

TEMA 1: GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN – IMPORTANCIA DEL ESTUDIO ALTIMÉTRICO

La superficie natural de la Tierra, 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 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 gravimétricos terrestres intentan representar mediante el geoide las variaciones de gravedad que modifican la definición local de una superficie de nivel).

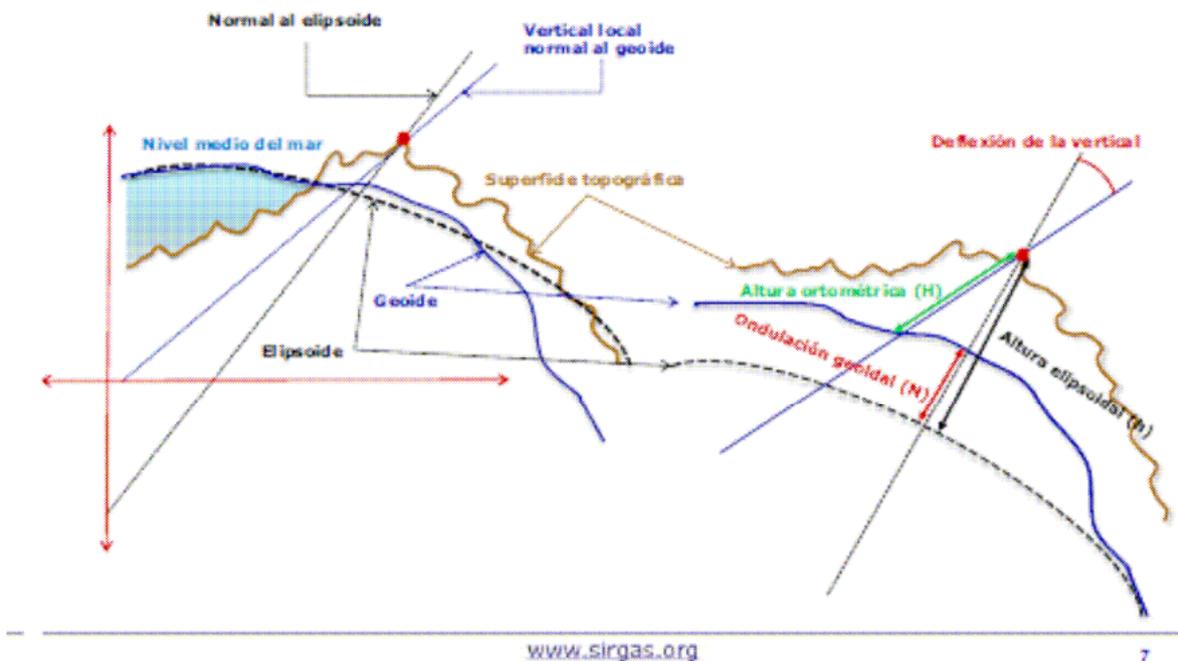
Para representar la superficie del terreno, se sigue uno de los métodos de proyección que se indican en geometría descriptiva, llamado proyección topográfica o plano acotado, el cual consiste en representar los puntos de la superficie del terreno por medio de su proyección horizontal y por un número 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 o curva de nivel. Para poder representar el terreno, es necesario dividir las operaciones topográficas en dos grupos:

- 1) 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.
- 2) 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.

Como aplicaciones claras del estudio altimétrico, tenemos las represas para riego, abastecimiento o generación eléctrica. El saneamiento de urbanizaciones, canalización de agua para consumo humano y estudio de inundaciones para planificación y desarrollo de urbanizaciones. A su vez, construcción de cominerías en su amplia concepción, trazado de vías férreas y líneas de conducción eléctrica, entre otros.

SUPERFICIES DE REFERENCIA



Altimetría:

La altimetría es la rama de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o "cota" de cada punto respecto de un plano o superficie de referencia.

Superficie de referencia:

A la superficie concéntrica a la tierra que se toma como referencia para la determinación altimétrica se les denomina superficie de nivel o superficie de referencia, y se define como aquella superficie continua, situada en cualquier posición, pero perpendicular a la gravedad resultando, por lo tanto, una superficie equipotencial.

