

Guía para la realización de mediciones gravimétricas alrededor de estaciones IHRF

Versión 1.1 Agosto de 2021.

Este documento se ha estructurado a partir de las referencias bibliográficas citadas en la sección “Referencias”. Las orientaciones han sido preparadas por el Grupo de Trabajo III de SIRGAS: Datum Vertical. SIRGAS agradece la colaboración de los miembros que han allegado sus comentarios y sugerencias.

Con el propósito de mantener el documento actualizado, invitamos a todos a enviar sus comentarios, preguntas o sugerencias al presidente del GT-III.

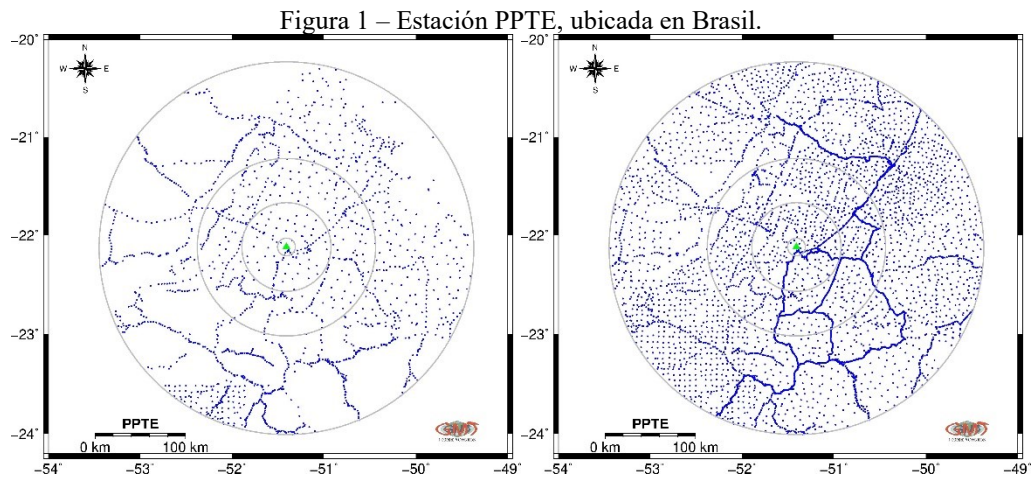
Este documento describe los requisitos y recomendaciones relevantes para realizar mediciones gravimétricas terrestres alrededor de estaciones IHRF (*International Height Reference Frame*). Las siguientes orientaciones están dirigidas tanto a instituciones que ya tienen una estación planificada en el cálculo de la primera realización del IHRF (*International Height Reference System*), como a aquellas que deseen implementarla. Para obtener detalles sobre la selección e implantación de una estación IHRF, consulte la guía técnica “Instrucción para la selección de estaciones IHRF” disponible en el <https://sirgas.ipgh.org/recursos/guias/>.

1. Aspectos Generales

Para lograr la precisión deseada en los valores de potencial (W(P)) en las estaciones IHRF, la distribución y la calidad de las mediciones gravimétricas son esenciales. De acuerdo con los lineamientos y recomendaciones del *Focus Area “Unified Height System”* del Sistema Global de Observación Geodésica (GGOS) y el Grupo de Trabajo 0.1.2: “*Strategy for the realisation of the IHRF*” (Sánchez 2019; Sánchez; Barzaghi 2020, Sánchez et al., 2021), los principales requisitos y puntos a destacar son:

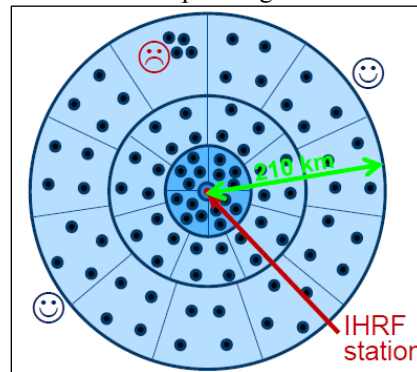
- a) El llenado de los vacíos gravimétricos alrededor de la estación IHRF de referencia es el primer punto fundamental. La Figura 1 ilustra los vacíos de gravedad (zonas

sin mediciones gravimétricas) en la estación PPTE, Brasil (figura a la izquierda) y el llenado de estos vacíos (figura a la derecha).



