente, en el área de cobertura del Sistema topográfico Local, son obtenidas a partir de coordenadas planos rectangulares de los deltas de apoyo.

Un sistema de coordenadas plano rectangulares tiene el mismo origen de un sistema topográfico local.

✓ Orientación

Las coordenadas plano rectangulares de los puntos levantados topográficamente en un ámbito de un Sistema Topográfico Local, partiendo de apoyos topográficos (Deltas), implica que las observaciones angulares horizontales y lineales son operaciones topográficas representadas en verdadera grandeza sobre un plano topográfico local, con orientación en planta para la norte de la cuadrícula. Esto significa que son afectados por la convergencia meridiana, que en sistema Topográfico Local, sólo es cero para puntos situados a lo largo del meridiano del origen del sistema, y que sólo el eje (Y) está orientado al norte geográfico.

Fórmulas de conversión de coordenadas geodésicas a coordenadas Plano-Rectangulares del sistema topográfico

$$\begin{aligned} X_p &= X_o + x \\ Y_p &= Y_o + y \end{aligned}$$

$$x = -\Delta\lambda 1'' * \cos \varphi_p * N_p * \text{arc } 1'' * ct$$

$$y = \frac{1}{B} [\Delta\varphi 1'' + Cx^2 + D(\Delta\varphi 1'')x^2 + ECx^4] * Ct$$

$$\Delta\varphi 1 = \Delta\varphi_p'' * \left( 1 - \frac{(\sin 1'')^2}{6} * (\Delta\varphi_p'')^2 \right)$$

$$\Delta\lambda 1 = \Delta\lambda_p'' * \left( 1 - \frac{(\sin 1'')^2}{6} * (\Delta\lambda_p'')^2 \right)$$

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

$$e' = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}}$$

$$N_o = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2 \varphi_o}}$$

$$M_o = \frac{a * (1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 * \sin^2 \varphi_o)^3}}$$



$$R_o = \sqrt{M_o * N_o}$$

$$C_t = \frac{\sqrt{M_o * N_o} + H_t}{\sqrt{M_o * N_o}}$$

$$N_p = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2 \varphi}}$$

$$M_p = \frac{a * (1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 * \sin^2 \varphi)^3}}$$

$$\varphi_m = \frac{\varphi + \varphi_o}{2}$$

$$\Delta \varphi_p'' = (\varphi_o \text{ rad} - \varphi_p \text{ rad}) * \frac{180}{\pi} * 3600$$

$$\Delta \lambda_p'' = (\lambda_o \text{ rad} - \lambda_p \text{ rad}) * \frac{180}{\pi} * 3600$$

$$B = \frac{1}{M_o * \text{arc } 1''}$$

$$C = \frac{\tan \varphi_o}{2 * M_o * N_o * \text{arc } 1''}$$

$$D = \frac{3 * e^2 * \sin \varphi_o * \cos \varphi_o * \text{arc } 1''}{2 * \sqrt{(1 - e^2 * \sin^2 \varphi_o)^3}}$$

$$E = \frac{1 + 3 * \tan^2 \varphi_o}{6 * N_o^2}$$

Fórmulas de Convergencia de Meridiano del sistema topográfico local, a partir de las coordenadas geodésicas

$$\gamma_p'' = (\Delta \lambda_p'' * \sin(\varphi_m)) * \left( \frac{1}{\cos\left(\frac{\Delta \varphi}{2}\right)} + (F * \Delta \lambda_p''^3) \right)$$

$$F = \frac{\sin \varphi m * \cos \varphi m * \sin^2 1''}{12}$$

### Tipos de Coordenadas Manejadas en Colombia

El documento "Tipo de coordenadas manejadas en Colombia" elaborado por la división de Geodesia de la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi determina los sistemas de referencia manejados en Colombia y las conversiones realizadas entre coordenadas Geográficas, planas de Gauss-Kruger y planas cartesianas.

*Tabla 1. Coordenadas MAGNA de los Orígenes Gauss-Kruger en Colombia*

Origen	Coordenadas Elipsoidales		Coordenadas Gauss-Krüger	
	Latitud (N)	Longitud (W)	Norte [m]	Este [m]
Bogotá-MAGNA	4° 35' 46,3215"	74° 04' 39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Este Central - MAGNA	4° 35' 46,3215"	71° 04' 39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Este Este - MAGNA	4° 35' 46,3215"	68° 04' 39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Oeste - MAGNA	4° 35' 46,3215"	77° 04' 39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Oeste Oeste - MAGNA	4° 35' 46,3215"	80° 04' 39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0

*Fuente: Tipos de coordenadas manejadas en Colombia (IGAC)*

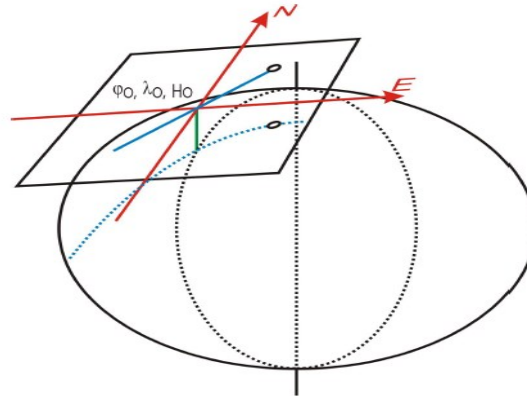
En Colombia el Origen principal de coordenadas Gauss-Kruger se definió en la pilastra sur del Observatorio Astronómico de Bogotá, asignándose los valores N= 1.000.000 y E= 1.000.000 m. Los orígenes complementarios se han establecido a 3° y 6° de longitud al este y oeste de dicho punto. Este sistema se utiliza para la elaboración de cartografía a escalas menores a 1: 1.500.000, donde se proyecta la totalidad del territorio Nacional. También se utiliza en cartografía para escalas entre 1:10.000 y 1:500.000 de las regiones comprendidas en la zona de 3° correspondiente. (Tipos de Coordenadas Manejadas en Colombia, 2004, p.110)

### Conversión entre coordenadas elipsoidales y planas cartesianas

El sistema de proyección cartesiana equivale a una representación conforme del elipsoide sobre un plano paralelo, ubicado a una altura  $H_0$ , a uno tangente al elipsoide en un punto origen  $(Q_0, \lambda_0)$ . La proyección del meridiano que pasa por este punto representa el eje de la coordenada Norte. No obstante, los puntos sobre el elipsoide y los equivalentes proyectados sobre el plano no tienen una relación geométrica, ésta es puramente matemática. La proyección cartesiana es utilizada para la elaboración de planos de ciudades (cartografía a escalas mayores que 1:5000), de allí, existen tantos orígenes de coordenadas cartesianas como ciudades

o municipios. EL plano de proyección se define sobre la altitud media de la comarca a representar. (Tipos de Coordenadas Manejadas en Colombia,2004,p.15)

Figura 3. Proyección Cartesiana.



Fuente: Tipos de coordenadas manejadas en Colombia (IGAC)-2004

La figura 4 muestra gráficamente la proyección cartésiana usada por el IGAC.

Formulas empleadas por el IGAC para el cálculo de coordenadas:

- Cálculo de coordenadas planas cartesianas a Elipsoidales:

$$N = M\varphi_0 \left[ \Delta\varphi \text{ rad} + \frac{\tan \varphi_0 * \Delta\lambda^2 \text{ rad} * N\varphi^2 * \cos^2 \varphi}{2 * M\varphi_0 * N\varphi_0} \right] * \left[ 1 + \frac{Pp}{M\varphi m} \right] + N_0$$

$$E = \Delta\lambda \text{ rad} N\varphi \cos \varphi * \left[ 1 + \frac{Pp}{N\varphi_0} \right] + E_0$$

- Cálculo de coordenadas Elipsoidales a planas cartesianas:

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$$

$$\Delta\varphi \text{ rad} = \frac{\Delta N}{\left[ 1 + \frac{Pp}{a(1-e^2)} \right] M\varphi_0} - \left[ \frac{\tan \varphi_0}{2M\varphi_0 * N\varphi_0} * \left( \frac{\Delta E}{1 + \frac{Pp}{a}} \right)^2 \right]$$

$$\Delta\lambda \text{ rad} = \frac{\Delta E_{ste}}{N\varphi \cos\varphi \left(1 + \frac{Pp}{a}\right)}$$

N, E: coordenadas cartesianas planas del punto de cálculo  
 N<sub>o</sub>, E<sub>o</sub> : Origen del sistema de coordenadas cartesianas

$$\Delta N = N - N_o$$

$$\Delta E = E - E_o$$

$\varphi$ ,  $\lambda$ : coordenadas geográficas del punto de cálculo  
 $\varphi_o$ ,  $\lambda_o$ : coordenadas geográficas del punto de cálculo

$$\Delta\varphi = \varphi - \varphi_o$$

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_o$$

$$\varphi_m = (\varphi + \varphi_o)/2$$

Pp = altura del plano de proyección  
 a: semieje mayor del elipsoide de referencia  
 e2: Primera excentricidad del elipsoide de referencia

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2\varphi}}$$

$$M_o = \frac{a * (1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 * \sin^2\varphi)^3}}$$