Dentro de los límites propios de la topografía, las superficies de nivel pueden ser consideradas esféricas, y, por consiguiente, equivalentes y paralelas, pero por tal consideración no puede ser aceptada en geodesia.

Plano horizontal:

Es el plano normal a la dirección de la fuerza de gravedad en ese punto, por lo tanto es tangente a la superficie de nivel que pasa por dicho punto. En topografía, el plano horizontal y la superficie de nivel correspondiente pueden considerarse coincidentes dentro de las distancias a las cuales se realizan las visuales de nivelación.

Superficie topográfica:

La superficie topográfica es aquella en la cual se representa la tierra considerando todos los accidentes del terreno.

Geoide:

El geoide se puede definir como la superficie equipotencial que corresponde al nivel medio del mar.

Elipsoide:

Modelo matemático que representa a la Tierra, caracterizado por las constantes geométricas a (semieje mayor) y f (aplanamiento), y los parámetros físicos w (velocidad angular de rotación) y m (masa).

Nivel medio del mar:

Se define como el nivel promedio de las aguas tranquilas del mar durante un periodo determinado de tiempo. (*PSMSL*)

Cota:

Se denomina cota del punto a la distancia medida sobre la normal, entre éste y una superficie de referencia.

Cota ortométrica (H):

La cota ortométrica se define como la distancia vertical entre la superficie topográfica y la superficie del geoide.

Esta distancia se mide a lo largo de la línea de plomada, la cual es la curva que es tangencial a la dirección de la gravedad en cualquier punto. La línea de plomada no es una línea recta, ya que tiene una leve curvatura y giro, ya que la dirección de la gravedad varía dependiendo de las características de densidad local.

Cota elipsoidal (h):

Es la distancia entre la superficie del elipsoide y la superficie topográfica, la cual se mide a lo largo de la normal elipsoidal.

La magnitud y dirección de este vector dependen del elipsoide empleado.

Ondulación geoidal (N):

Tomada sobre la normal elipsoidal de un punto, es la distancia que separa al elipsoide del geoide

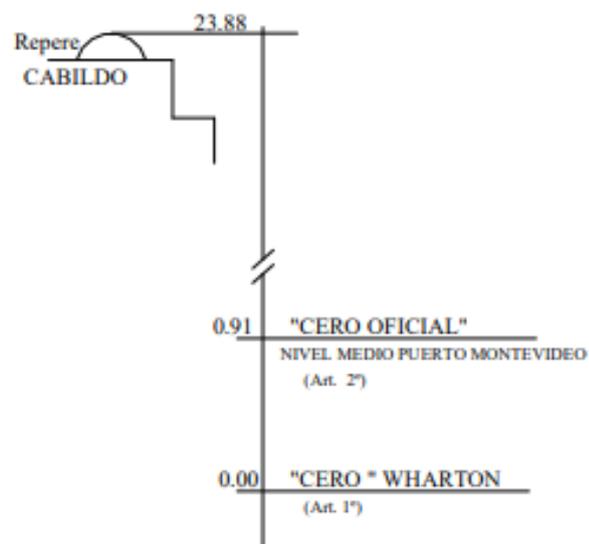
Se cumple que: $h = N + H$

SUPERFICIES OFICIALES DE REFERENCIA EN EL URUGUAY

Decreto del 20 de mayo de 1949 (sustitutivo del decreto del 20 de marzo de 1948):

Art. 1 – El plano horizontal que pasa a 23.88 por debajo del marcador ubicado en el año 1889 en el interior del edificio del Cabildo (ángulo Sur-Este del vestíbulo) queda fijado provisoriamente como plano único de referencia para los ceros de las escalas hidrométricas instaladas en el país y las que en adelante se instalen en zonas fluviales y lacustres.