- b) La distribución de los puntos gravimétricos debe ser homogénea, con mediciones en un radio de 210 km ($\sim 2^\circ$) alrededor de la estación IHRF. La Figura 2 muestra esta distribución aproximada, sin considerar el número ideal de estaciones.

Figura 2 – Distribución deseable de puntos gravimétricos (Sánchez et al., 2017)



- c) 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). Se sabe que las mediciones relativas son actividades costosas y que requieren mucho tiempo. Por lo tanto, si no es posible cumplir con la recomendación de la cantidad ideal, se intente establecer mediciones con una

resolución espacial de un máximo de 9 km (la cual deberá ser mayor en zonas montañosas o con mayor variación de topografía). Está claro que cuanto mejor es la resolución espacial de los puntos, mejor tiende a ser la precisión de los valores de potencial obtenidos para la estación IHRF. Por otro lado, en áreas remotas, con ausencia de caminos y senderos, como bosques y desiertos, así como en las montañas, se sugiere hacer aero-gravimetría con fines geodésicos.

- d) 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. Para minimizar los errores sistemáticos de bajo grado en los conjuntos de datos existentes, es necesario verificar el vínculo de los datos de densificación con la referencia gravimétrica desde mediciones absolutas de gravedad.
- e) En el caso de nuevas mediciones gravimétricas, estas deben estar conectadas a redes de referencia gravimétricas modernas y confiables. Preferiblemente, las observaciones de gravedad absoluta deberán seguir las recomendaciones del nuevo *International Gravity Reference Frame* (IGRF) (Wziontek et al. 2021). Acompañado de la medición gravimétrica, las coordenadas (φ , λ , h) deben determinarse con receptores GNSS. Se destaca que los equipos (receptor GNSS y gravímetro) deberán estar muy próximos entre sí y en el mismo plano como se muestra en la Figura 3.

Figura 3 – Levantamiento gravimétrico acompañado de medición GNSS.



- f) La precisión recomendada para el valor de aceleración de la gravedad es de $\pm 0,15$ mGal (el valor de hasta $\pm 0,5$ mGal es aceptable); y para las coordenadas, algo mejor que $\pm 0,3$ m para la altura y $\pm 1,0$ m para la componente horizontal (Denker, 2013).

2. Mediciones gravimétricas

En esta guía se adoptarán las siguientes definiciones:

- Referencia de gravedad absoluta: están compuestas por estaciones materializadas y establecidas con gravímetros absolutos y que están vinculadas, preferentemente, al nuevo IGRF. Se utilizará el término “**referencia**” y no “**red**” porque son mediciones realizadas con gravímetros absolutos.

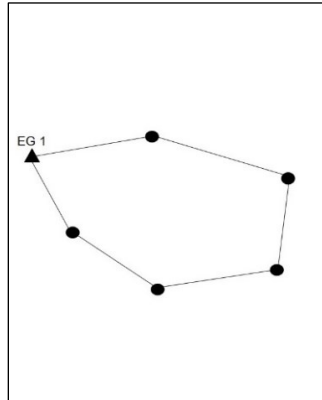
- Red de primer orden: se establecen mediante estaciones materializadas y se miden con gravímetros relativos. Deben estar vinculados a la referencia de gravedad absoluta y cumplir criterios específicos de precisión en su establecimiento.

En el caso de realizar nuevas mediciones gravimétricas en los alrededores de las estaciones IHRF, se deben observar los siguientes aspectos:

- a) Se recomienda que antes de cualquier campaña gravimétrica se realice la planificación de campo, así como la verificación y calibración de los equipos que se utilizarán, según la especificidad de cada dispositivo. Además, es recomendable chequear y ajustar, cuando sea necesario, la sensibilidad del equipo en cada inicio de levantamiento. No es el tema de esta guía técnica abordar el funcionamiento de equipos de gravimetría. Para eso, la sección “Referencias” presenta algunas sugerencias bibliográficas y manuales técnicos.
- b) Se recomienda que las estaciones de densificación gravimétrica estén vinculadas a las estaciones de referencia de primer orden, siempre que sea posible, o la red de segundo orden. No es necesario que dichas densificaciones se materialicen en estaciones.

