

TOPOGRAFÍA II (G4.0) – INGENIERÍA EN AGRIMENSURA

PROGRAMA ANALÍTICO ASIGNATURA TOPOGRAFÍA II (G4.0)

1. ALTIMETRÍA. Concepto de esfera, elipsoide, geoide. Métodos altimétricos. Superficies de nivel. Datums. Influencia de la curvatura terrestre y la refracción atmosférica. La Tierra como plano. Superficies equipotenciales. Desnivel aparente y verdadero. Correcciones. Cotas, altitudes y desniveles. Cota ortométrica y cota dinámica. Planos de comparación, local y absoluto. Puntos fijos, características físicas, clasificación, categorías. Punto altimétrico de referencia normal (PARN). Reseña sobre la red de nivelación general del país. Mareógrafos. Redes de nivelación: de alta precisión, de precisión y menores.

2. NIVELACION GEOMETRICA COMPUESTA DE PUNTOS. Nivelación simple. Método operatorio. Instrumental necesario. Transporte de cotas. Itinerario altimétrico por el método del punto medio. Itinerarios cerrados y de enlace entre puntos fijos. Causas de error en cada nivelada. Errores sistemáticos y accidentales. Errores de horizontalidad y de puntería. Error total para cada nivelada. Error medio kilométrico. Error de cierre en las nivelaciones cerradas y de enlace. Tolerancia. Compensación. Cálculo de la longitud máxima de nivelada. Planos, registros, densidad de puntos fijos, ubicación, monografías.

3. NIVELACION GEOMETRICA DE PERFILES Y DE SUPERFICIES. Nivelación geométrica de perfiles. Perfiles longitudinales y transversales, descripción, escalas, simbologías. Progresivas y ordenadas. Red de puntos fijos de apoyo. Cota de plano visual o de instrumento. Representación gráfica. Aplicaciones. Software disponible para graficar los perfiles. Métodos por radiación y por cuadrícula. Plano de puntos acotados. Densidad de puntos a levantar.

4. REPRESENTACIONES GRÁFICAS PLANIALTIMÉTRICAS. Líneas de nivel. Equidistancia. Planos de puntos acotados y Planos de curvas de nivel. Trazado de las curvas de nivel. Criterio para determinar la equidistancia. Interpolación manual, analítica, gráfica, y con Software. Interpretación de las formas, cuestas y laderas concavas y convexas. Salientes y entrantes. Divisoria y líneas salientes de cambio de pendiente y dirección. Vaguadas y líneas entrantes de cambio de pendiente y de dirección. Líneas de máxima pendiente. Formas compuestas. Condiciones que deben reunir las curvas de nivel. Software. Modelo digital del terreno (MDT). Aplicaciones de la curvas de nivel, cálculos de pendientes, trazado de pendientes constante, cota de un punto. Perfiles, secciones y cálculo de volúmenes de un plano con curvas de nivel. Proyecto de obras sobre un plano topográfico y su posterior replanteo en el terreno. Sistema de proyección cartográfica de Gauss - Krüger. Cálculo del volumen de almacenamiento de agua en represas o embalses a partir de curvas de nivel.

5. LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS. Reconocimiento de la zona a levantar. Redes básicas de apoyo de un levantamiento

topográfico. Método de intersección o triangulación. Base de arranque. Ampliación. Distintos métodos de ampliación de la base. Proyecto de una triangulación. Determinación trigonométrica de puntos complementarios, Poligonación y combinación de ambas. Densificación de la red básica mediante recursos de intersección directa, lateral e inversa. Problema de la carta (Pothénot), Hanseen y Marek. Trilateración topográfica. Intersección directa por observaciones distanciómetras. Monumentación y monografías de la red. Estación libre. Intersección inversa con ángulos y distancias. Medición paraláctica simple, en serie y por sucesivas ampliaciones. Propagación de errores. Equipos de centración forzosa. Aplicaciones. Planificación de mediciones indirectas de longitudes en función de precisiones preestablecidas. Alineación con teodolito y nivelación con niveles utilizando rayo Láser. Método de radiación, fundamento. Transporte de los puntos en forma gráfica o por coordenadas. Error lineal y angular. Error total. Limitación de la longitud de las visuales. Aplicaciones con distanciómetros.

6. LEVANTAMIENTOS HIDROGRÁFICOS. Definiciones. Incertidumbres. Clasificación de levantamientos. Posicionamiento. Profundidades. Rasgos. Batimetría. Métodos. Mediciones, ecosondas, sistemas de barrido, LIDAR Batimetrico. Atribucion de datos.

Errores. Red topográfica de apoyo horizontal y vertical. Línea de costa y línea de ribera.

7. LEVANTAMIENTOS SUBTERRÁNEOS. Redes externas. Transmisión al interior de las coordenadas y cotas de los puntos, y de los acimutes de las líneas. Distintas formas de acceso: pozo, galerías, túneles. Redes subterráneas. Alineadores láser y teodolitos giroscópicos. Brújulas. Altimetría. Instrumental para trabajos subterráneos.



BIBLIOGRAFÍA

CHUECA PAZOS, MANUEL; HERRÁEZ BOQUERA JOSÉ Y BERNÉ VALERO JOSÉ LUIS:
Tratado de Topografía 1- Redes Topográficas y Locales. Microgeodesia. Editorial Parainfo S.A.
o Dossat SA. Madrid.

CHUECA PAZOS, MANUEL; HERRÁEZ BOQUERA JOSÉ Y BERNÉ VALERO JOSÉ LUIS:.
Tratado de Topografía 2- Métodos Topográficos. Editorial Parainfo S.A. o Dossat SA. Madrid.

JORDAN, W.: Tratado general de topografía (Ed. Gilli).

DOMINGUEZ GARCIA TEJERO, FRANCISCO. Topografía general y aplicada. (Ed. Dossat.
Buenos Aires. 1984)

DAVIS, RAYMOND E. Tratado de topografía. (Aguilar. Madrid. 1971)

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

BRINKER, RUSSELL G. Topografía moderna. (Harla. México. 1982).

MINGO, OSCAR R. Errores en la medición paraláctica de distancias. (Centro de estudiantes de
ingeniería "La línea recta". Buenos Aires. 1969)

SZENTESE, A. Mediciones topográficas. (MOM. Budapest. S. f.)

Topografía I y Topografía A (Ed. Ctro. Estud. Ing. "La Línea Recta").

BALLESTEROS TENA, NABOR: Topografía. México : Limusa/Noriega, 1998

MELITÓN CARLOS: Apuntes de Topografía para estudiantes de Ingeniería Civil- CD. Vers. 01,
02. CD: Acrobat Reader (pdf) Versión 03

AGUILAR: Lecciones de geodesia (1ª parte) (Ed. Cooper. U.N.S)

ARGENTINA. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. El Instituto Geográfico Militar al servicio
del país Buenos Aires, 1968.

GASPARRELLI, LUIGI. Il geometra; guida pratica per il rilievo dei terreni. Milano, 1933.

JORDAN, V. Tablas taquimétricas Buenos Aires, 1943..

OLASCOAGA, MANUEL JOSE. Estudio topográfico de La Pampa y Rio Negro Buenos Aires,
1974.

MENDOZA COSTA, SERGIO H. Taquímetros autorreductores. Santiago de Chile, 1997.

MENDOZA COSTA, SERGIO H. Mantención, verificación y corrección de niveles y taquímetros
Santiago de Chile, 1977.

Sitios de Internet

<http://www.fio.unicen.edu.ar>.....-Facultad Ingenieria: Biblioteca-

<http://www.educ.ar/educar/superior/universidades..>-Otras Universidades-

<http://ign.gov.ar> -Instituto Geografico Nacional

<http://www.bibliotecacpa.org.ar> -Consejo Profesional de Agrimensura Prov.Bs.As.

TEMA 1 - ALTIMETRÍA

1. ALTIMETRÍA

Para representar la superficie del terreno, se sigue uno de los métodos de proyección que se indican en geometría descriptiva, llamado proyección topográfica o plano acotado, que como sabemos, consiste en representar los puntos de la superficie del terreno por medio de su proyección horizontal y por un número o **cota** que se pone al lado de cada punto para indicar la distancia a que se encuentra del plano de proyección. Todos los puntos que tienen la misma cota se unen por un trazo continuo y se tiene lo que se llaman **línea de nivel**.

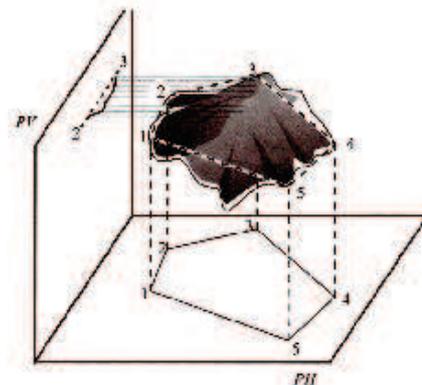
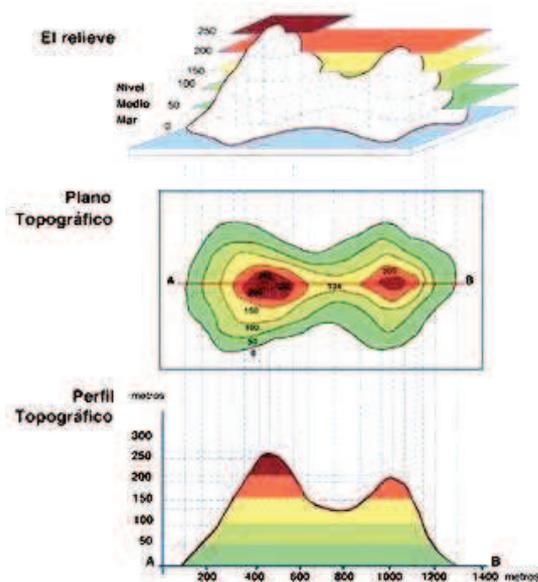
De lo que acabamos de exponer se deduce que para poder representar el terreno, es necesario dividir las operaciones topográficas en dos grupos:

- **Planimetría:** tiene por objeto determinar las posiciones que guardan entre sí, las proyecciones horizontales de los puntos más notables del terreno que se trata de representar a escala, es decir sobre una superficie plana, de todos los detalles interesantes del terreno prescindiendo del relieve.
- **Altimetría (nivelación):** tiene por objeto hallar la distancia (altura o cota) de cada punto al plano horizontal que se toma como plano de comparación o referencia, aplicando los métodos y procedimientos se consigue representar el relieve del terreno.

Las actividades principales de la topografía se realizan en **campana** (campo) donde se efectúan las mediciones con instrumentales y recopilaciones de datos suficientes y en **gabinete** para aplicar métodos y procedimientos para el cálculo y dibujo en un plano, una figura semejante al terreno que se desea representar. Estas operaciones se las denomina **levantamientos topográficos**.

2. CONCEPTO DE ESFERA, ELIPSOIDE, GEOIDE

La Tierra es un cuerpo aproximadamente esférico, de un cierto tamaño y de una cierta masa. Por lo tanto es natural considerar una primera aproximación a la Tierra como una esfera. Pero al ser más rigurosos, y especialmente al hacer un análisis de campo de gravedad terrestre o simplemente observando la



superficie oceánica, a la Tierra se la puede definir su forma como aquella correspondiente al Nivel Medio del Mar (N.M.M.) y su prolongación a través de los continentes. De manera más precisa, la forma de la Tierra es un **Geoide**, el cual corresponde a una superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que, para efectos prácticos, coincide con el "nivel medio del mar".

Si bien el geoide representa una buena aproximación a la forma real de la Tierra, su expresión matemática es bastante compleja de manejar. De esta manera, para efectos prácticos se ideó una figura matemática relativamente sencilla que se ajustara "lo mejor posible" al geoide. Así, la Tierra se modela a través de un **elipsoide de revolución**, el cual se ha constituido en la figura geodésica tradicional de nuestro planeta.

