

PROCEDIMIENTO PARA LA MIGRACIÓN A *MAGNA-SIRGAS* DE LA CARTOGRAFÍA EXISTENTE REFERIDA AL DATUM BOGOTÁ, UTILIZANDO EL SOFTWARE ARCGIS DE ESRI

Objetivo

Proporcionar los datos requeridos por ArcGIS para la definición de los sistemas de coordenadas (geográficas y de proyección) utilizados en Colombia, al igual, que el formato de los parámetros de transformación para la migración de la información referida en Datum BOGOTÁ a *MAGNA-SIRGAS*, utilizando los motores incluidos por ESRI en ArcGIS.

Datos de prueba

El procedimiento se desarrolla a partir de 25 puntos de prueba proporcionados por la División de Fotogrametría de la Subdirección de Geografía y Cartografía, los cuales han sido denominados consecutivamente entre CC-01 y CC-25. Estos han sido extraídos de las planchas digitales a escala 1:1000 07D, 08B, 08D, 09A, 10B, 17B, 17D, 18A, 18D, 19D, 20C, 29A, 30A, 89D, 99D, 100D.

Metodología

Primera etapa

A partir de las coordenadas cartesianas (N, E) extraídas de las planchas vinculadas al Datum BOGOTÁ aplicar la metodología de transformación de datum desarrollada por la División de Geodesia, calcular las coordenadas cartesianas equivalentes referidas a *MAGNA-SIRGAS*, compararlas con las obtenidas directamente en terreno mediante posicionamiento GPS y adelantar el procedimiento de *Cálculo de Exactitud* que desarrolla la División de Fotogrametría para evaluar la precisión de la cartografía producida por la Subdirección de Geografía y Cartografía.

Segunda etapa

Transformar, mediante el software ArcGIS, las coordenadas cartesianas (N, E) originales proporcionadas por la División de Fotogrametría, pero utilizando los parámetros de transformación calculados en la División de Geodesia y comparar los conjuntos finales de coordenadas transformadas.

Actividades paso a paso de la primera etapa

1. Conversión de las coordenadas cartesianas [N, E] proporcionadas por la División de Fotogrametría a coordenadas geográficas [φ , λ] (Datum BOGOTÁ)

2. Conversión de las coordenadas geográficas $[\varphi, \lambda]$ a coordenadas tridimensionales rectangulares $[X, Y, Z]$ (Datum BOGOTÁ).
3. Transformación del Datum BOGOTÁ a **MAGNA-SIRGAS** utilizando el modelo Molodensky-Badekas y los parámetros calculados por la División de Geodesia del IGAC

$$\begin{bmatrix} X_{MAGNA} \\ Y_{MAGNA} \\ Z_{MAGNA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + \lambda) \begin{bmatrix} 1 & Rz & -Ry \\ -Rz & 1 & Rx \\ Ry & -Rx & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{BOGOTA} - X_0 \\ Y_{BOGOTA} - Y_0 \\ Z_{BOGOTA} - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

siendo:

$[X_{MAGNA}, Y_{MAGNA}, Z_{MAGNA}]^T$: Coordenadas geocéntricas transformadas del punto de cálculo referidas a **MAGNA-SIRGAS**

$[X_0, Y_0, Z_0]^T$: Coordenadas geocéntricas del punto central (definidas por el IGAC)

$[X_{BOGOTA}, Y_{BOGOTA}, Z_{BOGOTA}]^T$: Coordenadas rectangulares tridimensionales del punto de cálculo referidas al Datum BOGOTÁ

$[\Delta X, \Delta Y, \Delta Z]^T$: Parámetros de translación (calculados por el IGAC)

$[Rx, Ry, Rz]^T$: Parámetros de rotación (calculados por el IGAC)

λ : Factor de escala (calculado por el IGAC)

Las cantidades correspondientes equivalen a:

Tabla 1: Parámetros de transformación según el modelo Molodensky-Badekas para la Ciudad de Bogotá

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
ΔX [m]	302,529	Ry [rad]	-2,174 456 E-06
ΔY [m]	317,979	Rz [rad]	-1,362 418 E-05
ΔZ [m]	-319,080	X_0 [m]	1 738 580,767
λ	-2,199 976 E-06	Y_0 [m]	-6 120 500,388
Rx [rad]	1,361 566 E-05	Z_0 [m]	491 473,3064

4. Conversión de las coordenadas rectangulares tridimensionales $[X, Y, Z]$ a coordenadas geográficas $[\varphi, \lambda]$ (Sistema **MAGNA-SIRGAS**)
5. Conversión de las coordenadas geográficas $[\varphi, \lambda]$ provenientes de la transformación a coordenadas cartesianas bidimensionales $[N, E]$ (Sistema **MAGNA-SIRGAS**)
6. Refinamiento de la transformación Molodensky-Badekas mediante la aplicación de una transformación bidimensional afín con los parámetros calculados por la División de Geodesia para la Ciudad de Bogotá (Sistema **MAGNA-SIRGAS**):

Los valores correspondientes obtenidos a partir de coordenadas cartesianas para la Ciudad de Bogotá son:

Tabla 2: Parámetros de transformación bidimensional afin calculados a partir de coordenadas cartesianas para la Ciudad de Bogotá

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
a	1,000 015 853	d	-2,279 698 E-06
b	-3,258 058 E-06	e	0,999 999 028
c	-1,206 327 338	f	-0,131 654 982

7. Comparación de las coordenadas cartesianas [N, E] provenientes de la transformación con sus equivalentes obtenidas a partir del posicionamiento GPS directo realizado en campo.

Resultados de la primera etapa

En esta sección se presenta el *cálculo de exactitud* convencional que adelanta la División de Fotogrametría para hacer el control de calidad de la cartografía básica producida por el Instituto. La tabla 4 muestra el cálculo de exactitud en Datum BOGOTÁ de los puntos descritos, la tabla 5 contiene la misma prueba para las coordenadas cartesianas transformadas y la tabla 6 para las coordenadas elipsoidales correspondientes. El resumen de los indicadores estadísticos utilizados se presenta en la tabla 3.

En términos generales, los indicadores estadísticos se mantienen dentro de los mismos rangos, las mayores diferencias (3 cm) se presentan en el máximo error permitido, el cual es una función del valor más probable del error (media) y su desviación estándar, cuyos valores, para la prueba realizada en Datum BOGOTÁ y su equivalente migrada a **MAGNA-SIRGAS**, sólo difieren en 1 cm. Los demás indicadores presentan como discrepancia este mismo valor, cuya representación gráfica equivale a 5×10^{-4} m, cantidad completamente despreciable.

Si bien los datos estadísticos presentados en las tablas 4, 5 y 6 muestran una descripción cuantitativa de las discrepancias entre las coordenadas analizadas, el comportamiento cualitativo de las mismas no es muy evidente. Para el efecto, la figura 1 presenta los vectores de divergencia entre las coordenadas leídas en la cartografía con las determinadas directamente en terreno. Las líneas continuas representan las divergencias para las coordenadas referidas a Datum BOGOTÁ y las discontinuas para las coordenadas del plano transformadas a **MAGNA-SIRGAS**.

Los puntos con mayor dispersión (CC-19, CC-18, CC-03, CC-05, CC-14, CC-17) se mantienen en los dos sistemas de referencia, es decir que la discrepancia de sus coordenadas proviene ya sea de la cartografía o de su determinación en campo, más no por ser migrados del Datum BOGOTÁ a **MAGNA-SIRGAS**. De manera similar, se observa para los demás puntos que, aunque la dirección de los vectores de divergencia varía, las magnitudes de éstos se mantienen estables. Se esperaría que las diferencias de los vectores dibujados fuesen sistemáticas, lo que reflejaría la influencia desfavorable de los parámetros de transformación utilizados para migrar la cartografía del Datum BOGOTÁ a **MAGNA-SIRGAS**, pero dado que éste no es el caso; se podría concluir que la discordancia ente los

Procedimiento para la migración a MAGNA-SIRGAS de la cartografía existente referida al Datum BOGOTÁ, utilizando el software ArcGIS de ESRI



vectores presentados incluyen, además de las diferencias meramente geométricas entre las coordenadas cartesianas calculadas con parámetros del Datum BOGOTÁ y de **MAGNA-SIRGAS**, también los errores implícitos en el proceso cartográfico desde el fotocontrol, pasando por la aerotriangulación, la restitución, la edición y la salida final correspondiente.

