

Guía metodológica de la Red Gravimétrica

2017



**INSTITUTO NACIONAL
DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA**

Instituto Nacional de Estadística y Geografía

**Guía metodológica de la
Red Geodésica Gravimétrica
2017**



**INSTITUTO NACIONAL
DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA**

Obras complementarias publicadas por el INEGI sobre el tema:

Norma Técnica del Sistema Geodésico Nacional; Norma Técnica de Estándares de Exactitud Posicional; Diccionario de Datos Geodésicos.

Catalogación en la fuente INEGI:

912.014 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México).
Guía metodológica de la Red Geodésica Gravimétrica 2017 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México : INEGI, c2017.

viii, 47 p.

1. Geodesia. 2. Cartografía - Metodología

Conociendo México

01 800 111 4634

www.inegi.org.mx

atencion.usuarios@inegi.org.mx



INEGI Informa



@INEGI_INFORMA

DR © 2017, **Instituto Nacional de Estadística y Geografía**

Edificio Sede

Avenida Héroe de Nacozari Sur 2301

Fraccionamiento Jardines del Parque, 20276 Aguascalientes,

Aguascalientes, Aguascalientes, entre la calle INEGI,

Avenida del Lago y Avenida Paseo de las Garzas.

Presentación

El **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)** pone a disposición de los usuarios externos la **Guía Metodológica de la Red Geodésica Gravimétrica (versión 3)**, para quienes por sus actividades, investigaciones o estudios profesionales estén relacionados con las mediciones o los cálculos de la aceleración de la gravedad y para las Unidades de Estado, que por sí mismas o a través de terceros realicen levantamientos gravimétricos, con el propósito de dar a conocer los aspectos conceptuales que permitan la captación, revisión, análisis, procesamiento de la información gravimétrica y su integración al Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG).

El **INEGI** realiza mediciones gravimétricas en el Territorio Nacional mediante el uso de gravímetros digitales y/o analógicos, y las incorpora a la Red Internacional de Estandarización de la Gravedad de 1971 (IGSN71, por sus siglas en inglés).

El presente documento describe cómo se realiza el establecimiento de las estaciones base de gravedad y levantamientos regionales de estaciones gravimétricas.

La guía metodológica es revisada periódicamente y actualizada conforme al avance científico, tecnológico y a las nuevas necesidades.

Índice

Introducción	VII
1. Aspectos generales	1
1.1 Definición	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Marco jurídico	1
1.4 Objetivo general	1
1.5 Importancia de los levantamientos gravimétricos	2
1.6 Insumos que generan los levantamientos gravimétricos	2
1.7 Referente a las normas	2
2. Marco conceptual	3
2.1 Gravedad y geodesia	3
2.2 Definición y propósito de la gravimetría	4
2.3 Definiciones fundamentales	4
2.4 Redes gravimétricas	7
2.5 Líneas de calibración	8
2.5.1 Línea de calibración norteamericana	8
2.5.2 Líneas de calibración en México	8
2.5.3 Línea de calibración de Jalpa	8
2.5.4 Línea de calibración Veracruz-Sierra Negra	8
2.5.5 Línea de calibración Acapulco-UNAM	9
2.6 Métodos de levantamientos gravimétricos y equipamiento	9
3. Guía Metodológica de la Red Geodésica Gravimétrica	11
3.1 Planeación	11
3.2 Elaboración del proyecto	11
3.3 Definición de la zona de trabajo	11
3.4 Verificación del gravímetro	12
3.5 Establecimiento de estaciones de primer orden (estación base de gravedad)	12

3.5.1 Medición en campo	12
3.5.2 Procesamiento de los datos	13
3.5.3 Validación e integración de resultados	14
3.5.4 Denominación de estaciones base	15
3.5.5 Marca de estación	15
3.6 Establecimiento de estaciones de segundo orden (estación geodésica gravimétrica)	15
3.6.1 Medición en campo	15
3.6.2 Denominación de estación geodésica gravimétrica	17
3.6.3 Especificaciones para la densificación gravimétrica	17
3.6.4 Validación e integración de resultados	19
Anexo	21
A. Formato de descripción de la estación base	23
B. Especificaciones generales para la monumentación	26
C. Formato de hoja resumen de información gravimétrica	28
D. Formato de Control de Densificación Gravimétrica carta escala 1: 50 000	30
E. Método gráfico para la obtención de coordenadas geográficas y altura ortométrica	31
F. Elaboración de metadatos	39
G. Administración de riesgos	41
Glosario	43
Bibliografía	47

Introducción

El **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)** presenta la **Guía Metodológica de la Red Geodésica Gravimétrica** para dar a conocer a todos los interesados los aspectos metodológicos que sirven de fundamento para planear, ejecutar y poner a disposición la información correspondiente a la medición de la aceleración de la gravedad en el Territorio Nacional, con lo que responde de manera efectiva a suministrar a la sociedad y el Estado información de calidad, pertinente, veraz y oportuna, a efecto de coadyuvar al desarrollo nacional.

La Guía Metodológica de la Red Geodésica Gravimétrica aborda tanto los aspectos generales de las mediciones de la aceleración de la gravedad, su marco conceptual; así como la parte operativa y de integración de la información gravimétrica. Como se expondrá a continuación.

En el primer capítulo de esta guía se abordan los aspectos generales de los levantamientos gravimétricos, sus antecedentes, marco jurídico, objetivo, entre otros aspectos, con los que el lector tendrá un panorama general acerca de la trascendencia, importancia y utilidad que posee la información que se capta.

El segundo capítulo describe el marco conceptual que da sustento teórico a la actividad de medición de la aceleración de la gravedad; se abordan definiciones, clasificaciones, marco de referencia, equipos de medición y la metodología.

El tercer capítulo muestra información acerca de los operativos de campo, donde se incluyen las distintas etapas y periodos de levantamiento; también se definen aspectos como la planeación a detalle de los operativos, entre otros.

El cuarto capítulo describe algunos aspectos relativos a la revisión, análisis y el procesamiento de la información.

Este documento, además, incluyen los anexos: Instructivo de llenado del formato descripción de estación base; Especificaciones generales para la monumentación; Formato de Hoja Resumen de información gravimétrica, el Método para la obtención de coordenadas geográficas y altura ortométrica, normatividad aplicable en la generación de metadatos además del apartado de administración de riesgos.

1. Aspectos generales

1.1 Definición

El Sistema Geodésico Nacional es el conjunto de conceptos, tecnologías, instrumentos científicos, recursos informáticos, materiales, humanos, normas y servicios de información en la materia, empleados para definir en una época específica la forma y dimensiones del globo terrestre o de parte del mismo, su campo gravimétrico externo, y determinar la ubicación espacial de puntos para los fines de georreferenciación; esto es, de todo objeto que se ubique o pueda ser ubicado en el espacio geográfico, inclusive datos de carácter socioeconómico y, de hecho, de cualquier índole.

La Red Geodésica Gravimétrica constituye una de las tres vertientes del Sistema Geodésico Nacional y está representada por el conjunto de puntos situados sobre la superficie del Territorio Nacional, en donde se realizan mediciones de la gravedad.

1.2 Antecedentes

Si bien los levantamientos gravimétricos pueden remontarse hasta principios del siglo XX con los trabajos que realizó la Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos, fundada en 1915 y sucesora de la Comisión Geodésica Mexicana, dirección que, además de su función cartográfica, realizó también algunos estudios e investigaciones en campos como el de la climatología, sismología y gravimetría. Cabe hacer mención de los trabajos posteriores llevados a efecto por el Instituto de Geofísica de la UNAM, con el apoyo del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) y el Servicio Geodésico Interamericano (IAGS), contribuyeron al establecimiento de líneas de calibración gravimétrica continental y el establecimiento de estaciones base. Desde 1947 PEMEX, el Consejo de Recursos Minerales, el Instituto de Oceanografía de Manzanillo, entre otros, tienen información gravimétrica. Actualmente la Dirección General de Geografía y Medio ambiente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es la responsable de la Red Geodésica Gravimétrica, de su mantenimiento y densificación, además de proporcionar los correspondientes servicios de información.

1.3 Marco jurídico

Artículos 2, 26, 65, 78 y 99 de la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (LSNIEG).

1.4 Objetivo general

Generar y proporcionar información de la Red Geodésica Gravimétrica para el grupo de datos del marco de referencia geodésico conforme a los artículos 26 y 99 de la LSNIEG, mediante la aplicación de metodologías

comprobadas y sustentadas en estándares internacionales, con el objeto de que los usuarios vinculen sus estudios geográficos a dicha red.

Objetivo adicional

Proporcionar la guía metodológica para el establecimiento de estaciones base de gravedad (primer orden) y estaciones geodésicas gravimétricas (segundo orden), para conocer la distribución del campo gravimétrico externo, permitir la elaboración de cartas gravimétricas y brindar apoyos externos para estudios de geodesia, geofísica y geología.

1.5 Importancia de los levantamientos gravimétricos

La importancia de la Red Geodésica Gravimétrica (RGG) para el INEGI radica precisamente en su objetivo al proporcionar el insumo básico para llegar al conocimiento del geoide en México y de sus características, de modo que la relación con el elipsoide quede bien definida. Para las Unidades de Estado que tienen la facultad de obtener Información de Interés Nacional, su importancia radica en la vinculación de sus actividades con la RGG, y servirá de apoyo con el fin de evitar duplicar esfuerzos en la generación de dicha información.

1.6 Insumos que generan los levantamientos gravimétricos

Todo levantamiento genera valores de aceleración de la gravedad, anomalía del aire libre, anomalía simple de Bouguer, anomalía completa de Bouguer y corrección topográfica.

El INEGI cuenta con una red de Estaciones Base de Gravedad (EBG) que cubre parte del Territorio Nacional, y que es mantenida y densificada permanentemente.

1.7 Referente a las normas

Las estaciones geodésicas gravimétricas deben apegarse a las normas técnicas que para el efecto se han publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF):

Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos de 1985 reformadas en abril de 1998.

Norma Técnica para el Sistema Geodésico Nacional publicada el 23 de diciembre de 2010.

Norma Técnica de Estándares de Exactitud Posicional publicada el 23 de diciembre de 2010

2. Marco conceptual

2.1 Gravedad y geodesia

En 1687 Isaac Newton derivó su principio de gravitación universal. Este principio dice: “La fuerza de atracción mutua entre dos cuerpos es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa”. Si uno de los cuerpos es infinitamente mayor que el otro –como es el caso de la Tierra y los cuerpos que en ella se encuentran–, el cuerpo mayor atrae al cuerpo menor. Esta fuerza de atracción es la que se conoce como fuerza de gravitación, la cual es afectada por la fuerza centrífuga debida a la rotación terrestre. La resultante de estas dos fuerzas es conocida como gravedad. Se simboliza por g y se mide en Gales, donde:

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm} / \text{seg}^2$$

Una unidad más práctica es el miliGal (mGal) que es la milésima parte de un Gal.

La distribución heterogénea de más masas de la Tierra causa que el valor de la gravedad varíe de lugar en lugar, haciendo que la figura compensada de la Tierra –conocida como geoide– guarde una forma irregular. El geoide es aquella superficie definida por el nivel medio del mar prolongado teóricamente por debajo de las masas continentales.

