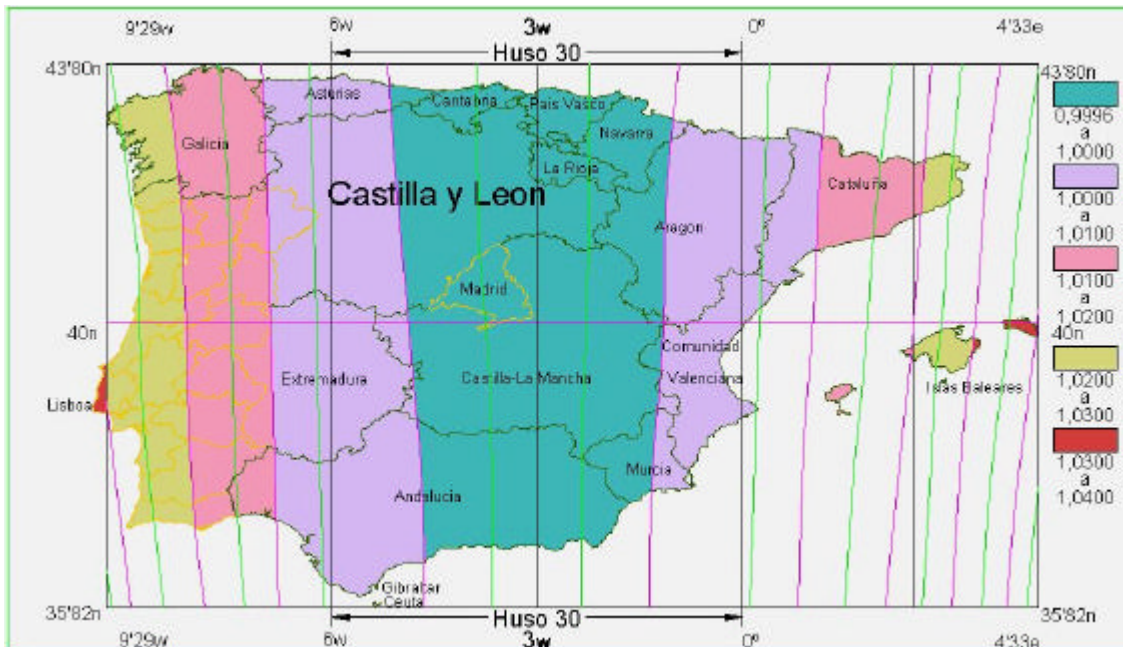
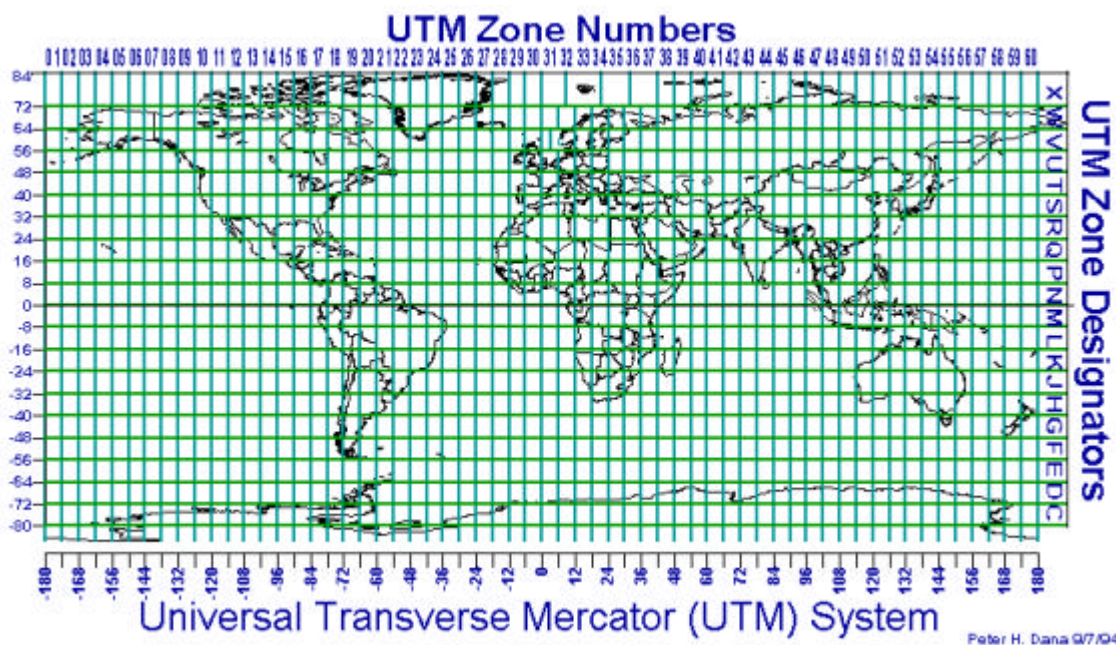


A causa de forzar la representación de posiciones geográficas correspondientes a otro huso UTM, implica que el factor de escala gráfica aumente en mayor medida en los exteriores del huso central de representación, lo que origina que para la representación de la península y baleares esta distorsión de escala llegué a tomar valores de 1.04, lo que supone una distorsión lineal de un +4%:



## 4 SISTEMA UTM. DISTRIBUCION DE HUSOS

El sistema **UTM** divide el globo terráqueo en un total de **60 HUSOS**. Cada **HUSO** esta notado con un numero y zona, identificada con una letra. La distribución de los **HUSOS** es la siguiente:



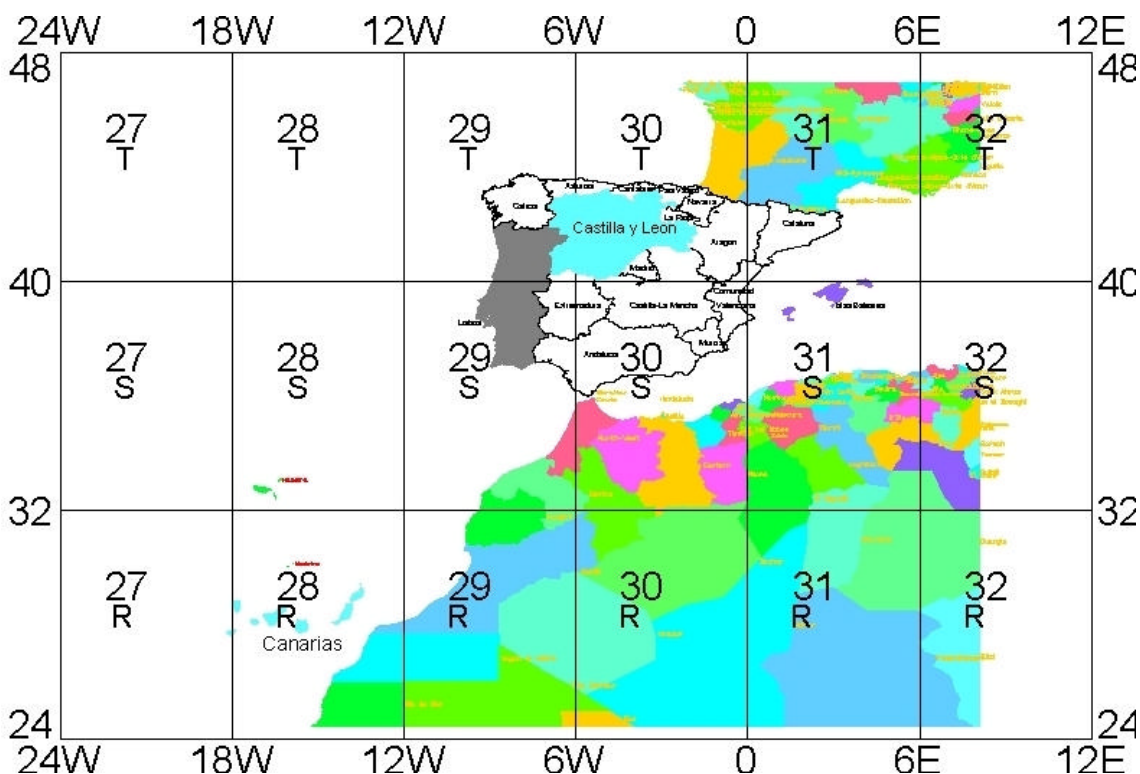
Cada **HUSO** comprende un total de **6 °** de **LONGITUD**, medidos desde el antemeridiano de **Greenwich** (180° Este), numerados en dirección este.

Cada uno de estos sesenta husos se encuentra dividido en **20 zonas**. **10** situadas en el hemisferio Norte y **10** situadas en el Hemisferio sur. Cada una de estas zonas se designa por una letra **CDEFGHJKLM**, corresponden a zonas situadas en el hemisferio sur y las notadas como **NPQRSTUWVWX** corresponden a zonas situadas en el hemisferio Norte. Cada una de estas zonas se corresponden a **8°** de **LATITUD** si esta comprendido dentro de las zonas desde la letra **CDEF...STUW**, y para la zona **B** y **X** que comprenden **12°** de **LATITUD**.

El Huso 30 identifica una zona de la superficie terrestre situado entre la latitud 0° y 6° W (oeste), y su meridiano central es el de 3° W.

### 4.1 Distribución de Husos y Zonas para España

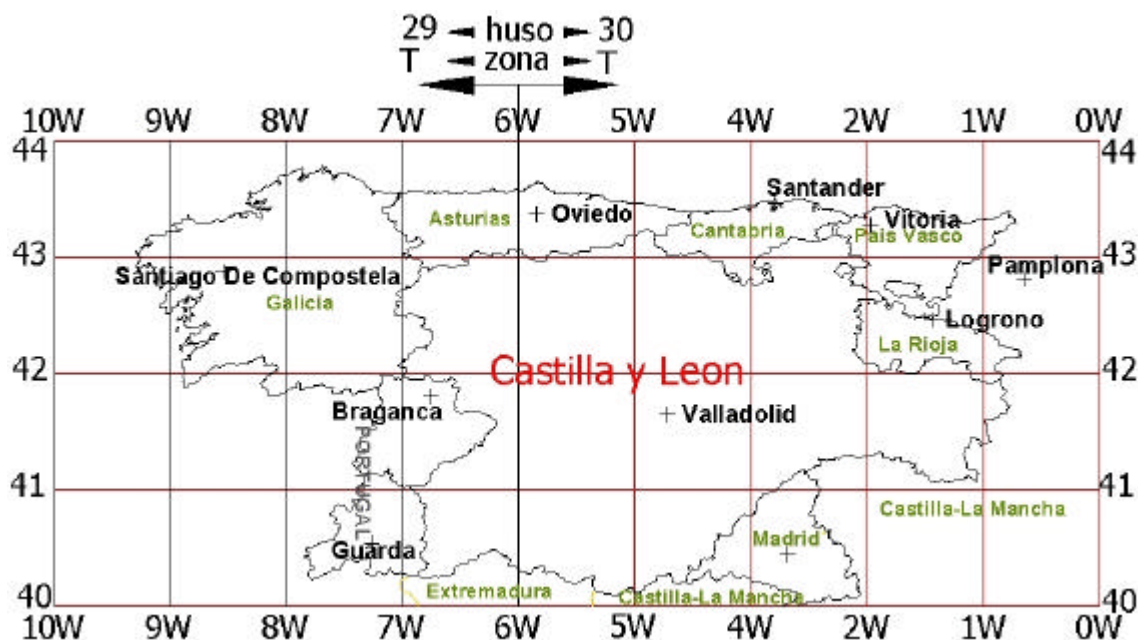
La distribución de **Husos y zonas** para España es la siguiente:



El espacio geográfico que ocupa España esta comprendido esta situado en 5 husos y tres zonas, por lo que tendrá tres orígenes del sistema de coordenadas **UTM**.

## 4.2 Distribución de Husos y Zonas para Castilla y León

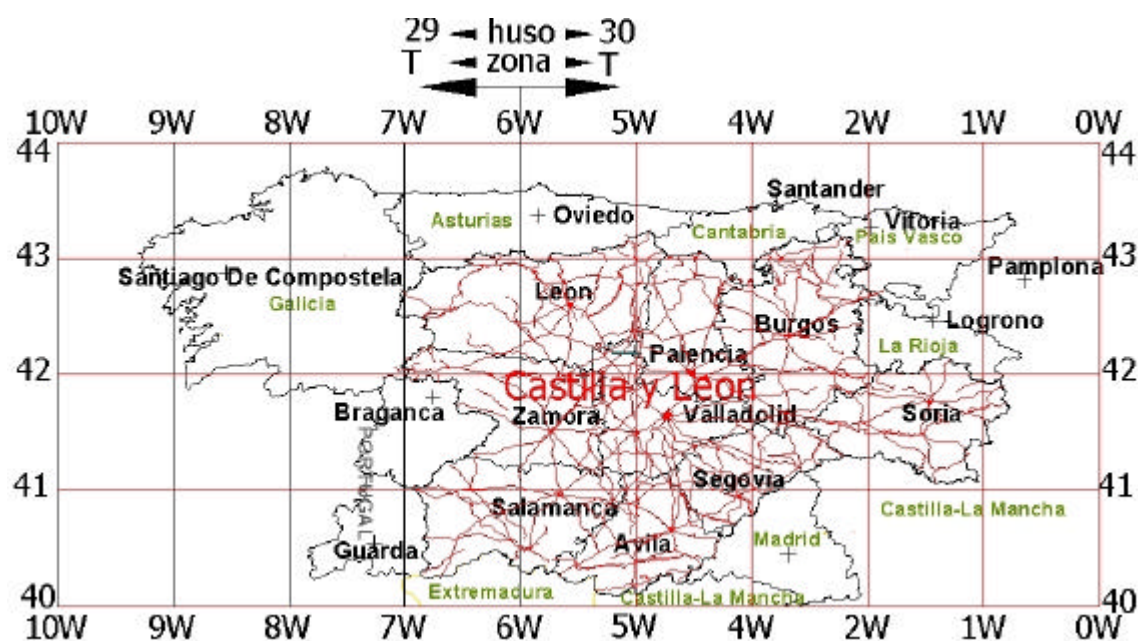
Para nuestra Comunidad Autónoma, Castilla y León, se localizan los dos siguientes husos:



Para Castilla y León la coordenada  $X$  mínima al Oeste de la Provincia de León, en la localidad de Gestoso-Lusio con una coordenada  $X$  máxima de 165300 m UTM y una  $X$  máxima de 601810 m, situada al este de la provincia de Soria en la localidad de Beratón.

