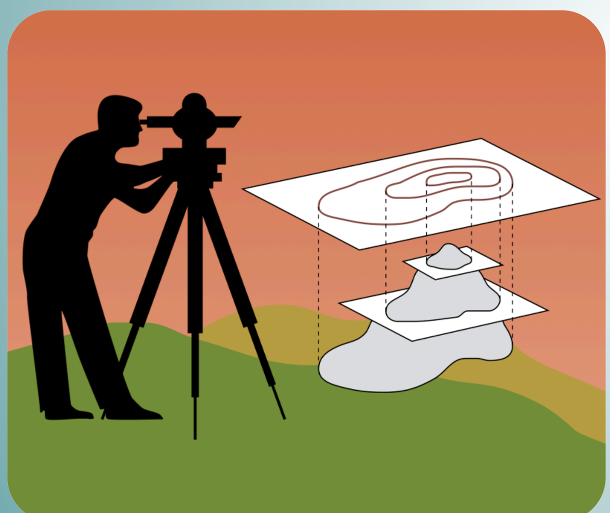
UC
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

open course ware

Topografía y Geodesia-G337

Bloque II. Tema 1.
Geodesia y Proyección UTM



Javier Sánchez Espeso

Raúl Pereda García

DPTO. DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

Y TÉCNICAS DE EXPRESIÓN GRÁFICA

Introducción. Planteamiento general.

1.- Zonas de pequeña extensión. Ámbito de la **TOPOGRAFÍA**

Se pueden llegar a utilizar "coordenadas planas".

Los visto hasta ahora, se determina X, Y, Z.

No es recomendable en el año 2013.

2.- Zonas amplias. Ámbito de la **GEODESIA.**

Los observables se deben llevar al elipsoide. Reducción

Del elipsoide se proyectan (UTM). Proyección

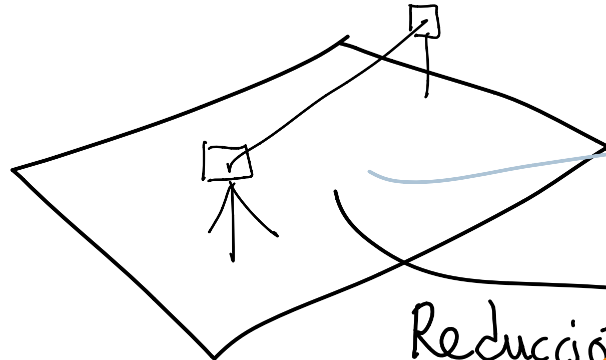
La altimetría está referida al Geoide.

Trabajar SIEMPRE con esta metodologia

Introducción. Planteamiento general.

TOPOGRAFIA

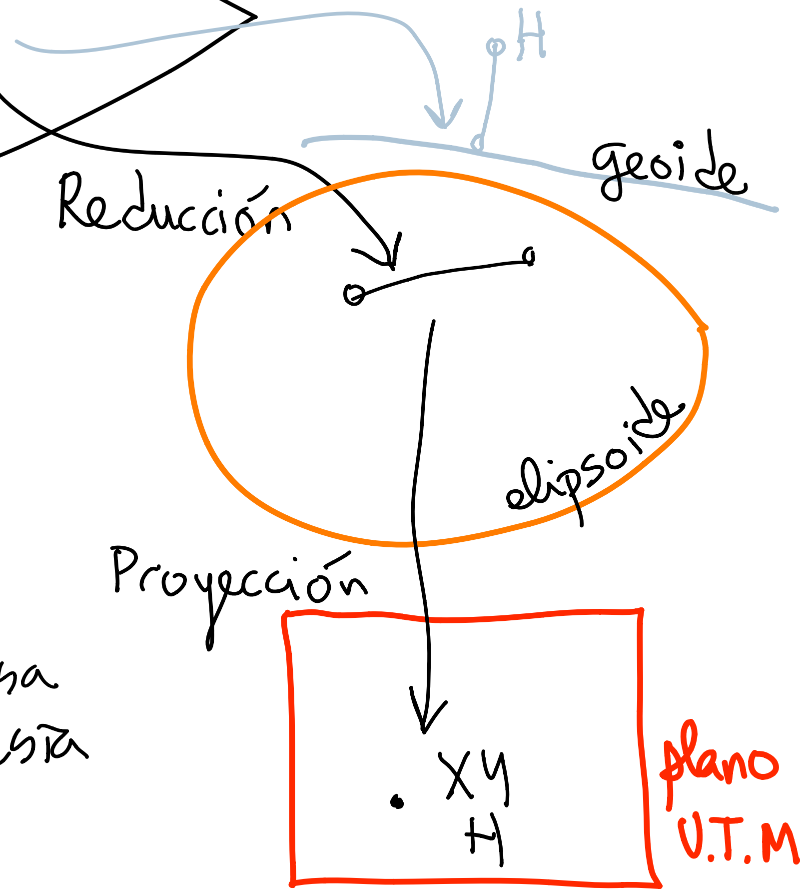
- Extensiones pequeñas
- "Coordenadas planas"
- Lo visto hasta ahora

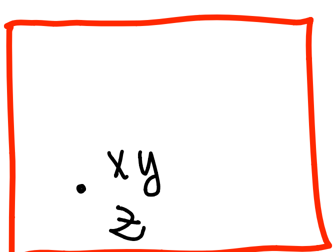


d, H, V, i, m

[x, y, z]

