

PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERENCIA PSAD 56 Y SIRGAS95 (WGS 84) PARA EL ECUADOR.

Ing. César A. Leiva G.
e-mail: cleiva@mail.igm.gov.ec
Departamento de Geodesia – IGM – Quito - Ecuador

I. Introducción.

Por muchos años, la mayoría de países utilizaban datums locales que tenían por objeto buscar el elipsoide de referencia que mejor se acople a la zona de interés. El Ecuador no fue la excepción y es así que adoptó como datum horizontal oficial el PSAD 56, que tiene como elipsoide de referencia *el Internacional de Hayford* y como punto origen *La Canoa* ubicado en la República de Venezuela.

La actual tendencia mundial del uso de GPS trae consigo la utilización de sistemas de referencia geocéntricos asociados a elipsoides globales como es el caso del sistema WGS 84. Este fenómeno mundial nos obliga a buscar mecanismos para compatibilizar los antiguos datums locales con los modernos sistemas de referencia (ver Figura 1).

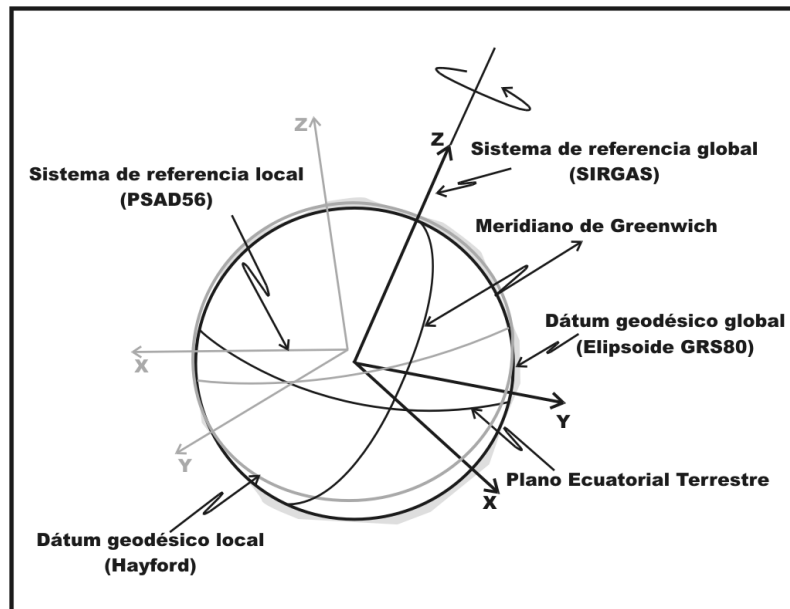


Figura 1. SISTEMAS DE REFERENCIA GEODÉSICOS

El Instituto Geográfico Militar conciente de los problemas presentados por la incompatibilidad de los resultados encontrados con el uso del sistema GPS y el datum PSAD 56, propone utilizar una plataforma geodésica, basada en el proyecto SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) para constituir su Red GPS Nacional enlazada a un sistema de referencia

geocéntrico (realización SIRGAS95) compatible con el sistema WGS 84.

Es así, que el IGM, actualmente, cuenta con dos marcos de referencia de primer orden para suplir las necesidades de los usuarios de información georeferenciada y la nueva tendencia mundial de utilizar sistemas geocéntricos de referencia. El vínculo entre estas dos plataformas de referenciación, son los parámetros de transformación, instrumento que permite viajar de un sistema a otro.

La DMA (**D**efense **M**apping **A**gency), actualmente NIMA (**N**ational **I**magery & **M**apping **A**gency), entregó unos parámetros de transformación entre los sistemas PSAD 56 y WGS 84 para el Ecuador, que los calculó mediante 11 puntos distribuidos en el Ecuador Continental y determinó solamente desplazamientos en X, Y y Z. Se ha comprobado que estos parámetros tienen errores de varios metros en algunas zonas, por lo cual, el IGM como organismo rector de la cartografía en el país, investigó el cálculo de nuevos parámetros de transformación entre estos dos sistemas.