## 2. METODOLOGÍA

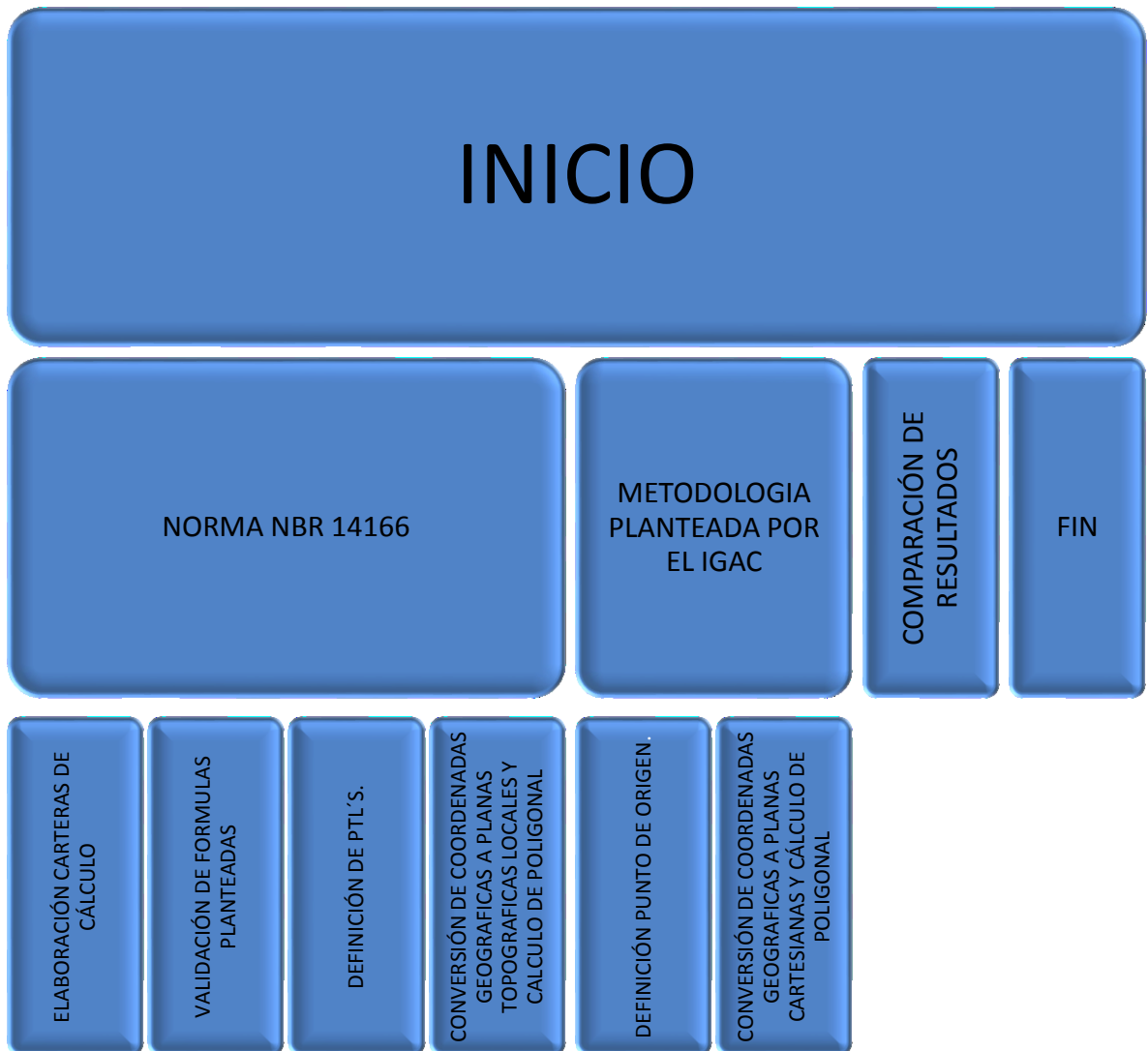


Figura 4. Diagrama Metodológico.

### 2.1. Elaboración de carteras de cálculo.

Una vez estudiada la norma e interpretado el proceso de cálculo y gracias al ejemplo de la avenida Dutra (anexo2), se desarrolló una cartera de cálculo en Excel, donde se definían cada una de las variables que se tienen en cuenta para hallar las coordenadas de un punto en el PTL.

La cartera se divide en 3 partes, la primera corresponde al ingreso de las coordenadas del punto origen del PTL y del punto a proyectar. (Ver figura 5)

Figura 5. Ingreso de Coordenadas del punto Origen.

Coordenadas Origen del Calculo								
Coordenadas Origen del PTL			Coordenadas del Punto					
Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg			
4	43	0	4	44	24.78			
73	0	0	72	59	28.758			

La segunda parte consiste en la definición de las características del PTL donde se define, la altura media, el falso norte y falso este, además de mostrar las características del elipsoide de referencia, como se observa en la figura 6

Figura 6. Características del PTL

Características del PTL			
Características del PTL		Características del Elipsoide de Ref.	
htm	1000	a	6378160
X0	150000.000	b	6356774.719
Y0	250000.000	1/f	298.25

La tercera parte consta de los resultados, donde se observan las coordenadas del punto en el Plano Topográfico y el ángulo de convergencia de meridianos (ver figura 7), para obtener estos resultados se puede profundizar en el Anexo1.

Figura 7. Coordenadas del punto y convergencia de meridianos

Coordenadas Topograficas Del Punto		CONVERGENCIA DE MERIDIANOS		
Xp	150962.940	Grados	Min	Seg
YP	252604.626	0	0	2.5754

## 2.2. Validación de Formulación planteada

Se consiguió un caso, en donde se determinaban Planos Topográficos Locales con el fin de realizar una prueba de escritorio que permitiera validar la cartera de cálculo, brindando confianza en los datos obtenidos.

Para ello se consultaron los documentos “Uso del plano topográfico local en obras lineales de ingeniería: caso autopista Presidente Dutra” (Anexo2) y “Plano Topográfico Local” (Anexo3)

En estos dos documentos el autor plantea que características utilizó para determinar planos topográficos locales y que formulación utilizó para llegar al planteamiento. Una vez comprobados estos dos documentos se plantearon los PTL para Colombia (Caso poligonal Chocontá-Suesca) Método norma NBR-14166

### 2.3. Definición de PTL'S para Colombia siguiendo la Norma NBR 14166 Tramo Chocontá – Suesca

Para el caso de estudio de la poligonal Chocontá- Suesca, se definieron 2 PTL, ya que por el área de cobertura en planta sería posible establecer un plano, pero existe una diferencia de altura mayor a 300 m, y de acuerdo a lo citado por la norma NBR 14166 ( Anexo 1) es necesario establecer otro PTL de acuerdo al concepto definido en Brasil y al modelo matemático, pero definiendo más de un PTL es necesario que tenga una consecuencia en las coordenadas, es por esto que se estableció un plano origen, el cual se tomara como referencia para establecer las coordenadas origen del 2 punto de origen.

De acuerdo a esto, se obtuvieron las coordenadas orígenes del PTL-1, las cuales corresponden al punto medio de las coordenadas geográficas del GPS-1 y D-5, las cuales fueron proyectadas a Planas de Gauss, origen central, utilizando el software Magna Pro V3.0, las coordenadas obtenidas no son redondas o con valores cerrados, si bien se pueden tomar como el origen se optó por establecer unas coordenadas con valores cerrados cercano a las coordenadas ya proyectadas a Gauss, y esta diferencia que es más o menos de 3 y 5 metros, es la translación que se le aplicará al PTL-2, el cual se calculó con las coordenadas medias geográficas entre el D-5 y el GPS-4 desde el PTL-1, el siguiente paso fue el cálculo de las coordenadas del punto en común desde el PTL-1 y desde el PTL-2, a este cálculo se le aplica su correspondiente ángulo de convergencia de coordenadas, el cual se aplicó teniendo en cuenta la rotación y translación del modelo de Helmert 2D, donde básicamente se establece una matriz de rotación y una de translación (anexo 4) y con ello se deberían obtener las coordenadas del punto en común o que fueran muy similares, en nuestro caso se obtuvo un valor de 11cm más o menos de diferencia, lo que corresponde a una precisión cercana a 1: 50000.

Después de plantear los PTL, se proyectaron los deltas de los puntos de amarre y cierre de la poligonal, de esta manera se calculó, y se obtuvieron las coordenadas en planas topográficas locales de cada uno de los vértices.

2.4. Conversión de coordenadas Geográficas a Planas Topográficas Locales siguiendo la Norma NBR 14166.

Con los PTL'S planteados para el caso Chocontá- Suesca, se proyectaron los puntos de amarre y cierre de la poligonal a cada uno de ellos de la siguiente forma:

Tabla 2. Cálculo de coordenadas Topográficas locales a partir de coordenadas Geográficas

PTL_1	GPS1			Coordenadas Geograficas de Punto que se va a calcular		
				Decimal	Radianes	
		5° 9' 00,21974" N				
		73° 40' 46,62515" W				
	Un segundo	0	0	1	0.000277778	0.00000484813681
GPS1	Punto $\phi$	5	9	0.21974	5.150061039	0.08988552180729
	Punto x	73	40	46.62515	73.6796181	-1.28595192740853
Características de PTL	origen $\phi$	5	9	11.29582	5.153137728	0.08993922015846
	origen x	73	41	48.8165	73.69689347	-1.28625343958179
	htm	2747.000				
	Y0	1061600.000				
	X0	1042200.000				
	a	6378137	Característica del elipsoide			
	b	6356752.314				
1/f	298.2572					

En la tabla 2 se muestran Las características del PTL 1 del tramo Chocontá-Suesca, y las coordenadas geográficas que serán ingresadas para calcular en este caso el GPS-1.



