

# *Trabajos altimétricos en la caldera del Teide*

Miguel J. SEVILLA, José Luis VALBUENA,  
Guadalupe RODRÍGUEZ DÍAZ y María Dolores VARA  
Instituto de Astronomía y Geodesia (UCM-CSIC)  
Facultad de Ciencias Matemáticas. Universidad Complutense

## **RESUMEN**

En la Caldera del Teide se han realizado últimamente dos campañas de nivelación trigonométrica de precisión con objeto de determinar posibles deformaciones verticales en la zona. Los instrumentos y métodos utilizados en las observaciones de la red en 1994 y 1995, los cálculos realizados y los resultados obtenidos se presentan en este artículo.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El Instituto de Astronomía y Geodesia (IAG), Centro Mixto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universidad Complutense de Madrid (UCM), viene realizando desde 1982 trabajos geodésicos en la Caldera del volcán Teide, en la isla de Tenerife, encaminados al estudio de posibles deformaciones de la corteza en la zona. Estos trabajos están documentados en: Sevilla y Martín (1986); Sevilla et al., (1986); Sevilla y Romero (1988); Vieira et al, (1989); Sevilla et al., (1996). Ahora estamos interesados en deformaciones verticales, por lo que es fundamental describir las nivelaciones efectuadas.

Los métodos altimétricos pueden dividirse en clásicos y espaciales. Los métodos altimétricos clásicos se clasifican en tres técnicas que, según su precisión decreciente, son: nivelación geométrica o por alturas, trigonométrica o por pendientes y barométrica.

La nivelación geométrica se caracteriza porque las visuales son siempre horizontales, empleándose en la observación equialtímetros (comúnmente denominados niveles). La diferencia entre las lecturas realizadas a dos miras verticales estacionadas sobre dos puntos permite conocer el desnivel entre ellos. Es el método que puede alcanzar más exactitud.

En la nivelación trigonométrica se mide con un teodolito la pendiente entre dos puntos y con alguno de los posibles métodos la distancia que los separa, calculándose el desnivel en función del ángulo y la distancia. Con metodologías muy elaboradas puede llegarse a precisiones casi tan altas como la geométrica.

La nivelación barométrica se realiza con barómetros, deduciéndose los desniveles por la relación que existe entre las variaciones de altitud y de presión atmosférica. Su precisión es baja.

De entre los métodos altimétricos espaciales aplicables en trabajos como éste sólo puede citarse el GPS. Aunque ofrece desniveles como diferencia de altitudes sobre el elipsoide, que pueden transformarse en ortométricas con el uso de ondulaciones del geoide, y su precisión absoluta es difícil que sea mejor de 1 cm, ofrece la ventaja de una rápida observación y un mantenimiento de los sistematismos, por lo que es aceptable su uso en control, siempre que las precisiones obtenibles satisfagan las necesidades planteadas.

En la red geodésica de 17 vértices (Sevilla y Martín, 1986), para el control de deformaciones en la caldera del Teide se ha realizado nivelación trigonométrica con teodolito y distanciómetro en las campañas de 1984 a 1988, al mismo tiempo que se efectuaba la observación angular y distanciométrica. Esta nivelación presentaba dos problemas para el estudio de deformaciones; en primer lugar no era suficientemente precisa para detectar subsidencias del orden de 0,5 cm, y en segundo, y más importante, estaba constreñida a sólo los 17 puntos de la red y quedaban muchas zonas de interés sin nivelar, sin embargo los resultados obtenidos pueden calificarse de buenos (Sevilla y Romero, 1991).

