

# **SISTEMA GEODÉSICO NACIONAL**

(Versión 1.4)

Dirección General de Geografía  
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

## 1. INTRODUCCIÓN

---

La definición del Sistema Geodésico Nacional representa una versión actualizada con respecto al adoptado en las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos publicadas el 1° de abril de 1985 y sus modificaciones del 28 de abril de 1998.

El presente documento tiene como propósito definir el Sistema Geodésico Nacional en sus tres vertientes:

Geodésica Horizontal  
Geodésica Vertical  
Geodésica Gravimétrica

Las cuales invariablemente deberán de ser adoptadas en todo los trabajos que se hacen dentro de las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal, ya sea por sí mismas o por contratación, que requieran georreferenciación. Se recomienda su adopción por las entidades federativas y municipales que tengan necesidad de realizar trabajos similares, así como por las empresas privadas e instituciones académicas relacionadas con el área geográfica.

Cabe destacar que un mismo punto de la superficie terrestre puede pertenecer a los tres tipos de vertientes simultáneamente, en tanto cumpla con las características requeridas a que se hace referencia más adelante, para cada una de ellas.

Se define como Red Geodésica Nacional al conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, establecidos físicamente mediante monumentos o marcas físicas más o menos permanentes, sobre los cuales se han hecho medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición, y altura o del campo gravimétrico asociado, con relación al sistema de referencia considerado.

Para los efectos del punto anterior, se adopta como Sistema Geodésico Nacional el conceptualizado por la Asociación Internacional de Geodesia a través del Sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS80) definido por los siguientes parámetros [Moritz, 1980]:

|   |                |  |
|---|----------------|--|
| Semieje mayor                           | a              | 6 378 137 m  |
| Velocidad angular                       | $\omega$       | $7\ 292\ 115 \times 10^{-11}$ rad/seg                      |
| Constante gravitacional geocéntrica     | GM             | $3\ 986\ 005 \times 10^8$ m <sup>3</sup> /seg <sup>2</sup> |
| Factor dinámico de forma no normalizado | J <sub>2</sub> | $108\ 263 \times 10^{-8}$                                  |

Y cuyas principales constantes geométricas y físicas derivadas son:

|   |            |                      |
|---|------------|----------------------|
| Semieje menor   | b          | 6 356 752.314 1 m    |
| Excentricidad lineal  | E          | 521 854.009 7 m      |
| Radio polar   | c          | 6 399 593.625 9 m    |
| Primera excentricidad al cuadrado   | $e^2$      | 0.006 694 380 022 90 |
| Segunda excentricidad al cuadrado   | $e'^2$     | 0.006 739 496 775 48 |
| Achatamiento  | f          | 0.003 352 810 681 18 |
| Recíproco del achatamiento  | f-1        | 298.257 222 101      |
| Cuadrante meridiano   | Q          | 10 001 965.729 3 m   |
| Radio medio   | R1         | 6 371 008.771 4 m    |
| Radio de la esfera de la misma superficie   | R2         | 6 371 007.181 0 m    |
| Radio de la esfera del mismo volumen  | R3         | 6 371 000.790 0 m    |
| Gravedad normal en el ecuador   | $\gamma_e$ | 978 032.677 15 mGals |
| Relación de la aceleración centrífuga con respecto a la gravedad normal en el ecuador | m          | 0.003 449 786 003 08 |

El Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), el cual fue recomendado para su adopción por todos los países del continente durante la séptima Conferencia Cartográfica Regional de las Naciones Unidas para las Américas, que servirá de base para la construcción de la Infraestructura de Datos Espaciales de las Américas, desde el punto de vista cartográfico, es compatible con el Sistema Geodésico de Referencia adoptado para México; por lo que sólo en aquellos casos en que sea requerida una alta exactitud posicional se deberá realizar la transformación entre los sistemas en cuestión. En un documento por separado el INEGI dará a conocer los parámetros y fórmulas necesarios para esta transformación

## 2. SISTEMA GEODÉSICO HORIZONTAL

---

Todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico horizontal, deberá estar referido al Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) definido por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para el año 2000, con datos de la época 2004.0 denominado ITRF00 época 2004.0 asociado al GRS80, el cual es el Marco de Referencia oficial para México.

