



Instructivo

Especificaciones Técnicas de Gravimetría

Código IN-GEO-PC-01-01
Versión 1
Vigente desde 16/11/2023

1. OBJETIVO

Establecer la metodología para la toma y procesamiento de las observaciones gravimétricas, por parte de los funcionarios y/o contratistas del grupo de gestión geodésica para el cálculo de la información gravimétrica, siguiendo las normas establecidas por agencias internacionales como la IAG (Asociación Internacional de Geodesia) y la IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics).

2. ALCANCE

Este instructivo está asociado al procedimiento de Gestión de Datos Gravimétricos, el cual pertenece a la Subdirección Cartográfica y Geodésica e inicia desde la descripción del manejo adecuado de los equipos, la toma de información gravimétrica en campo y su posterior procesamiento, finalizando con la obtención de datos gravimétricos de alta precisión, que permiten densificar y actualizar el Marco de Referencia Gravimétrico Nacional, teniendo en cuenta las especificaciones para cada orden de la Red Gravimétrica.

3. DEFINICIONES

- **Altura física:** Altura determinada por medio de métodos de nivelación teniendo en cuenta correcciones gravimétricas en el terreno de interés, con el fin de referir las alturas a una superficie física.
- **Campo de Gravedad Terrestre:** Definido como la composición de los campos de atracción de la masa y el campo centrífugo debido a la rotación diurna; ambos de valor prácticamente constante en el tiempo en cada punto del espacio, con variaciones semidiurnas debidas a las acciones perturbadoras del sol y la luna (fuerzas de marea). El sistema de referencia para su estudio consiste en una terna cartesiana derecha con origen en el centro de masa terrestre, en el eje Z coincidente con el eje de rotación terrestre, positivo hacia al norte y el plano (X, Y) coincidente con el plano Ecuatorial Terrestre.
- **Camplar:** Consiste en ajustar la parte interna del gravímetro, para no permitir el movimiento el cual se realiza con el tornillo sujetador.
- **Campo Gravitacional:** Modelo usado para explicar la influencia de un cuerpo con masa considerable, respecto a su entorno. (Torge, 1989).
- **Circuito de calibración instrumental:** Es el circuito con estaciones gravimétricas absolutas, que permite determinar el factor de escala y la deriva instrumental del equipo en el momento de iniciar un levantamiento gravimétrico, dicho circuito proporciona un estándar de alta precisión, así como un rango amplio de gravedad en una distancia relativamente corta.
- **Corrección por Mareas:** Corrección que se realiza a los valores de gravedad teniendo en cuenta el efecto gravitacional del sol, la luna y los planetas en el momento de realizar las lecturas instrumentales o lecturas directas, esta corrección se aplica utilizando grupos de onda (amplitud y desfase).
- **Datum Gravimétrico:** Describe la relación de los valores de gravedad con la gravedad de la tierra. Los valores de gravedad están referidos a IGSN71, lo que significa que el datum gravimétrico corresponde con IAGBN.
- **Deriva instrumental:** Es la diferencia entre dos lecturas sucesivas hechas sobre un vértice con un mismo instrumento, debido a los cambios mecánicos naturales sufridos por los componentes internos del equipo.
- **Factor de escala:** El factor de escala representa el cambio entre la diferencia de lecturas relativas medidas sobre el circuito de calibración instrumental y la diferencia de valores absolutos que componen la línea, enlazando de esa manera los valores observados a valores reales de gravedad.
- **Gravimetría:** La gravimetría según la geodesia se encarga de estudiar la forma y dimensión de la tierra, mediante el campo gravitatorio terrestre, se puede aplicar para plantear diferentes modelos, como por ejemplo el comportamiento físico y geométrico del planeta o su estructura geológica.
- **Gravímetros:** Los gravímetros son equipos sensibles que permiten medir la diferencia de gravedad en un vértice (gravímetros relativos) o el valor de gravedad local (gravímetros absolutos).

- **Georreferenciación:** Definición de su existencia en el espacio físico. Es decir, establecer su ubicación en términos de proyecciones, mapas o sistemas de coordenadas.
- **IAGBN:** International Absolute Gravity Basestation Network.
- **IGSN71:** International Gravity Standardization Net. 1971
- **Mareas Terrestres:** El efecto de atracción gravitacional resultante del sol y en especial de la luna por su cercanía a la tierra y el movimiento orbital producen sobre la tierra las mareas terrestres.
- **Mediciones Absolutas:** Es la medida que se hace de la aceleración de la gravedad en un sitio específico usando métodos directos (caída libre u oscilación pendular), obteniendo el valor de gravedad absoluto.
- **Mediciones Relativas:** Es la medición de la diferencia de gravedad entre dos vértices, uno de los cuales es de gravedad conocida. Esta se realiza con instrumentos que se basan en la suspensión de una masa.
- **RELANG:** Red Latinoamericana de Normalización de la Gravedad.
- **Red gravimétrica:** Es el conjunto de vértices con valor de gravedad ajustada, clasificados de acuerdo con su precisión en diferentes órdenes. Estas redes son de gran importancia para el cálculo de alturas normales, determinación del geoide, prospección geofísica, entre otros.
- **Red SIGNAR:** Sistema Gravimétrico Nacional de Referencia determinada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- **Red de Orden Cero:** Son determinados por interferometría láser y mediciones de tiempo con relojes atómicos que obtiene la aceleración de la gravedad, generando como resultado el valor de gravedad local. Estos vértices permiten realizar la densificación de las redes de menor orden y obtener un control gravimétrico local de mejor precisión. Estas se localizan en los municipios de Aguachica, Buenaventura, Cali, Florencia, Ibagué, La Plata, Manizales, Medellín, Montería, Pasto, Piedecuesta, Popayán, Sincelejo, Santa Marta, Tunja, Cajicá, Valledupar, Villavicencio, Bogotá, Honda y Cartagena.
- **Red de Orden Uno:** Es el conjunto de vértices geodésicos directamente vinculados a una o más vértices de orden cero, de la Red SIGNAR, cuyos valores de gravedad son determinados con equipos de medición relativa, análogos o digitales.
- **Red de Orden Dos:** Es el conjunto de vértices geodésicos directamente vinculados a uno o más vértices de orden uno o cero de la Red SIGNAR, cuyos valores de gravedad son determinados con equipos de medición relativa análogos o digitales.
- **Red de Orden Tres:** Es el conjunto de vértices geodésicos directamente vinculados a una o más estaciones de orden superior de la Red SIGNAR, cuyos valores de gravedad son determinados con equipos de medición relativa.
- **Valores de Gravedad:** Para expresar los valores de gravedad se utilizará la unidad miligal (mGal) que es igual $1,0 \times 10^{-5} m/s^2$ o a 0,001 Gal.
- **Vértice gravimétrico:** Es un espacio sobre la superficie materializado mediante una monumentación (ver Resolución No. 1468 de 2021), en donde se ha realizado una medición de gravedad, en forma absoluta o relativa, perteneciente a la red de gravedad del IGAC.

4. DESARROLLO

A continuación, se describe el paso a paso para el manejo de equipos, adquisición de datos, control de calidad, ajuste y cálculo de la información gravimétrica. Cabe aclarar, que las actividades a describir en el presente documento se realizan una vez se ha cumplido la etapa de programación en oficina (ítem 5.1 del "Procedimiento Gestión de datos gravimétricos"), exploración y materialización de vértices geodésicos (Procedimiento "Exploración y Materialización de Vértices Geodésicos" y Anexo 2 de la Resolución 1468 de 2021 "Por medio de la cual se establecen los lineamientos técnicos mínimos requeridos en la materialización, medición y administración de vértices geodésicos para su integración a la Red Geodésica Nacional de la República de Colombia"), sin embargo, se realizan las siguientes aclaraciones, en cuanto a cada una de las etapas previas.

4.1 PROGRAMACIÓN EN OFICINA

La programación de actividades dependerá de las metas establecidas para cada vigencia y del trabajo a realizar (Densificación de la Red Gravimétrica Nacional (Ordenes) o IHRF), sin embargo, en ambos casos se debe tener en cuenta el tiempo adecuado para el desarrollo de actividades, traslados a las zonas de trabajo, personal requerido, equipos y herramientas a utilizar, el número de mediciones teniendo en cuenta el orden a densificar, recorridos diarios y demás ítems o actividades que permitan asegurar la ejecución de los trabajos bajo estándares de calidad.

4.2 EXPLORACIÓN VÉRTICES GEODÉSICOS PARA GRAVIMETRÍA

La selección del sitio para las mediciones de gravedad, dependerá del tipo y la zona a trabajar, sin embargo, siempre se debe priorizar sitios cuenten con ciertas características que permitan obtener un valor de gravedad confiable y sin mayor grado de afectación externa, por lo tanto, los vértices a medir se deben encontrar en zonas estables, lo más alejado posible de fuentes de ruido, altas vibraciones o cambios de masas que puedan afectar las mediciones, tales como vías de alto tráfico, fabricas que cuenten con maquinaria industrializada, frentes mineros, represas, entre otros. Además, se debe evitar puentes o estructuras elevadas, alcantarillas y sistemas de drenaje pluvial y residual, con el fin de evitar mediciones erróneas por cuerpos de aire presentes entre la estructura y el suelo.

4.3 MATERIALIZACIÓN DE VÉRTICES GEODÉSICOS PARA GRAVIMETRÍA

Luego de la selección del sitio se deberá realizar la materialización del vértice teniendo en cuenta el anexo 2 de la Resolución 1468 de 2021 o la resolución que se encuentre vigente y el procedimiento "Exploración y Materialización de Vértices Geodésicos" de la Subdirección Cartográfica y Geodésica con el fin de mantener un control del valor de gravedad, identificar cambios y realizar estudios de variaciones temporales.

Cabe aclarar que, para la materialización de vértices de gravedad absoluta, se deben realizar mojones de 0,60m x 0,60m de ancho por largo, con 0,8 m de profundidad, en concreto siguiendo la misma relación 1:2:3 de cemento arena y grava respectivamente, con varilla central y placa en aluminio marcada según la nomenclatura asignada o realizar una incrustación a ras de piso con su respectiva placa, en edificaciones completamente asentadas, de fácil acceso, en la planta baja y teniendo en cuenta las demás recomendaciones dadas en el ítem 4.3 del presente documento.

4.4 MANEJO DE EQUIPOS

Existen dos categorías de gravímetros: gravímetros absolutos que miden la magnitud del valor de gravedad referido a un datum gravimétrico y gravímetros relativos que miden valores instrumentales o de gravedad en miligales con una referencia arbitraria para el cálculo de la gravedad entre dos locaciones.

Aunque la aceleración de la gravedad es una cantidad vectorial (magnitud y dirección), la mayoría de los gravímetros miden la magnitud del valor de la aceleración, lo que significa que la dirección coincide con la línea de la plomada hacia el centro de masas de la tierra.

4.4.1 GRAVÍMETROS ABSOLUTOS

Los gravímetros absolutos son instrumentos que miden todo el campo gravimétrico mediante caída libre o péndulo que se muestra a continuación, obteniendo así el valor de la gravedad absoluta. Las mediciones de la aceleración de la gravedad hechas con estos gravímetros no requieren de correcciones por taras o deriva instrumental. Actualmente el IGAC no cuenta con estos equipos.



Imagen 1. Métodos Utilizados para la medición de gravedad absoluta.

Recomendaciones de uso:

1. Cuando se encuentre el equipo en uso, se debe procurar que exista la menor cantidad de ruido posible y que no haya tránsito de personas y vehículos cerca al área de medición.
2. No debe haber movimientos bruscos durante el desplazamiento de un vértice a otro.
3. La iluminación debe ser óptima durante toda la jornada de trabajo.
4. Deben evitarse los cambios de temperatura excesivos y repentinos.
5. El equipo debe estar protegido del viento y la lluvia e impedir que la radiación solar incida directamente sobre este.
6. Se debe contar con una fuente de alimentación eléctrica y procurar mantener la batería cargada con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del equipo.

4.4.2 GRAVÍMETROS RELATIVOS

Los gravímetros relativos se basan en el principio de una masa suspendida en un resorte, que se estira hasta que se ejerza una fuerza dirigida hacia arriba, que se opone a la fuerza de gravedad y mantiene la masa en equilibrio. La fuerza ejercida se calcula conociendo el tamaño de la masa, la elongación del resorte y la constante del resorte, de tal forma que se pueda detectar fácilmente cambios en la gravedad de un lugar a otro mediante el cambio en el alargamiento del resorte (Imagen 2). Estos gravímetros pueden clasificarse en dos categorías: gravímetros análogos y gravímetros digitales:

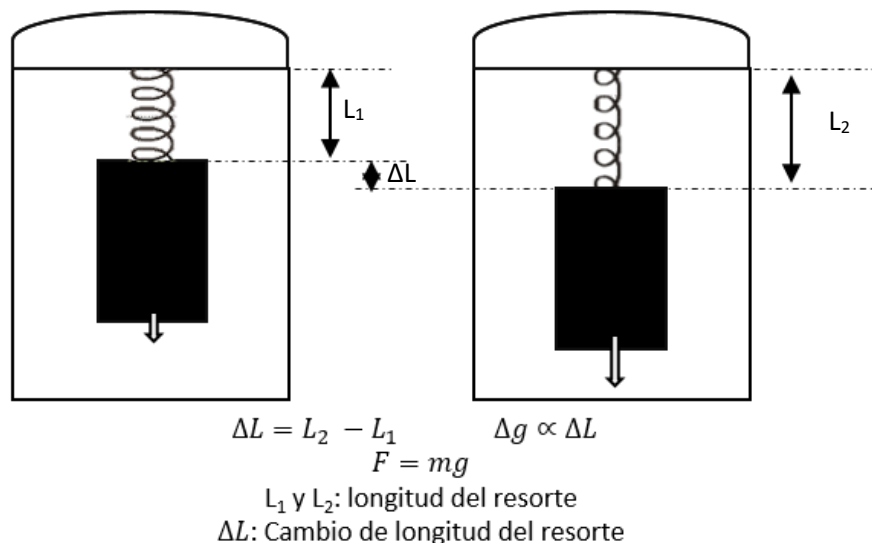


Imagen 2. Principio de medición de los gravímetros relativos.

4.4.3 GRAVÍMETROS RELATIVOS ANÁLOGOS

En el momento, el Instituto cuenta con dos gravímetros análogos LaCoste & Romberg (L&R) Modelo G (G-171 y G-268) a través de un acuerdo de préstamo con la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial (NGA - por sus siglas en inglés).

