

# Compensación de la Red de Nivelación de Alta Precisión

Reunión Científica de la AAGG  
San Miguel de Tucumán, 7-9 de  
noviembre de 2012

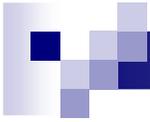
# Situación de la Red de Nivelación

- 394 líneas de nivelación de Alta Precisión
  - Tolerancia  $\rightarrow T[mm] = 3 \times \sqrt{L[km]}$
  - Aprox. 57.000 km de nivelación
  - Aprox. 16.400 pilares
  - Valores gravimétricos (82%)
- 158 polígonos
- 247 puntos nodales



# Historia

- A partir de principios del siglo XX se inician las labores de construcción y medición de la red de nivelación.
- En 1924 se vincula la red al mareógrafo de Mar del Plata, materializando el origen de la red.
- En 1941 se sanciona la *Ley de La Carta* (ley 12.696), y con ella se proyecta una nueva red de nivelación de alta precisión.
- En 1970 se envía a EEUU (DMA) toda la información altimétrica del IGM (aprox. el 60% de la red actual) para ser ajustada.
- En 1971 se oficializan las cotas enviadas desde EEUU.
- A partir de ese año hasta la actualidad se han ido ajustando las nuevas líneas medidas a la malla original del año 1971.



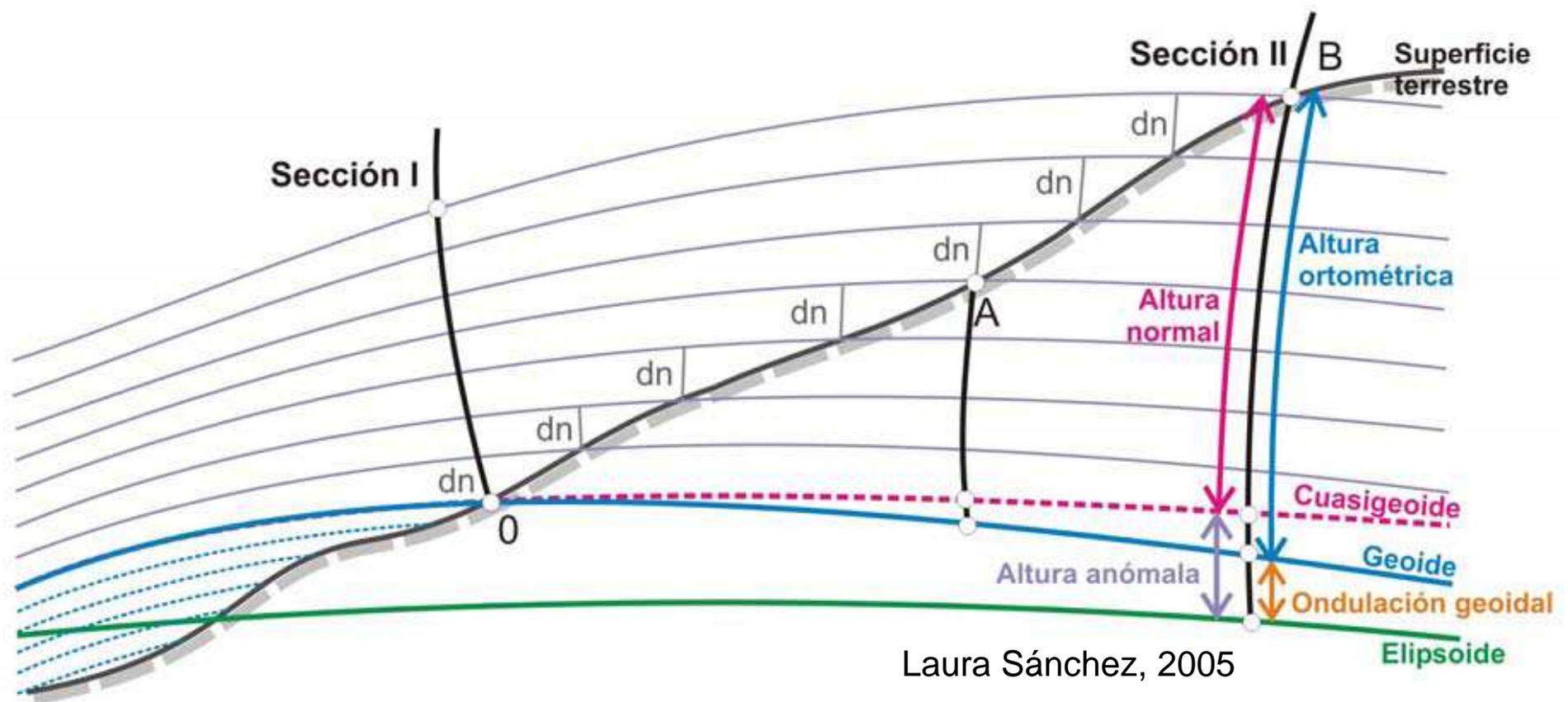
# Necesidad de reajustar la red

- No existía un ajuste completo de la red
- En 1970 sólo unas pocas líneas tenían valores gravimétricos
- Generar un sistema altimétrico regional unificado basado en números geopotenciales (SIRGAS)

# Números Geopotenciales y Alturas Físicas

- El campo gravitatorio terrestre es un campo conservativo, y por lo tanto se puede definir un potencial ( $W$ ).
  - La separación entre las superficies equipotenciales varía de acuerdo a la distribución de masas de la tierra.
  - El trabajo realizado dentro de un campo gravitatorio depende de las posiciones finales e iniciales, y no del recorrido, entonces el trabajo realizado a lo largo de un circuito cerrado es igual a cero.
- El potencial que coincide con la superficie media del mar en reposo se lo denomina Geoide ( $W_0$ )
- En la nivelación geométrica los instrumentos (nivel y miras) se orientan siempre normales a las superficies equipotenciales (niveles esféricos y tubulares).

# Números Geopotenciales y Alturas Físicas



# Números Geopotenciales y Alturas Físicas

- La derivada direccional del potencial ( $W$ ) corresponde con el vector fuerza en esa dirección, entonces:

$$-\frac{dW}{dh} = g \rightarrow \text{Gravedad}$$

$$-dW = g dh \rightarrow \text{Diferencia de nivel}$$

$$-\int_0^1 dW = \int_0^1 g(h) dh$$

$$W_0 - W_1 = \int_0^1 g(h) dh$$

# Números Geopotenciales y Alturas Físicas

- Número geopotencial

$$C_1 = W_0 - W_1$$

$$C_1 = \int_0^1 g(h) dh$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^n \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \times \Delta h_i \longrightarrow \text{Función discreta}$$

- Carece de sentido geométrico
- Unidad de medida es ***kGal.m = 10 m<sup>2</sup>s<sup>2</sup>***

# Números Geopotenciales y Alturas Físicas

- **Altura ortométrica de Helmert 1890** (Heiskanen & Moritz, 1967)

$$H = \frac{C}{\bar{g}} \rightarrow \text{Gravedad Media}$$

$$\bar{g} = \frac{1}{H} \int g \times dH \rightarrow \text{Diferencia de nivel}$$

$$\bar{g} = g + 0.0424 \times H \rightarrow \text{Gravedad Media: reducida por aire libre y placa de bouguer}$$

$$H = \frac{C}{g + 0.0424 \times H} \rightarrow \text{Altura ortométrica de Helmert}$$

- Posee sentido geométrico. Distancia entre la sup. de la tierra y el geoide a lo largo de la línea de plomada
- Unidad de medida es el **metro**

