



Simposio SIRGAS 2015
y VII Escuela SIRGAS en Sistemas de Referencia
Santo Domingo, República Dominicana
Noviembre 16 - 20, 2015

INTEGRACIÓN DE DATOS ALTIMÉTRICOS Y GRAVIMÉTRICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE NÚMEROS GEOPOTENCIALES EN LA RED GEODÉSICA NACIONAL VERTICAL DEL URUGUAY



Ing. Agrim. Jorge Faure
Facultad de Ingeniería (UDELAR)

Cnel. Norberto Suárez
Servicio Geográfico Militar

Contenido

- Motivación del trabajo
- Red Altimétrica Nacional
Nodales, Primer, Segundo, Tercer Orden
- Red Gravimétrica Fundamental
- Número Geopotencial, puntos sin gravedad conocida
- Ajuste de la Red de la Red Altimétrica Nacional
Nodales, Primer, Segundo Orden
- Actividades futuras

Motivación del trabajo

Grupo III (Datum Vertical) - Actividades en desarrollo:

“i) el ajuste continental de los números geopotenciales con respecto a un valor W_0 único para todos los países de la región,

...

Con respecto a la primera tarea, los países latinoamericanos han sido invitados a revisar las redes de nivelación de primer orden, a controlar la información gravimétrica existente y a calcular los números geopotenciales.” (SIRGAS web)

Talleres: La Paz (2014), Curitiba (2015)

Uruguay, integración militar - academia

Servicio Geográfico Militar

Facultad de Ingeniería (UDELAR)

Red Altimétrica Nacional

Primer Orden

- 18 nodales (⊙)
- 25 líneas (---)
- 8 polígonos
- 1347 puntos
- 3383 km total

Segundo Orden (---)

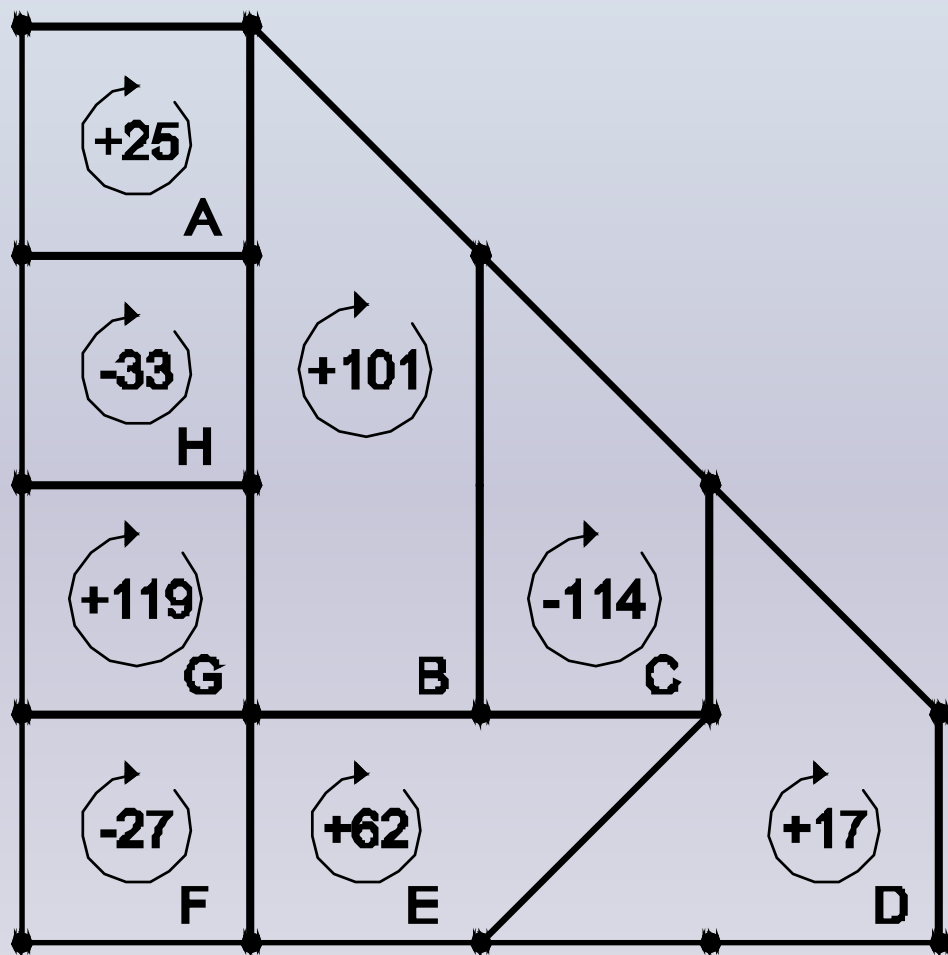
- 66 líneas
- 937 puntos
- 2992 km total