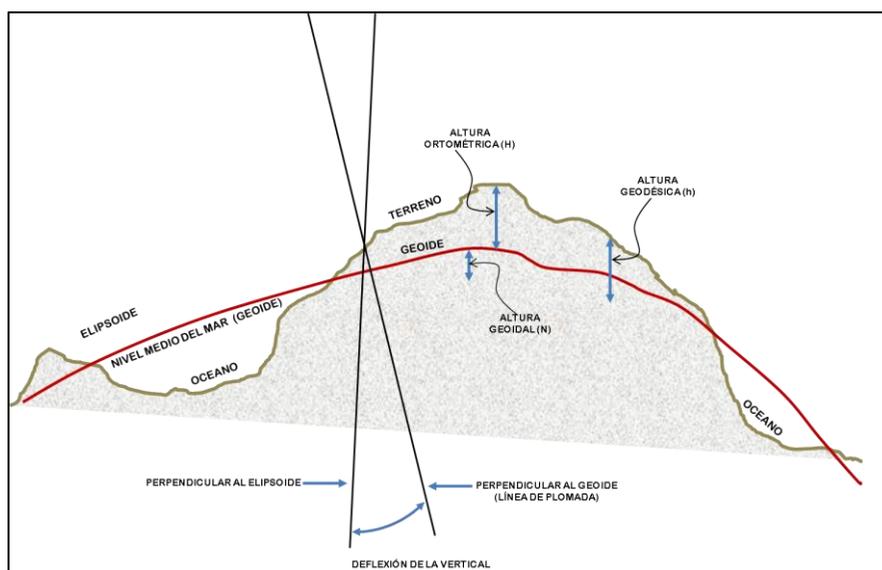
En geodesia, la posición geográfica de puntos sobre la superficie terrestre queda referida a un sistema de coordenadas: latitud, longitud y altitud. La posición de estos puntos básicos es el resultado de mediciones físicas hechas en el campo, generalmente de distancias, ángulos, elevaciones, etcétera, sujetas a un proceso numérico cuyo resultado proporciona la posición o coordenadas de los puntos en cuestión.

Teóricamente, este proceso debe realizarse sobre el geoide, el cual, como ya se dijo, es aún bastante irregular, por lo que se busca una figura expresable matemáticamente para efectuar dicho proceso.

Numerosos puntos conocidos del geoide permitieron concluir que la superficie que más se le parece es un elipsoide de revolución (figura que se genera al girar una elipse alrededor de su eje menor).

Para que el proceso de cálculo de coordenadas sea preciso, es necesario que las mediciones físicas sean trasladadas (reducidas) del terreno en que fueron realizadas al elipsoide seleccionado. Así, las mediciones angulares se reducen utilizando las pendientes del geoide en las direcciones norte -sur y este- oeste. Las distancias también deben reducirse, empleando para esto la altura geodésica h , la cual se determina sumando la elevación entre el geoide y el terreno (altura ortométrica H) con la separación entre el elipsoide y el geoide (altura geoidal N). Ver figura 1.

Figura 1. Geoide y sus superficies relacionadas.



Fuente: INEGI.

2.2 Definición y propósito de la gravimetría

La gravimetría es la técnica que nos permite conocer la diferencia de gravedad que existe en distintos puntos sobre la superficie terrestre. En geodesia, el conocimiento del valor de la gravedad permite determinar:

- Las separaciones entre el geoide y el elipsoide (alturas geoidales), que hacen posible la reducción de distancias al elipsoide.
- Las pendientes del geoide (desviación de la vertical) necesarias para la reducción en direcciones acimutales.
- Alturas ortométricas precisas.

En geofísica, la gravedad es observada con fines de prospección de depósitos minerales, petroleros, de gas, etcétera.

2.3 Definiciones fundamentales

Gravedad absoluta

Es el valor de g determinado en un punto, por medio de observación directa (gravímetros absolutos) o cuantificado a partir de procedimientos indirectos (gravímetros relativos). Este valor cambia con la posición del Sol y la Luna. Este fenómeno es conocido como “marea terrestre” y puede estimarse y corregirse de tal modo que los valores obtenidos se consideren permanentes.

Gravedad relativa

Se conoce así a la diferencia de gravedad (Δg) existente entre dos puntos, uno de los cuales es la gravedad conocida.

Gravedad reducida (g.)

Es la gravedad observada de un punto en el terreno reducida al geoide.

Gravedad teórica o gravedad normal ($\gamma\emptyset$)

Es la gravedad que teóricamente se tiene en un punto que esté sobre el elipsoide de referencia.

Desde 1930 hasta 1967 se utilizó la fórmula de Cassinis¹, llamada así por ser este científico el primero en usarla.

- La fórmula de 1930 es la siguiente:

$$\gamma\emptyset = 978\ 049 (1 + 0.0052884 \text{ sen}^2\emptyset - 0.0000059 \text{ sen}^2 2 \emptyset) \text{ mGal}$$

Donde \emptyset es la latitud del punto en cuestión.

- En 1967 se adoptó una nueva fórmula para $\gamma\emptyset$, de modo que se obtuvo:

$$\gamma\emptyset = 978031.85 (1 + 0.0053024 \text{ sen}^2 \emptyset - 0.0000059 \text{ sen}^2 2 \emptyset) \text{ mGal}$$

- La fórmula Internacional de gravedad de 1980, recomendada por la Asociación Internacional de Geodesia, es la siguiente:

$$\gamma\emptyset = 978032.7 (1 + 0.00527904 \text{ sin}^2 \emptyset + 0.00002327 \text{ sin}^4 \emptyset + 0.00000012 \text{ sin}^6 \emptyset) \text{ mGal}$$

Esta última fórmula es la empleada en la DGGMA en todos los procesos de cálculo donde interviene la gravedad normal; y cuando se tengan observaciones anteriores a 1980 cuyos procesos de cálculo se basen en las fórmulas de 1967 o 1930, se tendrá que hacer la actualización correspondiente.

Aceleración de la gravedad

La aceleración de la gravedad en un punto sobre la superficie terrestre es el resultado de los efectos combinados de la aceleración debida a la atracción de la masa de la Tierra (gravitación) y de la aceleración centrífuga debida a su rotación. Esta aceleración sufre variaciones periódicas y temporales causadas por:

- Cambio de la distribución de las masas del Universo, principalmente por la atracción Tierra-Luna-Sol, efecto conocido como marea terrestre (periódica).
- Cambios de masa en la atmósfera, en los océanos, en la superficie sólida de la Tierra y en su interior (temporal).
- La expansión de la Tierra (temporal).

Un modelo teórico de la aceleración de la gravedad que involucra los efectos originados por la gravitación y aceleración centrífuga está dado por la Fórmula Internacional de la Gravedad sobre un elipsoide geocéntrico (gravedad teórica o normal).

Factor de escala instrumental

El factor de escala instrumental corrige una lectura instrumental en una lectura en unidades de miliGales, utilizando un factor de conversión:

¹ INEGI. Geodesia Física Aplicada, p.68.

http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/geodesia/fisica_apli/231293.pdf

Valor corregido, en miligales (miliGales observados) = lectura instrumental en unidades del equipo * factor de escala.

MiliGales observados

Es el resultado de transformar las lecturas obtenidas en campo con su particular corrección de calibración de escala del gravímetro empleado.

MiliGales corregidos

Es el resultado de transformar los miliGales observados con su particular corrección de marea terrestre y deriva instrumental.

Marea terrestre

La marea terrestre se debe a la atracción que ejercen los cuerpos celestes sobre la Tierra. En geodesia se consideran sólo las atracciones debidas al Sol y la Luna, ya que por su proximidad a nuestro planeta, éstos son los únicos cuerpos que tienen efectos apreciables. En el INEGI se aplica la formulación de I. M. Longman².

Deriva instrumental

Es el fenómeno relacionado a cierta inestabilidad de los instrumentos que integran un gravímetro y otros factores como cambios en la temperatura, el transporte y su edad, que influyen directamente en la lectura.

Se presentan dos tipos de deriva:

- Deriva estática. Cambio de lectura para una misma estación cuando el gravímetro ha estado en reposo.
- Deriva dinámica. Cambio de lecturas para una misma estación cuando el gravímetro ha estado en movimiento.

Anomalías de la gravedad

Es la diferencia entre el valor observado de la gravedad en un punto dado y la correspondiente gravedad normal, corregida por el efecto de las masas atmosféricas.

En caso de que se requiera determinar anomalías gravimétricas, éstas se deberán generar en función de los siguientes modelos matemáticos, en los cuales se han considerado los parámetros y constantes geométricas y físicas derivadas del GRS80, cuyas fórmulas pueden ser consultadas en la Norma Técnica del Sistema Geodésico Nacional.

Marco de referencia gravimétrico

Debido a que en geodesia se requieren los valores absolutos de la gravedad, los levantamientos gravimétricos nacionales están conectados al marco de referencia gravimétrico aprobado y adoptado como el estándar

²“Formulas for Computing the Tide Acceleration Due to the Moon and the Sun”, Journal of Geophysical Research, Vol. 64, No. 12, 1959, pp. 2351-2356. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/JZ064i012p02351/abstract>

internacional de la gravedad que reemplaza al datum de Potsdam, conocido como Red Internacional de Estandarización de la Gravedad de 1971 (IGSN71). Esta red difiere de los sistemas de referencia de gravedad anteriores en que el datum se determina no por un valor adoptado en una sola estación, sino por los valores de gravedad de 1 854 estaciones obtenidas a partir de un único ajuste de mínimos cuadrados de datos absolutos, péndulo y gravímetros relativos. Los errores estándar para los valores de gravedad IGSN71 están a menos de ± 0.1 mGal.³

Objeto espacial

Se refiere a una abstracción a partir de un elemento del espacio geográfico. Puede corresponder con elementos de la naturaleza, con elementos producto de la mano del hombre o con abstracciones numéricas derivadas de las dos anteriores. Su característica intrínseca es la referencia espacial en dos o tres dimensiones expresada en coordenadas geográficas o cartesianas.

2.4 Redes gravimétricas

Las redes gravimétricas nacionales se clasifican en tres órdenes:

Red de primer orden

Consta de diversas estaciones integradas a la IGSN71, conocidas como Estaciones Referencia Fundamentales, establecidas con gravímetro absoluto de péndulo; estas estaciones dieron origen a la red gravimétrica de primer orden, adicionalmente a éstas, la integran todas las estaciones base y las que conciernen a las líneas de calibración con valores de gravedad absoluta conocidos en forma precisa, que se localizan en lugares de fácil acceso con un espaciamiento comúnmente de 40 - 60 km (según necesidades) y forman la red básica nacional. Es un hecho establecido por acuerdo internacional que las estaciones base deben tener una precisión de $\sigma = \pm 0.05$ mGals, con respecto a las estaciones de referencia fundamental.

La DGGMA, por conveniencia laboral, se ha dedicado a la ampliación de esta red integrando las nuevas estaciones al mismo marco de referencia, así como a la recuperación de estaciones pertenecientes a la red IGSN71.

Red de segundo orden

Deben ligarse a la red básica nacional con una precisión de $\sigma = \pm 0.05$ mGals.

Estos levantamientos, conocidos como levantamientos regionales, se realizan en puntos de fácil acceso como carreteras, vías férreas, terracerías, etcétera, con un espaciamiento de 10-25 km.

Red de tercer orden

Se ligan a las redes de primer y de segundo orden. Estas redes son de densificación, por lo que sus puntos se observan tan cercanos como sea posible. Después de su ajuste, su precisión no debe ser menor a $\sigma = \pm 0.1$ mGal.