Tabla 3: Comparación de los indicadores estadísticos obtenidos de las pruebas de exactitud para las coordenadas cartesianas y elipsoidales referidas a Datum BOGOTÁ y sus equivalentes transformadas a **MAGNA-SIRGAS**.

Indicador estadístico	Cálculo de exactitud de la cartografía en Datum BOGOTÁ	Cálculo de exactitud de la cartografía transformada a MAGNA-SIRGAS	Cálculo de exactitud de las coordenadas elipsoidales transformadas
Tamaño de la muestra [número de puntos]	25	25	25
Media [m]	0,27	0,27	0,26
Error medio cuadrático [m]	0,35	0,36	0,36
Desviación estándar [m]	0,24	0,25	0,25
Error estándar [m]	0,05	0,06	0,06
Máximo error permitido [m]	0,99	1,02	1,00
Intervalo de confianza para 90% [m]	0,34	0,34	0,33

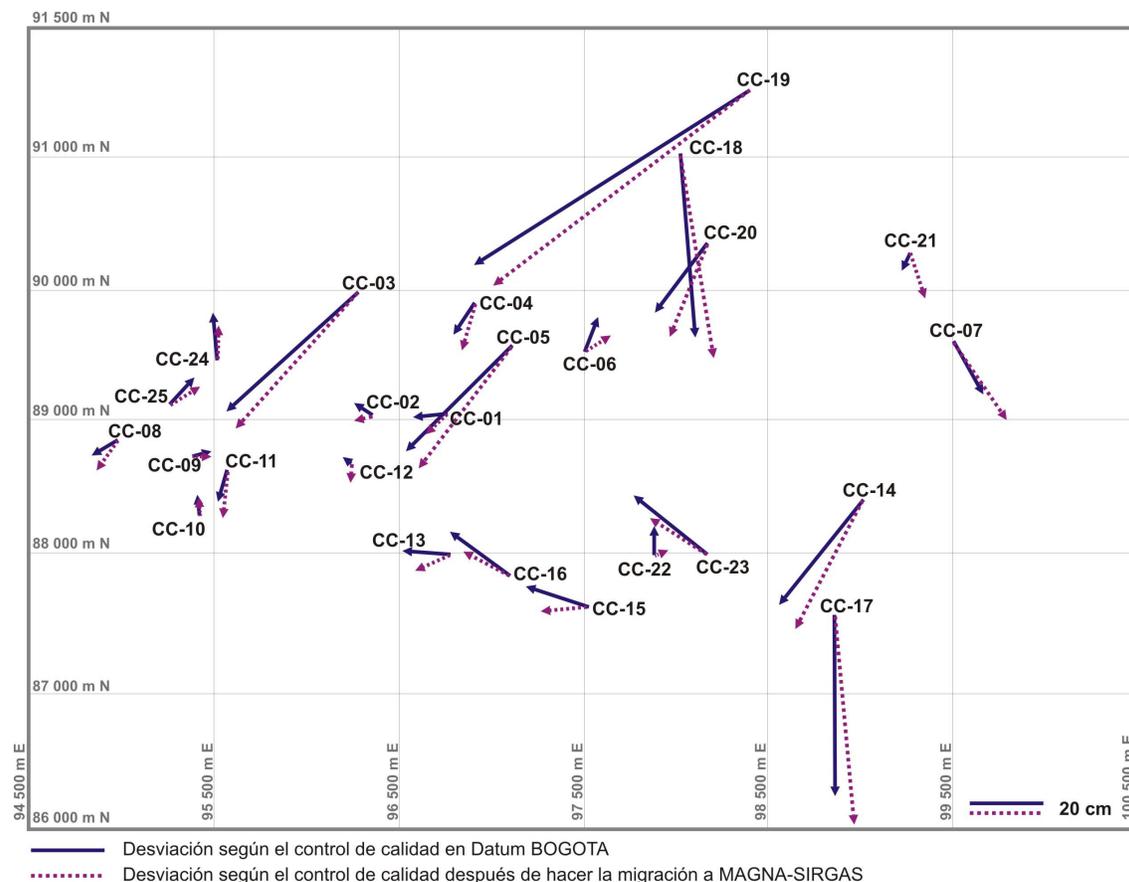


Figura 1. Vectores de discrepancia entre las coordenadas cartesianas extraídas de la cartografía y sus equivalentes determinadas en terreno.

Procedimiento para la migración a **MAGNA-SIRGAS** de la cartografía existente referida al Datum BOGOTÁ, utilizando el software ArcGIS de ESRI



Tabla 4. Cálculo de exactitud en (E-N) Mapa Digital, Bogotá 1:1000 (Control de Calidad: Noviembre 1999)

No	PLANCHA	NOM.	ESTE_M	NORTE_M	ESTE_T	NORTE_T	ΔE	ΔN	ΔE^2	ΔN^2	ΔD	ΔD^2	$\overline{\Delta D}$	$ \overline{\Delta D} $	$ \overline{\Delta D} ^2$	σ
1	PL-08D	CC-01	96787.118	89085.522	96787.237	89085.532	-0.119	-0.010	0.014	0.000	0.119	0.014	0.27	-0.147	0.022	
2	PL-08D	CC-02	96371.248	89079.420	96371.318	89079.379	-0.070	0.041	0.005	0.002	0.061	0.007	0.27	-0.165	0.034	
3	PL-08B	CC-03	96291.264	89994.281	96291.714	89994.644	-0.450	-0.363	0.203	0.132	0.578	0.334	0.27	0.312	0.097	
4	PL-08B	CC-04	96946.662	89925.438	96946.744	89925.540	-0.082	-0.102	0.007	0.010	0.131	0.017	0.27	-0.135	0.018	
5	PL-09A	CC-05	97150.306	89589.983	97150.865	89600.300	-0.359	-0.317	0.129	0.100	0.479	0.229	0.27	0.213	0.045	
6	PL-09A	CC-06	97548.305	89553.188	97548.255	89553.078	0.050	0.110	0.002	0.012	0.121	0.015	0.27	-0.145	0.021	
7	PL-10B	CC-07	99618.552	89627.914	99618.451	89628.074	0.101	-0.160	0.010	0.026	0.189	0.036	0.27	-0.077	0.006	
8	PL-17B	CC-08	94940.792	88891.617	94940.878	88891.667	-0.086	-0.050	0.007	0.003	0.099	0.010	0.27	-0.167	0.028	
9	PL-17B	CC-09	95353.623	88770.421	95353.550	88770.399	0.073	0.022	0.005	0.000	0.076	0.006	0.27	-0.190	0.036	
10	PL-17D	CC-10	95395.946	88324.874	95395.981	88324.807	-0.015	0.067	0.000	0.004	0.069	0.005	0.27	-0.198	0.039	
11	PL-18A	CC-11	95544.481	88683.367	95544.509	88683.470	-0.028	-0.103	0.001	0.011	0.107	0.011	0.27	-0.160	0.025	
12	PL-18A	CC-12	96243.144	88725.025	96243.178	88725.000	-0.034	0.025	0.001	0.001	0.042	0.002	0.27	-0.224	0.050	
13	PL-18D	CC-13	96804.062	88041.582	96804.234	88041.576	-0.172	0.006	0.030	0.000	0.172	0.030	0.27	-0.094	0.009	
14	PL-20C	CC-14	99117.306	88461.717	99117.598	88462.033	-0.292	-0.316	0.085	0.100	0.430	0.185	0.27	0.164	0.027	
15	PL-29A	CC-15	97575.755	87657.292	97575.976	87657.236	-0.221	0.056	0.049	0.003	0.228	0.052	0.27	-0.038	0.001	
16	PL-29A	CC-16	97141.203	87895.164	97141.408	87895.030	-0.205	0.134	0.042	0.018	0.245	0.060	0.27	-0.021	0.001	
17	PL-30A	CC-17	98954.397	87603.090	98954.395	87603.649	0.002	-0.559	0.000	0.312	0.559	0.312	0.27	0.293	0.086	
18	PL-89D	CC-18	98089.341	91034.034	98089.288	91034.589	0.053	-0.555	0.003	0.308	0.558	0.311	0.27	0.291	0.085	
19	PL-89D	CC-19	98484.611	91494.163	98485.543	91494.684	-0.932	-0.521	0.869	0.271	1.068	1.140	0.27	0.801	0.642	
20	PL-99D	CC-20	98240.654	90362.278	98240.835	90362.489	-0.181	-0.211	0.033	0.045	0.278	0.077	0.27	0.012	0.000	
21	PL-100D	CC-21	99378.762	90293.713	99378.793	90293.777	-0.031	-0.064	0.001	0.004	0.071	0.005	0.27	-0.195	0.038	
22	PL-19D	CC-22	97945.817	88033.062	97945.819	88032.974	-0.002	0.088	0.000	0.008	0.088	0.008	0.27	-0.178	0.032	
23	PL-19D	CC-23	98247.488	88040.798	98247.750	88040.822	-0.262	0.176	0.069	0.031	0.316	0.100	0.27	0.049	0.002	
24	PL-07D	CC-24	95495.766	89479.029	95495.781	89478.875	-0.015	0.154	0.000	0.024	0.155	0.024	0.27	-0.112	0.012	
25	PL-07D	CC-25	95220.400	89149.024	95220.306	89148.930	0.094	0.094	0.009	0.009	0.133	0.018	0.27	-0.133	0.018	
							-0.127	-0.09	1.57	1.43	6.392	3.01			1.38	0.239
N			=	25	puntos											
MEDIA			=	0.266	metros											
ERROR MEDIO CUADRATICO			=	0.354	metros											
DESV. STANDARD			=	0.239												
ERROR STANDARD			=	0.054												
LIMITE ERROR GRUESO			=	0.985	metros											
Z			=	1.280												
INT. DE CONFIANZA PARA UN 90%			=	0.335	metros											
							<p>FORMULAS UTILIZADAS</p> <p>MEDIA: $\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$</p> <p>ERROR MEDIO CUADRATICO: $RMSE = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}}$</p> <p>DESVIACION STANDARD: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$</p> <p>ERROR STANDARD: $\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$</p> <p>LIMITE DEL ERROR GRUESO: $BG = \bar{X} + 3\sigma$</p> <p>INTERVALO DE CONFIANZA: $IC90\% = \bar{X} + Z * \sigma_x$</p>									