Tabla 3 Parámetros de Cálculo para determinar las coordenadas planas topográficas locales del punto.

	e2	0.00669438000426083	
	e'2	0.00673949675658690	
	N0	6378309.2339	
	M0	6335952.5838	
	R0	6357095.6318	
	ct	1.000432116	
	Np	6378309.0289	
	Mp	6335951.9728	
	ωm	0.089912370982876	Punto medio
	Δφp"	-11.07608	
	Δxp"	62.19135	
	arc1"	0.000004848136811114	Arcoseno de 1"
	Δφ1"	-11.07608	
	Δx1"	62.19135	
	B	0.032554663804153	
	C	2.30144E-10	
	D	4.35528E-09	
	E	4.19669E-15	
	F	1.75164E-13	
	Y	-341.269396	
	x	1911.193646	
	Conver	5.584240539	Convergencia en Segundos
	<b>Coordenadas topograficas del punto</b>		
	Xp	1063511.194	
	Yp	1041858.731	
	Conver P	0.062674722	
	Radianes P	0.00109388	
	<b>Coordenadas Rotadas</b>		
GPS1	YPr	1061260.821	Coordenadas Obtenidas
	XPr	1044111.566	

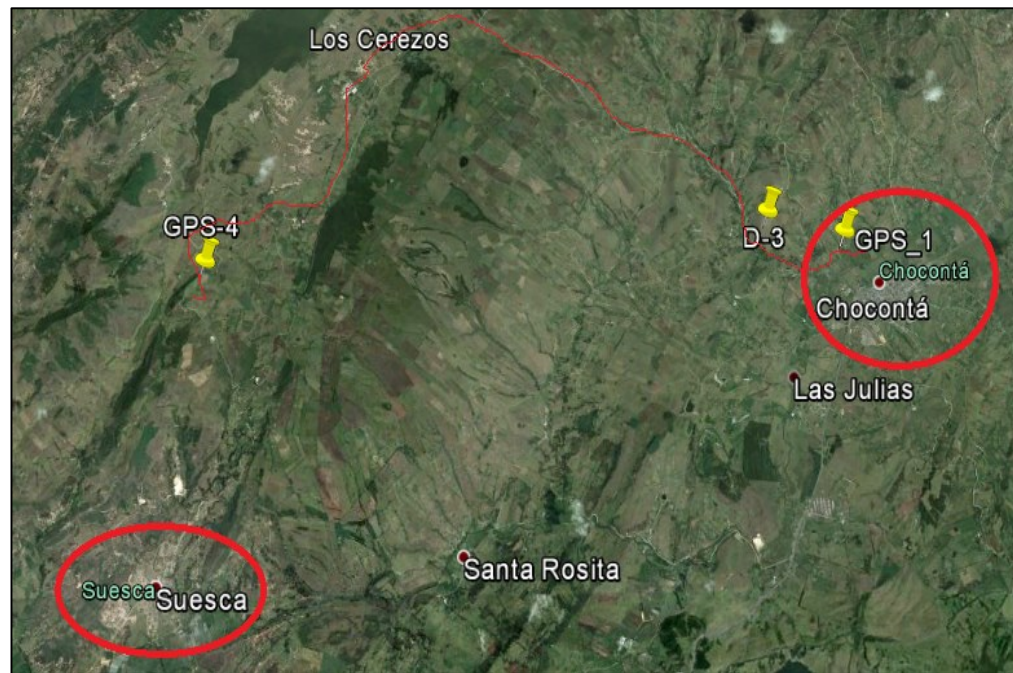
En la tabla 3 se muestran los parámetros utilizados para determinar las coordenadas de GPS-1

Este mismo procedimiento se realizó para calcular las coordenadas topográficas locales de los puntos Gps-2, Gps-3 y Gps-4; los puntos de amarre (Gps-1 y Gps-2) se proyectaron en el PTL-1 y los puntos de cierre (Gps-3 y Gps-4) se proyectaron en el PTL-2.

## 2.5 Metodología planteada por el IGAC.

Con la información suministrada del Levantamiento Topográfico se localizó la zona de trabajo; la poligonal fue levantada en la vía que comunica el municipio de Chocontá y Suesca en el Departamento de Cundinamarca (Colombia), ver Figura 8.

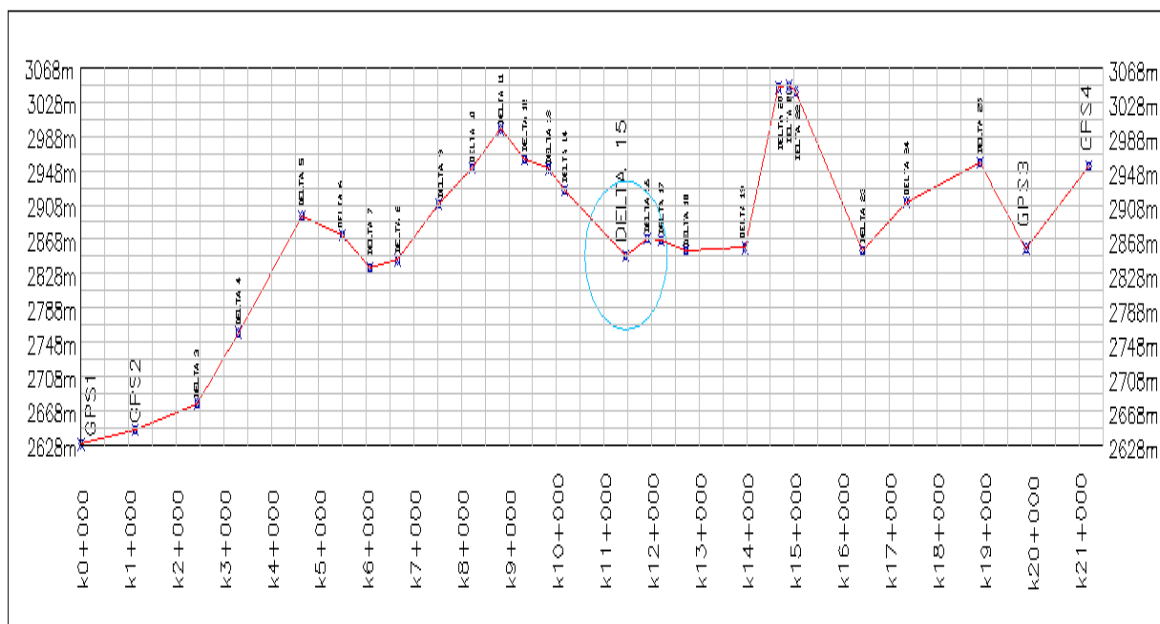
Figura 8. Localización de la Poligonal.



#### Definición Punto de Origen

Para definir un punto de origen de la poligonal se tuvo en cuenta las características de perfil, se definió que el punto de origen sería el Delta 15, tal y como lo muestra a continuación la figura 9, debido a que está cercano a la altura media del terreno, que es igual a 2870,714 msnm.

Figura 9. Perfil longitudinal del terreno.



Definido el punto medio del terreno y utilizando el programa Magna Pro V3.0 se creó el origen de coordenadas (IGAC\_01), el cual requiere de unas coordenadas planas, falso norte y falso este, estas coordenadas corresponden a la proyección del delta 15 a Gauss Kruger origen central.[ Ver Figura 10].

Figura 10. Creación Punto de Origen (Magna Pro V.3)

**Nuevo Origen Cartesiano**

**Sistema de Referencia**

Bogotá  MAGNA-SIRGAS **Crear**

Nombre del Origen:

**Elipsoidales**

Latitud origen:

Longitud origen:

**Planas**

Falso norte (m):

Falso este (m):

Plano de proyección (m):

**Descripción**

## Conversión de coordenadas Geográficas en Planas Cartesianas

Para realizar la comparación entre la Norma NBR 14166 y la metodología del IGAC se proyectaron las coordenadas geográficas de los puntos de amarre y cierre de la poligonal (Gps-1, Gps-2, Gps-3, Gps-4) a planas cartesianas utilizando el origen creado "IGAC\_01".