La coordenada  $Y$  mínima al Sur de la Provincia de Avila entre las localidades de Poyales del Hoyo-Candeleda, de 4439350 m y una  $Y$  máxima de 4.788875 m para un punto situado en la provincia de León en la localidad de Caín de Valdeón.

(nota: Datum WGS-84, coordenadas en el huso 30, precisión 10m)



## 5 CUADRICULAS DE COORDENADAS UTM

Hay que hacer notar que un las coordenadas **UTM** localizan un punto en un sistema coordenado, por lo que la precisión que podrá tener es tan grande como el sistema empleado en designar la citada coordenada me permita:

X= 321.258'321 m  
Y= 4.587.257'325 m

UTM Huso=30 Zona T  
Datum/Elipsoide = WGS-84  
Coordenadas Submilimetricas  
Obtenidas mediante GPS.

Pero si la coordenada obtenida es mediante lectura en un soporte papel, mapa publicado por métodos reprográficos, la coordenada **UTM** no corresponden a un determinado punto o situación geográfica, sino que la coordenada UTM define propiamente un cuadrado de ancho la resolución propia del mapa.

Por ejemplo para el siguiente mapa 1:50.000:



Se efectúa la correspondiente medida de la coordenada del punto “F” objeto:

X= 349.170 m  
Y= 4.708.900 m

La coordenada UTM define un cuadrícula de la siguiente resolución:

Denominador de la escala (D) = 50.000  
Limite de Percepción visual (Imp)= 0'2 mm

Máxima apreciación (Ma);

$$Ma = D * Imp = 50.000 * 0'2mm = 10.000mm = 10.000mm * 1cm / 10mm = 1000 cm * 1m / 100 cm = 10 m$$

Luego la máxima apreciación de las coordenadas UTM me definen un conjunto de puntos de la siguiente anchura:



La coordenada UTM definida no se encuentra localizada en el centro de la cuadrícula descrito, sino que se encuentra en la esquina inferior izquierda de dicha cuadrícula.

No se entendería que el usuario lograra apreciar más de lo que el límite de percepción visual le permite, de modo que no sería lógico que si la máxima apreciación son 10 metros se lograsen apreciar coordenadas del tipo:

X=349.176    ó    X=349.173    ó    X=349.167    ó    X=349.165  
Y=4.708.903    Y=4.708.896    Y=4.708.901    Y=4.708.902

Únicamente se podría definir la coordenada:

X= 349.170 m  
Y= 4.708.900 m                    ó valores múltiplos de 10 m

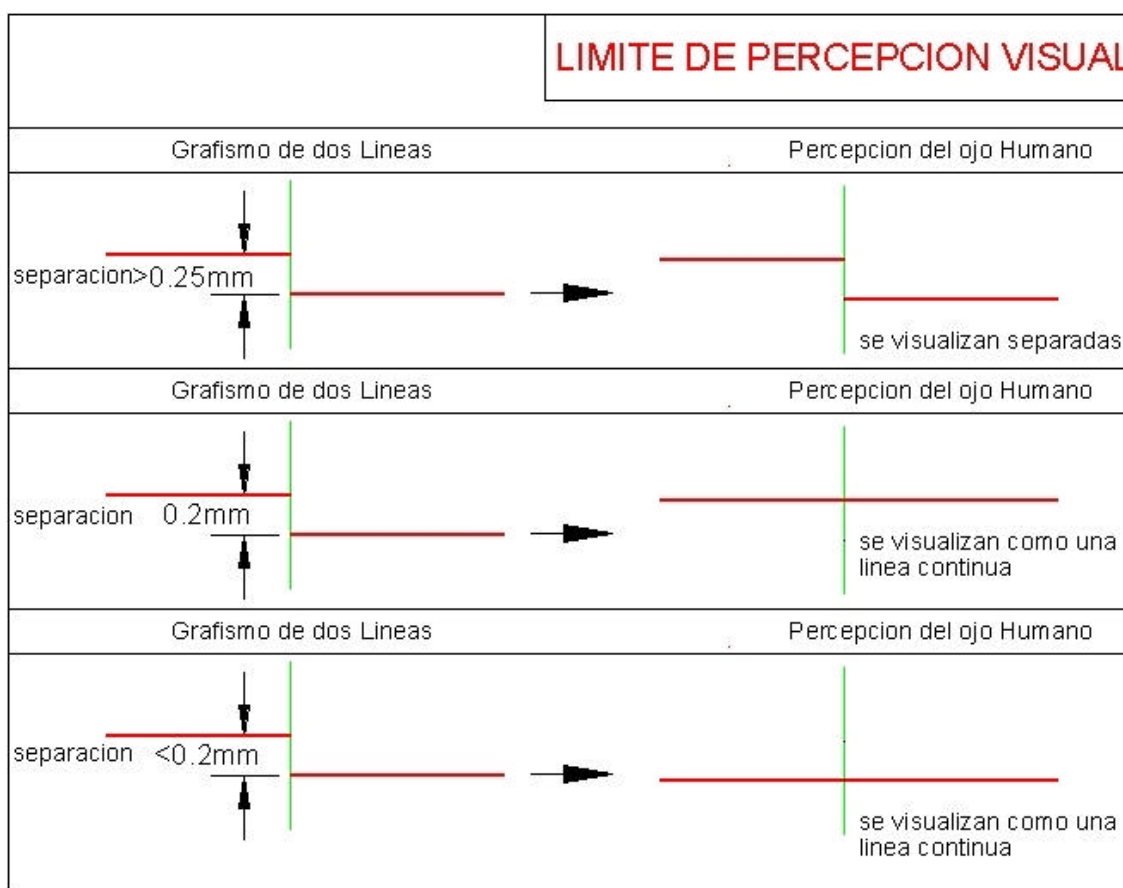
Ya que cualquier otra coordenada designada quedaría por encima de la resolución máxima que somos capaces de apreciar en el mapa.

### 5.1 Limite de Percepción Visual

Hemos empleado el “limite de percepción visual” (**Imp**) y se va ha comentar a continuación la definición de este limite.

Se define como limite de percepción visual a la máxima magnitud capaz de apreciar por la vista humana, siendo 1/4 de milímetro (0'25mm) con un error en la percepción no superior a 1/5 de milímetro (0'2mm), o bien la distancia que tienen que estar separadas dos líneas para que se la pueda apreciar como no continuas.

Este limite, que no es el mismo para cada persona, se fija en 0'2 milímetros al estar demostrado para la mayor parte de las personas es capaz de apreciar esta cantidad, suponiendo que no se tiene ningún defecto en la visión, (hipermetropía, astigmatismo, etc.), simplemente es un convenio y una definición para poner un limite a la máxima resolución visual.



Este limite nos condiciona la máxima apreciación que podemos obtener al apreciar una coordenada en el mapa o por ejemplo, cual es la máxima apreciación con la que podemos medir una distancia en el mapa.

A la hora de realizar una cartografía también se tiene en cuenta este limite, ya que condiciona la precisión con la que debemos realizar el mapa/plano. Por ejemplo si se quiere obtener un mapa/plano a escala 1:10.000 el limite de percepción visual me condiciona a que la máxima apreciación posible en el plano es de:

$$\begin{aligned} \text{Denominador de la escala (D)} &= 10.000 \\ \text{Limite de Percepción visual (Imp)} &= 0'2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Máxima apreciación (**Ma**);

$$Ma = D * Imp = 10.000 * 0,2mm = 2.000 mm = 2.000 mm * 1cm / 10 mm = 200 cm * 1m / 100 cm = 2m$$

Luego las distancias que estén por debajo de los dos metros no podrán ser apreciadas por el usuario en la cartografía.

Cuando tengo que realizar este plano/mapa a escala 1:10.000 debo de realizarlo buscando un método de obtención de los datos en el que el error cometido al medir/representar los objetos en mi cartografía, estos quede por debajo de los 2 metros. Así no podrán ser observados los errores por el usuario de la cartografía.

De igual manera no se pueden incluir, por ejemplo en el mapa/plano antes creado 1:10.000, información cartográfica extraída de un mapa/plano 1:50.000, ya que se están mezclando informaciones con distintas precisiones, las del 50.000:

Denominador de la escala (**D**) = 50.000

Limite de Percepción visual (**Imp**)= 0'2 mm

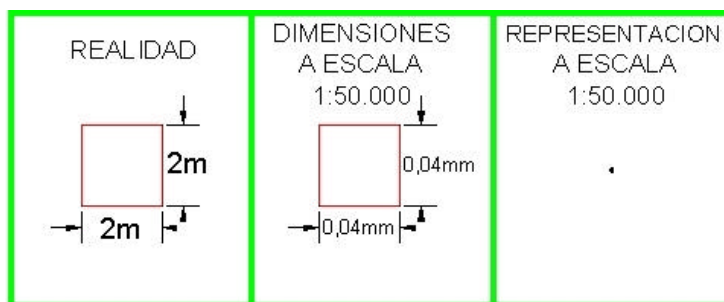
Máxima apreciación (**Ma**) 1:50.000;

$$Ma = D * Imp = 50.000 * 0,2mm = 10.000 mm = 10.000 mm * 1cm / 10 mm = 1000 cm * 1m / 100 cm = 10m$$

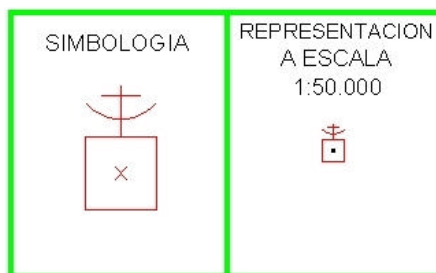
con las del mapa/plano 1:10.000

$$Ma = D * Imp = 10.000 * 0,2mm = 2.000 mm = 2.000 mm * 1cm / 10 mm = 200 cm * 1m / 100 cm = 2m$$

Supongamos que queremos crear un mapa 1:50.000 y deseamos representar en el una fuente cuadrada de 2x2 m. Debido **al límite de percepción visual** la máxima apreciación en el mapa será de  $50.000 * 0.2mm = 10m$ , por lo que esta fuente se vera en el mapa como un punto, sin que al representar la fuente se pueda efectuar medición alguna sobre las dimensiones de la fuente:



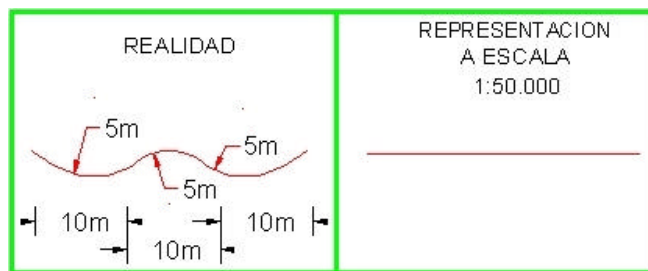
Para representar este elemento en la cartografía y transmitir información de lo que se ha representado con el punto, deberemos recurrir a un símbolo, ya que un rectángulo de 0.04mm x 0.04mm no se puede representar:



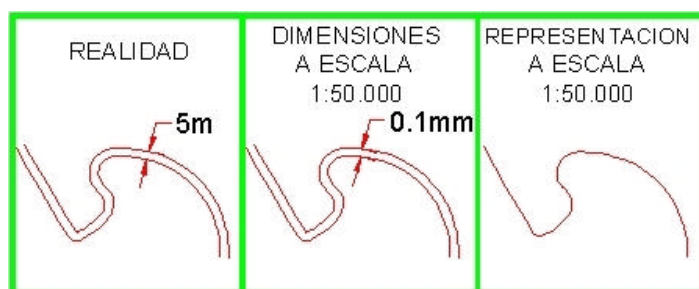
Este **límite de percepción visual** no solamente afecta a entidades puntuales, sino que afecta a todos los elementos a representar, por ejemplo a



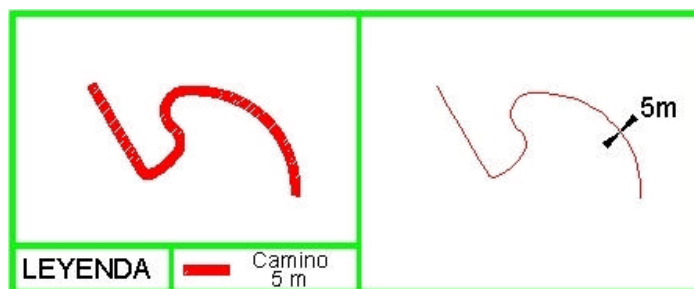
un camino que tiene una serie de curvas de 5 metros de radio representados a escala 1:50.000:



En el que la representación del camino es una línea recta, lo que no quiere decir que el camino no pueda ser representado a escala 1:50.000 porque su anchura sea menor de los 10 m de apreciación en el **límite de percepción visual**:



Representándose el camino como una línea fina, sin que sobre ella se pueda hacer la medición de la anchura del camino, a no ser que se recurra a cambiar su simbología y se representen los caminos en el mapa con un grosor superior al existente en la realidad y se especifique en la leyenda del mapa la anchura para el camino, o se indique sobre su representación lineal la anchura existente en la realidad:



Siguiendo el mismo razonamiento, y empleado este límite de percepción visual, **si es posible** incluir información cartográfica existente en mapas/planos de escala superior a la del plano original, ya que no será posible apreciar los errores propios de la información cartográfica introducida en el plano creado, por ejemplo parte de la información contenida en un mapa/plano 1:50.000 cuando se introduce en un plano/mapa 1:200.000.