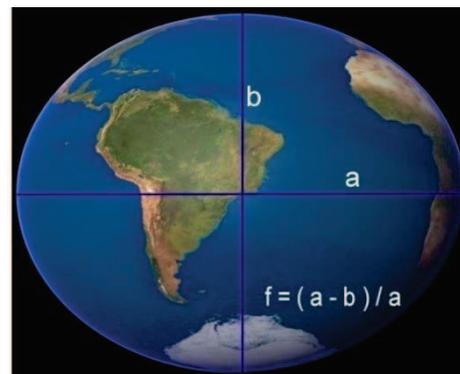
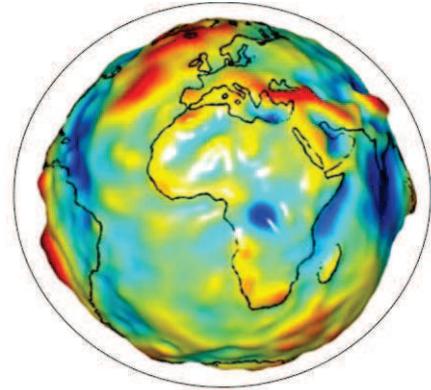
- Toda coordenada entregada por un receptor de posicionamiento satelital, se representa en su forma más directa de obtención; que es sobre un elipsoide, en la forma de Latitud, Longitud y altura al elipsoide

Luego, para fines de representación y mapeo, el hombre requiere desarrollar el elipsoide al plano; cuestión que requiere de traspasos matemáticos de mediana complejidad, ya que, la superficie de un elipsoide no es desarrollable al plano. Problema de pelar la naranja de tal manera que su cascara forme un plano). Acá, se presenta otro punto de vital importancia, que son los Sistemas de Proyección y que de ninguna manera se deberían confundir con los sistemas de referencia.

- **EL ELIPSOIDE DE REVOLUCION**

El tamaño y la forma del elipsoide de revolución se expresan a través de su semieje mayor "a" y su semieje menor "b" o, equivalentemente, por su semieje mayor y su achatamiento "f". Como ya se dijo, estas cantidades deben ser elegidas de manera tal que el elipsoide de revolución se ajuste lo más exactamente posible al geoide. Se representa una elipse con los parámetros a, b, /f.

Reiterando, el **Sistema de referencia global** es cuando el centro geométrico del elipsoide coincide con el geocentro y su semieje menor se orienta a lo largo de la línea de los polos geográficos Norte - Sur, el elipsoide se ajusta, en promedio, al geoide en todas partes del planeta.



Por las limitaciones propias de las técnicas de medición, para la geodesia clásica no fue posible establecer elipsoides globales, sino que solo se pudieron establecer elipsoides "regionales" o **Sistemas de referencia locales (topocéntricos)**. Estos eran elipsoides que se ajustaban al geoide razonablemente bien dentro de una cierta región, pero fuera de ella comenzaba a producirse un desajuste creciente.

Un ejemplo de ello, es el **sistema Campo Inchauspe 1969**, utilizado durante muchos años por nuestro país. Para este sistema se adoptó el Elipsoide Internacional de 1924.

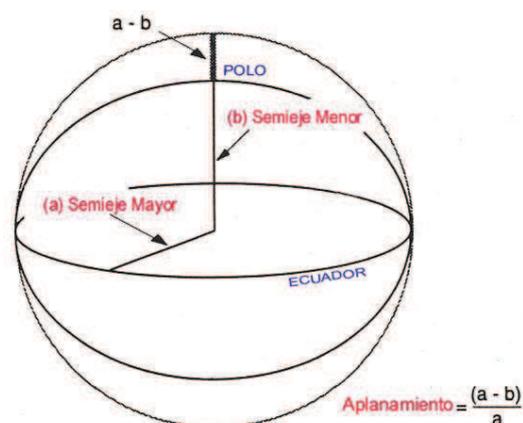
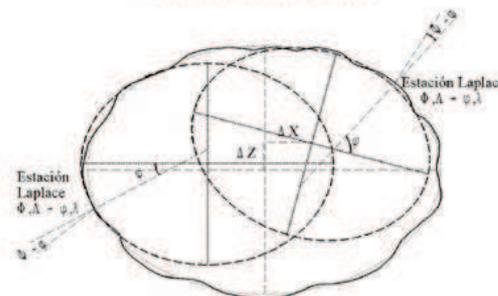
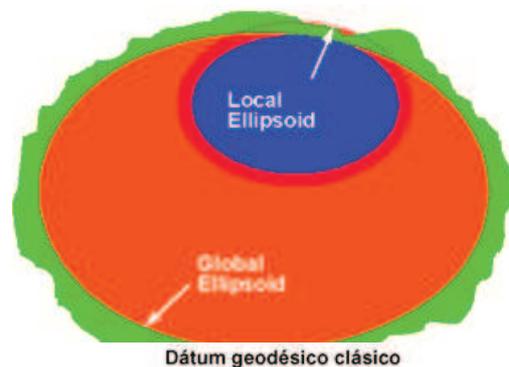
En la Asamblea General de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional (Madrid, año 1924), se recomendó la utilización del elipsoide de Hayford, cuyas dimensiones) son:

Semieje mayor: $a = 6.378.388 \text{ m}$

Semieje menor: $b = 6.356.912 \text{ m}$

Aplastamiento: $(a - b) / a = 1/297 \sim 1/300$

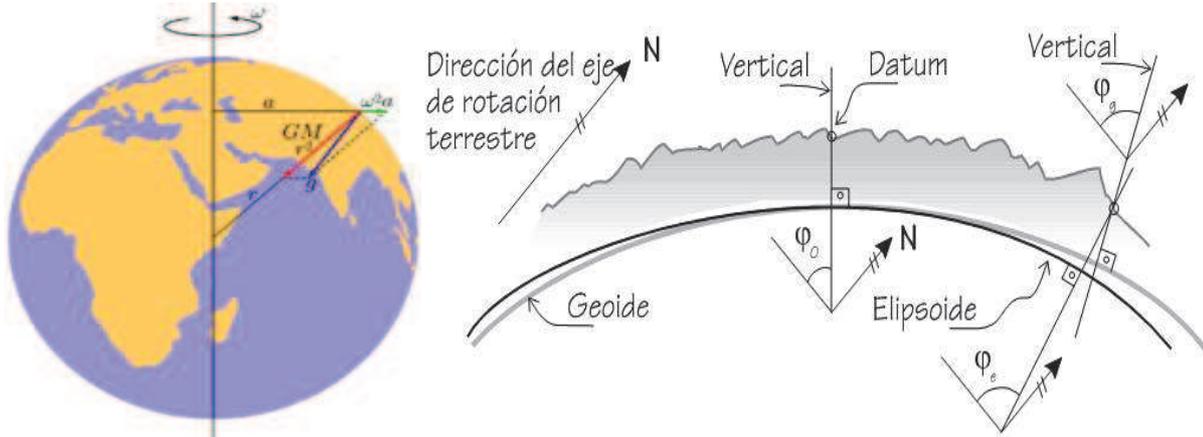
Dicho elipsoide fue posicionado y orientado de manera que resultara tangente al geoide en el paraje Campo Inchauspe ($\varphi \cong -36^\circ$, $\lambda \cong -62^\circ$). Hoy sabemos que el elipsoide elegido es unos 250 metros más grande y algo más achatado que el valor correcto; su centro geométrico está desplazado unos 220 metros respecto el geocentro y sus ejes están inclinados unos 0.3 segundos de arco respecto a los de la Tierra.



- La materialización de elipsoides globales solo fue posible a partir de la introducción de la geodesia satelitaria. Ejemplos de esta clase de elipsoides es el **WGS84 (World Geodetic System 1984)**, cuya precisión geocéntrica actual es del orden de 20 centímetros y cuyos ejes están alineados con errores imperceptibles. El marco de referencia POSGAR 94, adoptado por el IGM como marco de referencia oficial del país, materializa un elipsoide global muy cercano al WGS84, cuya precisión geocéntrica es del orden 1 metro.

- **Vertical del lugar que pasa por un punto:** En un punto próximo a la superficie real, existe una dirección bien definida en cada instante, que queda materializada por el hilo de la plomada y se denomina "vertical del lugar", "vertical verdadera" o simplemente "vertical". Es la dirección del movimiento relativo de ese punto material cuando se desplaza hacia la Tierra.

La vertical es el resultado de dos fuerzas: la atracción newtoniana de las masas y la acción centrípeta del movimiento absoluto de la Tierra, es decir dicha fuerza es la resultante del efecto del campo gravitatorio terrestre y de la fuerza centrífuga producida por la rotación de la Tierra. El primero tiene como origen la atracción que ejercen entre si las masas de las distintas partes que componen la Tierra y su "entorno", se la llama fuerza de la gravitación (GM/r^2) y en cada punto de la misma su resultante está dirigida aproximadamente hacia el centro de la Tierra. En cuanto a la fuerza centrífuga ($\omega^2 a$) es perpendicular al eje de rotación de la Tierra afectando a todas las masas que la componen, salvo las ubicadas sobre dicho eje.

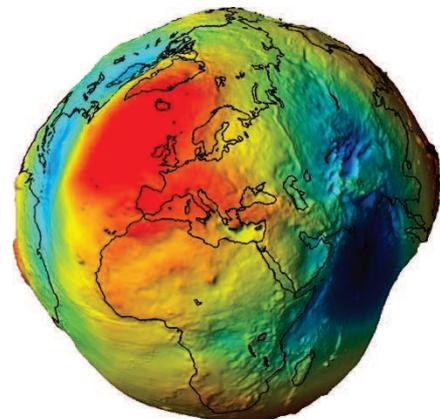


La expresión común de la dirección de la fuerza de gravedad es la del hilo de la plomada y se la denomina **vertical del lugar** y es la utilizada para proyectar puntualmente los puntos topográficos elegidos. Podemos resumir que la **Vertical que pasa por un punto** es la línea con dirección coincidente con la del vector gravedad en un punto determinado.

- **Superficie de nivel:** es la superficie perpendicular en todos sus puntos a la dirección de la gravedad. Determina la dirección y sentido de escurrimientos de las aguas.

- **GEOIDE**

Superficie de nivel que coincide con el nivel medio del mar, proyectándolo por debajo de los continentes, supuestos en reposo con respecto a la Tierra, sin considerar la acción de mareas, las corrientes marinas, los vientos, etc. La **dirección de cada una de las verticales es perpendicular a dicha superficie**. La ventaja de adoptar esta superficie de nivel, que se denomina "GEOIDE", es su aproximación bastante aceptable con la superficie de existencia real de la Tierra, pero presenta, sin embargo, el inconveniente de tener que definir con precisión el nivel medio del mar mediante el promedio de una serie prolongada de observaciones, a lo largo de períodos también prolongados, obtenidas con instrumentos que registran las oscilaciones altimétricas de las aguas en un punto determinado. Es una superficie que, como la distribución de masas dentro de la tierra no es uniforme, no tiene una ley física que la



describa. El último modelo de forma de la Tierra ha sido obtenido por el satélite GOCE de la Agencia espacial Europea, el cual ha sorprendido debido a la irregularidad que presenta el geoide y las importantes diferencias de gravedad en diversos puntos del planeta.¹

- Puesto que la vertical del lugar cambia sin una geometría definida, siguiendo las fluctuaciones del campo terrestre, cada determinación astronómica materializaba un sistema de referencia distinto. Cuando las coordenadas astronómicas son comparadas con las modernas determinaciones satelitales surgen diferencias en las coordenadas que pueden ser de cientos de metros. Tales diferencias no son atribuibles a errores de medición, sino los distintos sistemas de referencia en que las coordenadas están expresadas.

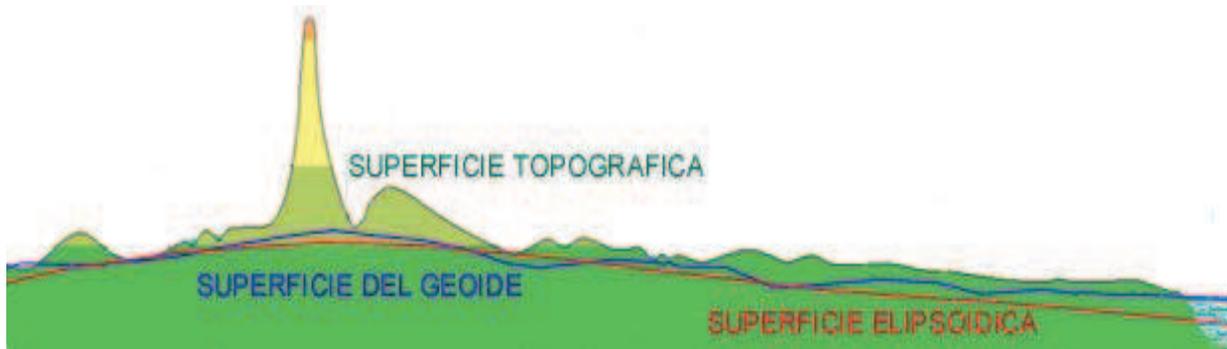
- Si bien el sistema de referencia puede ser cualquiera, se utilizan 2 tipos:

Sistemas de referencia locales: son topocéntricos. El sistema de referencia adoptado en las operaciones topográficas toma como origen de coordenadas un punto de la superficie física de la Tierra o cercano -puede ser el punto de estacionamiento del instrumento de medida utilizado-; como eje z, la vertical del lugar y como plano xy, al del horizonte -con orientaciones diversas de ambos ejes de acuerdo con el trabajo específico o con la conveniencia de la representación que se busca-. Por tal motivo, las operaciones topográficas están vinculadas con la vertical del lugar y las correspondientes representaciones quedan atadas a ella. Las figuras formadas por la unión de puntos relevados quedan determinadas por su proyección en el plano XY, donde se realizarán los cálculos necesarios, involucrando ángulos y longitudes planas.