La transformación de las coordenadas se hizo de forma masiva tal y como lo muestra la Figura 11:

Figura 11. Proyección de coordenadas (Geográficas- Planas Cartesianas)

The screenshot shows the 'Cálculo Archivo de Puntos' application window. It features several configuration panels:

- Sistema de Referencia Partida:** Radio buttons for 'Bogotá' and 'MAGNA-SIRGAS' (selected).
- Sistema de Referencia Destino:** Radio buttons for 'Bogotá' and 'MAGNA-SIRGAS' (selected).
- Botón:** 'Calcular'.
- Archivo Entrada:**
  - Archivo:** Text field 'Elipsoidalesdecimal.csv', dropdown 'CSV', and 'Buscar' button.
  - Configuración Archivo:** 'Separador Columna' (checkbox), 'Separador Decimal' (dropdown with ',' selected).
  - 'Archivo con encabezado' and 'Analizar' button.
  - Tipo Coordenada:**
    - Radio buttons for 'Elipsoidales' (selected), 'Gauss-Krueger', 'Geocéntricas', and 'Cartesianas'.
    - Opciones Archivo:** 'ID:' (dropdown 'Pto'), 'Latitud:' (dropdown 'Latitud'), 'Longitud:' (dropdown 'Longitud'), 'Altura:' (dropdown 'Nulo').
- Archivo Salida:**
  - Archivo:** Text field 'COORDENADAS\_IGAC\_01.csv', dropdown 'CSV', and 'Buscar' button.
  - Configuración Archivo:** 'Separador Columna' (checkbox), 'Separador Decimal' (dropdown with ',' selected).
  - Tipo Coordenada:**
    - Radio buttons for 'Elipsoidales', 'Gauss-Krueger', 'Geocéntricas', and 'Cartesianas' (selected).
- Origen Partida:** Empty dropdown menu.
- Origen Destino:** Dropdown menu with 'IGAC\_01' selected.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1. Validación de Cálculos

Para garantizar la fiabilidad en los cálculos que expresa la norma NBR 14166 se hizo la comprobación del documento “USO DEL PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL EN OBRAS LINEALES DE INGENIERÍA: CASO AUTOPISTA PRESIDENTE DUTRA”

EL problema planteado por Ivan Valeije Idoeta consistió en definir un sistema de coordenadas para la Avenida Dutra que tiene un recorrido aproximadamente de 405 km, para ello definió los planos topográficos Locales teniendo en cuenta las características establecidas en la norma NBR14166.

Con base a la norma se definió un plano origen que estuviera aproximadamente en la mitad de la longitud del proyecto [Ver Tabla 4], a partir del cual estableció la rotación del plano siguiente.

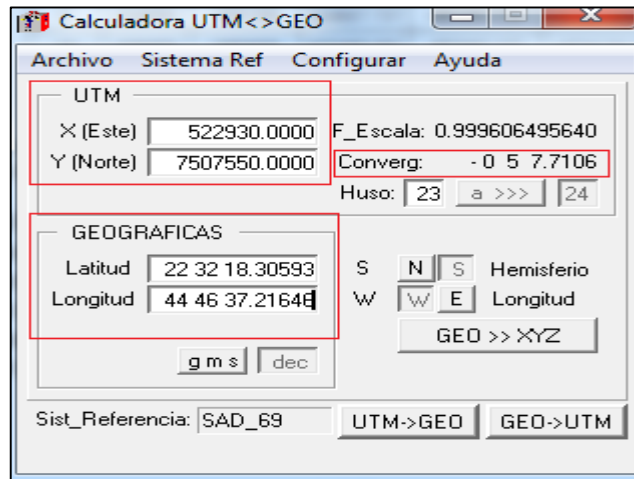
Tabla 4. Parámetros de Rotación y traslación (AV Dutra)

Plano	E	N	X <sub>0</sub>	Y <sub>0</sub>	Rot	φ <sub>0</sub> (Sul)	λ <sub>0</sub> (Oeste)	Ht (m)	MC
1	354250	7407600	354175.526	407564.772	-0° 33' 34.7532"	23°26'05.7976"	46° 25' 36.1680"	700	45 W
2	391610	7421580	391548.465	421544.772	-0°24'51.10810"	23°18'41.75317"	46°03'36.20633"	650	45 W
3	424120	7441900	424072.567	441870.497	-0°17'18.39989"	23°07'47.59459"	45°44'28.03228"	600	45 W
4	458550	7461700	458518.649	461678.336	-0°09'23.82802"	22°57'08.11066"	45°24'15.54212"	600	45 W
5	490500	7485000	490484.341	484989.312	-0°02'07.79998"	22°44'32.13150"	45°05'33.08832"	600	45 W
6	522930	7507550	522930.000	507550.000	+0°05'09.40295"	22°32'18.30593"	44°46'37.21646"	450	45 W
7	561450	7516550	561467.281	516553.552	+0°13'44.97955"	22°27'22.18231"	44°24'09.91954"	450	45 W
8	596290	7501600	596320.988	501597.477	+0°21'32.92704"	22°35'22.53453"	44°03'47.72569"	500	45 W
9	616000	7495200	616037.737	495195.724	+0°25'59.02181"	22°38'46.19657"	43°52'15.83662"	400	45 W
10	620450	7492650	620489.092	492645.137	+0°26'59.34763"	22°40'07.99052"	43°49'39.24730"	300	45 W
11	629150	7488700	629191.194	488694.583	+0°28'57.38607"	22°42'14.10792"	43°44'33.26895"	50	45 W
12	656000	7484700	656045.570	484695.445	+0°35'01.41367"	22°44'15.98373"	43°28'50.96838"	50	45 W

FUENTE: *Uso de Planos Topográficos Locales en Obras Lineales de Ingeniería Caso Autopista Presidente Dutra.*

Por ejemplo para el plano topográfico origen es decir el PTL 6, se define inicialmente unas coordenadas UTM que corresponden a una coordenada media del área de cobertura del PTL, estas son convertidas a Geográficas. La rotación arrojada por esta coordenada se aplicara en la definición del siguiente PTL. Para verificar el cálculo se utilizó la calculadora UTM.

Figura 12. Verificación de Cálculo- Calculadora UTM



Como lo muestra la Figura 12 el sistema de referencia para el cálculo utilizado fue el SAD 69, dependiendo de los parámetros utilizados, podrá variar sin alguna relevancia los datos obtenidos al final, la convergencia de meridiano corresponde a la rotación que se aplicara al siguiente PTL.

Para definir el PTL-5 se utilizó igualmente una coordenada UTM media del área de cobertura de ese PTL se convirtió a Geográfica; y con el ángulo de convergencia de meridianos del plano topográfico anterior se realiza la rotación y traslación que determinaran las coordenadas “Xo” y “Yo” (Planas Topográficas Locales)

Un paso a paso del cálculo se presenta a continuación:

Se realiza la conversión de la coordenada de UTM a Geográficas

Tabla 5. Coordenadas del PTL-5

PTL-5	Punto $\omega$	22	44	32.1315
	Punto x	45	5	33.08832

En la Tabla 5 se colocan las coordenadas Geográficas del PTL-5

Tabla 6. Características del PTL Origen

Características de PTL	origen $\phi$	22	32	18.30593	22.53841831	-0.39336960776915
	origen x	44	46	37.21646	44.77700457	-0.78150615896583
	htm	600				
	X0	522930				
	Y0	507550				
	a	6378160	Característica del elipsoide			
	b	6356774.719				
	1/f	298.25				

La tabla 6 muestra las características del PTL Origen es decir el PTL 6 , la altura media corresponde al plano que se va a calcular (PTL-5) y las características del elipsoide corresponden al SAD-69.

Tabla 7. Parámetros de Cálculo.

e2	0.00669454191562453
e'2	0.00673966085773373
N0	6381298.9966
M0	6344819.6922
R0	6363033.2025
Ct	1.000094295
Np	6381353.0474
Mp	6344980.9189
$\phi_m$	-0.395148451148570
$\Delta\phi''$	-733.82557
$\Delta x''$	-1135.87186
arc1''	0.000004848136811114
$\Delta\phi 1''$	-733.82402
$\Delta x 1''$	-1135.86612
B	0.032509167518001
C	-1.0571E-09
D	-1.72609E-08
E	6.20758E-15
F	-6.9589E-13
X	-32412.00602
Y	-22609.559

La tabla 7 muestra los parámetros obtenidos que son necesarios para determinar las coordenadas iniciales del PTL 5 y la convergencia de meridianos

Tabla 8. Convergencia de Meridianos.

Coordenadas topograficas del punto	
Xp	490517.994
YP	484940.441
Conver P	0.085945264
Conver Radi	0.001500028

— Convergencia de Meridianos Obtenida

La tabla 8 muestra la convergencia de meridianos del PTL-5.

Matriz de rotación: en la tabla 9 se plantea la matriz de rotación para el PTL-5, esta rotación se realizó con Helmert 2d [Ver anexo 4]

Tabla 9. Matriz de Rotación.

-32412.00602	0.9999988750	0.001500027
-	-0.001500027	0.99999887495846
22609.55867361470000		
-32445.88451		
-22560.91434		

Coordenadas Obtenidas del PTL-5

Tabla 10. Coordenadas PTL-5

Coordenadas Topográficas Del Punto	
Xo	490484.115
Yo	484989.086

Finalmente se definen las coordenadas planas topográficas locales del PTL-5 [Ver Tabla 10],

De la misma forma se determinaron las coordenadas topográficas locales de cada uno de los planos planteados por el documento.

A continuación se muestra una tabla resumen en la que se evidencia la comprobación de todos los PTL planteados por Ivan Idoeta



Tabla 11. Validación de Cálculos.