En 1988 se diseñó y construyó otra red de 52 puntos específica para nivelación a lo largo de dos itinerarios que cubren la mayor parte de la zona de estudio y que permitiría el enlace con la red geodésica si fuera necesario. En los años 1994 y 1995 se han efectuado sendas campañas de observación altimétrica, dentro del proyecto de la Unión Europea nº EV5V-CT93-0283. (Sevilla et al., 1995). En lo que sigue se describen las últimas campañas de control puramente altimétrico realizadas, la metodología e instrumentación empleadas y los resultados obtenidos.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE NIVELACIÓN

La red de nivelación de la caldera del Teide construida en 1988/89 consta de 52 vértices perfectamente señalizados con bases de hormigón y clavos estándar distribuidos a lo largo de dos anillos en los que estaba previsto hacer observaciones gravimétricas y altimétricas. La primera vez que se realizaron observaciones altimétricas en esta red fue en la campaña de 1994 y la segunda en 1995. En las Figuras 1 y 2 se muestran los croquis de los itinerarios realizados, en los que se puede apreciar la configuración de los anillos.

### 2.1. Anillo principal

Tiene 10.690 metros de longitud, repartidos en tres partes fundamentales:

- 3.780 metros por la carretera autonómica de 2º orden nº 821: desde el punto 1 (PK 42,970) hasta el punto 9 (PK 46,750), en orden creciente y consecutivo.
- 2.310 metros por la pista forestal de Las Cañadas: desde el punto 9 hasta el 21, en orden creciente y consecutivo. Los puntos 16 y 21 han desaparecido, por lo que el final de este tramo se considera en el punto 22, ya en la pista de El Sanatorio.
- 4.600 metros por la pista de El Sanatorio: comienza en el punto 22, continúa desde el punto 51 hasta el punto 40, en orden decreciente y consecutivo, y termina en el punto 1.

### 2.2. Llano de Ucanca

El itinerario tiene dos partes fundamentales:

- Por la carretera autonómica de 2º orden nº 821: comienza en el punto 9 (PK 46,750) y continúa desde el punto 23 hasta el punto 29 (PK 50,050), en orden creciente y consecutivo.
- En el llano de Ucanca, bordeando el mar de lavas: comienza en el punto 29 y continúa desde el punto 30 hasta el punto 38, en orden creciente y consecutivo.

El itinerario de este anillo a partir del punto 38 admite varias opciones. El punto 38 está cerca del mirador, donde está el punto 26, en el que podría cerrarse el anillo, pero entonces este anillo quedaría unido al principal por un tramo simple. Alternativamente, desde el punto 8, usando el punto auxiliar Roque, pueden hacerse varios cierres con buena configuración, enlazando perfectamente ambos anillos, con el lado 8-9 común.

### **3. METODOLOGÍA**

En el trabajo realizado se han empleado dos técnicas altimétricas diferentes: nivelación geométrica, o por alturas, y nivelación trigonométrica, o por pendientes.

Para la realización de muchos trabajos altimétricos puede ser innecesariamente caro y largo intentar obtener una precisión en los desniveles del orden de  $1,5 \text{ mm } \sqrt{K}$ , (siendo  $K$  la longitud del itinerario expresada en km.), que es la obtenida por medio de la Nivelación geométrica de Alta Precisión, comúnmente conocida como «NAP» (equialtimetro muy preciso, retículo de cuña, micrómetro, miras invar con puntales y placa, metodología de observación muy estricta, señalización especial, etc.).

Además la NAP siempre ha presentado lógicas dificultades en su aplicación, como el riesgo de nivelar por carreteras sin arcenes y con tráfico, o medir en terrenos de suelo no demasiado firme, como caminos o campo través, o tramos con fuertes pendientes que obligan a múltiples niveladas muy cortas, por no mencionar el personal, razonablemente especializado, que es necesario o las cortas ventanas de observación. Genéricamente, el problema se aumenta considerablemente cuando el relieve es accidentado y de difícil acceso, mencionando finalmente la imposibilidad de trabajar si hace viento.

Por estos motivos, en la observación de la red de control altimétrico de la Caldera del Teide, se planteó por el Instituto de Astronomía y Geodesia la conveniencia de realizar un trabajo de Nivelación Trigonométrica de Precisión (NTP).