Tabla 5. Comparación coordenadas cartesianas transformadas y las obtenidas directamente de GPS. Mapa Digital, Bogotá 1:1000 (División de Geodesia: Julio 2004)

No	PLANCHA	NOM.	ESTE_Transf	NORTE_Transf	ESTE_Obs	NORTE_Obs	ΔE	ΔN	ΔE^2	ΔN^2	ΔD	ΔD^2	$\overline{\Delta D}$	$ \overline{\Delta D} $	$ \overline{\Delta D} ^2$	σ
1	PL-08D	CC-01	96786.632	89085.843	96786.715	89085.908	-0.083	-0.065	0.007	0.004	0.105	0.011	0.269	-0.164	0.027	
2	PL-08D	CC-02	96370.757	89079.744	96370.795	89079.754	-0.038	-0.010	0.001	0.000	0.039	0.002	0.269	-0.230	0.053	
3	PL-08B	CC-03	96290.777	89994.602	96291.201	89995.012	-0.424	-0.410	0.180	0.168	0.590	0.348	0.269	0.321	0.103	
4	PL-08B	CC-04	96946.184	89925.754	96946.232	89925.908	-0.049	-0.154	0.002	0.024	0.161	0.026	0.269	-0.108	0.012	
5	PL-09A	CC-05	97149.829	89600.299	97150.151	89600.671	-0.322	-0.372	0.104	0.138	0.492	0.242	0.269	0.223	0.050	
6	PL-09A	CC-06	97547.833	89553.501	97547.743	89553.448	0.090	0.053	0.008	0.003	0.105	0.011	0.269	-0.164	0.027	
7	PL-10B	CC-07	99618.109	89628.211	99617.931	89628.455	0.178	-0.244	0.032	0.059	0.302	0.091	0.269	0.033	0.001	
8	PL-17B	CC-08	94940.280	88891.952	94940.352	88892.041	-0.073	-0.088	0.005	0.008	0.114	0.013	0.269	-0.154	0.024	
9	PL-17B	CC-09	95353.116	88770.754	95353.027	88770.771	0.089	-0.018	0.008	0.000	0.091	0.008	0.269	-0.178	0.032	
10	PL-17D	CC-10	95395.437	88325.008	95395.435	88324.982	0.002	0.026	0.000	0.001	0.026	0.001	0.269	-0.243	0.059	
11	PL-18A	CC-11	95543.976	88683.689	95543.984	88683.845	-0.008	-0.146	0.000	0.021	0.147	0.021	0.269	-0.122	0.015	
12	PL-18A	CC-12	96242.649	88725.351	96242.651	88725.377	-0.002	-0.026	0.000	0.001	0.026	0.001	0.269	-0.243	0.059	
13	PL-18D	CC-13	96803.570	88041.906	96803.702	88041.959	-0.132	-0.052	0.017	0.003	0.142	0.020	0.269	-0.127	0.016	
14	PL-20C	CC-14	99116.849	88462.022	99117.076	88462.413	-0.227	-0.391	0.051	0.153	0.452	0.204	0.269	0.183	0.033	
15	PL-29A	CC-15	97575.272	87657.612	97575.445	87657.618	-0.173	-0.006	0.030	0.000	0.173	0.030	0.269	-0.096	0.009	
16	PL-29A	CC-16	97140.715	87895.486	97140.877	87895.412	-0.161	0.074	0.026	0.005	0.178	0.032	0.269	-0.091	0.006	
17	PL-30A	CC-17	98953.932	87603.400	98953.862	87604.036	0.071	-0.637	0.005	0.405	0.640	0.410	0.269	0.372	0.138	
18	PL-89D	CC-18	98088.885	91034.338	98088.776	91034.962	0.109	-0.624	0.012	0.389	0.634	0.401	0.269	0.365	0.133	
19	PL-89D	CC-19	98484.163	91494.462	98485.034	91495.057	-0.870	-0.595	0.757	0.354	1.054	1.111	0.269	0.785	0.616	
20	PL-99D	CC-20	98240.196	90362.583	98240.322	90362.863	-0.125	-0.280	0.016	0.078	0.307	0.094	0.269	0.038	0.001	
21	PL-100D	CC-21	99378.319	90294.009	99378.273	90294.158	0.046	-0.149	0.002	0.022	0.156	0.024	0.269	-0.113	0.013	
22	PL-19D	CC-22	97945.341	88033.378	97945.287	88033.359	0.054	0.019	0.003	0.000	0.058	0.003	0.269	-0.211	0.045	
23	PL-19D	CC-23	98247.016	88041.111	98247.221	88041.005	-0.204	0.106	0.042	0.011	0.230	0.053	0.269	-0.039	0.001	
24	PL-07D	CC-24	95495.265	89479.358	95495.261	89479.246	0.004	0.112	0.000	0.012	0.112	0.012	0.269	-0.157	0.025	
25	PL-07D	CC-25	95219.893	89149.356	95219.785	89149.301	0.108	0.056	0.012	0.003	0.122	0.015	0.269	-0.147	0.022	
							-0.086	-0.153	1.321	1.864	6.454	3.185			1.521	0.252
N			=	25	puntos											
MEDIA			=	0.269	metros											
ERROR MEDIO CUADRATICO			=	0.364	metros											
DESV. STANDARD			=	0.252												
ERROR STANDARD			=	0.056												
LIMITE ERROR GRUESO			=	1.024	metros											
Z			=	1.280												
INT. DE CONFIANZA PARA UN 90%			=	0.341	metros											
							<p>FORMULAS UTILIZADAS</p> <p>MEDIA: $\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$</p> <p>ERROR MEDIO CUADRATICO: $RMSE = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}}$</p> <p>DESVIACION STANDARD: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$</p> <p>ERROR STANDARD: $\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$</p> <p>LIMITE DEL ERROR GRUESO: $BG = \bar{X} + 3\sigma$</p> <p>INTERVALO DE CONFIANZA: $IC90\% = \bar{X} + Z * \sigma_x$</p>									