Plano	NORTE	ESTE	$\omega$	x	Rotación Dutra	Rotación Validada	X0 Dutra	Yo Dutra	Xo Validado	Yo Validado	Precisión				
6	7507550	522930	22 32	18.30593	44 46	37.21646	0 5	9.40295	0 5	7.72	522930	507550	522930	507550	
5	7485000	490500	22 44	32.1315	45 5	33.08832	0 2	7.79998	0 2	8.77	490484.341	484989.312	490484.115	484989.086	
4	7461700	458550	22 57	8.11066	45 24	15.54212	0 9	23.82802	0 9	27.628	458518.649	461678.336	458518.792	461678.385	1: 125707
3	7441900	424120	23 7	47.59459	45 44	28.03228	0 17	18.39989	0 17	28.1184	424072.567	441870.497	424072.734	441870.516	1: 85953
2	7421580	391610	23 18	41.75317	46 3	36.20633	0 24	51.1081	0 25	10.3693	391548.465	421544.772	391548.481	421544.711	1: 7595305
1	7407600	354250	23 26	5.7976	46 25	36.168	0 33	34.7532	0 34	3.0931	354175.526	407564.772	354175.563	407564.717	1: 225296
7	7516550	561450	22 27	22.18231	44 24	9.91954	0 13	44.97955	0 13	41.3217	561467.281	516553.552	561467.095	516553.548	
8	7501600	596290	22 35	22.53453	44 3	47.72569	0 21	32.92704	0 21	35.5086	596320.988	501597.477	596320.968	501597.422	1: 220111
9	7495200	616000	22 38	46.19657	43 52	15.83662	0 25	59.02181	0 26	5.0671	616037.737	495195.724	616037.458	495195.812	1: 71348
10	7492650	620450	22 40	7.99052	43 49	39.2473	0 26	59.34763	0 27	6.9271	620489.092	492645.137	620489.042	492645.17	1: 22733
11	7488700	629150	22 42	14.10792	43 44	33.26895	0 28	57.38607	0 29	7.4548	629191.194	488694.583	629191.131	488694.657	1: 335384
12	7484700	656000	22 44	15.98373	43 28	50.96838	0 35	1.41367	0 35	14.3273	656045.57	484695.445	656045.523	484695.45	1: 1027940

La tabla 11 muestra que los datos obtenidos con la cartera tienen una precisión que va desde 1:22733 hasta 1:1027790, garantizando así la fiabilidad de la misma.

En color verde oscuro se presentan los resultados obtenidos por Idoeta en color verde claro se plantean los resultados obtenidos de la validación realizada.

También se realizó un ejercicio práctico propuesto por el mismo ingeniero, pero en el trabajo de grado realizado para obtener el título de Ingeniero Agrimensor; es decir el documento "PLANO TOPOGRAFICO LOCAL".

La prueba de escritorio se realizó a partir de un ejercicio propuesto por el autor en el ANEXO 3 (Pág. 28, ejemplo 3); en él se presentan las características de un plano topográfico local y realiza un ejercicio de conversión de coordenadas Geodesicas a planas topográficas locales.

Al realizar el mismo ejercicio pero con la cartera de cálculo planteada por el proyecto los resultados se presentan en la tabla 13.

Tabla 12. Validación de coordenadas.

					Decimal	Radianes	
	Un segundo	0	0	1	0.000277778	0.00000484813681	
	Punto $\omega$	23	46	43.458	23.77873828	-0.41501727491723	
	Punto x	45	35	12.4162	45.58678228	-0.79563944613702	
Características de PT	origen $\omega$	23	30	0.00000	23.5	-0.41015237421867	
	origen x	45	30	0.0000	45.5	-0.79412480965742	
	htm	40			Seno de $1''^2/6$	3.91741E-12	
	X0	150,000					
	Y0	250,000					
	a	6378160	Característica del elipsoide				
	b	6356774.719					
	1/f	298.25					
	e2	0.00669454191562453					
	e'2	0.00673966085773373					
N0	6381557.2892						
M0	6345590.1716						
R0	6363548.3194						
ct	1.000006286						
Np	6381633.7165						
Mp	6345818.1638						
$\omega m$	-0.412584824567948						
$\Delta\omega''$	-1003.4578						
$\Delta x p''$	-312.4162						
arc1''	0.000004848136811114						
$\Delta\omega 1''$	-1003.45384						
$\Delta x 1''$	-312.41608						
B	0.032505220266202						
C	-1.10738E-09						
D	-1.78311E-08						
E	6.41381E-15						
F	-7.19493E-13						
x	-8845.366762						
y	-30873.972						
conver	125.2725521	Convergencia en Segundos					
Coordenadas topograficas del punto							
Xp	141,154.633						
YP	219126.028						
Conver P	0.034797931	GG	MM	SS			
		0	2	5.272552068			

La tabla 12 muestra que la fiabilidad de los cálculos son garantizados al milímetro.

Una vez comprobada la fiabilidad de los cálculos se plantearon los PTL'S para el proyecto de la poligonal teniendo en cuenta las características relevantes para su determinación.

### 3.2. Definición de PTL`S

Con la cartera comprobada y teniendo en cuenta las características establecidas por la NBR 14166 se realizó la definición de los planos en el caso de la poligonal Chocontá - Suesca se tuvo en cuenta su longitud como primera característica, es decir tiene una longitud de 20km, para la norma NBR 14166 es una de las primeras variables que se deben tener en cuenta (Área de cobertura del plano) donde se expresa de acuerdo a la precisión, las dimensiones del PTL, como la poligonal tan solo tiene una longitud de 20 km, se puede definir un solo PTL; cumpliendo con el área de cobertura lo siguiente es revisar la diferencia de altura del terreno, esto nos llevó a definir 2 PTL debido a que el terreno presentaba una diferencia de altura mayor a 300 m, y la norma expresa que no exista una diferencia de 150 m por encima o por debajo del plano proyectado a la altura media del terreno (anexo 1, pag 9). Definidos los planos, se aplica el modelo matemático, para hallar las coordenadas de los puntos de origen de los dos planos y sus características principales.

Con las características y los datos del levantamiento de la poligonal, se definieron los PTL`S en los cuales se proyectaron los puntos de amarre y cierre de la poligonal.

*Tabla 13. Plano Topográfico Local 1.*

Plano	Planas Gauss	N	E	Y0	X0	Rot	Latitud	Longitud	Ht (m)	Mc
1	Origen - Central	1061600	1042200	1061600	1042200	0 3 45.629	5°9'11,29582"	73°41'48,8165"	2747	73°
2		1064900	1035000	1064897.06	1034995.05	0 4 6.682	5°10'58,85244"	73°45'42,54094"	2940	73°

En la tabla 13 se tiene el resumen de la definición del sistema cartográfico para la poligonal, donde se observa el origen de cada uno de los planos, las coordenadas geográficas, el meridiano origen, la altura media a la cual fue proyectada, las coordenadas origen de cada uno, la rotación y traslación.

Este primer plano topográfico local fue localizado entre el GPS 1 y D\_05 tiene una diferencia de altura de 277.22 metros. El plano topográfico local 2 fue localizado entre el D\_05 y GPS 4 tiene una diferencia de altura de 181.58 metros.

3.4. Listado de coordenadas deltas de la poligonal proyectados sobre los PTL`s, método Norma NBR 14166.

Una vez definidos Los planos topográficos, siguiendo el modelo matemático ya presentado en el marco teórico, específicamente en las coordenadas plano rectangulares, obtenemos el sistema cartográfico, para el cálculo de la poligonal, donde se proyectaron los puntos de amarre y cierre de la poligonal, donde se obtuvieron las coordenadas de cada uno de los vértices, que se presentan en la tabla 14.

Tabla 14. Tabla de Coordenadas Topográficas Locales método NBR

PTL	PUNTO	NORTE	ESTE	DISTANCIA POR COORDENADAS(m)	DISTANCIA ESTACIÓN(m)	PRECISIÓN
PTL-1	GPS1	1061261.693	1044116.564			
	GPS2	1060825.033	1043075.204	1129.204		
	D3	1061150.602	1041807.020	1309.307	1309.311	1:304008.36
	D4	1061881.924	1041349.668	862.556	862.497	1:14646.21
	D5	1063045.965	1040680.962	1342.445	1342.350	1:14066.09
	D6	1063249.765	1039856.074	849.691	849.695	1:236966.43
	D7	1063624.446	1039413.426	579.934	579.910	1:23964.96
	D8	1063419.115	1038866.437	584.259	584.295	1:16274.69
	D9	1064071.236	1038289.566	870.656	870.608	1:18265.18
PTL-2	D10	1064484.193	1037722.133	701.793	701.768	1:28774.01
	D11	1064631.974	1037143.230	597.468	597.470	1:291703.14
	D12	1064964.341	1036758.488	508.422	508.401	1:23436.91
	D13	1065076.293	1036274.319	496.944	496.947	1:173775.58
	D14	1065402.056	1036194.080	335.500	335.470	1:11268.15
	D15	1066659.329	1035886.066	1294.453	1294.338	1:11260.00
	D16	1066899.551	1035505.893	449.709	449.696	1:35266.90
	D17	1067058.979	1035266.325	287.767	287.759	1:32596.51
	D18	1066956.839	1034746.271	529.990	530.015	1:21227.08
	D19	1066789.581	1033515.234	1242.347	1242.399	1:23999.94
	D20	1066886.513	1032822.904	699.083	699.093	1:67826.23
	D21	1066701.265	1032697.461	223.725	223.747	1:10245.74
	D22	1066556.519	1032679.165	145.898	145.913	1:9873.76
	D23	1065480.152	1031793.508	1393.899	1394.030	1:10610.44
	D24	1064584.061	1031525.835	935.215	935.311	1:9751.66
	D25	1063181.529	1030899.861	1535.884	1536.040	1:9842.92
GPS3	1062300.529	1031324.931	978.184	978.259	1:13119.35	
GPS4	1060978.825	1031360.661	1322.187			

La tabla 14 muestra los resultados de las coordenadas obtenidas para cada uno de los vértices de la poligonal, además de la distancia por coordenadas y por estación, situando a cada vértice en su respectivo PTL.