Sistemas de referencia globales: Su origen es **geocéntrico** (Centro de Masa de la Tierra). La definición del sistema de referencia es compleja y se recurre a la astronomía siendo también muy compleja su materialización para ello se recurre a la geodesia satelital.

3. DATUMS HORIZONTALES, VERTICALES Y COMPLETOS

Reiterando en las aplicaciones geodésicas de gran escala, se utilizan comúnmente 3 tipos de superficies, que son: la superficie natural de la Tierra; el geoide y el elipsoide



- La **superficie natural de la Tierra**, obviamente, es aquella donde el hombre desarrolla su existencia y es el objeto de las mediciones y se conoce como superficie Topográfica. Es bien conocido que la topografía de la corteza terrestre es altamente irregular, formada por tierra y agua que varían respecto del tiempo. Los modelos de la

¹https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=U1mwCoP_2WM#t=0

superficie terrestre se utilizan en navegación, mapeos, Agrimensura (Ingeniería y Geodesia). El modelado y representación de superficies topográficas y niveles del mar intentan conocer las variaciones físicas de la superficie (mientras que los modelos gravífticos terrestres intentan representar mediante el geoide las variaciones de gravedad que modifican la definición local de una superficie de nivel).

- El **Geoide es una superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre**. Esta superficie equipotencial es aquella que permite el estado de equilibrio de un líquido. En una aproximación, esencialmente, es aquella superficie de nivel que aproxima el promedio del nivel medio del mar para todo el globo. Así, el geoide se utiliza como **datum vertical** (origen de referencia vertical) para las alturas conocidas como **ortométricas** (H). Las **alturas ortométricas** son las que generalmente podemos encontrar sobre una carta topográfica. Los modelos de Geoide intentan describir en detalle las variaciones del campo de gravedad terrestre. La importancia de este esfuerzo se halla relacionado a la idea de nivelación. La Topografía, cuando trata con representaciones planas, de regiones reducidas, utilizan el concepto de un plano perpendicular a la superficie de gravedad terrestre, y se determina mediante la dirección de una plomada apuntando aproximadamente al centro de masas terrestres. Las variaciones de gravedad locales, causadas por variaciones de densidad de los materiales y masas de la superficie son los causantes de que el campo gravítico terrestre sea irregular.

- Un "datum horizontal" es un **elipsoide de referencia para coordenadas horizontales; Latitud y Longitud**. La ventaja de utilizar un elipsoide como referencia es que posee una forma matemática muy simple de ser representada. Para describir superficies elipsóidicas solo se necesitan dos parámetros; el semieje mayor **a** y el semieje menor **b**. La única desventaja que posee es la de no poder ser ubicado por instrumentos convencionales, para cualquier lugar en que nos encontremos (por donde pasará el elipsoide?). La ubicación y forma de un elipsoide en el espacio tiene una descripción muy sencilla y clara. En el pasado se han definido muchísimos elipsoides de referencia; siempre justificando que se ajustaban de mejor manera para ciertas regiones, continentes o países.



Luego, **los mapas** son representaciones sobre el plano de dichos sistemas elipsoidales, o del geoide para el caso de las alturas. Por utilizar superficies elipsóidicas, la representación plana requiere de pequeñas modificaciones

matemáticas, en otras palabras la superficie a representar en el plano no es desarrollable. Así, otro sistema de referencia utilizado y que no debe confundirse con los anteriores son las coordenadas planas en una proyección.

Estas coordenadas planas se obtienen por pasaje o conversión matemática punto a punto del elipsoide al plano; la fórmula o método que permite realizar ese pasaje dependerá del tipo de proyección utilizada.

De las tres superficies principales de estudio para la representación de la forma de la Tierra, dos de ellas, el elipsoide y el geoide son **Datums**.

Los Datums geodésicos, definen los sistemas de referencia utilizados para describir la forma y tamaño de la tierra.

En la historia del hombre por determinar la forma y tamaño de nuestro planeta, o en el afán de las naciones o países en desarrollar la cartografía de una región, se han definido cientos de Datums verticales y horizontales.

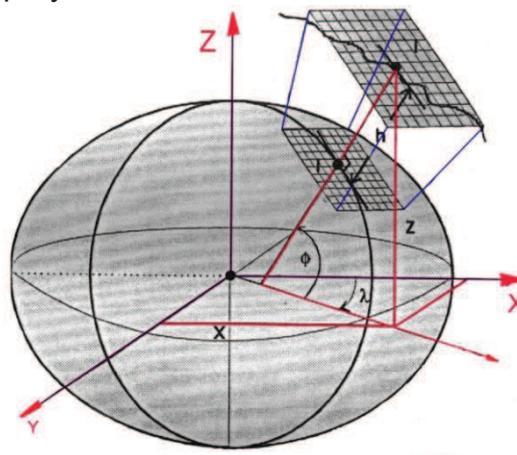
Los Datums de la geodesia moderna van desde modelos de la Tierra plana para Agrimensura, Topografía e Ingeniería, hasta modelos complejos usados para aplicaciones internacionales los cuales definen el tamaño, forma, orientación, campo de gravedad y velocidad angular de la Tierra. Mientras que la Cartografía, Agrimensura, Navegación y Astronomía se valen de Datums geodésicos, la Geodesia es la disciplina principal para la definición de este tópico.

Si se pretende referenciar coordenadas geodésicas sobre un Datum equivocado, se puede obtener un error en la posición de cientos de metros. Las diferentes naciones y agencias usan diferentes Datums como base de sus sistemas de coordenadas para definir las posiciones de sus Sistemas de Información Geográfica y mapeos. La diversidad de Datums que se usan en la actualidad y el avance tecnológico en mediciones GPS que permiten obtener precisiones en la posición de centímetros en movimiento, requieren una cuidadosa selección y tratamiento de la información al seleccionar el Datum de trabajo y sus respectivas conversiones.

De la misma manera que existen distintos sistemas de unidades de distancia, (Pies, Yardas, Metros) hay distintos elipsoides o Datums Horizontales. Por ejemplo: La definición de Metro (Siglo 18), determina al Metro como la diez millonésima parte de la distancia entre el polo y el ecuador sobre un elipsoide en particular. Según el elipsoide que utilizamos, habría distintos valores que definen al Metro. Por ello, el hombre posee el Metro Patrón y la nueva definición en base la oscilación de una partícula específica.

Por todo ello, cuando se habla de un Datum, se trata del origen del sistema de referencia que se utiliza.

- Los **Datums Horizontales** se definen por un Elipsoide y se utilizan para determinar un sistema de coordenadas Latitud y Longitud en el Datum de "referencia".



- Los **Datums Verticales** se definen por medio del Geoide y se utilizan para determinar un sistema de referencia para alturas Ortométricas.
- Los **Datums Compuestos** se definen por medio de un Elipsoide y un Geoide asociado para determinar un sistema de referencia donde cada punto se representa por; Latitud, Longitud y Altura (Ortométrica o al Episódica). Este caso, es el que se valen los **sistemas de posicionamiento satelital** como el **GPS NAVSTAR** que utilizan el **Datum WGS84** y **GLONASS** que se referencia sobre el **Datum PZ-90**.²

La combinación de coordenadas GPS con otros métodos³

Tanto GPS como GLONASS, proveen técnicas flexibles, altamente eficientes y relativamente económicas para la obtención de coordenadas 3-D de alta precisión. Pero, actualmente se presentan un gran número de inconvenientes cuando se desean combinar posiciones GPS con otras coordenadas terrestres. En particular, este problema se manifiesta comúnmente al querer combinar cotas o al desear uniformar proyecciones planas y no considerar importantes fuentes de error. Cualquier uso o combinación de estas coordenadas con GPS involucra una serie de pasos y cálculos bien definidos que aseguren la integración correcta de los diferentes sistemas. A continuación tratemos brevemente algunos de los aspectos más comunes:

- **El defecto del Datum**

Los sistemas de posicionamiento satelitales GLONASS y GPS permiten determinar con gran precisión las coordenadas relativas entre pares de puntos, pero no así sus coordenadas absolutas. Tratemos de explicar mejor este concepto: mediante mediciones satelitales realizadas simultáneamente con dos receptores ubicados en dos puntos distantes cientos de kilómetros, podrá determinarse las diferencias entre las coordenadas geodésicas de ambos puntos:

$$\Delta\phi = \phi_a - \phi_b,$$

$$\Delta\lambda = \lambda_a - \lambda_b$$

$$\Delta h = h_a - h_b$$

O equivalentemente, la diferencia entre las coordenadas rectangulares geocéntricas

$$\Delta Y = (Y_a - Y_b),$$

$$\Delta X = (x_a - X_b),$$

$$\Delta Z = (Z_a - Z_b),$$

con precisiones de pocos milímetros. Pero en cambio, las coordenadas absolutas:

$$\phi_a, \lambda_a, h_a,$$

$$\phi_b, \lambda_b, h_b$$

o

$$X_a, Y_a, Z_a,$$

$$X_b, Y_b, Z_b),$$

sólo podrían determinarse con exactitud de metros, o aun decenas de metros.

² Proyecto GEO200-SECYT/CONICET U.N.L.P-Seminario Internacional GPS97. Public. Geosistemas SRL.c/colabor

³ Proyecto GEO200-SECYT/CONICET U.N.L.P-Seminario Internacional GPS97. Public. Geosistemas SRL.c/colabor

Lo dicho anteriormente significa que los sistemas satelitales GLONASS y GPS solo permiten acceder al datum (PZ90 o WGS84, respectivamente) con una precisión que es insuficiente para muchas aplicaciones prácticas. La forma habitual de acceder al datum PZ90 o WGS84 es ubicando un receptor en un punto cuyas coordenadas absolutas en dicho datum son conocidas.

Si, por ejemplo, conocemos las coordenadas

$$\phi_a, \lambda_a, h_a \text{ del punto } a,$$

podremos obtener las del b mediante las mediciones haciendo simplemente

$$\phi_b = \phi_a + \Delta\phi,$$

$$\lambda_b = \lambda_a + \Delta\lambda,$$

$$h_b = h_a + \Delta h.$$

En nuestro país, el acceso al datum WGS84 se logra a través de los puntos de la red POSGAR (u otras redes de control que han sido previamente vinculadas a ella). En el caso del ejemplo que hemos propuesto, esto significa que el receptor a debería estar localizado sobre un punto de la red POSGAR

Un problema que se presentaba frecuentemente en la práctica es la necesidad de cambiar las coordenadas expresadas en un datum determinado a uno distinto. Por ejemplo, pasar del datum clásico argentino, Campo Inchauspe 1969, al datum oficial actual, POSGAR 94. La Agencia Cartográfica de defensa (DMA) de U.S.A. ha determinado parámetros de transformación entre WGS84 y más de 150 datums locales de todo el mundo. El DMA provee los parámetros necesarios para efectuar transformaciones aproximadas por los métodos de:

- a) Molodenski.
- b) Regresión múltiple.
- c) Curvas de nivel por latitud y longitud.

Los parámetros de corrección directa (o "Datum Shift) para pasar del Datum WGS84 a Campo Inchauspe, son los siguientes:

$$Dx = + 148 \text{ m}$$

$$Dy = - 36 \text{ m}$$

$$Dz = - 90 \text{ m}$$

Investigaciones realizadas en el país han permitido mejorar la precisión de esta transformación.

4. Superficies de nivel.⁴

Al estudiar los fundamentos de la topografía quedó demostrado que así como en planimetría, dentro de los límites señalados por el triángulo geodésico de tercer orden, puede considerarse la Tierra como plana, ocurre todo lo contrario en cuanto se refiere a **la apreciación del desnivel** y no ya en grandes longitudes, sino aun en distancias cortas, es ya manifiesto el error.

La discrepancia proviene de la imposibilidad de adoptar un plano como superficie de comparación, ya que el nivel que alcanzasen las aguas, en una hipotética crecida, no sería un plano, sino superficies equipotenciales concéntricas a la tierra, que por este motivo denominaremos **superficies de nivel**.

