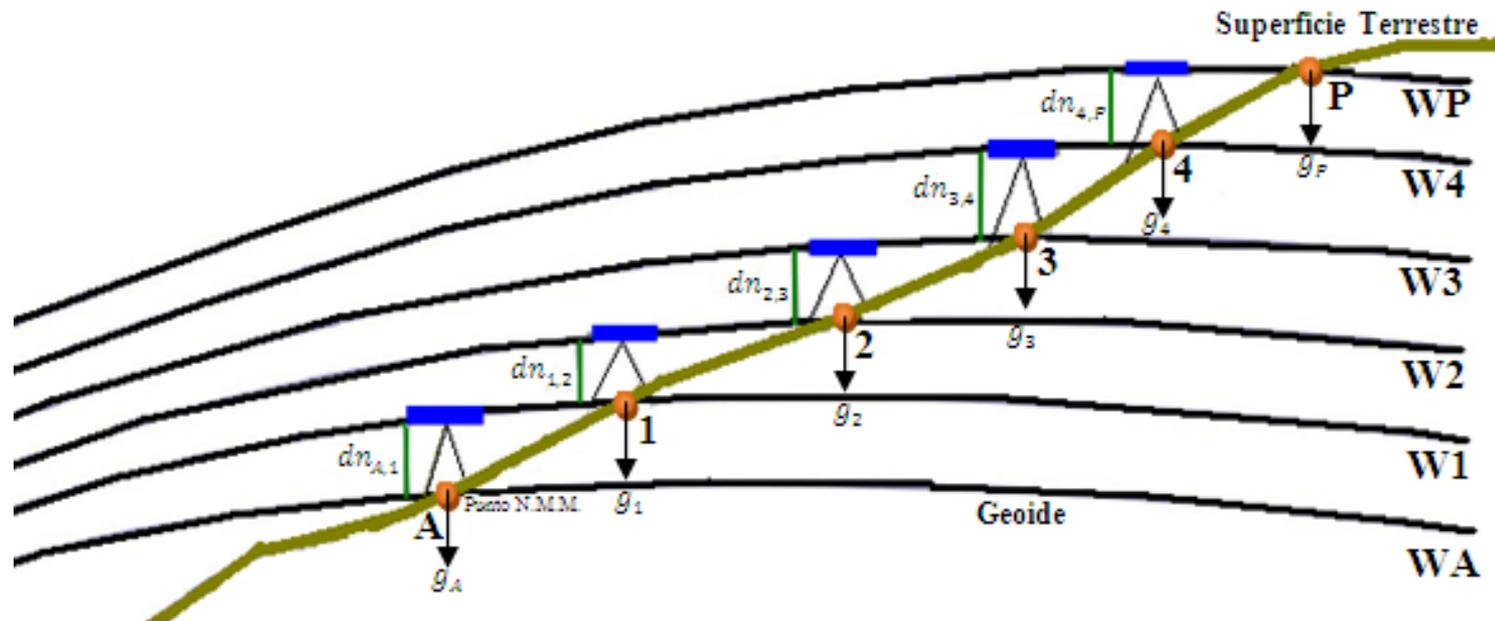




# **“CÁLCULO DE NÚMEROS GEOPOTENCIALES PARA EL ECUADOR CONTINENTAL”**

REALIZADO POR:  
COYAGO RICARDO  
ALFONSO TIERRA  
ALEXANDER ROBAYO

# NÚMERO GEOPOTENCIAL



$$C_P = -(W_P - W_A)$$

$$\Delta WP_{P,A} = (\bar{g}_{A,1} \cdot dn_{A,1}) + (\bar{g}_{1,2} \cdot dn_{1,2}) + \dots + (\bar{g}_{4,P} \cdot dn_{4,P})$$