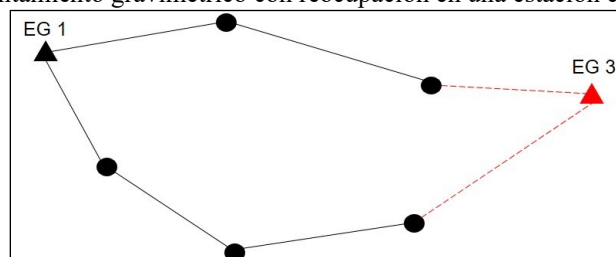
- c) Está orientado para que los circuitos gravimétricos destinados a la densificación sean del tipo “cerrado”, cuando el levantamiento comienza y finaliza en la misma estación base. (Figura 4).

Figura 4 – Circuitos gravimétricos.



- d) Se sugiere realizar, siempre que sea posible, reocupaciones en estaciones de primer o segundo orden, o incluso en estaciones densificadas adecuadas a la reocupación, las cuales se ubican próximas a la zona de trabajo (Figura 5). De esta forma, es posible tener un control de las observaciones, además de detectar posibles inconsistencias del gravímetro.

Figura 5 – Levantamiento gravimétrico con reocupación en una estación conocida (en rojo).



- e) Se recomienda, dependiendo del tipo de gravímetro utilizado, los siguientes procedimientos para las lecturas:
- Gravímetro óptico mecánico: 3 lecturas que deben tomarse en un intervalo máximo de 3 a 5 minutos. La máxima discrepancia entre las lecturas no debe exceder las 0,005 unidades de graduación.

- Gravímetro digital: 3 ciclos de lectura, cada ciclo de 2 minutos. La máxima discrepancia entre las lecturas debe ser de 0,01 mGal.

Después de recopilar la información en el campo, el siguiente paso es procesar los datos. En este caso, no existen recomendaciones por parte de SIRGAS en cuanto al software a utilizar en el procesamiento, siendo la elección del programa informático a cargo de la institución.

Referencias

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos Associados ao Sistema Geodésico Brasileiro**. Diretoria de Geociências. Coordenação de Geodésia. Rio de Janeiro, Brasil, 62p. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/normas/16463-especificacao-e-normas-gerais-para-levantamentos-geodesicos-em-territorio-brasileiro.html?=&t=acesso-ao-produto> Aceso en abril, 2021.

IGN. Instituto Geográfico Nacional. **Instrucciones Técnicas de Campaña y Gabinete**. Dirección de Geodesia. Buenos Aires, Argentina, 340p. Documento interno.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. **Guía Metodológica de la Red Geodésica Gravimétrica**. México 39p. 2015. Disponível em: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825078799> Aceso en abril de 2021.

Denker, H. Regional gravity field modeling: theory and practical results. In: Xu G (ed) **Sciences of geodesy—II: innovations and future developments**, p. 185–291. 2013. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28000-9_5

Sánchez, L. Report of the GGOS Focus Area “Unified Height System” and the Joint Working Group 0.1.2: Strategy for the Realization of the International Height Reference System (IHR), **Reports 2015–2019 of the International Association of Geodesy (IAG). Travaux de l’AIG** 41:583–592, 2019

Sánchez, L.; Barzaghi, R. Activities and plans of the GGOS Focus Area Unified Height System, **EGU General Assembly 2020**, EGU2020-8625, 2020. <https://doi.org/10.5194/egusp-here-egu2020-8625>

Sánchez, L.; Ågren, J.; Huang, J. et al. Strategy for the realisation of the International Height Reference System (IHR). **Journal of Geodesy**, 95, 33, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00190-021-01481-0>

Wziontek, H., Bonvalot, S., Falk, R. et al. Status of the International Gravity Reference System and Frame. **Journal of Geodesy** 95, 7, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01438-9>