GEODESIA





Horizonte estación

Topografía usa métodos geodesia

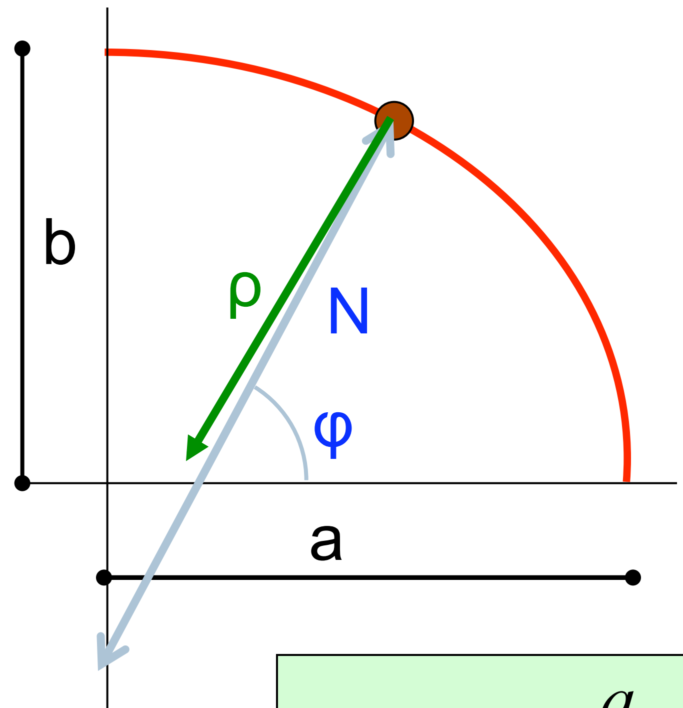
Introducción. Planteamiento general.

- **Ventajas:**
  - Uso de un sistema referencial único establecido, materializado en los vértices geodésicos (REGENTE, ROI) y en los clavos de nivelación (RNAP).
  - Permite coordinar trabajos diferentes.
  - Uso directo de bases cartográficas numéricas oficiales: MTN, Hacienda, Comunidades,…

- **"Inconvenientes":**
  - Tratamiento de las observaciones es más complejo:
    - Reducción: reducida media, cuerda, arco.
    - Proyección: anamorfosis.
    - Correcciones angulares.
    - Correcciones altimétricas.
    - Corrección ortométrica.
  - Algunos de los valores observados en el terreno (ángulos y/o distancias) no son los que se representan en el plano.

Introducción. Geodesia física.

Como figura de aproximación de la superficie de la tierra usa un **elipsoide,** caracterizado por los siguientes parámetros básicos:



- Semiejes: mayor a, menor b
- Aplanamiento: $\alpha = (a-b)/a$
- Primera excentricidad: $\varepsilon^2 = (a^2-b^2)/a^2$
- Gran Normal : $N = R_1$
- Segunda Curvatura : $\rho = R_2$
- Radio local medio : $R = (R_1.R_2)^{1/2}$

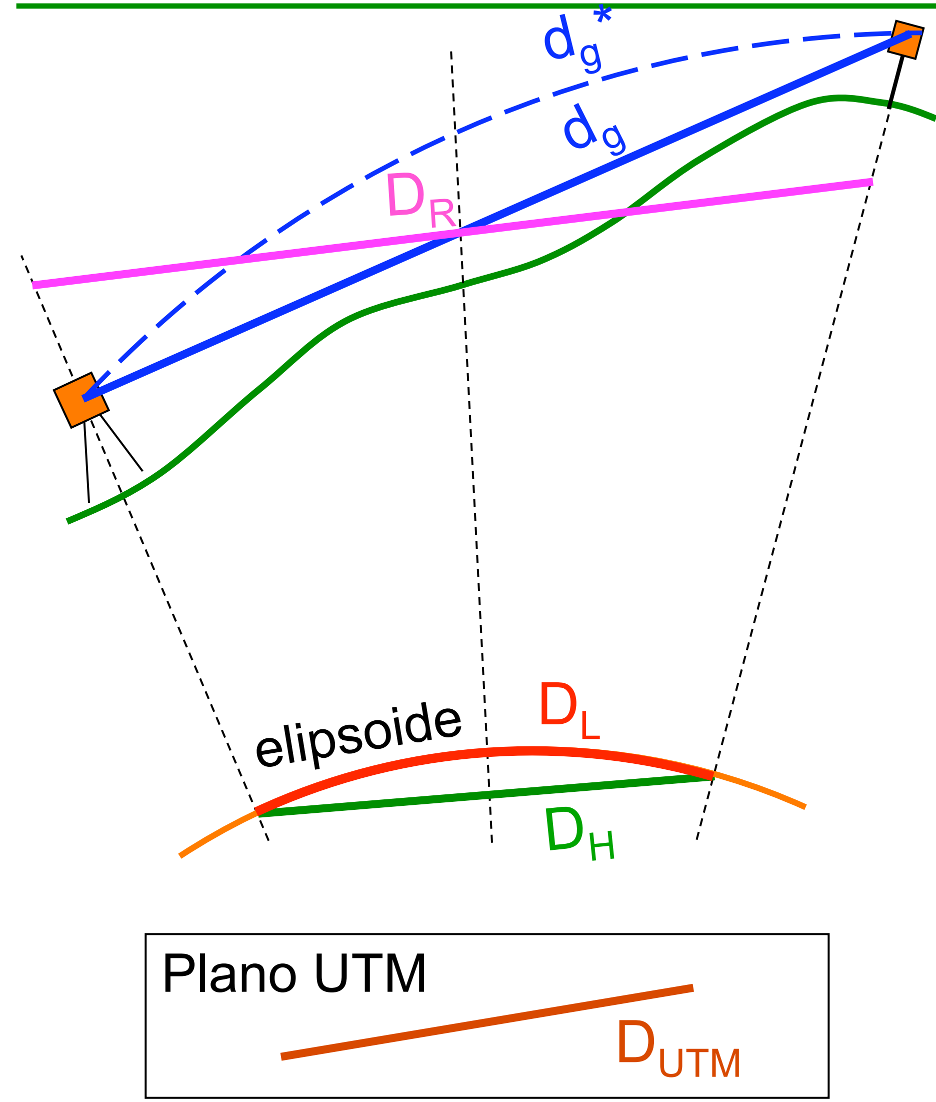
$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \cdot sen^2\varphi}}$$