Procedimiento para la migración a MAGNA-SIRGAS de la cartografía existente referida al Datum BOGOTÁ, utilizando el software ArcGIS de ESRI



Tabla 6. Comparación coordenadas elipsoidales transformadas y las obtenidas directamente de GPS. Mapa Digital, Bogotá 1:1000 (División de Geodesia: Julio 2004)

No	PLANCHA	NOM	LAT_Transf	LON_Transf	LAT_obs	LON_obs	ΔE	ΔN	ΔE^2	ΔN^2	ΔD	ΔD^2	$\overline{\Delta D}$	$\overline{ \Delta D }$	$ \Delta D - \overline{\Delta D} $	σ																							
1	PL-08D	CC-01	4.497571	-74.106494	4.497571	-74.106493	-0.063	-0.081	0.004	0.006	0.102	0.011	0.262	-0.160	0.025																								
2	PL-08D	CC-02	4.497516	-74.110240	4.497516	-74.110240	-0.010	-0.037	0.000	0.001	0.038	0.001	0.262	-0.224	0.050																								
3	PL-08B	CC-03	4.505785	-74.110960	4.505789	-74.110956	-0.400	-0.413	0.160	0.170	0.575	0.330	0.262	0.313	0.098																								
4	PL-08B	CC-04	4.505163	-74.105057	4.505164	-74.105056	-0.150	-0.047	0.023	0.002	0.157	0.025	0.262	-0.105	0.011																								
5	PL-09A	CC-05	4.502221	-74.103223	4.502224	-74.103220	-0.363	-0.313	0.132	0.098	0.479	0.230	0.262	0.217	0.047																								
6	PL-09A	CC-06	4.501797	-74.099638	4.501797	-74.099639	0.052	0.088	0.003	0.008	0.102	0.010	0.262	-0.160	0.026																								
7	PL-10B	CC-07	4.502471	-74.080990	4.502474	-74.080992	-0.238	0.173	0.057	0.030	0.294	0.087	0.262	0.032	0.001																								
8	PL-17B	CC-08	4.495819	-74.123125	4.495819	-74.123124	-0.086	-0.071	0.007	0.005	0.112	0.012	0.262	-0.151	0.023																								
9	PL-17B	CC-09	4.494723	-74.119406	4.494723	-74.119407	-0.017	0.087	0.000	0.008	0.088	0.008	0.262	-0.174	0.030																								
10	PL-17D	CC-10	4.490694	-74.119025	4.490693	-74.119025	0.025	0.002	0.001	0.000	0.025	0.001	0.262	-0.237	0.056																								
11	PL-18A	CC-11	4.493936	-74.117687	4.493937	-74.117687	-0.143	-0.008	0.020	0.000	0.143	0.020	0.262	-0.119	0.014																								
12	PL-18A	CC-12	4.494312	-74.111394	4.494312	-74.111394	-0.026	-0.002	0.001	0.000	0.026	0.001	0.262	-0.236	0.056																								
13	PL-18D	CC-13	4.488134	-74.106342	4.488134	-74.106341	-0.051	-0.128	0.003	0.016	0.138	0.019	0.262	-0.124	0.015																								
14	PL-20C	CC-14	4.491930	-74.085506	4.491934	-74.085504	-0.381	-0.221	0.145	0.049	0.440	0.194	0.262	0.178	0.032																								
15	PL-29A	CC-15	4.484660	-74.099392	4.484660	-74.099390	-0.006	-0.168	0.000	0.028	0.169	0.028	0.262	-0.094	0.009																								
16	PL-29A	CC-16	4.486810	-74.103306	4.486810	-74.103304	0.072	-0.157	0.005	0.025	0.173	0.030	0.262	-0.089	0.008																								
17	PL-30A	CC-17	4.484169	-74.086974	4.484174	-74.086975	-0.621	0.069	0.386	0.005	0.625	0.391	0.262	0.363	0.132																								
18	PL-89D	CC-18	4.515183	-74.094763	4.515189	-74.094764	-0.609	0.106	0.371	0.011	0.618	0.382	0.262	0.356	0.127																								
19	PL-89D	CC-19	4.519342	-74.091203	4.519347	-74.091195	-0.580	-0.847	0.337	0.717	1.027	1.054	0.262	0.764	0.584																								
20	PL-99D	CC-20	4.509111	-74.093401	4.509113	-74.093400	-0.273	-0.122	0.075	0.015	0.299	0.090	0.262	0.037	0.001																								
21	PL-100D	CC-21	4.508490	-74.083150	4.508491	-74.083150	-0.145	0.045	0.021	0.002	0.152	0.023	0.262	-0.110	0.012																								
22	PL-19D	CC-22	4.488056	-74.096058	4.488056	-74.096059	0.018	0.053	0.000	0.003	0.056	0.003	0.262	-0.206	0.043																								
23	PL-19D	CC-23	4.488126	-74.093341	4.488125	-74.093339	0.104	-0.199	0.011	0.040	0.224	0.050	0.262	-0.038	0.001																								
24	PL-07D	CC-24	4.501128	-74.118126	4.501127	-74.118126	0.109	0.004	0.012	0.000	0.109	0.012	0.262	-0.153	0.023																								
25	PL-07D	CC-25	4.498145	-74.120606	4.498145	-74.120607	0.055	0.105	0.003	0.011	0.119	0.014	0.262	-0.144	0.021																								
							-0.149	-0.083	1.776	1.250	6.292	3.026			1.446	0.245																							
N			=	25	puntos																																		
MEDIA			=	0.262	metros																																		
ERROR MEDIO CUADRATICO			=	0.355	metros																																		
DES. STANDARD			=	0.245																																			
ERROR STANDARD			=	0.055																																			
LIMITE ERROR GRUESO			=	0.998	metros																																		
Z			=	1.280																																			
INT. DE CONFIANZA PARA UN 90%			=	0.332	metros																																		
<table border="0" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="17" style="text-align: center;">FORMULAS UTILIZADAS</td> </tr> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;"> MEDIA $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ </td> <td style="width: 33%; text-align: center;"> ERROR MEDIO CUADRATICO $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$ </td> <td style="width: 33%; text-align: center;"> DESVIACION STANDARD $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$ </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> ERROR STANDARD $\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ </td> <td style="text-align: center;"> LIMITE DEL ERROR GRUESO $BG = \bar{X} + 3\sigma$ </td> <td style="text-align: center;"> INTERVALO DE CONFIANZA $IC90\% = \bar{X} \pm Z^* \sigma_x$ </td> </tr> </table>																	FORMULAS UTILIZADAS																	MEDIA $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	ERROR MEDIO CUADRATICO $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$	DESVIACION STANDARD $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$	ERROR STANDARD $\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	LIMITE DEL ERROR GRUESO $BG = \bar{X} + 3\sigma$	INTERVALO DE CONFIANZA $IC90\% = \bar{X} \pm Z^* \sigma_x$
FORMULAS UTILIZADAS																																							
MEDIA $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	ERROR MEDIO CUADRATICO $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$	DESVIACION STANDARD $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$																																					
ERROR STANDARD $\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	LIMITE DEL ERROR GRUESO $BG = \bar{X} + 3\sigma$	INTERVALO DE CONFIANZA $IC90\% = \bar{X} \pm Z^* \sigma_x$																																					

Actividades paso a paso de la segunda etapa

1. El conjunto de puntos proporcionado por la División de Fotogrametría se cargan como un *shapefile* en ArcGIS.
2. Se define el sistema de coordenadas (tanto de las elipsoidales, como de las planas) correspondiente al *shapefile* mencionado en el ítem anterior, asumiendo la proyección cartesiana como una transversa de Mercator (o Gauss-Krüger), cuyo elipsoide es aumentado en su semieje mayor una cantidad equivalente a la altura del plano de proyección. Si las coordenadas a transformar fuesen Gauss-Krüger no se modificaría el semieje del elipsoide. Las características de los sistemas de coordenadas se presentan en la tabla 7.
3. Se define el sistema de coordenadas proyectadas (*projected coordinate system*) de destino, es decir el sistema hacia el que se quiere hacer la transformación. En esencia corresponde con el definido en ítem anterior, sólo que las coordenadas geográficas del origen deben estar en **MAGNA-SIRGAS** y el elipsoide es el GRS80 (tabla 8).