Esta solución supone una obvia disminución de la máxima precisión obtenible usando la NAP, disminución aceptable para los fines que debe cumplir, ofreciendo a cambio un notable aumento en la rapidez y comodidad de ejecución del trabajo. Representa una opción razonable en este caso, máxime teniendo en cuenta que su error kilométrico es menor que con nivelación topográfica normal usando miras de dobles milímetros y nivel sin micrómetro.

#### **3.1. Nivelación trigonométrica de precisión**

Las técnicas de NTP que el IAG ha adoptado, han sido desarrolladas tras muchos años de experiencias, ofreciendo resultados muy superiores a los habitualmente obtenidos, como puede apreciarse en los resultados de estos trabajos.

Las observaciones fueron siempre diurnas. En la campaña veraniega de 1994 se interrumpían las observaciones durante las horas centrales del día

mientras las turbulencias térmicas impedían punterías satisfactorias, no ocurriendo esto en la inveral de 1995, observándose ininterrumpidamente.

Para cada nivelada, ambos operadores deben estacionar sus teodolitos cerca del clavo de nivelación, a distancia superior a la mínima de enfoque y que permita apreciar fracciones de milímetro en la escala de la mira. Con el teodolito ajustado en lecturas cenitales de  $100^g$  y  $300^g$ , se miden las alturas de instrumento con precisión submilimétrica mediante las miras ligeras estacionadas en los clavos, bien verticalizadas con su nivel esférico.

En los objetivos de cada teodolito se coloca una placa especial de puntería que presenta hacia el otro un blanco favorable para puntería cenital, visándose uno a otro.

Durante una puntería recíproca entre teodolitos, ambos blancos deberían idealmente verse proyectados a la altura del eje de muñones del respectivo teodolito, pero no es necesario el exacto cumplimiento de esta condición porque cualquier error en su posición se compensa perfectamente al invertir ambos instrumentos su posición.

Hay dos tipos de placas, funcionalmente idénticas, diferenciándose sólo en sus dimensiones que son adecuadas para largas o cortas distancias. Ambas poseen un nivel transversal para que su montaje sea siempre el mismo.

Tras colocar las placas de puntería elegidas, ambos operadores han de realizar simultáneamente en sus teodolitos dos bloques de lecturas de ángulos cenitales, separadas por la medición de la distancia geométrica, realizada con el distanciómetro electrónico.

Cada bloque consta de dos series. En cada una se lee el ángulo cenital en posición directa (CD) e inversa (CI). "In situ" se han de corregir las observaciones del error de colimación vertical, obteniendo para cada bloque dos cenitales medios, uno por serie.

La tolerancia angular entre las dos series de un mismo bloque está establecida por múltiples experiencias anteriores en  $10''$ ; de no cumplirse, ambos operadores, de forma simultánea, deberían repetir las series del bloque hasta cumplir la tolerancia.

Si ambos cenitales eran aceptados, cada operador procedía a realizar la media aritmética obteniendo así un valor de cenital medio para cada bloque, que era posteriormente empleado en el primer cálculo expedito del desnivel.

En total, la pendiente entre dos estaciones se establece mediante 16 medidas de ángulo cenital.

Si había intervisibilidad entre cada dos clavos, el desnivel del tramo se establecía con una nivelada; en caso contrario con dos (una estación en tránsito). Sólo en el Llano de Ucanca fue necesario emplear más de dos niveladas en el tramo Roque-V16.

### 3.2. Nivelación geométrica

Se ha empleado nivelación geométrica en los tramos en los que el trazado era llano y tortuoso, con vegetación o encajonado, cuando la visibilidad quedaba reducida a distancias cortas. En estas condiciones la NTP no es aplicable con ventaja.

La nivelación geométrica, absolutamente clásica, se ha hecho sobre mira vertical, provista de nivel esférico, usando un equaltímetro previamente verificado y corregido.