Art. 2 – Mientras el país no cuente con observaciones suficientes que le permitan determinar el nivel medio del mar, fijase provisoriamente el nivel medio de las aguas en el puerto de Montevideo como base única para los acotamientos del relieve del territorio nacional. Este plano pasa a 22.97 por debajo del marcador descrito en el Art. 1º y a 0.91m sobre el plano horizontal de referencia indicado en el mismo artículo.



El punto que materializa el origen de las altitudes, se halla ubicado en el atrio del Cabildo de Montevideo y fue provisoriamente determinado en 1883, por el Capitán Wharton del buque inglés Sylvia, adoptado por el Ministerio de Fomento en 1899, adjudicándole el valor de 23,88 m sobre el nivel, relacionado con el plano de "Mayores bajamares teóricas", encontrándose 0.755 por debajo del cero determinado por el ingeniero Zanetti. Recién en el año 1949, se establece por decreto del 20 de marzo de 1948 y su modificativo de 20 de mayo de 1949 el "cero oficial"

Otras superficies de referencia en el Uruguay

Cero Zanetti: definido por el ing. Zanetti en 1887 en un punto cercano al Cubo del Sur, y a -0.155m respecto del cero oficial.

Cero Bonete: definido para la construcción de la Represa, se ubica a -0.612m respecto del Cero Oficial.

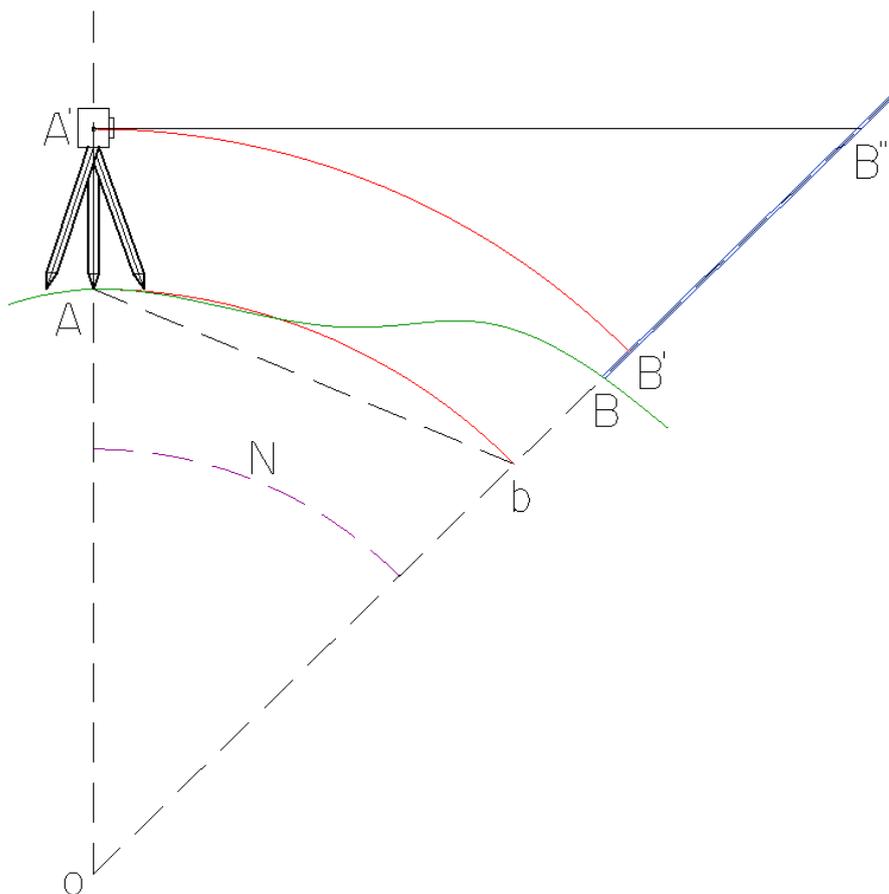
EFFECTOS ALTIMETRICOS POR CURVATURA DE LA TIERRA Y LA REFRACCIÓN ATMOSFERICA

Error de esfericidad:

Supongamos dos puntos **A** y **B** cuyo desnivel queremos hallar; Hacemos pasar por **A** la superficie de nivel **Ab** paralela a la superficie de nivel **N** de comparación, el desnivel buscado 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'-BB'**

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''**.