³ <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a006203.pdf>.

Las estaciones establecidas para este tipo de levantamiento se originan partiendo de una estación de segundo orden y se llevan a cabo con fines específicos en los que no se requiere una alta precisión, aplicando normalmente la metodología y especificaciones descritas para las redes de segundo orden. El INEGI no realiza este tipo de levantamiento.

2.5 Líneas de calibración

Las líneas de calibración tendrán el propósito de servir como patrón para calibrar los instrumentos empleados en las medidas. Se deberán establecer con un criterio de cobertura en latitud geográfica a lo largo de líneas, en sitios que permitan un rápido acceso y facilidad para hacer las medidas.

Las estaciones que integren una línea de calibración deberán estar debidamente ligadas a estaciones de referencia fundamentales, y las medidas que sobre ellas se hagan deberán ejecutarse con una precisión tal que al final se tenga una exactitud no menor que 0.05 mGal.

2.5.1 Línea de calibración norteamericana

Establecida a finales de la década de los cuarenta, la antigua línea de calibración norteamericana se extendía desde Point Barrow, Alaska, hasta Paso de Cortés, México. Las estaciones de gravedad de esta línea fueron establecidas con alta precisión por métodos pendulares y gravimétricos, actualmente se desconoce su existencia.

2.5.2 Líneas de calibración en México

El INEGI estableció dos líneas de calibración relativas que han servido para verificar, diagnosticar y calibrar gravímetros propios con parámetros de exactitud definidos y declarados para este fin.

2.5.3 Línea de calibración de Jalpa

Establecida en el 2010, se encuentra ubicada en la Sierra del Laurel en Jalpa, Zacatecas, desde la cabecera municipal de Jalpa hasta la comunidad de Las Cruces a 37 kilómetros por la carretera a Tlachichila, Zacatecas; abarca un rango de 232 mGal y cubre valores desde 978 033 hasta 978 265 mGal.

2.5.4 Línea de calibración Veracruz-Sierra Negra

Establecida en el 2013, la infraestructura instalada de la línea se encuentra desde la Universidad Autónoma de Veracruz hasta el volcán Sierra Negra en Puebla en las instalaciones del Gran Telescopio Milimétrico; abarca un rango de valores de gravedad tan amplio como 1 127 mGal y cubre valores desde 977 438 hasta 978 565 mGal que envuelve el espectro existente en un 60% del territorio de México.

2.5.5 Línea de calibración Acapulco-UNAM

El INEGI dispuso de valores de referencia preestablecidos por el NGS (National Geodetic Survey de los Estados Unidos) con gravímetro absoluto en 1996, para trazar una línea de calibración que va desde el edificio de la Facultad de Geofísica de la UNAM hasta las instalaciones del Campo Militar Número 27-A en Acapulco, Guerrero. Comprende un rango de 513 mGal que es útil principalmente para verificar el factor de escala de los gravímetros y cubre valores desde 977 927 hasta 978 440 mGal.

2.6 Métodos de levantamientos gravimétricos y equipamiento

Levantamientos gravimétricos son aquellos que comprenden la medida de valores absolutos o relativos del valor de la gravedad sobre puntos situados en la superficie terrestre, cuyo propósito consiste fundamentalmente en determinar el campo gravimétrico existente y su relación e influencia con los tipos de levantamiento geodésico horizontal y vertical.

Los métodos de levantamiento de gravedad, dependen directamente de los instrumentos disponibles para hacer las observaciones.

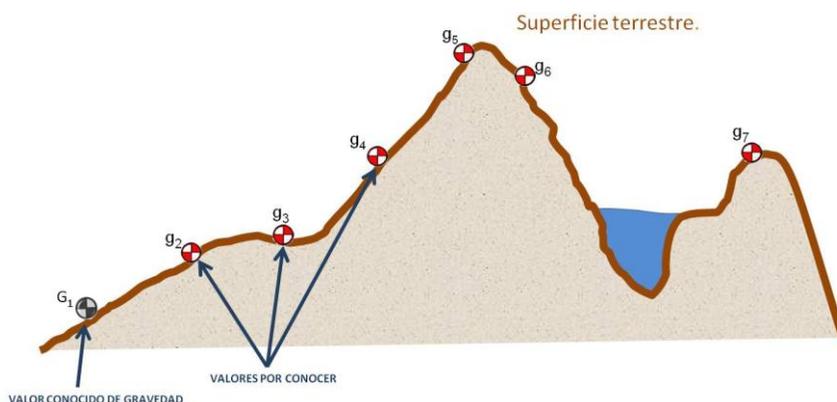
Existen dos tipos de instrumentos usados para hacer mediciones de gravedad:

- Gravímetros absolutos.
- Gravímetros relativos.

El primero es utilizado para mediciones absolutas de g . Los gravímetros relativos sólo realizan mediciones relativas de g .

Los gravímetros relativos son los instrumentos más usados en levantamientos gravimétricos. La única información que se puede obtener de un gravímetro es una lectura sobre una escala, que permite la determinación de la gravedad relativa o diferencia de gravedad entre dos puntos terrestres, según lo indica el diagrama de la figura 2.

Figura 2. Determinación gravimétrica



Fuente: INEGI.

Donde g_2 es la aceleración de la gravedad por conocer de ese punto en el terreno, G_1 es la aceleración de la gravedad conocida de una estación de primer orden y Δg_{1-2} es la diferencia de aceleración de gravedad medida entre las estaciones 1 y 2.

Los métodos de levantamientos de gravedad con gravímetros relativos varían dependiendo del tipo de red por establecer.

Estos métodos serán descritos oportunamente en el capítulo 3.

Independientemente del tipo de levantamiento, el procesamiento gravimétrico requiere de los datos siguientes:

- Identificador del gravímetro.
- Calibración del gravímetro.
- Factor de escala instrumental dado por el fabricante.
- Lectura del gravímetro.
- Hora y fecha del levantamiento.
- Bases.
- Nombre de la línea o circuito.
- Nombre y/o número de la estación de gravedad.
- Posición dada en la latitud y longitud.
- Elevación.
- Método utilizado en la determinación de la posición.
- Método utilizado en la determinación de elevación.
- Datum de referencia horizontal.

La metodología necesaria para la obtención de los datos anteriores requiere de las siguientes etapas:

- Planeación.
- Elaboración de proyecto.
- Definición de la zona de trabajo.
- Verificación del gravímetro.
- Medición en campo.
- Procesamiento de los datos.
- Validación e integración de resultados.

3. Guía Metodológica de la Red Geodésica Gravimétrica

3.1 Planeación

Las actividades previas a los levantamientos gravimétricos son de vital importancia, ya que permiten visualizar el contexto de los requerimientos generales para lograr con eficiencia, calidad y oportunidad, resultados confiables de las mediciones de campo con todas las normas y lineamientos correspondientes.

En la planeación se deben considerar primeramente los recursos necesarios: humanos, financieros y materiales, que permitan cubrir operativos que incluyan seguridad, profesionalismo y aplicación de tecnologías, para alcanzar las metas propuestas.

3.2 Elaboración del proyecto

Es recomendable determinar, en gabinete, la cartografía que se ajuste a las necesidades del cubrimiento gravimétrico si así se requiere (el INEGI utiliza cartas topográficas escala 1: 50 000 o cartas 1:250 000 dependiendo del proyecto que haya sido programado --<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/default.aspx>-- o contar con información en computadora portátil, que permita identificar espacialmente la zona de trabajo, para ello se recomienda reconocer las claves de las cartas en el Mapa Digital de México (<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/> buscar en capas, marco cartográfico).

3.3 Definición de la zona de trabajo

Con la ayuda de cartas topográficas es posible identificar la zona proyectada para realizar los trabajos gravimétricos, la ubicación de las Estaciones Base de Gravedad (EBG), las estaciones gravimétricas regionales con marca física sobre bancos de nivel y los vértices geodésicos que serán útiles para determinar los trabajos de campo.

Si se va a establecer una densificación o EBG, sería oportuna la consulta del Mapa Digital en el sitio de Internet del INEGI (<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>, buscar en capas, marco de referencia geodésico, Red Geodésica Nacional Pasiva) o la solicitud de información gravimétrica vía atención a usuarios para identificar la existencia de más estaciones (atencion.usuarios@inegi.org.mx).

3.4 Verificación del gravímetro

Es importante controlar el factor de escala del gravímetro. Por lo que el aparato se debe exponer a cambios de gravedad conocidos en una línea de calibración, para detectar una variación, y de ser necesario realizar su ajuste. Es recomendable verificar este factor por lo menos una vez al año.

Previamente al levantamiento se deben verificar aspectos importantes de los gravímetros tales como parámetros iniciales, temperatura interna, carga de baterías, cables, plato base o trípode, navegador GPS (Sistema de Posicionamiento Global, por sus siglas en inglés), altímetro, cargadores de corriente alterna y directa, etcétera.

3.5 Establecimiento de estaciones de primer orden (estación base de gravedad)

Objetivo: incrementar la red EBG(estaciones de primer orden) ligadas al marco de referencia IGSN71 para apoyar la densificación de valores de gravedad derivados de éstas (estaciones de segundo orden) con el fin de propiciar el mejoramiento continuo del Geoide Gravimétrico Mexicano (GGM).

3.5.1 Medición en campo

Los criterios para la selección de un sitio para el establecimiento de una estación base o línea de calibración son los siguientes:

- Permanencia garantizada. Para garantizar esta permanencia, se tomará en cuenta que estas estaciones deben marcarse de acuerdo con características del lugar, y con las condiciones ambientales predominantes en el mismo de tal forma que permita su fácil localización. Otros factores que afectan la permanencia de una estación fundamental o estación base son el vandalismo y la construcción de obras de infraestructura.
- Estabilidad. El sitio seleccionado debe estar en una zona estable, libre de vibraciones, para que de este modo se garantice que las lecturas observadas sean de alta calidad.
- Accesibilidad. El sitio elegido debe ser accesible, de preferencia las 24 horas del día.
- Espacio. El sitio seleccionado debe contar con espacio suficiente para hacer lecturas simultáneas con dos gravímetros.
- Aislamiento. El sitio elegido debe ser tal que no esté sujeto a perturbaciones o interferencia de vehículos, personas o animales.

Otros criterios que deben tomarse en cuenta en la selección de sitios para el establecimiento de este tipo de estaciones son:

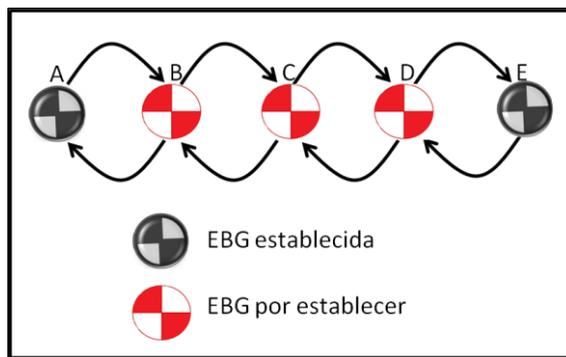
- Se establecerán en sitios que cuenten con toma de energía eléctrica cercana con el propósito de que en el futuro se realicen observaciones absolutas. Normalmente se ubicarán dentro de ciudades importantes o instalaciones relevantes.