Todos los componentes de los gravímetros LaCoste & Romberg son metálicos, y debido a que los metales se deforman bajo dilatación o contracción térmica, es aconsejable mantener los gravímetros L&R bajo condiciones de temperatura invariable mediante su dispositivo termostático. A continuación, se relacionan las partes del gravímetro análogo (Imagen 3):

1. Tornillo nivelante longitudinal
2. Nivel de burbuja transversal
3. Guía micrómetro o punto lector
4. Tornillo nivelante longitudinal
5. Micrómetro o tornillo compensador
6. Ventana de lectura instrumental
7. Ventana indicadora de temperatura y voltaje
8. Interruptor indicador de temperatura (arriba) y voltaje (abajo)
9. Interruptor luz interna
10. Tornillo sujetador (clamp)
11. Tornillo nivelante transversal
12. Nivel de burbuja longitudinal
13. Lente ocular (beam ocular)
14. Beam electronica
15. Entrada LL-SPIRIT ADJ



Imagen 3. Gravímetro análogo LaCoste & Romberg.

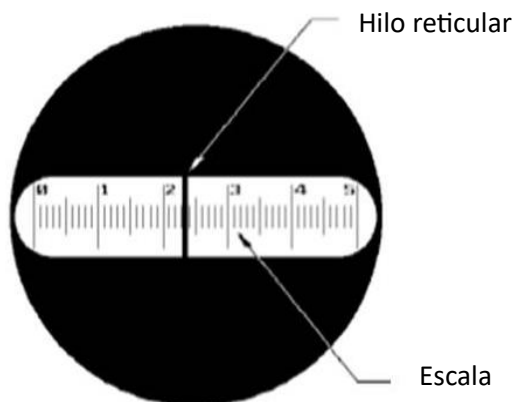


Imagen 4. Posición del hilo a beam en el lente ocular.

Para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y la calidad de los datos, los gravímetros deben mantener una temperatura termostática adecuada que dependerá del modelo del equipo, es por esto, que es necesario encender el instrumento y esperar que alcance su temperatura de operación por un periodo de veinticuatro (24) a cuarenta y ocho (48) horas; para lograrlo, es necesario conectarlos a la corriente eléctrica asegurando que esta sea estable o utilizando las baterías del gravímetro y verificando que estén completamente cargadas durante este período. Según las

especificaciones del fabricante de los equipos actualmente utilizados por el IGAC, el equipo G-171 debe operar a una temperatura de 51,9 °C, y el equipo G-268 a una temperatura de 50,1 °C.

Manejo:

1. Retire el gravímetro de la caja de transporte como se indica en la imagen 5, de forma vertical asegurando que no se incline el gravímetro.
2. Coloque el gravímetro cuidadosamente sobre el plato nivelante verificando que se encuentre fijo y estable. Asegúrese de manejar el gravímetro con precaución para evitar daños durante el proceso de colocación.

Nota: Intente centrar el Nivel de Burbuja Longitudinal [12] y el Nivel de Burbuja Transversal [2] deslizando suavemente el gravímetro sobre la superficie del plato. Esto facilitará significativamente el proceso de nivelación posterior.

3. Verifique la temperatura del equipo de acuerdo con su referencia: 51,9 °C para el equipo G-171 y 50,1 °C para el equipo G-268. Para hacerlo, coloque el interruptor [8] en la posición hacia arriba, tal como se muestra en la imagen número 7. Esto le permitirá acceder a la configuración de temperatura y confirmar que se ajusta a los valores requeridos.
4. Verifique el voltaje del equipo todos los días antes de iniciar las mediciones y durante las mediciones en campo. Asegúrese de que el voltaje se encuentre en el rango de 8 a 12,2 voltios colocando el interruptor [8] en la posición hacia abajo, como se muestra en la imagen número 8. Esto garantizará que el equipo tenga la alimentación eléctrica adecuada para un funcionamiento óptimo.
5. Encienda las luces de los niveles y sistema óptico por medio del interruptor [9] si considera necesario, sin embargo, es importante tener en cuenta que no se deben mantener encendidas por períodos prolongados. Las luces deben utilizarse únicamente cuando sean necesarias para una visualización clara y luego apagarlas para evitar la descarga rápida de las baterías.
6. Nivele el gravímetro usando primero los tornillos nivelantes longitudinales [1] - [4] y posteriormente el tornillo nivelante transversal [11]; repita este procedimiento hasta que los niveles de burbuja longitudinal [12] y transversal [2] se encuentren completamente centrados. Repita este procedimiento de ajuste con los tornillos tantas veces como sea necesario hasta obtener una nivelación precisa y adecuada. Consulte la imagen número 9, para tener una referencia visual de los tornillos mencionados.
7. Libere el tornillo sujetador [10] en sentido antihorario girando suavemente hasta alcanzar el tope. no aplique demasiada fuerza y evite hacer un giro excesivo, ya que podría afectar el mecanismo interno o el funcionamiento del tornillo. Al llegar al tope, el tornillo sujetador [10] estará liberado. Esto permitirá ajustar el hilo reticular mediante el uso del micrómetro [5] para obtener la lectura de referencia tomar como ejemplo la imagen número 10).
8. Localice el lente ocular [13], de acuerdo con el ejemplo de la imagen número 11, para identificar su ubicación específica, verifique si el hilo reticular está correctamente posicionado y alineado. Si es necesario, realice ajustes pequeños y precisos con el micrómetro [5] hasta obtener la posición óptima de este.
9. Lleve el hilo reticular al lado izquierdo de la mira y luego, posícionelo en la lectura de referencia determinada por el fabricante que, para el caso del equipo G-171 es de 2,3 y para el equipo G-268 es de 2,6, como aparece en la placa inferior derecha de cada equipo. Recuerde que, el borde izquierdo del hilo reticular se usa como borde de lectura, por lo que, es este el que debe coincidir con la línea de lectura de referencia (Imagen).

Nota: Para llevar el hilo escala arriba (derecha) se debe girar el tornillo compensador [5] en sentido horario y para llevarlo escala abajo (izquierda) se debe girar en sentido antihorario. Siempre deberá aproximarse a la línea de lectura de izquierda a derecha; si se supera el valor de lectura deberá retroceder el tornillo compensador en sentido antihorario un cuarto de vuelta y volver a intentar alcanzar la posición de lectura en sentido horario, para evitar incluir errores en las mediciones. Es importante llevar la beam despacio ya que es altamente sensible y hay un lapso entre girar el dial nulo y la respuesta del hilo reticular.

10. Verifique que la beam electrónica se encuentre centrada [14] y el gravímetro nivelado, esta es una guía indicadora de que la lectura está cerca. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en algunos dispositivos esta beam no se encuentra ajustada y puede no proporcionar una indicación precisa. En tales casos, es imprescindible observar el hilo reticular mediante el lente ocular [13] continuamente para obtener una lectura precisa.
11. Obtenga la lectura observando la ventana de lectura instrumental [6] y el tornillo compensador [5] como se indica en las imágenes 12 y 13.

Nota: Cada lectura contiene siete dígitos: en la ventana de lectura instrumental se observan cinco dígitos, de los cuales, el último representa las unidades de decena (décimas de unidades) y debe coincidir con el registrado en el tornillo compensador (escala del cero al nueve). Éste, cuenta con sus respectivas subdivisiones para permitir la lectura de centésimas de unidad y milésimas de unidad por aproximación, completando los últimos dos dígitos de la lectura que se toman del tornillo compensador [5].

12. Anote la lectura obtenida del gravímetro, registre la temperatura del equipo en el momento de la medida y la hora local en la que fue observada (hh:mm Sistema 24 horas) en el formato establecido. Lleve control del voltaje y mantenga un registro organizado de todas estas variables para cada medida realizada. Esto le permitirá tener un seguimiento completo de las mediciones y los factores asociados.
13. Gire el tornillo compensador [5] una vuelta completa en sentido antihorario; a continuación, gírelo en sentido horario, esto restablecerá su posición inicial hasta alcanzar la lectura de referencia. Verifique nuevamente que el gravímetro este nivelado y repita los pasos 9, 10, 11 y 12 mínimo dos veces más con el fin de obtener mínimo tres lecturas teniendo en cuenta el orden de la red y los alcances del proyecto.
14. Nota: Es importante que entre la primera lectura y la última transcurra la menor cantidad de tiempo (± 5 minutos) ya que la posición del sol y la luna alteran el valor de las lecturas. Así mismo, se debe verificar que las lecturas no varíen en más de 0,01 unidades instrumentales.
15. Campe o ajuste el tornillo sujetador [10] inmediatamente en sentido horario hasta el tope sin hacer exceso de fuerza para evitar cualquier variación en la longitud del resorte.
16. Apague las luces del equipo llevando el interruptor [9] hacia abajo
17. Suspnda el equipo llevando el interruptor [8] hacia el centro.
18. Recoja el equipo, asegurándose de no aplicar fuerza innecesaria o movimientos bruscos que puedan dañarlo. Coloque el equipo en posición vertical cuidadosamente en la caja de transporte para almacenar el equipo.
19. Verifique que el equipo se encuentra camplado [10] (paso 14) y correctamente conectado a la batería mediante los interruptores [8] (hacia arriba y hacia abajo) y [9] (hacia arriba), repita los pasos 15 y 16.



Imagen 5. Caja de transporte gravímetro análogo.



Imagen 6. Plato nivelante, baterías y cargador del gravímetro análogo.



Imagen 7. Verificación de la temperatura del equipo.



Imagen 8. Verificación del voltaje del equipo.



Imagen 9. Nivelación del gravímetro análogo.



Imagen 10. Descampado del equipo.

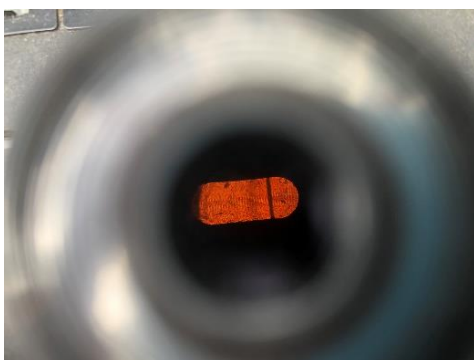


Imagen 11. Verificación de la posición del hilo reticular.



Imagen 12. Toma de lectura.



Imagen 13. Lectura instrumental de gravímetro análogo1.

Prueba de sensibilidad:

La prueba de sensibilidad de los gravímetros análogos se realiza de forma diaria antes de iniciar la toma de información, o si el instrumento sufre algún golpe en el momento del transporte o medición, o cada vez que el operario lo considere necesario.

A continuación, se describen los pasos a seguir:

1. Coloque el gravímetro sobre el plato nivelante de aluminio si es necesario, o directamente en el suelo, asegurándose de que esté en una zona plana, firme y estable.
2. Antes de iniciar las mediciones, verifique diariamente el voltaje del equipo, asegurándose de que se encuentre dentro del rango de 8 a 12.2 voltios. (interruptor [8] abajo).
3. Verifique que la temperatura del gravímetro sea la adecuada, teniendo en cuenta que cada gravímetro maneja su propia temperatura óptima. Si se requiere para mejor visualización, puede prender las luces de los niveles y del sistema óptico con el interruptor [9].
4. Nivele el gravímetro usando los tornillos nivelantes [1], [4] y [11].
5. Descample o libere el tornillo sujetador [10] del gravímetro girando la perilla en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta alcanzar el tope. Asegúrese de no aplicar fuerza excesiva. Es importante tener en cuenta que dicho tornillo siempre está asegurado en sentido horario.
6. Verifique la posición del hilo reticular en el lente ocular [13], para lograr una referencia de lectura.
7. Lleve el tornillo compensador a la posición de escala relacionada anteriormente, siempre se deberá hacer de izquierda a derecha (si no se hace de esta manera se puede generar errores en la lectura), y tome la lectura de referencia en el lugar donde está realizando la prueba de sensibilidad.
8. Lleve el tornillo compensador a la posición de lectura mínima para el equipo, que se especifica en la hoja de vida del instrumento (ejemplo: 2.0). Recuerde que siempre deberá hacerlo de izquierda a derecha para evitar errores en la observación.
9. Después de lograr que la beam quede sobre la escala, gire el tornillo compensador una vuelta completa en sentido horario (1 mGal para el modelo G).
10. Verifique que el hilo reticular se haya desplazado una unidad completa según la lectura fija empleada, comprobando que una vuelta completa del tornillo compensador corresponda a 10 unidades de lectura instrumental en la beam. El desplazamiento en la beam puede encontrarse entre 8 y 11 divisiones de lectura instrumental. Si se encuentra dentro de este rango, regístrelo junto con la hora actual. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el valor debe acercarse a 10. En caso de no cumplir con esta condición, siga el siguiente procedimiento de ajuste:
 - Ubique la entrada "LL-SPIRIT ADJ" [15] y gire suavemente el protector metálico.
 - Inserte el destornillador tipo Torx.

1 (ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO ECUADOR, Facultad de Ingeniería geográfica y Medio Ambiente, METODOLOGÍA PARA EL AJUSTE DE LA RED GRAVIMÉTRICA FUNDAMENTAL DEL ECUADOR CONTINENTAL, 2005)

- Si el desplazamiento fue menor a 8 divisiones en la beam: gire levemente y de manera precisa hacia la izquierda para compensar la elongación del resorte interno.
 - Si el desplazamiento en la beam fue mayor a 10 divisiones, realice un giro leve y preciso del destornillador hacia la derecha para compensar la elongación del resorte interno.
11. Girar el micrómetro levemente en sentido antihorario, compléto asegurando el tornillo sujetador en sentido horario, mueva suavemente el gravímetro sobre la base nivelante y nivelar nuevamente.
 12. Repetir los pasos 8 y 9 para confirmar la prueba de sensibilidad. Si el desplazamiento obtenido en la beam no se encuentra dentro del rango especificado, repita el paso 10 hasta lograr que los movimientos del micrómetro correspondan con la lectura en la beam.
 13. Registre el valor de desplazamiento observado o ajustado, por ejemplo: 10/10 ó 9/10, junto con la hora en que realiza la prueba de sensibilidad.
 14. Recuerde campar o ajustar el equipo antes de moverlo y/o guardarlo en la caja de transporte. Así mismo, confirme que este se encuentra correctamente conectado a las baterías mediante los interruptores [8] y [9].

4.4.4 GRAVÍMETROS RELATIVOS DIGITALES

Debido a la facilidad en su operación, funcionamiento y características técnicas, los gravímetros digitales cada vez son más utilizados para la toma de información en campo y poseen la ventaja de ofrecer datos directamente en miligales sin necesidad de conversiones adicionales por parte del operario o el calculista. Actualmente el IGAC cuenta con dos gravímetros SCINTREX CG-6, que combinan una interfaz moderna e intuitiva con la tecnología SCINTREX de sensor de cuarzo ofreciendo medidas de gravedad rápidas, confiables y exactas. El gravímetro incluye correcciones automáticas por marea, deriva instrumental, inclinación y temperatura; sin embargo, en la operación en campo las correcciones de marea y deriva instrumental deben ser deshabilitadas ya que estas son aplicadas al momento de realizar el ajuste de las observaciones gravimétricas en oficina (imágenes 14, 15 y 16)



1. Pantalla principal
2. Módulo de teclado
3. Flechas de nivelación
4. Batería
5. GPS/Bluetooth
6. Manija de agarre
7. Trípode de nivelación
8. Tornillo de nivelación

Imagen 1. Gravímetro digital SCINTREX CG-6.