Dado que la distancia entre los puntos **A** y **B**, es muy pequeña en comparación con el radio terrestre (en topografía) se puede considerar que la distancia del **arco Ab** y la **cuerda Ab** son iguales, y lo denominaremos **d**.

Considerando el triángulo A'OB''.

Llamaremos R al radio OA=Ob

AA' = bB' =h (misma superficie de nivel)

D = A'B''

$\epsilon_c = B'B''$

$$D^2 = (R + h + \epsilon_c)^2 - (R + h)^2$$

R+h es conocido y llamaremos R'

$$D^2 = (R' + \epsilon_c)^2 - R'^2$$

$$D^2 = R'^2 + 2R'\epsilon_c + \epsilon_c^2 - R'^2$$

ϵ_c^2 se desprecia por ser mucho mas chico que ϵ_c

$$\varepsilon_c = \frac{D^2}{2R'}$$

h es aproximadamente de 1.5 metros dependiendo del usuario, pero dada la poca diferencia respecto al radio de la tierra se puede despreciar y considerar $R' = R$.

Error de Refracción:

El error de esfericidad se ve atenuado debido a que se comete un nuevo error de signo contrario, motivado por la refracción atmosférica. En general, las capas más densas son las más próximas a la Tierra y, por eso, la visual se refracta, dando lugar a una línea curva cuya convexidad se dirige hacia el cenit. Dirigiendo la visual a un punto por debajo de la visual horizontal, que llamaremos **B'''**.

Al error **B''B'''** se le denomina error de refracción.

El ángulo que forma **A'B''** con la cuerda de la curva **A'B'''** se denomina **ángulo de refracción r**, y este será la mitad del ángulo al centro **O'** de los puntos de la curva **A'** y **B'''**

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**, y los ángulos en el centro ω y $2r$ que subtenden arcos iguales verificarán las relaciones:

$$2r = \frac{D}{X} \text{ y } \omega = \frac{D}{R}$$

La relación $R/X = K$ (constante) denominado **Coefficiente de refracción**.