- Importante considerar el registro de al menos tres referencias a la ubicación precisa de la EBG con el objeto de que sirvan para una posible búsqueda y/o recuperación.
- Se debe considerar llevar los formatos de descripción de las estaciones base a utilizar en el levantamiento, plan de trabajo con la identificación de las bases por establecer, rutas y tiempos de traslado. Durante la medición se coleccionarán datos del levantamiento en una bitácora registrando: temperatura, estabilidad del terreno y condiciones meteorológicas.

Los criterios mínimos para el establecimiento de estaciones base son los siguientes:

- El espaciamiento entre estaciones deberá estar dentro del rango de 40-60 km. Se reconoce que este espaciamiento depende de las necesidades para lograr una correcta densificación gravimétrica, de la topografía y de las vías de comunicación existentes en la zona.
- El control de la red se efectuará ligándola al menos a dos estaciones base, previamente establecidas (estaciones de la red IGSN71).
- Deben usarse al menos dos gravímetros calibrados y, de ser posible, previamente verificados en un número de estaciones de la red IGSN71 o línea de calibración. Las lecturas gravimétricas deberán ser simultáneas y las lecturas de tiempo tomadas con un solo reloj.
- Los circuitos estarán de tal modo que cierren sobre sí mismos observando todas las estaciones, para lo cual utilizarán el método de escalera (figura 3) que consiste en una secuencia de observaciones tal como se indica a continuación:

Figura 3. Método de escalera



- Todo circuito debe cerrarse en un tiempo menor de 24 horas.
- Los circuitos empezarán y terminarán en las estaciones establecidas.
- Todas las observaciones se realizarán con el gravímetro montado sobre la base de nivelación.

3.5.2 Procesamiento de los datos

El procesamiento de los datos se llevará a cabo por medio de un *software* de ajuste por mínimos cuadrados empleando como valores fijos las estaciones conocidas.

Este procedimiento aprovecha la medición de redundancia para generar valores estadísticos que describen la congruencia de la medición. Como primer control de calidad se realiza la depuración de los datos de entrada realizando el análisis exploratorio de la congruencia, en la diferencia de los valores de aceleración de la gravedad medidos, y la diferencia de los valores de gravedad previamente definidos.

3.5.3 Validación e integración de resultados

Se analizan los valores estadísticos verificando que la desviación estándar de los valores de gravedad calculados permanezcan dentro del rango admisible de 0.050 miliGales. En caso de obtener resultados fuera de este rango, se realiza una nueva revisión para ubicar la fuente del posible error no detectado en el procesamiento con apoyo del resumen de los datos estadísticos siguientes:

- Histograma de residuales.
- Varianza de peso unitario.
- Prueba de Chi cuadrada.
- Detección de residuales elevados.

Los datos generados del proceso serán integrados al formato de Descripción de la Estación Base, verificando que ésta contenga la información de los campos descritos en el Anexo A.

El formato deberá ser llenado con el propósito de llevar un registro y control de todas las estaciones, y mantener actualizado el inventario; además de facilitar su ubicación para futuras referencias.

La descripción, croquis e itinerario de una nueva estación base de gravedad son partes muy importantes en la documentación de un levantamiento gravimétrico de cualquier orden y deben ser elaborados bajo las siguientes recomendaciones:

- Descripción general del sitio de la estación y de las condiciones del lugar o del terreno.
- Itinerario. La descripción de la ruta para llegar a la estación deberá ser detallada y completa pero concisa. Deberá contener un punto de partida conocido, de preferencia un poblado, y dar las distancias aproximadas, direcciones, medios de transporte y tiempo requerido para llegar desde el punto de partida hasta la estación.
- Descripción de la marca de la estación. Para las estaciones de la red primaria, se incluirá este párrafo en su descripción, en donde se indicará el método utilizado para marcar la estación (placa empotrada, monumento estándar, etcétera) Se describirá el tipo de dimensiones de placas y monumentos, así como características relevantes sobre el sitio exacto de ubicación de la estación.
- Información adicional. Se indicarán recomendaciones especiales, peligros probables, servicios cercanos a la estación, etcétera.

El croquis de la estación será elaborado con las siguientes características básicas:

- La estación estará indicada con un pequeño círculo dividido en cuadrantes, llenos en forma alterna; se indicará su nombre y/o su número.

- Se describirán estructuras a 100 m o menos de la estación: carreteras, vías férreas, poblados, etcétera; accidentes naturales relevantes: ríos, cerros, manantiales, etcétera; indicando su distancia aproximada a la estación.

3.5.4 Denominación de estaciones base

Para la denominación de estaciones base de gravedad se establecen las siguientes reglas:

Úsese el nombre del poblado más próximo a la estación base seguido de la letra correspondiente de la B a la H, según su distancia relativa al poblado tomado como referencia. Por ejemplo: Calvillo B; Calvillo C. En este ejemplo “Calvillo B” está más cercana a la ciudad de Calvillo, Aguascalientes, que “Calvillo C”. Cuando se establezca más de una estación base dentro de un mismo poblado se seguirá esta misma notación de acuerdo con su antigüedad.

Si se da el caso específico de que la estación base se localice en un aeropuerto, su nombre será dado por el nombre del poblado a donde pertenezca al aeropuerto seguido de la letra J. Por ejemplo: Minatitlán J.

Si se tuviesen varias estaciones base en el mismo aeropuerto, o existiese más de un aeropuerto en el poblado que contuviesen estaciones base, estas bases serán denominadas por el nombre del poblado seguido de las letras de la J a la Z, según el orden en que sean establecidas. Por ejemplo: Acapulco J, Acapulco K.

3.5.5 Marca de estación

Sólo se marcarán las estaciones de la red de primer orden. Las estaciones de orden menor serán descritas y localizadas mediante coordenadas y croquis levantados en campo.

Cuando se requiera marca física, es recomendable que se construya en forma semejante a los requeridos para el posicionamiento vertical de primer orden del INEGI (consultar el anexo B) o que las bases sean observadas sobre monumentos ya establecidos.

3.6 Establecimiento de estaciones de segundo orden (estación geodésica gravimétrica)

Objetivo: densificar los valores de gravedad, en todo el Territorio Nacional, a partir de una EBG para propiciar el desarrollo del Geoide Gravimétrico Mexicano.

3.6.1 Medición en campo

Dado que estas estaciones no se marcan en el terreno, la selección de sitios para su establecimiento se sujetará a los criterios siguientes:

- Los mejores sitios serán los que sean identificables en la carta topográfica escala 1:50 000 del INEGI, y fácilmente reconocibles en el terreno (por ejemplo: intersección de carreteras, entronque de caminos, escuelas, iglesias, etcétera).

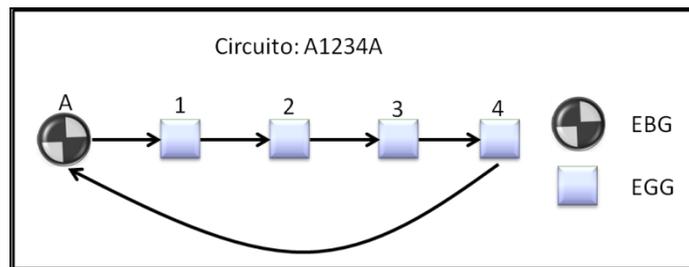
- Se evitará el establecimiento de puntos a distancias menores de 100 m del borde de barrancos, cañones o ríos. Así mismo, se evitará ubicar puntos sobre puentes que salven estos accidentes naturales mayores a 10 m.
- Se procurará que el sitio cumpla con los requisitos de estabilidad, accesibilidad y aislamiento indicados para las estaciones base.
- En cada estación gravimétrica se podrá obtener la altura ortométrica utilizando el método indirecto que convenga al usuario. Se proponen los siguientes métodos empleados en el INEGI para este fin: el continuo de elevaciones mexicano (<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>), consultar el acervo de información geográfica generada sobre Red Geodésica Nacional en Mapa Digital, si las mediciones se realizaron en marcas de Bancos de Nivel (<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>), en su caso el método gráfico (consultar Anexo E) y modelo geoidal, si se cuenta con altura elipsoidal de navegador o GPS (http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/ggm_c3.aspx).

Para llevar a cabo este tipo de levantamiento en red, se recomiendan los siguientes métodos:

a) Método de circuito

El levantamiento comenzará y terminará en una misma estación base. Ejemplo figura 4:

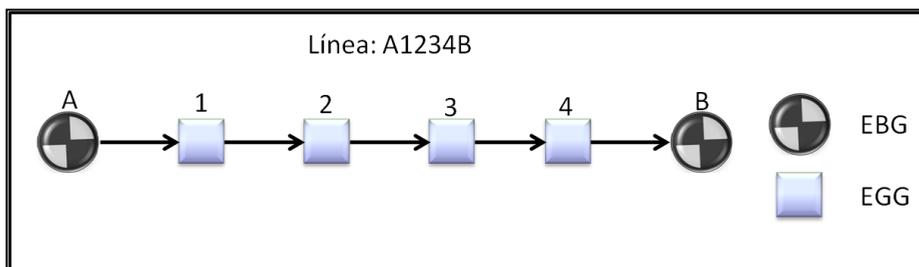
Figura 4. Método de circuito



b) Método de línea

El levantamiento comenzará en una base A y terminará en base B. Ejemplo, figura 5:

Figura 5. Método de línea



En ambos casos deberá tomarse en cuenta:

- El espaciamiento entre estaciones se recomienda que sea de 10-25 kms, o según necesidades específicas.
- Se empleará un solo gravímetro debidamente calibrado para estos levantamientos.

- Los círculos o las líneas deben completarse en un tiempo máximo de 72 horas.
- Con fines de control de deriva dinámica se harán reobservaciones cada 4-5 estaciones.
- Las estaciones de segundo orden generalmente no cuentan con una referencia física (placa), sólo con coordenadas.
- Aun cuando el tiempo de traslado entre estaciones sea muy grande, no es necesario tomar lecturas intermedias. El único requisito a cumplir es que las líneas o circuitos se cierren dentro del tiempo especificado para cada levantamiento de segundo orden.

3.6.2 Denominación de estación geodésica gravimétrica

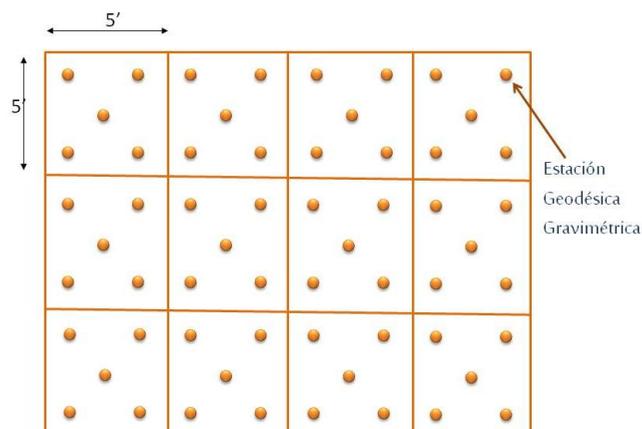
Las estaciones geodésicas gravimétricas pertenecientes a las redes de segundo y tercer orden serán designadas con la clave geográfica correspondiente a la carta topográfica escala 1:50 000 del INEGI, donde se encuentran ubicadas, seguidas del número de orden de observación en campo. Por ejemplo, la estación gravimétrica 6 de la carta F14C83 será designada como F14C83-6. En caso de que la estación gravimétrica se localice en marcas de estación preestablecidas, se conservará su denominación.