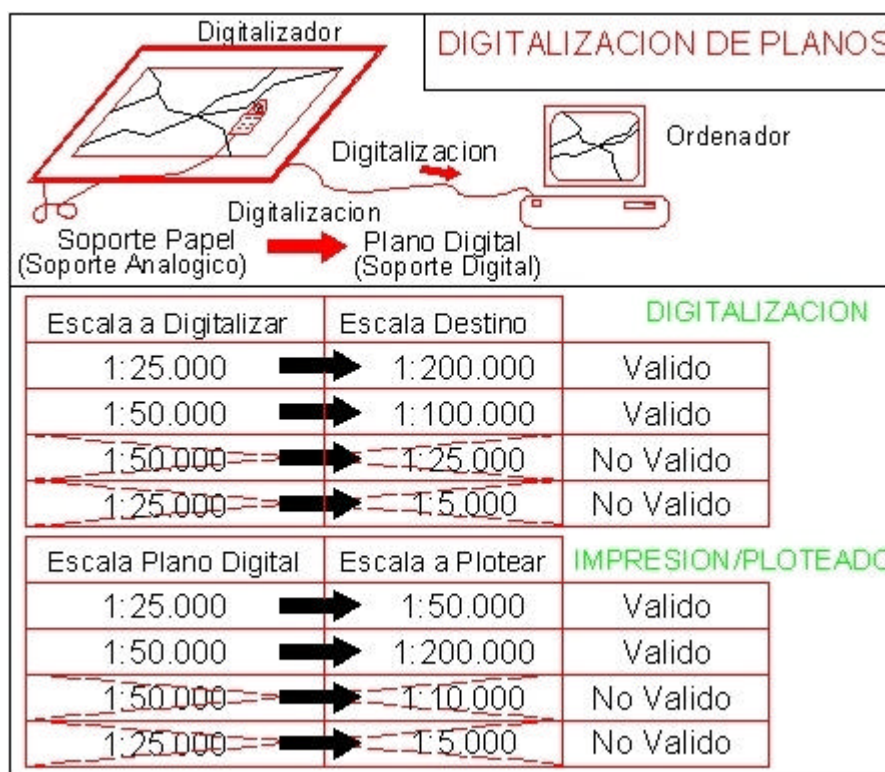
## 5.2 Digitalización de planos/mapas

Con el empleo actual de los sistemas de digitalización para pasar de un soporte papel, (soporte analógico), a un soporte digital este limite de percepción visual también se emplea, de modo que el Hardware (la maquina) empleada (digitalizador) tiene que tener una resolución, como mínimo, inferior a este Limite, de modo que lo que se pretende digitalizar quede, por lo menos, por debajo del limite de percepción visual.

Y aunque la información se encuentre en soporte digital no hay que olvidar la máxima apreciación posible con la que ha sido digitalizado, la del soporte papel original, y no se podrán realizar salidas impresas a escalas inferiores a las originales, aunque el programa **de diseño asistido (CAD)**, nos lo permita. No estaremos realizando un plano/mapa sino un croquis en el que, a pesar de tener una información cartográfica, no se pueden realizar sobre el mediciones de ningún tipo.

Siendo valido el **trazado/impresión** de mapas/planos con escalas superiores a las de la cartografía original.

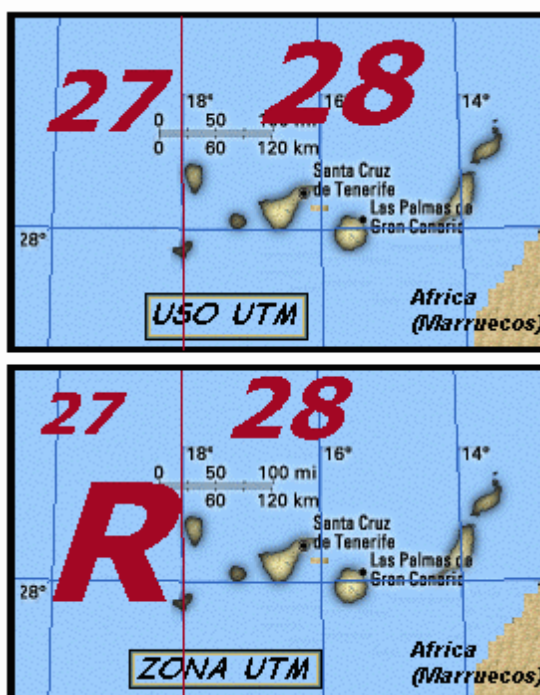
De igual manera no se podrá apreciar en la información digital una coordenada con precisión superior a la existente en el soporte papel original, aunque el sistema informático CAD empleado nos permita apreciar un numero dígitos decimales o enteros superior, sin que la información suministrada por el sistema gráfico, que puede llegar a 16 decimales, tenga valor alguno.



## 6 LOCALIZACION DE HUSOS Y ZONAS UTM PARA ESPAÑA

España se encuentra localizada en un total de cinco husos **diferentes** (27,28, 29, 30, 31), y tres zonas, ( R , S, T)

**Huso 27 y 28:** En este huso se encuentra todo el Archipiélago Canario. Comprende la zona existente entre los 12° y los 18° de LONGITUD Oeste ( W ). En este huso también se encuentran parte de las islas Azores. La zona donde se localiza el archipiélago es la **R**. Sobre el huso 27 se encuentra únicamente parte occidental de la isla de Hierro.



**Huso 29:** Huso comprendido entre los 6° hasta los 12° de LONGITUD Oeste (W). En el se encuentra incluido parte de la Provincia de **León, Zamora,** y **Salamanca,** toda Galicia y parte de Asturias. En este Huso, también se encuentra incluido todo Portugal. La zona que ocupa Galicia, León, Salamanca y Zamora es la **T** y la **zona S** incluye parte de **Extremadura y Andalucía Occidental.**



**Huso 30:** Huso también llamado “central” para España que comprende desde los 0° hasta 6° de LONGITUD Oeste (W). Bajo este huso se localizan la mayor parte de la superficie de España, en las zonas **S y T**:



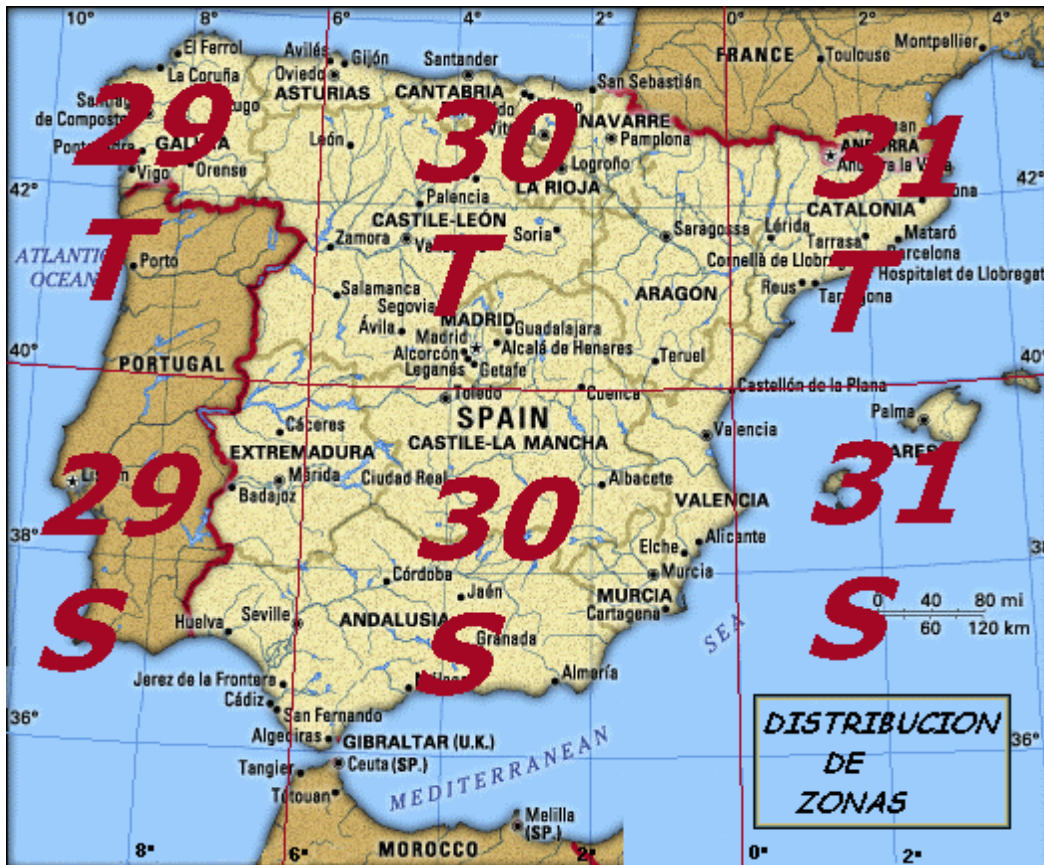
**Huso 31:** Primer Huso en dirección Este, comprende desde los 0° (Greenwich) hasta 6° de LONGITUD Este (E). Bajo este huso se localizan la zona este de España, parte de la comunidad Valenciana y Cataluña en la zona T y el archipiélago balear en la zona S:



Siendo para el conjunto de la Península Ibérica:



Distribución de zonas para el conjunto de la Península Ibérica:



## **6.1 INDETERMINACION CAUSADA POR NO ESPECIFICAR EL HUSO**

La no-inclusión del huso causa una indeterminación en la localización geográfica del punto sobre la superficie terrestre. De modo que si únicamente se localiza el punto por sus coordenadas:

$$\begin{aligned} X &= 380.132 \text{ m} \\ Y &= 4.630.140 \text{ m} \end{aligned}$$

Con estas coordenadas existen 60 puntos distintos en la superficie terrestre en el Hemisferio Norte y otros 60 puntos en el Hemisferio Sur, luego existe un total de 120 puntos sobre la superficie terrestre con idénticas coordenadas **UTM**.

No es lógico localizar un punto únicamente por sus coordenadas  $x,y$  UTM sin definir el **HUSO** en el que se encuentra, aun a pesar que sepamos que las coordenadas están en España, ya que como hemos explicado España se encuentra localizado en **5 HUSOS** distintos y **tres zonas**. Pudiendo ocurrir cosas tan curiosas como que localicemos un punto de coordenadas **UTM**;

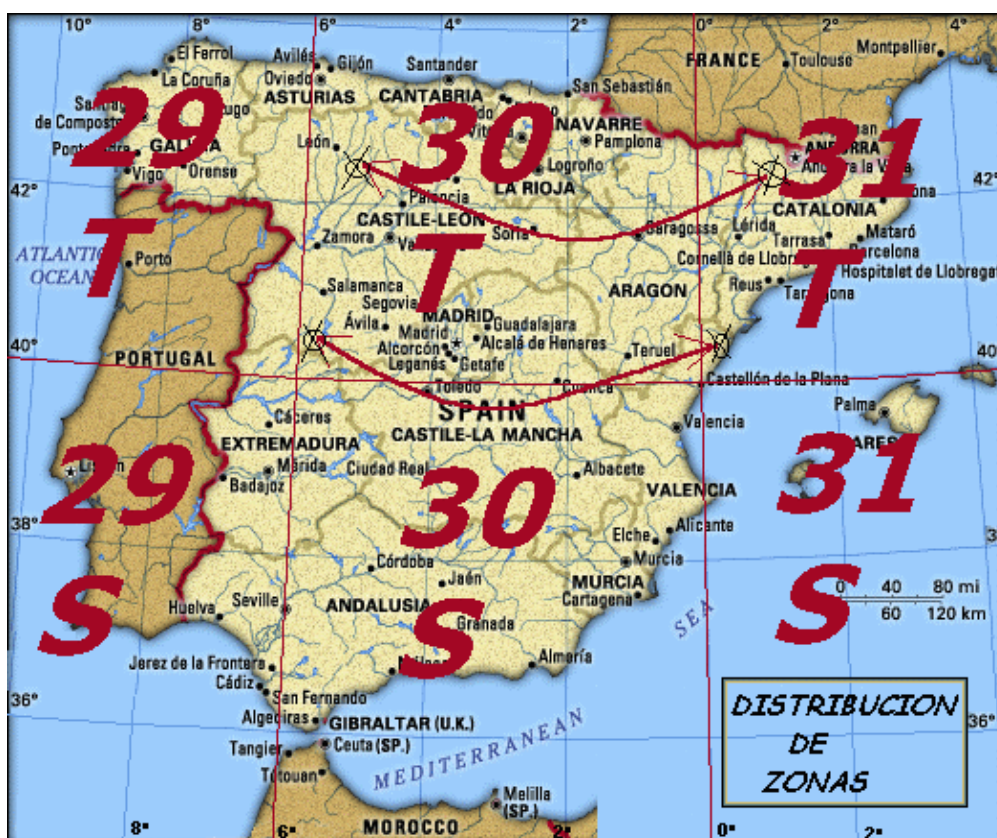
$$\begin{aligned} X &= 302975 \text{ m} \\ Y &= 4707700 \text{ m (ED50 Huso 30, zona T)} \end{aligned}$$

Y que dicho punto se encuentre sobre la provincia de **León**, en la localidad de **Mansilla de las Mulas**, (León), en el HUSO 30T y en la Provincia de **Zaragoza**, localidad **Vila de Turbol** en el HUSO 31T

O por ejemplo las coordenadas;

$$\begin{aligned} X &= 273925 \text{ m} \\ Y &= 4476850 \text{ m (ED50 Huso 30, zona T)} \end{aligned}$$

Cuyas coordenadas se encuentran en **San Bartolomé de Bejar**, en la provincia de **Salamanca** en el HUSO 30T y en las proximidades de **Benicarlo**, en la provincia de **Valencia** en el HUSO 31T, además, como se ha explicado anteriormente, estas coordenadas se encuentren a su vez en 120 lugares distintos de la superficie terrestre.



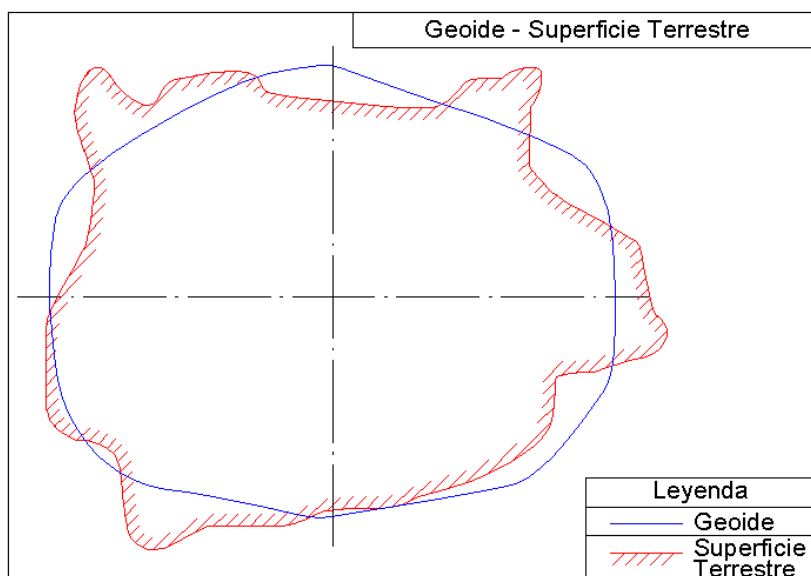
## **7 EL DATUM**

Para poder definir el Datum, debemos antes definir el **Geoide** y el **elipsoide**.