$$C_P = W_A - W_P = \int_A^P g \cdot dh \cong \sum_A^P \bar{g} \cdot dn$$

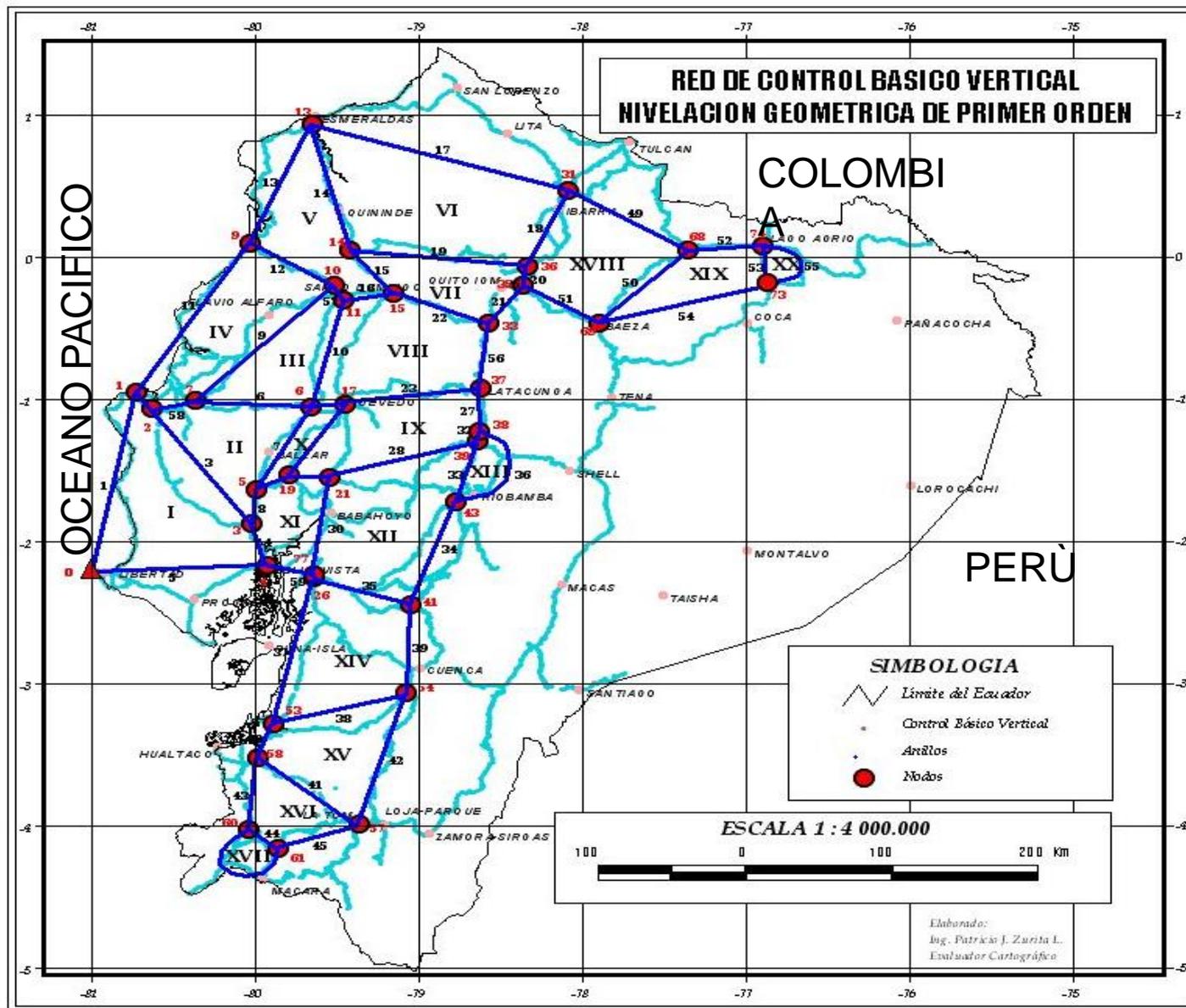
$$\bar{g}_{A,1} = \frac{g_A + g_1}{2}$$

$$1 \text{ u. g. p.} = 1 \text{ kgal.m}$$

$$= 10^5 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{s}^2}$$

$$= 1000 \text{ gal.m}$$

# ÁREA DE ESTUDIO

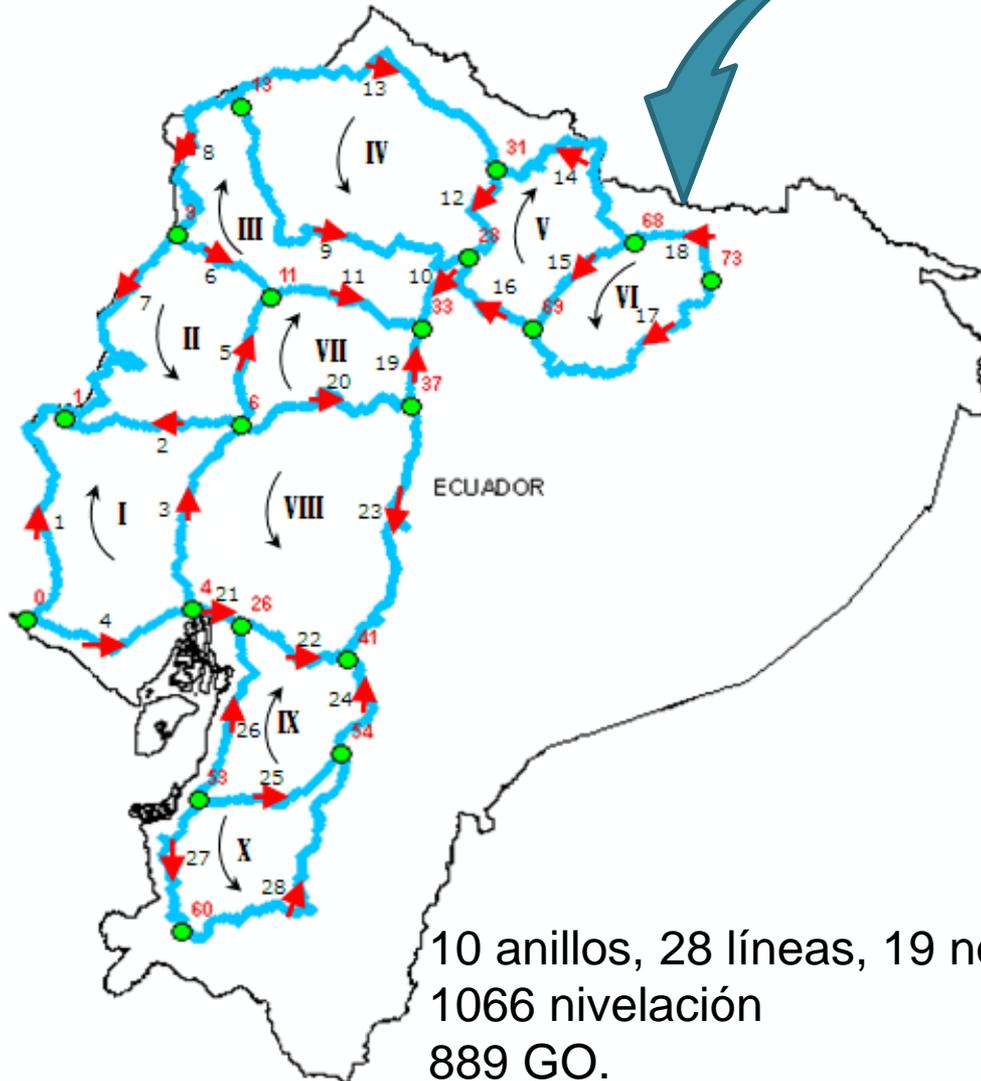


# I.G.M.

- Gravedad observada, cuenta con 2.988 puntos, los cuales tienen su nominativo, código, latitud, longitud.
- Los datos de nivelación, se cuenta con 3.732 puntos, los mismos que están distribuidos en 62 líneas y cada línea cuenta con placa inicial, placa final, desnivel, distancia, cota y años en los que se realizó la nivelación.