Tercer Orden

- 462 puntos
- 5795 km total



Red Altimétrica Nacional – Primer Orden



Cierres expresados en mm

POLIGONO	LONGITUD (km)	CIERRE (mm)
A	825	25
B	950	101
C	677	114
D	676	17
E	588	62
F	737	27
G	634	119
H	673	33

$$\text{Cierre} = \sum dn \neq 0$$

Red Gravimétrica Fundamental

- 4 puntos absolutos (⊙):
Riviera
Paysandú
Toledo
Buenos Aires
- 2376 relativos (⊙)



Red Gravimétrica Fundamental

(El Ajuste de la Red Gravimétrica Nacional de Uruguay. Subiza, Timen, Torge)

Estaciones Absolutas

Programa IFE Sudamericano de Gravedad Absoluta (1988 – 1991, Torge y otros); 22 puntos de gravedad absoluta, 4 de ellos en Uruguay.

Estaciones Relativas

1) Campaña medición Junio 1967 – Mayo 1968

División del país en 25 polígonos superpuestos con Red de Nivelación de Primer Orden. Total 924 estaciones.

Se midieron 45 líneas, 4490 km, 35 nodales, puntos cada 3-5 km.

2) Campaña medición Año 1984

Densifica los 25 polígonos

Se midieron 1328 nuevas estaciones.

Red Gravimétrica Fundamental

Ajuste de la Red (años 90)

Desarrollado por Servicio Geográfico Militar – Universidad de Hannover

Intervienen:

4	estaciones de gravedad absoluta
2376	estaciones de gravedad relativa
1	gravímetro absoluto
8	gravímetros relativos
5447	diferencias de gravedad observadas

Desviación standard de cada estación ajustada: $0.26 \mu\text{m/s}^2$

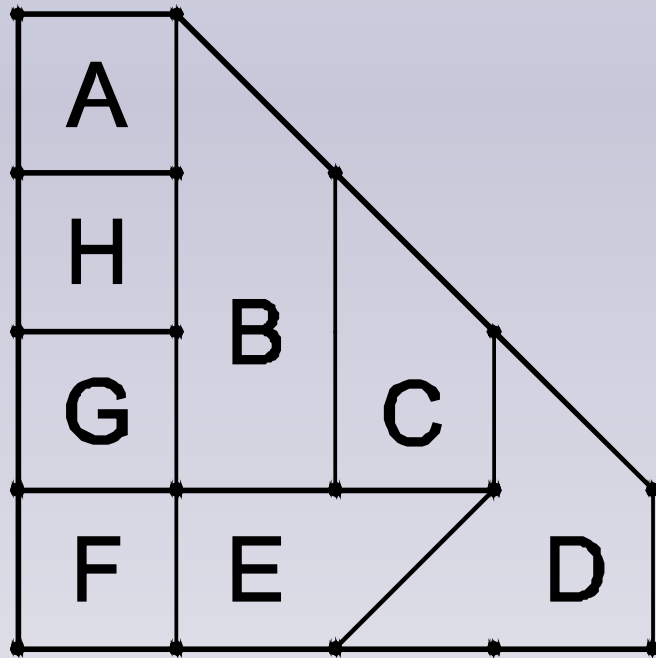
Más de 1000 estaciones coincidentes con Red 1er. Orden



Cálculo de Números Geopotenciales

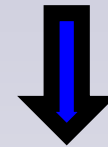
$$C_A = \int_0^A g \cdot dn = W_0 - W_A$$

En el caso de un intervalo AB $dC_{AB} = g_m \cdot dn$ $g_m = \frac{g_A + g_B}{2}$



En circuito cerrado

$$\text{Cierre} = \sum dC = 0$$



Ajuste por MMC de los circuitos

Puntos sin gravedad

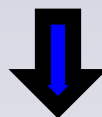


Nivelación 1er. Orden



Gravimetría

Falta de gravedad en puntos de la Red de Nivelación de Primer Orden



Interpolación de Gravedad (PredGrav)

PredGrav – Dr. H. Drewes

Interpolación basada en método de los mínimos cuadrados a partir de las anomalías simples de Bouguer.