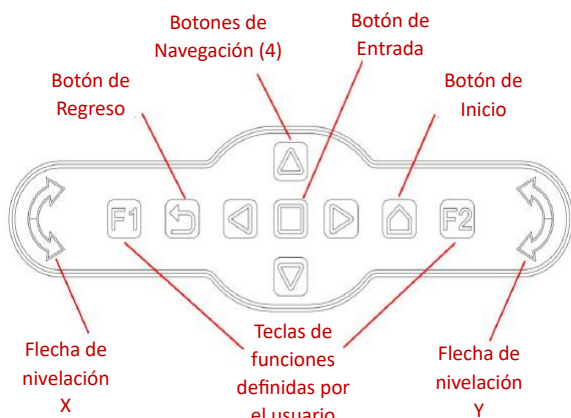


Imagen 2. Botones del módulo del teclado. Tomado de CG-6 Operation Manual.



Imagen 3. Caja de transporte gravímetro digital.

Después de encender el gravímetro CG-6, el equipo tomara aproximadamente una hora en alcanzar la temperatura óptima para operar y veinticuatro (24) horas en estabilizarse. Durante este periodo no se debe realizar circuitos de medición ya que la lectura no será adecuada; Sin embargo, se puede preparar el instrumento para la verificación de los parámetros de operación.

Manejo Gravímetros digitales:

1. Presione la válvula de liberación de presión ubicada en la parte delantera de la caja de transporte. Imagen 17.
2. Levante la pestaña de bloqueo y gírela en sentido antihorario para quitar el bloqueo. Repita el procedimiento para quitar las otras pestañas de bloqueo.
3. Abra el estuche de transporte del CG-6 levantando la tapa.
4. Retire el CG-6 de la caja, tirando hacia arriba de la manija y realice una inspección visual para establecer cualquier daño físico que pudiera ocurrir durante el transporte.
5. Instale al menos una batería y verifique su carga en la parte superior izquierda o derecha de la pantalla. También se puede verificar el estado de la batería en su parte frontal una vez sea instalada. Imágenes 18 y 19.
6. Coloque el trípode [7] directamente en el piso (preferiblemente cemento) de modo que quede parado sobre los pies puntiagudos (consulte el nivel de la burbuja en el marco del trípode).
7. Ubique el CG-6 en el trípode de modo que las superficies cónicas endurecidas en forma de V en la base del equipo encajen en los extremos esféricos de los tornillos del trípode.

Realizar la configuración del proyecto. Para configurar los ciclos de medición diríjase a "SETTINGS", "SURVEY", "Cycles", "Measure Length" usando los botones de navegación del teclado, ingresando los parámetros de acuerdo con lo enunciado en la resolución vigente del IGAC, sobre la definición de los valores que representan la calidad de los puntos medidos en las redes geodésicas, según el proyecto a desarrollar. Se debe verificar que las correcciones por mareas y deriva estén

desactivadas moviéndose con los botones de navegación del teclado hasta "SETTINGS", "CORREC",



"Drift" (Off) y "Tide" (Off) (ver imágenes 20 y 21),

8. Imagen 7 Se recomienda utilizar un retraso de al menos 10 segundos antes de iniciar la toma de la medida para permitir la estabilización del equipo y evitar movimientos del gravímetro por el contacto. Regrese a la pantalla inicial oprimiendo el botón de inicio o botón de regreso.
9. Ajuste el nivel del equipo en el trípode usando primero los tornillos de nivelación [8] del pie izquierdo y luego los del derecho hasta que las flechas de nivelación se encuentren de color verde (Imagen 8).
10. Imagen 8).
11. Usando los botones de navegación del teclado, seleccione la opción RECORD para iniciar la toma de lecturas. Verifique que el gravímetro se encuentra en modo RECORDING en la parte superior de la pantalla; asegúrese que las desviaciones estándar – SDev de las lecturas sean menor a 1 mGal (Imagen 9).
13. Una vez finalizado el ciclo de mediciones, asegúrese que el equipo está en modo "IDLE" es decir, que no esté registrando mediciones. Coloque el gravímetro en modo SLEEP usando los botones de navegación del teclado.
14. Recoja el equipo y guárdelo de forma vertical cuidadosamente en su caja de transporte.



Imagen 4. Accesorios y gravímetro CG-6.



Imagen 5. Instalación de batería.



Imagen 19. Verificación del estado de la batería

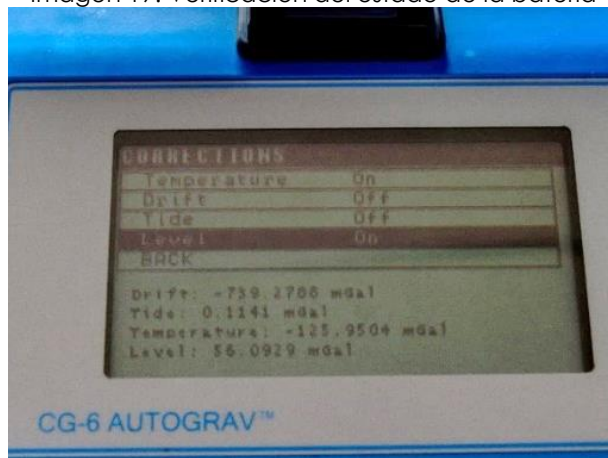


Imagen 6. Verificación del estado de las correcciones automáticas



Imagen 7. Verificación del número de ciclos y la duración de lectura.



Imagen 8. Nivelación del gravímetro.

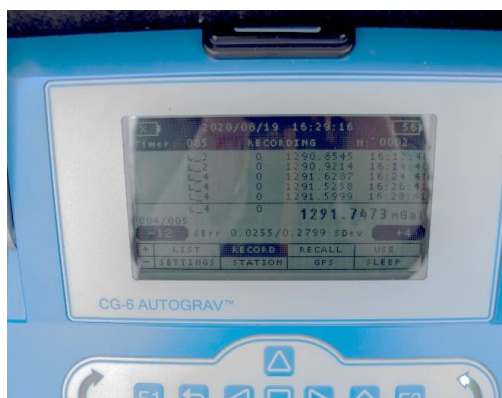


Imagen 9. Gravímetro en modo RECORDING.

4.4.5 CALIBRACIÓN DE GRAVÍMETROS RELATIVOS ANÁLOGOS

La calibración de los gravímetros relativos se debe realizar cada vez que se requiera en un laboratorio especializado y autorizado por la casa fabricante y se debe tener en cuenta la validez de las tablas de calibración para dicho proceso.

Recomendaciones de uso de gravímetros relativos

1. De ser posible, antes de salir de comisión consulte los valores instrumentales o de gravedad relativa que se esperan encontrar en el área de estudio.
2. Evite conectar el equipo directamente a corrientes eléctricas inestables, use un estabilizador de voltaje.
3. Cuando se encuentran en uso los equipos deben mantenerse lo más quietos posibles y no moverlos bruscamente entre los desplazamientos de un punto a otro.
4. El sistema de iluminación debe ser óptimo durante toda la jornada de trabajo, por lo que, dependiendo el tipo de batería en uso, se debe prever la carga de ésta.
5. Si la diferencia entre las tres lecturas instrumentales tomadas con el gravímetro análogo en un vértice es mayor a 0,01 unidades instrumentales o si se encuentra midiendo con equipo digital y

detecta que la desviación estándar calculada por el equipo para cada lectura es mayor a 1 mGal, se deberá volver a realizar la observación.

6. Cuando se observa en la pantalla del equipo que la lectura no logra estabilizarse durante la observación, se deberá solicitar apoyo a la Subdirección Cartográfica y Geodésica para confirmar algún movimiento telúrico cerca de la zona de trabajo, de ser así, no se podrán realizar mediciones durante dicha jornada. Si el punto de medición se encuentra cerca de una fuente generadora de vibraciones (tráfico vehicular, bombas sumergibles y/o equipos de bombeo, actividad industrial entre otros), deberá esperar a que cesen las perturbaciones en un tiempo que permita realizar las mediciones o descartar el sitio.

Una vez finalizada la comisión y el equipo de trabajo regrese a la sede central, se debe hacer entrega de los equipos usados al grupo de Administración de Equipos Geodésicos y Topográficos, quien almacenara y custodiara los mismos con el fin de reducir el riesgo de que estos sufran algún daño.

4.5 CÁLCULO DEL FACTOR DE ESCALA

La verificación del correcto funcionamiento de los gravímetros (análogos y digitales), se realiza mediante la ejecución del circuito de calibración instrumental, mediante este se determina el factor de escala. El cálculo de este factor se debe realizar cada vez que se inicia una comisión de medición gravimétrica, cuando el equipo haya recibido algún golpe o cuando se considere que las observaciones realizadas son inconsistentes.

Para efectuar el cálculo de factor de escala, se utiliza el software GRAVNETG (Drewes, 1978), suministrado a la comunidad de las Américas por SIRGAS, este realiza el ajuste de los datos mediante el método de mínimos cuadrados. A continuación, se explica cómo se obtiene dicho factor de escala mediante un ejemplo con datos colectados con uno de los primeros equipos LaCoste & Romberg empleado en el Instituto, ya que este actualmente no se encuentra en operación en la institución (G-175).

1. Se deben tener los valores de gravedad absolutos de las estaciones de referencia del circuito de calibración instrumental y las lecturas realizadas sobre éstas con el gravímetro relativo como se muestra en el siguiente ejemplo (Tabla 1):

Tabla 1. Valores de gravedad absolutas.

ESTACIONES	GRAVEDAD (mGal)
Bogotá (9801-95)	977374,468
Honda (9802-95)	977928,073

2. Para realizar la conversión de unidades de lectura instrumental a miligales y hacer las correcciones por mareas, se utiliza el programa GRAVDATA (Drewes, 2012).
3. En la Tabla 2 se observa un ejemplo de las lecturas instrumentales transformadas a miligales y corregidas.

Tabla 2. Lecturas relativas corregidas por mareas y convertidas en miligales.

MODELO DEL GRAVÍMETRO	FECHA DE LECTURA (AAAAAMDD)	HORA (HH.M M)	ESTACIÓN	LECTURA INSTRUMENTAL (LI)	LECTURA TRANSFORMADA (mGal)	CORRECCIÓN POR MAREAS (mGal)	LECTURA CORREGIDA (mGal)
175	20110506	08.23	Bogotá (9801-95)	917,95	965,556	-0,058	965,498

MODELO DEL GRAVÍMETRO	FECHA DE LECTURA (AAAAMMDD)	HORA (HH.M M)	ESTACIÓN	LECTURA INSTRUMENTAL (LI)	LECTURA TRANSFORMADA (mGal)	CORRECCIÓN POR MAREAS (mGal)	LECTURA CORREGIDA (mGal)
175	20110506	19.30	Honda (9802-95)	1444,07	1518,646	-0,046	1518,600
175	20110507	06.17	Honda (9802-95)	1444,04	1518,616	-0,016	1518,600
175	20110507	18.00	Bogotá (9801-95)	917,83	965,421	0,102	965,523

4. Se calcula el factor de escala promedio de la siguiente forma:
- Se calculan las diferencias entre las lecturas obtenidas en campo convertidas en mGal y corregidas por mareas y la diferencia entre los valores absolutos de gravedad (Tabla 3).

Tabla 3. Diferencias de lecturas relativas convertidas en mGal y corregidas por mareas entre estaciones absolutas de gravedad.

ESTACIONES	DIFERENCIA LECTURAS (mGal)
Bogotá (9801-95)- Honda (9802-95)	553,102
Honda (9802-95) - Bogotá (9801-95)	553,077

- La diferencia entre los valores de gravedad absoluta corresponde a la diferencia entre los valores de gravedad definidos en el libro de Gravimetría 1998 para las estaciones 9801-95 y 9802-95 de la siguiente forma:

$$Bogotá (9801 - 95) - Honda (9802 - 95) = | 977374,468 \text{ mGal} - 977928,073 \text{ mGal} | = 553,605 \text{ mGal}$$
- Se realiza la división entre la diferencia de los valores absolutos definidos en el libro de Gravimetría de 1998 y la diferencia de los valores de gravedad calculados en el circuito de calibración instrumental

$$Factor_{Bogota-Honda} = \frac{553,605}{553,102} = 1,00090$$

$$Factor_{Honda-Bogota} = \frac{553,605}{553,077} = 1,00095$$

En este caso habrá tantos factores de escala como días de medición y luego de esto se calcula el valor promedio (Tabla 4).

Tabla 4. Valor promedio del factor de escala.

ESTACIONES	FACTOR DE ESCALA
Bogotá (9801-95) - Honda (9802-95)	1,00090
Honda (9802-95) - Bogotá (9801-95)	1,00095

$$Factor \text{ de Escala} = \frac{1,00090 + 1,00095}{2} = 1,00093$$

Con esta metodología se calcula el factor de escala preliminar en campo para verificar el funcionamiento del gravímetro. El cálculo con el programa GRAVNETG se hace por medio de mínimos cuadrados, donde el factor de escala es una ecuación más dentro de las ecuaciones de observación.

Una vez finalizado el circuito calibración instrumental por parte del personal de campo, inmediatamente se deberá remitir la información al Líder de la Red de Gravimetría y al profesional de apoyo para que se calcule el factor de escala y avale el inicio del circuito de medición.

4.6 ESPECIFICACIONES REQUERIDAS PARA EL LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA

Para la estructuración de la información de gravimetría y el ajuste de la red, se deben asegurar las correctas mediciones en campo de los valores relativos de gravedad. Con el fin de lograr lo anterior, se debe tener en cuenta la precisión del levantamiento que se requiera densificar, así como las características o especificaciones para cada orden, las cuales se presentan a continuación.

Vértices geodésicos de control gravimétrico de Orden Cero (0).

Los vértices gravimétricos absolutos (Orden Cero) son establecidos por la técnica de interferometría láser y mediciones de tiempo con relojes atómicos que obtiene la aceleración de la gravedad, generando como resultado el valor de gravedad local. Estos vértices permiten realizar la densificación de las redes de menor orden y obtener un control gravimétrico local de mejor precisión. Las mediciones de estos vértices se realizarán acorde a la estabilidad del sitio, efectos climáticos y acceso al mismo. Los criterios para la selección y establecimiento de estaciones absolutas de gravedad de acuerdo a Torge (1989) son:

1. Estabilidad geológica y sísmica.
2. Estabilidad hidrológica (variaciones mínimas de aguas subterráneas, muchos kilómetros de distancia de ríos y costas oceánicas).
3. Sismicidad artificial mínima (tráfico vehicular).
4. Cada estación absoluta debe tener por lo menos tres estaciones determinadas mediante mediciones relativas, de acuerdo con la Imagen 10.
5. Fácil acceso, mediciones en cualquier momento y accesible a diferentes usuarios
6. Alto potencial para su utilización (vinculación a redes geodésicas horizontales, verticales, tridimensionales y gravimétricas).
7. Control geométrico local (variaciones de la ubicación) mediante levantamientos geodésicos
8. Control gravimétrico local (variaciones del valor de gravedad) mediante observación de estaciones excéntricas.
9. Tanto la estación absoluta como sus excéntricas deben ser materializadas.
10. Debe existir monografía con descripciones de la estación principal y las excéntricas, incluyendo características de su determinación.
11. Se deben evitar los aeropuertos, terrazas de edificios, pilastras y monumentos mayores a 2 metros.