Los levantamientos geodésicos horizontales; son aquellos que comprenden una serie de medidas efectuadas en el campo, cuyo propósito final consiste en determinar las coordenadas geodésicas (geográficas) horizontales de puntos situados sobre la superficie terrestre.

La posición horizontal de un punto [FIG. 1] se representa por la latitud geodésica ( $\phi$ ), definida como el ángulo formado por la normal al elipsoide que pasa por el punto en cuestión y el ecuador; la longitud geodésica ( $\lambda$ ), definida por el ángulo diedro formado por el plano del meridiano de Greenwich y el plano del meridiano que contiene al punto. En el caso de los levantamientos tridimensionales se puede contar con la altura geodésica ( $h$ ) la cual se define como la distancia entre el elipsoide de referencia y el punto en cuestión, medida sobre la normal al elipsoide.

En el Sistema Cartesiano Tridimensional [FIG. 2], definido en el ITRF, el origen es el centro de masa de la totalidad de la Tierra, incluyendo los océanos y la atmósfera. La unidad de longitud es el metro definido por el Sistema Internacional de Unidades, en un marco terrestre local de acuerdo a la teoría relativista de la gravitación. La orientación de sus ejes es consistente con el sistema BIH (Oficina Internacional de la Hora, por sus siglas en francés) para la época 1984.0 dentro de  $\pm 3$  milisegundos de arco. Su evolución en el tiempo con relación a la orientación es tal que no existe rotación residual relativa con respecto a la corteza terrestre. El eje Z pasa por el Polo de Referencia Internacional (IRP, por sus siglas en inglés); el eje X pasa por la intersección del meridiano internacional de referencia con el ecuador; y el eje Y se escoge de tal forma que se tenga un sistema de mano derecha (dextrógiro).

### 2.1 LA RED GEODÉSICA NACIONAL ACTIVA

La Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) está conformada inicialmente por 15 estaciones establecidas en el estándar de exactitud posicional de 5 centímetros, las cuales registran, a intervalos de 15 segundos, durante las 24 horas del día, la información de las dos frecuencias transmitidas por los satélites de la constelación NAVSTAR que forman el sector espacial del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) La localización de dichas estaciones se presenta en la Tabla 2-1, la denominación y posición geodésica de cada una de ellas puede ser consultada en la página del INEGI en Internet <http://www.inegi.gob.mx/>. Se prevé un crecimiento en el número de estaciones conforme otras Instituciones y Organismos

gubernamentales instalen estaciones permanentes GNSS y deseen integrarse a esta red.

La RGNA proporciona el marco de referencia fundamental del país para todos los trabajos de posicionamiento geodésico que realizan las Dependencias y las entidades de la Administración Pública Federal. Está caracterizada por una exactitud compatible con las tecnologías modernas de posicionamiento y facilita el uso de éstas, compartiendo los datos para georeferenciación espacial entre usuarios de diversos sectores de la actividad geográfica, reduciendo significativamente los costos para la elaboración de trabajos que requieran conocer la ubicación de puntos y las relaciones geométricas que existan entre ellos.

La RGNA constituye una base posicional consistente para el levantamiento de nuevos vértices, proporcionando el estándar de exactitud posicional más alto actualmente disponible en México. Para el establecimiento de la RGNA se contó con la colaboración del National Geodetic Survey de los Estados Unidos de América, realizándose ligas a estaciones de interferometría de bases muy largas a fin de alcanzar la máxima exactitud posible.

| LOCALIZACIÓN         |
|----------------------|
| Campeche, Camp.      |
| Chetumal, QR.        |
| Chihuahua, Chih.     |
| Colima, Col.         |
| Culiacán, Sin.       |
| Hermosillo, Son.     |
| Aguascalientes, Ags. |
| La Paz, BCS          |
| Mérida, Yuc.         |
| Mexicali, BC.        |
| Monterrey, NL.       |
| Oaxaca, Oax.         |
| Tampico, Tams.       |
| Toluca, EM.          |
| Villahermosa, Tab.   |