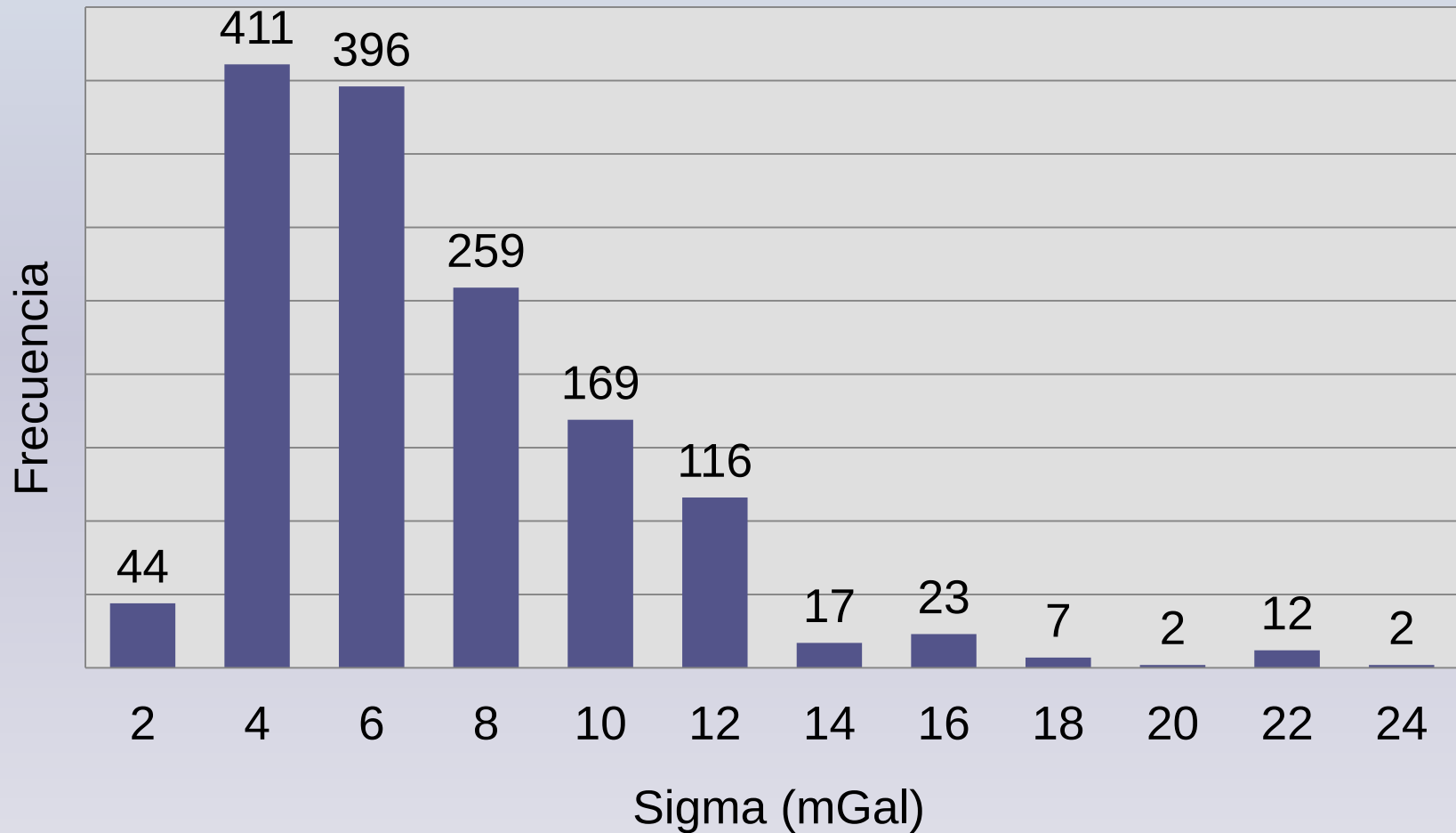
Como resultado, obtenemos disponemos de la totalidad de los puntos de la Red Altimétrica con valores de gravedad, ya sea medida o interpolada.