# Números Geopotenciales y Alturas Físicas

- **Altura ortométrica de Mader 1954** (Heiskanen & Moritz, 1967)

$$\bar{g} = g + 0.0424 \times H + C_T$$

$$\bar{g} = g + \left( \frac{1}{2} \frac{\partial \gamma}{\partial h} + 2\pi G \rho \right) H + C_T \rightarrow \text{Corrección topográfica}$$

$$H = \frac{C}{\bar{g}}$$

2.67 g/cm<sup>3</sup>

- La gravedad varía linealmente con la altura
- Considera la influencia topográfica

# Números Geopotenciales y Alturas Físicas

## ■ Corrección topográfica, Método de Hammer 1939

$$\delta g_t = \sum \rho \frac{2\pi}{n} K \left( r_{i+1} - r_i + \sqrt{r_i^2 + \Delta h_i^2} - \sqrt{r_{i+1}^2 + \Delta h_i^2} \right)$$

$$n = \frac{360}{\alpha}$$

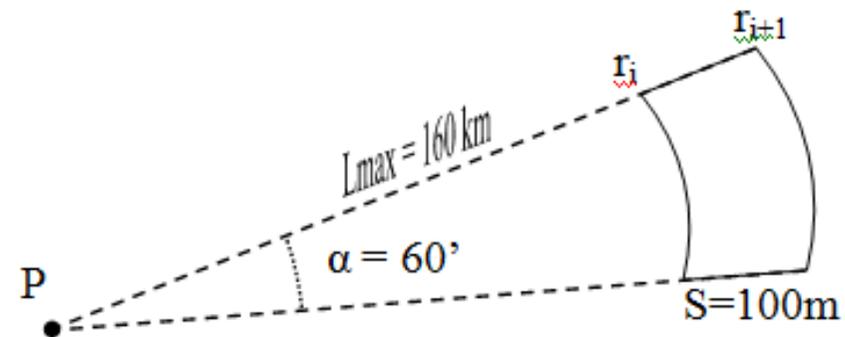
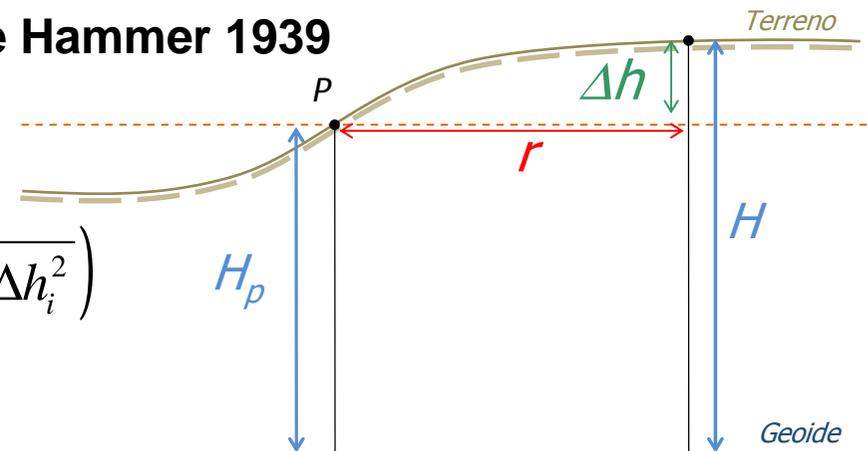
$\alpha$  = paso angular [°]

$r_{i+1} - r_i$  = paso lineal [m]

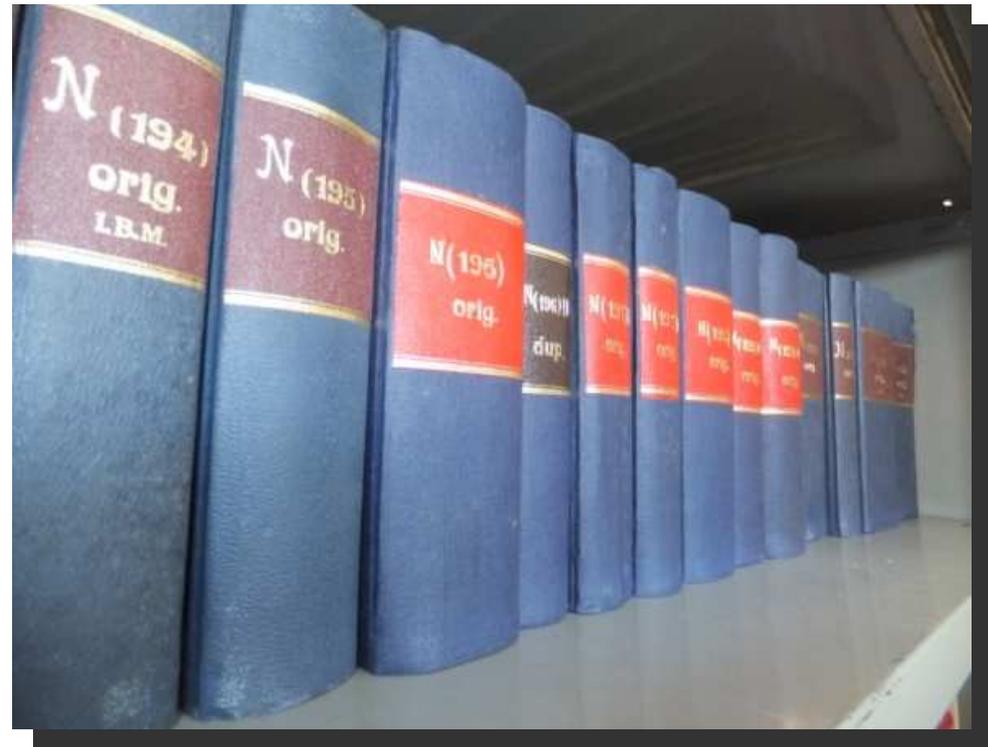
$\Delta h$  = desnivel altimétrico [m]

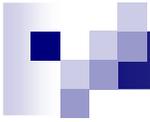
$K = 6.67 \times 10^{-11} \text{ [m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2} \text{]}$

$\rho$  = densidad  $2.67 \times 10^{-9} \text{ [kg / m}^3 \text{]}$



# Digitalización de resúmenes





# Digitalización de resúmenes

SECRETARÍA DE OBRAS  
Departamento de Obras Públicas  
Buenos Aires, Argentina

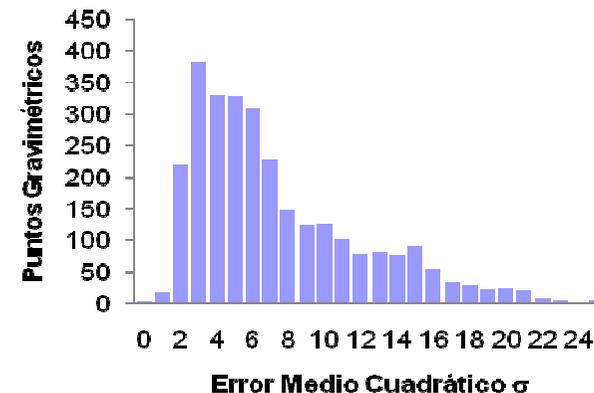
NIVELACION DE ALTA PRECISION  
FORM. 29. CONTROL

(Lote 1000) - Ruta 100 - Pto. de...