$$\rho = \frac{a \cdot (1 - \varepsilon^2)}{\sqrt{(1 - \varepsilon^2 \cdot sen^2\varphi)^3}}$$

Introducción. Geodesia física.

- A partir de Julio 2007, se establece de uso obligado para la referenciación geográfica y cartográfica en la península el sistema de referencia ETRS89.
  - a = 6.378.137,000 m
  - b = 6356752.314
  - α = 1 / 298,257223563
  - ε^2 = 0.00669438 (primera excentricidad al cuadrado)
  - ω = 7292115,0 $*10^{-11}$ rad/s (velocidad angular de rotación de la tierra).
  - GM = 3986004,418 $* 10^8$ m^3/s^2 (constante gravitacional de la tierra)
- Hasta Julio 2007, el elipsoide de uso obligado para la referenciación geográfica y cartográfica en la península ha sido el elipsoide Internacional, European Datum 1950 (ED50) o Hayford:

Introducción. Planteamiento general.



Dist. geométrica observada: **dg***

Corrige por refracción

Dist. geométrica corregida: **d_g**

Reduce al horizonte medio

Dist. reducida horizonte: **D_R**

Reduce al elipsoide

Dist. reducida cuerda: **D_H**

Lleva sobre el elipsoide

Dist. Red. elipsoide o geodésica: **D_L**

Proyecta al plano UTM

Dist. UTM: **D_{UTM}**

REDUCCIÓN

PROYECCIÓN

1.- Corrección meteorológica.

1.- Influencia de la **refracción atmosférica** en la determinación de la distancia con Estación Total.

Índice de refracción: n = c / v

- **Atmósfera estándar** usualmente empleada por la instrumentación de medida:
  - Instrumentación oriental: P=1013 mb, t=15º, H=60%.
  - Instrumentación centro-europea: P=1013 mb, t=12,5º, H=60%.
- Para otras condiciones, se determina la corrección exigida por la **atmósfera real**: P, t, H (usualmente se sustituye por e, presión vapor agua) :
  - Uso de tablas o formulas, proporcionados por el fabricante.
  - Para mayor precisión, o distancias largas, n_s: atmósfera estándar; n_r: atmósfera real:

$$ppm = \left[\frac{n_{est}}{n_{real}} - 1\right]$$

1.- Corrección meteorológica.

Índice de refracción, atmósfera real

$$n_{tpe} = 1 + \frac{n_{gs} - 1}{1 + \alpha \cdot t} \cdot \frac{p}{760} - \frac{5{,}5 \cdot e}{1 + \alpha \cdot t} \cdot 10^{-8}$$

Constantes:

- **n_{gs}**= 1,000294
- **α** = 1/273,2. Coeficiente dilatación aire.

Parámetros:

- **t**: temperatura, expresada en ºC.
- **p**: presión total, expresada en mm Hg.
- **e**: presión parcial de vapor de agua, expresada en mm Hg.

(1 atm = 760 mm Hg = 1013 mb)

1.- Corrección meteorológica.

Índice de refracción, atmósfera real

Para determinar **e**, indirectamente relacionada con la humedad, 2 opciones:

1. Conocidas las temperaturas seca y húmeda.

$$e = E - 0{,}00066 \cdot (1 + 0{,}00115 \cdot t_h) \cdot p \cdot (t_s - t_h)$$

$$\log E = 26{,}12612 - \frac{3049{,}50}{273{,}2 + t_h} - 5{,}8697 \cdot \log(273{,}2 + t_h)$$

2. Conocidas la humedad relativa y la temperatura (seca)

$$e = \frac{H\%}{100} \cdot E$$

$$\log E = 26{,}12612 - \frac{3049{,}50}{273{,}2 + t} - 5{,}8697 \cdot \log(273{,}2 + t)$$

2.- Reducción de distancias.

2.1. Distancias cortas (d ≈ 2km).

A.- Reducida al horizonte. Se toma el horizonte de la estación, que coincide con la reducida topográfica de uso habitual.

$$D_R = d_g \cdot senV$$

B.- Reducción al nivel del mar.

$$D_H = D_R \cdot C_R$$

$$C_R = 1 - \frac{H_m}{R} + \frac{H_m^2}{R^2}$$

C.- Reducción de la cuerda al arco. (Esta corrección, para distancias < 10 km, es inferior a 1 mm)

$$D_L = D_H$$

Por tanto, a partir de una distancia geométrica observada (corregida meteorológicamente), la distancia en la superficie de referencia es:

$$D_L = D_R \cdot C_R$$

2.- Reducción de distancias.