Least squares prediction of point gravity values (PREDGRAV, H. Drewes 1976/1978)
Puntos de Nivelación SIN Gravedad Conocida

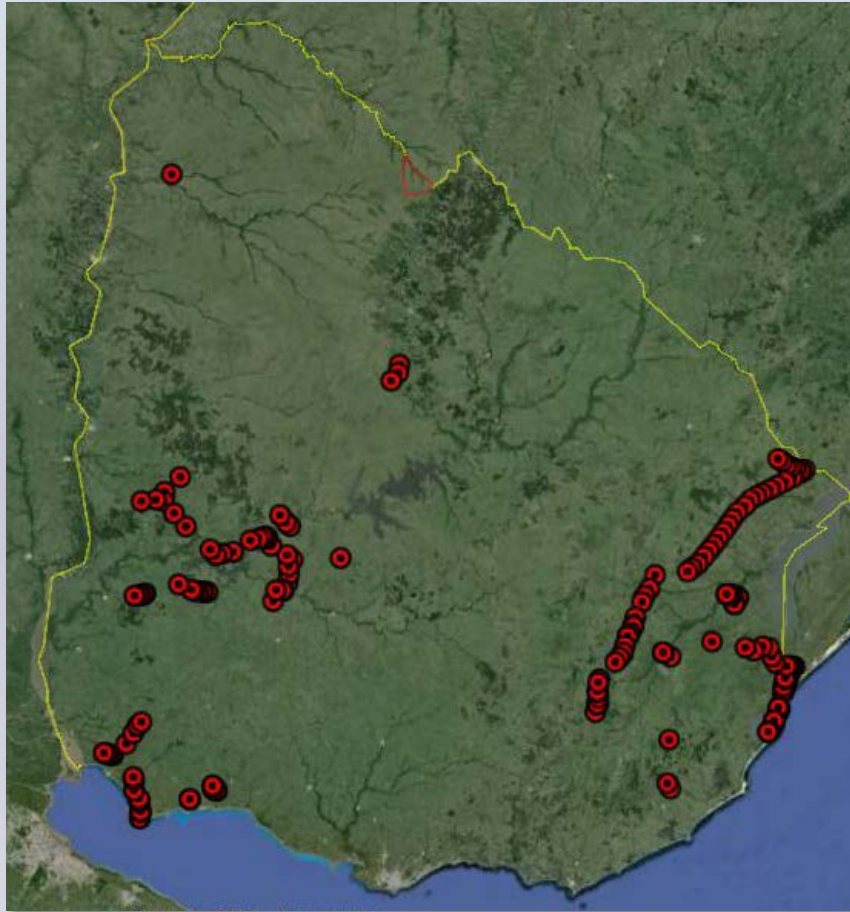
Name	Phi	Lambda	Height	Radius	dg	Sigma	Normal g	F-Red	Bou-R	Gravity
SGM0003	-30.380	-57.488	60.4	84.2	-15.8	3,6	979354.7	18.6	6.8	979327,1
SGM0005	-30.425	-57.458	84.6	78.9	-13.8	3,7	979358.3	26.1	9.5	979327,9
SGM0006	-30.433	-57.438	97.2	77.6	-12.8	2,0	979358.9	30.0	10.9	979327,0
SGM0014	-30.456	-57.236	93.9	69.2	-7.1	2,7	979360.7	29.0	10.5	979335,1