ORDEN	ALTA PRECISION		ESTACION	LECTURA		DIFERENCIA	CORRECCION	ALTIMETRIA	REMARKS
	ANTE	DESPUES		ANTE	DESPUES				
1	1.234	1.234	100	1.234	1.234	0.000	0.000	100.000	
2	1.235	1.235	101	1.235	1.235	0.000	0.000	101.000	
3	1.236	1.236	102	1.236	1.236	0.000	0.000	102.000	
4	1.237	1.237	103	1.237	1.237	0.000	0.000	103.000	
5	1.238	1.238	104	1.238	1.238	0.000	0.000	104.000	
6	1.239	1.239	105	1.239	1.239	0.000	0.000	105.000	
7	1.240	1.240	106	1.240	1.240	0.000	0.000	106.000	
8	1.241	1.241	107	1.241	1.241	0.000	0.000	107.000	
9	1.242	1.242	108	1.242	1.242	0.000	0.000	108.000	
10	1.243	1.243	109	1.243	1.243	0.000	0.000	109.000	
11	1.244	1.244	110	1.244	1.244	0.000	0.000	110.000	
12	1.245	1.245	111	1.245	1.245	0.000	0.000	111.000	
13	1.246	1.246	112	1.246	1.246	0.000	0.000	112.000	
14	1.247	1.247	113	1.247	1.247	0.000	0.000	113.000	
15	1.248	1.248	114	1.248	1.248	0.000	0.000	114.000	
16	1.249	1.249	115	1.249	1.249	0.000	0.000	115.000	
17	1.250	1.250	116	1.250	1.250	0.000	0.000	116.000	
18	1.251	1.251	117	1.251	1.251	0.000	0.000	117.000	
19	1.252	1.252	118	1.252	1.252	0.000	0.000	118.000	
20	1.253	1.253	119	1.253	1.253	0.000	0.000	119.000	
21	1.254	1.254	120	1.254	1.254	0.000	0.000	120.000	
22	1.255	1.255	121	1.255	1.255	0.000	0.000	121.000	
23	1.256	1.256	122	1.256	1.256	0.000	0.000	122.000	
24	1.257	1.257	123	1.257	1.257	0.000	0.000	123.000	
25	1.258	1.258	124	1.258	1.258	0.000	0.000	124.000	
26	1.259	1.259	125	1.259	1.259	0.000	0.000	125.000	
27	1.260	1.260	126	1.260	1.260	0.000	0.000	126.000	
28	1.261	1.261	127	1.261	1.261	0.000	0.000	127.000	
29	1.262	1.262	128	1.262	1.262	0.000	0.000	128.000	
30	1.263	1.263	129	1.263	1.263	0.000	0.000	129.000	
31	1.264	1.264	130	1.264	1.264	0.000	0.000	130.000	
32	1.265	1.265	131	1.265	1.265	0.000	0.000	131.000	
33	1.266	1.266	132	1.266	1.266	0.000	0.000	132.000	
34	1.267	1.267	133	1.267	1.267	0.000	0.000	133.000	
35	1.268	1.268	134	1.268	1.268	0.000	0.000	134.000	
36	1.269	1.269	135	1.269	1.269	0.000	0.000	135.000	
37	1.270	1.270	136	1.270	1.270	0.000	0.000	136.000	
38	1.271	1.271	137	1.271	1.271	0.000	0.000	137.000	
39	1.272	1.272	138	1.272	1.272	0.000	0.000	138.000	
40	1.273	1.273	139	1.273	1.273	0.000	0.000	139.000	
41	1.274	1.274	140	1.274	1.274	0.000	0.000	140.000	
42	1.275	1.275	141	1.275	1.275	0.000	0.000	141.000	
43	1.276	1.276	142	1.276	1.276	0.000	0.000	142.000	
44	1.277	1.277	143	1.277	1.277	0.000	0.000	143.000	
45	1.278	1.278	144	1.278	1.278	0.000	0.000	144.000	
46	1.279	1.279	145	1.279	1.279	0.000	0.000	145.000	
47	1.280	1.280	146	1.280	1.280	0.000	0.000	146.000	
48	1.281	1.281	147	1.281	1.281	0.000	0.000	147.000	
49	1.282	1.282	148	1.282	1.282	0.000	0.000	148.000	
50	1.283	1.283	149	1.283	1.283	0.000	0.000	149.000	
51	1.284	1.284	150	1.284	1.284	0.000	0.000	150.000	
52	1.285	1.285	151	1.285	1.285	0.000	0.000	151.000	
53	1.286	1.286	152	1.286	1.286	0.000	0.000	152.000	
54	1.287	1.287	153	1.287	1.287	0.000	0.000	153.000	
55	1.288	1.288	154	1.288	1.288	0.000	0.000	154.000	
56	1.289	1.289	155	1.289	1.289	0.000	0.000	155.000	
57	1.290	1.290	156	1.290	1.290	0.000	0.000	156.000	
58	1.291	1.291	157	1.291	1.291	0.000	0.000	157.000	
59	1.292	1.292	158	1.292	1.292	0.000	0.000	158.000	
60	1.293	1.293	159	1.293	1.293	0.000	0.000	159.000	
61	1.294	1.294	160	1.294	1.294	0.000	0.000	160.000	
62	1.295	1.295	161	1.295	1.295	0.000	0.000	161.000	
63	1.296	1.296	162	1.296	1.296	0.000	0.000	162.000	
64	1.297	1.297	163	1.297	1.297	0.000	0.000	163.000	
65	1.298	1.298	164	1.298	1.298	0.000	0.000	164.000	
66	1.299	1.299	165	1.299	1.299	0.000	0.000	165.000	
67	1.300	1.300	166	1.300	1.300	0.000	0.000	166.000	
68	1.301	1.301	167	1.301	1.301	0.000	0.000	167.000	
69	1.302	1.302	168	1.302	1.302	0.000	0.000	168.000	
70	1.303	1.303	169	1.303	1.303	0.000	0.000	169.000	
71	1.304	1.304	170	1.304	1.304	0.000	0.000	170.000	
72	1.305	1.305	171	1.305	1.305	0.000	0.000	171.000	
73	1.306	1.306	172	1.306	1.306	0.000	0.000	172.000	
74	1.307	1.307	173	1.307	1.307	0.000	0.000	173.000	
75	1.308	1.308	174	1.308	1.308	0.000	0.000	174.000	
76	1.309	1.309	175	1.309	1.309	0.000	0.000	175.000	
77	1.310	1.310	176	1.310	1.310	0.000	0.000	176.000	
78	1.311	1.311	177	1.311	1.311	0.000	0.000	177.000	
79	1.312	1.312	178	1.312	1.312	0.000	0.000	178.000	
80	1.313	1.313	179	1.313	1.313	0.000	0.000	179.000	
81	1.314	1.314	180	1.314	1.314	0.000	0.000	180.000	
82	1.315	1.315	181	1.315	1.315	0.000	0.000	181.000	
83	1.316	1.316	182	1.316	1.316	0.000	0.000	182.000	
84	1.317	1.317	183	1.317	1.317	0.000	0.000	183.000	
85	1.318	1.318	184	1.318	1.318	0.000	0.000	184.000	
86	1.319	1.319	185	1.319	1.319	0.000	0.000	185.000	
87	1.320	1.320	186	1.320	1.320	0.000	0.000	186.000	
88	1.321	1.321	187	1.321	1.321	0.000	0.000	187.000	
89	1.322	1.322	188	1.322	1.322	0.000	0.000	188.000	
90	1.323	1.323	189	1.323	1.323	0.000	0.000	189.000	
91	1.324	1.324	190	1.324	1.324	0.000	0.000	190.000	
92	1.325	1.325	191	1.325	1.325	0.000	0.000	191.000	
93	1.326	1.326	192	1.326	1.326	0.000	0.000	192.000	
94	1.327	1.327	193	1.327	1.327	0.000	0.000	193.000	
95	1.328	1.328	194	1.328	1.328	0.000	0.000	194.000	
96	1.329	1.329	195	1.329	1.329	0.000	0.000	195.000	
97	1.330	1.330	196	1.330	1.330	0.000	0.000	196.000	
98	1.331	1.331	197	1.331	1.331	0.000	0.000	197.000	
99	1.332	1.332	198	1.332	1.332	0.000	0.000	198.000	
100	1.333	1.333	199	1.333	1.333	0.000	0.000	199.000	
101	1.334	1.334	200	1.334	1.334	0.000	0.000	200.000	
102	1.335	1.335	201	1.335	1.335	0.000	0.000	201.000	
103	1.336	1.336	202	1.336	1.336	0.000	0.000	202.000	
104	1.337	1.337	203	1.337	1.337	0.000	0.000	203.000	
105	1.338	1.338	204	1.338	1.338	0.000	0.000	204.000	
106	1.339	1.339	205	1.339	1.339	0.000	0.000	205.000	
107	1.340	1.340	206	1.340	1.340	0.000	0.000	206.000	
108	1.341	1.341	207	1.341	1.341	0.000	0.000	207.000	
109	1.342	1.342	208	1.342	1.342	0.000	0.000	208.000	
110	1.343	1.343	209	1.343	1.343	0.000	0.000	209.000	
111	1.344	1.344	210	1.344	1.344	0.000	0.000	210.000	
112	1.345	1.345	211	1.345	1.345	0.000	0.000	211.000	
113	1.346	1.346	212	1.346	1.346	0.000	0.000	212.000	
114	1.347	1.347	213	1.347	1.347	0.000	0.000	213.000	
115	1.348	1.348	214	1.348	1.348	0.000	0.000	214.000	
116	1.349	1.349	215	1.349	1.349	0.000	0.000	215.000	
117	1.350	1.350	216	1.350	1.350	0.000	0.000	216.000	
118	1.351	1.351	217	1.351	1.351	0.000	0.000	217.000	
119	1.352	1.352	218	1.352	1.352	0.000	0.000	218.000	
120	1.353	1.353	219	1.353	1.353	0.000	0.000	219.000	
121	1.354	1.354	220	1.354	1.354	0.000	0.000	220.000	
122	1.355	1.355	221	1.355	1.355	0.000	0.000	221.000	
123	1.356	1.356	222	1.356	1.356	0.000	0.000	222.000	
124	1.357	1.357	223	1.357	1.357	0.000	0.000	223.000	
125	1.358	1.358	224	1.358	1.358	0.000	0.000	224.000	
126	1.359	1.359	225	1.359	1.359	0.000	0.000	225.000	
127	1.360	1.36							