Se ha respetado la equidistancia entre instrumento y miras para la compensación de errores instrumentales, de refracción y de esfericidad terrestre.

Siempre se ha realizado doble línea, esto es, ida y vuelta.

## 4. INSTRUMENTACIÓN

Se han utilizado dos teodolitos, un electrodistanciómetro (EDM) y un equaltímetro, con su equipo accesorio, así como diverso material auxiliar.

### 4.1. Teodolitos

Se han empleado dos WILD T2 en la nivelación trigonométrica de precisión (NTP).

Este teodolito ofrece en sus características una desviación típica en medidas angulares de  $\pm 2,5''$  (0,8").

Los teodolitos fueron previamente verificados y corregidos en su caso.

### 4.2. Electrodistanciómetros

Se ha usado dos:

- Un KERN MEKOMETER ME-5000, de portadora láser He-Ne con alcance de 8 km y precisión de  $\pm(0,2 \text{ mm} + 0,2 \text{ ppm})$ .
- Un SOKKISHA RED MINI-2, de portadora láser infrarroja con alcance de 600 m y precisión de  $\pm(5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ .

#### 4.2.1. ME-5000

El ME-5000 se empleó excepcionalmente en la campaña de 1994 para la radiación desde Roque a los puntos del llano de Ucanca, todos a más de 1 km,

dada la imposibilidad de hacerlo con el RED MINI-2 por falta de alcance. Durante la campaña de 1994, el ME-5000 estaba en zona al realizarse simultáneamente las observaciones de las redes planimétrica y altimétrica.

La verificación de este EDM estaba hecha para su aplicación en la observación de la microrred planimétrica, por lo que era más rigurosa de lo necesario para su aplicación a la NTP. La constante del equipo se estableció previamente en la base lineal multipunto de la Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos en Topografía de la Universidad Politécnica de Madrid, y la escala por comparación con el máser de Hidrógeno del laboratorio de metrología del Madrid Deep Space Communications Complex, INTA-NASA-JPL (Estación Espacial de Robledo de Chavela, Madrid), con precisión de  $10^{-14}$  en corto período y  $10^{-12}$  en largo período.

#### 4.2.2. RED MINI-2

Para el resto de las observaciones de la campaña de 1994 y la totalidad de las de 1995 se utilizó el RED MINI-2, dado su cómodo manejo. Su reducido alcance es perfectamente adecuado para la NTP. Se acoplaba sobrepuesto a la alidada de uno de los dos teodolitos WILD T2. Su equipo auxiliar consistió en el prisma retrorreflector, acoplable sobre el adecuado equipo de poligonación, así como un termómetro digital y un barómetro aneroide para establecer las correcciones meteorológicas.

La constante de equipo se estableció previamente en la misma base lineal multipunto usada para el ME-5000. La escala se verificó por comparación con distancias patrón medidas con el ME-5000.

El termómetro y el barómetro fueron comparados con los equipos meteorológicos de alta precisión que el IAG emplea con el ME-5000 y que verifica periódicamente.

### 4.3. Equialtímetro

Se ha utilizado el nivel ZEISS 025, automático, plenamente adecuado para la realización de la nivelación geométrica.

Este nivel ofrece un error kilométrico de  $\pm 2,5$  mm.

### 4.4. Equipo accesorio

Además de un vehículo, se usaron:

- Una mira telescópica, metálica, de 4 m., con divisiones de dobles milímetros, empleada en la nivelación geométrica.