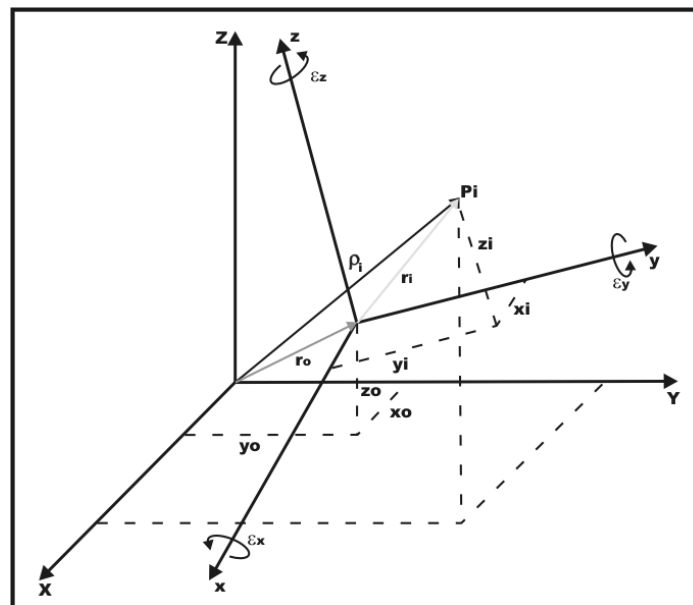


Figura 2. RELACIÓN ENTRE SISTEMAS DE REFERENCIA CARTESIANOS TRIDIMENSIONALES

II. Cálculo de 7 parámetros de Transformación para el Ecuador.

El cálculo, de estos nuevos parámetros, se basó en el modelo matemático de transformación de semejanza en espacio tridimensional. Esta transformación también es llamada transformación Isogonal, Conforme o de Helmert. El modelo matemático de esta transformación, expresa la relación entre dos sistemas de referencia por medio de tres traslaciones, tres rotaciones y un factor de escala (ver figura 2), según la siguiente expresión:

$$\rho_i = r_o + \kappa \cdot R_\epsilon \cdot r_i \quad . \quad (a.)$$

en lenguaje matricial:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ Z_o \end{bmatrix} + (1 + \delta) \cdot \begin{bmatrix} 1 & \epsilon_z & -\epsilon_y \\ -\epsilon_z & 1 & \epsilon_x \\ \epsilon_y & -\epsilon_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} \quad (b.)$$

Para el cálculo se utilizaron 42 puntos comunes en los dos sistemas y se aplicó el método paramétrico mediante mínimos cuadrados. Los 7 parámetros de transformación, resultantes, se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de Transformación del sistema PSAD 56 al sistema SIRGAS95 (WGS 84).

7 Parámetros de Transformación del sistema PSAD 56 al sistema SIRGAS95 (WGS 84)							
Parámetros	x_o (m)	y_o (m)	z_o (m)	ϵ_x (seg)	ϵ_y (seg)	ϵ_z (seg)	δ (ppm)
Valor	-60.310	245.935	31.008	-12.324	-3.755	7.370	0.447
$\frac{1.96 * RMS}{\sqrt{n}}$	± 1.900	± 1.172	± 1.698	± 0.055	± 0.0371	± 0.062	± 0.177

Nota: La transformación de semejanza en espacio tridimensional es en doble sentido, es decir, se puede transformar del sistema PSAD 56 al sistema SIRGAS95 (WGS 84) y viceversa (ver expresión b). El signo de los parámetros calculados, si se quiere aplicar directamente en la expresión b para transformar del sistema SIRGAS95 (WGS 84) al PSAD 56, se invierten.

III. Consideraciones en el uso de los 7 parámetros de transformación.

Realizado un análisis del comportamiento de los parámetros calculados y los parámetros entregados por la NIMA ($T_x = -278$; $T_y = 171$; $T_z = -367$) se llega a la conclusión de que los 7 parámetros de transformación dan mejores resultados.

La precisión de las coordenadas transformadas depende de la precisión de los parámetros de transformación y la precisión de los parámetros de transformación depende de la precisión de las coordenadas de los puntos comunes a los dos sistemas.

Sistema Global (GPS): Alta precisión (cm ... mm)

Sistema local: (m ... dm)

Los parámetros de transformación son indispensables para la representación de los levantamientos GPS en las cartografías nacionales.

La transformación de coordenadas clásicas (referidas a los dátum locales) al Sistema Global sólo debe utilizarse para aplicaciones de MUY BAJA precisión, un punto PSAD56 transformado NO PUEDE ser utilizado como base para un levantamiento GPS.

Analizado el error obtenido al evaluar los parámetros en puntos de control, se puede concluir que para fines cartográficos se puede usar puntos transformados hasta escalas 1:25000 y menores.