⁴ F. Dominguez García-Tejero. Topografía General y Aplicada

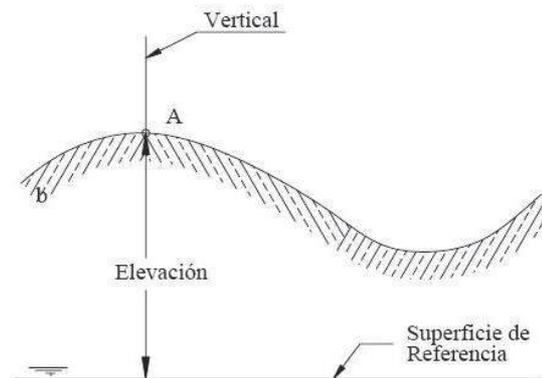
Estas superficies son tales que **el trabajo** -medido en kilográmetros-, **necesario para elevar un kilogramo de una a otra, es constante cualesquiera que sean los puntos que se consideren, permaneciendo en todos, dichas superficies, normales a la dirección de la vertical.**

De momento, y dentro de los límites de la topografía, las superficies de nivel hemos de consideradas como esféricas, y por lo tanto, equidistantes y paralelas, cosa que, como veremos, no puede admitirse si se consideran grandes extensiones de terreno.

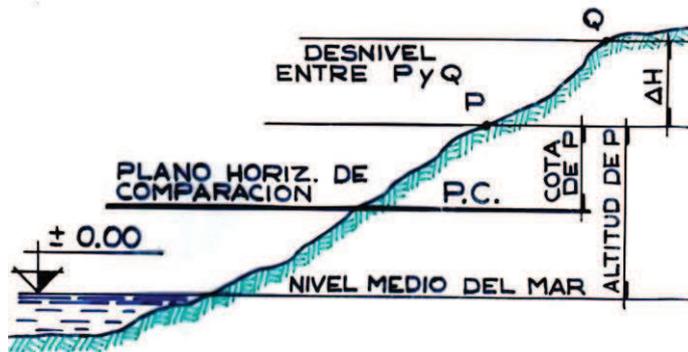
5. Cotas, altitudes y desniveles.

Los trabajos **altimétricos, o nivelación** de un terreno, tienen por objeto determinar la **altura de sus puntos** característicos sobre una superficie de nivel que se toma como superficie de comparación; puede ser ésta cualquiera, elegida arbitrariamente, sin más condición que la de estar más baja que el punto de menor altura de todos los que hayan de levantarse.

Las alturas de estos puntos, sobre la superficie de comparación, se denominan **COTAS** que, con la condición antes indicada, serán todas positivas.



La elección arbitraria de la superficie de comparación tiene el inconveniente de no poder relacionar entre sí trabajos diferentes, y por eso se prefiere utilizar siempre una misma superficie de referencia a la que se asigna la **cota cero**. Es ésta la **superficie media de los mares en calma**, supuesta prolongada por debajo de los continentes, superficie de nivel a la que hemos dado el nombre de **GEOIDE**. La cota de un punto referido al nivel del mar la llamaremos **ALTITUD**.⁵



En nuestro país se adopta oficialmente el nivel medio del mar proporcionado por el mareógrafo situado en el puerto de Mar del Plata, plano de comparación llamado Cero del I.G.M. (Instituto Geográfico Militar, hoy IGN Nacional).

Las cotas determinadas por las empresas ferroviarias y por la Dirección General de Navegación y Puertos del M. O. P. de la Nación están referidas al cero del Mareógrafo del Riachuelo; plano que pasa a 19 metros debajo de la estrella grabada en el peristilo de la Catedral de Bs. As. y corresponde al nivel medio de las aguas bajas ordinarias del Río de la Plata. Ésta se encuentra a 0,5558 m sobre el cero del I.G.M.

En todo trabajo ha de partirse de un punto origen de **altitud conocida**, o al que se le asigne, en su caso, **cota arbitraria**, y para hallar la de todos los demás puntos del

⁵ F. Dominguez García-Tejero. Topografía General y Aplicada
 12

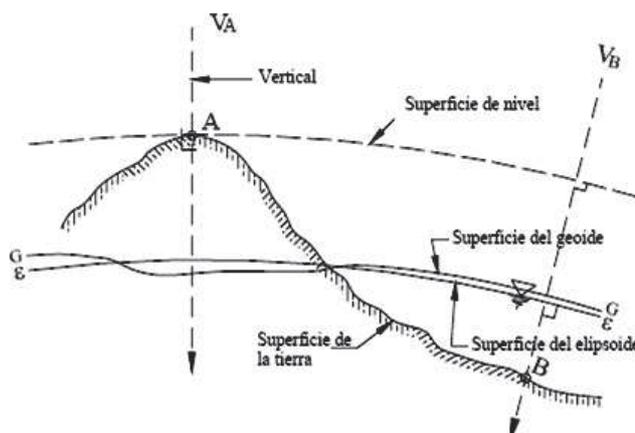
levantamiento se determinan los **desniveles** entre cada dos puntos, denominándose **desnivel** la cota, positiva o negativa, de uno de ellos, con respecto a la superficie de comparación que pasa por el otro.

El desnivel, sumado algebraicamente a la altitud del primer punto, nos dará la del segundo, éste servirá a su vez de origen al tercero, y así sucesivamente; operación que se designa con el nombre de **arrastrar o correr** las cotas a todos los puntos, una vez conocidos sus desniveles parciales.

Todo el problema alimétrico se reduce, por tanto, al cálculo de desniveles entre dos puntos.

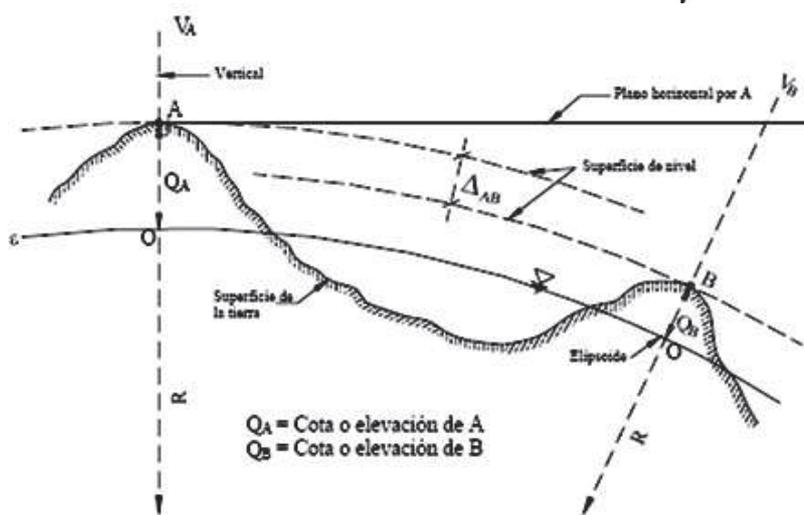
Es tal la costumbre en el ámbito técnico de usar indistintamente los términos cota y altitud, que resulta recomendable mencionar siempre el plano horizontal de referencia, para evitar confusiones.

Una **superficie de nivel es perpendicular** en cualquier punto del lugar o dirección de la plomada.



Un plano horizontal en un punto sobre la superficie terrestre es perpendicular a la línea vertical que pasa por el punto, es decir, es un plano tangente a la superficie de nivel solamente en dicho punto.

Por lo tanto, en la figura, la **cota absoluta de un punto** es la distancia vertical entre la superficie equipotencial que pasa por dicho punto y la superficie equipotencial de referencia o superficie del elipsoide, o sea **Q_A y Q_B** .



El **desnivel entre dos puntos**, es la distancia vertical entre las superficies equipotenciales que pasan por dichos puntos. El desnivel también puede definirse como la diferencia de elevación o cota entre ambos puntos:

$$\Delta h = Q_B - Q_A$$

Para la solución de los problemas de ingeniería, debemos estimar hasta qué punto se puede asumir, sin apreciable error, que el plano horizontal coincide en toda su extensión con la superficie de nivel, es decir, hasta qué punto podríamos considerar la tierra como plana.



6. EMPLEO DE DIVERSOS CEROS PARA LA NIVELACIÓN EN LA REPÚBLICA ARGENTINA. ("datum")

6.1. O. S. N.

Plano adoptado por Obras Sanitarias de la Nación y la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Buenos Aires:

Consiste en un plano arbitrariamente elegido, que pasa a 100 pies ingleses, o sea 30,479 m por debajo del dibujo en forma de estrella que existe en el peristilo de la Catedral de Buenos Aires, en correspondencia con la entrada central a la Catedral. (año 1894).

Para referir cotas de este sistema al sistema del I. G. M. deberá restarse 12,035 m.

6.2. M. O. P.

Plano adoptado por la **Dirección General de Navegación y Puertos del M. O. P.** y todos los **ferrocarriles del país**, y establecido como "punto de referencia de la altimetría del país" por Acuerdo de Ministros del 28-7-1899.

Llamado comúnmente "**el cero del Riachuelo**", pues se basa en una determinación del **nivel de aguas bajas ordinarias del Río de La Plata**, efectuada mediante un mareógrafo instalado en el acceso al Canal Sur, en la desembocadura del Riachuelo. Plano que pasa a 19 m debajo de la estrella grabada en el peristilo de la Catedral de Buenos Aires.

Para referir cotas de este sistema al sistema del I. G. M. deberá restarse 0,5558 m.

6.3. I. G. N. (ex I.G.M.)

Superficie del NIVEL MEDIO DEL MAR (n. m. m.) determinada por el Servicio de Hidrografía Naval mediante sus mareógrafos situados frente a Mar del Plata.

Responde a necesidades científicas y a requerimientos internacionales. Es la superficie adoptada para los trabajos geodésicos y para la cartografía del I. G. M., del S. H. N. y las reparticiones técnicas de la Pcia. de Buenos Aires.

6.4. Resumen y acotaciones

$$\text{O. S. N.} - 12,035 \text{ m} = \text{I. G. N.}$$

$$\text{M. O. P.} - 0,556 \text{ m} = \text{I. G. N.}$$

$$\text{O. S. N.} - 11,479 \text{ m} = \text{M. O. P.}$$

- Línea de ribera del Río de La Plata, s/Decreto del 31 de mayo de 1895 (aguas altas ordinarias); la cota I. G. M. es 0,969 m.
- Nivel medio anual del Río de La Plata: 0,226 m. (I. G. M.)
- Chapa de Catastro de mayor cota en la ciudad de Buenos Aires (Chapa N° 1965, Beiró y Gualeguaychú: 39,391 m (O. S. N.) y 6,356 m (I. G. M.)
- Chapa más baja (N° 4749, puente calle Salguero) 12,822 m (O. S. N.) y 0,767 m (I. G. M.).

7. EFECTOS DE LA CURVATURA TERRESTRE Y DE LA REFRACCION ATMOSFÉRICA

7.1. ERROR DE ESFERICIDAD.⁶

⁶ F. Dominguez García-Tejero. Topografía General y Aplicada

Supongamos dos puntos A y B cuyo desnivel queremos hallar; si por A hacemos pasar la superficie de nivel Ab paralela a la N de comparación, el desnivel que vamos buscando será la magnitud **Bb**, **segmento de vertical** comprendido entre las superficies de nivel de ambos puntos.

Estacionando en A un instrumento cuya altura sobre el suelo sea AA' y colocando una mira en B, quedaría obtenido el desnivel si a partir de A' pudiéramos dirigir una visual curvilínea paralela a la superficie de comparación N, que interceptaría a la mira en un punto B' conociéndose entonces la altura de mira BB'; el desnivel en este caso sería:

$$Bb = AA' - B'B'$$

pero la visual no sigue la dirección A'B', sino la rectilínea A'B'', que suponemos horizontal, por lo que en la apreciación del desnivel se comete un error denominado de **esfericidad** igual a **B'B''**.