# Metodología de cálculo Interpolación de gravedades

- El 18% de los puntos de la red no poseen gravedad medida
- PREDGRAV (H.Drewes, 1978)
  - Método → colocación por mínimos cuadrados
  - Resultados → error medio de **7 mGal**



## Tolerancia

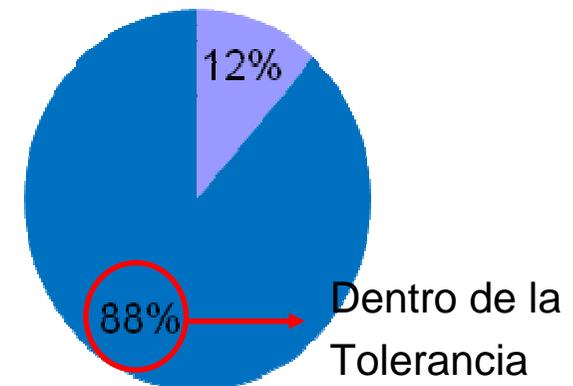
$$T[mm] = 3 \times \sqrt{L[km]}$$

La precisión que debe tener un desnivel entre 2 ptos. consecutivos es aprox. 5 mm

## Precisión Gravimétrica

H [m]	$\delta g$ [mGal]
10	553.2
50	110.6
100	55.3
500	11.1
1000	5.5
2000	2.8
3000	1.8
4000	1.4

## Porcentaje de PG dentro de la Tolerancia admitida

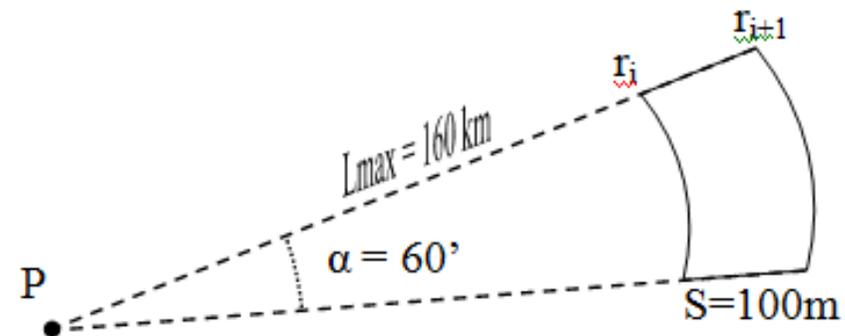
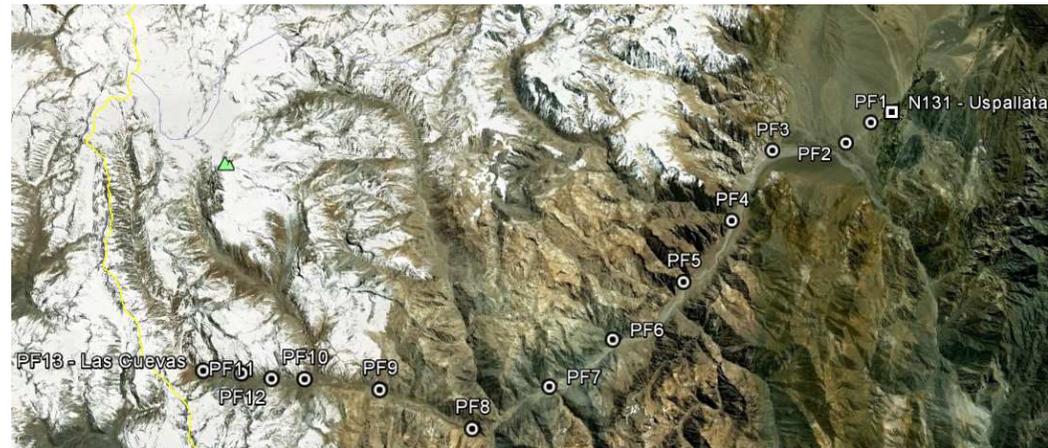


# Metodología de cálculo

## Corrección topográfica (SRTM\_90)

### ■ Método de Hammer 1939

Línea N(89) - DESDE USPALLATA - HASTA LAS CUEVAS								
Número de Punto Fijo	Latitud			Longitud			Cota [m]	Corrección Topográfica [mgal]
	Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg		
NODAL 131	-32	35	19,7	-69	21	16,5	1884,08	6,10
1	-32	35	54	-69	22	36,4	1895,54	6,75
2	-32	36	59,4	-69	24	11,6	1865,83	8,09
3	-32	37	26,4	-69	28	49,2	1877,88	19,05
4	-32	41	10,6	-69	31	26,5	2012,42	28,67
5	-32	44	20,5	-69	34	26,2	2129,92	40,23
6	-32	47	16,9	-69	38	44,9	2233,93	44,38
7	-32	49	38,2	-69	42	33,1	2312,59	45,22
8	-32	51	42,3	-69	47	4,3	2475,29	38,44
9	-32	49	47,3	-69	52	35,8	2653,59	27,56
10	-32	49	15,3	-69	57	3,9	2838,42	24,36
11	-32	49	13,7	-69	59	1,2	2867,34	29,92
12	-32	48	57,7	-70	0	41,9	2970,20	29,30
13	-32	48	49,8	-70	3	0,2	3157,51	26,59