2.2. Distancias largas. (d > 2km).

B.- Tratamiento conjunto. A partir de la distancia geométrica corregida, se procede directamente a obtener la distancia reducida a la cuerda en la superficie de referencia (D_H).

$$D_H = \sqrt{\frac{d_g^2 - (H_B - H_A)^2}{\left(1 + \frac{H_A}{R}\right) \cdot \left(1 + \frac{H_B}{R}\right)}}$$

Donde:

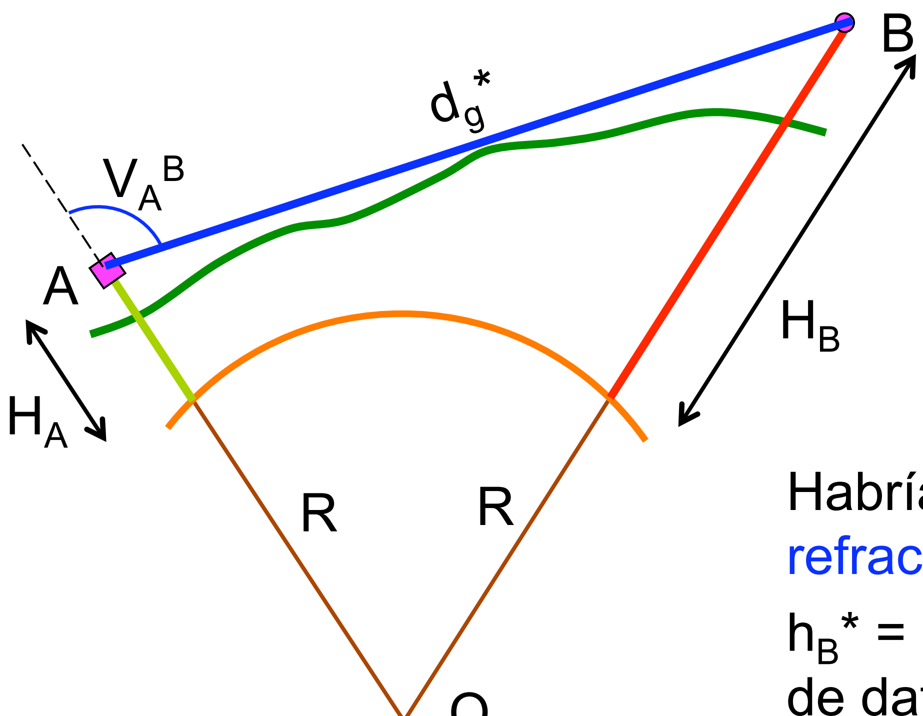
- $H_A = h_A + i_A$
- $H_B = h_B + m_B$
- R: radio medio, o radio local medio.

Observar que R, h_A, i_A y m_B son conocidos, pero se desconoce h_B.

2.- Reducción de distancias.

2.2. Distancias largas.

B.- Tratamiento conjunto. Para la obtención de la cota del punto visado, se aplicará el teorema del coseno, y se deberá corregir el valor obtenido por efecto de la refracción.



Datos:

d_g^*, V_A^B, $H_A = h_A + i_A$, m_B.

Se denomina $H_B = h_B + m_B$

Aplicando T. coseno:

$OB^2 = OA^2 + d_g^{*2}$
$-2.OA.d_g^*.\cos(200^{gr} - V_A^B)$,
se obtendrá h_B.

Habría que corregir por efecto de la refracción el valor anterior:

$h_B^* = h_B - \mathbf{F} {}^*D^2/R$. Si no se dispone de datos para su cálculo, F=0,08.

2.- Reducción de distancias.

2.2. Distancias largas.

Obtenida D_H, se precisa pasar a la superficie de referencia, aplicando la siguiente corrección.

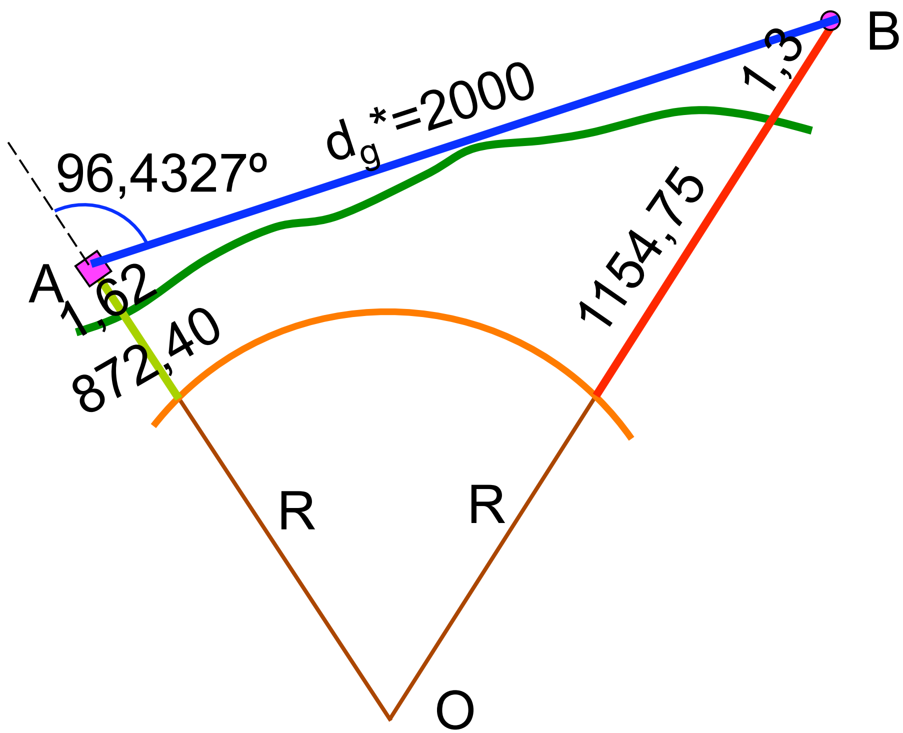
Reducción de la cuerda al arco.