3.6.3 Especificaciones para la densificación gravimétrica

Respecto a la correcta densificación en la carta topográfica escala 1: 50 000, para levantamientos de la red geodésica gravimétrica, se considera lo siguiente:

- La planeación de la ubicación de las estaciones gravimétricas se determinará con una distribución homogénea en la carta escala 1: 50 000 dividida en 12 celdas, cada una de 5' x 5' (9 x 9 km) que representa 81 km² como se describe en la figura 6, cada celda es dividida en cuadrantes donde se pretende establecer estaciones aproximadamente al centro de éstos y uno más en su parte central, conformando un total de cinco estaciones por celda y un total de 60 estaciones por carta registradas gráficamente en el formato de Control de Densificación Gravimétrica carta escala 1: 50 000 (consultar el Anexo D). El establecimiento de estaciones dependerá de las vías de comunicación que recorran o pasen a través de las celdas y su área central.

b) Figura 6. Densidad mínima de la carta escala 1: 50 000



- c) Se dará preferencia a efectuar mediciones sobre marcas geodésicas monumentadas (bancos de nivel y vértices de posicionamiento horizontal) que fueron identificados en la etapa de elaboración del proyecto sección 3.2, el resto de las estaciones se establecerán sobre terreno sin marca física a consideración del responsable del levantamiento y donde no se localice otra estación anteriormente medida.
- d) Cuando la carta contenga celdas con terreno accidentado o áreas de difícil acceso se podrán realizar un mayor número de mediciones gravimétricas en cada una de las celdas o de los cuadrantes. Los levantamientos en estas áreas accidentadas, sólo se podrán realizar en zonas que tengan caminos transitables para un vehículo automotor. Se recomienda que para estas zonas y, sobre todo en temporada de lluvias, se utilice un vehículo de doble tracción (4X4). Cuando en distancias de aproximadamente 500 metros, se ubiquen diferencias de elevación de +/- 100 metros de un punto a otro sobre el camino, se podrá realizar más de un levantamiento por cuadrante. Esto permitirá generar un total entre 6 y 10 estaciones medidas dentro de cada celda que contiene relieve escarpado, con el objeto de dibujar el perfil topográfico del terreno, para modelar con mayor detalle las variaciones del campo de gravedad. Las cartas con topografía accidentada podrán tener hasta 120 estaciones medidas.
- e) Cuando la carta que se trabaje contenga un cuerpo de agua como lago, laguna, presa, pantano, etc. se podrán realizar mediciones gravimétricas en el perímetro del mismo, en el entendimiento de que entre uno y otro punto, al menos haya una distancia aproximada de 1500 metros en línea recta, si las condiciones así lo permiten.
- f) Cuando en la carta existan predios privados cerrados con candado y con problemas para solicitar permisos, se podrán realizar mediciones en el perímetro del mismo, siempre y cuando exista accesibilidad y seguridad, en el entendimiento de que entre uno y otro punto, al menos haya también una distancia aproximada de 1 500 metros en línea recta.
- g) No deben realizarse traslados a pie mayores a 100 metros para el establecimiento de estaciones.

Las dos situaciones de los incisos d) y e) se ajustarán a los criterios de densificación señalados en los incisos b) y c).

Las cartas que no sea posible dar una debida densificación por razones de protección a la integridad física de la brigada y de los bienes; falta de caminos; cuerpos de agua; etc., serán justificadas y avaladas por el responsable del levantamiento.

Previo al proceso de datos debe revisarse la información obtenida en campo, con el fin de eliminar posibles errores y no propagarlos en los procesos de cálculo. Por lo cual se recomienda verificar los datos de fecha, horario, coordenadas, altura y valores de estaciones base de gravedad.

El proceso de cálculo de la información gravimétrica inicia mediante el uso de un *software*⁴ que calcula la corrección de escala (miliGales observados), marea y deriva instrumental de las lecturas de los gravímetros, obteniendo valores absolutos de aceleración de la gravedad. El programa permite procesar levantamientos

⁴ En el INEGI se utiliza el *software* QCTool (www.qc-tool.com/).

efectuados con el método de línea y método de circuito realizados dentro de los tiempos establecidos para cada orden.

3.6.4 Validación e integración de resultados

La validación de la información consiste en verificar su completitud y consistencia lógica tomando como referencia el diccionario de datos geodésicos y las correspondientes normas técnicas, de manera previa a su integración en la base de datos geodésicos⁵; así como, las especificaciones numéricas referidas en el apartado 2.4 del presente documento.

Hoja resumen de información gravimétrica

Los datos generados del proceso serán integrados al formato de la Hoja resumen, verificando que ésta contenga la información de los campos descritos en el Anexo C.

⁵ El Diccionario de Datos Geodésicos es un documento normativo que está dedicado a establecer especificaciones a nivel de objetos espaciales. Describe cada objeto en términos de su definición, atributos y dominios de valores permitidos, así como su representación espacial y las restricciones de integridad (http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/doc/dd_geodesicos_v2_t.pdf).

Anexo

A. Formato de descripción de la estación base

DESCRIPCION DE LA ESTACION BASE					
Nombre de la Estación:		Número de la Estación:		Gravedad= mgal	Desviación Estándar= mgal
Localidad: Aguascalientes		Latitud: N	Longitud: W	Altura Elipsoidal: m	
Municipio: Aguascalientes		Altura Ortométrica: 1880.1684 m	Fuente de Altura Ortométrica: Nivelación Directa <input type="checkbox"/> Modelo Geoidal <input type="checkbox"/> Cartografía <input type="checkbox"/>		
Entidad Federativa: Aguascalientes	Establecido por: IGSN <input type="checkbox"/> DGG <input type="checkbox"/> Otra <input type="checkbox"/> Especificar: <input type="checkbox"/>	Condiciones: Buena <input type="checkbox"/> Destruída <input type="checkbox"/> No localizada <input type="checkbox"/>	Fecha de establecimiento de la Estación (dd/mm/aaaa): <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 5px;"></div>		
Itinerario:			Clave de la Carta 1:50,000:		
Descripción de la Marca Establecida:					
Gravímetro 1:	Observador:				
Gravímetro 2:	Observador:				
Detalle del Lugar			Detalle de Ruta		
Referencias					
R1=	D1=	m	Az1=		
R2=	D2=	m	Az2=		
R3=	D3=	m	Az3=		
Responsable del llenado: Fecha de Elaboración (dd/mm/aaaa): <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 5px;"></div>					

Instructivo de llenado del formato denominado Descripción de estación base

Objetivo: obtener información complementaria de la estación base para usarla como apoyo para futuros trabajos de medición.

Momento del llenado: durante la recuperación de la estación base gravimétrica.

Responsable del llenado: personal de la brigada de medición gravimétrica.

CONCEPTO	SE ANOTARÁ
REFERENCIA GEOGRÁFICA	
ESTACIÓN	Nombre de la estación base.
ESTADO	Nombre del estado en el cual se ubica la estación base.
LOCALIDAD	Nombre de la localidad donde se ubica la estación gravimétrica.
ESTABLECIDA POR	Una "x" en el círculo correspondiente a la dependencia responsable de su establecimiento o anotar el nombre de la dependencia u organismo ajeno a los mostrados en el formato.
LATITUD	El valor de la latitud geodésica de la estación.
LONGITUD	El valor de la longitud geodésica de la estación.
ELEVACIÓN	El valor de la elevación de la estación. Se obtendrá con la ayuda de un navegador, equipo GPS de una o dos bandas empleando el modelo geoidal o utilizando otro método indirecto.
GRAVEDAD	El valor de la gravedad obtenida después del proceso de ajuste de la información de campo.
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	El valor de la desviación estándar obtenida después del proceso de ajuste de la información de campo.
FECHA	Día, mes y año del establecimiento de la estación.
CLAVE DE LA CARTA 1:50 000	La clave de la carta 1:50 000 donde ubica la estación.
ITINERARIO	Descripción del recorrido a realizar para lograr llegar a la estación, tomando en cuenta rasgos significativos y perdurables con el paso de los años.
DESCRIPCIÓN DE LA MARCA	Descripción de la marca establecida ya sea placa, monumento establecido o mancha con pintura seleccionada como estación gravimétrica.
GRAVÍMETRO 1	
NÚMERO DE SERIE	El número de serie del gravímetro utilizado en la medición.
OBSERVADOR	Nombre completo del responsable de la observación de los valores de gravedad con el gravímetro 1.
GRAVÍMETRO 2	
NÚMERO DE SERIE	El número de serie del gravímetro utilizado en la medición.
OBSERVADOR	Nombre completo del responsable de la observación de los valores de gravedad con el gravímetro 2.
CROQUIS	Se elaborará un croquis general para llegar a la estación gravimétrica, considerando las siguientes características: El croquis se orientará de acuerdo con la meridiana impresa en la forma. La ubicación del lugar donde se encuentra la estación gravimétrica se indicará mediante un círculo con cuadrantes negros en forma alterna. Se considera establecer rasgos de localidades y vías de comunicación que aseguren el traslado y ubicación del sitio de donde se estableció la estación base. El área a cubrir deberá garantizar su posterior localización.
DETALLE	Se elaborará un croquis a detalle de la localización de la estación gravimétrica. Las características a considerar serán las mismas expresadas en el croquis general, con la variante de representar la o las referencias con sus letras como R1 para la referencia número 1, R2 para la referencia 2 y así sucesivamente.
ELABORÓ	El nombre completo del o los responsables del llenado del formato.

Ejemplo de llenado de formato:

DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA Y MEDIO AMBIENTE SUBDIRECCION DE CONTROL DE OPERACIONES GEODESICAS DEPARTAMENTO DE SUPERVISION Y ADMINISTRACION DE LA RED GEODESICA DESCRIPCION DE LA ESTACION BASE					
Nombre de la Estación: INEGI		Número de la Estación:		Gravedad= 978174.967 mgal	Desviación Estándar= 0.01 mgal
Localidad: Aguascalientes		Latitud: 21°51'26.36016" N	Longitud: 102°16'58.87435" W		Altura Elipsoidal: S/A m
Municipio: Aguascalientes		Altura Ortométrica: 1880.1684 m	Fuente de Altura Ortométrica: <input checked="" type="checkbox"/> Nivelación Directa <input type="checkbox"/> Modelo Geoidal <input type="checkbox"/> Cartografía		
Entidad Federativa: Aguascalientes	Establecido por: IGSN <input type="checkbox"/> DGG <input type="checkbox"/> Otra <input type="checkbox"/> Especificar:	Condiciones: Buena <input checked="" type="checkbox"/> Destruída <input type="checkbox"/> No localizada <input type="checkbox"/>	Fecha de establecimiento de la Estación (dd/mm/aaaa): 26 03 2008		
			Clave de la Carta 1:50,000: F13D19		
Itinerario: Entrando a la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes por la carretera No.45 Sur, en el cruce de Av. Aguascalientes Sur y circulando de poniente a oriente por ésta hasta el cruce de Av. Héroe de Nacozari se toma rumbo al Sur y a 215 m se encuentra el edificio del INEGI y La Estación de Gravedad INEGI, esta ubicada en el prado oriente, sobre la base de cemento de una mojonera aérea de concreto que define a un vértice geodésico No. 21068 y sus dimensiones son 0.40m base superior, 0.50m mase inferior y altura 1.40m. En su base y en la parte sur de la mojonera se localiza la Estación Base de Gravedad					
Descripción de la Marca Establecida: Placa de aluminio empotrada en la base de la mojonera del lado sur con la leyenda: "INEGI, Red Geodésica Nacional, gravedad, INEGI y fecha: 20-11-2009".			Referencias R1= Arbotante nte D1= 18.08 m Az1= 195° R2= Arbotante sur D2= 18.70 m Az2= 326° R3=Lámpara piso D3= 22.13 m Az3= 69°		
Gravímetro 1: G130		Observador: J. Gpe. Sandoval			
Gravímetro 2: G100		Observador: Héctor Arellano Esqueda			
Detalle del Lugar 			Detalle de Ruta 		
Responsable del llenado: Apolo Alvarado Cortés Fecha de Elaboración (dd/mm/aaaa): 23 11 2009					

B. Especificaciones generales para la monumentación

Dentro de lo posible, se deberán concertar los permisos necesarios para el establecimiento de la marca y su monumento, sobre todo cuando se establezcan en zonas urbanas.