Dentro de los límites del lado geodésico de 3º orden, considerando como tal aquel cuyas verticales en los extremos formaban en el centro de la Tierra un ángulo 5', que constituye el máximo alcance de los instrumentos topográficos, podían estimarse prácticamente iguales, con diferencia de algún milímetro, las longitudes de la tangente, del arco y de la cuerda, correspondientes a un círculo máximo terrestre; por tanto, llamando D la longitud del **arco Ab**, la consideraremos igual a A'B', y en el triángulo A'B''O designando por R el radio OA' y por ϵ_e el error de esfericidad B'B'' se verificará:

$$D = \text{arco } Ab = A'B'$$

R el radio OA'

ϵ_e el error de esfericidad B'B''

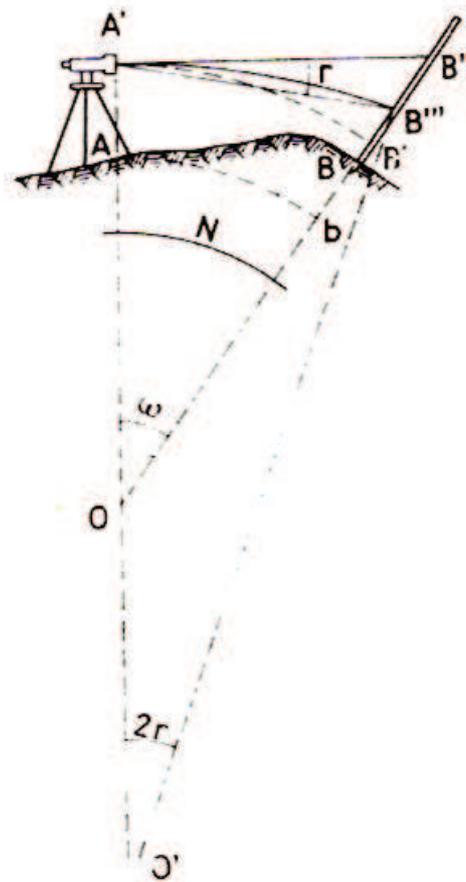
$$D^2 = (R + \epsilon_e)^2 - R^2 = 2 R \epsilon_e + \epsilon_e^2 ;$$

como ϵ_e es pequeño en los límites de la topografía, podemos despreciar su cuadrado y quedará como expresión del error de esfericidad:

$$\epsilon_e = D^2 / 2R$$

7.2. ERROR DE REFRACCIÓN⁷

En la práctica, sin embargo, aparece atenuado este error de esfericidad, debido a que se comete uno nuevo de signo contrario; es éste motivado por la refracción atmosférica como consecuencia de la distinta densidad de las capas de aire que ha de atravesar el rayo visual. En general, las capas más densas son las más próximas a la Tierra y, por



⁷ F. Dominguez García-Tejero. Topografía General y Aplicada

eso, la visual se refracta, dando lugar a una línea curva cuya convexidad se dirige hacia el cenit.

Hay una excepción, sin embargo; en países cálidos donde el aire se recalienta en contacto con la tierra, como en las arenas del desierto, disminuye su densidad, por lo que una visual tangente a la superficie se encorva hacia arriba, dando lugar a los fenómenos de espejismo; caso que por excepcional no consideramos.

Por consiguiente el punto que observamos en la mira, salvo en estos casos excepcionales, no será el B", sino uno más bajo en B'''; a este nuevo **error B''B'''** se le designa con el nombre de **error de refracción**.

Se ha comprobado que la curva A'B''' es plana y circular y que mientras no varíen las condiciones atmosféricas su centro O' permanece constante cualquiera que sea la distancia entre los puntos A y B. El ángulo que forma A'B'', tangente a la curva, con la cuerda A'B''' se le denomina **ángulo de refracción r** y es la mitad del ángulo en el centro O' de los radios que unen los puntos extremos.

Mientras se mantiene fijo el centro O' la relación entre los radios de la Tierra y de refracción será constante; la longitud de la cuerda A'B''' al estar comprendida entre A'B'' y A'B' consideradas como iguales a D, admitiremos tenga esta longitud y los ángulos en el centro ω y $2r$ que subtenden arcos iguales verificarán las relaciones:

$$2r = D / R' \text{ y con } \omega = D / R$$

como hemos dicho, R / R' es una cantidad constante, que denominaremos $2K$, Y se cumplirá que:

$$r / \omega = K$$

valor que recibe el nombre de **coeficiente de refracción**.

El valor de K puede determinarse experimentalmente, como veremos más adelante, por dos observaciones recíprocas y simultáneas y una vez conocido determinaremos el error de refracción B''B''', al que designaremos por ϵ_r , lo mismo que antes se hizo, refiriéndonos ahora al triángulo A'O'B'':

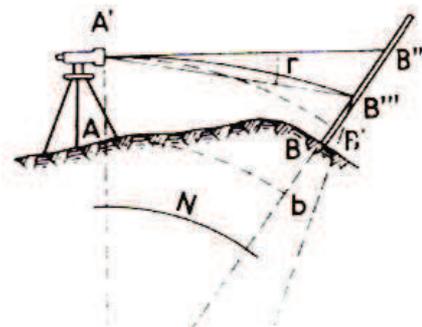
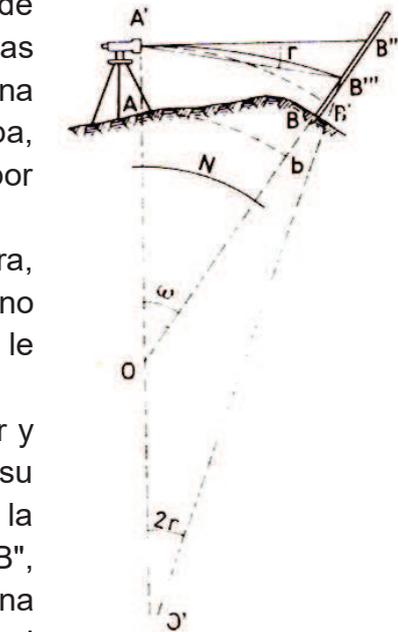
$$\epsilon_r = D^2 / 2rR'$$

Y substituyendo R' por su igual $R / 2K$

$$\epsilon_r = D^2 K / R$$

7.3. DESNIVEL VERDADERO Y APARENTE. ⁸

En la figura, a la que nos venimos refiriendo, se ve que en el verdadero desnivel Z_v entre A y B viene dado por la diferencia $B'b - B'B$, mientras el desnivel aparente Z_a será $A'A - B''B$, cometiéndose un error igual a $B'B'' = B'B'' - B''B'''$, pudiendo, por tanto, escribir:



⁸ F. Domínguez García-Tejero. Topografía General y Aplicada
 16

Desnivel verdadero $Z_v = B'b - B'B$

Desnivel aparente $Z_a = A'A - B''B \Rightarrow \text{error } B'B'' = B'B'' - B''B''$

$\epsilon_e = D^2 / 2R$ y $\epsilon_r = D^2 K / R \Rightarrow$

$$Z_v = Z_a + \epsilon_e - \epsilon_r$$

El coeficiente de refracción adquiere un valor medio de $K = 0,13$, por lo que sustituyendo en la expresión anterior $\epsilon_e - \epsilon_r$ por los valores antes hallados y K por el suyo, se obtiene:

$$Z_v = Z_a + (D^2 / 2R) - (D^2 K / R) = Z_a + (1/2 - 0,13) D^2 / R$$

$$Z_v = Z_a + 0.37 D^2 / R$$

La corrección media de esfericidad y refracción, dando a R el valor medio, se obtiene, expresada en metros, por la expresión:

$$c = 0,000000058 D^2$$

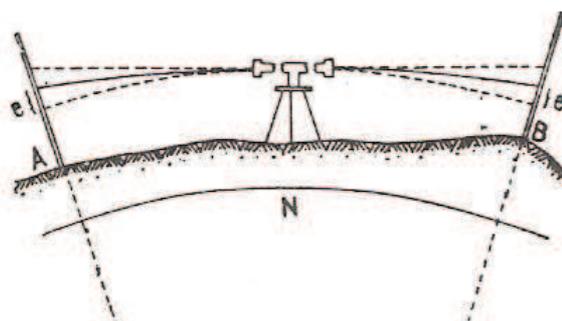
y, por tanto, habrán de hacerse las siguientes correcciones medias que damos calculadas para diferentes distancias

Para

D (m)	c (mm)
100	0,6
200	2,3
300	5,2
500	14,5
1000	58,0
2000	232,0

El error de esfericidad y refracción puede evitarse estacionando en un punto equidistante de los A y B cuyo desnivel interesa hallar.

Este método, que como ya veremos, anula los errores sistemáticos propios de un nivel, sirve igualmente para eliminar los de esfericidad y refracción, ya que serán iguales en los dos extremos y suponiendo se obtuviese el desnivel por diferencia de lecturas de mira con una visual horizontal, no variará aquélla al aumentar el minuendo y sustrayendo la misma cantidad.



De la expresión se obtienen valores que en Topografía no tienen mayores incidencias, salvo aquellos casos en que se hacen traspasos de cotas de puntos fijos. Por lo que se aconseja que la distancia entre dichos puntos no sea mayor de 50 m. Por lo tanto en Topografía prescindimos de la curvatura terrestre y la refracción atmosférica y consideramos a la tierra como una superficie plana.

El efecto de curvatura y refracción se anula con la igualdad de distancia del nivel a ambas posiciones de la mira. De lo contrario sería un error de lectura sistemático, siempre leeríamos con error sobre ambas miras sin saber si los incrementos son iguales. Esto puede incidir en el desnivel total como error accidental.



8. SUPERFICIE DE NIVEL, COTAS ORTOMÉTRICAS Y DINÁMICAS ⁹

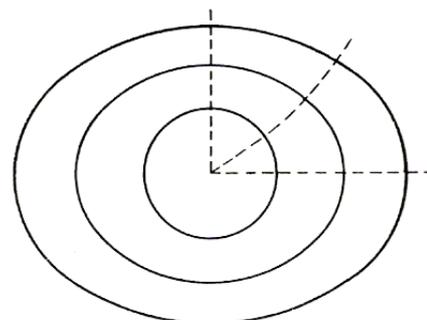
8.1. FALTA DE PARALELISMO ENTRE LAS SUPERFICIES DE NIVEL.

Hasta aquí se ha supuesto que las superficies de nivel eran paralelas como consecuencia de admitir para éstas la forma esférica, pero en realidad no es así, debido a la variación de la gravedad en los distintos lugares de la Tierra.

Un punto cualquiera está sometido a dos fuerzas principales: la atracción terrestre, que actúa en la dirección del radio del globo, que pasa por el punto, y la fuerza centrífuga, debida al giro de la Tierra, que le repele en el sentido del radio del paralelo. La resultante de estas fuerzas es la que denominamos **gravedad**, y su dirección es la **vertical** del lugar.

La atracción terrestre no es otra cosa sino una consecuencia de la Ley de la Gravitación Universal, que Newton formuló diciendo que "los cuerpos, en el espacio, se comportan como si se atrajesen en razón directa de sus masas e inversa al cuadrado de su distancia", y por tanto, la Tierra y cualquier objeto se atraen recíprocamente; mas siendo insignificante la masa del cuerpo, en relación con la de la Tierra, es el primero el que se mueve, atraído en la dirección del centro de gravedad de la Tierra.

Pero al ser la tierra aplanada en los polos la distancia al centro será menor que en el ecuador y, por tanto, la atracción será mayor; por otra parte, la fuerza centrífuga de repulsión es nula en los polos y máxima en el ecuador, donde actúa en la misma dirección y en sentido opuesto a la atracción y, en consecuencia, la gravedad, por ambos motivos, será máxima en los polos y mínima en el ecuador.



En los demás paralelos la gravedad resultante aparece desviada del radio terrestre y la intensidad de la gravedad al nivel del mar tomará valores intermedios, variando en función de la latitud según fórmulas establecidas, primero, por Clairaut y generalizadas después por Helmer, Pizzetti y Somigliana, etc., de las que una interpretación aproximada es:

$$g_L = g_{45^\circ} (1 - 0,0026 \cos 2 L).$$

Definimos las superficies de nivel como superficies equipotenciales en las que el trabajo necesario para elevar un kilogramo de una a otra superficie ha de ser constante en cualquier punto. Llamando, según esto, h_0 y h_L , la separación de dos superficies a 0° y a L° de latitud y g_0 y g_L la intensidad respectiva de la gravedad, se tendrá:

$$g_0 h_0 = g_L h_L;$$

o sea:

$$h_0 / h_L = g_L / g_0$$

De aquí se deduce que, si consideramos la superficie de nivel de cota 100 metros a los 45° , dando a L los valores 0 y 90 tendremos para dicha superficie una cota de 100,26 metros en el polo y de 99,74 metros en el ecuador, lo que sería causa de que si un nuevo diluvio universal hiciese subir el nivel del mar hasta enrasar con una torre de 100 metros de altura sobre el primitivo nivel del agua a los 45° , otra torre en el polo, de

⁹ F. Dominguez García-Tejero. Topografía General y Aplicada

análogas condiciones, sobresaldría 26 centímetros por encima de las aguas, mientras que si estuviese construida en el ecuador quedaría sumergida otros 26 centímetros. Las superficies adoptarán, en consecuencia, la forma que se indica en la figura anterior y las verticales serán rectas en el ecuador y en los polos, y líneas curvas normales a las superficies de nivel en los demás puntos del planeta.