IV. Ejemplo de aplicación de los 7 parámetros de transformación.

En la mayoría de programas especializados, de cartografía, sistemas de información geográfica, transformación de coordenadas, geodesia, entre otros, se tiene la opción para ingresar parámetros de transformación entre datums . Los pasos generales que siguen, estos programas para transformar coordenadas, son los siguientes:

EJEMPLO DE TRANSFORMACIÓN DEL SISTEMA SIRGAS95 (WGS 84) AL SISTEMA PSAD 56

**Conversión Coord. Geográficas
a Coord. Cartesianas**

**Conversión Coord. Cartesianas
a Coord. Geográficas**

**COORD. GEOGRÁFICAS EN
EL SISTEMA SIRGAS95
(WGS 84)**

Latitud:
 $\varphi = 03^{\circ}10'55.0312''\text{S}$
 Longitud:
 $\lambda = 79^{\circ}01'39.8656''\text{W}$
 Altura Elipsoidal:
 $h = 3510.576\text{ mts.}$

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ Z_o \end{bmatrix} + (1 + \delta) \cdot \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}$$

ALGORITMO DE TRANSFORMACIÓN

**COORDENADAS
GEOGRÁFICAS EN EL
SISTEMA PSAD 56**

Latitud:
 $\varphi = 03^{\circ}10'43.0106''\text{S}$
 Longitud:
 $\lambda = 79^{\circ}01'32.0199''\text{W}$
 "Altura Elipsoidal":
 $h = 3511.090\text{ mts.}$



**PARÁMETROS DE
TRANSFORMACIÓN
(DEL SIRGAS95 -WGS 84-
AL PSAD56)**

$x_o\text{ (m)} = 60.310$
 $y_o\text{ (m)} = -245.935$
 $z_o\text{ (m)} = -31.008$
 $\varepsilon_x\text{ (seg)} = 12.324$
 $\varepsilon_y\text{ (seg)} = 3.755$
 $\varepsilon_z\text{ (seg)} = -7.370$
 $\delta\text{ (ppm)} = -0.447$

**Conversión Coord. Geográficas
a Coord. Planas**

**COORDENADAS PLANAS
UTM 17S SISTEMA PSAD
56**

Este:
 $E = 719421.964\text{ mts.}$
 Norte:
 $N = 9648450.493$

Vértice: Tinajillas

EJEMPLO DE TRANSFORMACIÓN DEL SISTEMA PSAD 56 AL SISTEMA SIRGAS95 (WGS 84)

**Conversión Coord. Geográficas
a Coord. Cartesianas**

**Conversión Coord. Cartesianas
a Coord. Geográficas**

**COORDENADAS
GEOGRÁFICAS EN EL
SISTEMA PSAD 56**

Latitud:
 $\phi = 03^{\circ}10'42.9880''$ S
 Longitud:
 $\lambda = 79^{\circ}01'32.0170''$ W
 Altura referida al nivel
 medio del mar:
 H = 3488.193 mts.

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ Z_o \end{bmatrix} + (1 + \delta) \cdot \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}$$

ALGORITMO DE TRANSFORMACIÓN

**COORD. GEOGRÁFICAS EN
EL SISTEMA SIRGAS95
(WGS 84)**

Latitud:
 $\phi = 03^{\circ}10'55.0085''$ S
 Longitud:
 $\lambda = 79^{\circ}01'39.8623''$ W
 "Altura Elipsoidal":
 h = 3509.719 mts.

**Geoide Disponible: h=H+η
Geoide No disponible: h=H**

**Conversión Coord. Geográficas
a Coord. Planas**

**PARÁMETROS DE
TRANSFORMACIÓN
(DEL PSAD 56 AL
SIRGAS95 -WGS 84-)**

x_o (m) = -60.310
 y_o (m) = 245.935
 z_o (m) = 31.008
 ε_x (seg) = -12.324
 ε_y (seg) = -3.755
 ε_z (seg) = 7.370
 δ (ppm) = 0.447

**COORD. PLANAS UTM
17S SISTEMA SIRGAS95
(WGS 84)**

Este:
 E = 719170.436 mts.
 Norte:
 N = 9648086.198 mts.

Vértice: Tinajillas

V.

Referencias Bibliográficas:

- Leick, A., 1990. GPS Satellite Surveying. John Wiley & Sons.
- Ferreira, M., 1999. Una Propuesta para Compatibilización entre Realizaciones de Referencia Geodésicos. Universidad Federal de Paraná, Brasil.
- Gemaël, C., 1994. Introducción al Ajuste de Observaciones – Aplicaciones Geodésicas. Brasil.
- Teunissen P., Kleusberg, A., 1998. GPS for Geodesy. Springer, New York.
- Drewes, H., Sánchez, L., 2002. Curso de Sistemas de Referencia en Geodesia. Quito - Ecuador.
- Calero, E., González, F., 2002. III Curso de GPS en Geodesia y Cartografía. Instituto Geográfico Nacional de España, Cartagena de Indias – Colombia.
- Tremel, H., Urbina, R., 2000. Processing of the Ecuadorian National GPS Network within the SIRGAS Reference Frame. DGFI, Munchen – Germany.
- Leiva, C., 2003. Proyecto de Grado “Determinación de Parámetros de Transformación entre los Sistemas PSAD 56 y WGS 84 para el país”. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí - Ecuador.
- www.sirgas.org