Vértices geodésicos de control gravimétrico de Orden Uno (1).

Estos vértices son determinadas relativamente, es decir la aceleración de la gravedad es derivada de la medición de diferencias de gravedad a partir de una estación conocida. Estos vértices deben determinarse a partir de los vértices geodésicos de Orden Cero o Estaciones Absolutas, mediante observaciones con gravímetros relativos digitales o análogos.

Para la materialización del sitio, se emplea un mojón de concreto o monumento, según las especificaciones del procedimiento vigente, sobre exploración y materialización de vértices geodésicos indicados en la imagen 24.

Sobre dicho vértice se deben realizar mediciones para poder obtener ocho (8) diferencias de gravedad entre las estaciones base y los vértices que se deseen determinar. La secuencia de observación depende de las condiciones de movilización y acceso a la zona de estudio. Las observaciones de ida o regreso entre dos vértices deben ejecutarse en un periodo inferior a veinticuatro (24) horas. Así mismo, cada vértice de primer orden debe estar conectado mínimo con otra del mismo orden o de orden superior.

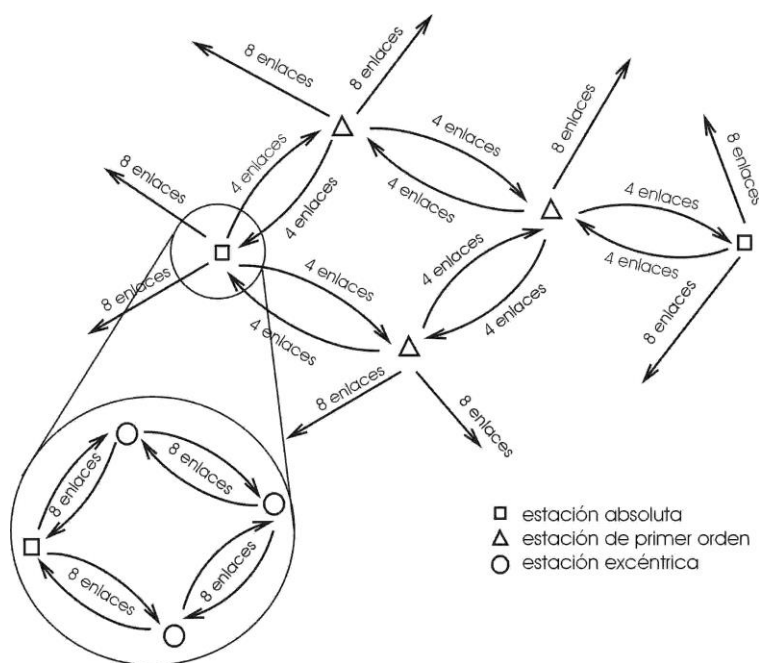


Imagen 10. Enlaces de las estaciones excéntrica y de primer orden con estaciones absolutas.

A continuación, se describen los criterios para la selección y establecimiento de estaciones de redes gravimétricas de referencia y redes geodinámicas (Torge, 1989).

1. Con los gravímetros digitales se debe obtener un mínimo de cuatro (4) lecturas en ciclos de 60 segundos o tres (3) lecturas en ciclos de 120 segundos de acuerdo a las condiciones en campo, las lecturas no deberán diferir en más de 0,01 mGal.
2. Con los gravímetros análogos se debe realizar un mínimo de cuatro (4) lecturas instrumentales por observación en menos de cinco (5) minutos, las lecturas no deberán diferir en más de 0,01 unidades instrumentales.
3. Los vértices deben ser debidamente materializados para garantizar su perdurabilidad (es conveniente utilizar los mismos vértices de las redes verticales, horizontales o tridimensionales).
4. Registro de la ubicación de los vértices, sus valores de gravedad, sus coordenadas y demás información relevante.
5. La distribución de los puntos debe ser lo más homogénea posible sobre el territorio nacional.
6. Estabilidad geológica, sísmica e hidrológica.
7. Facilidad para la ubicación estable del gravímetro (primer piso de edificios, mojones, roca, pisos de concreto).
8. Determinación de la posición de los vértices con respecto a los sistemas nacionales de referencia.
9. Se debe realizar la entrega de los datos colectados en campo de manera digital según corresponda. En el caso de las observaciones realizadas con los equipos de medición análogos, diligenciar completamente el formato de observaciones gravimétricas vigente designando para cada circuito de medición realizado, una hoja de cálculo al interior del libro, nombrada de la siguiente manera: AAAA-MM-DD, ejemplo: 20230615.
10. En el caso de las lecturas realizadas con los equipos digitales, se deberán entregar los archivos. Dat que se generan para cada uno de los circuitos medidos.

Vértices geodésicos de control gravimétrico de Orden Dos (2).

Se deben realizar las mediciones necesarias, con el fin de obtener mínimo cuatro (4) diferencias de gravedad entre las estaciones base y los vértices que se deseen determinar. La secuencia de observación depende de las condiciones de movilización y acceso a la zona de estudio. Las

observaciones de ida o regreso entre dos vértices deben ejecutarse en un periodo inferior a doce (12) horas. Así mismo, cada vértice de segundo orden debe estar conectado mínimo con otra del mismo orden o de orden superior.

De igual manera, se deben tener en cuenta las siguientes características y/o observaciones:

1. Con los gravímetros digitales se debe obtener un mínimo de tres (3) lecturas en ciclos de 60 segundos, las lecturas no deberán diferir en más de 0,01 mGal.
2. Con los gravímetros análogos de debe realizar un mínimo de tres (3) lecturas instrumentales por observación en menos de cinco (5) minutos, las lecturas no deberán diferir en más de 0,01 unidades instrumentales.
3. Los vértices deben ser debidamente materializados para garantizar su perdurabilidad (es conveniente utilizar las mismas estaciones de las redes verticales, horizontales o tridimensionales).
4. Registro de la ubicación de los vértices, sus valores de gravedad, sus coordenadas y demás información relevante.
5. La distribución de los puntos debe ser lo más homogénea posible sobre el territorio nacional.
6. Facilidad para la ubicación estable del gravímetro (primer piso de edificios, mojones, roca, pisos de concreto).
7. Cada punto debe ser medido por lo menos dos veces.
8. Para el establecimiento de los vértices de segundo orden, se deben formar circuitos que se enlacen con los vértices de igual orden o de orden superior.
9. La medición de los vértices debe ser del 100%, en caso tal que falten puntos por medir, se debe reportar en el informe de entrega, relacionando los vértices con su respectiva nomenclatura y justificación del porque no se midió. En caso tal que los vértices medidos sean inferiores al 35% de lo programado, se deberá informar de inmediato al profesional líder del procedimiento o al profesional encargado.
10. Se debe realizar la entrega de los datos colectados en campo de manera digital según corresponda. En el caso de las observaciones realizadas con los equipos de medición análogos, diligenciar completamente el formato de observaciones gravimétricas vigente designando para cada circuito de medición realizado, en una hoja de cálculo al interior del libro, nombrada de la siguiente manera: AAAA-MM-DD, ejemplo: 20230615.
11. En el caso de las lecturas realizadas con los equipos digitales, se deberán entregar los archivos.Dat que se generan para cada uno de los circuitos medidos.

Vértices geodésicos de control gravimétrico de Orden Tres (3).

A las mediciones gravimétricas que se realizan sobre los vértices de nivelación geodésica del IGAC se les determina su posición mediante un equipo de posicionamiento GNSS. La nomenclatura de los vértices geodésicos debe ser estandarizada, revisada y comparada con la información suministrada por la red pasiva y serán parte de los vértices de control gravimétrico de orden tres.

Cada punto debe ser medido por lo menos dos veces siguiendo los siguientes esquemas de circuito de medición, el IGAC ha implementado generalmente el tercer esquema de medición definido en la imagen 25 en sus levantamientos, donde la secuencia seguida es A-B-C-D-A-B-C-D. Se deben obtener mínimo dos (2) diferencias de gravedad entre las estaciones base y los vértices que se deseen determinar y el tiempo transcurrido de las mediciones entre los vértices secuenciales no debe exceder seis (6) horas.

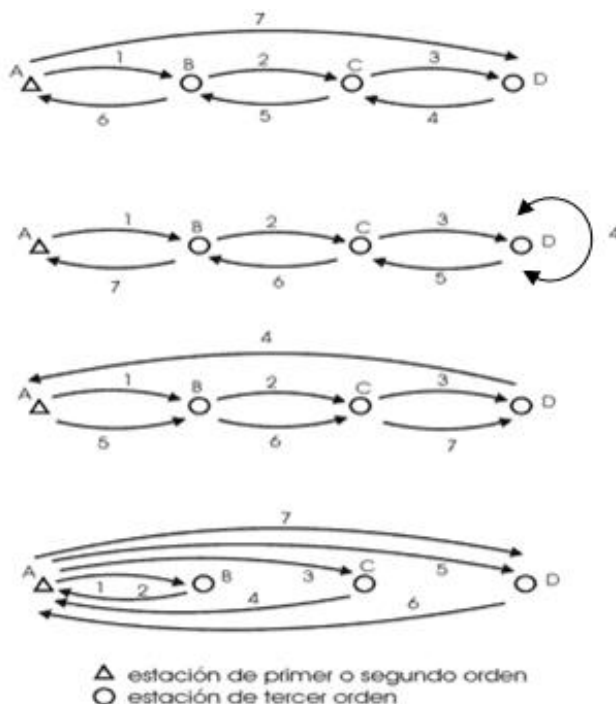


Imagen 11. Esquema de mediciones por día.

Para crear los circuitos de medición, se debe tener en cuenta:

1. Los levantamientos deben estar diseñados para iniciar y cerrar la sección en un punto con valor de gravedad conocido; de igual manera se debe realizar el post proceso de los datos, por circuito o por línea teniendo en cuenta que para el procesamiento se debe iniciar y cerrar en puntos conocidos.
2. El cierre diario se sugiere que sea en un punto con valor de gravedad conocido, de ser posible una pilastra, de lo contrario, el siguiente día de mediciones se deberá comenzar en el punto en el que se finalizó el día anterior.
3. El cierre de la línea, tramo o circuito que se proyectó, debe hacerse en un punto con valor de gravedad conocido.
4. Con los gravímetros digitales se debe obtener un mínimo de tres (3) lecturas en ciclos de 60 segundos, las lecturas no deberán diferir en más de 0,02 mGal.
5. Con los gravímetros análogos se debe realizar un mínimo de tres (3) lecturas instrumentales por observación en menos de cinco (5) minutos, las lecturas no deberán diferir en más de 0,02 unidades instrumentales.
6. La medición de los vértices debe ser del 100%, en caso tal que falten puntos por medir, se debe reportar en el informe de entrega, relacionando los vértices con su respectiva nomenclatura y justificación del porque no se midió. En caso tal que los vértices medidos sean inferiores al 35% de lo programado, se deberá informar de inmediato al profesional líder del procedimiento o al profesional encargado.
7. Se debe realizar la entrega de los datos colectados en campo de manera digital según corresponda. En el caso de las observaciones realizadas con los equipos de medición análogos, diligenciar completamente el formato de observaciones gravimétricas vigente designando para cada circuito de medición realizado, una hoja de cálculo al interior del libro, nombrada de la siguiente manera: AAAA-MM-DD, ejemplo: 20230615.
8. En el caso de las lecturas realizadas con los equipos digitales, se deberán entregar los archivos. Dat que se generan para cada uno de los circuitos medidos.

Estaciones IHRS - IHRF

Los requerimientos para la obtención de los valores de gravedad terrestre de las estaciones que se incluirán para la vinculación del Marco de Referencia Internacional de Alturas (IHRF), están sujetos de acuerdo con las especificaciones dadas por SIRGAS, las cuales deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Puntos gravimétricos distribuidos homogéneamente alrededor de las estaciones de referencia IHRF hasta una distancia de 210 km ($\sim 2^\circ$).
2. Precisión de los valores de gravedad: $\pm 0,15$ mGal, sin embargo 0,5 mGal es aceptable.
3. Coordenadas de los puntos gravimétricos con posicionamiento GNSS: mejor que $\pm 0,3$ m para la altura y $\pm 1,0$ m para la componente horizontal.
4. En áreas montañosas $\pm 50\%$ adicional de puntos gravimétricos.

Las estaciones medidas para el IHRF deben cumplir con lo establecido en la "Guía para la realización de mediciones gravimétricas alrededor de estaciones IHRF" vigente preparada por el Grupo de Trabajo III de SIRGAS (SIRGAS-GTIII): Datum Vertical, destacando los siguientes puntos:

1. Es fundamental obtener la mayor cantidad de puntos en los cuadrantes alrededor de la estación IHRF como se muestra en el siguiente ejemplo:

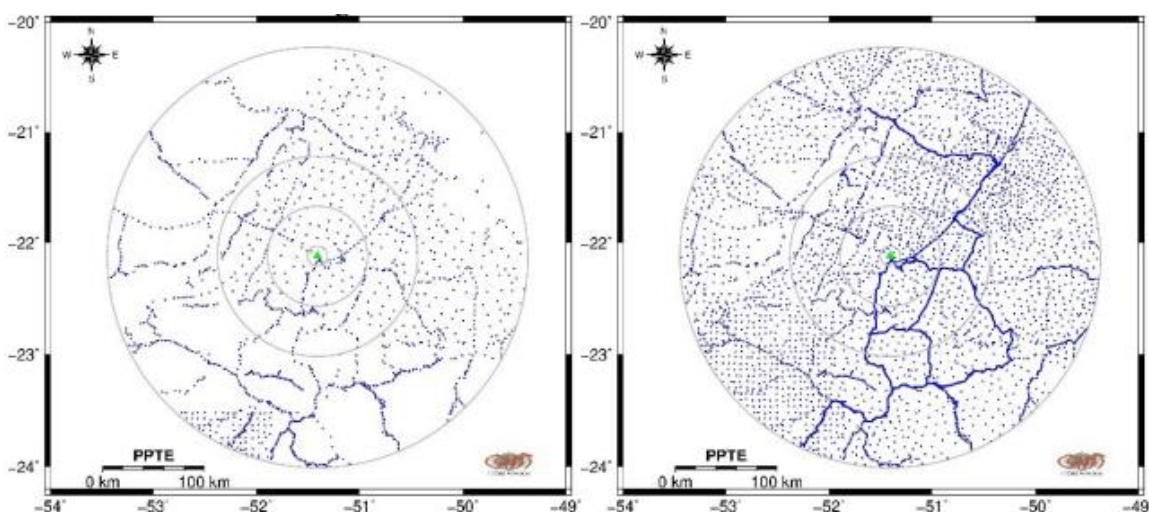


Imagen 12. Adquisición adicional de información gravimétrica en el anillo de la estación IHRF PTE en Brasil. Tomado de la Guía para la realización de mediciones gravimétricas alrededor de estaciones IHRF.