Tabla 7. Parámetros, en formato ArcGIS, de la proyección cartesiana para la ciudad de Bogotá en datum BOGOTÁ.

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	GCS_CartBOGBOG	Nombre	PCS_CarBOGBOG
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_CartBOGBOG	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	Custom: Internacional Mod.	Falso Norte	109 320,965
Semieje mayor	6378388 + 2550 = 6380938	Falso Oeste	92 334,879
Aplanamiento (1/f)	297	Meridiano Central	74° 09'
Unidades angulares		Latitud de referencia	4° 41'
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,01745329...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_CartBOGBOG	

Tabla 8. Parámetros, en formato ArcGIS, de la proyección cartesiana para la ciudad de Bogotá en **MAGNA-SIRGAS**.

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	GCS_CartMAGBOG	Nombre	PCS_CarMAGBOG
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_CartMAGBOG	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	Custom: GRS80 Mod.	Falso Norte	109 320,965
Semieje mayor	6378137 + 2550 = 3680687	Falso Oeste	92 334,879
Aplanamiento (1/f)	298,257 222 101	Meridiano Central	74° 08' 47,73"
Unidades angulares		Latitud de referencia	4° 40' 49,75"
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,01745329...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_CartMAGBOG	

4. Se define el conjunto de parámetros de transformación para llevar las coordenadas cartesianas de Datum BOGOTÁ a **MAGNA-SIRGAS**. Dado que el método de Molodensky-Badekas no está implementado en los motores del ArcGIS se determinan los parámetros de transformación para uno de éstos. Se selecciona el denominado *Coordinate Frame*, el cual equivale al de Molodensky-Badekas, pero sin un punto central de referencia. Su formulación matemática es:

$$\begin{bmatrix} X_{MAGNA} \\ Y_{MAGNA} \\ Z_{MAGNA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + \lambda) \begin{bmatrix} 1 & Rz & -Ry \\ -Rz & 1 & Rx \\ Ry & -Rx & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{BOGOTA} \\ Y_{BOGOTA} \\ Z_{BOGOTA} \end{bmatrix} \quad (2)$$

siendo:

$[X_{MAGNA}, Y_{MAGNA}, Z_{MAGNA}]^T$: Coordenadas geocéntricas transformadas del punto de cálculo referidas a **MAGNA-SIRGAS**

$[X_{BOGOTA}, Y_{BOGOTA}, Z_{BOGOTA}]^T$: Coordenadas rectangulares tridimensionales del punto de cálculo referidas al Datum BOGOTÁ

$[\Delta X, \Delta Y, \Delta Z]^T$: Parámetros de translación (calculados por el IGAC)

$[Rx, Ry, Rz]^T$: Parámetros de rotación (calculados por el IGAC)

λ : Factor de escala (calculado por el IGAC)

Los parámetros correspondientes se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Parámetros de transformación IGAC para la Ciudad de Bogotá en el formato requerido por ArcGIS para su motor "Coordinate Frame".

Parámetro	Valor	Formato ArcGIS
ΔX	221,899 m	221.899 m
ΔY	274,136 m	274.136 m
ΔZ	-397,554 m	-397.554 m
λ	-2,199 943 E-06	-2.200 ppm
Rx	1,361 573 E-05 rad	2.808 s
Ry	-2,174 431 E-06 rad	-0.449 s
Rz	-1,362 410 E-05 rad	-2.810 s

La utilización de los parámetros presentados en la tabla 1 o los presentados en la tabla 9 generan los mismos resultados, siempre y cuando se tenga presente la formulación matemática correspondiente (ecuaciones 1 y 2, respectivamente). Estos valores aplican para la transformación de Datum BOGOTÁ a **MAGNA-SIRGAS**; si se desea la transformación inversa (de **MAGNA-SIRGAS** a Datum BOGOTÁ), deberá indicarse el signo contrario en cada cantidad.

- Se comparan las coordenadas cartesianas transformadas en la primera etapa con las obtenidas en la segunda

Resultados de la segunda etapa

La comparación de las coordenadas cartesianas transformadas con el programa desarrollado por la División de Geodesia y las mismas transformadas utilizando el motor *Coordinate Frame* de ArcGIS presenta diferencias en promedio de 0,5 cm en la coordenada Este y en torno a 1,0 cm en la Norte; lo que indica que puede utilizarse uno o el otro en la migración a **MAGNA-SIRGAS** de la información digital referida en Datum BOGOTÁ.

La desventaja de utilizar el programa de la División de Geodesia es que la cartografía digital y sus componentes deben expresarse primero en formato texto, luego hacer la transformación y nuevamente, convertirse en el formato original, lo que hace el proceso dispendioso y que puedan generarse confusiones. Al comprobarse que se obtienen los mismos resultados (tabla 10) con la plataforma ArcGIS de ESRI, el proceso de migración a **MAGNA-SIRGAS** es más expedito y fácil, pero el éxito del mismo radica en la utilización de los parámetros de transformación oficiales del IGAC.

Tabla 10. Comparación de las coordenadas cartesianas transformadas con ArcGIS y las obtenidas por la División de Geodesia.