## 5. OBSERVACIONES REALIZADAS

Todo el anillo principal se ha observado en ambas campañas con NTP, menos los ejes 22-51, 51-50, 50-49, 49-48, 48-47, 47-46, 43-42 y 42-41, que se han observado con nivelación geométrica topográfica. En la campaña 1995 además se enlazó el punto 3 con el vértice V3 y el punto 47 con el vértice V10 de la red planimétrica. (figuras 1 y 2)

En el Llano de Ucanca, durante la campaña de 1994, por carencia de tiempo, sólo se hicieron radiaciones con NTP desde el punto auxiliar Roque a los puntos 26, 28, 29, 31 y 33, así como al vértice 16 de la red planimétrica. En la campaña 1995 se han realizado las siguientes observaciones:

### Croquis de la red altimétrica. TEIDE 95

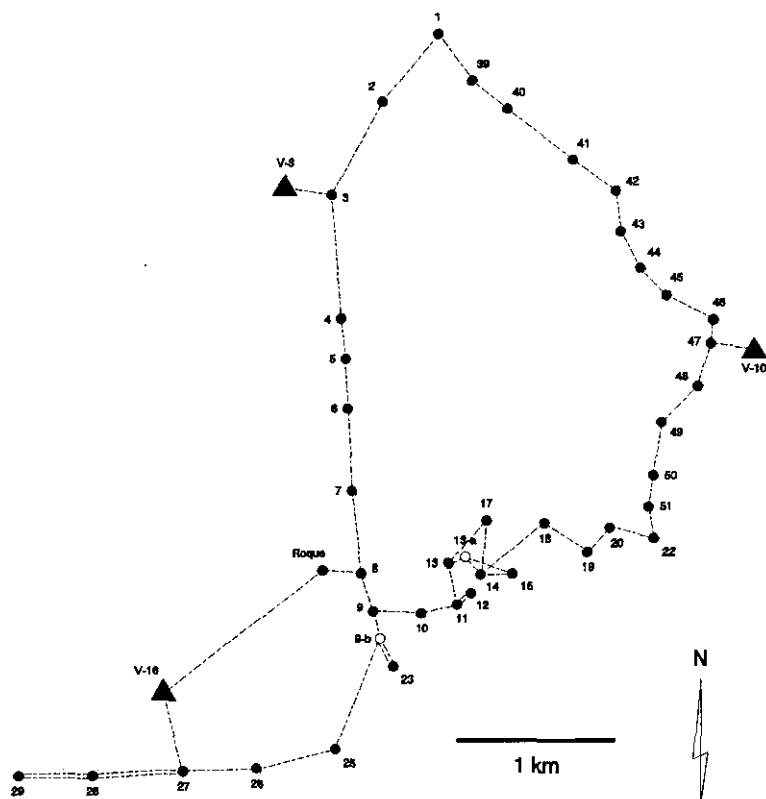


Figura 2. Croquis de la red altimétrica, TEIDE 95.

- Se hizo la línea 8 - Roque - V16 - 27 - 26 - 25 - 9b - 9. Forma anillo si se incluye el lado 8 - 9, perteneciente al anillo principal.
- Desde el punto 9 se radió el 9b; desde el 9b se hizo doble radiación con NTP del 23.
- Se hizo la doble línea de NTP: 27 - 28 - 29.

El equipo humano que realizó las observaciones estuvo compuesto por las siguientes personas.

- Campaña 94: José Luis Valbuena Durán, Ingeniero Técnico en Topografía, Especialista en Instrumentación Geodésica, perteneciente al IAG, y María Guadalupe Rodríguez Díaz, Licenciada en Ciencias Matemáticas en la UCM. En algunos momentos se contó con la ayuda de personal del mismo proyecto asignado a los trabajos de trilateración geodésica o gravimetría.
- Campaña 95: los Ingenieros Técnicos en Topografía, José Luis Valbuena Durán y María Dolores Vara Jaén y Emilio Vélez Herranz, Licenciado en Ciencias Matemáticas en la UCM.

## 6. CÁLCULO

En campo se realizó un cálculo expedito para poder detectar errores, obteniendo desniveles provisionales que permitían comprobar la bondad de los cierrres. Posteriormente se realizó el cálculo definitivo.

Debido a que la metodología empleada garantiza la reciprocidad y simultaneidad de las observaciones cenitales, éstas no han de corregirse por refracción. Tampoco se han de corregir por desviación de la vertical, pues dicha corrección es despreciable en comparación con la precisión que se puede obtener con NTP.