**Tabla 2-1** Estaciones de la RGNA

## 2.2 LA RED GEODÉSICA NACIONAL PASIVA

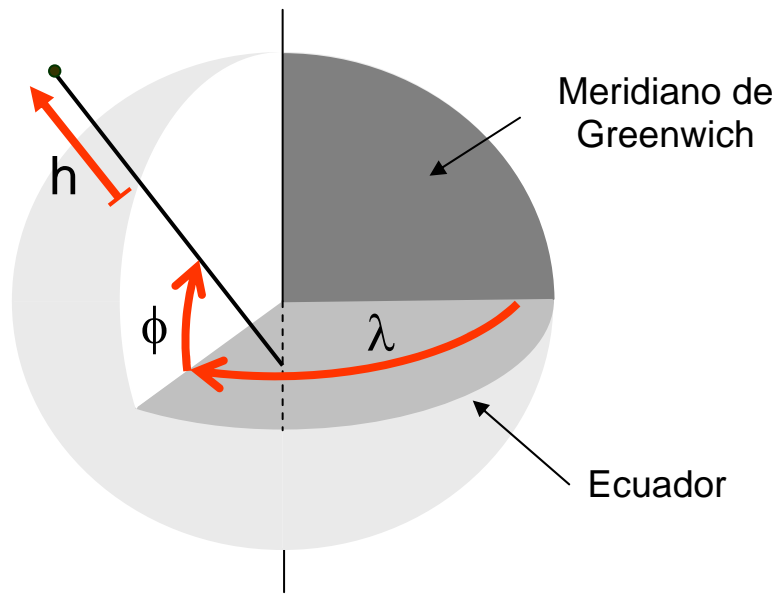
Está constituida por vértices geodésicos distribuidos en la República Mexicana (<http://www.inegi.gob.mx/>), dichos vértices reciben el nombre de "estaciones GPS" y están materializados sobre el terreno, mediante una placa empotrada que identifica al punto. Las coordenadas que definen su posición han sido generadas a partir de levantamientos utilizando el Sistema de Posicionamiento Global y ligados

a la RGNA, lo cual las dota de valores de posición referidas al ITRF00 época 2004.0

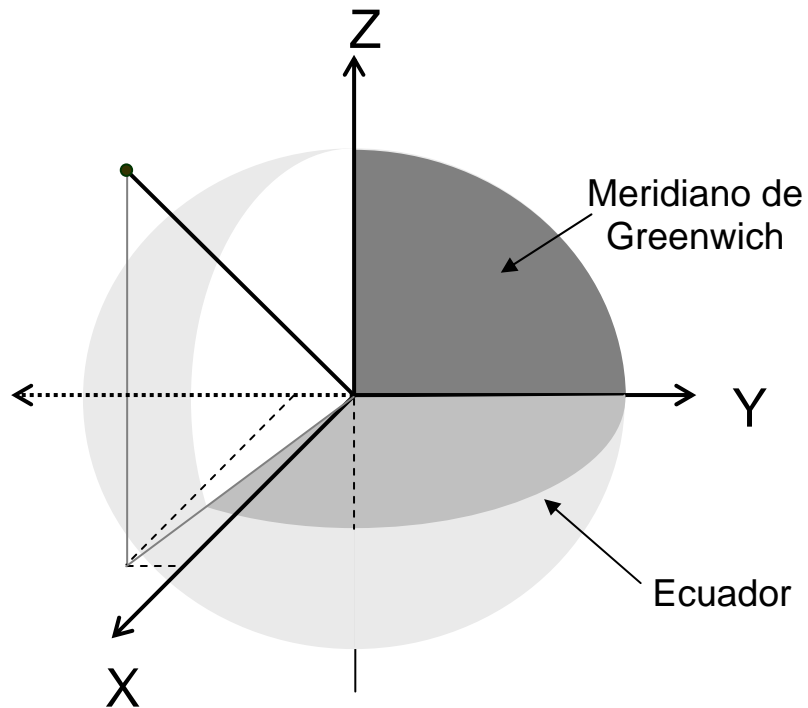
### 2.3 CONVERSIÓN ENTRE COORDENADAS GEODÉSICAS (GEOGRÁFICAS) Y CARTESIANAS

La conversión entre coordenadas geodésicas (geográficas) -latitud, longitud y altura geodésica- [fig. 1] y coordenadas cartesianas tridimensionales (X, Y, Z) [fig. 2] se debe hacer con las siguientes fórmulas cerradas. Es esencial que se empleen los parámetros correspondientes del GRS80. [Soler et. al, 1988]