### **7.1 EL GEOIDE**

Se define como al “**Geoide**” la superficie teórica de la tierra que une todos los puntos que tienen igual gravedad. La forma así creada supone la continuación por debajo de la superficie de los continentes, de la superficie de los océanos y mares suponiendo la ausencia de mareas, con la superficie de los océanos en calma y sin ninguna perturbación exterior. Como perturbaciones exteriores se encuentra la atracción de la luna, (mareas) y las interacciones de todo el sistema solar.

Lejos de lo que se podría imaginar, esta superficie no es uniforme, sino que presenta una serie de irregularidades, causadas por la distinta composición mineral del interior de la tierra y de sus distintas densidades, lo que implica que para cada punto de la superficie terrestre exista una distancia distinta desde el centro de la tierra al punto del geoide.



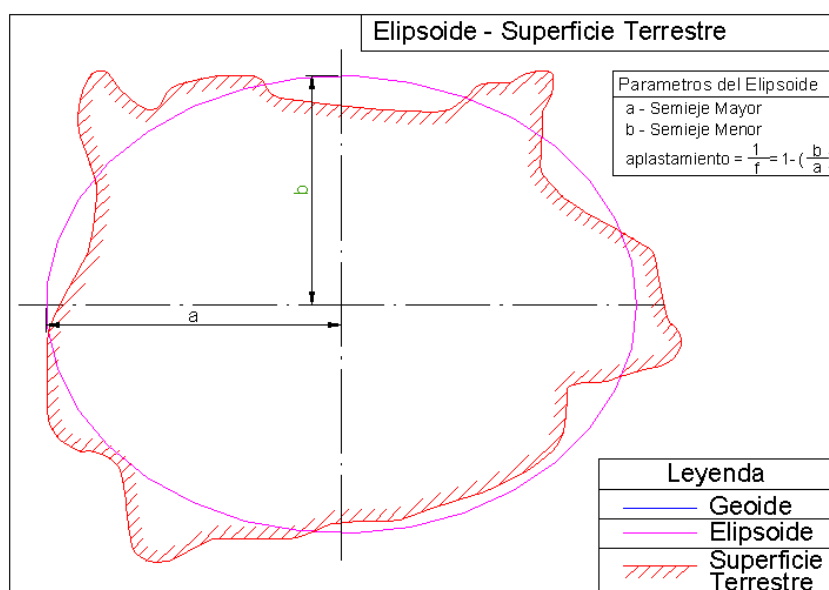


## 7.2 EL ELIPSOIDE

Como sabemos la tierra no es redonda, y su figura se asemeja a una naranja o una “esfera achatada por los polos”, y no existe figura geométrica alguna que la represente, debido fundamentalmente a las irregularidades existentes.

Estas Irregularidades de la tierra son detectables y no extrapolables a todos los puntos, simétricos, de la tierra, ya que no existe un único modelo matemático que represente toda la superficie terrestre, para lo que cada continente, nación, etc. y de hecho emplean un modelo matemático distinto, de forma que se adapte mejor a la forma de la tierra en la zona a cartografiar.

Este elemento de representación de la tierra se le denomina **ELIPSOIDE**. Este elipsoide es el resultado de revolucionar una elipse sobre su eje.



Este elipsoide se define matemáticamente en función de los siguientes parámetros:

- radio Mayor ( a ) y radio Menor ( b ) del elipsoide
- aplataamiento del elipsoide ( $1/f = 1 - (b/a)^2$ )

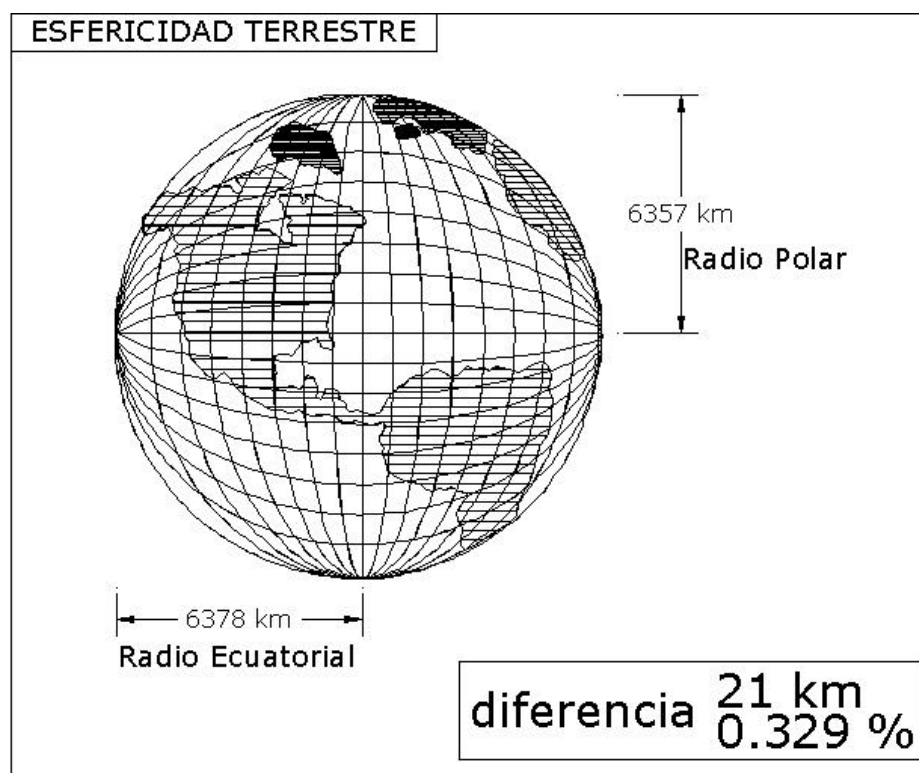
El aplataamiento (1/f) suele tomar valores enteros, 296,297 etc.

## ESFERICIDAD TERRESTRE

La forma habitual en la que se ha descrito el planeta tierra es el de una "esfera achatada en los polos".

Y ciertamente esta forma se asemeja a la descripción si se toma una visión de conjunto.

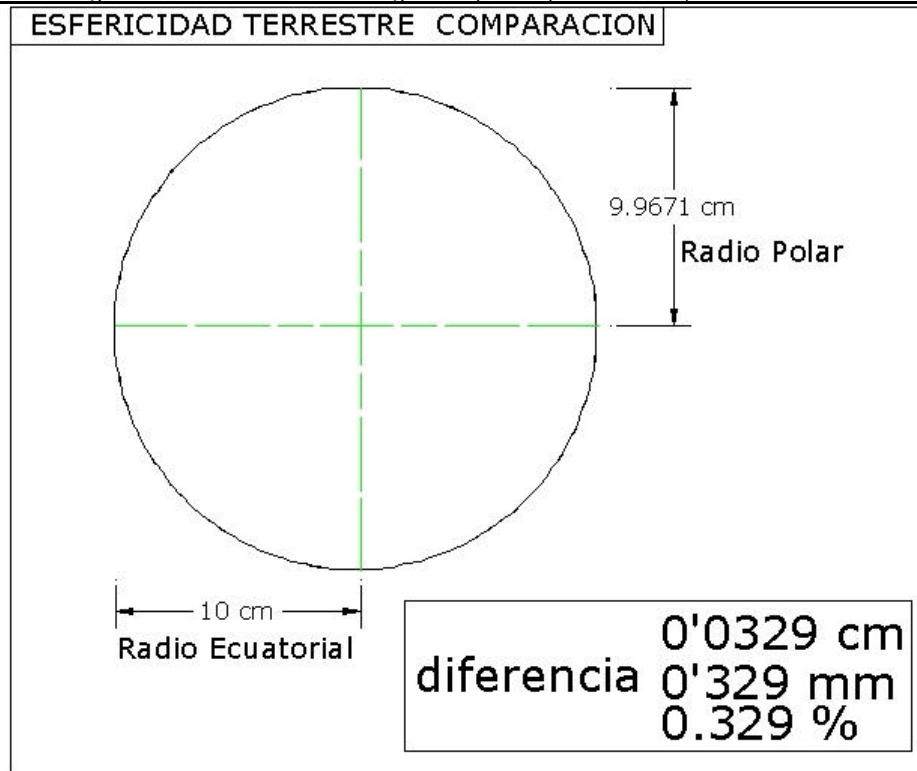
El planeta tierra tiene un radio ecuatorial (máximo) de aproximadamente 6378 km., frente a un radio polar de 6357 km.(mínimo), con una diferencia de 21 km., lo que supone un 0'329 % del radio ecuatorial.



En el computo del diámetro esta diferencia es de 42 km. para la esfera terrestre, con una relación de achatamiento próxima a 1/300.

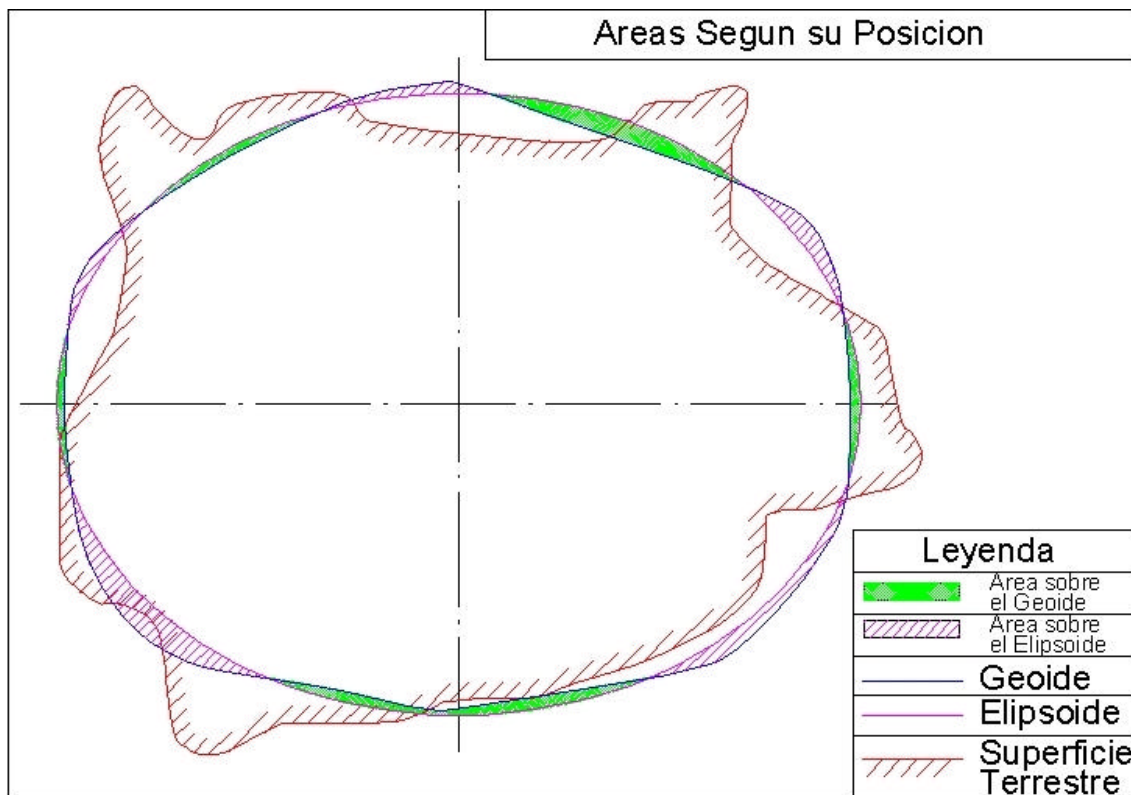
Esta discrepancia de los radios se ha exagerado en exceso en la enseñanza secundaria, ya que la impresión que daba de las explicaciones recibidas, hacia pensar que vivíamos en un planeta que era poco menos que una manzana o una naranja, cuando nos lo ponían tan exagerado la forma se asemejaba, poco menos que a un balón de rugby.

Si lo comparásemos con una esfera de 10 cm de diámetro, la esta esfera tendría un achatamiento de 0'32 mm, cantidad inapreciable y que no es detectable a simple vista:

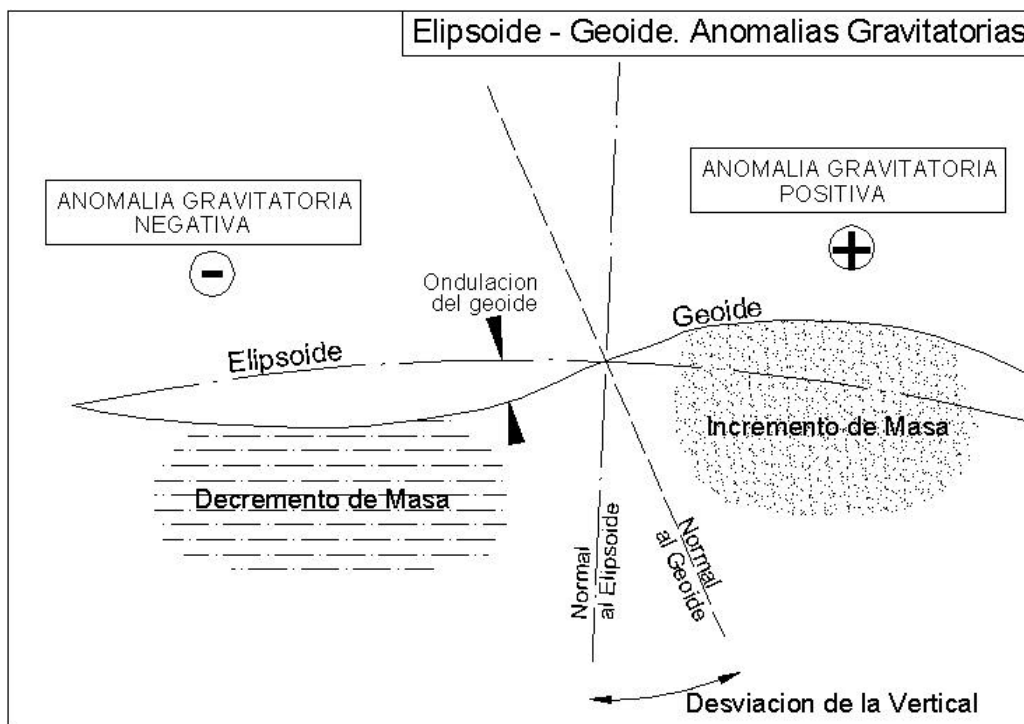


### Elipsoide comparado con el Geoide

La desigual distribución de la gravedad superficial, y de lo local de las perturbaciones, causa que existan zonas de la tierra por encima del geoide y por debajo de este:

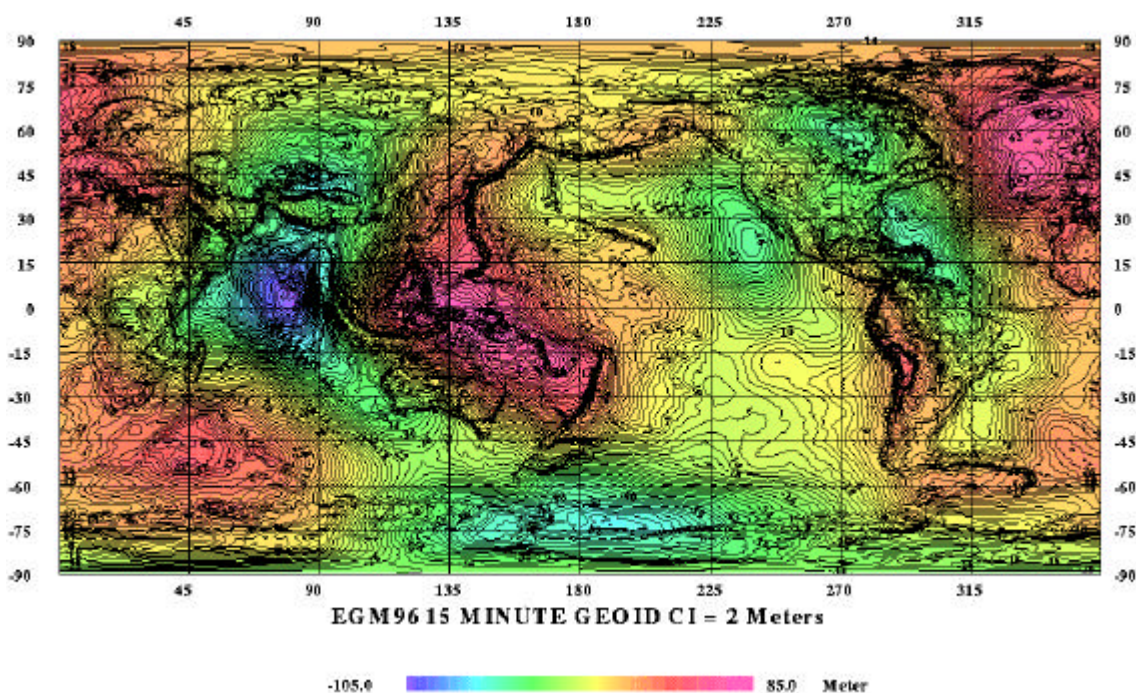


Estas diferencias gravitatorias son causadas por la composición terrestre y la presencia de una gran masa de agua en los océanos, que causa una menor atracción, y hace que, por lo general, el geoide quede por encima del elipsoide en la zona continental y por debajo en la zona oceánica:



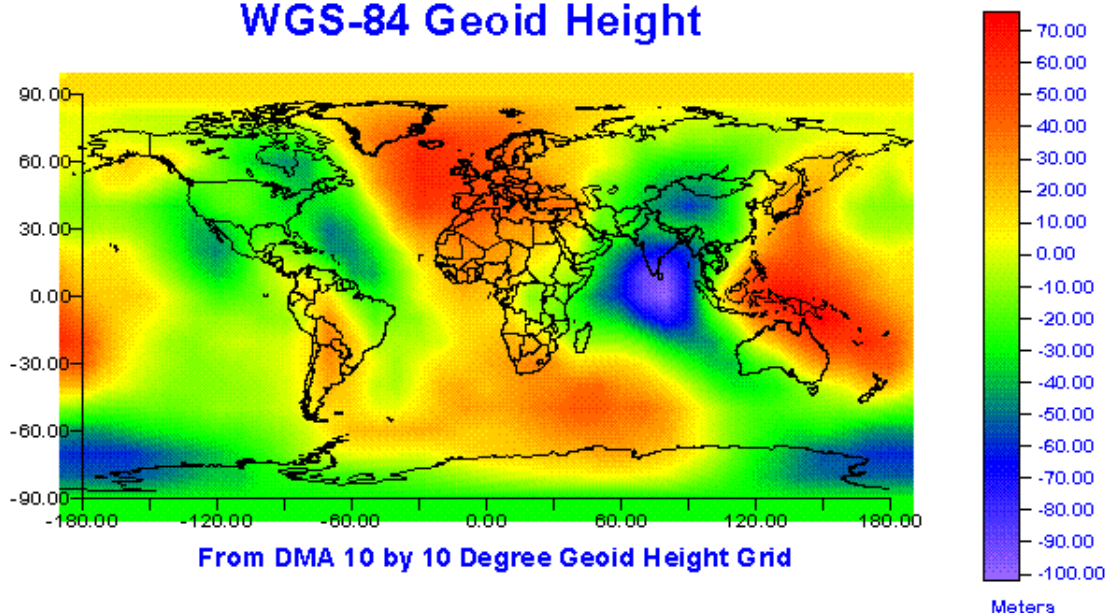
### Elipsoide comparado con el Geoide. Ejemplos.

Esta discrepancia se encuentra evaluada para los distintos elipsoides en función de su localización geográfica. Esta diferencia entre el geoide y el elipsoide en raras ocasiones llega a superar los 100 metros. A continuación se da la comparación con el geoide **EGM96** con del elipsoide **“WSG-84”**:



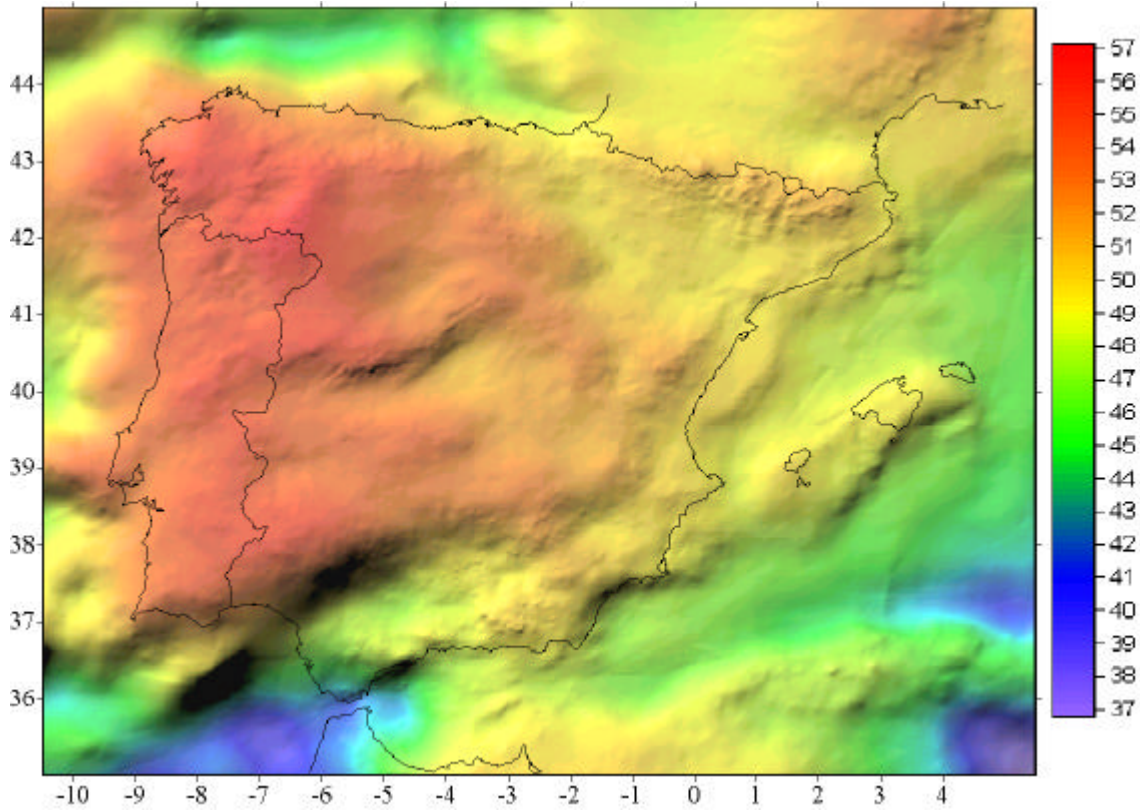
Y la comparación con el geoide **EGM90** con del elipsoide **“WSG-84”**:

### WGS-84 Geoid Height



Peter H. Dana 11/05/95

Evaluado para España, comparándolo con el geoide IBERGEO-95;



(imagen cortesía de **Miguel J. Sevilla de Lerma, Eosgis**)

Si consideramos que estas diferencias en raras ocasiones llegan a los 105 metros y que la diferencia entre el radio ecuatorial y el radio polar es de 21 Km, de 42 Km, en su diámetro, queda claro que en el conjunto, la no-esfericidad terrestre existe en términos generales, pero cuando se compara con el geode, esta diferencia ya no parece tan acentuada, y la tierra ya parece que es “**mas redonda**”, ya que únicamente las irregularidades gravitatorias son mayores que la propia deformación radial de la tierra.

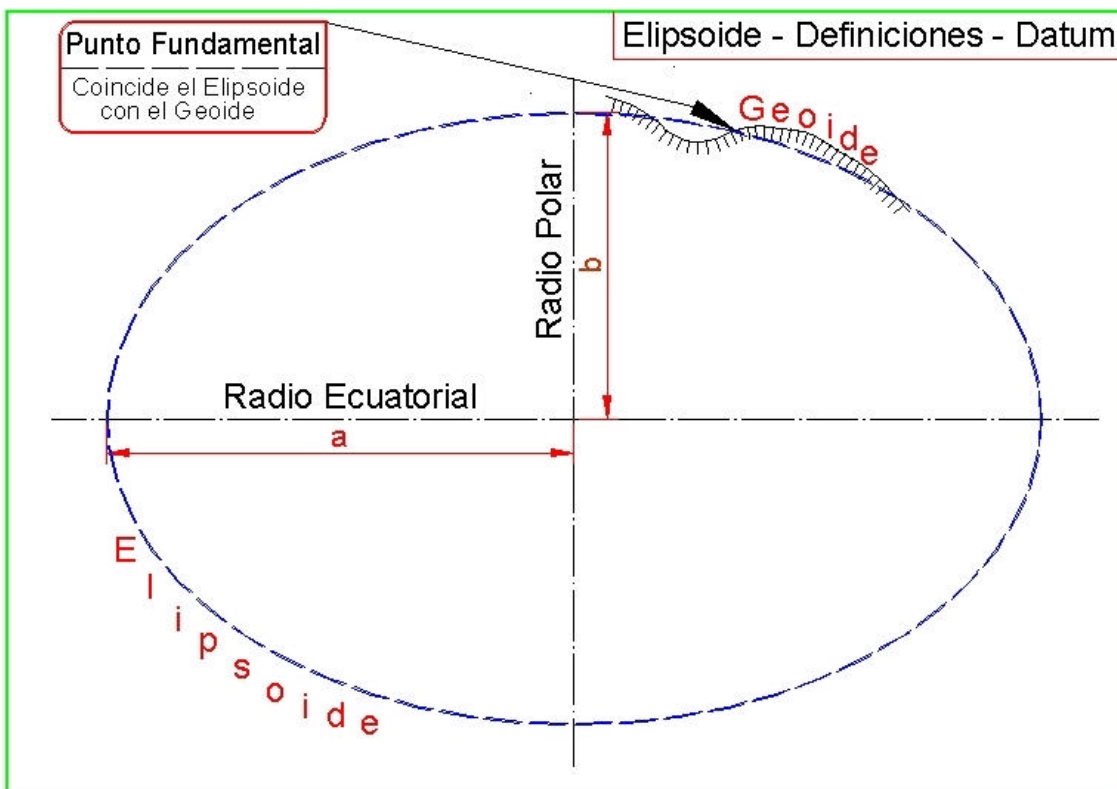
### **7.3 EL DATUM**

Se define el Datum como el punto tangente al elipsoide y al geoide, donde ambos son coincidentes.

Cada Datum esta compuesto por:

- a) un elipsoide, definido por  $a, b$ , aplastamiento.
- b) un punto llamado "**Fundamental**" en el que el elipsoide y la tierra son tangentes. Este punto "**Fundamental**" se le define por sus coordenadas **geográficas longitud y latitud**, además del acimut de una dirección con origen en el punto de "fundamental". Esta desviación se denomina:

- **Eta** -» .Desviación en la vertical
- **Xi** -» Desviación en el meridiano



En el punto Fundamental coincide el elipsoide con la superficie real de la tierra así como en este punto las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la tierra).

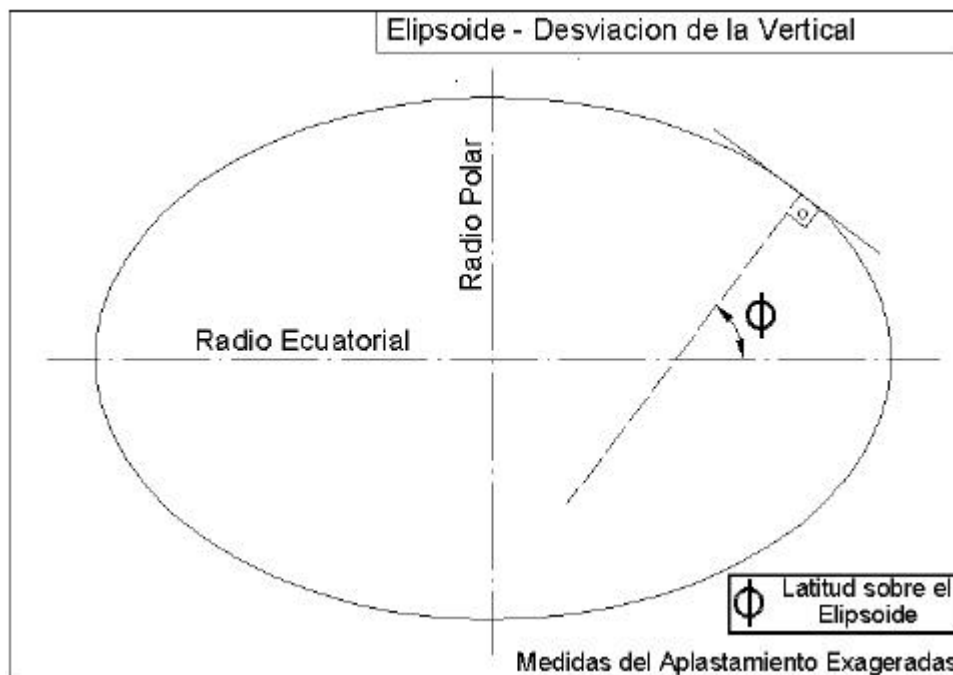
Estas dos desviaciones definidas vienen dadas al no coincidir la vertical perpendicular al geoide, trazada por el punto fundamental, con la vertical perpendicular al elipsoide. Quedando el sistema definido al estar definidos estos ángulos en el **Datum**.