Precisión valores de gravedad interpolados

Histograma



Ubicación geográfica de los valores menos precisos

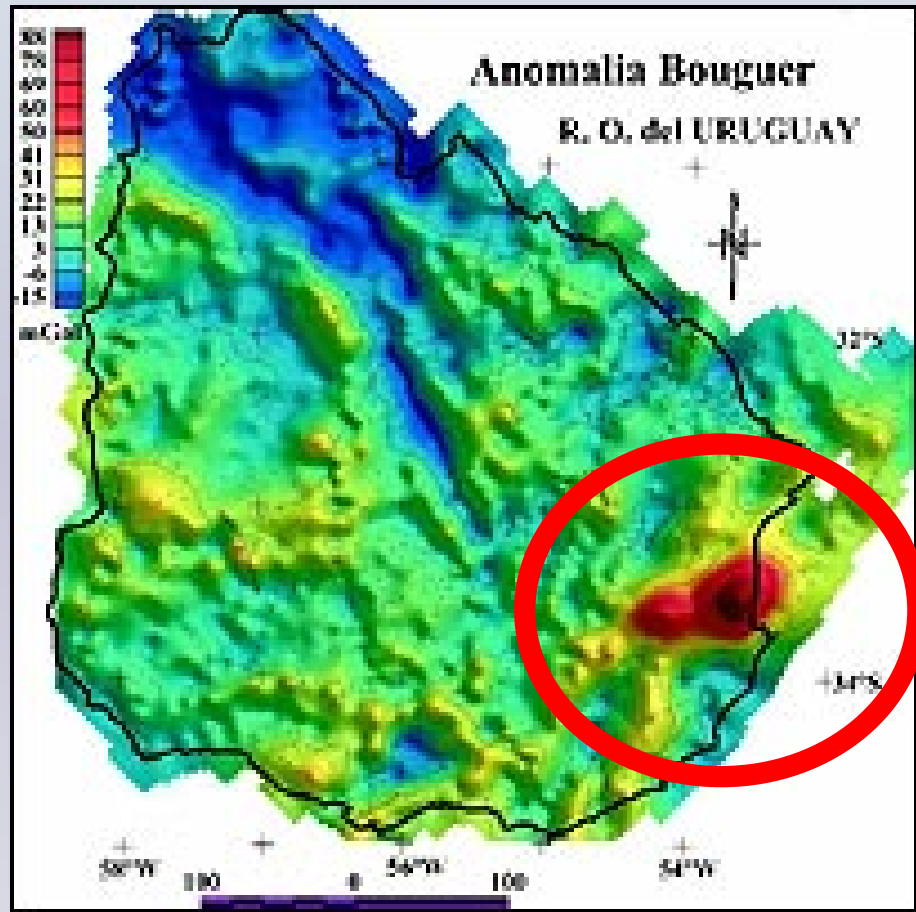


Sigma superior a 10 mGal

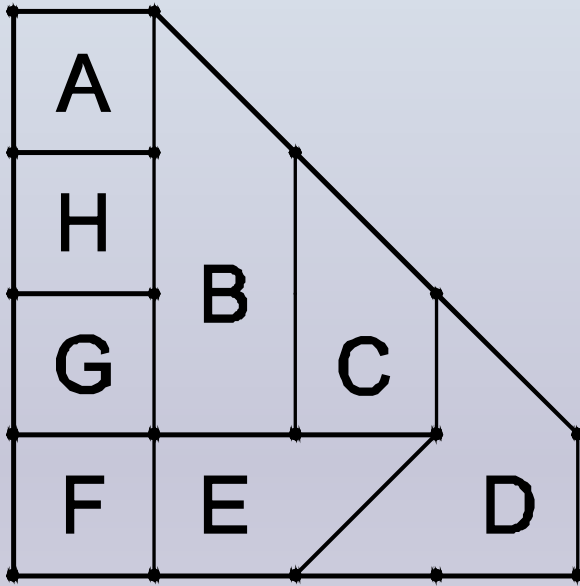


Sigma superior a 14 mGal

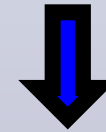
Anomalías de Bouguer



Ajuste de la Red de Primer Orden



$$\text{Cierre} = \sum dC \neq 0$$



Ajuste por Mínimos Cuadrados

Valor de referencia C

$$C_{\text{BELVEDERE}} = g \cdot H_{\text{of}} = -416.704 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Proceso de cálculo

- 1) Cálculo de las diferencias de números geopotenciales para las líneas de Primer y Segundo Orden (NUMGEOPOT)
- 2) Ajuste de las diferencias de Números Geopotenciales sobre la Red de Primer Orden (COMPNGP)
- 3) Cálculo de los NG de los puntos de cada línea de Primer Orden (COMPNGP)
- 4) Cálculo de los NG de los puntos de cada línea de Segundo Orden (COMPNGP)