# Metodología de cálculo

## Resúmenes de nivelación (datos)

Número de Punto Fijo	DESNIVELES					DISTANCIAS					COORDENADAS					
	IDA	VUELTA	IDA-VUE	PTO. DE REF.	PROM.	IDA	VTA	IDA-VUE	PROM	SUMA	Latitud			Longitud		
	[m]	[m]	[m]		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg
<b>NODAL 65</b>	0.00000	0.00000	0.00000	I	0.00000	0	0	0	0	0	-38	59	26.3	-64	5	45.8
45	1.47860	-1.48193	-0.00333	P	1.48026	3133	3129	4	3131	3131	-38	59	27.0	-64	6	53.8
44	18.10750	-18.10980	-0.00230	P	18.10865	3061	3077	-16	3069	6200	-39	0	30.0	-64	7	58.0
43	16.15463	-16.15788	-0.00325	P	16.15625	3075	3075	0	3075	9275	-39	2	9.4	-64	7	58.6
42	-5.85335	5.85078	-0.00258	P	-5.85206	3107	3105	2	3106	12381	-39	3	36.4	-64	8	18.1
41	-1.48220	1.48310	0.00090	P	-1.48265	3107	3106	1	3106	15487	-39	3	39.2	-64	10	23.8
40	11.11288	-11.11148	0.00140	P	11.11218	3100	3104	-4	3102	18589	-39	4	56.3	-64	11	31.4
39	1.78298	-1.78235	0.00062	P	1.78266	3057	3048	9	3052	21641	-39	6	36.8	-64	11	32.9
38	8.62063	-8.62275	-0.00212	P	8.62169	3140	3140	0	3140	24781	-39	8	14.5	-64	11	33.9
37	-19.23268	19.23105	-0.00163	P	-19.23186	3072	3072	0	3072	27853	-39	9	43.5	-64	12	12.0
36	3.04975	-3.05270	-0.00295	P	3.05123	3137	3136	1	3136	30989	-39	11	19.0	-64	12	40.8
35	21.22698	-21.22750	-0.00052	P	21.22724	3117	3116	1	3116	34105	-39	12	50.5	-64	13	16.6
34	-1.11280	1.11260	-0.00020	P	-1.11270	3102	3108	-6	3105	37210	-39	14	15.6	-64	14	26.3
33	-16.73793	16.73755	-0.00038	P	-16.73774	3114	3114	0	3114	40324	-39	15	50.7	-64	15	2.7
32	0.79975	-0.80323	-0.00348	P	0.80149	3080	3086	-6	3083	43407	-39	17	27.5	-64	15	27.2
31	6.87165	-6.87340	-0.00175	P	6.87253	3157	3158	-1	3158	46565	-39	19	7.0	-64	15	52.7
30	2.03758	-2.03745	0.00012	P	2.03751	3101	3101	0	3101	49666	-39	20	42.7	-64	16	31.0
29	8.72388	-8.72493	-0.00105	P	8.72440	3134	3134	0	3134	52800	-39	22	20.6	-64	17	0.8
28	-6.92230	6.92278	0.00047	P	-6.92254	3117	3118	-1	3118	55918	-39	23	59.8	-64	17	30.3
27	1.15553	-1.15428	0.00125	P	1.15490	3163	3163	0	3163	59081	-39	25	35.9	-64	17	48.6
26	-4.22878	4.22513	-0.00365	P	-4.22695	3136	3136	0	3136	62217	-39	27	14.4	-64	18	6.7
25	0.38828	-0.38883	-0.00055	P	0.38855	3106	3112	-6	3109	65326	-39	28	54.3	-64	18	19.2
24	-12.22525	12.22598	0.00072	P	-12.22561	3331	3330	1	3330	68656	-39	30	41.1	-64	18	37.1
23	24.54968	-24.54993	-0.00025	P	24.54980	3252	3251	1	3252	71908	-39	32	20.0	-64	18	52.9
22	-12.73295	12.73213	-0.00083	P	-12.73254	3082	3082	0	3082	74990	-39	33	59.0	-64	18	53.8
21	3.22565	-3.22528	0.00038	P	3.22546	3067	3066	1	3066	78056	-39	35	40.6	-64	18	54.6
20	-1.22363	1.22675	0.00313	P	-1.22519	3067	3068	-1	3068	81124	-39	37	18.7	-64	18	53.6
19	-6.58023	6.57745	-0.00278	P	-6.57884	3043	3060	-17	3052	84176	-39	38	40.2	-64	20	11.0
18	-0.55908	0.55825	-0.00082	P	-0.55866	3040	3042	-2	3041	87217	-39	40	4.4	-64	21	14.1
17	-4.01123	4.00910	-0.00212	P	-4.01016	3015	3018	-3	3016	90233	-39	41	29.7	-64	22	16.6
16	-7.90655	7.91058	0.00402	P	-7.90856	2990	2998	-8	2994	93227	-39	42	59.9	-64	22	54.6
15	11.99785	-11.99920	-0.00135	P	11.99853	3018	3018	0	3018	96245	-39	44	22.1	-64	22	52.8
14	-40.25398	40.25400	0.00003	P	-40.25399	3032	3035	-3	3034	99279	-39	46	1.2	-64	22	43.3
13	-10.93963	10.93930	-0.00033	P	-10.93946	2991	2994	-3	2992	102271	-39	47	38.6	-64	22	56.2
12	-4.98000	4.97878	-0.00123	P	-4.97939	3026	3025	1	3026	105297	-39	49	15.7	-64	23	16.3
11	4.04330	-4.04413	-0.00082	P	4.04371	3014	3016	-2	3015	108312	-39	50	50.1	-64	23	25.3
10	0.58720	-0.58608	0.00113	P	0.58664	2999	2999	0	2999	111311	-39	52	21.1	-64	22	40.5
9	2.57698	-2.57688	0.00010	P	2.57693	3144	3144	0	3144	114455	-39	54	3.1	-64	22	26.8
8	1.25878	-1.26165	-0.00287	P	1.26021	3035	3036	-1	3036	117491	-39	55	38.1	-64	22	15.8
7	8.05408	-8.05625	-0.00218	P	8.05516	2938	2940	-2	2939	120430	-39	56	28.5	-64	22	25.9
6	42.09218	-42.09160	0.00057	P	42.09189	3065	3063	2	3064	123494	-39	58	4.1	-64	22	54.4
5	-24.50635	24.50603	-0.00033	P	-24.50619	2955	2949	6	2952	126446	-39	59	2.3	-64	24	31.2
4	1.81540	-1.81385	0.00155	P	1.81463	3034	3028	6	3031	129477	-40	0	4.8	-64	26	9.5
3	-19.75923	19.75998	0.00075	P	-19.75960	3043	3046	-3	3044	132521	-40	1	9.7	-64	27	49.3
2	-16.77060	16.77085	0.00025	P	-16.77073	3031	3031	0	3031	135552	-40	2	34.9	-64	28	39.0
1	-1.96775	1.96748	-0.00028	P	-1.96761	3361	3367	-6	3364	138916	-40	4	12.3	-64	27	55.7
<b>NODAL 59</b>	0.21658	-0.21890	-0.00233	I	0.21774	4799	4963	-164	4881	143797	-40	6	21.2	-64	27	9.7