# AJUSTE DE LA RED DE CONTROL BÁSICO VERTICAL

Figura: Anillos, Líneas, Nodos y Direcciones



10 anillos, 28 líneas, 19 nodos,  
1066 nivelación  
889 GO.

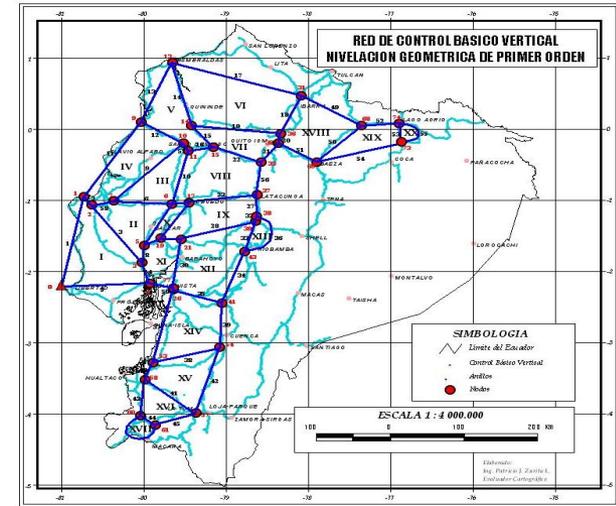


Tabla : Valores de Tolerancia de Anillos

ANILLO	$\Sigma$ Desnivel(m)	Distancia (Km)	Tolerancia(m)
I	0,0445	683,49	0,1046
II	0,0881	650,53	0,1020
III	0,0043	834,09	0,1155
IV	0,0627	718,17	0,1072
V	-0,0895	585,00	0,0967
VI	0,0444	450,97	0,0849
VII	-0,0753	521,20	0,0913
VIII	-0,0774	791,87	0,1126
IX	-0,0516	511,60	0,0905
X	0,0102	671,24	0,1036

# ANOMALÍA DE BOUGUER COMPLETO

Los datos fueron proporcionados por el C. I. E. “ESPE”, de acuerdo a la ecuación:

$$\Delta g_E = g_{obs} + CAL_E - \gamma + CT + CB$$

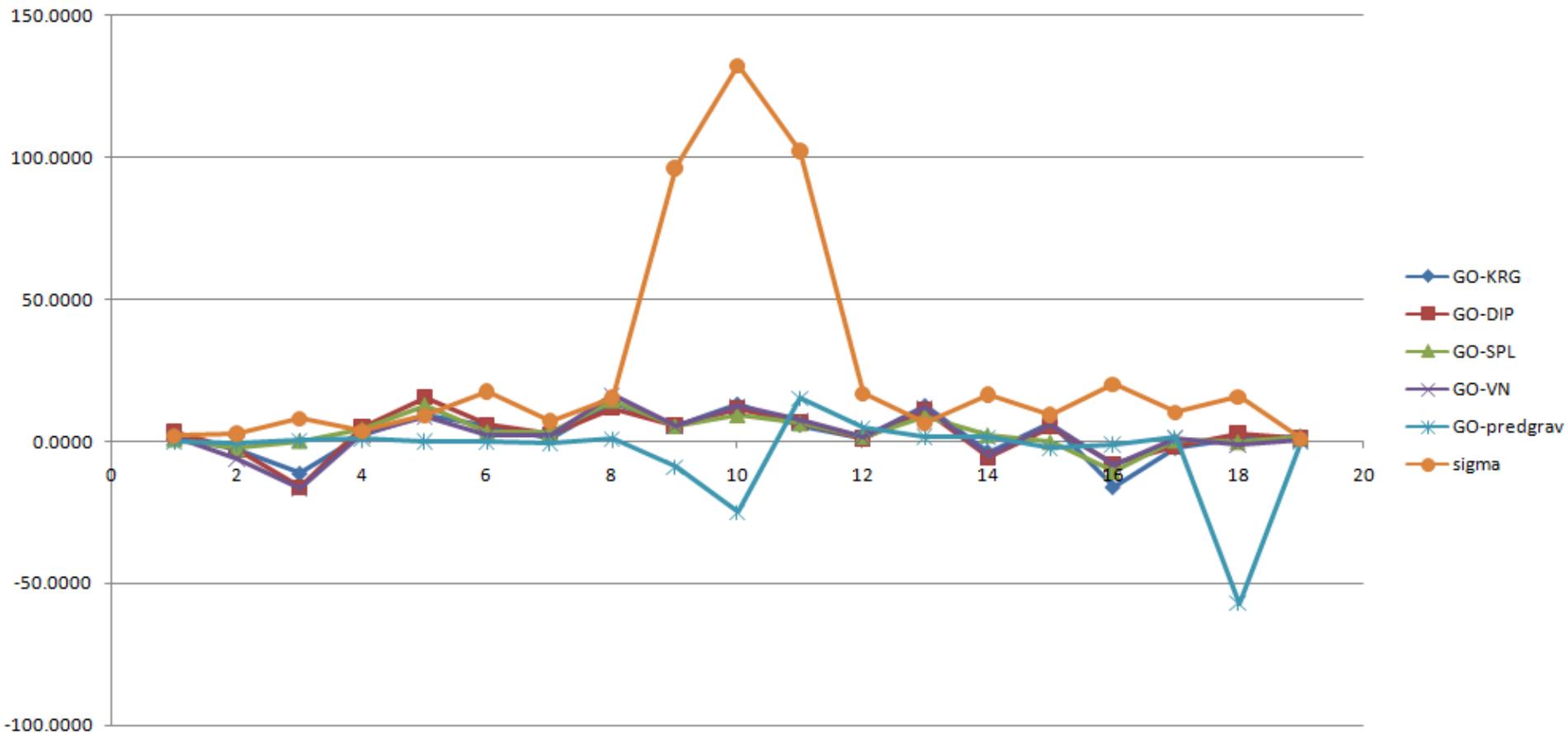
Son 11.123 puntos.

**ArcGis 9.2,**

- Kriging,
- Distancia Inversa Ponderada,
- Spline
- Vecino Natural

**Predgrav (SIRGAS)**

# CÁLCULO DE LA GRAVEDAD INTERPOLADA



# CÁLCULO DE LA GRAVEDAD INTERPOLADA

$$g_{int} = \Delta g_B - CAL_E - CB - CT + \gamma$$

$$CAL_E \cong 0.307716Hn - 7.21 * 10^{-8}(Hn)^2$$

$$CB = 2\pi\rho GHn = 0.1119Hn$$

$$\gamma = \gamma_e \frac{1 + k_{gn} \cdot \text{sen}^2 \varphi}{\sqrt{1 - e_1^2 \cdot \text{sen}^2 \varphi}}$$

$$k_{gn} = \frac{b\gamma_p}{a\gamma_e} - 1$$

$$e_1^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

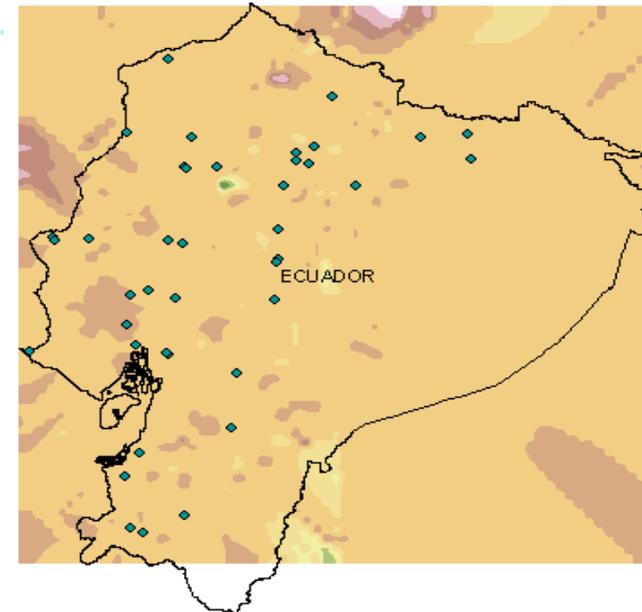


Figura: Spline

# TOLERANCIA PARA NÚMEROS GEOPOTENCIALES

(Krakiwsky, 1965), *que los errores superiores a 0.1 o 0.2 kgal.mm se consideran intolerables, además, demostró que la gravedad no tiene que ser observada en todos los puntos de inflexión.*

# TOLERANCIA PARA NUMEROS GEOPOTENCIALES

De acuerdo a la Figura, se toman 7 puntos nivelados como son el BM3, L-M-1, L-M-2, L-M-3, L-M-4, L-M-5 y L-M-6, los cuales cuentan con gravedad observada y su respectivo desnivel entre puntos, se calcula multiplicando el promedio de la gravedad por el desnivel de uno en uno, luego de 2 en 2, de 3 en 3 y de 1 a 6, los valores de tolerancia son de 0.02, 0.04, 0.05(kgal.mm). Esto indica que solo se puede tomar el BM3 y el L-M-6, y no necesariamente en cada uno de los puntos de nivelación, esto es a una distancia máxima de 12 Km de punto a punto, tomando en cuenta que las distancias de punto a punto van de 1,4km, 1,7km y 2km.