La mezcla para la construcción del monumento deberá tener la proporción 1:2:4 (una parte de cemento, dos partes de arena y cuatro partes de grava) y el agua necesaria para la compenetración de estos materiales. En caso de que se requiera medir en un tiempo muy próximo a la monumentación (después de los cinco primeros días a su establecimiento), se debe agregar a la mezcla un aditamento acelerante de fraguado para concreto.

De no agregar el aditamento acelerante, sólo se deberá medir después de 30 días de establecido el monumento de concreto.

Estos monumentos podrán consistir en:

- Placa ahogada en monumento de concreto.
- Placa empotrada en roca sana.
- Placa empotrada en obra de concreto o estructura arquitectónica.

Se asentará en terrenos compactos o con manto rocoso en donde se pueda excavar hasta un metro de profundidad.

La placa que define la estación geodésica deberá ser orientada al Norte.

En caso de monumentos de concreto sobre terrenos compactos o con manto rocoso de menor profundidad, se excavará hasta encontrar la superficie de la roca sana o del manto rocoso que presente dificultad para continuar la excavación, y que no sea menor que 0.60 m.

Figura 6. Placa para Banco de Nivel usada en el INEGI

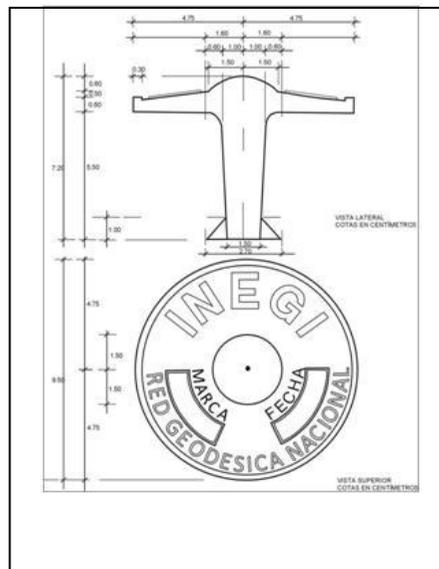


Figura 7. Monumento Estándar para Nivelación usado en el INEGI

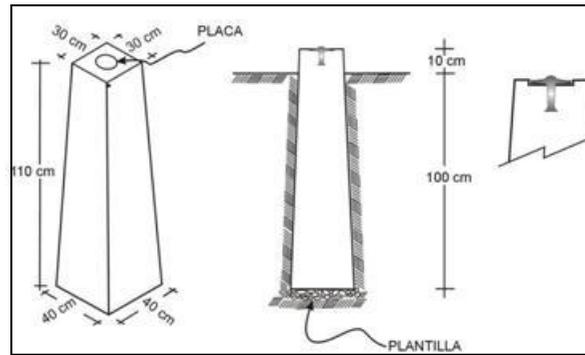
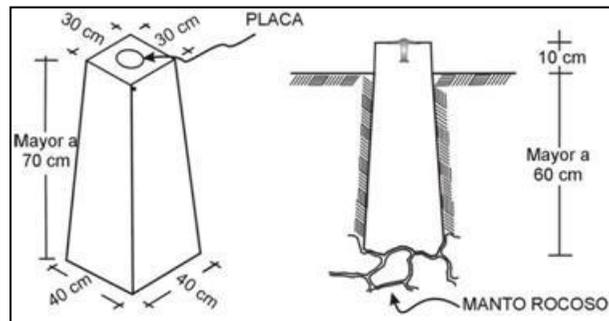


Figura 8. Monumento sobre terrenos compactos o con manto rocoso usado en el INEGI



Placa empotrada en obra de concreto o estructura arquitectónica

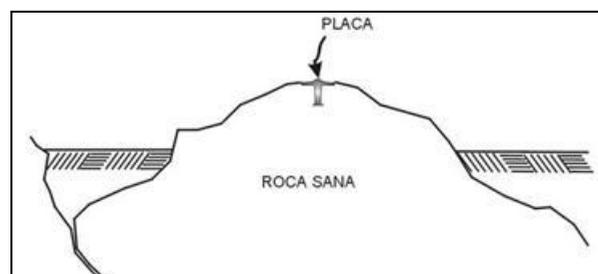
Este tipo de empotramiento se debe realizar en lugares que tengan una planta de cimentación que garantice su estabilidad principalmente; los lugares más frecuentes son la dala de alcantarilla y la guarnición de puente, entre otros.

No se empotrarán placas en lugares cuya planta de cimentación sea de mampostería y el grabado de la placa debe hacerse antes de ser colocada en el lugar seleccionado, esto para evitar su desprendimiento.

Placa empotrada en roca sana

Se reducirá el empotramiento de la placa al nivel de la superficie seleccionada, este tipo de monumentación es la de mayor estabilidad y tendrá prioridad.

Figura 9. Placa empotrada en roca sana (ilustración)



- Anomalía de aire libre: diferencia de gravedad en función de la elevación de la estación, excluyendo la influencia de las masas existentes entre la Estación Gravimétrica y el Geoide, su valor en miliGales con tres decimales.
- Anomalía de Bouguer Simple: diferencia de gravedad en función de la elevación de la estación y del efecto de atracción de las masas existentes entre la estación y el geoide; su valor en miliGales con tres decimales.
- Altura ortométrica: distancia del punto en el terreno con respecto al geoide medida a lo largo de la vertical del lugar; su valor en metros con cuatro decimales.
- Carta: carta donde se encuentra establecida la Estación Gravimétrica a Escala 1:50 000.
- Estado: nombre del Estado donde se ubica la Estación Gravimétrica.
- Coordenadas geográficas (ejemplo: latitud 283155.4 y longitud 1002436.0) en ITRF2008 época 2010.

E. Método gráfico para la obtención de coordenadas geográficas y altura ortométrica

Coordenadas geográficas

Un procedimiento para determinar las coordenadas geográficas de un punto en la carta topográfica en la escala 1: 50 000 es el siguiente:

- Identificar en los márgenes los valores extremos de la latitud y longitud.
- Identificar en los márgenes las divisiones a cada minuto y las acotaciones a cada 5.
- Ubicar el punto del que se desea conocer las coordenadas geográficas.
- Utilizar el caneavá, el cual está representado por marcas (líneas y cruces), en color negro; la separación entre cada marca de caneavá es de 2'30" (ver figura 1).
- Localizar sobre los márgenes el valor de la latitud y longitud de la marca del caneavá más próxima al punto en cuestión.
- Trazar con una línea recta la unión entre marcas (horizontales y verticales).
- Obtener los valores de las líneas trazadas.
- Obtener los valores de las perpendiculares entre las líneas trazadas y el punto.
- Realizar los cálculos como se describen más adelante.

Figura 1. Marcas del caneavá



Cálculo para determinar las coordenadas geográficas

Para la longitud: obtener el valor de la separación del punto a la línea vertical trazada, en sistema sexagesimal, usando la siguiente ecuación:

$$\lambda = (VPV \times VSC) \div VSH$$

Donde:

λ = Valor en sistema sexagesimal de la separación del punto a la línea recta vertical trazada

VPV = Valor de la separación entre el punto y la línea vertical
 VSH = Valor de la línea recta horizontal trazada entre dos marcas del caneavá
 VSC = Valor de la separación entre las marcas del caneavá. Valor constante 2.5'

Obtener el valor en minutos y segundos multiplicando solamente la fracción por 60 para obtener la equivalencia en segundos.

$$\lambda_1 = (\text{fracción})(60)$$

El número entero del valor de λ representará los minutos; el valor de λ_1 obtenido representará los segundos; por lo que el resultado será: $\lambda'\lambda_1''$

Este valor se sumará al de longitud próxima al punto.

Para la latitud: obtener el valor de la separación del punto a la línea horizontal trazada, en sistema sexagesimal, usando la siguiente ecuación:

$$\varphi = (VPH \times VSC) \div VSV$$

Donde:

φ = Valor en sistema sexagesimal de la separación del punto a la línea recta
 VPH = Valor de la separación entre el punto y la línea horizontal.
 VSV = Valor de la línea recta vertical trazada entre dos marcas del caneavá.
 VSC = Valor de la separación entre las marcas del caneavá. Valor constante 2.5'.

Obtener el valor de φ en minutos y segundos multiplicando solamente la fracción por 60 para obtener la equivalencia en segundos.

$$\varphi_1 = (\text{fracción})(60)$$

El número entero del valor de φ representará los minutos; el valor de φ_1 obtenido representará los segundos; por lo que el resultado será: $\varphi'\varphi_1''$.

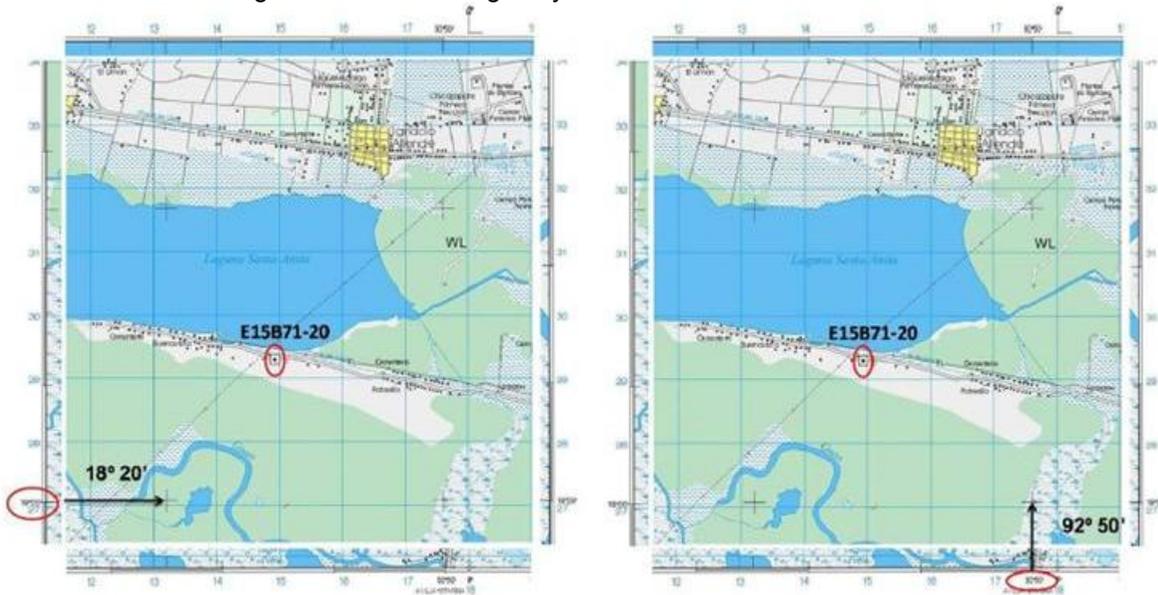
Este valor se sumará a la latitud próxima al punto.