### 7.3.1 Desviaciones de los ángulos fundamentales del DATUM

Definido el Datum, ya se puede elaborar la cartografía de cada lugar, pues se tienen unos parámetros de referencia que relacionan el punto origen del geode y del elipsoide con su localización geográfica, así como la dirección del sistema.

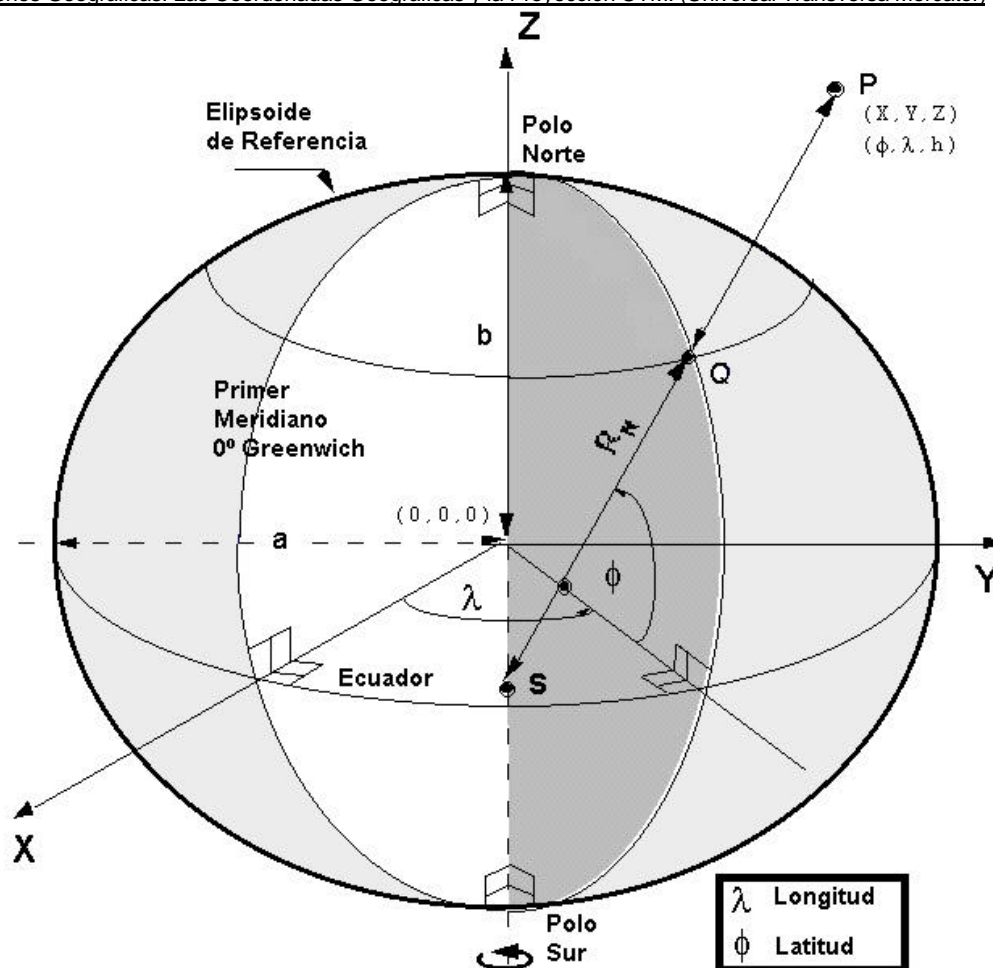
#### 7.3.1.1 Desviación de la Vertical (Eta)

Esta desviación viene dada al no coincidir la vertical en el geode con la vertical en el elipsoide, no pasando la perpendicular al elipsoide por el centro de la de la elipse de revolución que me genera al elipsoide:



Visto Sobre la medición de un punto:





### 7.3.1.1 Desviación Sobre el Meridiano (Xi)

La desviación sobre la vertical hace que la latitud, al realizar su medición angular, no pase por el centro (0,0,0), originando un punto ficticio “S”, que puede no estar situado en el eje “Polo Norte- Polo Sur”.

Si este punto está situado sobre el eje “Polo Norte- Polo Sur” la desviación sobre el meridiano es 0°.

Hay que recordar que tanto la desviación sobre el meridiano como la desviación de la vertical, únicamente es evaluada para el punto fundamental y no para la totalidad de las posiciones geográficas del sistema, sistema para el que independientemente en su desviación toma su origen de meridianos en Greenwich, Inglaterra 0°.

## 7.4 ELIPSOIDES de empleo usual

Existe una gran variedad de elipsoides, que se van mejorando matemáticamente para que tengan una mejor aproximación al geode, o que las desviaciones encontradas con el geode sean las menores posibles, aunque para cada zona de la tierra se suele emplear un elipsoide distinto de manera que se adapte mejor a las desviaciones locales del geode. Los elipsoides mas empleados son los siguientes:

| Parámetros del Elipsoide          |                                                                      |              |                |                |              |                |                |                    |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|----------------|--------------------|
| Elipsoide                         |                                                                      | "165"        | ANS            | CLARKE 1858    | GRS80        | WGS84          | WGS72          | Internacional 1924 |
| Eje Mayor                         | A                                                                    | 6378165.0    | 6378160.000    | 6378293.645    | 63781        | 6378137        | 6378135        | 6378388            |
| Inverso Aplastamiento             | 1/f                                                                  | 298          | 298.25         | 294.26         | 298.25722    | 298.2572236    | 298.26         | 297                |
| Aplastamiento                     | $f = 1 / f$                                                          | 0.0033523    | 0.003352892    | 0.003398355    | 0.0033528    | 0.003352811    | 0.003352779    | 0.003367003        |
| Eje Menor                         | $b = a * (1 - f)$                                                    | 6356783.2    | 6356774.719    | 6356617.938    | 6356752.3    | 6356752.314    | 6356750.520    | 6356911.946        |
| Excentricidad                     | E                                                                    | 0.0818133340 | 0.081820179996 | 0.082372092204 | 0.0818191910 | 0.081819190843 | 0.081818810663 | 0.081991889979     |
| Excentricidad al cuadrado         | $e^{**2} = f * (1 - 2f) = (a^{**2} - b^{**2}) / a^{**2}$             | 0.0066934216 | 0.006694541855 | 0.006785161574 | 0.0066943800 | 0.006694379990 | 0.006694317778 | 0.006722670022     |
| Segunda Excentricidad             | e'                                                                   | 0.0820885218 | 0.082095437120 | 0.082652976376 | 0.0820944381 | 0.082094437950 | 0.082094053920 | 0.082268889607     |
| Segunda Excentricidad al cuadrado | $e'^{**2} = e^{**2} / (1 - e^{**2}) = (a^{**2} - b^{**2}) / b^{**2}$ | 0.0067385254 | 0.006739660796 | 0.006831514504 | 0.0067394967 | 0.006739496742 | 0.006739433689 | 0.006768170197     |

## 7.5 DATUMS de empleo usual

Existe un gran número de datums. Se detallan a continuación los más empleados, su zona de aplicación, punto fundamental, elipsoide y las desviaciones:

| Datum                                | Area                                     | Nombre del Punto                          | Latitud $\omega$ | $\xi$ | Longitud $\lambda$ | $\eta$ | Elipsoide     |
|--------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------|-------|--------------------|--------|---------------|
| Norte América 1927                   | Norte América                            | Meades Ranch                              | 39 13 26.686 N   | -1.32 | 98 32 30.506 W     | 1.93   | Clarke 1866   |
| Old Hawaiian                         | Hawaii                                   | Oahu West Base Astro                      | 21 18 13.89 N    | 0.00  | 157 50 55.79 W     | 0.00   | Clarke 1866   |
| Qornog                               | Greenland                                | Station 7008                              | 64 31 06.27 N    | 0.00  | 51 12 24.86 W      | 0.00   | Internacional |
| Hjorsey 1955                         | Iceland                                  | Hjorsey                                   | 64 31 29.260 N   | 0.00  | 22 22 05.840 W     | 0.00   | Internacional |
| Provisional South American 1956      | Venezuela, Ecuador, Peru, Bolivia, Chile | La Canoa                                  | 08 34 17.17 N    | 2.42  | 63 51 34.88 W      | -0.55  | Internacional |
| Corrego Alegre                       | Brazil                                   | Corrego Alegre                            | 19 50 15.14 S    | 0.00  | 48 57 42.75 W      | 0.00   | Internacional |
| Chua Astro                           | Paraguay                                 | Chua Astro                                | 19 45 41.16 S    | 0.00  | 48 06 07.56 W      | 0.00   | Internacional |
| Campo Inchauspe                      | Argentina                                | Campo Inchauspe                           | 35 58 16.56 S    | 0.00  | 62 10 12.03 W      | 0.00   | Internacional |
| Yacare                               | Uruguay                                  | Yacare                                    | 30 35 53.68 S    | 0.00  | 57 25 01.30 W      | 0.00   | Internacional |
| European 50                          | Europe                                   | Potsdam, Helmertturm                      | 52 22 51.446 N   | 3.36  | 13 03 58.741 E     | 1.78   | Internacional |
| Odnance Survey of Great Britain 1936 | Great Britain: Northern Ireland          | Royal Greenwich Observatory, Herstmonceux | 50 51 55.271 N   | -1.14 | 00 20 45.882 E     | -2.2   | Airy          |
| Ireland 1965                         | Ireland                                  | Royal Greenwich, Herstmonceux             | 50 51 55.271 N   | -1.14 | 00 20 45.882 E     | -2.2   | Modified Airy |
| Merchich                             | Morocco                                  | Merchich                                  | 33 26 59.672 N   | 0.00  | 07 33 27.295 W     | 0.00   | Clarke 1880   |
| Voirol                               | Algeria                                  | Voirol Observatory                        | 36 45 07.9 N     | 0.00  | 03 02 49.45 E      | 0.00   | Clarke 1880   |

Localizaciones Geográficas. Las Coordenadas Geográficas y la Proyección UTM. (Universal Transversa Mercator)

|                                     |                                                  |                                |                |        |                 |        |                            |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|----------------|--------|-----------------|--------|----------------------------|
| Adindan                             | Sudan                                            | Adindan                        | 22 10 07.110 N | 2.38   | 31 29 21.608 E  | -2.51  | Clarke 1880                |
| Sierra Leone 1960                   | Sierra Leone                                     | D.O.S. Astro SLX2              | 08 27 17.6 N   | 0.00   | 12 49 40.2 W    | 0.00   | Clarke 1880                |
| Liberia 1964                        | Liberia                                          | Robertsfield Astro             | 06 13 53.02 N  | 0.00   | 10 21 35.44 W   | 0.00   | Clarke 1880                |
| Ghana                               | Ghana                                            | GCS Pillar 547 Accra           | 05 32 43.30 N  | 0.00   | 00 11 52.30 W   | 0.00   | War Office                 |
| Nigeria                             | Nigeria                                          | Minna                          | 09 39 08.87 N  | 0.00   | 06 30 58.76 E   | 0.00   | Clarke 1880                |
| Arc 1950                            | Africa (South of Equator)                        | Buffelsfontein                 | 33 59 32.00 S  | 3.46   | 25 30 44.622 E  | -0.88  | Clarke 1880                |
| Tananarive (Antananarivo) Obsy 1925 | Malagasy Rep.                                    | Tananarive (Antananarivo Obsy) | 18 55 02.10 S  | 0.00   | 47 33 06.75 E   | 0.00   | Internacional              |
| World Geodetic System 1972          | Sino-Soviet Bloc                                 |                                |                |        |                 |        | World Geodetic System 1972 |
| Herat North                         | Afghanistan                                      | Herat North Astro              | 34 23 09.08 N  | 0.00   | 64 10 58.94 E   | 0.00   | Internacional              |
| Indian                              | India, Pakistan, Burma, Thailand, Southeast Asia | Kalianpur Hill                 | 24 07 11.26 N  | 0.31   | 77 39 17.57 E   | 0.00   | Everest                    |
| Tokyo                               | Japan                                            | Tokyo Obsy                     | 35 39 17.515 N | 0.00   | 139 44 40.502 E | 0.00   | Bessel                     |
| Hu-Tzu-Shan                         | Taiwan                                           | Hu-Tzu-Shan                    | 23 58 32.340 N | 0.00   | 120 58 25.975 E | 0.00   | Internacional              |
| Luzon                               | Philippines                                      | Balanacan                      | 13 33 41.000 N | 3.47   | 121 52 03.000 E | (9)    | Clarke 1866                |
| Kertau                              | West Malaysia                                    | Kertau                         | 03 27 50.71 N  | 3.47   | 102 37 24.55 E  | -10.90 | Modified Everest           |
| Timbalai                            | East Malaysia                                    | Timbalai                       | 05 17 03.548 N | 0.00   | 115 10 56.409 E | 0.00   | Everest                    |
| Djakarta                            | Indonesia (Sumatra, Java)                        | Butavia                        | 06 07 39.522 S | 0.00   | 106 48 27.79 E  | 0.00   | Bessel                     |
| Bukit Rimpah                        | Indonesia (Bangka)                               | Bukit Rimpah                   | 02 00 40.16 S  | 0.00   | 105 51 39.76 E  | 0.00   | Bessel                     |
| G. Serindung                        | Kalimantan                                       | Ep. A                          | 01 06 10.60 N  | 0.00   | 105 00 59.82 E  | 0.00   | Bessel                     |
| G. Segara                           | Indonesia (Kalimantan, East)                     | G. Segara (P5)                 | 00 32 12.83 S  | 0.00   | 117 08 48.47 E  | 0.00   | Bessel                     |
| Montiong Lowe                       | Indonesia (Sulawesi)                             | Montiong Lowe (P1)             | 05 08 41.42 S  | 0.00   | 119 24 14.94 E  |        | Bessel                     |
| Australian Geodetic Datum 1949      | Australia                                        | Johnston Memorial Cairn        | 25 56 54.5515S | 7.68   | 133 12 30.0771E | -4.19  | Australian National        |
| Geodetic Datum 1949                 | New Zealand                                      | Papatahi Trig Station          | 41 19 08.900 S | -1.30  | 175 02 51.000 E | (9)    | Internacional              |
| Guam 1963                           | Marianas Islands                                 | Tagcha                         | 13 22 38.490 N | -10.35 | 144 45 51.560 E | 24.12  | Clarke 1866                |
| Local Astrol                        |                                                  |                                |                |        |                 |        | World Geodetic System 1972 |
| Camp Area Astro                     | Antarctica                                       | Camp Area Astro                | 77 50 52.521 S | 0.00   | 166 40 13.753 E | 0.00   | Internacional              |

## ***7.6 Diferencias ocasionadas al emplear DATUMS distintos***

Para España la mayor parte de la cartografía perteneciente al “**Instituto Geográfico Nacional**” Y el “**Servicio Cartográfico del Ejército**” se encuentra georreferenciada con el “**European Datum – 1950**”, mas conocido por sus siglas “**ED50**”. Bajo este Datum se localiza la península ibérica, el archipiélago Balear y las Plazas Españolas del norte de Africa (Ceuta y Melilla). Este Datum toma como referencia el “**elipsoide Internacional**”, también llamado “**elipsoide de Hayford**” con base en **Potsdam, Helmertturm**, (Alemania).