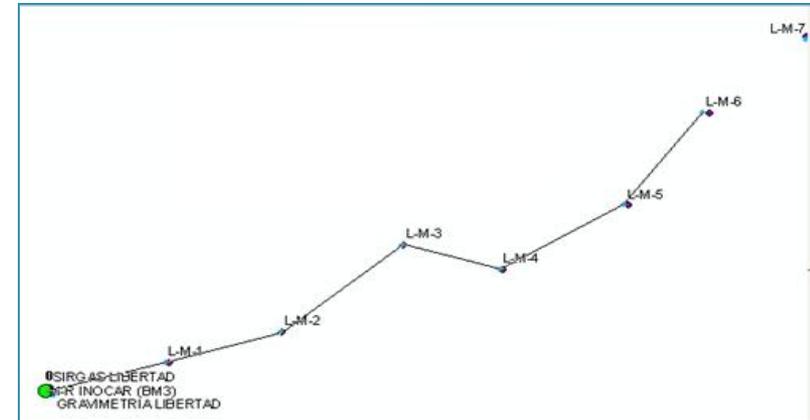
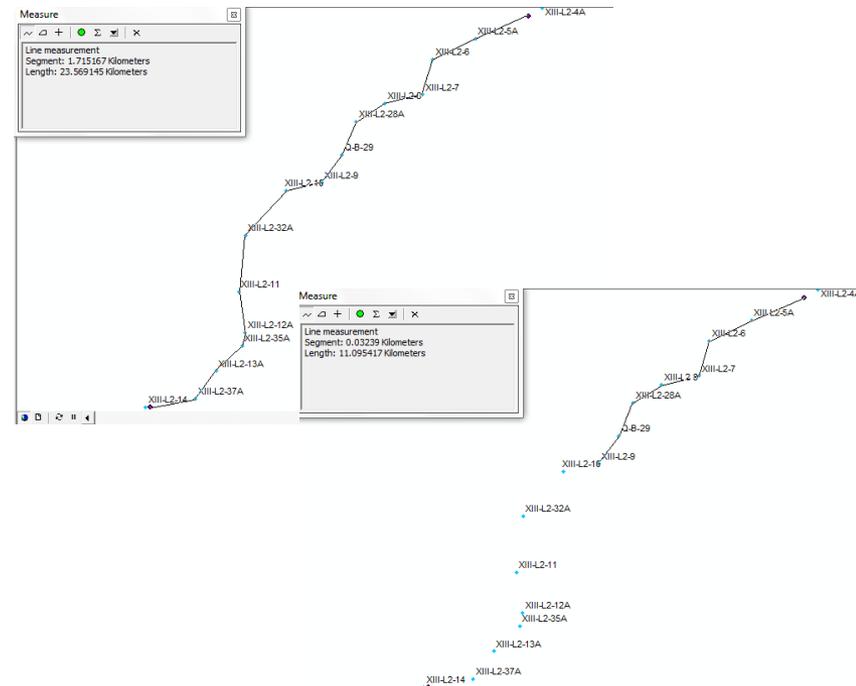


Figura : Puntos de nivelación y gravedad



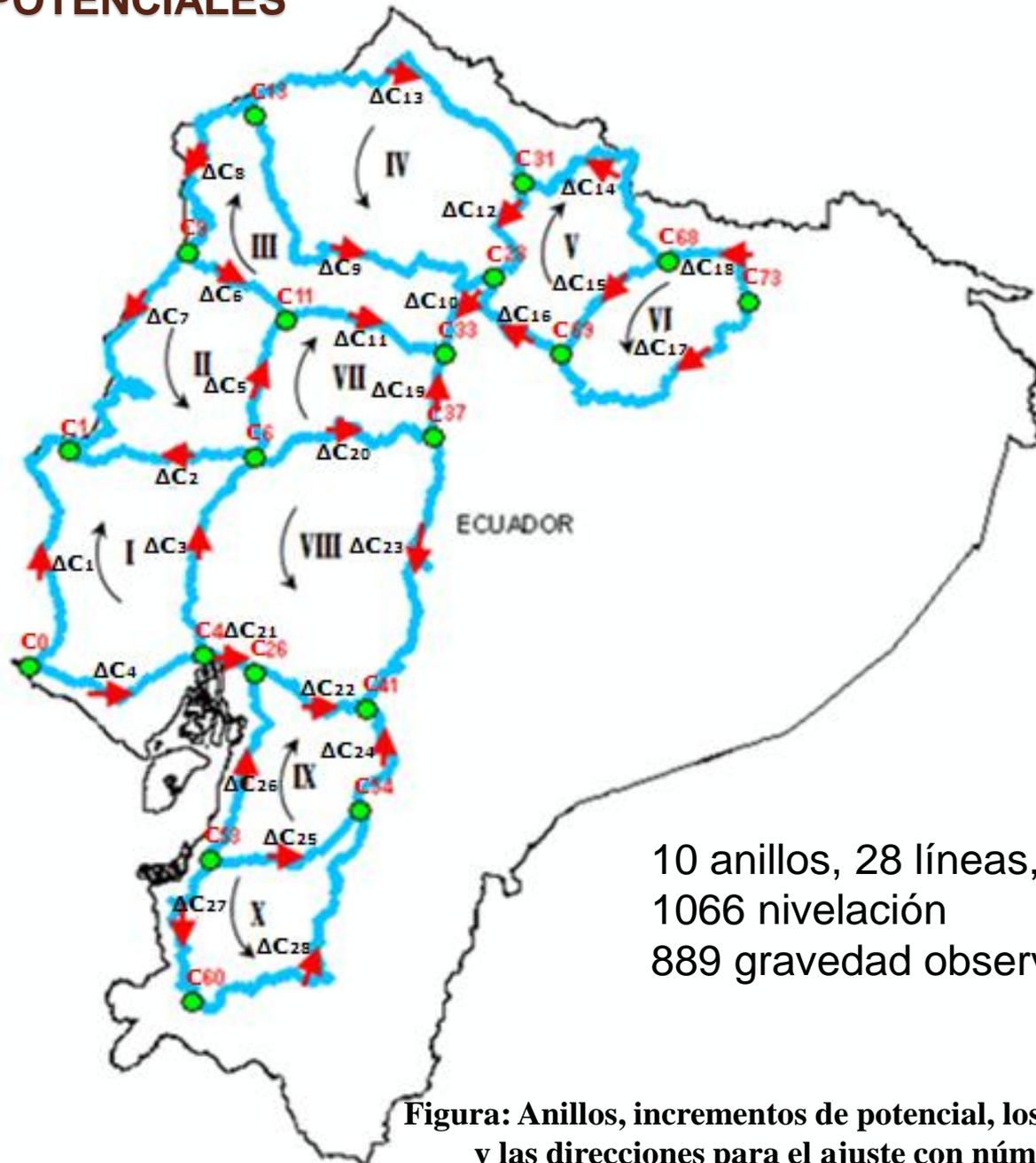
**Tabla 1: Errores de cierre de las diferencias de desnivel y las Diferencias de incrementos de potencial de los anillos seleccionados**