Para describir la información que nos arrojan los datos, y poder tener un resumen que permita tener una buena descripción de las características de la información con respecto a la precisión se calcularon las medidas de tendencia central, observando el valor numérico del comportamiento de los datos. [Ver tabla 15].

Tabla 15. Precisión

PRECISIÓN	
Media	58865.42606
Mediana	19746.12916
Mínimo	9751.657135
Máximo	304008.3553

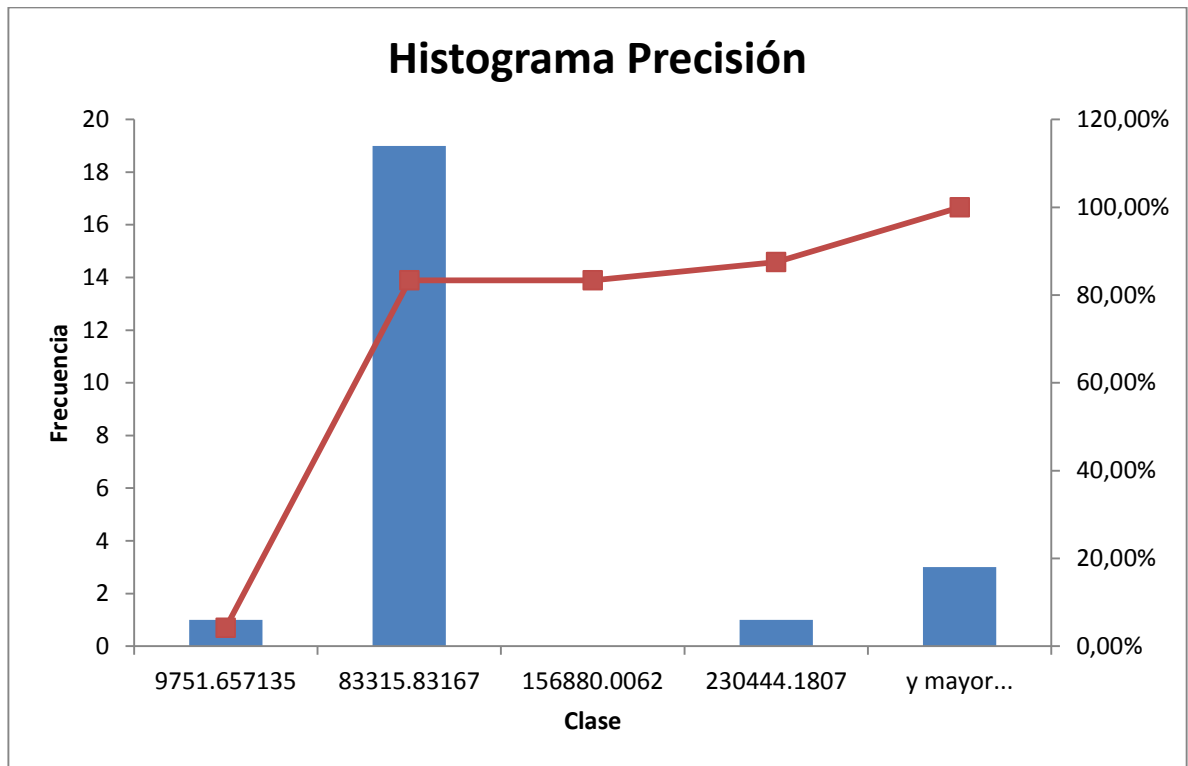
Como se puede observar en el anterior análisis de los valores de precisión, el menor valor que arrojo el cálculo esta alrededor de 1:9751, lo cual garantiza una precisión fiable con respecto a la longitud total de la poligonal y un valor máximo de 304008 que es una precisión buena, también que el valor de la mediana representa una precisión cercana a los 20000.

Tabla 16. Análisis Percentil

Posición	PRECISIÓN	Jerarquía	Porcentaje
1	304008.36	1	100.00%
9	291703.14	2	95.60%
4	236966.43	3	91.30%
11	173775.58	4	86.90%
18	67826.23	5	82.60%
14	35266.90	6	78.20%
15	32596.51	7	73.90%
8	28774.01	8	69.50%
17	23999.94	9	65.20%
5	23964.96	10	60.80%
10	23436.91	11	56.50%
16	21227.08	12	52.10%
7	18265.18	13	47.80%
6	16274.69	14	43.40%
2	14646.21	15	39.10%
3	14066.09	16	34.70%
24	13119.35	17	30.40%
12	11268.15	18	26.00%
13	11260.00	19	21.70%
21	10610.44	20	17.30%
19	10245.74	21	13.00%
20	9873.76	22	8.60%
23	9842.92	23	4.30%
22	9751.66	24	0.00%

En la tabla 16 se puede analizar que un 78.20% de las precisiones calculadas están entre 1:9751 y 1:35266.

Figura 13. Histograma de los valores de precisión



De la Figura 13 se observa que 19 de los valores de precisión están en la clase 83315.831 brindando una mayor confiabilidad en el proceso y la metodología implementada además de que solo un dato está por debajo de la medida, ultimando así que la NBR presenta un alto grado de fiabilidad en el proceso de definición de PTL.

### 3.5. Cálculo de la Poligonal Método Norma NBR 14166.

Tabla 17. Cálculo de Poligonal Chocontá –Suesca Método Norma NBR 14166

EST	VIS	ANG. HOR.			DIST INCL	AZ.PARTIDA				ANG VERTICAL				AZIMUT			PROY.NOR	PROY. EST	PROY. NORTE	PROY. ESTE	COORDENADAS		DESCRIPCIÓN
		G	M	S		SIN CORR	GG	MM	SS	DH	G	M	S	SIN AJUS.	SIN AJUS.	AJUSTADA	AJUSTADA	NORTE	ESTE				
GPS1					1.173748506								67	15	3					1061261.693	1044116.564	GPS1	
																				1060825.033	1043075.204	GPS2	
GPS2	D3	217	9	3	1309.67	4.963745521	88	39	16	1309.311	284	24	6	325.4402	-1268.2212	325.5691	-1268.1836	1061150.602	1041807.020	D3			
	D3	D4	223	35	31	866.357	5.724568479	84	35	41	862.4973	327	59	37	731.2374	-457.3768	731.3223	-457.3521	1061881.924	1041349.668	D4		
	D4	D5	182	9	16	1349.204	5.762170628	84	13	40	1342.35	330	8	53	1163.9087	-668.7448	1164.0408	-668.7063	1063045.965	1040680.962	D5		
	D5	D6	133	45	42	850.006	4.955159471	91	33	0.5	849.6949	283	54	35	203.7162	-824.9128	203.7998	-824.8884	1063249.765	1039856.074	D6		
	D6	D7	206	22	43	581.239	5.415553087	93	52	46	579.9096	310	17	18	374.6245	-442.6643	374.6816	-442.6476	1063624.446	1039413.426	D7		
	D7	D8	119	11	18	584.358	4.35418928	89	8.7	40	584.2945	249	28	36	-205.3887	-547.0060	-205.3312	-546.9893	1063419.115	1038866.437	D8		
	D8	D9	249	5	18	872.967	5.560008171	85	47	7	870.6083	318	33	54	652.0353	-576.8958	652.1211	-576.8709	1064071.236	1038289.566	D9		
	D9	D10	167	33	3	703.022	5.342729224	86	34	20	701.7685	306	6	57	412.8875	-567.4530	412.9566	-567.4329	1064484.193	1037722.133	D10		
	D10	D11	158	17	2	599.152	4.963711584	85	42	41	597.4703	284	23	59	147.7226	-578.9204	147.7814	-578.9033	1064631.974	1037143.230	D11		
	D11	D12	206	30	44	509.687	5.426437154	94	4.1	8.5	508.4007	310	54	43	332.3165	-384.7558	332.3665	-384.7413	1064964.341	1036758.488	D12		
	D12	D13	152	12	20	497.065	4.941332584	91	14	29	496.9468	283	7	3	111.9030	-484.1837	111.9519	-484.1694	1065076.293	1036274.319	D13		
	D13	D14	243	9	21	336.508	6.043609818	94	30	1.8	335.4702	346	16	24	325.7305	-80.2489	325.7636	-80.2392	1065402.056	1036194.080	D14		
	D14	D15	180	4	52	1296.574	6.045025474	93	21	58	1294.338	346	21	16	1257.1458	-308.0505	1257.2732	-308.0134	1066659.329	1035886.066	D15		
	D15	D16	136	3	36	450.081	5.278127801	87	37	23	449.6958	302	24	52	240.1773	-380.1858	240.2216	-380.1729	1066899.551	1035505.893	D16		
	D16	D17	181	21	53	287.764	5.301946697	90	21	1	287.7586	303	46	45	159.3995	-239.5763	159.4278	-239.5681	1067058.979	1035266.325	D17		
	D17	D18	135	15	19	530.163	4.521003971	91	21	40	530.0146	259	2	4	-102.1920	-520.0695	-102.1398	-520.0543	1066956.839	1034746.271	D18		
	D18	D19	183	23	1	1242.401	4.580059126	89	53	20	1242.399	262	25	5	-167.3806	-1231.0722	-167.2583	-1231.0366	1066789.581	1033515.234	D19		
	D19	D20	195	42	59	723.469	4.854361858	75	5	2.3	699.0932	278	8	4	96.8635	-692.3502	96.9323	-692.3301	1066886.513	1032822.904	D20		
	D20	D21	116	8	52	223.751	3.739930346	89	39	20	223.7471	214	16	56	-185.2704	-125.4498	-185.2483	-125.4434	1066701.265	1032697.461	D21		
	D21	D22	153	6	43	146.073	3.270645247	92	41	3.2	145.9126	187	23	39	-144.7604	-18.3006	-144.7461	-18.2964	1066556.519	1032679.165	D22		
	D22	D23	212	15	1	1406.333	3.833518779	97	35	31	1394.03	219	38	40	-1076.5044	-885.6970	-1076.3672	-885.6570	1065480.152	1031793.508	D23		
	D23	D24	157	11	42	936.965	3.435496443	86	35	20	935.3105	196	50	22	-896.1823	-267.6998	-896.0902	-267.6730	1064584.061	1031525.835	D24		
	D24	D25	187	25	45	1536.685	3.565159862	88	20	43	1536.04	204	16	7	-1402.6839	-626.0174	-1402.5327	-625.9734	1063181.529	1030899.861	D25		
	D25	GPS3	130	12	20	982.47	2.696082857	95	18	12	978.2587	154	28	27	-881.0959	425.0414	-880.9995	425.0695	1062300.529	1031324.931	GPS3		
GPS3	GPS4	204	12	49		3.118690095	84	42	13	0	178	41	16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000						
																			NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN		
																			1061261.693	1044116.564	GPS1		
																			1060825.033	1043075.204	GPS2		
					18821.964	-0.027027216				18755.32	178	27	5.2	1473.6499	-11750.8111	1475.4966	-11750.2734		1060978.825	1031360.661	GPS4		
																			1062300.529	1031324.931	GPS3		