2. La distribución debe ser homogénea, evitando un sesgo estadístico.
3. La resolución espacial recomendada por el Grupo de Trabajo IAG 0.1.2, para mediciones gravimétricas es de 2 a 4 km, dependiendo del relieve (en áreas montañosas, las observaciones gravimétricas deben tener una mejor resolución que en áreas planas).
4. En el caso de la existencia de datos gravimétricos, se debe verificar la calidad de la información, especialmente la calidad de la altura GNSS y posibles errores sistemáticos.
5. Antes de cualquier campaña gravimétrica se debe realizar la planificación de campo, así como la verificación y calibración de los equipos que se utilizarán, según la especificidad de cada dispositivo.
6. Las estaciones de densificación gravimétrica deben estar vinculadas a vértices de primer orden, siempre que sea posible, o vértices de segundo orden.
7. Los circuitos de mediciones deben ser cerrados, iniciando y finalizado en la misma estación.
8. Realizar siempre que sea posible, reocupaciones en vértices de primer o segundo orden próximas a la zona de trabajo.

9. Con gravímetros análogos se deberá tomar tres lecturas en máximo 5 minutos que no deben diferir más de 0,005 lecturas instrumentales; con gravímetros digitales se deberá tomar tres ciclos, cada ciclo de 2 minutos y no deberán diferir más de 0,01 mGal.

Tabla 5. Requisitos técnicos de las redes de control gravimétrico de acuerdo a su orden

ORDEN	NÚMERO DE LECTURAS	DIFERENCIAS DE GRAVEDAD ENTRE ESTACIONES BASE Y VÉRTICE	DURACIÓN DEL CIRCUITO (horas)	DISTANCIA ENTRE VÉRTICES (km)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR O PRECISIÓN (mGal)
1	4	8	24	100 - 150	± 0,05
2	3	4	12	50 - 75	± 0,08
3	3	2	6	01 - 15	± 0,10
IHRF	3	2	6	02 - 04	± 0,15 - 0,50

4.7 CORRECCIÓN Y AJUSTE DE LOS DATOS

Depuración y promedio de los datos análogos y digitales

Para el proceso de depuración, análisis, promedio de los tiempos, lecturas instrumentales y diferencias de gravedad se usa la aplicación GRAVPY o el que haga sus veces, usando como insumo la cartera de lecturas instrumentales diligenciada y las coordenadas de los vértices observados. Como archivo de salida, se obtiene el Registro de Observaciones Gravimétricas con errores resaltados de las lecturas instrumentales, tiempo de lectura o nomenclatura mal estandarizada dado que existan, y el archivo de entrada para el programa GRAVDATA como se señala en las imágenes 27 y 28.

Como ejemplo tenemos las lecturas realizadas por el gravímetro Lacoste & Romberg G-175 en el vértice 13001001

FECHA OBSERVACIÓN (AAAA-MM-DD)	TRAYECTO (IDA / REGRESO)	NOMENCLATURA VÉRTICE	TEMPERATURA DEL EQUIPO (C°)	HORA LOCAL (hh:mm)	LECTURA INSTRUMENTAL	OFFSET (m)	OBSERVACIONES
2011-06-06	REGRESO	13001001	51.0	7:21	1678.950	0.000	
2011-06-06				7:26	1678.930		Lectura inconsistente
2011-06-06				7:27	1678.949		
2011-06-06				7:28	1678.948		

Imagen 13. Lecturas instrumentales.

HORA LOCAL (hh:mm)	LECTURA INSTRUMENTAL
7:21	1678.950
7:26	1678.930
7:27	1678.949
7:28	1678.948

Imagen 14. Depuración de información.

$$1678,950 - 1678,930 = 0,020 > 0,01$$

$$1678,949 - 1678,930 = 0,019 > 0,01$$

$$1678,948 - 1678,930 = 0,018 > 0,01$$

El valor atípico (letras rojas) superó 0,01 de diferencias con las demás lecturas, por lo tanto, no deberá ser tenido en cuenta para realizar el promedio de las lecturas instrumentales. Este procedimiento se deberá realizar con todos los vértices del circuito; la diferencia entre lecturas debe efectuarse de

manera independiente de la segunda medición que se realice en cada vértice para corregir el dato por deriva instrumental.

Promedio

- Después de revisar y hacer el control de calidad de las mediciones, se hace el promedio de las lecturas instrumentales y de las horas como se indica a continuación.

FECHA OBSERVACIÓN (AAAA-MM-DD)	TRAYECTO (IDA/REGRESO)	NOMENCLATURA VÉRTICE	TEMPERATURA DEL EQUIPO (C)	HORA LOCAL (hh:mm)	LECTURA INSTRUMENTAL	OFFSET (m)	OBSERVACIONES
2011-05-25	IDA	A80-CW-8	51.0	10:51	1647.712	0.000	
2011-05-25				10:52	1647.711		
2011-05-25				10:53	1647.710		
				10:52	1647.711		

Imagen 159. Promedios de lecturas instrumentales.

Para los gravímetros digitales, el cálculo del promedio de las lecturas en mGal, las horas y la depuración de los datos debe realizarse usando como insumo el archivo .DAT generado por el equipo, teniendo en cuenta que las lecturas utilizadas en el ajuste no deben tener las correcciones automáticas de marea y deriva instrumental realizadas por el gravímetro.

Conversión y correcciones de lecturas

Para la conversión de las lecturas instrumentales a valores en miligales y realizar la corrección por mareas lunisulares, se utiliza el programa GRAVDATA.

Conversión de lecturas instrumentales a valores en mGal (Gravímetros Análogos)

Para la conversión de los datos se requiere la tabla del gravímetro donde se encuentran los valores en miligales correspondientes a las centenas en unidad instrumental y su factor de conversión. A continuación, se presenta un ejemplo partiendo del promedio de las lecturas tomadas en el vértice A80-CW-8 = 1 647,711 unidad instrumental.

- Después de realizar el promedio (paso 1), este valor se aproxima al valor de la centena inferior más cercana, para este ejemplo: 1600
- Se resta la lectura promedio obtenida en campo con el valor obtenido en el paso 2:
- $1647,711 - 1600 = 47,711$
- Se verifica el valor cercano a la centena de la lectura instrumental (paso 2), para obtener el valor en miligales y el factor de conversión (Tabla 6).

Nota: Cada gravímetro tiene su tabla de conversión de valores instrumentales a miligales y el factor de conversión.

Tabla 6. Factor de conversión ejemplo.

INSTRUMENTO	LECTURA INSTRUMENTAL DE REFERENCIA	VALOR EQUIVALENTE (MGAL) (VER TABLA DE CONVERSIÓN)	FACTOR DE CONVERSIÓN
LCRG171	1500	1566,46	1,04420
LCRG171	1600	1670,88	1,04423
LCRG171	1700	1775,30	1,04431

En la tabla de factor de conversión, el valor 1 600 de lectura instrumental de referencia corresponde a 1 670,88 mGal y tiene un factor de conversión de 1,04423.

- Se multiplica el factor de conversión por la diferencia de lectura que se obtuvo en el paso 3
 $47,711 * 1,04423 = 49,821$
- Se suma el valor obtenido en el paso 5 y valor equivalente en miligales de la Tabla 6.
 $49,821 + 1670,88 = 1720,701$ miligales

El cálculo para la conversión de los datos de unidad instrumental a miligales se lleva a cabo por medio de la función 'Conversion.m' del software GRAVDATA. Este procedimiento aplica para las lecturas obtenidas con gravímetros análogos, debido a que los gravímetros digitales hacen dicha conversión internamente, entregando valores en miligales.

Corrección por mareas de los datos obtenidos con los gravímetros análogos y digitales

El valor de corrección por mareas se realiza por medio de la teoría de Cartwright-Taylor y Cartwright-Edden con desarrollo de 505 mareas parciales establecido por Wenzel2 (Tabla 7) y usado mediante el software GRAVDATA.

Tabla 7. Corrección por mareas.

VÉRTICE	LECTURA (MGAL)	CORRECCIÓN MAREA (MGAL)	LECTURA CORREGIDA (MGAL)
A80-CW-8	1720,701	0,024	1720,725

Lecturas corregidas por marea = 1720,701 + 0,024 = 1720,725 mGal

Las correcciones de marea para las lecturas obtenidas con gravímetros digitales se hacen de acuerdo con la teoría mencionada anteriormente, no se debe utilizar la corrección que trae por defecto el gravímetro digital, por lo tanto, esta opción deberá estar deshabilitada para que no altere las lecturas relativas.

Para la corrección por factor de escala, deriva instrumental y cálculo de los valores de gravedad, se usa el programa GRAVNETG. Así mismo, la corrección por deriva automática realizada por el gravímetro digital debe estar desactivada.

Aplicación del factor de escala

Tabla 8. Lectura del vértice.

VÉRTICE	LECTURA (mGal)
A80-CW-8	1720,725

Factor de escala para el ejemplo: 1,00041

Lectura corregida por factor de escala = 1720,725 * 1,000 41 = 1721,430.

Corrección por deriva instrumental

El cálculo de la deriva instrumental se realiza por medio del desarrollo de series de Taylor, con la cual se busca expresar de forma lineal el cálculo de la siguiente manera:

$$z(t) = z(t_0) + \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)_0 (t - t_0) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 z}{\partial t^2}\right)_0 (t - t_0)^2 + \left(\frac{\partial^3 z}{\partial t^3}\right)_0 (t - t_0)^3 + \dots + \left(\frac{\partial^n z}{\partial t^n}\right)_0 (t - t_0)^n$$

$$z(t) = z(t_0) + d_1(t - t_0) + d_2(t - t_0)^2 + d_3(t - t_0)^3 + \dots + d_n(t - t_0)^n$$

La determinación de la deriva instrumental se realiza en el ajuste el cual es una incógnita del problema.

Cálculo de la deriva instrumental.

Lo que se espera de las mediciones en campo es que independientemente del tiempo, los valores en un mismo vértice sean iguales; sin embargo, esto no sucede en la realidad. La deriva instrumental corresponde al cambio en la lectura del gravímetro en función del tiempo. Se debe entonces calcular

2 Wenzel, H. (1994). Earth tide data processing ETERNA 3.20. Marees Terr. Bull. d'Inf. Bruxelles, No. 120: 9019 – 9121.

una función lineal para cada vértice donde la variable independiente es el tiempo y la variable dependiente es lectura en miligales corregida por mareas y factor de escala.

Para efectuar la corrección por deriva instrumental se debe:

1. Calcular la diferencia entre el valor de lectura obtenido en cada una de las mediciones del mismo vértice.
2. Dividirlo en la diferencia de tiempo entre las dos lecturas, teniendo en cuenta el valor de lectura y la hora en decimales como se muestra en las Tablas 9 y 10

Para el ejemplo se calculará la deriva del vértice de Albán

Tabla 9. Circuito de calibración Instrumental 2018.

FECHA (AAAAMMDD)	VÉRTICE	HORA LOCAL (HH:MM)	HORA DECIMAL	LECTURA (MGAL)	CORRECCIÓN POR MAREA (MGAL)	LECTURA CORREGIDA POR MAREA (MGAL)
20180206	Bogotá (NP A-2-E1)	09:26	9,433	1045,813	-0,015	1045,798
20180206	Albán (41-NW-1)	12:41	12,683	1139,003	0,014	1139,017
20180206	Honda (Honda-R1)	17:02	17,033	1599,224	0,090	1599,314
20180207	Honda (Honda-R1)	06:26	6,433	1599,236	0,070	1599,306
20180207	Albán (41-NW-1)	10:50	10,833	1139,042	-0,006	1139,036
20180207	Bogotá (NP A-2-E1)	13:39	13,650	1045,829	0,013	1045,842

Tabla 10. Diferencia de lecturas y tiempo.

VÉRTICE	Δl	Δt	$\frac{\Delta l}{\Delta t}$
Bogotá (NP A-2-E1)	0,044	28,217	0,00155934
Albán (41-NW-1)	0,019	22,150	0,00085779
Honda (Honda-R1)	0,008	13,400	0,00059701
		Σ	0,00301415

El valor de deriva se calcula con la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{0,019}{22,150} = 0,00085779$$

Calculado el valor de deriva se aplica la corrección dado por la siguiente ecuación:

$$Lectura\ Corregida = lectura - D(t - t_0)$$

Donde t_0 es el tiempo inicial; la hora de la toma de lectura del primer vértice en el día. Para la primera lectura del vértice se tendría:

$$Lectura\ Corregida = 1139,017 - (0,00085779)(12,683 - 9,433) = 1139,014$$

Para la segunda lectura:

$$Lectura\ Corregida = 1139,036 - (0,00085779)(25,400 - 9,433) = 1139,014$$

Donde la deriva es el cambio que tuvo el valor de la lectura en el mismo vértice con respecto al tiempo, $(t - t_0)$. Si se representa en una ecuación lineal $y = mx + b$, la pendiente m sería el valor de la deriva instrumental para el vértice.

Ajuste de los datos.

Como se mencionó anteriormente este ajuste se realiza con el programa GRAVNETG, el cual no usa una matriz de pesos unitaria.

Matriz de pesos - Cofactores Drewes.

La consideración de la aparición de Δl -valores muestra que el supuesto de observaciones independientes sobre las diferencias de gravedad no es cierto. En realidad, no se miden directamente, por lo general es una serie de lecturas (l) en los puntos de una red llevada a cabo, a partir del cual Δl se forman durante tres puntos consecutivos.

$$\Delta l_{12} = l_2 - l_1, \quad \Delta l_{23} = l_3 - l_2$$

Es decir, la lectura l_2 se incluye en ambos Δl . La correlación algebraica entre Δl_{12} y Δl_{23} es $r = -0,5$. Esta correlación se debe tener en cuenta en la igualdad (Drewes, 1978). La corrección es negativa para que la lectura que interviene en las dos ecuaciones distribuya su error de forma equitativa.

Como ejemplo de cálculo supondremos una red de tres observaciones donde su matriz de pesos resultante es de tamaño 3×3 .

$$q_{(i,i+1)-(i+1,i)} = -0,5 * \sqrt{1 * 1}$$

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & -0,5 & 0 \\ -0,5 & 1 & -0,5 \\ 0 & -0,5 & 1 \end{bmatrix}$$

Por último, para calcular la matriz de pesos se invierte la matriz de cofactores de las observaciones.

$$P = Q^{-1} = \begin{bmatrix} 1,5 & 1 & 0,5 \\ 1 & 2 & 1 \\ 0,5 & 1 & 1,5 \end{bmatrix}$$

Ajuste por mínimos cuadrados.