# Metodología de cálculo

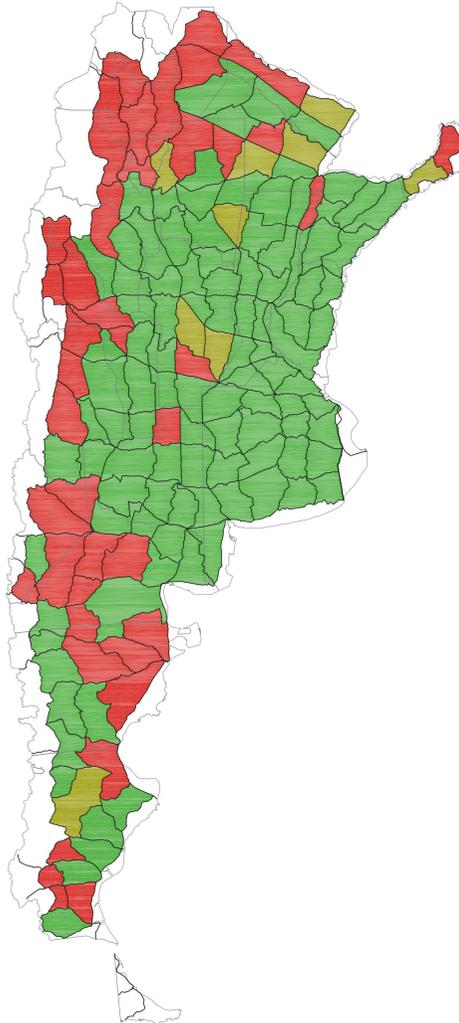
## Resúmenes de nivelación (cálculo)

Gravedad IGSN71 [mgal*100]	Tipo de Gravedad	Gravedad IGSN71 [mgal]	Correccion Topografica [mgal]	Gravedad Media [mgal]	Gravedad Promedio [mgal]	ΔC Δh*g med. [mgal*m]	C ΣΔh*g med. [mgal*m]	Altura Ortométrica [m]	Desnivel Ortométrico [m]	ΔH-Δh [m]	Gravedad Media [mgal]	Altura Ortométrica [m]	Desnivel Ortométrico [m]
98004802	Convertida	980048.02	0.31	980051.45				77.125			980051.45	77.125	
98004813	Convertida	980048.13	0.07	980051.50	980048.08	1450728	1450728	78.605	1.480	0.000	980051.50	78.605	1.480
98004639	Convertida	980046.39	0.18	980050.58	980047.26	17747333	19198061	96.714	18.109	0.000	980050.58	96.714	18.109
98004642	Convertida	980046.42	0.52	980051.47	980046.41	15833875	35031936	112.870	16.156	0.000	980051.47	112.870	16.156
98004785	Convertida	980047.85	0.37	980052.57	980047.14	-5735297	29296639	107.018	-5.852	0.000	980052.57	107.018	-5.852
98004722	Convertida	980047.22	0.15	980051.77	980047.54	-1453067	27843571	105.535	-1.483	0.000	980051.77	105.535	-1.483
98004674	Convertida	980046.74	0.12	980051.75	980046.98	10890454	38734025	116.647	11.112	0.000	980051.75	116.647	11.112
98004802	Convertida	980048.02	0.07	980053.08	980047.38	1747094	40481119	118.430	1.783	0.000	980053.08	118.430	1.783
98004677	Convertida	980046.77	0.12	980052.22	980047.40	8449662	48930781	127.052	8.622	0.000	980052.22	127.052	8.622
98005217	Convertida	980052.17	0.32	980056.90	980049.47	-18848177	30082604	107.820	-19.232	0.000	980056.90	107.820	-19.232
98004877	Convertida	980048.77	0.08	980053.51	980050.47	2990354	33072959	110.871	3.051	0.000	980053.51	110.871	3.051
98003986	Convertida	980039.86	0.06	980045.49	980044.32	20803633	53876592	132.099	21.227	0.000	980045.49	132.099	21.227
98004466	Convertida	980044.66	0.15	980050.29	980042.26	-1090493	52786099	130.986	-1.113	0.000	980050.29	130.986	-1.113
98005967	Convertida	980059.67	0.52	980064.77	980052.17	-16403856	36382243	114.247	-16.738	-0.001	980064.77	114.247	-16.738
98005360	Convertida	980053.60	0.05	980058.50	980056.64	785503	37167747	115.049	0.802	0.000	980058.50	115.049	0.802
98005985	Convertida	980059.85	0.23	980065.13	980056.73	6735464	43903211	121.921	6.872	0.000	980065.13	121.921	6.872
98005821	Convertida	980058.21	0.37	980063.65	980059.03	1996883	45900093	123.959	2.038	0.000	980063.65	123.959	2.038
98006505	Convertida	980065.05	0.20	980070.77	980061.63	8550450	54450543	132.683	8.724	0.000	980070.77	132.683	8.724
98006355	Convertida	980063.55	0.08	980068.92	980064.30	-6784532	47666011	125.760	-6.922	0.000	980068.92	125.760	-6.922
98007273	Convertida	980072.73	0.31	980078.27	980068.14	1131881	48797892	126.915	1.154	0.000	980078.27	126.915	1.154
98007028	Convertida	980070.28	0.06	980075.51	980071.51	-4142713	44655179	122.688	-4.227	0.000	980075.51	122.688	-4.227
98008418	Convertida	980084.18	0.22	980089.51	980077.23	380809	45035988	123.076	0.388	-0.001	980089.51	123.076	0.388
98008139	Convertida	980081.39	0.24	980086.21	980082.79	-11982112	33053875	110.850	-12.225	0.000	980086.21	110.850	-12.225
98009593	Convertida	980095.93	0.11	980101.72	980088.66	24060981	57114856	135.399	24.549	-0.001	980101.72	135.399	24.549
98009390	Convertida	980093.90	0.73	980099.47	980094.92	-12479095	44635761	122.667	-12.732	0.000	980099.47	122.667	-12.732
98010833	Convertida	980108.33	0.21	980113.77	980101.12	3161279	47797040	125.892	3.225	-0.001	980113.77	125.892	3.225
98010328	Convertida	980103.28	0.45	980108.79	980105.81	-1200813	46596227	124.667	-1.225	0.000	980108.79	124.667	-1.225
98010103	Convertida	980101.03	0.06	980106.07	980102.16	-6447933	40148294	118.088	-6.579	0.000	980106.07	118.088	-6.579
98010183	Convertida	980101.83	0.13	980106.88	980101.43	-547546	39600748	117.530	-0.559	0.000	980106.88	117.530	-0.559
98011529	Convertida	980115.29	0.20	980120.20	980108.56	-3930395	35670353	113.519	-4.011	-0.001	980120.20	113.519	-4.011
98011227	Convertida	980112.27	0.16	980116.83	980113.78	-7751291	27919062	105.610	-7.908	0.000	980116.83	105.610	-7.908
98012519	Convertida	980125.19	0.14	980130.25	980118.73	11759979	39679041	117.608	11.998	-0.001	980130.24	117.608	11.998
98012346	Convertida	980123.46	0.77	980127.13	980124.33	-39453912	225129	77.355	-40.254	0.000	980127.13	77.355	-40.254
98013773	Convertida	980137.73	0.51	980140.80	980130.60	-10722102	-10496973	66.415	-10.939	0.000	980140.80	66.415	-10.939
98013413	Convertida	980134.13	0.08	980136.78	980135.93	-4880477	-15377449	61.436	-4.979	0.000	980136.78	61.436	-4.979
98014401	Convertida	980144.01	0.08	980146.83	980139.07	3963401	-11414049	65.480	4.044	0.000	980146.83	65.480	4.044
98013955	Convertida	980139.55	0.11	980142.41	980141.78	574988	-10839061	66.066	0.587	0.000	980142.41	66.066	0.587
98016300	Convertida	980163.00	0.19	980166.00	980151.28	2525776	-8313285	68.643	2.577	0.000	980166.00	68.643	2.577
98015678	Convertida	980156.78	0.16	980159.83	980159.89	1235210	-7078075	69.904	1.260	0.000	980159.83	69.904	1.260
98015465	Convertida	980154.65	0.46	980158.18	980155.72	7895314	817239	77.959	8.055	0.000	980158.18	77.959	8.055
98015206	Convertida	980152.06	1.24	980157.77	980153.36	41256505	42073743	120.050	42.092	0.000	980157.77	120.050	42.092
98016040	Convertida	980160.40	0.82	980164.86	980156.23	-24019892	18053851	95.544	-24.506	0.000	980164.86	95.544	-24.506
98015519	Convertida	980155.19	0.11	980159.37	980157.80	1778619	19832470	97.359	1.815	0.000	980159.37	97.359	1.815
98016379	Convertida	980163.79	0.35	980167.26	980159.49	-19367559	464910	77.599	-19.760	0.000	980167.26	77.599	-19.760
98016231	Convertida	980162.31	0.07	980164.92	980163.05	-16438045	-15973134	60.829	-16.771	0.000	980164.92	60.829	-16.771
98016619	Convertida	980166.19	0.13	980168.75	980164.25	-1928583	-17901718	58.861	-1.968	0.000	980168.75	58.861	-1.968
98016493	Convertida	980164.93	0.29	980167.58	980165.56	213419	-17688299	59.079	0.218	0.000	980167.58	59.079	0.218