Existe otro Datum de empleo en España como es el “**European Datum - 79**”, (“**ED79**”), y el “**European Datum - 87**”, “**ED87**” aunque el empleo de ambos esta menos extendido.

El **ED-50** tiene como elipsoide el de **Hayford**, también llamado **Internacional de 1924**, y como punto fundamental **Postdam** (Alemania). Las características del elipsoide son las siguientes:

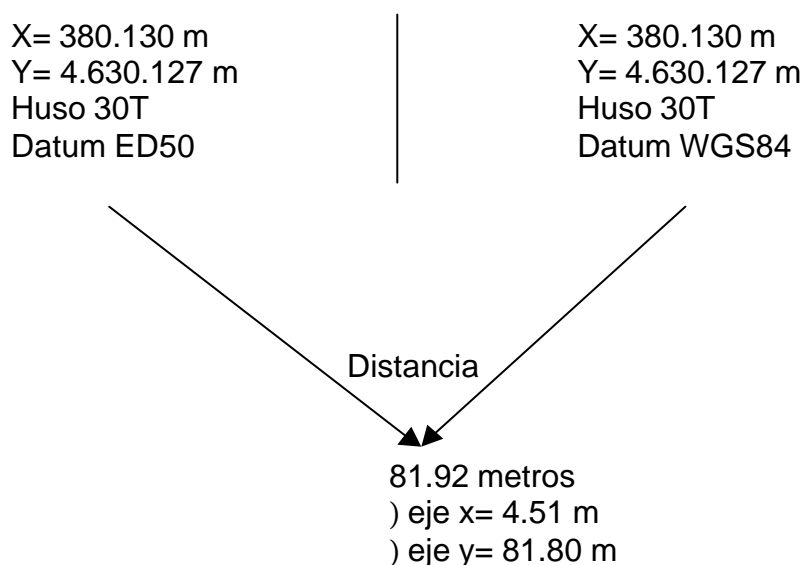
- a = 6378388 m
- achatamiento = 297 m
- Punto fundamental

Longitud : 13° 03' 58.741" E  
 Latitud : 52° 22' 51.446" N

A pesar de ello no es el único Datum empleado para España ya que para el archipiélago Canario se emplea como referencia el **Datum "Pico de las Nieves"**, situado en la isla de Gran Canaria, en la localidad de **San Bartolomé de Tirajana**, en las proximidades del **Parque Natural de los Tarcones**.

La localización de un punto en coordenadas **UTM** hace necesario la inclusión del Datum de referencia ya que el no incluir este dato trae consigo que, además de producir una indeterminación en la situación geográfica del punto, y suceda que en el replanteo de los puntos, el punto replanteado, no sea el punto buscado.

Como ejemplo se localizan las mismas coordenadas UTM en dos Datums distintos; **coordenadas UTM Datum ED50** y el mismo punto con sistema **UTM Datum WGS84**, Midiéndose la distancia que existe entre ambos puntos:



Para los datums **ED50** y **ED79**:

|                |              |                  |
|----------------|--------------|------------------|
| X= 380.130 m   |              | X= 380.121.1 m   |
| Y= 4.630.127 m | corresponde: | Y= 4.629.124.6 m |
| Huso 30T       |              | Huso 30T         |
| Datum ED50     |              | Datum ED79       |
|                | )x= -8.9 m   |                  |
|                | )y= -2.4 m   |                  |

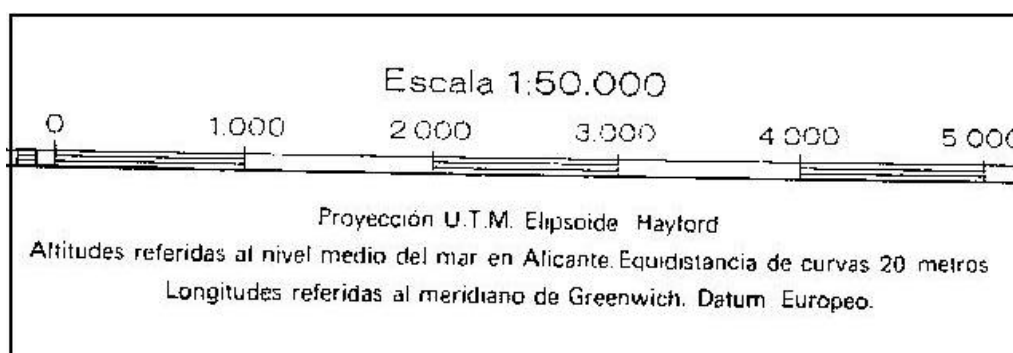
Para los dos datums empleados España "**ED50**" y "**Pico de las Nieves**" las diferencias son grandes, debido, fundamentalmente a que los puntos fundamentales de ambos sistemas, se encuentren muy alejados. Lógicamente las desviaciones angulares (**eta**, **Xi**) tampoco son las mismas:

|                |              |                          |
|----------------|--------------|--------------------------|
| X= 380.130 m   |              | X= 380.126.7 m           |
| Y= 4.630.127 m | corresponde: | Y= 4.629.793.8 m         |
| Huso 30T       |              | Huso 30T                 |
| Datum ED50     |              | Datum Pico de las Nieves |
|                | )x= -3.3 m   |                          |
|                | )y= -333.2   |                          |

Pero no solamente se debe de especificar el Datum para localizar una coordenada **UTM**, sino que para definir mejor el sistema de referencia es común especificar el **Datum/Elipsoide** de referencia. En el cuadro siguiente se toma como ejemplo dos coordenadas dadas en cuatro datums y elipsoides distintos y su resultado en la coordenada UTM:

| Datum / elipsoide          | Latitud |    |      | Longitud |    |      | UTM      | UTM       |
|----------------------------|---------|----|------|----------|----|------|----------|-----------|
|                            | °       | '  | "    | °        | '  | "    | X        | Y         |
| Datum Ed50 / internacional | 42      | 10 | 20 n | 5        | 30 | 20 w | 293040.2 | 4672020.2 |
| Datum Wsg-72 / Wsg-72      | 42      | 10 | 20 n | 5        | 30 | 20 w | 293049.8 | 4671935.8 |
| Datum Wsg-84 / Wsg-84      | 42      | 10 | 20 n | 5        | 30 | 20 w | 293049.7 | 4671937.1 |
| Datum NAD 27 / Clarke 1866 | 42      | 10 | 20 n | 5        | 30 | 20 w | 293044.0 | 4671937.3 |
| Datum NAD 83 / Grs 80      | 42      | 10 | 20 n | 5        | 30 | 20 w | 293049.7 | 4671937.1 |

En la cartografía se especifica, habitualmente, tanto el elipsoide como el Datum en las Leyendas de los mapas:

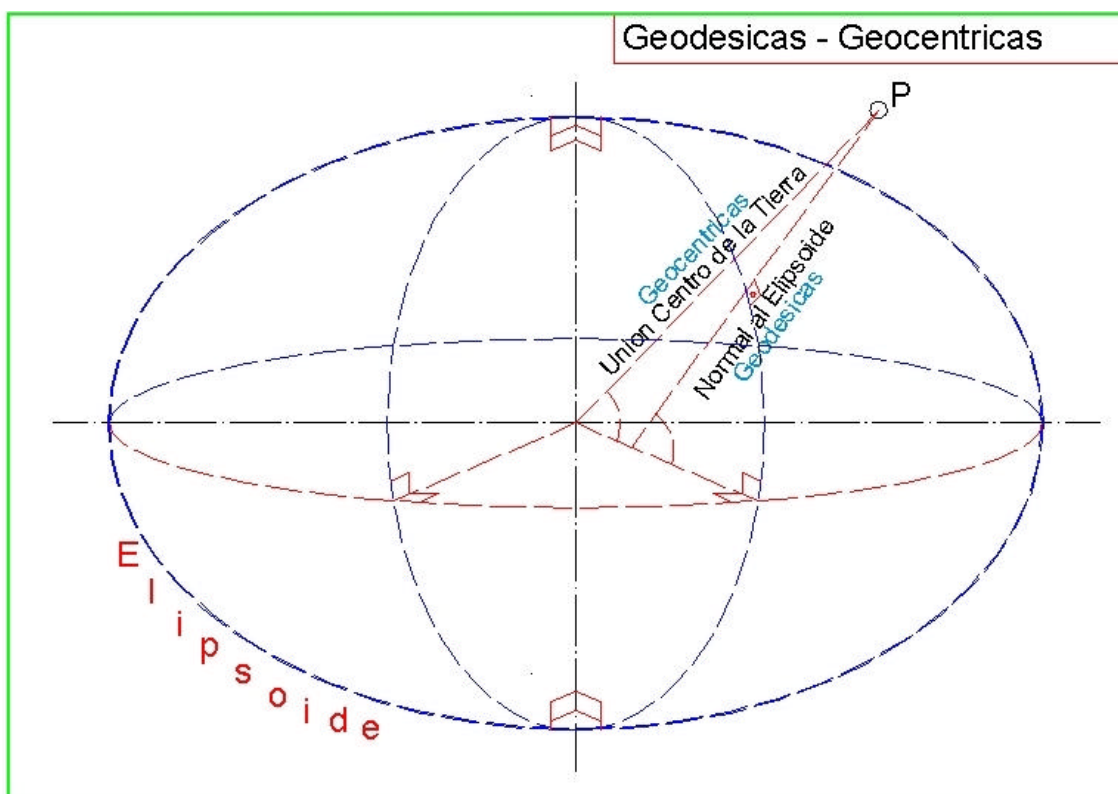


## **7.7 Coordenadas Geodésicas y Coordenadas Geocéntricas**

El origen de medición de las coordenadas geográficas puede coincidir, o no, con el centro de gravedad de la tierra, creándose dos coordenadas geográficas distintas:

- Coordenadas **Geodésicas**; aquellas que están referidas al elipsoide.
- Coordenadas **Geocéntricas**; aquellas que están definidas con respecto al centro de gravedad de la tierra, **(x,y,z)** ó  $(\lambda, \omega, h)$ .

Las geodésicas calculan la latitud trazando la normal al elipsoide de referencia y las Geocéntricas uniendo el punto objeto con el centro de la tierra:



Por lo general, siempre que no se especifique lo contrario, todo lo que tenga el formato  $6^{\circ} 30' 12.23''$  N,  $14^{\circ} 22' 12.351''$  W, se refiere a coordenadas geodésicas, medidas sobre el elipsoide.

En cambio las coordenadas geocéntricas toman el formato  $(x,y,z)$  o bien también son expresadas con el formato; longitud, latitud y altura, referidas al centro de la tierra.

Pero no todas las coordenadas en formato  $(\lambda, \omega, h)$  son geodésicas y a menudo se confunden con las geocéntricas, por ejemplo el elipsoide **WGS-84**, elipsoide de referencia en la constelación **GPS**, es un elipsoide que toma su origen en el centro de gravedad de la tierra, luego las coordenadas geográficas referidas a el no son geodésicas sino geocéntricas, aunque habitualmente se tomen como geodésicas ya que tienen el formato común de las geodésicas.