Esta corrección para distancias < 10 km, es inferior a 1 mm, siendo significativa para distancias > 22 km, para las que vale 10 mm.

$$\boxed{D_L = D_H + \frac{D_H^3}{24 \cdot R^2}}$$

2.- Reducción de distancias.

Cuantificación numérica: un caso concreto



Distancia geométrica: 2000 m

Reducida Topográfica: 1996.861m

Distancia elipsoide: 1996.587 m

La distancia disminuye en 0,274m, supone 13.7 cm/km

Factor Reducción:

Delipsoide / D reducida = 0,9998628

Depende fundamentalmente de la altitud de la zona de trabajo h

2.- Proyección UTM.

- Una vez se han reducido las observaciones efectuadas en campo a la superficie de referencia (D_L, ángulo horizontal corregido), se debe proceder a su proyección empleando un sistema de representación cartográfico.
- Para la cartografía terrestre oficial, a escalas mayores de 1/500.000, el RD 1007/2007 establece el sistema de coordenadas **ETRS-Transversa Mercator**.
- Para la transformación de posiciones en la superficie de referencia (λ,φ) al plano UTM (X,Y), así como para la obtención de valores característicos (convergencia de meridianos, ω), existen multitud de aplicaciones en ámbito de la ingeniería civil.
- En Ingeniería, es importante conocer la repercusión del **uso de la proyección en la distancia**.

2.- Proyección UTM.

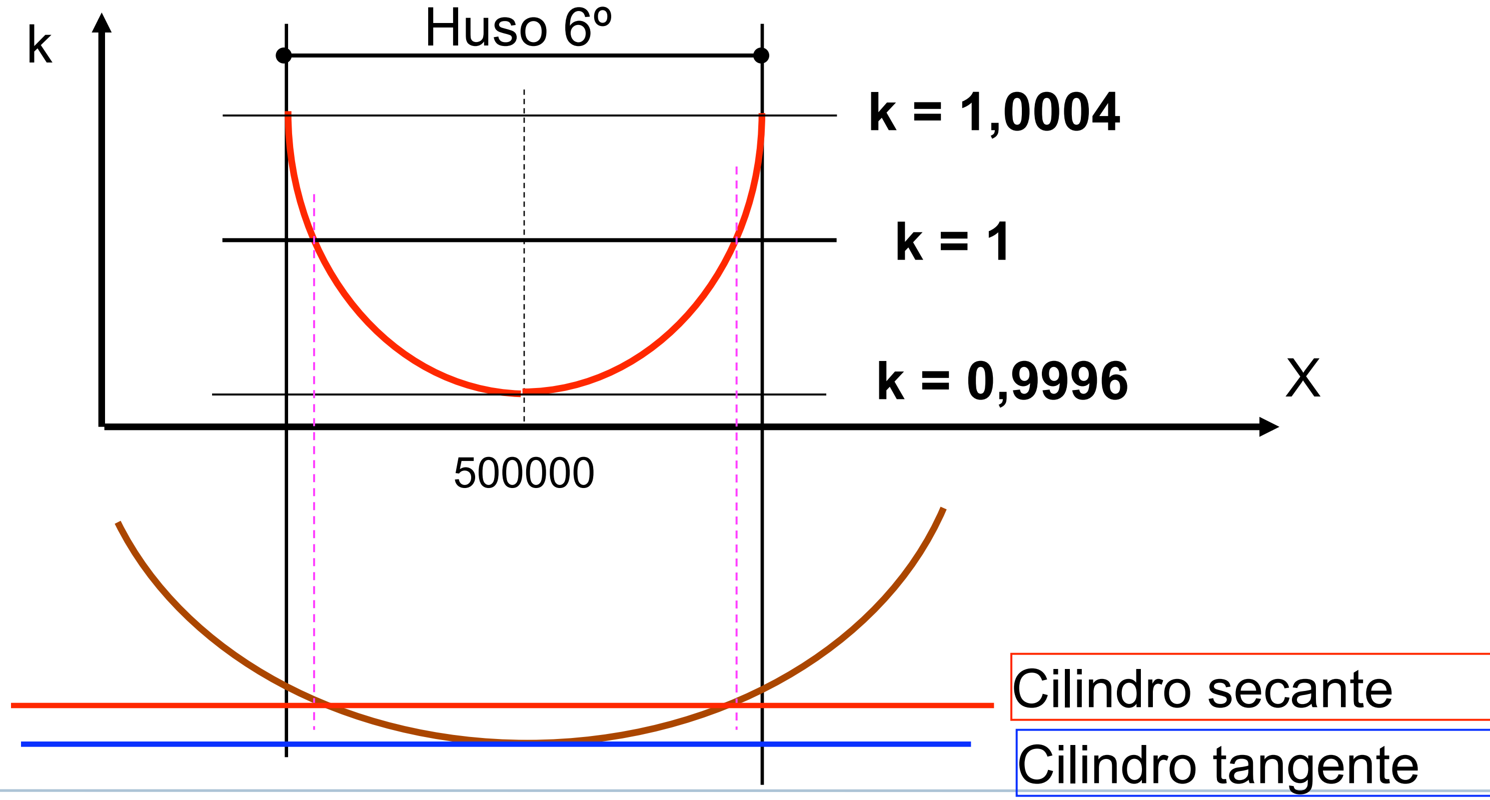
Aspectos generales: expuestos en el Bloque 1.