Ejemplo:

Determinar las coordenadas geográficas del punto E15B71-20.

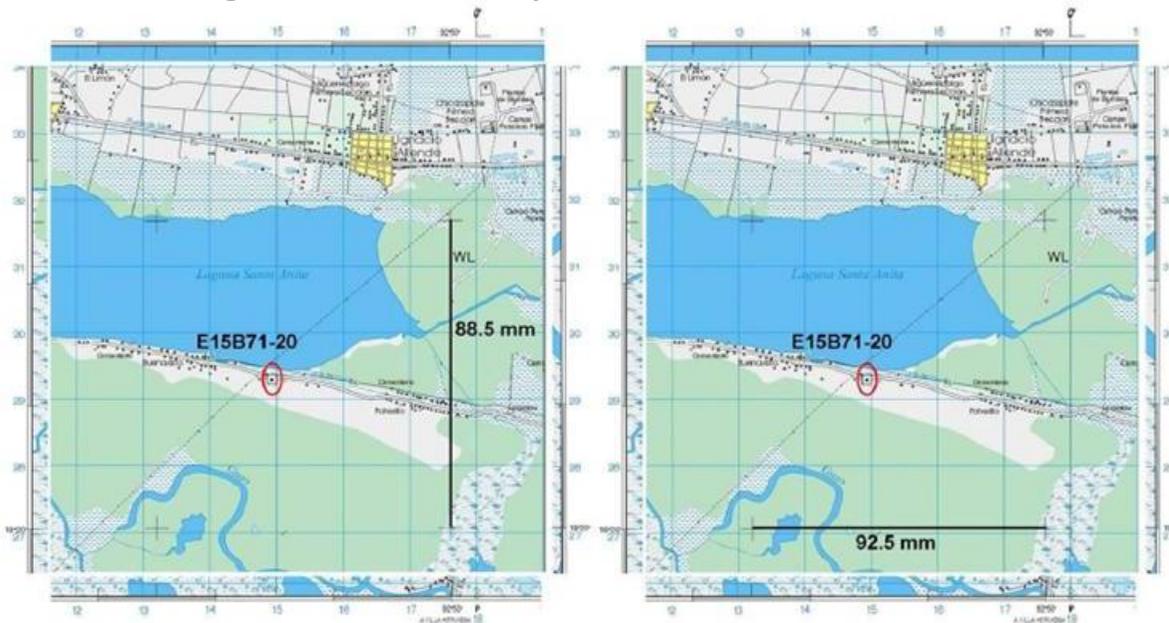
- Para el valor de la latitud se localizará la marca más próxima ubicada al sur (inferior) del punto y se identifica el valor en el caneavá, en este caso es de 18° 20' (ver figura 2).
- Para el valor de la longitud se localizará la marca más próxima ubicada al este (derecha) del punto y se identifica el valor en el caneavá, en este caso es de 92° 50' (ver figura 2).

Figura 2. Valor de longitud y latitud de la marca del caneavá



- Trazar con una línea recta la unión entre las marcas consecutivas horizontales y verticales. Con la ayuda de un escalímetro, utilizando la escala 1:100, se obtiene, de forma aproximada, la distancia entre las marcas consecutivas que estén próximas al punto (ver figura 3).

Figura 3. Medida horizontal y vertical entre las marcas del caneavá



En este caso la distancia horizontal entre marcas es de 88.5 mm y la distancia vertical es de 92.5 mm.

- Para el caso de la latitud se obtiene la distancia vertical y en el de la longitud la distancia horizontal entre el punto E15B71-20 a la recta formada por dos marcas consecutivas del caneavá (ver figura 4). La distancia vertical es 52.5 mm y la horizontal de 44.5 mm.

Figura 4. Distancia entre el punto y la recta



- Realizar el cálculo para determinar las coordenadas geográficas en grados, minutos y segundos (GMS) a partir de los datos obtenidos anteriormente

Datos:

Valor de longitud próximo al punto al este: $92^{\circ}15'$.

Valor de latitud próximo al punto al sur: $18^{\circ}20'$.

Valor de la línea recta horizontal trazada entre dos marcas del caneavá (VSH): 88.5 mm.

Valor de la línea recta vertical trazada entre dos marcas del caneavá (VSV): 92.5 mm.

Valor de separación entre la línea horizontal y el punto E15B71-20 (VPH): 52.5 mm.

Valor de separación entre la línea vertical y el punto E15B71-20 (VPV): 44.5 mm.

Recordar que la separación entre marcas del caneavá = $2'30''$, que es igual a $2.5'$.

- Para el caso de la longitud, calcular el valor de la separación horizontal del punto con respecto al caneavá, en sistema sexagesimal (minutos).

$$\lambda = (52.5mm \times 2.5') \div 88.5mm$$

$$\lambda = 1.483050'$$

- Obtener el valor en minutos y segundos. El valor de λ está en décimas de minuto, por lo que se multiplicará la fracción (0.483050) por 60 para obtener la equivalencia en segundos.

$$\lambda_1 = (1.483050')(60)$$

$$\lambda_1 = 28.9''$$

- El número entero obtenido en el inciso a) representará los minutos y el valor de λ_1 en el inciso b) los segundos con decimales, por lo que el resultado será: $1' 28.9''$

d) Este valor se suma al de la longitud ubicada al este del punto:

$$\begin{array}{r} 92^{\circ} \quad 50' \\ + \\ \quad \quad \quad 1' \quad 28.9'' \\ \hline 92^{\circ} \quad 51' \quad 28.9'' \end{array}$$

El valor de la longitud del punto será: $92^{\circ}51'28.9''$

e) Para el caso de la latitud, calcular el valor de la separación vertical del punto con respecto al canevá, en sistema sexagesimal (minutos).

$$\varphi = (92.5mm \times 2.5') \div 44.5mm$$

$$\varphi = 1.20'$$

f) Obtener el valor en minutos y segundos. El valor de φ está en décimas de minuto, por lo que se multiplicará la fracción (0.20) por 60 para obtener la equivalencia en segundos.

$$\varphi_1 = (1.20')(60)$$

$$\varphi_1 = 12.0''$$

g) El número entero obtenido en el inciso a) representará los minutos, y el valor de φ_1 en el inciso b), los segundos con decimales, por lo que el resultado será: $1'12.0''$

h) Este valor se suma al de la latitud ubicada al sur del punto:

$$\begin{array}{r} 18^{\circ} \quad 20' \\ + \\ \quad \quad \quad 1' \quad 12.0'' \\ \hline 18^{\circ} \quad 21' \quad 12.0'' \end{array}$$

El valor de la latitud del punto será: $18^{\circ} 21' 12.0''$

Las coordenadas geográficas determinadas por este procedimiento, del punto E15B71-20, son:

$$\text{Latitud } (\varphi) : 18^{\circ} 21' 12.0''$$

$$\text{Longitud } (\lambda) : 92^{\circ} 51' 28.9''$$

1. Altura ortométrica

El procedimiento para determinar la altura ortométrica de un punto en la carta topográfica en la escala 1: 50 000 es el siguiente:

- Identificar el punto del que se desea conocer la altura ortométrica.
- Identificar el valor de la(s) curva(s) de nivel próxima(s) al punto.
- Identificar en el margen inferior la equidistancia entre curvas de nivel (ver figura 5).
- Trazar una línea perpendicular entre las dos curvas más próximas al punto. La línea se trazará en la distancia más corta entre las curvas de nivel, a consideración del usuario, y que pasen por el punto.
- Realizar la interpolación para obtener el valor aproximado de la altura ortométrica del punto en metros.
- Se aplicarán las siguientes fórmulas:

$$h_c = (D_{AC} \times |h_A - h_B|) \div D_{AB}$$

$$H_p = h_{A \text{ ó } B} \pm h_c$$

Nota: si la referencia es la curva próxima al punto con mayor altura, el valor de h_c se restará. O bien, si la referencia es la curva próxima al punto con menor altura, el valor de h_c se sumará.

Donde:

h_c = Altura desconocida de un punto

D_{AC} = Distancia entre la curva A y el punto C

h_A = Altura de la curva A

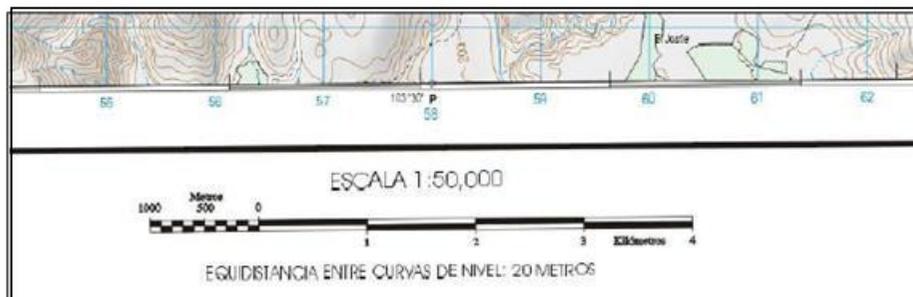
h_B = Altura de la curva B

D_{AB} = Distancia entre la curva A y la curva B

H_p = Altura ortométrica de un punto

El resultado obtenido en una carta topográfica en escala 1:50 000 tendrá una precisión de aproximadamente media equidistancia.

Figura 5. Escala gráfica para determinar la equidistancia entre curvas de nivel

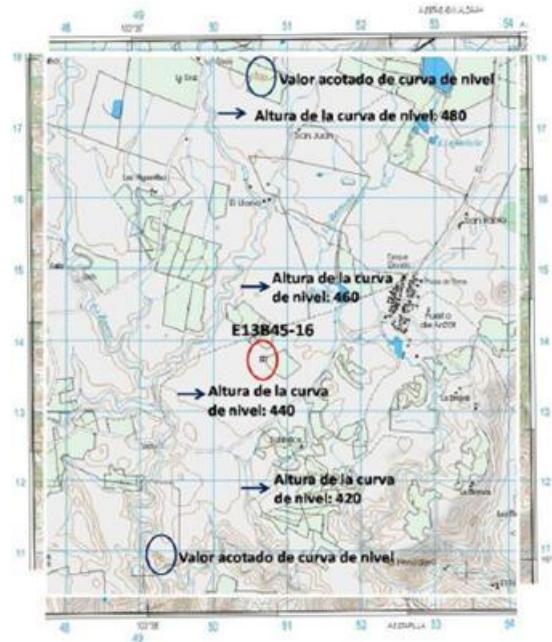


Ejemplo:

Determinar la altura ortométrica del punto E13B45-16.

Identificar el valor de las curvas de nivel próximas al punto (ver figura 6), por lo que el valor de la altura de la curva A es 460 metros y el valor de la altura de la curva B es de 440 metros.