Las coordenadas Geodésicas, generalmente, están referidas a un origen del elipsoide y este puede no coincidir con el resto e los elipsoides, al no coincidir sus dimensiones, su desviación con la vertical y su desviación en el meridiano, de modo que un punto tiene coordenadas geográficas distintas en función del Datum de referencia:

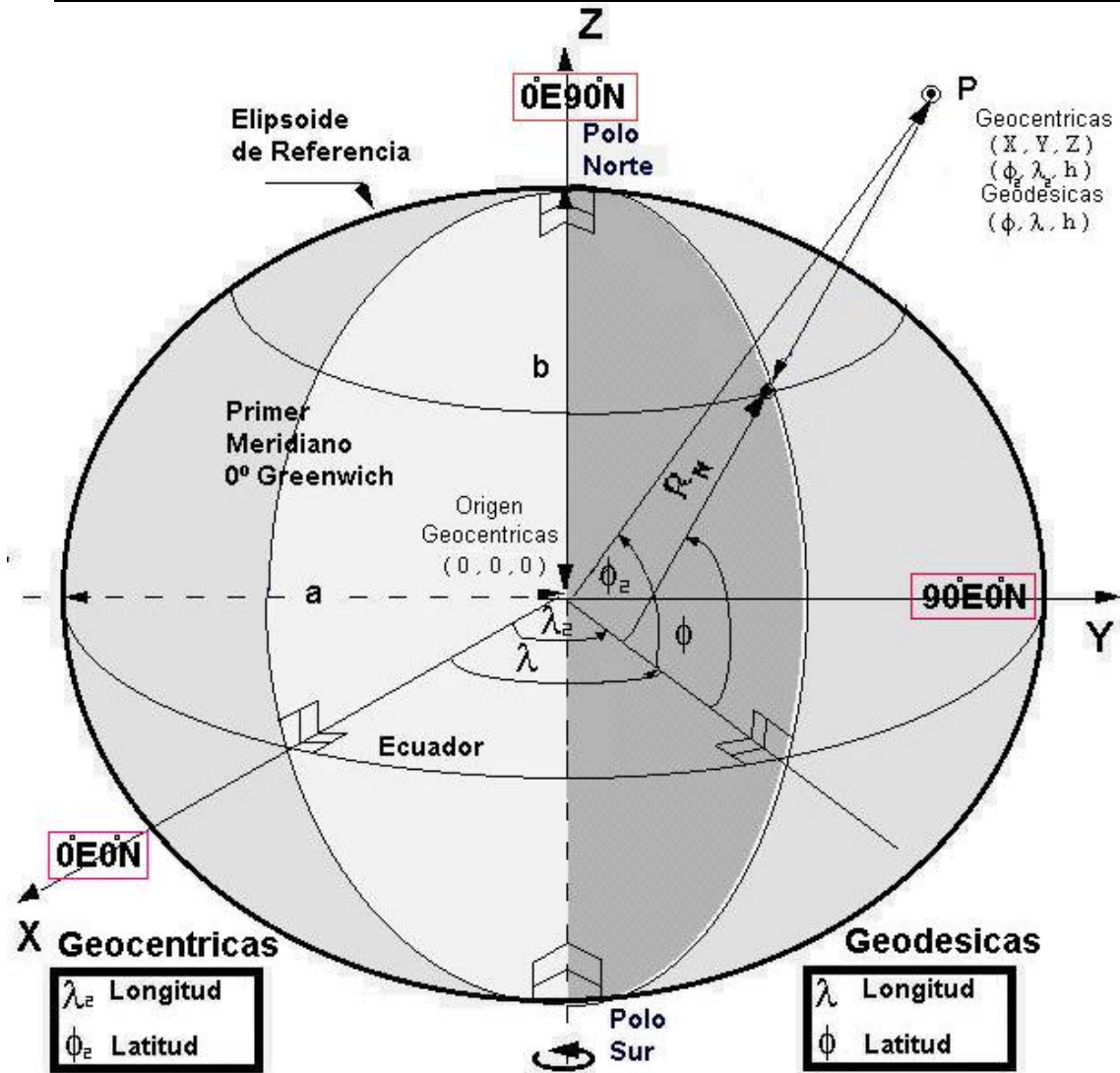
| Datum / elipsoide          | Latitud |    |      | Longitud |    |      | Corresponden Geográficas |                            |
|----------------------------|---------|----|------|----------|----|------|--------------------------|----------------------------|
|                            | °       | '  | “    | °        | '  | “    | Datum / elipsoide        | Long/latitud               |
| Datum Ed50 / internacional | 42      | 10 | 20 n | 5        | 30 | 20 w | Datum Wsg-84             | 42°10'15.77"N 5°30'24.99"W |
| Datum Wsg-72 / Wsg-72      | 42      | 10 | 20 n | 5        | 30 | 20 w | Datum Wsg-84             | 42°10'20.11"N 5°30'19.45"W |
| Datum Wsg-84 / Wsg-84      | 42      | 10 | 20 n | 5        | 30 | 20 w | NAD 27 / Clarke 1866     | 42°10'22.75"N 5°30'25.42"W |
| Datum NAD 27 / Clarke 1866 | 42      | 10 | 20 n | 5        | 30 | 20 w | Datum ED50               | 42°10'21.48"N 5°30'9.59"W  |
| Datum NAD 83 / Grs 80      | 42      | 10 | 20 n | 5        | 30 | 20 w | Datum Wsg-84             | 42°10'24.23"N 5°30'15.01"W |

El ejemplo expuesto tiene una serie de errores; **cada Datum tiene un ámbito de aplicación distinto** y no puede ser empleado fuera de la zona geográfica para la que fue creado.

En el ejemplo se calculan unas coordenadas geográficas desde un Datum NAD 27 / Clarke 1866, que es un Datum de Norte América, transformadas a un Datum ED50, que es un Datum de empleo exclusivo europeo.

Como contrapartida existen una serie de datums, como son el WGS-72 y el WSG-84, cuyo empleo es mundial y a su vez son geocéntricos, y las coordenadas geodésicas y geocéntricas coinciden.

El origen de las coordenadas geocéntricas se toma en el centro de la tierra y sus ejes x,y,z:





## **7.8 DATUM WGS-84. SISTEMA GPS.**

Con el empleo de nuevas técnicas de posicionamiento, en especial la constelación GPS, (Sistema de Posicionamiento Global, creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD)) se hace necesario disponer de un sistema para posicionar una situación geográfica con referencia a un **Datum Universal** con cobertura en toda la superficie terrestre, evitándose así la “territorialidad” del resto de los Datum existentes.

Para ello fue creado en sistema WGS, (world geodetic system, Sistema Geodésico Mundial), con el primer sistema denominado WGS-74, revisado y modificado, estando actualmente vigente y en uso el sistema WGS-84

Las coordenadas que se obtienen de la constelación de satélites pueden ser cartesianas en el espacio respecto al centro de masas de la Tierra (X, Y, Z) o geodésicas ( $\lambda, \omega, h$ ). El sistema de referencia tiene las siguientes características:

|                |                                                                                          |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Origen (0,0,0) | Centro de Masas de la Tierra.                                                            |
| Eje Z          | paralelo al polo medio                                                                   |
| Eje X          | Intersección del meridiano de Greenwich y el plano del ecuador                           |
| Eje Y          | perpendicular a los ejes Z y X, y coincidente con ellos en el Centro de Masas terrestre. |

Las coordenadas geodésicas están referidas a un elipsoide de revolución con las siguientes características:

|                                            |                                     |
|--------------------------------------------|-------------------------------------|
| Semieje mayor (a)                          | 6.378.137 m                         |
| Inversa del aplanamiento (1 / f)           | 298,257223563                       |
| Velocidad angular de rotación ( $\omega$ ) | $7.292.115 \cdot 10^{-11}$ rad / s. |

Esta constelación es empleada en métodos de captura de datos Topográficos y sobre todo en navegación Aérea y Marítima. Por ello es usual encontrarse en la cartografía la correspondencia entre el Datum Wgs-84 y el empleado en nuestra zona; **European Datum 1950**:

*NOTA: Las situaciones obtenidas por medio de satélite de navegación referidas al Sistema Geodésico Mundial (WGS) deberán ser desplazadas 0,07 minutos al Norte y 0,09 minutos al Este para estar correctamente representadas en esta carta.*

## 8 LA COORDENADA “Z”

Hasta el momento solamente hemos hablado de las posiciones geográficas, Longitud, latitud y de la posición **UTM**  $x,y$  de los sistemas de referencia cuadriculados (“**grid**”), pero no hemos hablado de la coordenada  $z$ , con la que el punto queda definido por sus coordenadas  $(x,y,z)$  ó  $(N,T,h)$ .

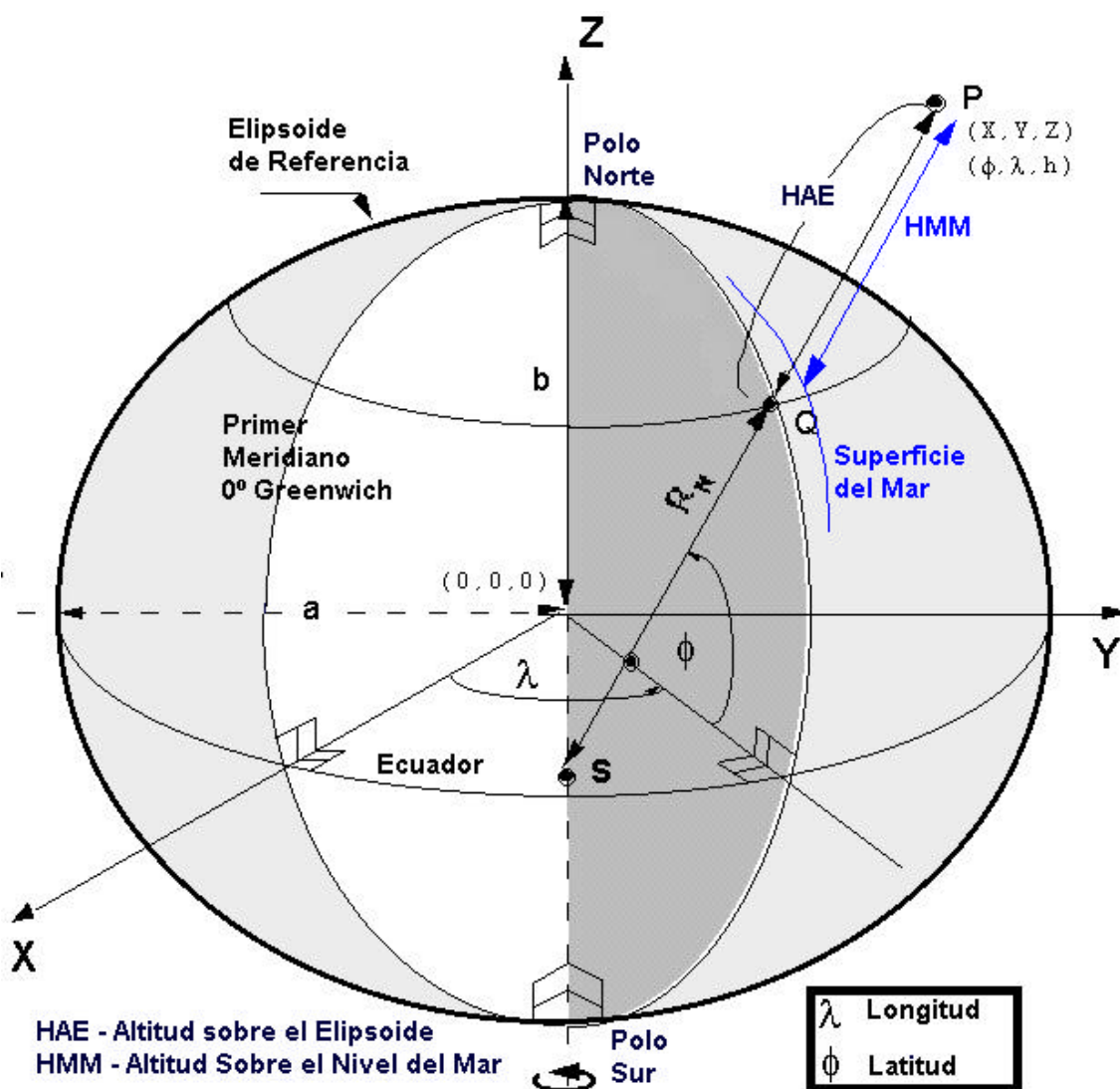
La medición de la “**Z**” de un punto implica que esta deba de ser referenciada a uno de los sistemas geodésico empleado.

Así se puede referenciar la “**Z**” a la distancia existente entre el punto objeto a medir su cota, en cuyo caso hablamos de **Altitud** del punto, o Bien referirla al Nivel Medio del Mar, en cuyo caso estaremos hablando de **Cota** del punto.

Estas dos “alturas”, que por lo general no son coincidentes, se notan como:

- **HAE** – Altura sobre el elipsoide (“**HAE Elipsoid Height (m)**”)
- **HMM** – Altura sobre el Nivel del Mar (“**MSL Height (m)**”)

Para España, la altura sobre el nivel del mar se toma en Alicante, punto sobre el cual se encuentra nivelada la red Geodésica Principal Española:



Esta diferencia en la coordenada "z" tiene diferencias que llegan a ser de hasta 100 m, dependiendo del elipsoide y la situación geográfica del punto.

Por ejemplo un punto de coordenadas:

42° 10' 22.4"N

5° 22' 14.4"W (Datum **WGS-84**)

Tiene de coordenada z, **Datum WGS-84**:

**HAE**- Altura sobre el Elipsoide = 500 m

**HMM**- Altura Sobre el Nivel Medio del Mar = 445 m

(Datum **WGS-84**)

Sobre el Datum **Ed-50**:

**HAE**-Altura sobre el Elipsoide = 575 m

**HMM**- Altura Sobre el Nivel Medio del Mar = 519 m

(**European Datum 1950**)

Sobre el Datum "**Pico de las Nieves**"

**HAE**-Altura sobre el Elipsoide = 425 m

**HMM**- Altura Sobre el Nivel Medio del Mar = 445 m

(**European Datum 1950**)

## **Software empleado:**

**Geomedia Profesional.** Intergraph

**Microstation 95,** Intergraph

**Autocad LT 97.** Autodesk

**Arc View 3.1 .** Esri.

**Pc GPS,** CMT inc.

**Garmin GPS II plus**

**PROGRAM UTMS.** (Universal Transverse Mercator System). National Geodetic Survey. NMEA. EEUU

**UTMCON,**

**Carta Digital De España.** Servicio Geográfico del Ejército.

**Geographic Translator Version 2 (Geotrans 2).** US Army Topographic Engineering Center. Geospatial Information Division. National Imagery and Mapping Agency.

**GENCORD PLUS '99.** EOSGIS.

## **Bibliografía**

**Topografía y Lectura de Planos.** Máximo García Vicente. 1980.

**Astronomía de Posición.** Rafael Ferrer Torio, Benjamin Pila Patón. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. 1987.

**Lectura de Mapas.** Francisco Vázquez Maure y José Martín López.

**DoD, EEUU,** (Departamento de Defensa de los Estados Unidos)

Manuales técnicos:

-DMA TM 8358.2 The Universal Grids: Universal Transverse Mercator (UTM) and Universal Polar Stereographic (UPS).

- DMA TM 8358.1 Datums, Elipsoids, Grids and Grid Reference System.

**GPS & Glonass. Descripción y Aplicaciones.** M<sup>a</sup> Paz Holanda Blas y Juan Carlos Bermejo Ortega.

## **Base de datos Geográfica**

A Nivel **Mundial y País:** **Esri World Metadata**

A Nivel **Provincial** e inferior: Base de datos del IGM / CNIG – **Centro Nacional de Información Geográfica**

## **Agradecimientos/Notas**

A **Miguel J. Sevilla de Lerma**, por la cesión de la imagen del geoides IBERGEO-95. (www.eosgis.com)

Si detecta la existencia en esta publicación de una imagen o contenido que debiera estar publicada por pertenecer a otro autor, comuníquelo a Ignacio Alonso Fernández-Coppel y será retirada inmediatamente.

Ruego a los usuarios y lectores, con objeto de mejorar la publicación, comuniquen al autor los errores, comentarios, sugerencias, dudas, aclaraciones y en general todo aquello que consideren oportuno, para lo cual mi dirección de correo es: [topoagri@iaf.uva.es](mailto:topoagri@iaf.uva.es)

Ultima Revisión 13 de febrero de 2001