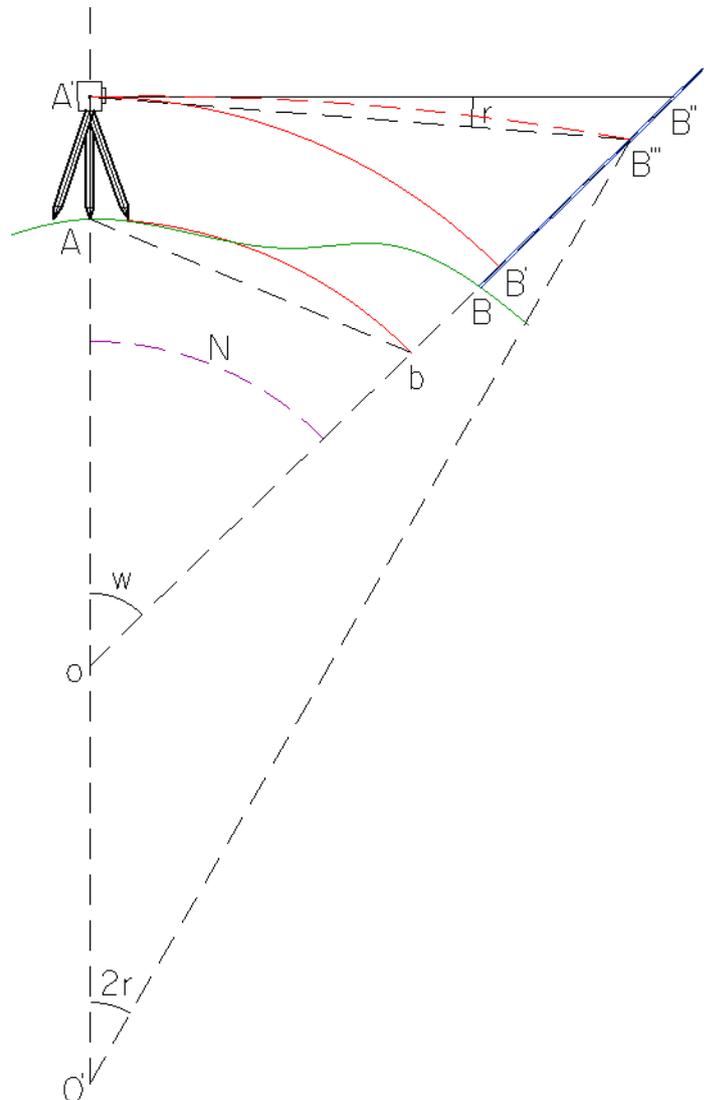
Considerando el triángulo **A'O'B''**

$$(X + \varepsilon_r)^2 = X^2 + D^2$$

$$X^2 + 2X\varepsilon_r + \varepsilon_r^2 = X^2 + D^2$$

Se desprecia el error de refracción al cuadrado por ser muy pequeño.

$$\varepsilon_r = \frac{D^2}{2X} \rightarrow \varepsilon_r = \frac{KD^2}{2R}$$



Desnivel verdadero y desnivel aparente:

El desnivel verdadero entre los puntos A y B. Será el desnivel de lectura (desnivel aparente) menos los errores de curvatura (o esfericidad) y refracción.

$$Z_V = B'b - B'B$$

$$Z_A = A'A - B'''B$$

$$A'A = B'b$$

$$Z_V - Z_A = B'''B - B'B = \varepsilon_C - \varepsilon_r$$

$$Z_V = Z_A + \varepsilon_C - \varepsilon_r$$

$$Z_V = Z_A + \frac{D^2}{2R} - \frac{KD^2}{2R} = Z_A + \frac{(1-K)D^2}{2R}$$

El error de esfericidad y refracción puede evitarse estacionando en un punto equidistante de los A y B cuyo desnivel interesa hallar. Este método de miras equidistantes, que como ya veremos, anula los errores sistemáticos propios de un nivel, sirve igualmente para eliminar los de esfericidad (suponiendo la tierra esférica) 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 sustraendo 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 se podría prescindir de la curvatura terrestre y la refracción atmosférica y considerar 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.

ALTURAS DINAMICAS – ALTURAS ORTOMETRICAS**Superficies de nivel no paralelas:**

Se ha definido la superficie de la tierra esférica, generando que las superficies de nivel sean concéntricas y paralelas, pero en realidad no es así, debido a la variación de la gravedad en los distintos lugares de la Tierra.

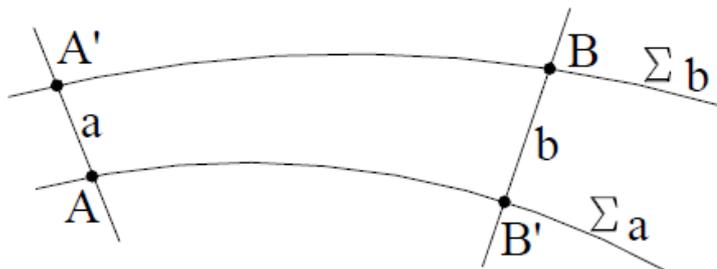
Un punto cualquiera está sometido a dos fuerzas principales: la atracción terrestre, que actúa en la dirección del radio del globo, que pasa por el punto, y la fuerza centrífuga, debida al giro de la Tierra, que le repele en el sentido del radio del paralelo.

La resultante de estas fuerzas es la que denominamos gravedad, y su dirección es la vertical del lugar. 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.

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.

Consideremos dos puntos, **A** y **B**, situados en un mismo plano meridiano, siendo Σa y Σb dos superficies de nivel que pasan por dichos puntos, y **AA'** y **BB'** las verticales en A y B respectivamente.