COMPARACIÓN COORD CARTESIANAS TRANSFORMADAS Y LAS OBTENIDAS DIRECTAMENTE DE GPS																	
INFORMACIÓN OBTENIDA DE CARTOGRAFÍA BOGOTÁ 1:2000																	
No	PLANCHA	NOM	ESTE_Geod	NORTE_Geod	ESTE_ARC	NORTE_ARC	ΔE	ΔN	ΔE'	ΔN'	ΔD	ΔD'	ΔD	ΔD'	σ		
1	PL-08D	CC-01	96786.593	89085.839	96786.589	89085.850	0.004	-0.010	0.000	0.000	0.011	0.000	0.012	-0.001	0.000		
2	PL-08D	CC-02	96370.724	89079.741	96370.721	89079.752	0.004	-0.010	0.000	0.000	0.011	0.000	0.012	-0.001	0.000		
3	PL-08B	CC-03	96290.749	89994.600	96290.745	89994.610	0.004	-0.009	0.000	0.000	0.010	0.000	0.012	-0.002	0.000		
4	PL-08B	CC-04	96946.145	89925.751	96946.140	89925.761	0.005	-0.010	0.000	0.000	0.011	0.000	0.012	-0.001	0.000		
5	PL-09A	CC-05	97149.785	89600.295	97149.781	89600.305	0.005	-0.010	0.000	0.000	0.011	0.000	0.012	-0.001	0.000		
6	PL-09A	CC-06	97547.783	89553.497	97547.778	89553.507	0.005	-0.010	0.000	0.000	0.011	0.000	0.012	-0.001	0.000		
7	PL-10B	CC-07	99618.025	89628.203	99618.017	89628.213	0.007	-0.010	0.000	0.000	0.012	0.000	0.012	0.000	0.000		
8	PL-17B	CC-08	94940.270	88891.952	94940.268	88891.963	0.002	-0.011	0.000	0.000	0.011	0.000	0.012	-0.001	0.000		
9	PL-17B	CC-09	95353.099	88770.753	95353.096	88770.763	0.003	-0.011	0.000	0.000	0.011	0.000	0.012	-0.001	0.000		
10	PL-17D	CC-10	95395.418	88325.006	95395.415	88325.018	0.003	-0.011	0.000	0.000	0.012	0.000	0.012	0.000	0.000		
11	PL-18A	CC-11	95543.956	88683.697	95543.953	88683.708	0.003	-0.011	0.000	0.000	0.011	0.000	0.012	-0.001	0.000		
12	PL-18A	CC-12	96242.617	88725.348	96242.614	88725.359	0.004	-0.011	0.000	0.000	0.011	0.000	0.012	-0.001	0.000		
13	PL-18C	CC-13	96803.527	88041.902	96803.523	88041.913	0.004	-0.012	0.000	0.000	0.012	0.000	0.012	0.000	0.000		
14	PL-20C	CC-14	99116.769	88462.014	99116.762	88462.025	0.007	-0.011	0.000	0.000	0.013	0.000	0.012	0.001	0.000		
15	PL-29A	CC-15	97575.215	87657.606	97575.210	87657.618	0.005	-0.012	0.000	0.000	0.013	0.000	0.012	0.001	0.000		
16	PL-29A	CC-16	97140.666	87895.481	97140.661	87895.493	0.005	-0.012	0.000	0.000	0.013	0.000	0.012	0.001	0.000		
17	PL-30A	CC-17	98953.853	87603.391	98953.846	87603.403	0.007	-0.012	0.000	0.000	0.014	0.000	0.012	0.002	0.000		
18	PL-89D	CC-18	98088.831	91034.334	98088.826	91034.342	0.006	-0.008	0.000	0.000	0.010	0.000	0.012	-0.002	0.000		
19	PL-89D	CC-19	98494.105	91494.458	98494.098	91494.466	0.006	-0.008	0.000	0.000	0.010	0.000	0.012	-0.002	0.000		
20	PL-99D	CC-20	98240.138	90362.578	98240.132	90362.587	0.006	-0.009	0.000	0.000	0.011	0.000	0.012	-0.001	0.000		
21	PL-100D	CC-21	99378.242	90294.002	99378.235	90294.012	0.007	-0.009	0.000	0.000	0.012	0.000	0.012	0.000	0.000		
22	PL-19D	CC-22	97945.279	88033.371	97945.274	88033.383	0.006	-0.011	0.000	0.000	0.013	0.000	0.012	0.001	0.000		
23	PL-19D	CC-23	98246.950	88041.104	98246.944	88041.116	0.006	-0.012	0.000	0.000	0.013	0.000	0.012	0.001	0.000		
24	PL-07D	CC-24	95495.249	89479.357	95495.246	89479.367	0.003	-0.010	0.000	0.000	0.010	0.000	0.012	-0.002	0.000		
25	PL-07D	CC-25	95219.880	89149.356	95219.878	89149.366	0.003	-0.010	0.000	0.000	0.011	0.000	0.012	-0.001	0.000		
							0.005	0.010	0.001	0.003	0.288	0.003			0.000	0.001	
FORMULAS UTILIZADAS																	
MEDIA			ERROR MEDIO CUADRÁTICO			DESVIACION STANDARD			ERROR STANDARD			LÍMITE DEL ERROR GRUESO			INTERVALO DE CONFIANZA		
$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$			$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$			$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$			$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$			$EG = \bar{X} + 3\sigma$			$IC90\% = \bar{X} + Z * \sigma_x$		
MEDIA = 25 puntos			ERROR MEDIO CUADRÁTICO = 0.012 metros			DESVIACION STANDARD = 0.012 metros			ERROR STANDARD = 0.001			LÍMITE DEL ERROR GRUESO = 0.000			INTERVALO DE CONFIANZA = 0.015 metros		
INT. DE CONFIANZA PARA UN 90%			0.012 metros														

Por lo anterior, a continuación se presentan los parámetros de los sistemas de coordenadas manejados en Colombia y los parámetros de transformación de Datum BOGOTÁ a **MAGNA-SIRGAS** calculados por el IGAC en formato ArcGIS.

Procedimiento para la migración a **MAGNA-SIRGAS** de la cartografía existente referida al Datum BOGOTÁ, utilizando el software ArcGIS de ESRI



Configuración de los sistemas de coordenadas manejados en Colombia en el software ArcGIS de ESRI

El sistema de coordenadas geográficas (Geographic Coordinate System -GCS-) hace referencia al elipsoide sobre el cual se definen la latitud y la longitud. Para el efecto se requieren los siguientes datos:

Tabla 11. Parámetros para la definición de un sistema de coordenadas geográficas en ArcGIS.

Definición		Ejemplos	
Nombre	Descripción	Valores Datum BOGOTÁ	Valores MAGNA-SIRGAS
Semieje mayor (a)	Radio ecuatorial del elipsoide	6 378 388 m	6 378 137 m
Semieje menor (b)	Radio polar del elipsoide, se obtiene a parte de f y a. Es decir, si se definen a y f, el valor de b se calcula automáticamente	6 356 911,946 13 m	6 356 752,314 14 m
Aplanamiento (1/f)	Achatamiento polar del elipsoide, se obtiene a parte de a y b. Es decir, si se definen a y b, el valor de f se calcula automáticamente	297	298,257 222 101
Unidad angular	Medida que expresa los ángulos	Grados sexagesimales	Grados sexagesimales
Radianes por unidad	Radianes por cada grado sexagesimal	0,017 453 ...	0,017 453 ...
Meridiano de referencia	Círculo mayor a partir del cual se miden los valores de longitud	Greenwich	Greenwich
Longitud del meridiano de referencia	Valor de longitud del meridiano de referencia	0° 0' 0"	0° 0' 0"

El sistema de coordenadas de proyección indica la formulación matemática de la proyección cartográfica utilizada para las coordenadas planas Norte y Este. En Colombia se utiliza la proyección de Gauss-Krüger para escalas pequeñas (1 : 10 000 ... 1 : 3 000 000), y la cartesiana para las grandes (1:500 ... 1:2000). Las dos equivalen a la Transversa de Mercator, sólo que en la cartesiana el semieje mayor del elipsoide se aumenta en una cantidad igual a la altura del plano de proyección. En este caso, es necesario definir un sistema de coordenadas geográficas asociado, cuyo semieje mayor es, por ejemplo, para la Ciudad de Bogotá en Datum BOGOTÁ igual a: $6\ 378\ 388 + 2550 = 6\ 380\ 938$ m, o en MAGNA: $6\ 378\ 137 + 2550 = 6\ 380\ 687$ m. Igualmente, deberá indicársele al software el valor del aplanamiento del elipsoide correspondiente (297 o 298,257 ...). El valor del semieje menor b lo deducirá automáticamente.

Los datos requeridos para la definición del sistema de proyección Transversa de Mercator se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Parámetros para la definición de un sistema de coordenadas de proyección en ArcGIS.

Definición		Ejemplos		
Nombre	Descripción	Datum BOGOTÁ, Gauss-Krüger, Origen Bogotá	Datum MAGNA, Gauss-Krüger, Origen Bogotá	Datum BOGOTA, Cartesianas, Ciudad de Bogotá
Falso Norte	Coordenada Norte del punto origen	1 000 000,0 m	1 000 000,0 m	109 320,965 m
Falso Este	Coordenadas Este del origen	1 000 000,0 m	1 000 000,0 m	92 334,879 m
Meridiano central	Longitud del punto origen	74° 04' 51,30"	74° 04' 39,0285"	74° 09'
Factor de escala	Relación, sobre el meridiano central, del dibujo con la comarca proyectada	1	1	1
Latitud de referencia	Latitud del origen	4° 35' 56,57"	4° 35' 46,3215"	4 ° 41'

De acuerdo con lo mencionado, con el propósito de estandarizar la definición de las configuraciones correspondientes, los nombres de los sistemas de coordenadas presentan la siguiente estructura:

Los tres primeros caracteres indican si el sistema de coordenadas es geográfico (CGS) o de proyección (PCS), en el sistema de coordenadas geográficas se indica el datum, por ejemplo DatumBOGOTÁ (en ArcGIS *Bogota.prj*), o SIRGAS (idéntico a MAGNA, en ArcGIS *Sirgas.prj*) o, en el caso de las cartesianas, donde el radio ecuatorial del elipsoide de referencia se aumenta en la altura del plano de proyección, se indica "Cart" de cartesianas, los siguientes tres caracteres identifican el datum "BOG" para Datum BOGOTÁ o "MAG" para MAGNA y finalmente, las tres primeras letras de la ciudad correspondiente, por ejemplo, BOG para Bogotá, MED para Medellín, etc.