8.2. COTA ORTOMÉTRICA.

Según lo anterior, la burbuja de un nivel permanecerá calada cuando su eje sea perpendicular a la vertical y, por tanto, las miras apoyadas en una misma superficie de nivel acusarán, al ser observadas, un desnivel cero entre los puntos respectivos.

De aquí y de la falta de paralelismo de las superficies de nivel, se deriva una anomalía que hemos de tener en cuenta. Supóngase que pretendemos hallar los desniveles entre los puntos más altos de las tres torres del ejemplo anterior y que partimos del ecuador hasta llegar al polo siguiendo constantemente el nivel del mar; todos los puntos de esta superficie los iremos tomando como de cota cero y, por tanto, al llegar al pie de las tres torres y medir su altura sobre esta superficie, hallaremos en las tres 100 metros y diremos que los extremos de sus veletas están al mismo nivel.

Pero supongamos que partimos de la torre intermedia y seguimos dos itinerarios, uno hacia el N. y otro hacia el S., pero en lugar de seguir la superficie cero seguimos la superficie que enrasa con dicha torre intermedia.

Al medir la altura de esta última obtendremos la cota 100 para su extremo y al seguir la superficie de nivel que pasa por éste, no hallaremos entre sus puntos desnivel alguno, hasta llegar a la torre del polo N., cuyo extremo se eleva 26 centímetros sobre dicha superficie y en consecuencia daremos al extremo de la torre una cota de 100,26 metros, mientras que con el itinerario del S., al llegar al ecuador, veremos la torre 26 centímetros por debajo de la superficie que llevamos y, por tanto, diremos que la cota de su veleta es de 99,74 metros, con un desnivel entre los extremos de la torre del ecuador y la del polo de 52 centímetros.

En la generalidad de los casos, al hallar el desnivel entre dos puntos, no se seguirá ni uno ni otro camino, sino itinerarios intermedios, que darán soluciones también intermedias, llegando a la anomalía de que, aun suponiendo se obtenga el desnivel entre dos puntos desprovisto de todo error, deduzcamos, sin embargo, infinito número de resultados según el camino recorrido.

El error de 52 centímetros del ecuador al polo no es del todo despreciable. Según ya sabemos, la precisión de un itinerario altimétrico se expresa por su error kilométrico, que es tal que multiplicado por la raíz cuadrada del número de kilómetros ha de dar el error de cierre, y en nuestro caso el itinerario del ecuador al polo acusa un error kilométrico de 5 milímetros perfectamente apreciable y que supera al que anteriormente hemos indicado, como necesario, en las nivelaciones de alta precisión.

Interesa por eso corregir, en estos casos, las observaciones para obtener una solución única, lo que puede conseguirse por dos métodos, de análogo interés, calculando las denominadas cotas **ortométrica y dinámica**. La **cota ortométrica** no es sino **la altura real medida sobre la superficie de comparación**; por consiguiente, la cota ortométrica de las tres torres sería de 100 metros y necesitamos llegar siempre a esta solución cualquiera que sea el itinerario.

Se consigue esto introduciendo una corrección en los desniveles parciales, denominada **corrección ortométrica** deducida de las fórmulas de Clairaut, antes expresadas; esta corrección será negativa, para disminuir las cotas que se obtengan a medida que aumente la latitud e inversamente.

8.3. COTA DINÁMICA.

La cota ortométrica se presta para muchas necesidades de la vida práctica, pero en cambio induce a confusión dado el concepto que tenemos del desnivel; así, por ejemplo, en el caso de las veletas de las tres torres a las que hemos dado la misma cota ortométrica 100, si las uniésemos por un canal escurriría el agua de N. a S. para el hemisferio norte o la inversa para el hemisferio sur

Importa por eso, en algunos casos, modificar el concepto de desnivel y expresarle no en metros sino en kilográmetros; la cota así obtenida se llama **cota dinámica**, y los puntos de igual cota serán los situados sobre una misma superficie de nivel.

Definimos, por consiguiente, **la cota dinámica de un punto como el esfuerzo, expresado en kilográmetros, que es necesario efectuar para elevar un kilogramo desde la superficie de nivel de cota cero hasta la que pasa por el citado punto.**

Para obtener la cota dinámica será menester introducir un nuevo término correctivo a los desniveles, además de la corrección ortométrica, con objeto de transformar esta última cota en cota dinámica. La corrección dinámica será de signo contrario a la corrección ortométrica.

En las **nivelaciones de alta precisión de un territorio**, y así se hace actualmente en Argentina, se calculan ambas cotas, ortométrica y dinámica, pero para las necesidades de la topografía, que se refieren a superficies limitadas, seguiremos considerando las superficies de nivel como esféricas y paralelas.

9. PUNTOS FIJOS. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Los apoyos y referencias altimétricos son hechos físicos acotados altimétricamente, cuyo objeto o función es servir de apoyo altimétrico de las tareas de nivelación topográficas entre los que se destacan los denominados puntos fijos altimétricos. Estructuralmente están constituidos por una marca o señal estable, duradera en el tiempo, definida, fácil de identificar y con soporte rígido.

Los puntos fijos pueden ser estructuras construidas e instaladas específicamente con ese fin, preexistentes al trabajo de nivelación o colocados con motivo del mismo, o bien, adoptar con ese fin hechos físicos existentes en el lugar de trabajo. Estos hechos existentes "naturales" deben ser estables y destacados, por ejemplo puntos específicos de alcantarillas, puentes, pavimentos, cordones, tapas de registro, pilares, elementos de vías férreas, rocas, umbrales, etc.

Los puntos fijos altimétricos pueden ser de variables características, desde pilares de hormigón con ménsulas de bronce construidos ad-hoc, hasta estacas de madera clavadas en el terreno, o barras o pernos o clavos o bulones de hierro empotrados en muros o postes. Son considerados como tal según resulte de sus cualidades para cumplir con la función y de conformidad con el trabajo donde se los utiliza.

Generalmente se los coloca a baja altura y según su estabilidad se los puede elegir o calificar como permanente o temporales

9.1. PUNTOS FIJOS OFICIALES. Clasificación. Descripción.

Los puntos fijos altimétricos pueden ser aislados o pertenecientes normalmente a un conjunto denominado red. Estos pertenecen a organismos oficiales, por ejemplo, en la provincia de Buenos Aires están las redes en la mayoría de las poblaciones instaladas por la Dirección de Geodesia, mientras que en el país la responsabilidad es del Instituto Geográfico Nacional ex IGM. En forma similar por las empresas ferroviarias y por la Dirección General de Navegación y Puertos del M. O. P. de la Nación

9.1.1. Puntos Fijos del IGN.

Están instalados por todo el país conformando una red general y también fuera de ella incluyen algunas ciudades.

En las poblaciones los más utilizados son ménsulas de nivelación (de bronce) o placas empotradas en los muros o pilares como muestra las figuras en próximas páginas.

Cada punto en general y en particular los pertenecientes a una red de puntos fijos, tienen la identificación en letras y números. En el caso de las ménsulas o placas están grabados sobre la misma o bien sobre el muro sostén. Este dato es indispensable para conocer su cota, la que hay que solicitar en el organismo oficial responsable, puede ser la provincia o comuna.

El IGN o ex IGM, categoriza los puntos según la precisión de las líneas de nivelación

9.1.2. Breve explicación y nomenclatura de términos y notaciones técnicas.¹⁰

Las **líneas de nivelación geométrica del I.G.M.** se individualizan en líneas de alta precisión y de precisión.

Las **líneas de alta precisión**, determinan una red que divide a la República Argentina en mallas o polígonos cerrados de 500 Km. de perímetro.

Las **líneas de precisión** se desarrollan dentro de los polígonos de alta precisión y los dividen en sub polígonos en un número comprendido entre seis y ocho.

El valor del error probable total, valor único (ε) caracteriza la precisión de la red.

$$\varepsilon \leq 2 \text{ mm por Km (para alta precisión,)}$$

$$\varepsilon \leq 6 \text{ mm por Km (para precisión)}$$

La tolerancia para el cierre de tiro, entre dos nivelaciones del número de L Km. de largo, tendrá que satisfacer las siguientes fórmulas:

$$T_{\max} < \pm 3 \sqrt{L} \text{ mm (en la nivelación de alta precisión)}$$

$$T_{\max} < \pm 5 \sqrt{L} \text{ mm (en la nivelación de precisión)}$$

Tramo: Intervalo entre 2 puntos fijos sucesivos en el recorrido de la nivelación.

Línea: Recorrido entre dos nodales sucesivos.

Nodal: Punto de concurrencia de dos o más líneas.

¹⁰ I. T. 6a IGM edición 1957



Mallas de Alta Precisión: las mallas de alta precisión o sea los polígonos cerrados formados por líneas de alta precisión, se designan con números arábigos; por ejemplo **Malla 51**. Con números romanos les corresponden al litoral marítimo que cierran en Mareógrafos. Corresponde así para la provincia de Buenos Aires las Mallas 8,11,12,13,15,17,18,19,y las IV, V,VI, y VII en su litoral marítimo.

Líneas de Alta Precisión: Se indican con una letra **N** mayúscula de imprenta, seguida de un subíndice numérico colocado entre paréntesis; por ejemplo **N(81)**. En parte del plano adjunto se adopta para estas líneas el color rojo.

Líneas de Precisión: Se indican con una letra **n** minúscula cursiva, seguida del número de malla en que se encuentra, el cual se coloca como subíndice entre paréntesis. A esta nomenclatura se le agrega una letra de imprenta mayúscula que identifica las líneas correspondientes a una misma malla; por ejemplo **n(57)A**. En los planos se adopta para estas líneas el color azul.

Líneas de segundo orden: con una acompañada de un subíndice (número de la malla en que se encuentra) y una letra minúscula que la individualiza; por ejemplo **n(18)a**.

Aclaraciones: La línea **n(45)C** es un tramo de la línea de nivelación que con parte de la línea **N(38)**, vincula al mareógrafo de Mar del Plata con el **Punto Altimétrico de Referencia Normal (P.A.R.N.)** ubicado en el Parque Independencia de la ciudad de Tandil, habiéndose, por dicha causa, medido y compensado como de alta precisión. No obstante ello, de acuerdo a la ubicación de la línea **n(45)C** dentro de la estructura del polígono 45 a que pertenece, le corresponde la designación de línea de Precisión, no cambiando ésta, ni otras líneas próximas, de nomenclatura ni alterando la conformación del citado polígono.

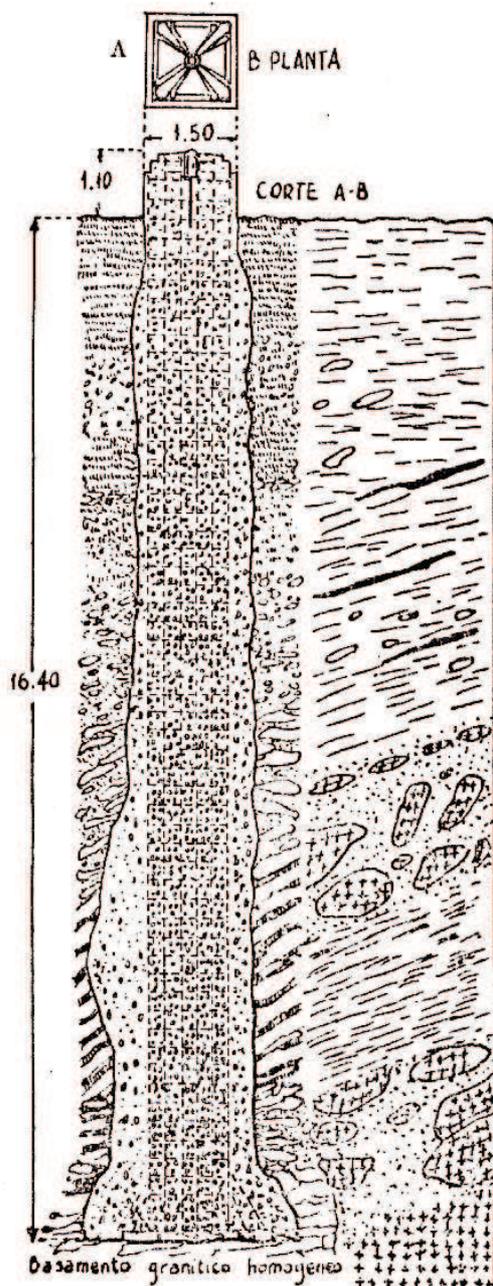
Las cotas compensadas dadas en los catálogos, corresponde al punto más alto de la superficie de la chapa del pilar y de la chapa exterior de la caja del nodal. En consecuencia, en el caso de los Nodales, no se consigna la cota de la chapa principal ubicada dentro de la caja protectora, por no ser necesaria a los fines de los trabajos altimétricos comunes. Para mayores antecedentes, podrán consultarse los datos y monografías que sobre los puntos consignados en los registros se archivan en la Dirección de Geodesia.