Valores ajustados de los Nodales

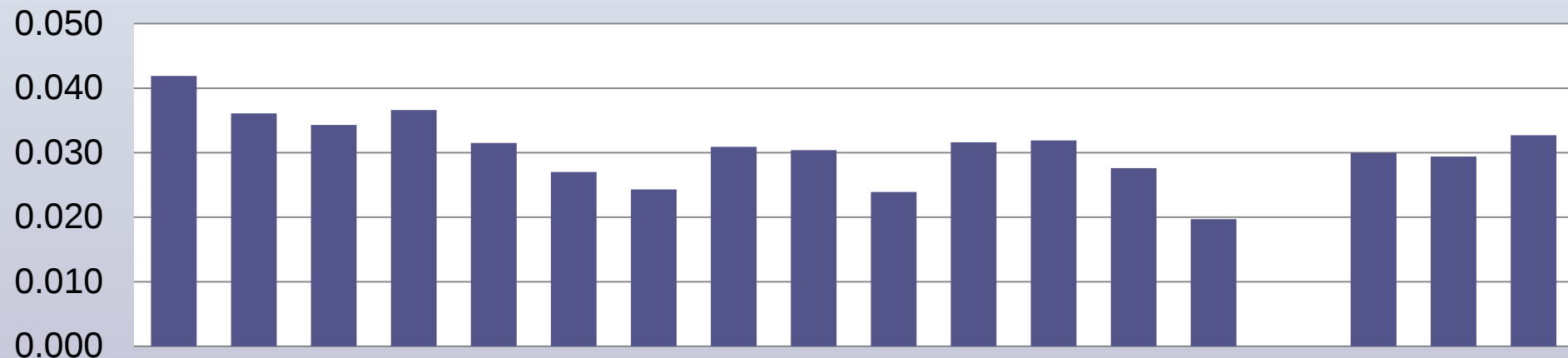
Números compensados y su desviación estándar (18 estaciones)

Desviación estándar del peso unitario 0.620

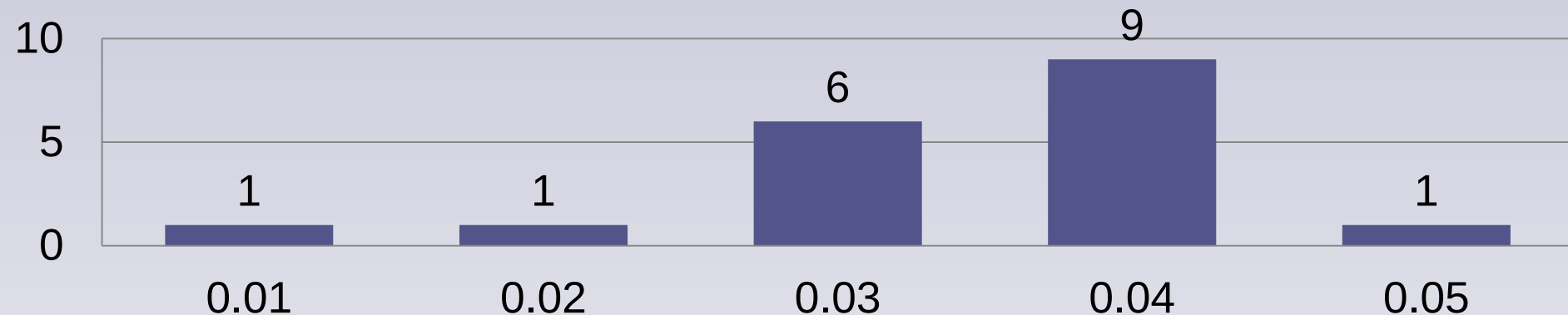
Estación	Latitud	Longitud	Núm.geop.	Sigma	H(normal)	Sigma	Obs
SGM2295	-30.3056	-57.5767	-722.316	0.410	73.7555	0.0419	2
SGM2296	-30.9001	-55.5404	-2063.014	0.354	210.6484	0.0361	3
SGM2290	-31.7118	-55.9781	-1308.524	0.336	133.5991	0.0343	3
SGM2282	-31.3874	-57.9705	-261.659	0.358	26.7154	0.0366	3
SGM2288	-32.3738	-54.1690	-1119.800	0.309	114.3240	0.0315	3
SGM2272	-33.3478	-55.6285	-1313.505	0.265	134.0894	0.0270	3
SGM2274	-33.3730	-56.5192	-724.227	0.238	73.9320	0.0243	4
SGM2273	-32.4941	-56.3553	-1625.195	0.302	165.9210	0.0309	3
SGM2268	-33.2299	-54.3862	-515.891	0.298	52.6647	0.0304	3
SGM2270	-34.3783	-55.2366	-1333.700	0.234	136.1390	0.0239	3
SGM2294	-33.1648	-54.1659	-625.508	0.309	63.8553	0.0316	2
SGM2293	-34.4728	-54.2897	-420.942	0.313	42.9672	0.0319	2
SGM2292	-34.7923	-54.9154	-201.817	0.270	20.5996	0.0276	2
SGM2271	-34.6637	-55.5940	-847.830	0.193	86.5405	0.0197	3
SGM2275	-34.8551	-56.2234	-416.704	0.000	42.5332	0.0000	4
SGM2297	-33.8793	-58.3322	-375.798	0.294	38.3611	0.0300	2
SGM2298	-33.2546	-58.0367	-352.075	0.288	35.9413	0.0294	3
SGM2289	-32.3127	-58.0790	-397.331	0.320	40.5646	0.0327	3