En las coordenadas proyectadas, las cuales corresponden con la opción *Transverse Mercator* en ArcGIS, después del identificador PCS, se indica el tipo de proyección "GK" para Gauss-Krüger, o "Cart" para Cartesianas, enseguida el datum "BOG" o "MAG" y el origen de coordenadas, por ejemplo B para Bogotá, W, para Oeste, etc. A continuación se presentan algunos ejemplos.

CGS_DatumBOGOTA: Sistema de coordenadas geográficas (CGS), datum BOGOTÁ

CGS_SIRGAS: Sistema de coordenadas geográficas (CGS), SIRGAS

PCS_GKBOGB: Sistema de coordenadas de proyección (PCS), Gauss-Krüger (GK), datum BOGOTÁ (BOG), prigen Bogotá (B)

PCS_GKMAGWW: Sistema de coordenadas de proyección (**PCS**), Gauss-Krüger (**GK**), datum MAGNA (**MAG**), origen Oeste Oeste (**WW**)

CGS_CartBOGBOG: Sistema de coordenadas geográficas (**CGS**), para una proyección cartesiana (**Cart**) (el radio ecuatorial del elipsoide se ha aumentado en una cantidad equivalente a la altura de proyección), en datum BOGOTÁ (**BOG**), para la ciudad de Bogota (**BOG**)

PCS_CartBOGBOG: Sistema de coordenadas de proyección (**PCS**), proyección cartesiana (**Cart**), en datum BOGOTÁ (**BOG**), para la ciudad de Bogotá (**BOG**).

CGS_CartMAGMED: Sistema de coordenadas geográficas (**CGS**), para una proyección cartesiana (**Cart**) (el radio ecuatorial del elipsoide se ha aumentado en una cantidad equivalente a la altura de proyección), en datum MAGNA (**MAG**), para la ciudad de Medellín (**MED**)

PCS_CartMAGMED: Sistema de coordenadas de proyección (**PCS**), proyección cartesiana (**Cart**), en datum MAGNA (**MAG**), para la ciudad de Medellín (**MED**).

Un sistema de proyección cartesiano, SIEMPRE llevará asociado un sistema de coordenadas geográficas que define el elipsoide correspondiente, es decir su eje mayor (o radio ecuatorial) aumentado en la altura del plano de proyección.

Proyección Gauss-Krüger, zona Bogotá (central), Datum BOGOTÁ:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_DatumBOGOTA	Nombre	PCS_GKBOGB
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_DatumBOGOTA	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	Internacional 1924	Falso Norte	1 000 000,0
Semieje mayor	6 378 388	Falso Oeste	1 000 000,0
Aplanamiento (1/f)	297	Meridiano Central	-74,080 916 667
Unidades angulares		Latitud de referencia	4,599 047 222
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,017 453 29...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_DatumBOGOTA	

Proyección Gauss-Krüger, zona Este (central), Datum BOGOTÁ:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_DatumBOGOTA	Nombre	PCS_GKBOGE
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_DatumBOGOTA	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	Internacional 1924	Falso Norte	1 000 000,0
Semieje mayor	6 378 388	Falso Oeste	1 000 000,0
Aplanamiento (1/f)	297	Meridiano Central	-71,080 916 667
Unidades angulares		Latitud de referencia	4,599 047 222
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,017 453 29...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_DatumBOGOTA	

Proyección Gauss-Krüger, zona Este Este, Datum BOGOTÁ:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_DatumBOGOTA	Nombre	PCS_GKBOGEE
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_DatumBOGOTA	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	Internacional 1924	Falso Norte	1 000 000,0
Semieje mayor	6 378 388	Falso Oeste	1 000 000,0
Aplanamiento (1/f)	297	Meridiano Central	-68,080 916 667
Unidades angulares		Latitud de referencia	4,599 047 222
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,017 453 29...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_DatumBOGOTA	

Procedimiento para la migración a **MAGNA-SIRGAS** de la cartografía existente referida al Datum **BOGOTÁ**, utilizando el software ArcGIS de ESRI



Proyección Gauss-Krüger, zona Oeste, Datum BOGOTÁ:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_DatumBOGOTA	Nombre	PCS_GKBOGW
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_DatumBOGOTA	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	Internacional 1924	Falso Norte	1 000 000,0
Semieje mayor	6 378 388	Falso Oeste	1 000 000,0
Aplanamiento (1/f)	297	Meridiano Central	-77,080 916 667
Unidades angulares		Latitud de referencia	4,599 047 222
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,017 453 29...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_DatumBOGOTA	

Proyección Gauss-Krüger, zona Oeste Oeste, Datum BOGOTÁ:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_DatumBOGOTA	Nombre	PCS_GKBOGWW
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_DatumBOGOTA	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	Internacional 1924	Falso Norte	1 000 000,0
Semieje mayor	6 378 388	Falso Oeste	1 000 000,0
Aplanamiento (1/f)	297	Meridiano Central	-80,080 916 667
Unidades angulares		Latitud de referencia	4,599 047 222
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,017 453 29...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_DatumBOGOTA	

Procedimiento para la migración a **MAGNA-SIRGAS** de la cartografía existente referida al Datum **BOGOTÁ**, utilizando el software **ArcGIS** de **ESRI**



Proyección Gauss-Krüger, zona Bogotá (central), Datum MAGNA-SIRGAS:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_SIRGAS	Nombre	PCS_GKMAGB
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_SIRGAS	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	GRS80	Falso Norte	1 000 000,0
Semieje mayor	6 378 137	Falso Oeste	1 000 000,0
Aplanamiento (1/f)	298,257 222 101	Meridiano Central	-74,077 507 917
Unidades angulares		Latitud de referencia	4,596 200 417
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,01745329...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_SIRGAS	

Proyección Gauss-Krüger, zona Este, Datum MAGNA-SIRGAS:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_SIRGAS	Nombre	PCS_GKMAGE
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_SIRGAS	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	GRS80	Falso Norte	1 000 000,0
Semieje mayor	6 378 137	Falso Oeste	1 000 000,0
Aplanamiento (1/f)	298,257 222 101	Meridiano Central	-71,077 507 917
Unidades angulares		Latitud de referencia	4,596 200 417
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,01745329...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_SIRGAS	

Procedimiento para la migración a **MAGNA-SIRGAS** de la cartografía existente referida al Datum **BOGOTÁ**, utilizando el software **ArcGIS** de **ESRI**



Proyección Gauss-Krüger, zona Este Este, Datum MAGNA-SIRGAS:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_SIRGAS	Nombre	PCS_GKMAGEE
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_SIRGAS	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	GRS80	Falso Norte	1 000 000,0
Semieje mayor	6 378 137	Falso Oeste	1 000 000,0
Aplanamiento (1/f)	298,257 222 101	Meridiano Central	-68,077 507 917
Unidades angulares		Latitud de referencia	4,596 200 417
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,01745329...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_SIRGAS	

Proyección Gauss-Krüger, zona Oeste, Datum MAGNA-SIRGAS:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_SIRGAS	Nombre	PCS_GKMAGW
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_SIRGAS	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	GRS80	Falso Norte	1 000 000,0
Semieje mayor	6 378 137	Falso Oeste	1 000 000,0
Aplanamiento (1/f)	298,257 222 101	Meridiano Central	-77,077 507 917
Unidades angulares		Latitud de referencia	4,596 200 417
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,01745329...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_SIRGAS	

Procedimiento para la migración a **MAGNA-SIRGAS** de la cartografía existente referida al Datum **BOGOTÁ**, utilizando el software **ArcGIS** de **ESRI**



Proyección Gauss-Krüger, zona Oeste Oeste, Datum MAGNA-SIRGAS:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_SIRGAS	Nombre	PCS_GKMAGWW
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_SIRGAS	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	GRS80	Falso Norte	1 000 000,0
Semieje mayor	6 378 137	Falso Oeste	1 000 000,0
Aplanamiento (1/f)	298,257 222 101	Meridiano Central	-80,077 507 917
Unidades angulares		Latitud de referencia	4° 35' 46,3215"
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,01745329...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_SIRGAS	

Para la proyección cartesiana se muestran algunos ejemplos, pero dado que existe un origen cartesiano específico para cada plano urbano, deben solicitarse los datos correspondientes a la División de Geodesia para configurar el sistema de coordenadas pertinente.