9.2. PUNTO ALTIMÉTRICO DE REFERENCIA NORMAL (P.A.R.N.)

Ha sido establecido con el objeto de que las cotas de los puntos de la superficie terrestre puedan referirse a un punto invariable determinado con gran precisión, hasta tanto se tenga la información de la Red Mareográfica Nacional.

El lugar de emplazamiento de este punto, fue objeto de serios estudios, pues debía estar próximo a la red de mareógrafos para su fácil vinculación y además encontrarse ubicado en una zona libre de movimientos tectónicos, que pudieran alterar su ubicación. Por estos motivos fue establecido en el Parque Independencia de la ciudad de Tandil, lugar donde el manto granítico cristalino se encuentra casi aflorante. Sobre este manto se excavó para fundar el pilar correspondiente, en el que se utilizaron más de 18 toneladas de cemento, 54 de arena y 72 de piedra; empleándose dos meses en su construcción. En la figura se puede observar la planta y un corte del pilar, y del terreno circundante. En sus proximidades se han colocado ocho puntos fijos vinculados entre sí, y a la marca principal con el objeto de verificar posibles movimientos.

Este Punto Altimétrico de Referencia Normal ha sido acotado mediante la vinculación con el Mareógrafo de Mar del Plata a través de la línea de precisión $n(45)C$, que para el caso fue medida como de alta precisión y que empalma con la línea $N(38)$. Su construcción data del año 1949, y a él se vincula la Red de Nivelación General del País.



Relleno artificial de rodados y tierra con pequeños mantos de tosca.

Material de derrumbe de faldeo, compuesto de rodados, arenas y arcillas.

Parte del basamento completamente alterado y cloritizado, cruzado con varios juegos de diaclases.

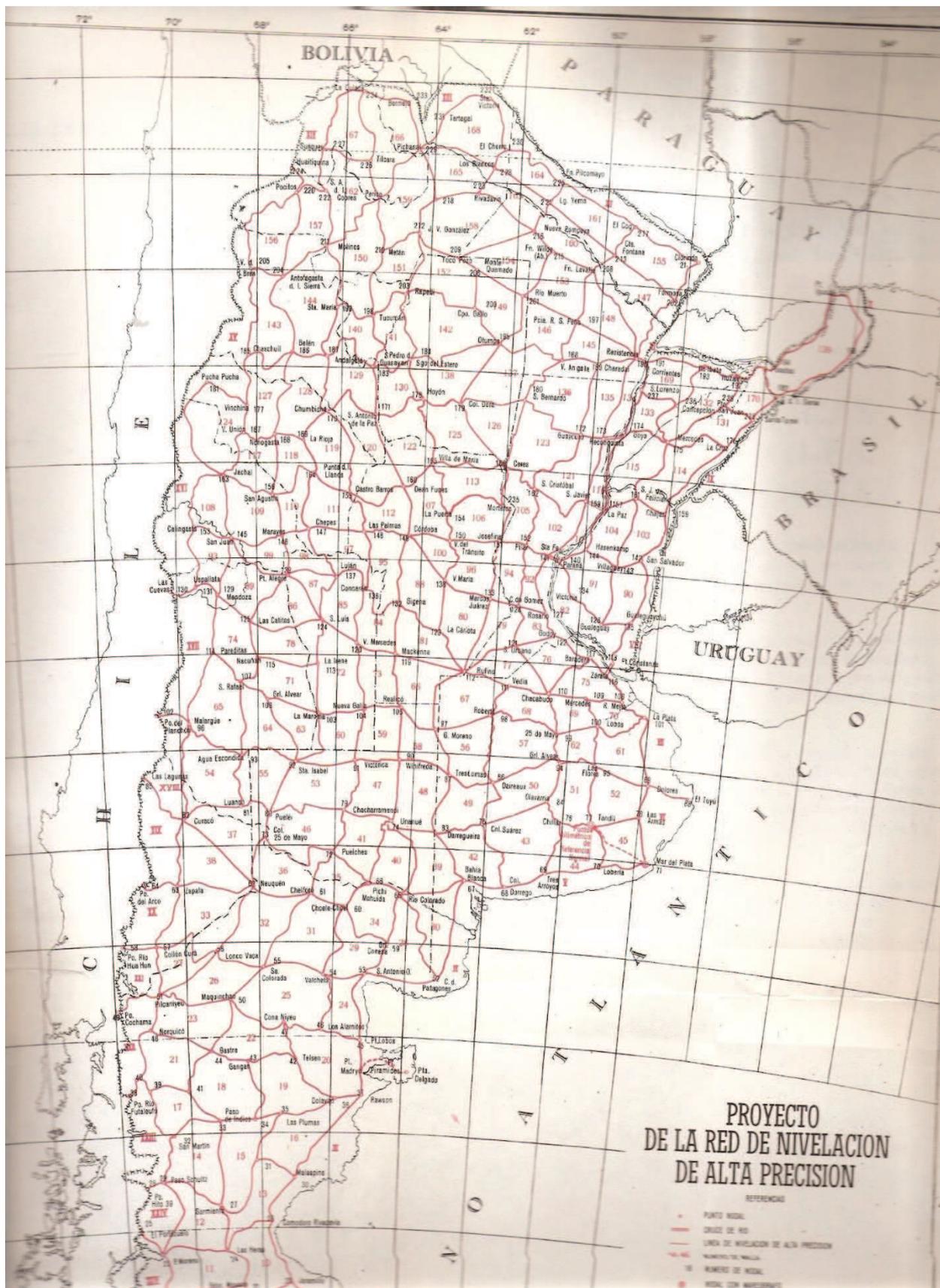
Parte del basamento alterado, diaclasadado y lavado por el agua de infiltración con formación de arenas.

Basamento granítico con poca alteración visible.

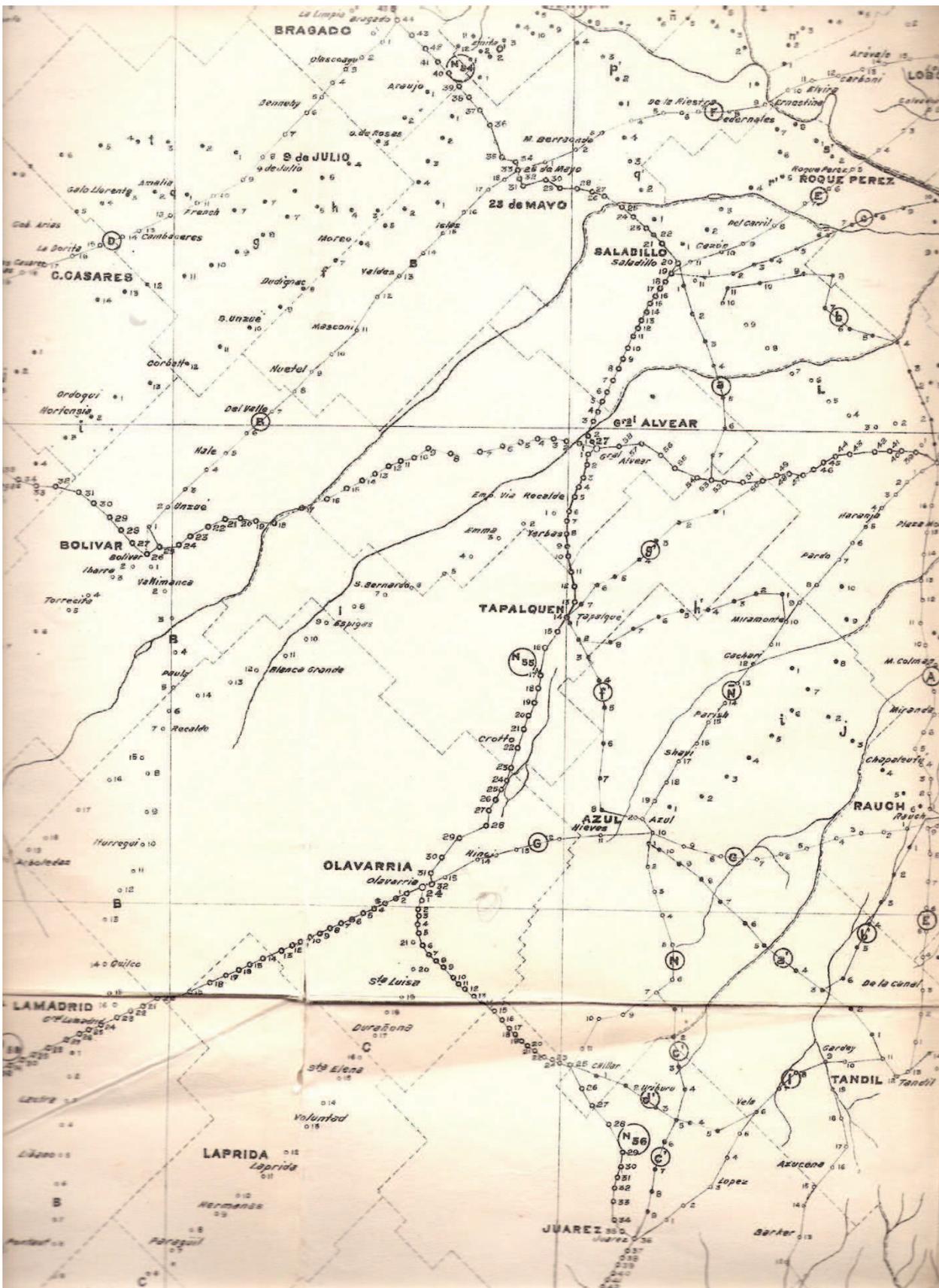
9.3. REDES DE PUNTOS FIJOS

Es un conjunto de puntos fijos altimétricos, distribuidos en orden, relacionados altimétricamente con las mismas técnicas y con un plano de comparación en común. Su función es brindar una referencia altimétrica precisa y coherente. Pueden ser redes "locales" instaladas específicamente para obras civiles como puertos, represas, caminos, ferrocarriles, servicios (aguas, desagües pluviales y cloacales), etc., o bien las instaladas en distintas jurisdicciones, empezando por la red general nacional, o bien en provincias, municipios, etc., de finalidad general. En la mayoría, por conveniencia o

impuesto reglamentariamente, se las relaciona con la Red General del país, responsabilidad del I.G.M. Red de Nivelación de alta precisión



Parte del Plano de Nivelación – Dirección de Geodesia – Prov. de Bs. As.



Ejemplo de lista (catálogo) de cotas de nivelación de puntos determinados.