Definición inicial de la proyección UTM:

- Proyección conforme.
- Meridiano central automecoico.
- Plano de representación es único.
- Las deformaciones de la proyección deben ser menores de la tolerancia establecida
- Sistema de referencia básico en el elipsoide: meridiano central del huso.
- Sistema de referencia básico en la proyección:
  - Ordenadas X: transformada del meridiano central
  - Abcisas Y: transformada del ecuador
- Retranqueos del eje X (hemisferio N) y X e Y (hemisferio S).
- Para reducir las deformaciones, se "aprovecha" el factor de escala y se impone que el cilindro sea secante a lo largo de 2 meridianos.

2.- Proyección UTM.

Se denomina distancia en proyección UTM (**D_{UTM}**) al producto de la distancia sobre el elipsoide (**D_L**) por un factor de escala (**k**) consecuencia del uso de la proyección, denominado coeficiente de anamorfosis. $D_{utm} = k * D_{elipsoide}$



2.- Proyección UTM.

Expresiones que proporcionan el valor del coeficiente de anamorfosis, para una posición concreta:

A.- Conociendo las coordenadas proyectadas (**X**,Y) del punto :

$$\boxed{k = k_0 \cdot \left(1 + 0{,}012325 \cdot q^2\right)}$$

$$k_0 = 0{,}9996 \qquad q = \left|X - 500.000\right| \cdot 10^{-6}$$

B.- Conociendo las coordenadas geográficas (λ,**φ**) del punto:

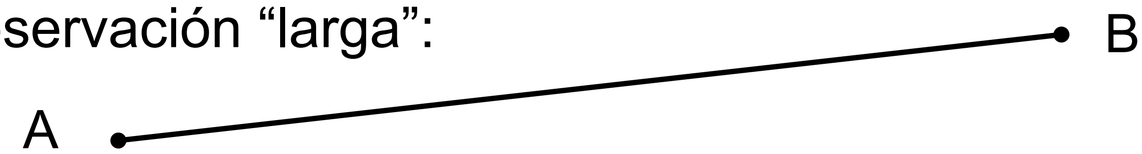
$$\boxed{k = k_0 \cdot \left(1 + A \cdot p^2\right)}$$

$$k_0 = 0{,}9996 \qquad p = \Delta\lambda \cdot 10^{-4}$$

$$A = \frac{1}{2} \cdot \cos^2 \varphi \cdot \left(1 + \eta^2\right) \frac{10^8}{206265} \qquad \eta = \varepsilon' \cdot \cos\varphi$$

2.- Proyección UTM.

- El coeficiente de anamorfosis lineal depende de la posición del punto.
- En un proyecto, respecto a la variación del coeficiente de proyección:
  - Si el proyecto discurre en la dirección N-S, la variación es mínima.
  - Si el proyecto discurre en la dirección W-E, la variación puede ser significativa.
- Problemática particular que se puede presentar en una observación “larga”:



Se debe proceder a integrar el coeficiente K, una expresión de uso habitual es $k = (k_a+4k_m+k_b)/6$

2.- Proyección UTM.

Proyección: Cuantificación numérica en un ejemplo concreto.

Distancia Geométrica: 2000 m

Distancia reducida Topográfica: 1996.861m

Distancia reducida al elipsoide: 1996.587 m

Reducción: **13.7 cm/km**, equivale a **0,9998268 ppm**

Distancia en proyección UTM: 1995.988 m

Coeficiente anamorfosis: **k=0,999700**

Supone reducir 0,599 m, **30 cm / km**

Globalmente, se ha reducido la distancia reducida topográfica al usar la proyección UTM en **44 cm/km**

No se consideran las implicaciones angulares (reducción angular a la cuerda, convergencia de meridianos)

3.- Replanteo UTM.

- El replanteo es el proceso inverso a la toma de datos, consistente en plasmar en el terreno entidades o detalles representados en planos, que emplean la proyección planimétrica UTM.
- **Datos precisos** que se precisa para cada punto a replantear:
  - Coordenadas planimétricas UTM y altimétricas para el punto (P)
  - Coordenadas para la base de replanteo, tanto para la estación (E) como para la referencia (R).
  - Coeficientes característicos: reducción (C_R) y proyección (k).
- Se determinarán los siguientes valores necesarios para el replanteo desde la base de replanteo para cada punto en el terreno:
  - A partir de las coordenadas correspondientes en el plano UTM:
    - Acimut a la referencia θ_E^R, acimut al punto θ_E^P, distancia en el plano UTM al punto $D_E^P{}_{UTM}$.
  - Cálculo de la distancia reducida topográfica para el punto P: $D_E^P{}_{TOP} = D_E^P{}_{UTM} / (C_R * k) = D_E^P{}_{UTM} / C_{REP}$.
  - Altimétricamente, a partir del dH_E^P, y para una i y m dados, se determinará el ángulo cenital preciso, V_E^P.