Sea $a=AA'$ y $b=BB'$

Supongamos que desplazamos un punto material según el recorrido $AA'BB'A$, y llamemos g_a y g_b las respectivas intensidades de la pesantez en A y en B.

El trabajo total será nulo porque partimos de un punto y llegamos al mismo punto.

En el trayecto **AA'** el trabajo será:

$$T = mg_a a$$

Y en el trayecto **BB'**

$$T' = -mg_b b$$

$$mg_a a - mg_b b = 0 \rightarrow \frac{a}{b} = \frac{g_a}{g_b}$$

Ahora bien, entre A y B la pesantez varía según la expresión obtenida por **Clairaut y Bouger**

$$g = g_{45}^0 (1 - \alpha \cos 2\varphi - \beta h)$$

Donde:

- g_{45}^0 = intensidad de la pesantez al nivel medio del mar en un punto de 45° de latitud.
- φ = latitud del punto donde la pesantez tiene la intensidad g .
- h = altura del punto
- $\alpha = 0.0264$
- $\beta = 0.000000196$

Si **A** y **B** no están a la misma latitud ni a la misma altura, las intensidades de la gravedad g_a y g_b serán distintas, al igual que los segmentos a y b que separan ambas superficies de nivel.

Como esa distancia es inversamente proporcional a la diferencia de intensidad entre g_a y g_b , al variar éstas con la latitud, varía también la distancia entre ambas superficies.

Si efectuamos una nivelación entre **A** y **B** según el recorrido **AA'B**, el desnivel será igual a a , y si siguiéramos el recorrido **AB'B**, en este caso el desnivel será b . Entonces, **el desnivel entre dos puntos A y B depende del itinerario seguido entre ambos puntos.**

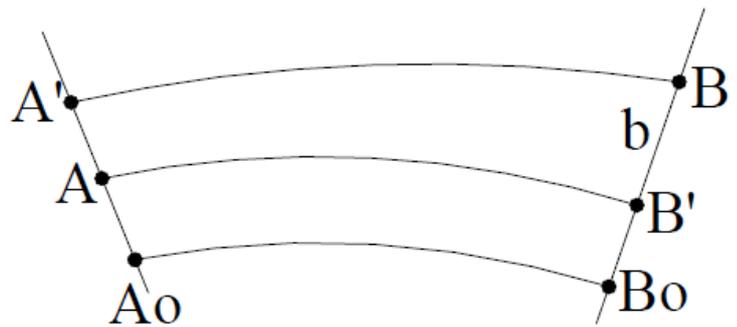
Si siguiéramos el recorrido **AA'BB'A**, **encontraremos que el desnivel no es 0 sino $(a-b)$.**

Además, si partimos de **A** (superficie de nivel **AB'**), siguiendo el camino **AB'B**, la diferencia de cota es **b=B'B**.

Si referimos las medidas a una superficie de referencia (nivel cero), la diferencia de altura entre **A** y **B** será:

$$B_0B - A_0A = B_0B' + b - A_0A \rightarrow B_0B - A_0A = b + (B_0B' - A_0A)$$

donde **B₀B'** no es igual a **A₀A** porque las superficies de nivel no son paralelas, por consiguiente, **la diferencia de altitud entre dos puntos no es igual a la diferencia de cotas.**



En particular, según la fórmula de Clairaut y Bouger, para un punto situado en el nivel del mar, en el Ecuador y en el Polo tenemos:

$$\text{En el Ecuador: } g_E^0 = g_{45}^0(1 - \alpha) = g_{45}^0(0.99736)$$

$$\text{En el Polo: } g_P^0 = g_{45}^0(1 - \alpha) = g_{45}^0(1.00264)$$

En otras palabras, para ser más gráficos, si el nivel del mar subiera 100m en un punto situado a 45° de latitud, en el ecuador subiría a 100m264 y en los polos a 99m736.-

BIBLIOGRAFÍA

- Cien años de Geodesia en el Uruguay, Cnel Ac. Yvho Acuña
- 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)