ANILLOS	NODOS	DESNIVEL $\Sigma dn$ (m)	DISTANCIA (km)	$\Sigma \Delta C$ (u.g.p.)
I	M-R INOCAR (BM3)			
	M-M-B-65	95,1282	220,21	93,0413
	MOJON EMPALME	-27,8983	173,1100	-27,3075
	XIV-L7-1A	-63,1130	154,0200	-61,7280
	M-R INOCAR (BM3)	-4,0725	136,15	-3,9862
	$\Sigma$	<b>0,0443</b>	<b>683,49</b>	<b>0,0196</b>
	II	M-M-B-65		
MOJON EMPALME		-27,8983	173,1100	-27,3075
VII-L1-21		176,5091	123,32	172,6253
P-E-4		-220,7879	91,4500	-215,9415
M-M-B-65		72,2653	262,6500	70,6792
$\Sigma$		<b>0,0882</b>	<b>650,53</b>	<b>0,0555</b>

# METODO DE MINIMOS CUADRADOS (CORRELATOS)

- 1  $\longrightarrow F(L_a) = 0$
- 2  $\longrightarrow BV + W = 0$
- 3  $\longrightarrow B = \left. \frac{\partial F}{\partial L_a} \right|_{L_b}$
- 4  $\longrightarrow V = P^{-1} B^T K$
- 5  $\longrightarrow W = F(L_b)$
- 6  $\longrightarrow K = -(BP^{-1}B^T)^{-1}W$
- 7  $\longrightarrow P = \frac{1}{K_k}$
- 8  $\longrightarrow L_a = L_b + V$
- 9  $\longrightarrow \sum L_a = \sum L_b [I - B^T M^{-1} B P^{-1}]$
- 10  $\longrightarrow \hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{s_l}$

# AJUSTE DE LA RED DE C.B.V. EN FUNCIÓN DE NÚMEROS GEOPOTENCIALES



10 anillos, 28 líneas, 19 nodos,  
1066 nivelación  
889 gravedad observada

Figura: Anillos, incrementos de potencial, los números geopotenciales y las direcciones para el ajuste con números geopotenciales.

# AJUSTE CON NÚMEROS GEOPOTENCIALES

$\Sigma \Delta C$ (kgal·cm)	DISTANCIA (Km)	ANILLOS	W(kgal·cm)
9304,1293	220,21	I	1,957
2730,7547	173,11	II	5,549
6172,7953	154,02	III	8,640
398,6223	136,15	IV	20,264
17262,5334	123,32	V	-13,722
21594,1525	91,45	VI	-4,479
7067,9228	262,65	VII	-11,355
938,5626	185,39	VIII	-16,113
246074,4985	328,50	IX	17,026
26579,5996	90,04	X	38,221
250112,7426	138,71		
93188,8740	109,64		
152865,3602	280,03		
113417,7444	249,33		
136596,1766	120,15		
69996,7196	105,88		
150427,4014	244,63		
13826,7456	86,19		
3878,0633	58,30		
263508,5679	200,87		
796,8635	41,32		
273326,8642	118,19		
4458,4780	277,47		
17287,9257	140,23		
256505,9264	141,38		
484,0142	118,19		
199873,1748	157,97		
56670,9727	373,04		