Precisión de los valores de Alturas normales

Sigma Alturas normales (m)



Histograma



Líneas de Primer Orden

Calculado el C para los Nodales, densifico en cada una de las 25 líneas

Listado de los puntos fiduciales

Estación	Latitud	Longitud	Núm.geop.	Sigma
SGM2295	-30.3056	-57.577	-722.316	0.661
SGM2296	-30.9001	-55.540	-2063.014	0.571

Números compensados y su desviación estándar (91 estaciones)

Desviación estándar del peso unitario 1.000

Estación	Latitud	Longitud	Núm.geop.	Sigma	H(normal)	Sigma	Obs
SGM2295	-30.3056	-57.5767	-722.316	0.661	73.7556	0.0675	2
SGM0001	-30.3316	-57.5493	-812.225	0.657	82.9361	0.0671	2
SGM0002	-30.3503	-57.5027	-559.646	0.653	57.1451	0.0667	2
SGM0003	-30.3795	-57.4881	-591.610	0.650	60.4087	0.0664	2
SGM0004	-30.3937	-57.4793	-586.977	0.649	59.9356	0.0662	2
SGM0005	-30.4246	-57.4581	-829.162	0.645	84.6650	0.0659	2

Líneas de Segundo Orden

Considerando el comienzo y final de cada línea de segundo orden, en un vértice ya calculado, densifico la misma.

Listado de los puntos fiduciales

Estación	Latitud	Longitud	Núm.geop.	Sigma
SGM0958	-33.2408	-57.300	-814.412	0.410
SGM0919	-33.2476	-58.013	-227.730	0.461

Números compensados y su desviación estándar (45 estaciones)

Desviación estándar del peso unitario 1.000

Estación	Latitud	Longitud	Núm.geop.	Sigma	H(normal)	Sigma Obs
SGM0958	-33.2408	-57.3003	-814.412	0.410	83.1395	0.0419 2
SGM1810	-33.2638	-57.3310	-795.424	0.408	81.2009	0.0417 2
SGM1811	-33.2987	-57.3496	-938.396	0.408	95.7961	0.0416 2
SGM1812	-33.3283	-57.3563	-717.573	0.407	73.2530	0.0416 2

De Números Geopotenciales a Alturas

$$C \text{ (m}^2\text{/s}^2\text{)} \Rightarrow H \text{ (m)}$$

$$H(\text{ort}) = \frac{C}{g} \quad \text{Altura ortométrica}$$

$$H(\text{norm}) = \frac{C}{\gamma} \quad \text{Altura normal}$$

$$H(\text{din}) = \frac{C}{\gamma_0} \quad \text{Altura dinámica}$$

Proyecto Nueva Infraestructura Geodésica Integrada para Uruguay

Red Geodésica Vertical

- Reajuste de la Red integrando Valores de Gravedad Existentes
- Reconstrucción y Re observación de Líneas de Alta Precisión
- Enlaces con Redes de países vecinos (Brasil y Argentina)

Red Gravimétrica

- Nuevas Estaciones Gravimétricas Absolutas.
- Densificación Estaciones Gravimétricas Relativas.

Conexiones internacionales posibles



¡Muchas Gracias por su Atención!