Número Vértices	25
Error en Ángulo	0.004124657
Delta Norte	-1.8467
Delta Este	-0.5377
Error Total	1.923342257
Distancia Total	18755.32126
<b>Cierre Obtenido 1:</b>	<b>9751.42</b>

La precisión obtenida con el cálculo de la poligonal fue de 1:9751, elevando de esta manera la precisión, pues al realizar el cálculo de manera convencional se obtiene una precisión cercana a los 5000.

### 3.6. Listado de Coordenadas Deltas de la poligonal (Siguiendo la Metodología planteada por el IGAC)

Para realizar la comparación con la metodología utilizada en Colombia, se manejó el modelo matemático del IGAC, de este modelo se obtuvieron los resultados de la tabla 18, donde se hace la comparación entre la distancia de terreno y la obtenida por coordenadas al proyectar el origen y el cierre de los puntos de la poligonal y realizar el posterior cálculo.

Tabla 18. Lista de Coordenadas Topográficas Locales Método Igac

PTL	PUNTO	NORTE	ESTE	DISTANCIA POR COORDENADAS(m)	DISTANCIA ESTACIÓN(m)	PRECISIÓN
PTL-1-ORIGEN PUNTO MEDIO DEL TERRENO	GPS1	1061254.398	1044116.407			
	GPS2	1060818.733	1043074.591	1129.241		
	D3	1061145.602	1041806.749	1309.300	1309.311	120213.73
	D4	1061877.415	1041350.132	862.583	862.497	10110.18
	D5	1063042.181	1040682.603	1342.488	1342.350	9691.51
	D6	1063246.845	1039857.934	849.687	849.695	103124.76
	D7	1063621.999	1039415.674	579.944	579.910	16982.83
	D8	1063417.251	1038868.486	584.240	584.295	10631.42
	D9	1064070.002	1038292.297	870.677	870.608	12743.82
	D10	1064483.575	1037725.302	701.802	701.768	20649.15
	D11	1064631.985	1037146.563	597.465	597.470	117434.25
	D12	1064964.777	1036762.178	508.431	508.401	16583.84
	D13	1065077.262	1036278.135	496.941	496.947	83562.78
	D14	1065403.126	1036198.247	335.514	335.470	7681.89
	D15	1066660.788	1035891.598	1294.507	1294.338	7676.02
	D16	1066901.439	1035511.691	449.713	449.696	25735.58
	D17	1067061.139	1035272.300	287.771	287.759	23622.06
	D18	1066959.591	1034752.144	529.976	530.015	13690.03
	D19	1066793.743	1033520.946	1242.318	1242.399	15374.49
	D20	1066891.473	1032828.736	699.076	699.093	39544.24
	D21	1066706.374	1032703.090	223.714	223.747	6844.66
	D22	1066561.656	1032684.634	145.891	145.913	6667.54
	D23	1065486.353	1031797.788	1393.833	1394.030	7071.61
	D24	1064590.611	1031529.114	935.168	935.311	6560.62
	D25	1063188.867	1030901.565	1535.808	1536.040	6602.76
GPS3	1062307.425	1031325.638	978.150	978.259	9009.20	
GPS4	1060985.698	1031359.838	1322.169			



Los datos de medida de tendencia de la metodología manejada en Colombia, se presenta en la tabla 19.

Tabla 19. Precisión Método Igac

PRECISIÓN	
Media	29075.37329
Mediana	13216.92618
Mínimo	6560.619198
Máximo	120213.7273

Analizando la tabla 19 la menor precisión que se garantiza para este método es de 1:6560 y la mayor de 1:120.213 lo que expresa una disminución en la precisión, además que hay una media de más o menos 1:29000.

Tabla 20. Análisis de percentiles Método Igac.

Posición	PRECISIÓN	Jerarquía	Porcentaje
1	120213.73	1	100.00%
9	117434.25	2	95.60%
4	103124.76	3	91.30%
11	83562.78	4	86.90%
18	39544.24	5	82.60%
14	25735.58	6	78.20%
15	23622.06	7	73.90%
8	20649.15	8	69.50%
5	16982.83	9	65.20%
10	16583.84	10	60.80%
17	15374.49	11	56.50%
16	13690.03	12	52.10%
7	12743.82	13	47.80%
6	10631.42	14	43.40%
2	10110.18	15	39.10%
3	9691.51	16	34.70%
24	9009.20	17	30.40%
12	7681.89	18	26.00%
13	7676.02	19	21.70%
21	7071.61	20	17.30%
19	6844.66	21	13.00%
20	6667.54	22	8.60%
23	6602.76	23	4.30%
22	6560.62	24	0.00%

De la tabla 20 podemos concluir que un 78.20% de las distancias se encuentran en un rango de precisión entre 1:6560.62 a 25735.58.

### 3.7. Cálculo de poligonal Método IGAC

Tabla 21. Cálculo de la poligonal Chocontá – Suesca Método Igac.