Las lecturas de un gravímetro z se pueden usar en las ecuaciones de observación como sigue:

$$l(t) + v = g + N_0 + \Delta F(z) + D(t)$$

Donde:

t : Tiempo de medición.

l : Valor de gravedad corregido por factor de escala y mareas.

v : Residual de l .

g : Valor de gravedad del vértice.

N_0 : Constante parcial.

$\Delta F(z)$: Corrección por factor de escala.

z : Lectura del vértice en unidades del gravímetro (CU).

$D(t)$: Deriva del gravímetro.

Las observaciones relativas de gravedad entre vértices estarán dadas por:

$$\Delta l_{i,j} + v_{i,j} = g_j - g_i + (\Delta F(z_j) - \Delta F(z_i)) + (D(z_j) - D(z_i))$$

Donde $v_{i,j}$ es el residual de $\Delta l_{i,j} = l_j - l_i$ y t_i, t_j son los tiempos de medición. En la ecuación anterior a esta, el valor N_0 ha sido eliminado.

Asumiendo que hay n observaciones, matricialmente la ecuación se expresaría de esta manera:

$$L^b + V = AX, \text{ la matriz de pesos de } L^b = P$$

Donde:

L^b : $n \times 1$ un vector de mediciones relativas de gravedad.

V : $n \times 1$ un vector de residuales.

A : Matriz de coeficientes.

X : $u \times 1$ vector de incógnitas, valores de gravedad, parámetros del gravímetro, deriva y factor de escala.

4.8 PROGRAMA GRAVDATA – GRAVNETG

4.8.1 ESTRUCTURA ARCHIVO INGRESO (ARCHIVO.IN)

Para que el GRAVDATA realice el proceso de conversión, se debe ingresar un archivo .IN, el cual debe estar estructurado como se indica en las imágenes 30 y 31.

1. Primera línea: Nombre del Proyecto o línea a calcular. Máximo 80 caracteres, ejemplo: "Circuito_Calibración_2018_G46".
2. Segunda línea: número de grupos de mareas y diferencia de tiempo de las observaciones con respecto al Tiempo Universal, con formato: (I3, F5.1), ejemplo: (1 -5.0).
Nota: El gravímetro CG-06 presenta la hora en Tiempo Universal Coordinado UTC, por lo tanto, la diferencia en tiempo debe ser cero, ejemplo: (1 0.0).
3. Tercera línea: Grupo de mareas inicial (1) y grupo de mareas final (505), factor gravimétrico (- 1.17), fase gravimétrica (0.00), con formato: (I3, I4, F7.2, F7.2).
4. Desde la cuarta línea hasta la que sea necesaria, va estructurada la información de localización de los vértices a calcular de la siguiente manera: Nomenclatura estandarizada de los vértices, latitud, longitud en decimales y altura elipsoidal, con formato: (A8, F9.3, F9.3, F9.3).
5. En la siguiente línea finalizando las coordenadas, se coloca END OF STATIONS, para que el programa identifique hasta donde van las coordenadas de los vértices.
6. Para la siguiente línea, se estructura la tabla de transformación del gravímetro análogo utilizado. Tipo de gravímetro, número del gravímetro y lectura más baja de transformación con la cual se inicia, ejemplo: (LCR-G 46 700.), con formato: (A8, I4, F5.0).
7. Debajo de esta información van los valores en miligales y el factor de conversión, este factor de conversión debe tener para algunos casos cinco cifras decimales, con los siguientes formatos: (F8.3, F8.5).
Nota: Si se trata del gravímetro digital se deberá establecer una tabla de transformación a uno, de tal forma que la lectura del gravímetro no se altere ya que sin esta tabla el valor reducido arrojado por el programa será igual a la corrección por marea.
8. Se da por finalizada la tabla de conversión con los valores (0.0 0.00).
9. En las siguientes líneas se indica la información del número de gravímetro utilizado, fecha de la toma de información, año, mes día, (AAAAMMDD) nomenclatura estandarizada del vértice, tiempo en hh.mm, y lectura instrumental, con formato: (I4, I4, I2, I2, 1X, A8, F4.0, I2, F10.3), ejemplo:

171 20230601 GUAD-01

15.27 852.730

10. El archivo debe finalizarse con el tipo y número de gravímetro utilizado. Ejemplo: END LCRG171.

Se debe tener en cuenta los formatos de cada ítem, ya que, si no se cumple acorde a lo expuesto aquí, el programa genera el archivo de salida sin información.

```

1 CIRCUITO CALIBRACION_2023_G171
2 1 0.0
3 1 505 -1.17 0.00
4 GUAD-01 4.591 -74.053 3269.6
5 25377002 4.731 -73.976 2811.0
6 UMNG-01 4.942 -74.010 2601.3
7
8 LCR-6 171 700.
9 0731.15 1.0442
10 0835.57 1.0441
11 0939.98 1.0441
12 1044.39 1.0441
13 1148.80 1.0441
14 1253.21 1.0442
15 1357.63 1.0441
16 1462.04 1.0442
17 1566.46 1.0442
18 1670.88 1.0442
19 1775.30 1.0443
20 1879.73 1.0443
21 1984.16 1.0444
22 2088.60 1.0444
23 2193.04 1.0444
24 2297.48 1.0446
25 2401.94 1.0445
26 2506.39 1.0447
27 2610.86 1.0447
28 2715.33 1.0448
29 2819.81 1.0448
30 2924.29 1.0449
31 0.0 0.0
32 171 20230601 GUAD-01 15.27 852.730
33 171 20230601 25377002 17.50 943.511
34 171 20230601 UMNG-01 21.12 981.221
35 171 20230601 UMNG-01 21.26 981.216
36 171 20230601 25377002 23.08 943.651
37 171 20230602 GUAD-01 12.32 852.791
38
39 END LCR6171

```

Imagen 3016. Estructura del archivo .IN de GRAVDATA.

```

1 Circuito_de_calibración_2023_-_Colombia_ CG-B6
2 1 0.0
3 1 505 -1.17 0.00
4 GUAD-01 4.591 -74.053 3269.6
5 25377002 4.731 -73.976 2811.0
6 UMNG-01 4.942 -74.010 2601.3
7
8 CG-06 26 700.
9 700.00 1.00000
10 800.00 1.00000
11 900.00 1.00000
12 1000.00 1.00000
13 1100.00 1.00000
14 1200.00 1.00000
15 1300.00 1.00000
16 1400.00 1.00000
17 1500.00 1.00000
18 1600.00 1.00000
19 1700.00 1.00000
20 1800.00 1.00000
21 1900.00 1.00000
22 2000.00 1.00000
23 2100.00 1.00000
24 2200.00 1.00000
25 2300.00 1.00000
26 2400.00 1.00000
27 2500.00 1.00000
28 2600.00 1.00000
29 0.0 0.0
30 26 20230601 GUAD-01 15.46 1609.775
31 26 20230601 25377002 18.19 1704.676
32 26 20230601 UMNG-01 20.58 1743.994
33 26 20230601 UMNG-01 21.18 1743.998
34 26 20230601 25377002 23.09 1704.766
35 26 20230602 GUAD-01 12.14 1609.889
36
37 END CG-06

```

Imagen 31. Estructura del archivo .IN de GRAVDATA para gravímetro digital con tabla de conversión igual 1,0.

4.8.2 GRAVDATA

El GRAVDATA se ejecuta desde la carpeta donde se encuentra el archivo .IN a calcular, en esta carpeta deben estar siempre los siguientes archivos: ejecutable (GRAVDATAes.exe), los tres archivos .dll y el archivo GRAVTIDE, este último contiene los parámetros de las mareas parciales necesarios para calcular la corrección como se indica a continuación.

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Ajuste	🔄	4/09/2023 3:56 p. m.	Carpeta de archivos	
Factor_Escala	🔄	4/09/2023 3:56 p. m.	Carpeta de archivos	
CAL_2023G171 GRAVDATA	🟢	8/06/2023 6:17 a. m.	Archivo IN	2 KB
GRAVDATAes	🟢	12/07/2020 12:45 p. m.	Aplicación	58 KB
GRAVTIDE	🟢	12/07/2020 12:45 p. m.	Archivo	27 KB
libgcc_s_sjlj-1.dll	🟢	12/07/2020 12:45 p. m.	Extensión de la ap...	488 KB
libgfortran-3.dll	🟢	12/07/2020 12:45 p. m.	Extensión de la ap...	1.540 KB
libquadmath-0.dll	🟢	12/07/2020 12:45 p. m.	Extensión de la ap...	608 KB
Programas GRAVDATA y GRAVNETD	🟢	12/07/2020 1:25 p. m.	Documento Adob...	76 KB

Imagen 3217. Archivo ejecutable GRAVDATAes.

De acuerdo con lo anterior se ejecuta el archivo GRAVDATAes desde la ruta en la que se encuentra el programa, apareciendo la siguiente pantalla:

```

C:\Windows\System32\cmd.exe - GRAVDATAes.exe
Microsoft Windows [Versión 10.0.19042.804]
(c) 2020 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

D:\OneDrive - IGAC\2023\Gravimetria\AJUSTE_2023\GRAVDATA>GRAVDATAes.exe
Conversion y correccion de gravimetria (Drewes 2016)
-----
Se requieren dos archivos de entrada:
  1: (GRAVTIDE): 505 parametros de mareas parciales
  2: (datos de observacion): linea 1 (A80): titulo
linea 2: (I3,F5.1) NGR, DTM: grupos de ondas mareales
      NGR: numero de grupos que van a introducirse
      DTM: diferencia de tiempo local con UT
seguido: NGR lineas (I3,I4,F7.2,F7.2): NA,NE, DG,DPHI
      NA : numero inicial, NE: No. final del grupo
      DG : factor gravimetrico, DPHI: fase mareal
seguido: (A20,3F9.3): PTO,PHI,LDA,ALTURA: coordenadas
      (linea final en blanco = fin de estaciones)
seguido: (A8,I4,F5.0): (gravimetro) TIPO, NO, LECTURA
      mas baja de la tabla de transformacion dada
seguido: (F8.3,F8.5): CONS,FAC de tabla de transform.
      (linea final en blanco = fin de tabla de tr)
seguido: (I4,IX,I4,I2,I2,IX,A20,IX,F3.0,I2,F10.3):
      NO,ANO,MES,DIA,PTO,HORA,MIN,LECT: mediciones
      no. gravimetro, fecha, punto, hora, lectura
      (linea final en blanco = fin del gravimetro)
seguido: (opcional) lecturas con otros gravimetros
      otra linea en blanco = final de todos los gravimetros

Archivo de entrada: CAL_2023G171_GRAVDATA.IN
Archivo de salida : CAL_2023G171_GRAVDATA.OUT
  
```

Imagen 33. Interfaz GRAVDATAes.

En archivo de entrada se escribe el nombre del archivo a calcular tal cual con la extensión .IN.

En archivo de salida se escribe el nombre del archivo de salida y la extensión .OUT Finalmente genera el archivo de salida y un archivo GRAVDATA.DAT, este nos servirá como base para ingresar al programa GRAVNETG.

OneDrive - IGAC > 2023 > Gravimetría > AJUSTE_2023 > GRAVDATA

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Ajuste	✓	4/09/2023 3:56 p. m.	Carpeta de archivos	
Factor_Escala	✓	4/09/2023 3:56 p. m.	Carpeta de archivos	
CAL_2023G171_GRAVDATA	✓	8/06/2023 6:17 a. m.	Archivo IN	2 KB
CAL_2023G171_GRAVDATA	✓	4/09/2023 3:59 p. m.	Archivo OUT	3 KB
GRAVDATA	✓	4/09/2023 3:59 p. m.	Archivo DAT	1 KB
GRAVDATAes	✓	12/07/2020 12:45 p. m.	Aplicación	58 KB
GRAVTIDE	✓	12/07/2020 12:45 p. m.	Archivo	27 KB
libgcc_s_sjlj-1.dll	✓	12/07/2020 12:45 p. m.	Extensión de la ap...	488 KB
libgfortran-3.dll	✓	12/07/2020 12:45 p. m.	Extensión de la ap...	1.540 KB
libquadmath-0.dll	✓	12/07/2020 12:45 p. m.	Extensión de la ap...	608 KB
Programas GRAVDATA y GRAVNETD	✓	12/07/2020 1:25 p. m.	Documento Adob...	76 KB

Imagen 34. Archivos GRAVDATA.

4.8.3 ARCHIVOS DE SALIDA (*.OUT Y *.DAT)

El archivo de salida que genera el software GRAVDATA, se divide en cuatro grupos: el primero es la información de los parámetros de las ondas de mareas, el segundo es el listado de los vértices a calcular, el tercero muestra la tabla de conversión que se utiliza y el cuarto muestra la conversión de las lecturas instrumentales a miligales y su respectiva corrección por mareas, ver imágenes 35, 36 y 37.

```

1  Conversión de observaciones gravimétricas y reducción de mareas
2  según Cartwright/Taylor/Edden (1971/73, Wenzel 1994, Drewes 2016)
3
4  CIRCUITO CALIBRACION_2023_G171
5
6  Parámetros de los grupos de ondas
7  -----
8
9  No. desde a Factor A Fase [°]
10
11   1   1 505 -1.1700  0.0000
12
13
14  Listado de las estaciones medidas
15  -----
16
17  No. Nombre           Latitud  Longitud  Altura
18
19   1  GUAD-01           4.591    -74.053  3269.6
20   2  25377002          4.731    -73.976  2811.0
21   3  UMNG-01           4.942    -74.010  2601.3
22
23
24  Tabla de transformación de LCR-G  171
25  -----
26
27  Lectura   Const. de adición   Factor
28
29   700.000    731.150    1.04420
30   800.000    835.570    1.04410
31   900.000    939.980    1.04410
32  1000.000   1044.390    1.04410
33  1100.000   1148.800    1.04410
34  1200.000   1253.210    1.04420
35  1300.000   1357.630    1.04410
36  1400.000   1462.040    1.04420
37  1500.000   1566.460    1.04420
38  1600.000   1670.880    1.04420
39  1700.000   1775.300    1.04430
40  1800.000   1879.730    1.04430
41  1900.000   1984.160    1.04440
42  2000.000   2088.600    1.04440
43  2100.000   2193.040    1.04440
44  2200.000   2297.480    1.04460
45  2300.000   2401.940    1.04450
46  2400.000   2506.390    1.04470
47  2500.000   2610.860    1.04470
48  2600.000   2715.330    1.04480
49  2700.000   2819.810    1.04480
50  2800.000   2924.290    1.04490
51
52
53  Conversión y reducción de mareas de lecturas gravimétricas (diferencia UT  0 h)
54  -----
55
56  Inst.  Fecha      Hora en UT  Estación      Lectura  Conversión  Mareas  Reducido
57
58  171  2023  6  1  15.27  15.45  GUAD-01      852.730  890.625  0.154  890.780
59  171  2023  6  1  17.50  17.83  25377002     943.511  985.410  0.073  985.483
60  171  2023  6  1  21.12  21.20  UMNG-01     981.221  1024.783 -0.079  1024.704
61  171  2023  6  1  21.26  21.43  UMNG-01     981.216  1024.778 -0.081  1024.697
62  171  2023  6  1  23.  8  23.13  25377002     943.651  985.556 -0.047  985.509
63  171  2023  6  2  12.32  12.53  GUAD-01     852.791  890.689  0.023  890.712
64
65  Número de observaciones con gravímetro LCR-G  171:  6
66  Número de estaciones observadas con este gravímetro:  3
67  Número de épocas de observación gravimétrica (días):  2
68