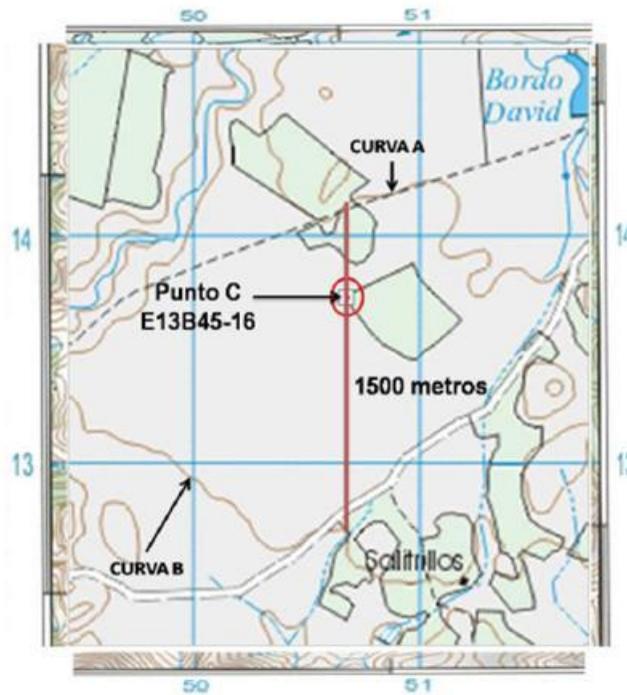
Figura 6. Curvas de nivel próximas al punto



- Trazar una línea perpendicular (ver figura 7) entre la curva A y la curva B y con ayuda de un escalímetro determinar el valor de la distancia entre ellas, usando la escala 1:100 y la equivalencia 1 cm = 500 metros en la carta topográfica en la escala 1:50 000.

El valor de la distancia entre la curva A y B es de 3 cm lo que equivale a 1 500 metros.

Figura 7. Distancia entre las curvas A y B



- Determinar la distancia entre la curva A y el punto C (E13B45-16), siendo ésta de 0.8 cm, lo que equivale a 400 metros (ver figura 8)

Figura 8. Distancia entre la curva A y el punto C



$$h_c = (400m \times |460m - 440m|) \div 1500m$$

$$h_c = 5.33m$$

- Realizar la interpolación correspondiente a partir de los datos obtenidos anteriormente:

Datos:

$$D_{AC} = 400 \text{ m}$$

$$h_A = 460 \text{ m}$$

$$h_B = 440 \text{ m}$$

$$D_{AB} = 150 \text{ m}$$

El valor h_c se resta al valor de la curva A, por ser la curva de referencia.

$$H_p = 460m - 5.33 = 454.67$$

La altura ortométrica del punto E13B45-16 es de 454.67 m, aproximadamente.

F. Elaboración de metadatos

Como parte de las especificaciones de la Norma Técnica del Sistema Geodésico Nacional los datos del Marco Geodésico deberán estar documentados con metadatos en el momento de documentarse (Artículo 6); los metadatos deberán apegarse a la Norma Técnica sobre Elaboración de Metadatos Geográficos. Dicha norma establece las disposiciones mínimas para promover su armonización y homogeneidad.

Esta norma adopta los elementos relacionados con el sistema de referencia estándar FGDC-STD-001-1998 y la inclusión de los elementos del núcleo del estándar ISO 19115:2003. Dentro de estos elementos existen algunos que por su importancia tienen el carácter de obligatorios (O), algunos que pueden convertirse en obligatorios bajo ciertas circunstancias llamados Condicionales (C) y aquellos que son de documentación sugerida denominados opcionales (Opc). El listado de los elementos de la Norma, deberá respetar su respectiva nomenclatura, la cual se describe a continuación:

0. Información del Metadato;
1. Identificación del conjunto de datos espaciales o producto (O);
2. Fechas relacionadas con el conjunto de datos espaciales o producto (O);
3. Parte responsable del conjunto de datos espaciales o producto (O);
4. Localización geográfica del conjunto de datos espaciales o producto (C); (representación espacial);
5. Sistema de referencia (C);
6. Calidad de la información (O);
7. Entidades y Atributos (C);
8. Distribución (Opc), y
9. Información del contacto para los metadatos (O).

La norma técnica se encuentra a disposición de los usuarios en el sitio de internet del Instituto.

G. Administración de riesgos

En el INEGI, como parte de los procesos de trabajo se aplican estrategias de control interno mediante una metodología para la administración de riesgos que contiene elementos conceptuales básicos de la norma ISO 31000 para identificar, analizar, evaluar y tratar los riesgos que pudieran afectar el logro de objetivos y metas institucionales, así como herramientas y formatos que facilitan su entendimiento e implementación.

Algunos de los beneficios de establecer esta administración son:

- Asegurar de manera razonable el cumplimiento de objetivos y metas.
- Minimizar el impacto, en caso de que los riesgos se materialicen.
- Contar con planes de contingencia.
- Ayudar en la toma de decisiones.

La aplicación de la metodología considera el entorno en el que opera el Instituto ya sea de manera interna o externa, partiendo de ello se identifican con objetividad los posibles riesgos por proceso. El análisis del riesgo consiste en desarrollar una mayor comprensión del mismo mediante la determinación de las causas que pudieran originarlo y los efectos en caso de materializarse; esto es, estructurar el riesgo en función de causas y efectos: *Riesgo + Causa + Efecto = Estructura del Riesgo*

La evaluación de riesgos se puede llevar a cabo con diferentes niveles de detalle, en función de la información y recursos disponibles, esta podrá hacerse de manera cuantitativa, semi-cuantitativa y cualitativa.

Para realizar la evaluación del riesgo se utilizan clasificaciones o niveles en función de elementos como: si requiere atención inmediata o implementar controles correctivos, requiere atención del responsable del proceso, asegurarse que se pueda detectar y manejar apropiadamente o administrarse con procedimientos de rutina.

El tratamiento del riesgo dentro del instituto tiene tres opciones o acciones a seguir.

- Aceptar el riesgo: cuando se decide no realizar ninguna acción.
- Reducir el riesgo: lo que implica establecer acciones tendientes a reducir la posibilidad e impacto del riesgo en caso de materializarse y,
- Transferir el riesgo: que un tercero asuma la responsabilidad del riesgo.

Las medidas de control son las políticas, procedimientos, técnicas, y mecanismos que se determinan con base en la respuesta al riesgo para contribuir a minimizar la posibilidad de ocurrencia e impacto del riesgo. Las actividades de control tienen lugar a través de la institución, a todos los niveles y en todas las funciones.

Medidas preventivas: diseñadas con el propósito de anticiparse a la posibilidad de que ocurran situaciones no deseadas o inesperadas. Es la actividad de control más efectiva

Medidas correctivas: se establecen con la finalidad de corregir o subsanar en algún grado los efectos que se hubiesen materializado.

En función de lo anterior cada Unidad del Estado que aplique la presente metodología deberá considerar la aplicación de la administración de riesgos para producir por sí mismas o a través de terceros datos de la Red Geodésica Gravimétrica.

Glosario

A

Altura elipsoidal (h). Distancia entre un punto y el elipsoide de referencia, medida a lo largo de la perpendicular que va del elipsoide hasta el punto. Tal distancia siempre será positiva hacia arriba del elipsoide.

Altura geoidal (N). Es la distancia existente entre el geode y el elipsoide, también se conoce como ondulación.

Altura ortométrica (H). Distancia de un punto desde la superficie del geode, a lo largo de la dirección del vector de gravedad, hasta el punto.

Anomalía de aire libre. Corrección al valor de la gravedad, debido a la diferencia de gravedad en función de la altura ortométrica de la estación excluyendo la influencia de las masas existentes entre la estación de gravedad y el geode, sin realizar una corrección por terreno.

Anomalía de Bouguer Simple. Corrección al valor de la gravedad, debido a la diferencia de gravedad en función de la altura ortométrica y del efecto de atracción de las masas existentes entre la estación de gravedad y el geode.

Archivo de datos (*.DAT). Este archivo contiene normalmente datos para formar bases de datos. Se genera automáticamente por algunos programas y en él se almacena información referente a dicho programa para uso interno del mismo. En general, este tipo de archivos no es editable. La edición de este tipo de archivos con extensión DAT puede hacerse normalmente con un editor de textos.

Archivo de texto (*.txt). Un archivo de texto plano (ASCII). Tipo de archivo: ASCII. Estos archivos pueden ser vistos con un procesador de textos como el Microsoft Word o puede usarse el Bloc de notas incluido en el sistema operativo Windows.

C

Carta topográfica. Documento gráfico que sirve para representar, a escala y con finalidad métrica en un plano, la configuración de una determinada área de la superficie terrestre, mediante trazos y símbolos convencionales acompañados de los nombres de los detalles representados.

Coordenadas. El conjunto de n números que designan la posición de un punto en un espacio n-dimensional.

D

Desviación estándar (σ). Medida de dispersión, alrededor del promedio o valor más probable de una cantidad evaluada normalmente mediante la expresión:

$$\sqrt{\frac{\sum (X - X')^2}{n - 1}}$$

En donde:

X = valor de cada una de las observaciones,

X' = promedio de dichas observaciones y

n = cantidad de observaciones

E

Estación base. Sitio que puede estar representado con una placa metálica empotrada en un monumento o estructura, con valor de la aceleración de la gravedad, determinado por mediciones geodésicas con respecto a un determinado sistema de referencia. Cada estación es parte de la Red Geodésica Gravimétrica.

G

Geodesia. Es la ciencia que desarrolla y estudia los métodos, tecnologías y procedimientos dirigidos a determinar con exactitud el tamaño y la forma de la Tierra o parte de ella, incluyendo su campo gravitacional externo, como una función del tiempo.

Geoide. Superficie equipotencial del campo de gravedad que se ajusta mejor al nivel medio del mar, ya sea local o globalmente

Gravedad. La gravedad es un fenómeno físico que se manifiesta como una fuerza que atrae a todos los cuerpos entre sí. Dicha fuerza de atracción se define mediante la Ley de Gravitación Universal que dice: “Dos objetos materiales se atraen con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos”. La gravedad es la resultante entre la fuerza centrífuga debido a la rotación de la Tierra y la fuerza de atracción hacia el centro de masas de la Tierra. Se simboliza por g y se mide en Gales, donde: 1 Gal = 1 cm/seg². Una unidad más práctica es el miliGal que es la milésima parte de un Gal.

Gravimetría. Es la técnica de medición que nos permite conocer la diferencia de gravedad que existe en distintos puntos sobre la superficie terrestre.

Gravímetro. Instrumento con suficiente sensibilidad para registrar variaciones en el peso de una masa constante, cuando la masa es desplazada de un lugar en la Tierra y, por lo tanto, está sujeta a la influencia de la gravedad de estos lugares.

L

Latitud. Ángulo que la normal al elipsoide en un punto forma con el plano del ecuador, positivo si está dirigido hacia el Norte.

Longitud. Ángulo diedro comprendido entre el meridiano de referencia terrestre y el plano del meridiano que contiene el punto, positivo si está dirigido hacia el Este.

M

Marea terrestre. Es el efecto gravitacional causado sobre un cuerpo que se encuentra en la superficie terrestre, debido a la posición relativa que guardan el Sol y la Luna con respecto a la Tierra.

Bibliografía

Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). Normas, Especificaciones y Metodologías para Gravimetría, 1982.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Geodesia Física Aplicada, Tomo 1, 1984.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Norma Técnica del Sistema Geodésico Nacional de INEGI. Sitio web:
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/normastecnicas/doc/norma_tecnica_para_el_sistema_geodesico_nacional.pdf.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2011). Diccionario de Datos Geodésicos. 2015, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web:
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/doc/dd_geodesicos_v2_t.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Norma Técnica Sobre Elaboración de Metadatos Geográficos Sitio web:
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/normastecnicas/doc/norma_tecnica_sobre_elaboracion_de_metadatos_geograficos.pdf