| GEODÉSICAS A CARTESIANAS  | CARTESIANAS A GEODÉSICAS   |
|---|--|
| $X = (v + h) \cos \phi \cos \lambda$ $Y = (v + h) \cos \phi \sin \lambda$ $Z = ((1 - e^2)v + h) \sin \phi$ <p>Donde:</p> $v = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}}$ $e^2 = 2f - f^2$ $h \cong N + H$ | $\lambda = \tan^{-1} \frac{Y}{X}$ $\phi = \tan^{-1} \frac{(Z + e^2 a \sin^3 u / (1 - f))}{(p - e^2 \sin^3 u)}$ $h = p \cos \phi + Z \sin \phi - a(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}$ <p>Donde:</p> $p = (X^2 + Y^2)^{1/2}$ $u = \tan^{-1} \frac{Z(1 - f)}{p} \left[ 1 + \frac{e^2 a}{r(1 - f)} \right]$ $r = (p^2 + Z^2)^{1/2}$ |



**Figura 1.** Coordenadas geodésicas curvilíneas



**Figura 2.** Coordenadas cartesianas tridimensionales

## **2.4 TRANSFORMACIÓN ENTRE SISTEMAS DE REFERENCIA**

La transformación de coordenadas geodésicas ITRF92 época 1988.0 a ITRF00 época 2004.0 y viceversa, se deberá de realizar mediante la aplicación del programa que para tal efecto tenga publicado el INEGI

### 3. SISTEMA GEODÉSICO VERTICAL

En lo que respecta a las alturas, todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico vertical, deberá estar referido al nivel de referencia vertical definido por el Datum Vertical Norteamericano de 1988 (NAVD88), debiéndose expresar sus valores en metros en el sistema de alturas ortométricas (H) derivado de los números geopotenciales.

Los levantamientos geodésicos verticales comprenderán todas aquellas operaciones de campo dirigidas a determinar la distancia vertical que existe entre puntos situados sobre o cerca de la superficie terrestre y el nivel de referencia definido por el NAVD88.

En el caso de que se cuente con una altura geodésica (h), ésta se deberá de transformar a altura ortométrica por medio de la generación de la altura geoidal (N) [fig. 3] a través del modelo geoidal vigente y disponible en el INEGI (<http://www.inegi.gob.mx/>), teniéndose que:

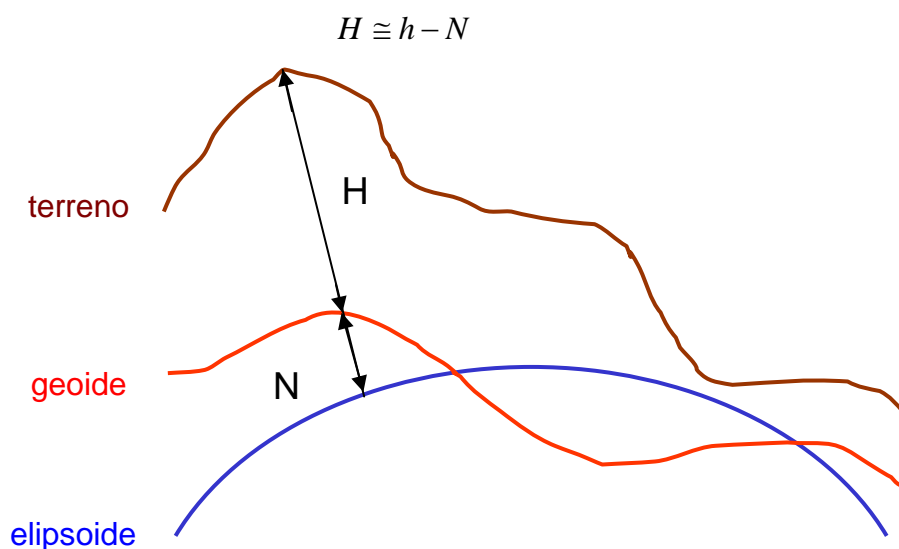


Figura 3. Superficies fundamentales

## 4. SISTEMA GEODÉSICO GRAVIMÉTRICO

En lo relativo a la gravedad, todo punto perteneciente a un levantamiento gravimétrico de propósito geodésico deberá estar referido a la Red Internacional de Estandarización de la Gravedad de 1971 (IGSN71), de la cual México forma parte.

Los levantamientos geodésicos gravimétricos; son aquellos que comprenden la medida de valores absolutos o relativos del valor de la gravedad sobre puntos situados en o cerca de la superficie terrestre, cuyo propósito consiste fundamentalmente en determinar el campo gravimétrico existente y su relación e influencia con los levantamientos geodésicos horizontales y verticales.

En caso de requerirse determinar anomalías gravimétricas, éstas se deberán de generar en función de los siguientes modelos matemáticos, en los cuales se han considerado los parámetros y constantes geométricas y físicas derivadas del GRS80 [Heskanen y Moritz, 1967].

Anomalía gravimétrica:

$$\Delta g = g - \gamma + A$$

donde:

|  |                        |
|--|------------------------|
| $\Delta g$   | Anomalía de gravedad   |
| $g$  | Gravedad observada     |
| $\gamma = \gamma_e \frac{1 + 0.00193185138639 \text{sen}^2 \phi}{\sqrt{1 - 0.00669437999013 \text{sen}^2 \phi}}$ | Gravedad normal        |
| $A = 0.8658 - 9.727 \times 10^{-5} H + 3.482 \times 10^{-9} H^2$   | Corrección atmosférica |
| $\phi$   | Latitud geodésica      |
| $H$  | Altura ortométrica     |

Anomalía al aire libre:

$$\Delta g_{AL} = \Delta g + CAL$$

donde:

|  |                          |
|--|--------------------------|
| $\Delta g_{AL}$  | Anomalía al aire libre   |
| $CAL$  | Corrección al aire libre |
| $CAL = 0.30668286904154 \left( 1.00001156648136 - 1.43396554277 \times 10^{-3} \text{sen}^2 \phi \right) H - 7.2125184 \times 10^{-8} H^2$ |                          |

Anomalía de Bouguer:

$$\Delta g_B = \Delta g_{AL} + CB$$

donde:

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| CB                                      | Corrección de Bouguer sencilla |
| $CB = 2\pi\rho_0 H^0(\Omega) = 0.1119H$ |                                |

Anomalía de Bouguer completa:

$$\Delta g_{CB} = \Delta g_B + CT$$

donde:

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| CT   | Corrección topográfica         |
| $CT = \frac{G\rho R^2}{2} \iint_{\sigma} \frac{(H - H_p)^2}{l_0^3} d\sigma$  |                                |
| G  | Constante gravitacional        |
| $\rho = 2.67 \text{ gcm}^{-3}$   | Densidad promedio de la Tierra |
| R  | Radio terrestre promedio       |
| $H_p$  | Altura ortométrica promedio    |
| $l_0 = 2R \text{sen} \frac{\Psi}{2}$   |                                |
| $\text{sen} \frac{\Psi}{2} = \left[ \text{sen}^2 \frac{\phi_p - \phi}{2} + \text{sen}^2 \frac{\lambda_p - \lambda}{2} \left( \cos^2 \phi_m - \text{sen}^2 \frac{\phi_p - \phi}{2} \right) \right]$ |                                |

Heiskanen, W. y Moritz H. (1967). Physical Geodesy. Reimpresión Universidad Técnica de Gratz.

Moritz, H. Geodetic Reference System 1980. Bulletin Géodésique. Vol. 54, No. 3. Paris, France. 1980.

Soler, T. y Hothem L. D. - (1988) "Coordinate Systems Used in Geodesy: Basic Definitions and Concepts," Journal of Surveying Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol 114, No. 2, pp 84-97.