Así, cada observación cenital, en primer lugar se corrigió por efecto de la diferencia de altura entre los instrumentos colocados en el punto estación y el punto visado, es decir, hay que reducir las observaciones al terreno para lo cual se utilizó la expresión (Sevilla y Romero, 1989):

$$z = z^o + \beta$$

siendo  $z$  la distancia cenital observada y  $\beta$  el ángulo tal que:

$$\text{sen} \beta = \frac{H_V - H_E}{d} \text{sen} z^o$$

siendo  $d$  la distancia medida corregida, y  $H_V$  y  $H_E$  las alturas del instrumento en el punto visado y punto estación respectivamente.

Una vez corregida cada una de las distancias cenitales, se calculó la corrección de eclímetro para cada par de lecturas y que viene dada por:

$$z_i = z_{cd} + \frac{360^\circ (z_{cd} + z_{ci})}{2}$$

A partir de estos valores se calculó el valor medio de las determinaciones de parejas de valores efectuadas:

$$z = \frac{1}{n_R} \sum_{i=1}^{n_R} z_i ; \quad n_R = 2, 3 \text{ ó } 4$$

Como resultado de este proceso se dispone de la distancia cenital  $z_{ij}$  para cada visual observada entre cada dos vértices de la red  $P_i$  y  $P_j$ .

En cuanto al tratamiento de las observaciones de distancias, éstas sólo se corrigen por la misma diferencia de alturas instrumentales ya que en el EDM se introdujo en cada observación la adecuada corrección en función de los parámetros meteorológicos locales. Otras correcciones residuales quedan por debajo de la precisión del método aplicado.

Para el cálculo de los desniveles se utilizó la expresión (Sevilla y Romero, 1989).

$$\Delta H_{ij} = d_{ij} \cos(z_{ij} - \frac{\theta}{2}) \sec(\frac{\theta}{2})$$

donde el ángulo  $\theta$  se calculó por la expresión:

$$\theta = \frac{L}{R}$$

siendo  $L$  la distancia sobre la cuerda del elipsoide que viene dada por:

$$L^2 = \frac{d_{12}^2 - \Delta H_{12}^2}{(1 + \frac{h_1}{R})(1 + \frac{h_2}{R})}$$

El cálculo del desnivel se hace por iteraciones, a partir de la tercera los resultados se estabilizan. Al estar en un entorno reducido se utilizó un radio medio terrestre de 6.371 km, tomándose como primer valor para  $L$  el de 500 m.

Para realizar la segunda iteración era necesario disponer de unos valores aproximados de las altitudes de los puntos estación y visado. Estas altitudes se obtuvieron haciendo una corrida de altitudes a partir del vértice V16 (Ucaña)

de la microrred geodésica, con altitud establecida para las campañas planimétricas, que estaba enlazado a la red de nivelación mediante una visual desde el punto auxiliar Roque y los desniveles obtenidos tras la primera iteración.

La ley de propagación de la varianza permite estimar la precisión de la diferencia de altitudes calculadas en función de las precisiones de las medidas de distancias cenitales mediante la expresión (Sevilla y Romero, 1989):

$$\sigma_{\Delta h}^2 = [\cos(z_{ij} - \frac{\theta}{2}) \sec \frac{\theta}{2}]^2 \sigma_d^2 + [d_{ij} \sin(z_{ij} - \frac{\theta}{2}) \sec \frac{\theta}{2}]^2 \sigma_z^2$$

donde  $\sigma_d^2$  y  $\sigma_z^2$  son las varianzas de la distancia y del ángulo cenital respectivamente, y que en virtud de la instrumentación utilizada fueron estimadas en:  $\sigma_d = 7 \text{ mm}$  y  $\sigma_z = 1.6''$

En los tramos en los que se aplicó nivelación geométrica, hubo que aplicar nivelación compuesta, aplicando en cada nivelada el método del punto medio,

$$\Delta H_{AE} = \Delta H_{AB} + \Delta H_{BC} + \Delta H_{CD} + \Delta H_{DE}$$

$$\Delta H_{AE} = (m_e' - m_f') + (m_e'' - m_f'') + \dots + (m_e^{IV} - m_f^{IV}) = \sum m_e - \sum m_f$$

es decir, que el desnivel total es el resultado de restar de la suma de todas las miras de espalda la de todas las miras de frente.