P. F.	MARCA	COTA (m)	SITUACION	PROGRESIVA (km)	PARTIDO
14	Chapa	88,1031	Pilar Cpo. La Adela	50,375	Tapalquén
15	Chapa	86,8548	Pilar Cpo. La Matilde	53,769	Tapalquén
16	Chapa	86,0367	Pilar Cpo. La Matilde	57,759	Tapalquén
17	Chapa	85,5547	Pilar Cpo. La Matilde	61,700	Tapalquén
18	Chapa	88,6102	Pilar Cpo. La Matilde	65,528	Tapalquén
19	Chapa	90,1042	Pilar Cpo. El Albardón	69,298	Tapalquén
20	Chapa	91,9615	Pilar Cpo. La Primavera	73,239	Tapalquén
21	Chapa	90,9814	Pilar Cpo. Las Casuarinas	77,237	Tapalquén
22	Chapa	90,4947	Pilar Cpo. Las Casuarinas	81,109	Tapalquén
23	Chapa	90,2301	Pilar Cpo. Las Casuarinas	84,882	Tapalquén
24	Chapa	90,3593	Pilar Cpo. San Luis	88,680	Tapalquén
25	Chapa	89,6511	Pilar Cpo. La Candia	92,728	Tapalquén
27 N (47)	Chapa	89,5909	Pilar Cpo. de C. T. Tinetti	96,466	Tapalquén

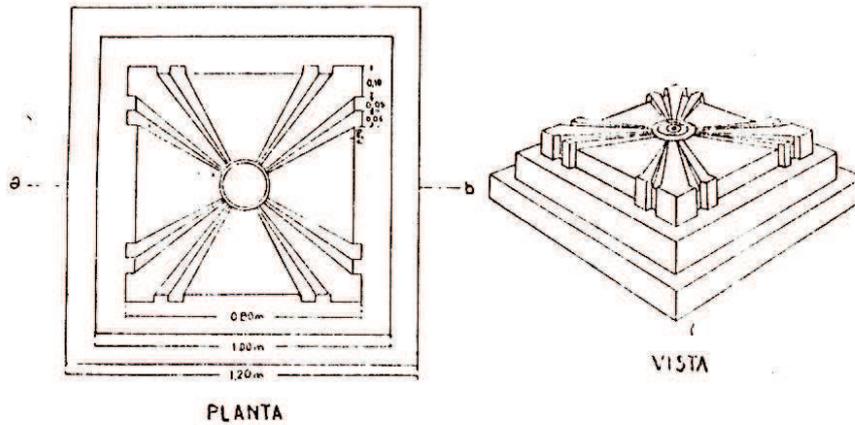
Línea n₍₅₀₎ B

De P. F. 27 N₍₄₈₎ a P. F. 58 N₍₃₆₎

27 N (48)	Chapa	92,3738	Pilar Cpo. de C. T. Tinetti	0,000	Bolívar
1	Chapa	96,4642	Pilar Chacra de Angel Pacheco	3,562	Bolívar
2	Chapa	95,0181	Pilar Cpo. Villa Rosa	7,500	Bolívar
3	Chapa	96,1438	Pilar Chacra de Juan Tolousse	11,230	Bolívar
4	Chapa	96,1310	Pilar Chacra de José Alberca	14,984	Bolívar
5	Chapa	96,9787	Pilar Cpo. La Florida	18,722	Bolívar
6	Chapa	97,3717	Pilar Cpo. La Noria	22,560	Bolívar
7	Chapa	98,8614	Pilar Cpo. La Noria	26,110	Bolívar
8	Chapa	99,1173	Pilar Cpo. La Noria	29,730	Tapalquén
9	Chapa	99,1802	Pilar Cpo. El Fortín	33,182	Tapalquén
10	Chapa	100,9819	Pilar Cpo. La Carmelita	36,824	Olavarría
11	Chapa	103,2332	Pilar Cpo. La Carmelita	40,542	Olavarría
12	Chapa	104,9416	Pilar Cpo. La Carmelita	44,642	Olavarría
13	Chapa	106,4745	Pilar Cpo. de Juan Enlaich	49,344	Olavarría
14	Chapa	110,0640	Pilar Cpo. Los Cerrillos	52,756	Olavarría
15	Chapa	116,7115	Pilar Cpo. Los Cerrillos	56,540	Olavarría
16	Chapa	122,3930	Pilar Cpo. Los Cerrillos	60,252	Olavarría
17	Chapa	130,0633	Pilar Cpo. La Baguala	64,192	Olavarría
18	Chapa	134,4526	Pilar Cpo. Santa Catalina	67,888	Olavarría
19	Chapa	144,0280	Pilar Cpo. Santa Dominga	71,788	Olavarría
20	Chapa	162,5868	Pilar Cpo. Santa Dominga	75,490	Olavarría
21	Chapa	167,2143	Pilar Cpo. Don Bernardo	79,228	Olavarría
22	Chapa	156,6400	Pilar Cpo. Santa María	83,392	Olavarría
23	Chapa	176,3009	Pilar Cpo. Establec. Belgrano	86,897	Olavarría
24	Chapa	223,7344	Pilar Cpo. La China	90,627	Olavarría
25	Chapa	211,3681	Pilar Cpo. El Retazo	94,369	Olavarría
26	Chapa	187,3192	Pilar Cpo. Los Tres Hermanos	98,102	Olavarría
27	Chapa	179,4793	Pilar Cpo. La Blanca	101,766	Olavarría
28	Chapa	178,6022	Pilar Cpo. San Luis	105,712	Olavarría

DETALLE DE LA MARCACIÓN DE PUNTOS FIJOS ALTIMÉTRICOS

PUNTO FIJO NODAL

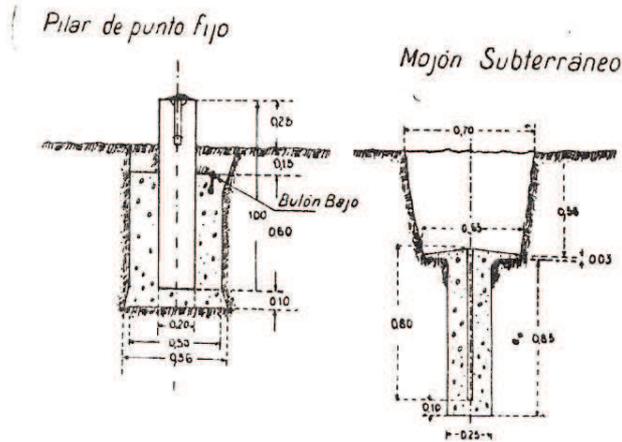


TAPA DE CAJÁ PARA NODAL



MARCA ALTIMÉTRICA PARA NODAL

MARCA DE PUNTO FIJO ALTIMÉTRICO



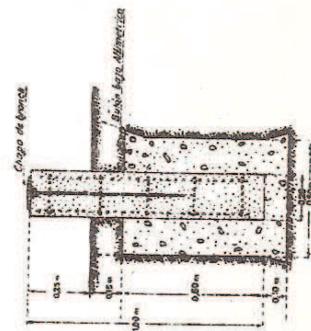
Punto fijo altimétrico



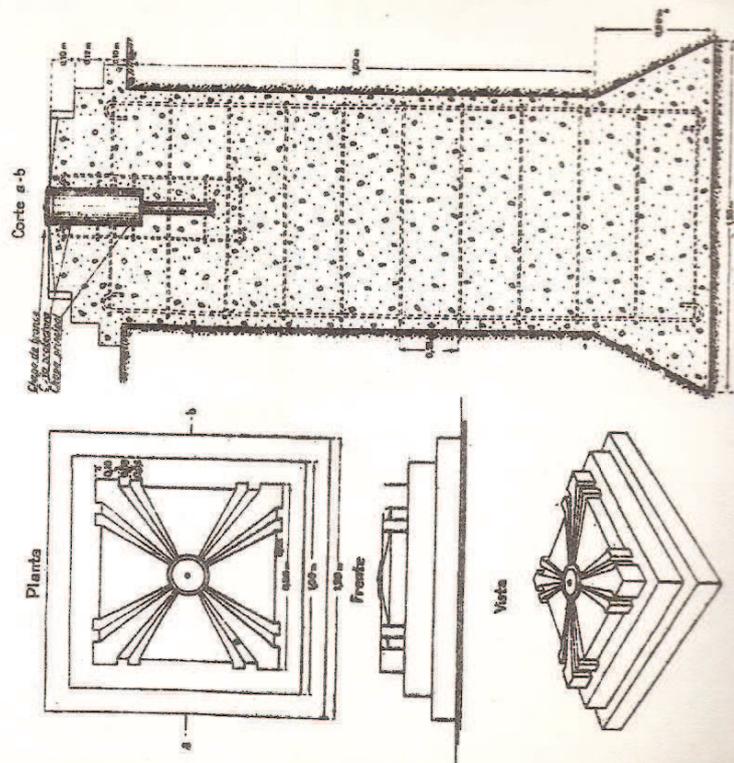
NOTA

Las cotas que se suministran corresponden a la marca ubicada sobre la chapa que corona el pilar.

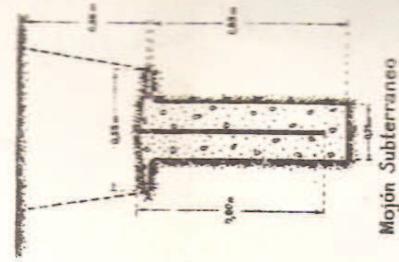
ALTIMÉTRICAS



Pilar de punto fijo - 2.ª categoría



Pilar de punto fijo - 1.ª categoría (Nodal)



PUNTO FIJO NODAL 84 – OLAVARRIA – PLAZA ALVARO BARROS



Punto fijo ubicado en el frente del edificio del Corralón Municipal a pocos metros del Nodal 84



PUNTO FIJO MUNICIPAL (Planta urbana)



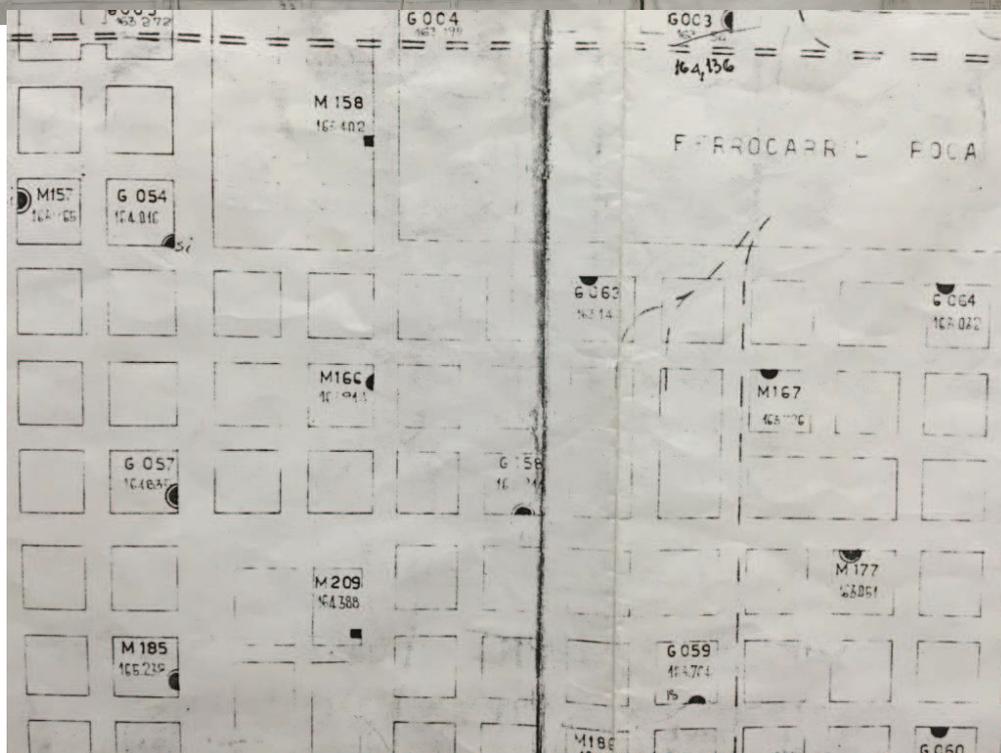
Planilla municipal con registros de puntos fijos altimétricos

MUNICIPALIDAD DE OLAVARRIA

REGISTRO DE PUNTOS FIJOS

DESIG.	TIPO	CALIF.	UBICACION	COTA	OBSERVACIONES
G 001	Mural	P	R.del Líbano esq.Avda.Pringles	162.376	
G 002	"	P	Avda.Colón esq.Avda. Pringles	162.374	
G 003	"	P	S.Martín esq. Avda.Pringles	163.784	
G 004	"	P	Avda.Pringles esq.Hornos	163.198	
G 005	"	P	Avda.Pringles esq.Avda.Del Valle	163.272	
G 006	"	P	Buchardo esq.Avda.Pringles	164.065	
G 007	"	P	Buchardo esq.España	164.495	
G 008	"	P	Avda.Del Valle esq.España	162.200	
G 009	"	P	S.Martín esq.España	162.580	
G 010	"	P	Necochea esq.España	162.552	
G 011	"	P	Avda.Colón esq.España	161.981	
G 012	"	S	R. del Líbano esq.España	161.743	
G 013	"	P	R. del Líbano esq.Rivadavia	161.060	
G 014	"	P	Avda.Colón esq.Rivadavia	161.327	
G 015	"	S	Necochea esq.Rivadavia	162.333	
G 016	"	-	Bronce O.S. - No fué tomado	- - -	
G 017	"	S	Hornos esq.Rivadavia	163.275	
G 018	"	P	Avda.Del Valle esq.Rivadavia	161.621	
G 019	"	S	Buchardo esq.Rivadavia	163.686	

PLANO DE UBICACIÓN DE PUNTOS FIJOS PLANTA URBANA OLAVARRIA (1959) Copia parcial. 4º Categ



Según la precisión de nivelación que materializa será la jerarquía del punto fijo, por lo tanto definirá su ubicación y construcción a los efectos de una correcta estabilidad y durabilidad. Como se observa existen instrucciones para su construcción, monografías, coordenadas, fotografías, etc.