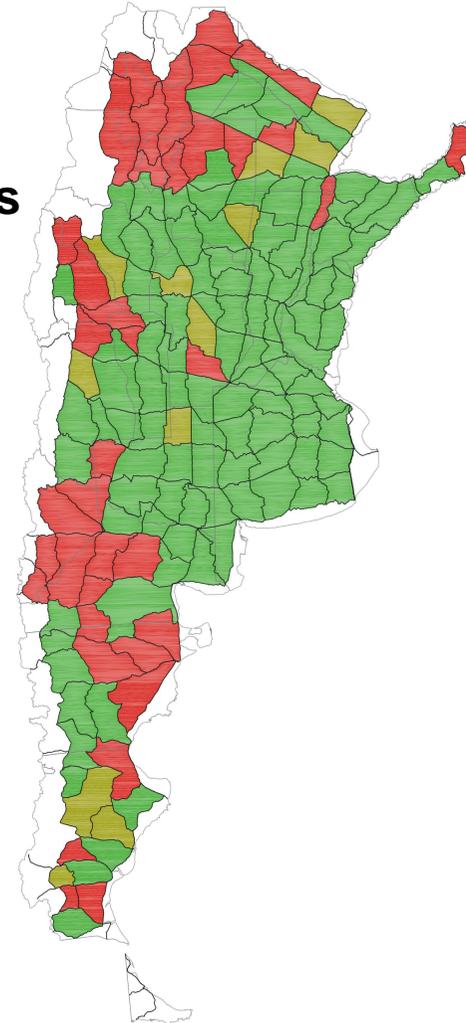
# Metodología de cálculo

## Cierre de polígonos

**Cierres  
Geométricos**



**Cierres  
Ortométricos**



# Metodología de cálculo

## Ejemplo 1 de cierre ortométrico

- Polígono 108, provincia de San Juan

Línea	Desde	Hasta	$\Delta H$ Geom [m]	$\Delta H$ Ortom [m]	$\Delta H$ Normal [m]	$\Delta$ Poten [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	Distancia [m]
349	153	145	-719.059	-719.094	-718.932	-7039.926	131684
322	145	163	526.913	526.952	526.854	5158.762	158985
345	163	181	659.421	659.329	659.206	6454.702	60172
348	181	153	-467.176	-467.195	-467.080	-4573.026	134824
$\Sigma \Delta H$			<b>0.099</b>	<b>-0.008</b>	0.048	0.512	485665
Tolerancia			<b>0.066</b>				

# Metodología de cálculo

## Ejemplo 2 de cierre ortométrico

- Polígono 144, provincias de Salta, Catamarca y Tucumán

Línea	Desde	Hasta	$\Delta H$ Geom [m]	$\Delta H$ Ortom [m]	$\Delta H$ Normal [m]	$\Delta$ Poten [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	Distancia [m]
355	220	6-355	279.973	279.940	279.832	2737.558	41680
355	6-355	222	-197.194	-197.188	-197.109	-1928.252	67075
356	222	89-215	-1647.979	-1647.425	-1646.976	-16118.218	173374
215	89-215	211	-60.287	-60.293	-60.282	-589.781	18255
199	211	199	-159.730	-159.700	-159.653	-1562.480	193736
196	199	187	-810.163	-810.312	-810.113	-7929.272	143314
357	187	186	185.283	185.270	185.235	1813.408	86205
353	186	204	2109.904	2110.334	2109.595	20642.618	266684
354	204	220	299.120	299.162	299.044	2925.690	209913
$\Sigma \Delta H$			<b>-1.073</b>	<b>-0.212</b>	-0.427	-8.729	1200236
Tolerancia			<b>0.104</b>				

# Metodología de cálculo

## Ajuste de la red

- Ajuste por mínimos cuadrados
- Modelo Singular de Gauss-Markov (SGMM)

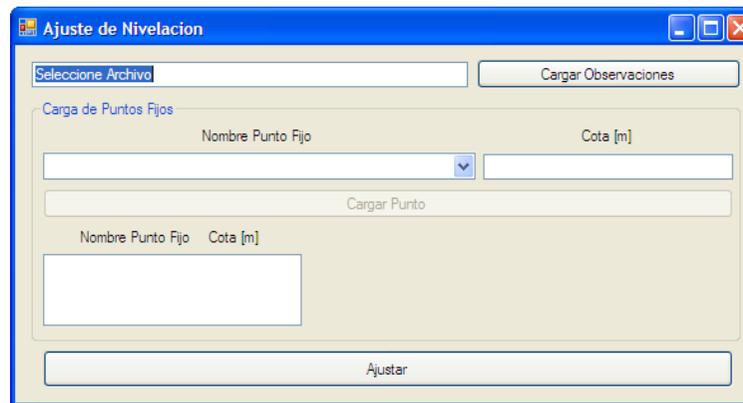
$$E\{y\}_{n \times 1} = A_{n \times m} X_{m \times 1}, \quad y \approx (AX, Q_y = \sigma_0^2 P_y^{-1}) \quad \longrightarrow \text{Sistema de ecuaciones}$$

$$P_y = \sigma_0^2 Q_y^{-1} = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} \frac{1}{d_1^2} & & \\ & \ddots & \\ & & \frac{1}{d_n^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_i & & \\ & \ddots & \\ & & P_n \end{bmatrix} \quad \longrightarrow \text{Matriz de pesos}$$

$$\tilde{X} = (A^T P A)^{-1} A^T P L \quad \longrightarrow \text{Resolución del sistema}$$

# Metodología de cálculo

## Ajuste de la red y valores de altura



### ■ Archivo de entrada

133	151	-37.951	188937
151	150	644.814	124413
138	150	-261.548	152673
133	138	867.989	115778
112	133	-49.077	198572
150	149	2112.439	102962
123	138	562.345	117116
138	149	1850.919	149119
132	149	-1421.721	175576
112	123	255.912	127778

### ■ Archivo de salida

133	1097.9401	0.7539
151	1059.9487	0.7798
150	1704.6629	0.7831
138	1965.9774	0.7718
112	1147.164	0.7075
149	3817.0695	0.772
123	1403.3663	0.8012
132	5238.7392	0.8046
90	1625.3862	0.7298
87	1124.593	0.7005
119	2334.23	0.7499