Proyección Cartesiana, Ciudad de Bogotá, Datum BOGOTÁ:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_CartBOGBOG	Nombre	PCS_CartBOGBOG
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_CartBOGBOG	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	Internacional Modificado	Falso Norte	109 320,965
Semieje mayor	6 378 388 + 2 250	Falso Oeste	92 334,879
Aplanamiento (1/f)	297	Meridiano Central	-75,15
Unidades angulares		Latitud de referencia	4,683 333 333
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,017 453 29...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
		Metros por unidad	1

Procedimiento para la migración a **MAGNA-SIRGAS** de la cartografía existente referida al Datum **BOGOTÁ**, utilizando el software ArcGIS de ESRI



Nombre	Greenwich	Sistema de coordenadas geográficas
Longitud	0° 0' 0"	CGS_CartBOGBOG

Proyección Cartesiana, Ciudad de Bogotá, Datum MAGNA:

Geographic coordinate system		Projected coordinate system	
Nombre	CGS_CartMAGBOG	Nombre	PCS_CartMAGBOG
Datum		Proyección	
Nombre	CGS_CartMAGBOG	Nombre	Transversa Mercator
Elipsoide		Parámetro	Valor
Nombre	GRS80 Modificado	Falso Norte	109 320,965
Semieje mayor	6 378 137 + 2 250	Falso Oeste	92 334,879
Aplanamiento (1/f)	298,257 222 101	Meridiano Central	-74,146 591 667
Unidades angulares		Latitud de referencia	4,680 486 111
Nombre	Degree (grados)	Factor de escala	1,0
Radianes por unidad	0,017 453 29...	Unidad lineal	
Meridiano de referencia		Nombre	Metro
Nombre	Greenwich	Metros por unidad	1
Longitud	0° 0' 0"	Sistema de coordenadas geográficas	
		CGS_CartMAGBOG	

Configuración de los parámetros de transformación oficiales para Colombia en el software ArcGIS de ESRI

La metodología de transformación de datum descrita en la ecuación 2 corresponde con el modelo *Coordinate Frame* de ArcGIS. La determinación de estos parámetros se ha hecho para ocho zonas en el país, cuya distribución según el índice de planchas del IGAC se ilustra en la figura 2. Los valores para cada zona se presentan en la tabla 13.

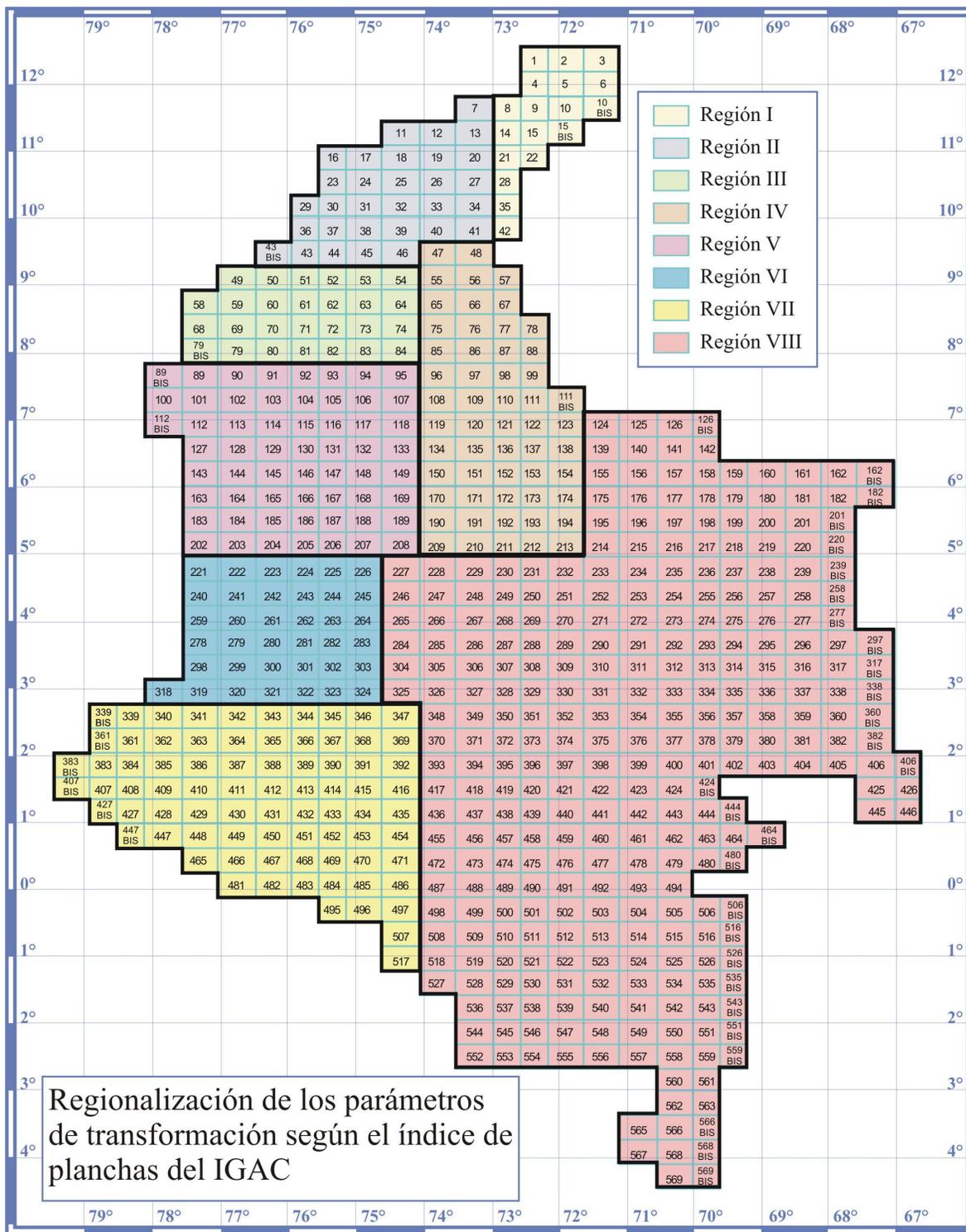


Figura 2 Regionalización de los parámetros de transformación en Colombia según el índice de planchas del IGAC

Tabla 13. Parámetros de transformación de Datum BOGOTÁ a MAGNA-SIRGAS en formato ArcGIS para el modelo Coordinate Frame.

Parámetro	Región I	Región II	Región III	Región IV
DeltaX [m]	-806.413	100.783	336.026	963.273
DeltaY [m]	-263.500	187.382	348.565	486.386
DeltaZ [m]	-622.671	-47.000	252.978	190.997
Escala [ppm]	-20.816	-13.566	-5.772	-13.899
RotX [s]	12.414	-9.224	-17.241	-16.485
RotY [s]	-2.991	2.424	-6.306	-1.669
RotZ [s]	-39.035	-8.308	1.562	21.693

Parámetro	Región V	Región VI	Región VII	Región VIII
DeltaX [m]	-90.290	-0.562	-305.356	221.899
DeltaY [m]	247.559	244.299	222.004	274.136
DeltaZ [m]	-21.989	-456.938	-30.023	-397.554
Escala [ppm]	2.182	3.747	6.326	-2.200
RotX [s]	-8.697	6.867	-9.690	2.808
RotY [s]	-4.188	-8.253	1.032	-0.449
RotZ [s]	-12.808	-9.297	-19.757	-2.810

PROCEDIMIENTO PARA LA MIGRACIÓN A *MAGNA-SIRGAS* DE LA CARTOGRAFÍA EXISTENTE REFERIDA AL DATUM BOGOTÁ, UTILIZANDO EL SOFTWARE ARCGIS DE ESRI

Este trabajo fue realizado en la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi por los ingenieros Laura Sánchez y Jorge Trejos en octubre de 2004



© Instituto Geográfico Agustín Codazzi – 1997
Prohibida la reproducción total o parcial sin la autorización previa del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.