$$r_c = n_1 - u$$

$$r_c = 28 - 18 = 10$$

$$K = -(BP^{-1}B^T)^{-1}W$$

$$W = F(L_b) \quad P = \frac{1}{K_k}$$

$$L_\alpha = L_b + V \quad V = P^{-1}B^TK$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{s_l} \quad \hat{\sigma}_0^2 = 0,408510969$$

$$\sum L_\alpha = \sum L_b [I - B^T M^{-1} B P^{-1}]$$

- |                                                                                      |                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1. $\Delta C_1 - \Delta C_2 - \Delta C_3 - \Delta C_4 = 0$                           | ; 9303,209 - 2733,612 - 6170,406 - 399,191 = 0,00                   |
| 2. $-\Delta C_2 + \Delta C_3 - \Delta C_6 + \Delta C_7 = 0$                          | ; -2733,612 + 17263,410 - 21594,484 + 7064,686 = 0,00               |
| 3. $-\Delta C_3 + \Delta C_9 + \Delta C_{10} - \Delta C_{11} - \Delta C_8 = 0$       | ; -936,949 + 246065,279 + 26580,383 - 250114,230 - 21594,484 = 0,00 |
| 4. $\Delta C_9 - \Delta C_{12} - \Delta C_{13} = 0$                                  | ; 246065,279 - 93189,622 - 152875,657 = 0,00                        |
| 5. $-\Delta C_{14} + \Delta C_{15} + \Delta C_{18} - \Delta C_{12} = 0$              | ; -113410,278 + 136600,010 + 69999,890 - 93189,622 = 0,00           |
| 6. $\Delta C_{15} - \Delta C_{17} + \Delta C_{18} = 0$                               | ; 136600,010 - 150426,923 + 13826,914 = 0,00                        |
| 7. $\Delta C_3 + \Delta C_{11} - \Delta C_{19} - \Delta C_{20} = 0$                  | ; 17263,410 + 250114,230 - 3876,931 - 263500,709 = 0,00             |
| 8. $-\Delta C_{20} - \Delta C_3 + \Delta C_{21} + \Delta C_{22} - \Delta C_{23} = 0$ | ; -263500,709 - 6170,406 + 797,677 + 273326,452 - 4453,014 = 0,00   |
| 9. $-\Delta C_{22} - \Delta C_{24} - \Delta C_{25} + \Delta C_{26} = 0$              | ; 273326,452 - 17291,176 - 256516,551 + 481,275 = 0,00              |
| 10. $-\Delta C_{25} + \Delta C_{27} + \Delta C_{28} = 0$                             | ; -256516,551 + 199864,965 + 56651,586 = 0,00                       |

# PRUEBA DE HIPOTESIS CHI-CUADRADO

$$H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$$

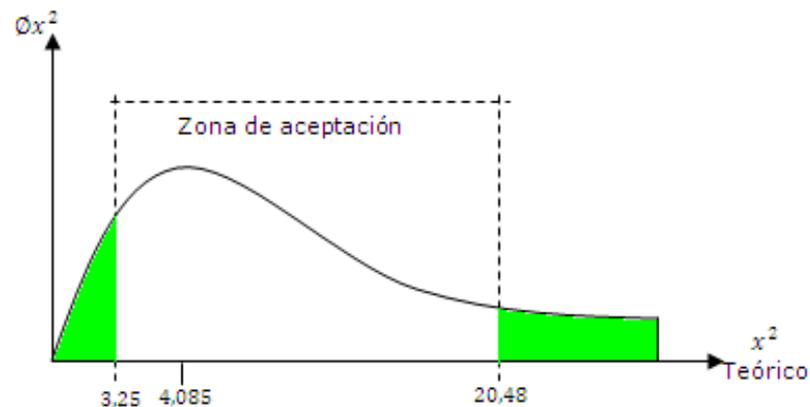
$$H_a: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$$

$$\chi^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \cdot v$$

$$\chi^2_{v, \frac{\alpha}{2}} < \chi^2 < \chi^2_{v, 1 - \frac{\alpha}{2}}$$

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025 \quad y \quad 1 - \frac{\alpha}{2} = 0.975$$