4.- Aspectos geodésicos en alzado.

En el tratamiento de las observaciones topográfico – geodésicas clásicas, se debe tener presente:

- Los **desniveles** se observan siempre en la superficie terrestre, **referidos al geoide** (materializado por el NMMA).
- Si se emplea **nivelación trigonométrica**:
  - Se debe corregir por efecto de la **refracción** (poco conocido, depende condiciones atmosféricas momento observación) y por efecto de la **curvatura terrestre** (bien conocido, geométrico).
  - Si solo se dispone de observación cenital desde un extremo de la visual, se deberán emplear valores medios para corregir la refracción. Si se dispone de visuales recíprocas, se puede estimar o eliminar la refracción.
- Si se emplea **nivelación geométrica**:
  - Se deberá corregir por la falta de paralelismo de las superficies equipotenciales.
  - Surge un nuevo concepto, a partir de la altitud geométrica: altitud ortométrica.

4.1- Esfericidad terrestre y refracción.

Si se considera el tratamiento conjunto de la esfericidad y de la refracción, en la nivelación trigonométrica:

$$C = C_{esf} + C_{ref} = 0{,}5 \cdot \frac{D^2}{R} - 0{,}08 \cdot \frac{D^2}{R} \qquad [1]$$

La expresión final para el cálculo de desniveles trigonométricos:

$$\boxed{\Delta Z_a^b = D_a^b \cdot \mathrm{cotg} V_a^b + i_a - m_b + 0{,}42 \cdot \frac{D^2}{R}}$$

Si se quiere mejorar la expresión anterior [1], se ha de proceder a **determinar el efecto de la refracción** en el momento de la observación en una visual A-B:

- Se requiere conocer los **cenitales recíprocos** A-B: V_A^B y V_B^A.
- Se pueden **observar en el mismo instante** (simultáneos) **o no**.

Importante: se deben **reducir al terreno**, o imponer en la observación que se verifique que las alturas equipo-puntería son idénticas:

$i_A = i_B = m_A = m_B$.

4.2- Método de las visuales aisladas.

El planteamiento más sencillo: observación de las visuales recíprocas aisladas para una visual A-B.

Se procede a determinar el **coeficiente de refracción (F)** en la visual.

$$F = \frac{1}{2} + \frac{R}{2 \cdot D}\left[\left\{200 - \left(V_A^B + V_B^A\right)\right\}\frac{10^4}{636620}\right]$$

4.3- Método de las visuales simultáneas.

El planteamiento más preciso: observación de las visuales recíprocas simultáneas para una visual A-B.

Se procede a determinar directamente el desnivel entre los extremos.

$$\Delta H = D \cdot \left[1 + \frac{H_m}{R}\right] \cdot tg \frac{1}{2}\left(V_B^A - V_A^B\right)$$

4.4- Nivelación geométrica de precisión.

Se denomina **nivelación geométrica de precisión** a la que logra una precisión de 1 mm/km.

Para conseguir este tipo de nivelación se precisa:

- Método del punto medio.
- Niveladas cortas, entre 20 y 25 m.
- Uso de un nivel óptico / digital automático de precisión.
- Empleo de miras invar, convencionales o codificadas, y accesorios complementarios para asegurar verticalidad.
- Señalizar convenientemente el itinerario.

4.4- Nivelación geométrica de precisión.

Corrección ortométrica.

Conceptos previos:

- Las altitudes son alturas referidas a las superficies equipotenciales del campo gravitatorio terrestre.
- Entre 2 superficies de nivel o equipotenciales, el trabajo realizado al elevar una unidad de masa es el mismo, al moverse según la vertical entre las mismas.

$$T = F * h = m * g * h$$

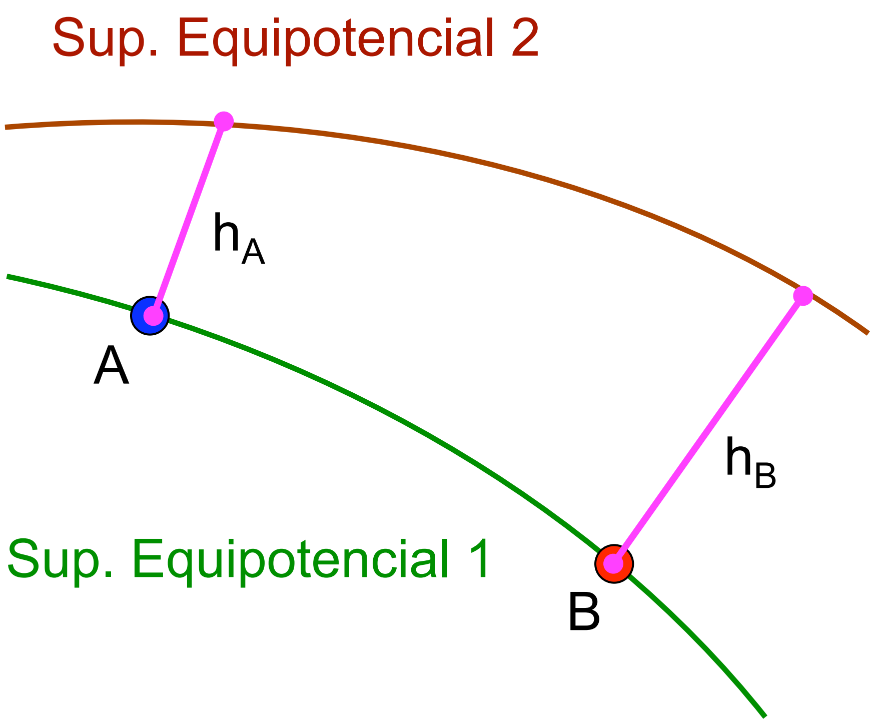
- Cada punto de la superficie terrestre tiene un valor de la gravedad distinto, cuantificado por la expresión de Laplace:
  - La gravedad es la composición de las fuerzas de atracción terrestre y de la fuerza centrífuga.
  - La fuerza centrífuga no existe en los polos, y es máxima en el ecuador.
  - En consecuencia, la gravedad es máxima en los polos y mínima en el ecuador.