```

Imagen 18. Archivo .OUT de GRAVDATA.

```

1  Conversión de observaciones gravimétricas y reducción de mareas
2  según Cartwright/Taylor/Edden (1971/73, Wenzel 1994, Drewes 2016)
3
4  Circuito_de_calibración_2023_-_Colombia_CG-06
5
6  Parámetros de los grupos de ondas
7  -----
8
9  No. desde a Factor A Fase [°]
10
11  1 1 505 -1.1700 0.0000
12
13
14  Listado de las estaciones medidas
15  -----
16
17  No. Nombre Latitud Longitud Altura
18
19  1 GUAD-01 4.591 -74.053 3269.6
20  2 25377002 4.731 -73.976 2811.0
21  3 UMNG-01 4.942 -74.010 2601.3
22
23
24  Tabla de transformación de CG-06 6
25  -----
26
27  Lectura Const. de adición Factor
28
29  700.000 700.000 1.00000
30  800.000 800.000 1.00000
31  900.000 900.000 1.00000
32  1000.000 1000.000 1.00000
33  1100.000 1100.000 1.00000
34  1200.000 1200.000 1.00000
35  1300.000 1300.000 1.00000
36  1400.000 1400.000 1.00000
37  1500.000 1500.000 1.00000
38  1600.000 1600.000 1.00000
39  1700.000 1700.000 1.00000
40  1800.000 1800.000 1.00000
41  1900.000 1900.000 1.00000
42  2000.000 2000.000 1.00000
43  2100.000 2100.000 1.00000
44  2200.000 2200.000 1.00000
45  2300.000 2300.000 1.00000
46  2400.000 2400.000 1.00000
47  2500.000 2500.000 1.00000
48  2600.000 2600.000 1.00000
49
50
51  Conversión y reducción de mareas de lecturas gravimétricas (diferencia UT 0 h)
52  -----
53
54  Inst. Fecha Hora en UT Estación Lectura Conversión Mareas Reducido
55
56  6 2023 6 1 15.45 15.75 GUAD-01 1139.735 1139.735 0.152 1139.887
57  6 2023 6 1 18. 8 18.13 25377002 1234.657 1234.657 0.056 1234.713
58  6 2023 6 1 20.57 20.95 UMNG-01 1274.000 1274.000 -0.075 1273.925
59  6 2023 6 1 21.20 21.33 UMNG-01 1274.003 1274.003 -0.080 1273.923
60  6 2023 6 1 23.26 23.43 25377002 1234.748 1234.748 -0.034 1234.714
61  6 2023 6 2 12.11 12.18 GUAD-01 1139.892 1139.892 0.002 1139.894
62
63  Número de observaciones con gravímetro CG-06 6: 6
64  Número de estaciones observadas con este gravímetro: 3
65  Número de épocas de observación gravimétrica (días): 2
66

```

Imagen 19. Archivo .OUT de GRAVDATA para gravímetro digital sin tabla de conversión de unidades.

```

1  CIRCUITO CALIBRACION_2023_G268
2  268 20230601 GUAD-01 15.20 985.288
3  268 20230601 25377002 17.44 1079.981
4  268 20230601 UMNG-01 21. 6 1119.125
5  268 20230601 UMNG-01 21.10 1118.987
6  268 20230601 25377002 23.10 1079.761
7  268 20230602 GUAD-01 12.35 984.995
8

```

Imagen 20. Estructura GRAVDATA.DAT con valores reducidos por corrección de marea.

4.8.4 GRAVNETG

Realiza el cálculo y ajuste de una red gravimétrica a través de mínimos cuadrados, utilizando la metodología expuesta en el capítulo 4.7 CORRECCIÓN Y AJUSTE DE LOS DATOS

Estructura archivo de entrada (GRAVNETG.IN)

Después de realizada la conversión y corrección de las lecturas en miligales, el programa GRAVDATA genera un archivo .DAT, que se utiliza para ingresar a GRAVNETG. El archivo en su encabezado tiene el nombre de la línea o proyecto y en las siguientes líneas el número del gravímetro, la fecha, los vértices, la hora y la lectura en miligales de cada punto. Para que GRAVNETG realice el proceso interno de cálculo se debe modificar incluyendo los parámetros de factor de escala y deriva instrumental, además de las estaciones base con valores de gravedad, ver imágenes 38 y 39.

1. Primera línea: Nombre del proyecto o línea a calcular, máximo 48 caracteres.
2. Segunda línea: Nombre de las personas que realizan el cálculo, máximo 48 caracteres.
3. Tercera línea: esta contiene los parámetros de la deriva instrumental, factor de escala y secuencia de los vértices con el siguiente formato: (I2, I2, I2, I2). Para el cálculo del factor de escala es importante que los vértices de referencia sean de primer orden (precisión del valor de gravedad mayor que 0,001 mGal), de lo contrario los factores de escala determinados podrían ser erróneos y el error se propagaría desfavorablemente sobre toda la red.

ND = número de gravímetros con parámetros para estimar la deriva.

NS = número de gravímetros para calcular el factor de escala.

NM = número de gravímetros con un factor de escala conocido.

IS = 1: secuencia deseada de vértices dadas, 0: no dada.

```

1 Circuito_de_calibración_2023
2 IGAC- Daniela Hernandez
3 4 4 0 0
4 0 0 0 0 GUAD-01 0.0 977249.400 92.764
5 0 0 0 0 UMNG-01 0.0 977383.353 91.827
6 16 20230601 GUAD-01 15.45 1139.887
7 16 20230601 25377002 18.8 1234.713
8 16 20230601 UMNG-01 20.57 1273.925
9 16 20230601 UMNG-01 21.20 1273.923
10 16 20230601 25377002 23.26 1234.714
11 16 20230602 GUAD-01 12.11 1139.894
12 26 20230601 GUAD-01 15.46 1609.927
13 26 20230601 25377002 18.19 1704.721
14 26 20230601 UMNG-01 20.58 1743.919
15 26 20230601 UMNG-01 21.18 1743.918
16 26 20230601 25377002 23.9 1704.720
17 26 20230602 GUAD-01 12.14 1609.894
18 171 20230601 GUAD-01 15.27 890.780
19 171 20230601 25377002 17.50 985.482
20 171 20230601 UMNG-01 21.12 1024.703
21 171 20230601 UMNG-01 21.26 1024.701
22 171 20230601 25377002 23.8 985.508
23 171 20230602 GUAD-01 12.32 890.711
24 268 20230601 GUAD-01 15.20 1118.196
25 268 20230601 25377002 17.44 1079.981
26 268 20230601 UMNG-01 21.6 1119.125
27 268 20230601 UMNG-01 21.10 1118.987
28 268 20230601 25377002 23.10 1079.761
29 268 20230602 GUAD-01 12.35 984.999

```

Imagen 21. Estructura GRAVNETG.IN para calcular factor de escala.


```

1 Red_Primer_Orden_2023
2 IGAC-Daniela Hernandez - Diego Cortes
3 10 010 0
4 6 0.999454 1.00
5 26 0.999745 1.00
6 46 0.999902 1.00
7 810 1.000571 1.00
8 845 1.000732 1.00
9 1025 1.000000 1.00
10 1024 1.000000 1.00
11 59 1.000000 1.00
12 171 1.000401 1.00
13 268 0.999612 1.00
14 0 0 0 0 TUNJ-01 0.0 977415.028 91.827
15 0 0 0 0 MEDE-01 0.0 977741.092 92.593
16 0 0 0 0 MONT-01 0.0 978162.579 91.491
17 0 0 0 0 SINC-01 0.0 978132.595 92.678
18 0 0 0 0 IBAG-01 0.0 977720.644 92.507
19 0 0 0 0 GUAD-01 0.0 977249.400 92.764
20 0 0 0 0 NPA-2-E1 0.0 977374.668 333.000
21 0 0 0 0 CART-01 0.0 978173.839 91.912
22 0 0 0 0 MANZ-01 0.0 977190.937 92.251
23 0 0 0 0 SMTA-01 0.0 978350.475 92.336
24 0 0 0 0 VALL-01 0.0 978222.242 92.851
25 0 0 0 0 PIED-02 0.0 977822.743 92.678
26 0 0 0 0 AGCA-01 0.0 978050.693 92.764
27 6 20201130 9802-95 15.31 1829.815
28 6 20201130 HONDA-R1 16.4 1829.852
29 6 20201130 73349002 16.58 1827.926
30 6 20201130 73443001 18.24 1814.119
31 6 20201130 73283001 19.15 1723.954
32 6 20201130 73283008 21.6 1498.697
33 6 20201130 73283001 22.8 1723.951
34 6 20201130 73443001 23.6 1814.119
35 6 20201130 73349002 23.54 1827.938
36 6 20201201 HONDA-R1 0.44 1829.892
37 6 20201201 9802-95 0.55 1829.818
38 6 20201201 73283008 3.15 1498.701
39 6 20201201 73283008 12.48 1498.680
40 6 20201201 73347016 14.44 1319.619
41 6 20201201 MANZ-01 16.9 1092.432
42 6 20201201 17001023 17.0 1314.860
43 6 20201201 MANZ-01 20.30 1092.438
44 6 20201201 73347016 21.19 1319.620
45 6 20201201 73283008 22.42 1498.684
46 6 20201202 17001023 1.42 1314.842
47 6 20201202 17001023 12.44 1314.830
48 6 20201202 17001046 15.9 1592.559
49 6 20201202 66170002 16.18 1620.179

```

Imagen 22. Estructura GRAVNETG.IN para calcular de valores de gravedad.

1. Si $NM > 0$, en las siguientes líneas van estructurados el número del gravímetro, factor de escala y peso del gravímetro con el formato: (I4, F9.6, F6.2), ejemplo: (6 0.999786 1.00) (Imagen).
2. En las siguientes líneas van estructurados las estaciones bases con gravedad conocida, valor de gravedad y peso de las estaciones base con el siguiente formato: (I4, 1X, I4, I2, I2, 1X, A8, 1X, I3:I2, F10.3, F7.2). El peso se obtiene de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{\sigma} = peso$$

Donde σ es la precisión o desviación estándar de la estación con gravedad conocida.

```

1 Red_Primer_Orden_2023
2 IGAC-Daniela Hernandez - Diego Cortes
3 10 010 0
4 6 0.999454 1.00
5 26 0.999745 1.00
6 46 0.999902 1.00
7 810 1.000571 1.00
8 845 1.000732 1.00
9 1025 1.000000 1.00
10 1024 1.000000 1.00
11 59 1.000000 1.00
12 171 1.000401 1.00
13 268 0.999612 1.00
14 0 0 0 0 TUNJ-01 0.0 977415.028 91.827
15 0 0 0 0 MEDE-01 0.0 977741.092 92.593
16 0 0 0 0 MONT-01 0.0 978162.579 91.491
17 0 0 0 0 SINC-01 0.0 978132.595 92.678
18 0 0 0 0 IBAG-01 0.0 977720.644 92.507
19 0 0 0 0 GUAD-01 0.0 977249.400 92.764
20 0 0 0 0 NPA-2-E1 0.0 977374.668 333.000
21 0 0 0 0 CART-01 0.0 978173.839 91.912
22 0 0 0 0 MANZ-01 0.0 977190.937 92.251
23 0 0 0 0 SMTA-01 0.0 978350.475 92.336
24 0 0 0 0 VALL-01 0.0 978222.242 92.851
25 0 0 0 0 PIED-02 0.0 977822.743 92.678
26 0 0 0 0 AGCA-01 0.0 978050.693 92.764

```

Imagen 40. Pesos de las estaciones absolutas utilizadas para hacer el ajuste.

De acuerdo con la desviación estándar de las lecturas de los vértices a ajustar se podrá definir un peso de hasta 1. Si no se coloca ningún valor al vértice, el programa asumirá un peso de 1 para esta.

1181	46	20201205	73055003	8.7	1618.009	
1182	46	20201205	73443001	8.53	1584.117	
1183	46	20201205	73349002	9.59	1597.941	
1184	46	20201205	HONDA-R1	10.27	1599.910	
1185	46	20201205	9802-95	10.42	1599.840	
1186	46	20201205	HONDA-R1	10.55	1599.889	
1187	46	20201205	73349002	11.56	1597.934	
1188	46	20201205	73443001	13.55	1584.109	
1189	46	20201205	73055003	14.41	1617.997	
1190	46	20201205	9802-95	15.40	1599.816	
1191	46	20210706	25175004	11.58	1011.469	
1192	46	20210706	25295001	13.16	1062.058	
1193	46	20210706	GPS-D-C-34	16.12	983.360	
1194	46	20210706	25183013	18.4	1054.210	
1195	46	20210706	25183013	18.7	1054.223	
1196	46	20210706	GPS-D-C-34	19.40	983.353	
1197	46	20210706	25295001	21.20	1062.012	
1198	46	20210706	25175004	22.54	1011.481	
1199	46	20210707	25183013	10.42	1054.187	0.01
1200	46	20210707	15861001	11.30	1047.003	
1201	46	20210707	A27-NE-1	12.27	1057.490	
1202	46	20210707	A47-NE-1	13.47	1073.765	
1203	46	20210707	A47-NE-1	13.52	1073.863	0.01
1204	46	20210707	A27-NE-1	16.16	1057.490	
1205	46	20210707	15861001	17.13	1047.075	0.01
1206	46	20210707	25183013	18.10	1054.310	

Imagen 41. Fijación de peso a los vértices a ajustar.

Obtención de valores (CORRER GRAVNETG)

Para ejecutar GRAVNETG, se sugiere que sea desde la consola de Windows, esto con el fin de que se puedan observar los errores que puedan existir en el archivo de entrada y calcular de forma continua diferentes archivos. Para correrlo, deben estar los tres archivos .dll y el ejecutable.