$$\chi^2_{10, 0.025} = 3,25 \quad y \quad \chi^2_{10, 0.975} = 20,48$$

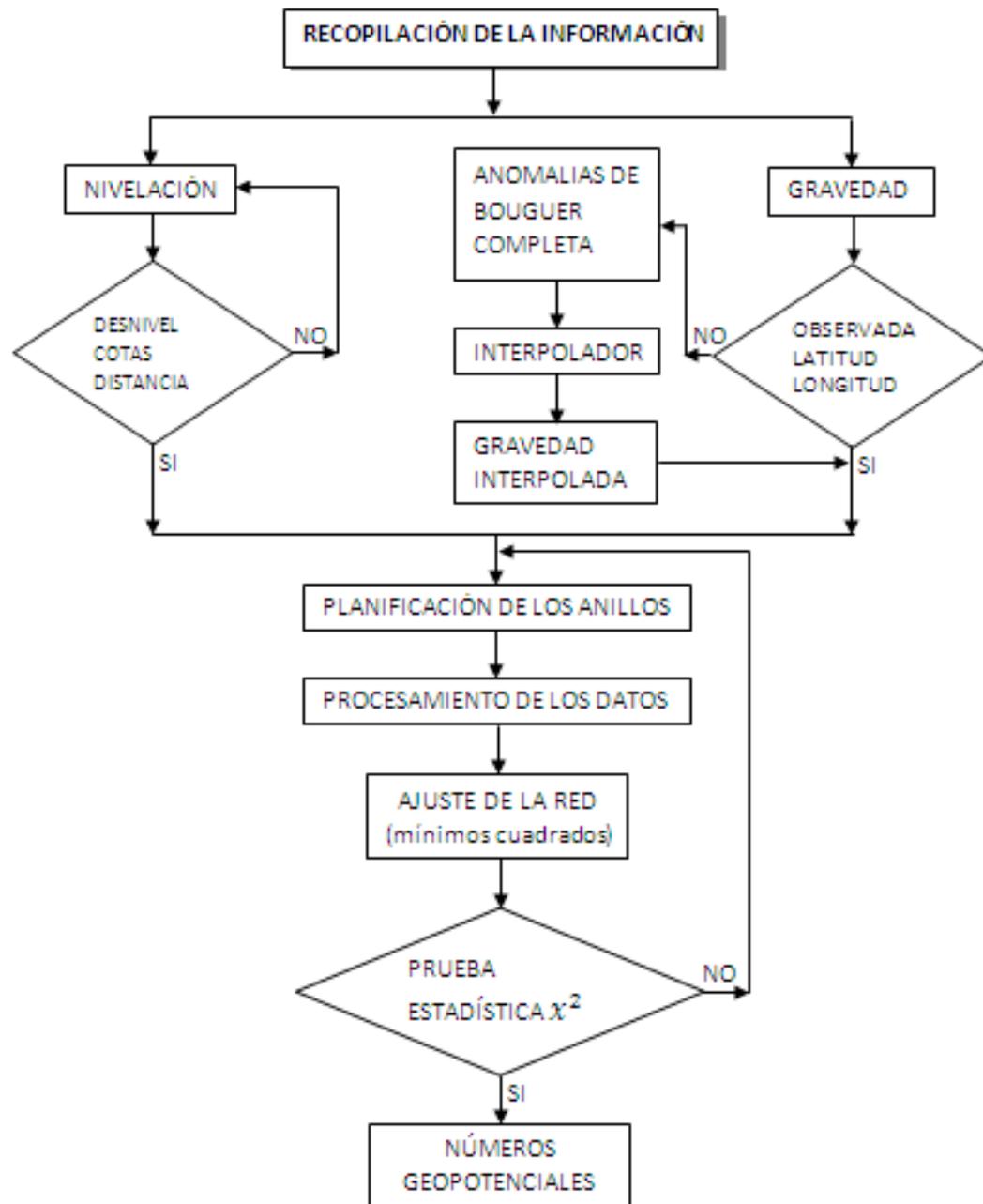


En la Tabla, se puede observar los valores de número geopotencial con sus respectivas precisiones, en cada uno de los nodos.

**Tabla: Valores de Número geopotencial en los nodos**

<b>Nº GEOPOTENCIAL (u.g.p)</b>	<b><math>\sigma =</math> u.g.p.</b>	<b>NODO</b>
2,362104	0,0751	<b>C0</b>
95,394194	0,0635	<b>C1</b>
68,058076	0,0628	<b>C6</b>
6,354016	0,0654	<b>C4</b>
240,692172	0,0559	<b>C11</b>
24,747337	0,0529	<b>C9</b>
15,377850	0,0742	<b>C13</b>
2476,030641	0,0725	<b>C28</b>
2741,834475	0,0712	<b>C33</b>
1544,13442	0,0560	<b>C31</b>
410,031643	0,0578	<b>C68</b>
1776,031738	0,0550	<b>C69</b>
271,762503	0,0736	<b>C73</b>
2703,06517	0,0548	<b>C37</b>
14,330789	0,0589	<b>C26</b>
2747,59531	0,0652	<b>C41</b>
2574,68355	0,0451	<b>C54</b>
9,518041	0,0620	<b>C53</b>
2008,167692	0,0397	<b>C60</b>

# METODOLOGIA PARA EL CÁLCULO DE LOS NÚMEROS GEOPOTENCIALES



# CONCLUSIONES

1.-El ajuste de la Red de Nivelación de primer orden en función de Números Geopotenciales por el método correlativo, de acuerdo a la prueba estadística de Chi-cuadrado fue aceptada a un nivel de confianza del 95%.

2.-Hay que considerar que los valores interpolados, en el estudio con valores conocidos van en un rango de -9mgal a 15mgal, por lo que hay que analizar otro interpolador que de mejores resultados.



3.- En la tolerancia con números geopotenciales, es recomendable de 4 a 5 saltos de puntos de nivelación, esto quiere decir hasta 10km máximo de distancia, teniendo siempre en cuenta que las distancias de punto a punto no pasen los 2km, esto puede ser en la costa como en la sierra.

4.- En este trabajo se ha utilizado 889 puntos de gravedad observada, que da un 83.39% y 177 puntos de gravedad interpolada, lo cual da un 16.60%.

5.- Los problemas encontrados en las líneas, 6, 8, 19, 23, 24, 31, 35, 37, 40, 43, 58, 60, pueden ser por, puntos desplazados, nominativos cambiados, mal tipeo, no concuerdan coordenadas, no se sabe si es A o B ó no existe gravedad.



**GRACIAS**