4.4- Nivelación geométrica de precisión.

Corrección ortométrica.

Gravedad, ecuación de Laplace

$$g_{\varphi} = g_0(1+\beta.\text{sen}^2\varphi)$$



Entre 2 superficies equipotenciales 1 y 2, el trabajo deberá ser el mismo:

$$T = h_A{}^*g_A = h_B{}^*g_B \qquad [1]$$

Como se ha expuesto, la gravedad no es constante, verificándose $g_A > g_B$, supuesto que $\varphi_A > \varphi_B$.

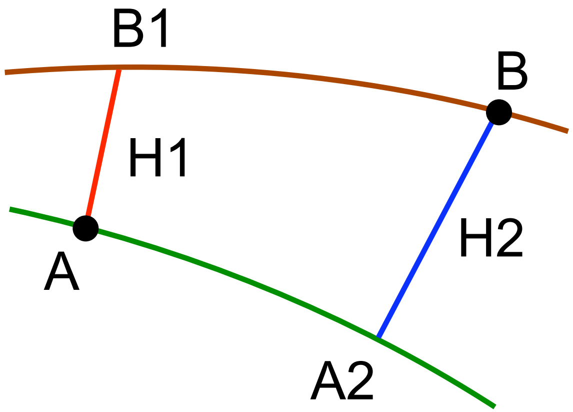
Por tanto, se deberá verificar que $h_A < h_B$, o lo que es lo mismo, las superficies equipotenciales 1 y 2 (y a cada superficie equipotencial le corresponde la misma altitud) NO son paralelas.

4.4- Nivelación geométrica de precisión.

Corrección ortométrica.

Ejemplos de la incidencia de la falta de paralelismo de las superficies equipotenciales de referencia en la nivelación geométrica

A.- **Itinerario abierto, entre 2 puntos**: A y B.



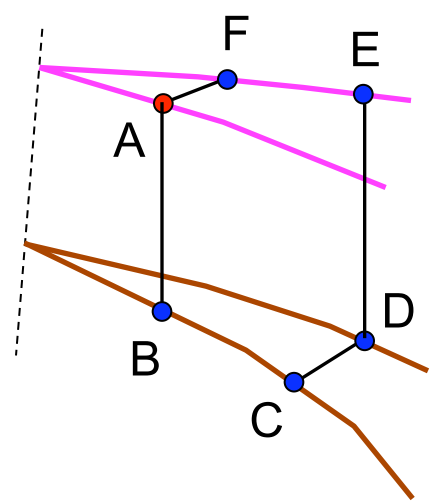
Si se sigue el camino A-A2-B, se observará **H2**.

Si se sigue el camino A-B1-B, se observará **H1**.

Como H1≠H2, *la* ***altitud de B es distinta según el camino***

B.- Itinerario cerrado.

Se realiza el itinerario cerrado A-B-C-D-E-F-A



En la nivelación geométrica, se observará un ***error "aparente"*** de valor DE – AB.

4.4- Nivelación geométrica de precisión.
Corrección ortométrica.

- En los desniveles obtenidos a partir de nivelación geométrica, al no ser las superficies equipotenciales paralelas aparecen errores que pueden ser inadmisibles para una cierta tolerancia, que se manifiestan en la nivelación geométrica de alta precisión para itinerarios de gran longitud.
- Se exige definir un sistema de altitudes corregidas.
- Se definen las **altitudes ortométricas**:
  - La altitud ortométrica de un punto es la altura entre el punto y la superficie equipotencial cero (NMMA).
  - Un desnivel ortométrico se obtiene como la combinación de un desnivel geométrico y de la corrección del mismo por efecto de la variación de la gravedad (**corrección ortométrica**).

4.4- Nivelación geométrica de precisión.

Corrección ortométrica.

La **corrección ortométrica** se obtiene a partir de la expresión de Laplace para el valor de la gravedad, y toma la expresión.

$$dh = -h \cdot \beta \cdot sen\left(2 \cdot \varphi_m\right) \cdot \Delta\varphi$$

Siendo:

- h: altitud media de la zona de trabajo, expresada en m.
- β : constante, de valor 0,005288
- φ_m: valor medio de las latitudes extremas de la zona de trabajo.
- $\Delta\varphi$: diferencia entre las latitudes extremas de la zona de trabajo, expresada en radianes.
- sentido de la corrección (signo -): opuesto a la variación del $\Delta\varphi$.