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Ajuste	✓	4/09/2023 4:12 p. m.	Carpeta de archivos	
Factor_escala	🔄	4/09/2023 4:12 p. m.	Carpeta de archivos	
GRAVNETG_descripción	✓	21/11/2016 5:52 p. m.	Documento de te...	6 KB
GRAVNETGes	✓	7/10/2021 1:11 p. m.	Aplicación	65 KB
libgcc_s_sjlj-1.dll	✓	12/07/2020 12:46 p. m.	Extensión de la ap...	488 KB
libgfortran-3.dll	✓	12/07/2020 12:46 p. m.	Extensión de la ap...	1.540 KB
libquadmath-0.dll	✓	12/07/2020 12:46 p. m.	Extensión de la ap...	608 KB
R10_OSU23_NORTE_GRAVNET	🔄	8/08/2023 2:17 p. m.	Archivo IN	158 KB

Imagen 42. Archivos GRAVNETG.

1. Ejecutar el comando cmd para acceder a la consola de Windows desde la barra de direcciones donde se encuentra el programa y sus archivos asociados.

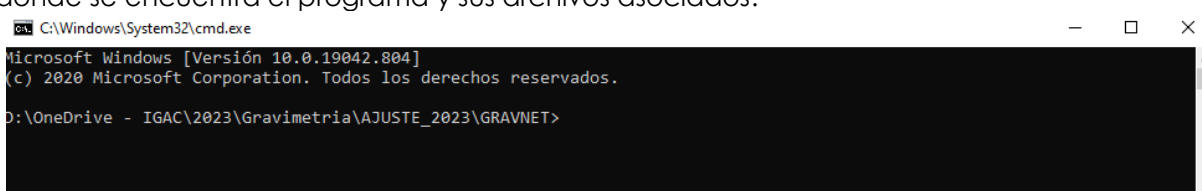


Imagen 233. Localización del programa GRAVNETG usando el comando cmd.

- Posteriormente se debe ejecutar GRAVNETGes, se escribe el nombre del archivo de entrada y el nombre del archivo de salida, este da la opción de imprimir la matriz de covarianza para realizar un análisis estadístico más detallado.

```

C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 10.0.19042.804]
(c) 2020 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

D:\OneDrive - IGAC\2023\Gravimetria\AJUSTE_2023\GRAVNET>GRAVNETGes.exe
Compensacion de redes gravimetricas (H. Drewes 2016)
-----
Se requiere un archivo de entrada con:
Lineas 1 y 2 (A80): titulo y subtítulo
Linea 3 (3I2): ND, NS, NM, IS
      ND: No. de gravímetros con deriva desconocida
      NS: No. de gravímetros con escala desconocida
      NM: No. de gravímetros con escala conocida
      IS: 1: se da secuencia de puntos, 0: no se da
seguido (solo si IS = 1): secuencia de puntos deseada:
5(A20,1X): nombres en la secuencia deseada
(último nombre tiene que ser "END STAT ")
seguido (solo si NM > 0): factores de escala y pesos:
(I4,F9.6,F6.2):No. de gravímetro, escala, peso
seguido (I4,1X,I4,I2,I2,1X,A20,I3:I2,F10.3,F7.2):
Grav.No.,Anno,Mes,Dia,Pto,Hor,Min,Lectura,Peso
Puntos de gravedad conocida tienen Grav.No.= 0
Lecturas primeramente de la escala desconocida
A1 final valores abs. si se incluye matriz Q)
seguido (solo si datos finales son valores absolutos):
(I4) numero negativo como fin de los valores g
(n líneas 10F8.6) matriz de var.-cov. de los g

Nombre del archivo de entrada: R10_OSU23_NORTE_GRAVNET.IN
Nombre del archivo de salida : R10_OSU23_NORTE_GRAVNET.OUT
Imprimir matriz de covarianza? s/n n
  
```

Imagen 44. Ejecución GRAVNETG.

Se debe tener presente que el nombre del archivo de entrada que se escribe tiene que ser igual al que creamos, ver imagen 45.

```

1 Compensación de una red gravimétrica (Drewes 2016)
2   conectada a 2 estaciones de gravedad absoluta
3   (ecuaciones de observación de lecturas reducidas)
4
5 Circuito_de_calibración_2023
6 IGAC- Daniela Hernandez
7
8   26 ecuaciones de observación, 24 valores gravimétricos
9   19 incógnitas: 3 estaciones, 8 períodos de medición,
10  4 derivas, 4 factores de escala de 4 gravímetros.
11
12 Incógnitas y desviaciones estandares: m0 = 0.038
13
14 No.  Incógnita (estación)  Gravedad      Des.est.
15
16   1  GUAD-01                977249.400    0.004
17   2  UMNG-01                977383.353    0.004
18   3  25377002              977344.156    0.018
19
20 Error medio de la gravedad de estaciones  0.011
21
22   4  Factor de escala      16  0.999416    0.000522
23   5  Factor de escala      26  0.999745    0.000548
24   6  Factor de escala     171  1.000401    0.000555
25   7  Factor de escala     268  0.999612    0.000541
26   8  Deriva gravimet.     16  0.001203    0.009592
27   9  Deriva gravimet.     26  0.000932    0.010472
28  10  Deriva gravimet.     171  0.003373    0.009808
29  11  Deriva gravimet.     268 -0.040827    0.009501
30
31  12  Niv 1 gravimet.      16 -976110.175  0.037 . * .
32  13  Niv 2 gravimet.      16 -976110.172  0.038 . * .
33
34  14  Niv 3 gravimet.      26 -975639.881  0.037 . * .
35  15  Niv 4 gravimet.      26 -975639.917  0.038 . * .
36
37  16  Niv 5 gravimet.     171 -976358.270  0.037 . * .
38  17  Niv 6 gravimet.     171 -976358.331  0.038 . * .
39
40  18  Niv 7 gravimet.     268 -976264.494  0.037 . * .
41  19  Niv 8 gravimet.     268 -976264.787  0.038 . * .
42
43
44 Matriz de varianzas y covarianzas  Q(XX)
45
46 COLUMN      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
47
48 ROW  1  0.010781  0.000000  0.003155  0.000080  0.000080  0.000081  0.000080  -0.000000  -0.000000  -0.000000
49      2  0.000000  0.010891  0.007704 -0.000081 -0.000081 -0.000081 -0.000081  0.000000  0.000000  0.000000
50      3  0.003155  0.007704  0.236850  0.000705  0.000822  0.000560  0.000607 -0.021145 -0.024123 -0.016251
51      4  0.000080 -0.000081  0.000705  0.000192  0.000004  0.000003  0.000003 -0.002640 -0.000077 -0.000052
52      5  0.000080 -0.000081  0.000822  0.000004  0.000211  0.000003  0.000004 -0.000079 -0.003132 -0.000060
53      6  0.000081 -0.000081  0.000560  0.000003  0.000003  0.000217  0.000003 -0.000055 -0.000062 -0.002995
54      7  0.000080 -0.000081  0.000607  0.000003  0.000004  0.000003  0.000206 -0.000059 -0.000067 -0.000045
55      8 -0.000000  0.000000 -0.021145 -0.002640 -0.000079 -0.000055 -0.000059  0.064849  0.002213  0.001491
56      9 -0.000000  0.000000 -0.024123 -0.000077 -0.003132 -0.000062 -0.000067  0.002213  0.077297  0.001701
57     10 -0.000000  0.000000 -0.016251 -0.000052 -0.000060 -0.002995 -0.000045  0.001491  0.001701  0.067806
58     11  0.000003 -0.000003 -0.017457 -0.000056 -0.000065 -0.000045 -0.002781  0.001601  0.001827  0.001231
59     12 -0.010781  0.000000 -0.074800 -0.006833 -0.000346 -0.000265 -0.000280 -0.020264  0.007499  0.005052
60     13 -0.010781  0.000001 -0.003160 -0.000082 -0.000080 -0.000081 -0.000080  0.000019  0.000001  0.000001
61     14 -0.010781  0.000000 -0.073943 -0.000307 -0.006720 -0.000263 -0.000277  0.006494 -0.023211  0.004992

```

Imagen 45. Resultado .OUT de GRAVNETG.

Es importante que en el archivo GRAVNETG.OUT, el m0 o desviaciones estándares sea lo más cercano a 0,05 mGal para obtener un buen ajuste, así mismo, se debe verificar que el valor del factor de escala sea lo más cercano a 1,0 y que la deriva instrumental sea menor a 0,01. Adicionalmente en la parte final del archivo, en la gráfica de desviaciones de las observaciones se debe identificar si algún vértice está marcada con una X pues esto quiere decir que la desviación estándar es muy alta y por lo tanto se deberá evaluar un peso menor a 1 para este vértice o eliminarla del ajuste y volver a correr el programa (ver imagen 46).

```

90
91 Ecuaciones de observación y residuales  $v = g(P) + nivel + (t-t_0) * deriva - lectura * escala$ 
92
93 Inst Estación          Fecha Hora Lectura  Peso  v  gráfica v (X = valor grosero)
94
95 Abs. GUAD-01           977249.400  92.76  0.000 .      *      .
96 Abs. UMING-01         977383.353  91.82 -0.000 .      *      .
97
98 16 GUAD-01            230601 15.75 1139.887  1.00  0.004 .      I*     .
99 16 25377002          230601 18.13 1234.713  1.00 -0.009 .      * I     .
100 16 UMING-01          230601 20.95 1273.925  1.00  0.003 .      I*     .
101 16 UMING-01          230601 21.33 1273.923  1.00  0.006 .      I*     .
102 16 25377002          230601 23.43 1234.714  1.00 -0.003 .      *I     .
103
104 16 GUAD-01            230602 12.18 1139.894  1.00 -0.000 .      *      .
105
106 16: 6 mediciones, vTpv/n = 0.232279E-04, peso nuevo: 4.82
107
108 26 GUAD-01            230601 15.77 1609.927  1.00  0.003 .      I*     .
109 26 25377002          230601 18.32 1704.721  1.00 -0.009 .      * I     .
110 26 UMING-01          230601 20.97 1743.919  1.00  0.003 .      I*     .
111 26 UMING-01          230601 21.30 1743.918  1.00  0.005 .      I*     .
112 26 25377002          230601 23.15 1704.720  1.00 -0.003 .      *I     .
113
114 26 GUAD-01            230602 12.23 1609.894  1.00 -0.000 .      *      .
115
116 26: 6 mediciones, vTpv/n = 0.212727E-04, peso nuevo: 5.26
117
118 171 GUAD-01           230601 15.45  890.780  1.00 -0.007 .      * I     .
119 171 25377002          230601 17.83  985.483  1.00  0.016 .      I *     .
120 171 UMING-01          230601 21.20 1024.704  1.00 -0.012 .      * I     .
121 171 UMING-01          230601 21.43 1024.697  1.00 -0.004 .      *I     .
122 171 25377002          230601 23.13  985.509  1.00  0.008 .      I *     .
123
124 171 GUAD-01            230602 12.53  890.712  1.00 -0.000 .      *      .
125
126 171: 6 mediciones, vTpv/n = 0.864678E-04, peso nuevo: 1.30
127
128 268 GUAD-01           230601 15.33  985.288  1.00 -0.000 .      *      .
129 268 25377002          230601 17.73 1079.981  1.00  0.001 .      *      .
130 268 UMING-01          230601 21.10 1119.125  1.00 -0.068 <      I      .
131 268 UMING-01          230601 21.17 1118.987  1.00  0.068 .      I      >
132 268 25377002          230601 23.17 1079.761  1.00 -0.001 .      *      .
133
134 268 GUAD-01            230602 12.58  984.995  1.00 -0.000 .      *      .
135
136 268: 6 mediciones, vTpv/n = 0.152413E-02, peso nuevo: 0.07
137
138 Todo: 26 mediciones, vTpv/n = 0.381945E-03

```

Imagen 4624. Grafica de desviaciones de las observaciones del archivo .OUT de GRAVNETG.

El símbolo I es el eje y equivale a una desviación de cero (0), los asteriscos muestran las observaciones que se encuentran dentro del 95% de confiabilidad, los símbolos < y > muestran las observaciones próximas a salirse de los límites de confiabilidad y X indica las observaciones cuya desviación es muy grande y posiblemente deban ser excluidas del ajuste.

Luego de revisar las desviaciones, verificar la información y realizar los ajustes pertinentes, se finaliza el proceso con la actualización de la base de datos y el envío de información al profesional líder del procedimiento para su revisión y publicación, con el fin de dar por finalizado el procedimiento de la Gestión de Datos Gravimétricos.

5. CONTROL DE CAMBIOS

FECHA	CAMBIO	VERSIÓN
16/11/2023	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Se adopta como versión 1 debido a la actualización de la Cadena de Valor en Comité Institucional de Gestión y Desempeño del 3 de marzo del 2023, nuevos lineamientos frente a la generación, actualización y derogación de documentos del SGI. ◦ Hace parte del proceso Gestión de Información Geográfica para el SAT, del subproceso de Gestión Geodésica. ◦ Se ajusta el documento según la nueva Estructura Orgánica aprobada por Decreto 846 del 29 de Julio del 2021. ◦ Se actualiza el instructivo "Observaciones Gravimétricas", código I30100-03/17.V5, versión 5 a instructivo "Especificaciones Técnicas de Gravimetría", código IN-GEO-PC-01-01, versión 1. ◦ Se deroga totalmente la circular 360 del 29 de noviembre de 2017. ◦ Se encuentra asociado al procedimiento "Gestión de Datos Gravimétricos." 	1
29/11/2021	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Se modificó el alcance y el objetivo del instructivo. ◦ Se definió y actualizaron términos y definiciones de gravimetría. ◦ Se incluyó como capítulo el manejo de los gravímetros absolutos y relativos, identificando así la calidad de los datos. ◦ En el capítulo de calibración y verificación se amplió la información sobre las actividades a realizar de acuerdo con las mediciones a tomas, ya sean relativas o absolutas. ◦ Se ajusta el procedimiento - operación de acuerdo con las mejoras y actualizaciones en el proceso y se adopta las actualizaciones para ejecutar la actividad de forma adecuada para el levantamiento de información de orden cero (absolutas) 	5

ELABORÓ Y/O ACTUALIZÓ	REVISÓ TÉCNICAMENTE	REVISÓ METODOLÓGICAMENTE	APROBÓ
<p>Nombre: Equipo de Gravimetría.</p> <p>Cargo: Dirección de Gestión de Información Geográfica. Subdirección Cartográfica y Geodésica.</p>	<p>Nombre: Carlos Andrés Franco Prieto.</p> <p>Cargo: Subdirector de Cartografía y Geodesia.</p> <p>Nombre: Linda Selene Ramos Fuentes.</p> <p>Cargo: Contratista Dirección de Información Geográfica.</p>	<p>Nombre: Luis Hernando Guarín Gamboa.</p> <p>Cargo: Profesional Especializado Oficina Asesora de Planeación.</p> <p>Nombre: Laura Isabel González Barbosa</p> <p>Cargo: Contratista Oficina Asesora de Planeación.</p>	<p>Nombre: Carlos Andrés Franco Prieto.</p> <p>Cargo: Subdirector de Cartografía y Geodesia.</p>