# Metodología de cálculo

## Ajuste de la red y valores de altura

Gravedad IGSN71 [mgal*100]	Tipo de Gravedad	Gravedad IGSN71 [mgal]	Correccion Topografica [mgal]	Gravedad Media [mgal]	Gravedad Promedio [mgal]	$\Delta C$ $\Delta h^*g$ med. [mgal*m]	C $\Sigma \Delta h^*g$ med. [mgal*m]	Ccomp (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	Altura Ortométrica [m]	Desnivel Ortométrico [m]	$\Delta H-\Delta h$ [m]
98004802	Convertida	980048,02	0,31	980051,45	980048,08	1450728	1450728	755,086	77,043		
98004813	Convertida	980048,13	0,07	980051,50	980048,08	1450728	1450728	769,567	78,523	1,480	-0,001
98004639	Convertida	980046,39	0,18	980050,58	980047,26	17747333	19198061	947,035	96,631	18,108	-0,001
98004642	Convertida	980046,42	0,52	980051,47	980046,41	15833875	35031936	1105,368	112,787	16,156	-0,001
98004785	Convertida	980047,85	0,37	980052,57	980047,14	-5735297	29296639	1048,009	106,934	-5,853	-0,001
98004722	Convertida	980047,22	0,15	980051,77	980047,54	-1453067	27843571	1033,473	105,451	-1,483	0,000
98004674	Convertida	980046,74	0,12	980051,75	980046,98	10890454	38734025	1142,372	116,562	11,112	-0,001
98004802	Convertida	980048,02	0,07	980053,08	980047,38	1747094	40481119	1159,837	118,344	1,782	-0,001
98004677	Convertida	980046,77	0,12	980052,22	980047,40	8449662	48930781	1244,328	126,966	8,621	-0,001
98005217	Convertida	980052,17	0,32	980056,90	980049,47	-18848177	30082604	1055,841	107,733	-19,233	-0,001
98004877	Convertida	980048,77	0,08	980053,51	980050,47	2990354	33072959	1085,739	110,784	3,051	0,000
98003986	Convertida	980039,86	0,06	980045,49	980044,32	20803633	53876592	1293,769	132,011	21,228	0,000
98004466	Convertida	980044,66	0,15	980050,29	980042,26	-1090493	52786099	1282,859	130,897	-1,114	-0,001
98005967	Convertida	980059,67	0,52	980064,77	980052,17	-16403856	36382243	1118,815	114,157	-16,740	-0,002
98005360	Convertida	980053,60	0,05	980058,50	980056,84	785503	37167747	1126,664	114,969	0,802	0,000
98005985	Convertida	980059,85	0,23	980065,13	980056,73	6735464	43903211	1194,013	121,830	6,871	-0,001
98005821	Convertida	980058,21	0,37	980063,65	980059,03	1996883	45900093	1213,976	123,867	2,037	0,000
98006505	Convertida	980065,05	0,20	980070,77	980061,63	8550450	54450543	1299,475	132,590	8,723	-0,002
98006355	Convertida	980063,55	0,08	980068,92	980064,30	-6784532	47666011	1231,624	125,667	-6,923	0,000
98007273	Convertida	980072,73	0,31	980078,27	980068,14	1131881	48797892	1242,937	126,820	1,153	-0,002
98007028	Convertida	980070,28	0,06	980075,51	980071,51	-4142713	44655179	1201,504	122,593	-4,227	0,000
98008418	Convertida	980084,18	0,22	980089,51	980077,23	380809	45035988	1205,306	122,979	0,386	-0,002
98008139	Convertida	980081,39	0,24	980086,21	980082,79	-11982112	33053875	1085,479	110,753	-12,226	0,000
98009593	Convertida	980095,93	0,11	980101,72	980088,66	24060981	57114856	1326,083	135,301	24,547	-0,003
98009390	Convertida	980093,90	0,73	980099,47	980094,92	-12479095	44635761	1201,286	122,568	-12,733	0,000
98010833	Convertida	980108,33	0,21	980113,77	980101,12	3161279	47797040	1232,894	125,791	3,223	-0,002
98010328	Convertida	980103,28	0,45	980108,79	980105,81	-1200813	46596227	1220,880	124,566	-1,225	0,000
98010103	Convertida	980101,03	0,06	980106,07	980102,16	-6447933	40148294	1156,395	117,987	-6,579	0,000
98010183	Convertida	980101,83	0,13	980106,88	980101,43	-547546	39600748	1150,914	117,427	-0,559	-0,001
98011529	Convertida	980115,29	0,20	980120,20	980108,56	-3930395	35670353	1111,605	113,415	-4,012	-0,002
98011227	Convertida	980112,27	0,16	980116,83	980113,78	-7751291	27919062	1034,086	105,506	-7,909	0,000
98012519	Convertida	980125,19	0,14	980130,25	980118,73	11759979	39679041	1151,680	117,503	11,996	-0,002
98012346	Convertida	980123,46	0,77	980127,13	980124,33	-39453912	225129	757,136	77,249	-40,254	0,000
98013773	Convertida	980137,73	0,51	980140,80	980130,60	-10722102	-10496973	649,909	66,308	-10,941	-0,002
98013413	Convertida	980134,13	0,08	980136,78	980135,93	-4880477	-15377449	601,099	61,328	-4,980	0,000
98014401	Convertida	980144,01	0,08	980146,83	980139,07	3963401	-11414049	640,728	65,371	-4,042	-0,001
98013955	Convertida	980139,55	0,11	980142,41	980141,78	574988	-10839061	646,472	65,957	0,586	0,000
98016300	Convertida	980163,00	0,19	980166,00	980151,28	2525776	-8313285	671,724	68,532	2,575	-0,002
98015678	Convertida	980156,78	0,16	980159,83	980159,89	1235210	-7078075	684,071	69,792	1,260	0,000
98015465	Convertida	980154,65	0,46	980158,18	980155,72	7895314	817239	763,018	77,846	8,055	0,000
98015206	Convertida	980152,06	1,24	980157,77	980153,36	41256505	42073743	1175,578	119,938	42,091	-0,001
98016040	Convertida	980160,40	0,82	980164,86	980156,23	-24019892	18053851	935,373	95,430	-24,507	-0,001
98015519	Convertida	980155,19	0,11	980159,37	980157,80	1778619	19832470	953,154	97,245	1,815	0,000
98016379	Convertida	980163,79	0,35	980167,26	980159,49	-19367559	464910	759,473	77,484	-19,761	-0,001
98016231	Convertida	980162,31	0,07	980164,92	980163,05	-16438045	-15973134	595,087	60,713	-16,771	0,000
98016619	Convertida	980166,19	0,13	980168,75	980164,25	-1928563	-17901715	575,795	58,744	-1,968	-0,001
98016493	Convertida	980164,93	0,29	980167,58	980165,56	213419	-17688199	577,920	58,961	0,217	-0,001

# Conclusiones

- **Utilizando líneas corregidas gravimetricamente los cierres de los polígonos han mejorado notablemente**
  
- **Esperamos poder oficializar la nueva red el año próximo. Resta llevar a cabo las siguientes labores:**
  - Definir  $W_0$
  - Medir gravedad sobre algunas líneas que carecen de esta información
  - Analizar los procesos anteriores que perturban la calidad de las soluciones obtenidas
  - Definir cuáles serán las líneas que formarán parte del ajuste
  
- **Este trabajo será un gran apoyo para:**
  - Generar nuevos mapas de anomalías
  - Controlar modelos de geoide



*Muchas gracias*