EST	VIS	ANG. HOR.			DIST INCL	AZ PARTIDA				ANG VERTICAL				AZIMUT			PROY.NOR	PROY. EST	PROY.NORTE	PROY. ESTE	COORDENADAS		DESCRIPCIÓN
		G	M	S		SIN CORR	GG	MM	SS	DH	G	M	S	SIN AJUS.	SIN AJUS.	AJUSTADA	AJUSTADA	NORTE	ESTE				
GPS1					1.174717752					67	18	23								1061254.398	1044116.407	GPS1	
																				1060818.733	1043074.591	GPS2	
GPS2	D3	217	9	3	1309.67	4.964714767	88	39	16	1309.311	284	27	26	326.6788	-1267.9027	326.8691	-1267.8424	1061145.602	1041806.749	D3			
	D3	D4	223	35	31	866.357	5.725537725	84	35	41	862.4973	328	2	57	731.6872	-456.6568	731.8126	-456.6171	1061877.415	1041350.132	D4		
	D4	D5	182	9	16	1349.204	5.763139874	84	13	40	1342.35	330	12	13	1164.5714	-667.5900	1164.7665	-667.5282	1063042.181	1040682.603	D5		
	D5	D6	133	45	42	850.006	4.956128717	91	33	0.5	849.6949	283	57	55	204.5405	-824.7088	204.6640	-824.6697	1063246.845	1039857.934	D6		
	D6	D7	206	22	43	581.239	5.416522333	93	52	46	579.9096	310	20	38	375.0701	-442.2868	375.1544	-442.2601	1063621.999	1039415.674	D7		
	D7	D8	119	11	18	584.358	4.355158526	89	8.7	40	584.2945	249	31	56	-204.8337	-547.2141	-204.7487	-547.1872	1063417.251	1038868.486	D8		
	D8	D9	249	5	18	872.967	5.560977417	85	47	7	870.6083	318	37	14	652.6246	-576.2291	652.7511	-576.1891	1064070.002	1038292.297	D9		
	D9	D10	167	33	3	703.022	5.34369847	86	34	20	701.7685	306	10	17	413.4715	-567.0276	413.5735	-566.9953	1064483.575	1037725.302	D10		
	D10	D11	158	17	2	599.152	4.96468083	85	42	41	597.4703	284	27	19	148.3229	-578.7669	148.4097	-578.7394	1064631.985	1037146.563	D11		
	D11	D12	206	30	44	509.687	5.4274064	94	4.1	8.5	508.4007	310	58	2.9	332.7182	-384.4085	332.7921	-384.3851	1064964.777	1036762.178	D12		
	D12	D13	152	12	20	497.065	4.942301831	91	14	29	496.9468	283	10	23	112.4123	-484.0657	112.4846	-484.0428	1065077.262	1036278.135	D13		
	D13	D14	243	9	21	336.508	6.044579064	94	30	1.8	335.4702	346	19	44	325.8154	-79.9036	325.8641	-79.8882	1065403.126	1036198.247	D14		
	D14	D15	180	4	52	1296.574	6.04599472	93	21	58	1294.338	346	24	36	1257.4738	-306.7086	1257.6619	-306.6490	1066660.788	1035891.598	D15		
	D15	D16	136	3	36	450.081	5.279097047	87	37	23	449.6958	302	28	12	240.5858	-379.9274	240.6511	-379.9067	1066901.439	1035511.691	D16		
	D16	D17	181	21	53	287.764	5.302915943	90	21	1	287.7586	303	50	4.9	159.6587	-239.4037	159.7005	-239.3904	1067061.139	1035272.300	D17		
	D17	D18	135	15	19	530.163	4.521973217	91	21	40	530.0146	259	5	24	-101.6251	-520.1806	-101.5481	-520.1561	1066959.591	1034752.144	D18		
	D18	D19	183	23	1	1242.401	4.581028372	89	53	20	1242.399	262	28	25	-166.0295	-1231.2551	-165.8489	-1231.1979	1066793.743	1033520.946	D19		
	D19	D20	195	42	59	723.469	4.855331105	75	5	2.3	699.0932	278	11	24	97.6285	-692.2427	97.7301	-692.2105	1066891.473	1032828.736	D20		
	D20	D21	116	8	52	223.751	3.740899592	89	39	20	223.7471	214	20	16	-185.1307	-125.6558	-185.0982	-125.6455	1066706.374	1032703.090	D21		
	D21	D22	153	6	43	146.073	3.271614493	92	41	3.2	145.9126	187	26	59	-144.7398	-18.4627	-144.7186	-18.4560	1066551.656	1032684.634	D22		
	D22	D23	212	15	1	1406.333	3.834488025	97	35	31	1394.03	219	41	60	-1075.5051	-886.9103	-1075.3025	-886.8461	1065486.353	1031797.788	D23		
	D23	D24	157	11	42	936.965	3.436465689	86	35	20	935.3105	196	53	42	-895.8778	-268.7169	-895.7419	-268.6738	1064590.611	1031529.114	D24		
	D24	D25	187	25	45	1536.685	3.566129108	88	20	43	1536.04	204	19	27	-1401.9677	-627.6198	-1401.7444	-627.5491	1063188.867	1030901.565	D25		
	D25	GPS3	130	12	20	982.47	2.697052103	95	18	12	978.2587	154	31	47	-881.5842	424.0277	-881.4420	424.0728	1062307.425	1031325.638	GPS3		
GPS3	GPS4	204	12	49		3.119659341	84	42	13	0	178	44	36	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000						
																			NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN		
																			1061254.398	1044116.407	GPS1		
																			1060818.733	1043074.591	GPS2		
					18821.964	-0.025869465				18755.32	178	31	4	1485.9664	-11749.8166	1488.6920	-11748.9530	1060985.698	1031359.838	GPS4			
																			1062307.425	1031325.638	GPS3		

Número Vértices	25
Error en Ángulo	0.003936153
Delta Norte	-2.7256
Delta Este	-0.8636
Error Total	2.859113456
Distancia Total	18755.32126
<b>Cierre Obtenido 1:</b>	<b>6559.84</b>

Como lo muestra la tabla 21 la precisión Obtenida con el cálculo fue de 1:6589.54, de esta manera queda demostrado que se comporta mejor el cálculo realizado con la metodología planteada por la Norma NBR 14166

### 3.8. Comparación de Resultados Método IGAC vs Metodología Brasil

Finalmente se realiza la comparación de cada uno de los métodos, esto en la tabla 22, donde se observa que distancia por coordenadas se logra obtener con los dos métodos y como cada uno es comparado con la obtenida en campo, que representa en verdadera grandeza la magnitud.

*Tabla 22. Comparación de resultados entre los dos Métodos*

PUNTO	DISTANCIA MÉTODO IGAC	DISTANCIA ESTACIÓN	PRECISIÓN MÉTODO IGAC	DISTANCIA MÉTODO NBR 14166	PRECISIÓN MÉTODO NBR 14166
GPS1					
GPS2	1129.241				
D3	1309.300	1309.311	120213.727	1309.307	304007.356
D4	862.583	862.497	10110.182	862.556	14647.208
D5	1342.488	1342.350	9691.505	1342.445	14067.090
D6	849.687	849.695	103124.761	849.691	236965.425
D7	579.944	579.910	16982.827	579.934	23965.956
D8	584.240	584.295	10631.422	584.259	16273.687
D9	870.677	870.608	12743.822	870.656	18266.178
D10	701.802	701.768	20649.154	701.793	28775.010
D11	597.465	597.470	117434.253	597.468	291702.144
D12	508.431	508.401	16583.837	508.422	23437.907
D13	496.941	496.947	83562.782	496.944	173774.583
D14	335.514	335.470	7681.894	335.500	11269.147
D15	1294.507	1294.338	7676.015	1294.453	11261.002
D16	449.713	449.696	25735.578	449.709	35267.904
D17	287.771	287.759	23622.057	287.767	32597.510
D18	529.976	530.015	13690.030	529.990	21226.080
D19	1242.318	1242.399	15374.489	1242.347	23998.945
D20	699.076	699.093	39544.244	699.083	67825.234
D21	223.714	223.747	6844.662	223.725	10244.737
D22	145.891	145.913	6667.537	145.898	9872.757
D23	1393.833	1394.030	7071.605	1393.899	10609.438
D24	935.168	935.311	6560.619	935.215	9750.657
D25	1535.808	1536.040	6602.760	1535.884	9841.917
GPS3	978.150	978.259	9009.197	978.184	13118.351
GPS4					

Como se puede ver durante todo el trabajo se comporta mejor el método de Brasil, las precisiones en distancia ofrecen una fiabilidad más alta, también al realizar el cálculo de la poligonal utilizando el método planteado por la norma NBR 14166 el cierre obtenido es de 1:9751.42 mientras que por el método del IGAC es de 1:6589.84, entendiendo de esta manera que el modelo matemático de la norma la cual tiene en cuenta la convergencia de meridianos como rotación, además de la traslación es aparentemente la mejor opción para la definición del PTL, además de brindar la posibilidad de tener una secuencia en las coordenadas y de esta manera no limitar la cobertura de un PTL.

#### 4. CONCLUSIONES

- ✓ Se cumplieron los objetivos propuestos, se ejecutó el proyecto de acuerdo al alcance, demostrando a través de un caso de estudio “Avenida Presidente Dutra” que la metodología planteada cumple con los parámetros planteados por la Norma Brasileira.
- ✓ La metodología planteada por Brasil mejora la precisión de la poligonal obteniendo un cierre de 1:9751.
- ✓ La poligonal de estudio no fue la mejor herramienta para poder representar en verdadera grandeza la aplicación de la norma, ya que presenta una diferencia de nivel muy pequeña y una longitud muy corta, por lo que podría representarse en un solo PTL.
- ✓ Se logró establecer una metodología para poder tener una prolongación en los PTL, tomando como base la metodología de Helmerdt 2d y el ejemplo de “Avenida Presidente Dutra”.
- ✓ Se sugiere profundizar más sobre el tema y agregar una tercera dimensión para realizar la rotación y traslación.
- ✓ La metodología realizada en comparación con la manejada por el IGAC, permite plantear un sistema cartográfico donde se puede tener una secuencia en las coordenadas y no deja un plano aislado, limitando la cobertura.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1998). *Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento*. Brasil: Copyright.
- ESRI. (01 de Enero de 2015). *ArcGIS Resource Center*. Obtenido de ArcGIS Resource Center.
- GELSON LAURO DAL'FORNO, A. J. (2010). TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS GEODÉSICAS EM COORDENADAS NO PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL PELOS MÉTODOS DA NORMA NBR 14166:1998 E . *Universidade Federal de Santa Maria - UFSM*.
- ISM. (01 de Enero de 2015). *INSTITUTO SUPERIOR DEL MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de <http://www.ismedioambiente.com/>.
- Langleruben. (02 de Febrero de 2015). *Laboratorio Unidad pacífico Sur*. Obtenido de <https://langleruben.wordpress.com/%C2%BFque-es-un-sig/>
- MundoGeo. (10 de Octubre de 2002). *MundoGeo*. (P. T. Local, Productor) Recuperado el 15 de Octubre de 2014, de MundoGeo: <http://mundogeo.com/blog/2002/10/10/plano-topografico-local/>
- SOLUTIONS, B. E. (01 de Enero de 2015). *BA ENERGY SOLUTIONS*. Obtenido de <http://www.baenergysolutions.com>.

## **6. ANEXOS**

6.1. Norma NBR 14166

6.2. Uso del plan topográfico local en obras lineales de ingeniería: caso autopista presidente Dutra.

6.3. Plano topográfico local

6.4 Helmert 2D