Los cálculos para establecer los correspondientes desniveles fueron realizados mediante el programa NIVTEIDE, realizado por María Guadalupe Rodríguez Díaz.

En el ANEXO I figuran los desniveles obtenidos en las dos campañas y sus diferencias. Salvo los tres primeros desniveles las diferencias se encuentran por debajo de la precisión del método para poder obtener conclusiones acerca de posibles deformaciones en la zona.

También debe mencionarse que en este trabajo, al estar realizado con técnicas clásicas, los desniveles hallados están referidos al geoide local, por lo que no pueden compararse con los elipsoidales, eventualmente obtenidos con futuras y posibles observaciones GPS (referidos a WGS84). Esto se hace constar por si en el futuro se empleara esta técnica o hubieran de relacionarse con ella los presentes resultados.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto EV5V-CT93-0283 de la Unión Europea. Agradecemos la colaboración de Emilio Vélez Herranz, que

participó en la campaña de 1995, a la Dirección de la Escuela de Ingeniería Técnica Topográfica de la Universidad Politécnica de Madrid, por la cesión de instrumental y al personal de Parque de Las Cañadas del Teide, por su amable cooperación.

## 8. REFERENCIAS

- SEVILLA, M. J. Y MARTÍN, M. D. (1986). Geodetic Network design for crustal deformations studies in the Caldera of Teide. *Tectonophysics*, Vol.130, 235-248. Amsterdam.
- SEVILLA, M. J., MARTÍN, M. D. Y CAMACHO, A. G. (1986). Data analysis and adjustment of the first geodetic survey in the caldera of Teide. Tenerife, Canary Island *Tectonophysics*, vol.130, 213-234. Amsterdam.
- SEVILLA, M. J., ROMERO, P. (1988). Preprocessing Geodetic Data of the Volcanic Area of Teide to Monitoring Deformations. 17th International Conference on Mathematical Geophysics. IUGG. Blanes.
- SEVILLA, M. J., ROMERO, P. (1989). Compensación de redes de nivelación trigonométrica. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Tomo LXXXIII-2. 145-165. Madrid.
- SEVILLA, M. J., ROMERO, P. (1991). Ground deformation control by statistical analysis of a geodetic network in the caldera of Teide. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol 47, 65-74. Amsterdam.
- SEVILLA, M. J., VALBUENA, J. L. Y DÍAZ, G. R. (1995). Nivelación trigonométrica de precisión en la red del Teide. VIII Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid 29 de mayo-1 de junio, 1995.
- SEVILLA, M. J., SOLER, E. G. Y SÁNCHEZ, F. J. (1996). "Observación, análisis de datos y compensación de la sexta campaña de distanciometría en la Caldera del Teide". *Topografía y Cartografía*, vol. XIII, N.º 72, 2-15. Madrid.
- VIEIRA, R Y SEVILLA, M. J. (1989). "Red Geodésica de la Caldera de las Cañadas". (Los Volcanes y la Caldera del Parque Nacional del Teide. pp. 423-426). V. Araña y J. Coello. ISBN 84-85496-38-83. 302 páginas. ICONA. (MAPYA). Madrid.

## ANEXO I

## DESNIVELES ANILLO PRINCIPAL

| PE       | PF | Desnivel<br>94 | EMC<br>94 | Desnivel<br>95 | EMC<br>95 | h (mm) | EMC    |
|----------|----|----------------|-----------|----------------|-----------|--------|--------|
| 1        | 2  | -19.1812       | 6.174     | -19.1577       | 6.094     | 23.5   | 8.675  |
| 2        | 3  | -48.2753       | 5.023     | -48.2340       | 4.771     | 41.7   | 6.928  |
| 3        | 4  | -38.4606       | 7.252     | -38.4200       | 7.561     | 40.6   | 10.477 |
| 4        | 5  | -12.8057       | 4.359     | -12.8176       | 4.310     | -12.0  | 6.130  |
| 5        | 6  | -10.0728       | 3.292     | -10.0853       | 3.332     | -12.5  | 4.684  |
| 6        | 7  | -16.5150       | 6.746     | -16.5027       | 6.688     | 12.3   | 9.499  |
| 7        | 8  | -9.0335        | 3.003     | -9.0283        | 3.071     | 5.2    | 4.295  |
| 8        | 9  | -20.0194       | 3.457     | -20.0215       | 3.389     | -2.1   | 4.841  |
| 9        | 10 | -0.0048        | 3.689     | 0.0010         | 3.751     | 5.8    | 5.261  |
| 10       | 11 | 14.3215        | 2.584     | 14.3214        | 2.867     | -0.1   | 3.860  |
| 11       | 12 | 4.1856         | 1.419     | 4.1846         | 1.359     | -1.0   | 1.965  |
| 12       | 13 | 17.8440        | 2.045     | 17.8583        | 2.983     | 14.3   | 3.617  |
| 13       | 14 | 2.7500         | 1.694     | 2.7376         | 1.435     | -12.3  | 2.220  |
| 14       | 15 | 11.6240        | 2.954     | 11.6245        | 2.851     | 0.5    | 4.105  |
| 15       | 17 | 34.3538        | 4.982     | 34.3578        | 4.871     | 4.0    | 6.968  |
| 17       | 18 | 0.6032         | 6.370     | +0.6191        | 6.265     | 15.9   | 8.935  |
| 18       | 19 | -6.2710        | 2.322     | -6.2715        | 2.367     | -0.5   | 3.316  |
| 19       | 20 | -11.9813       | 1.793     | -11.9956       | 1.934     | -14.3  | 2.637  |
| 20       | 22 | 15.4677        | 3.453     | 15.4629        | 3.408     | -4.8   | 4.852  |
| 22       | 51 | 7.641*         |           | 7.624*         |           | -17    |        |
| 51       | 50 | 1.934*         |           | 1.931*         |           | -3     |        |
| 50       | 49 | -0.948*        |           | -0.942*        |           | +6     |        |
| 49       | 48 | 2.616*         |           | 2.605*         |           | -11    |        |
| 48       | 47 | -2.418*        |           | -2.412*        |           | +6     |        |
| 47       | 46 | -2.080*        |           | -2.0662        | 1.549     | 13.8   |        |
| 46       | 45 | -11.3718       | 3.543     | -11.3706       | 2.509     | 1.2    | 4.390  |
| 45       | 44 | 19.8311        | 4.909     | 19.8292        | 4.833     | -1.9   | 6.889  |
| 44       | 43 | 15.5740        | 2.167     | 15.5796        | 2.224     | 5.6    | 3.105  |
| 43       | 42 | 6.684*         |           | 6.686*         |           | +2     |        |
| 42       | 41 | 6.211*         |           | 6.203*         |           | -8     |        |
| 41       | 40 | 5.8290         | 5.730     | 5.8331         | 5.799     | 4.1    | 8.152  |
| 40       | 39 | 25.8428        | 4.752     | 25.8493        | 4.659     | 6.5    | 6.655  |
| 39       | 1  | 16.0381        | 4.233     | 16.0245        | 4.472     | -13.6  | 6.158  |
| CIERRES: |    |                | -8.790    |                | 7.000     |        | 6.000  |

Los desniveles con asterisco (\*) han sido establecidos mediante nivelación geométrica.