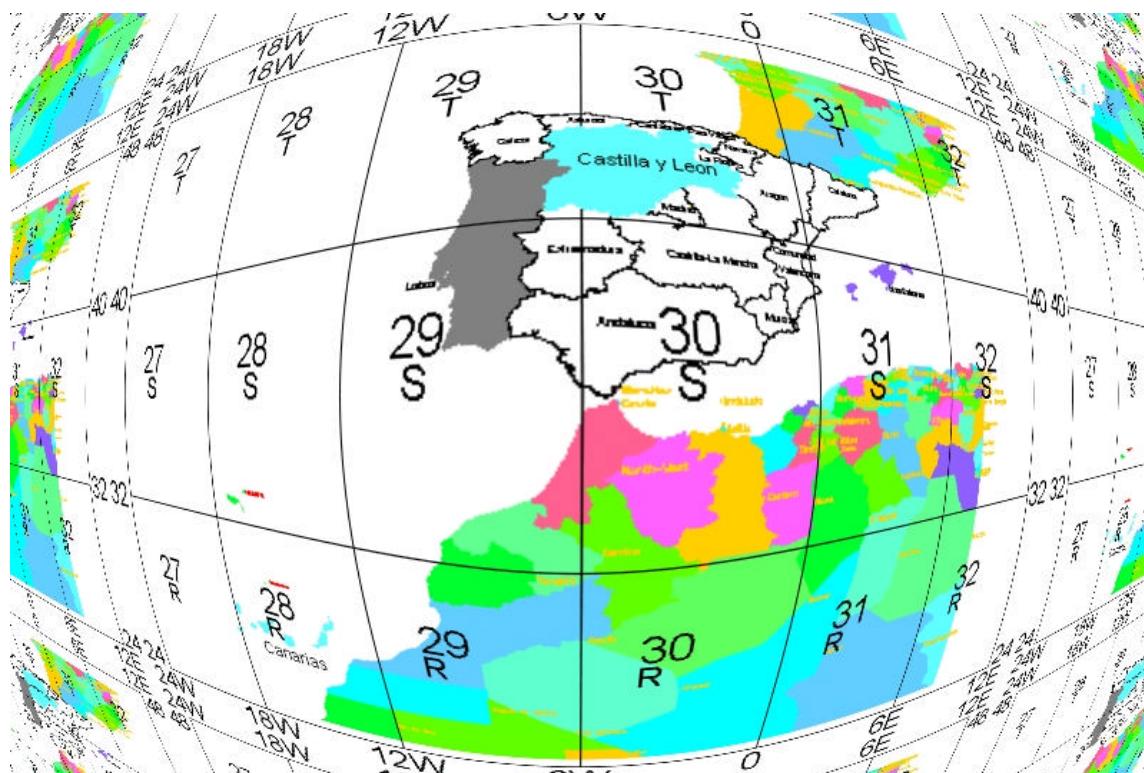


Localizaciones Geográficas.  
**Las Coordenadas  
Geográficas y la  
Proyección UTM.**  
(Universal Transversa Mercator)  
**EI DATUM**



**Ignacio Alonso Fernández-Coppel**  
Profesor Asociado  
Area de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría.  
Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal  
Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Palencia.  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

## **INDICE**

<b>INDICE.....</b>	<b>2</b>
<b>1. LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA DE UN PUNTO.....</b>	<b>4</b>
<b>2. COORDENADAS GEOGRAFICAS.....</b>	<b>4</b>
2.1.1 MERIDIANOS .....	5
2.1.2 PARALELOS.....	7
2.2 LONGITUD .....	9
2.3 LATITUD.....	10
2.4 EJEMPLO DE DESIGNACIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS .....	11
2.5 COORDENADAS GEOGRAFICAS PARA ESPAÑA .....	13
2.6 COORDENADAS GEOGRAFICAS PARA CASTILLA Y LEON.....	14
2.7 DESIGNACION DE COORDENADAS GEOGRAFICAS SOBRE LA CARTOGRAFIA 1:50.000 .....	15
<b>3. PROYECCIONES. LA PROYECCION UTM.....</b>	<b>20</b>
3.1 Proyecciones planas.....	21
3.2 Proyecciones geodésicas.....	22
3.3 LA PROYECCION MERCATOR – MERCATOR TRANSVERSAL.....	23
<b>3.3.A Líneas Loxodrómicas y Ortodrómicas .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.B Ventajas del Sistema UTM .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.C Origen de Coordenadas UTM .....</b>	<b>34</b>
3.3.C.1. Coordenadas en el Huso 30 Norte.....	36
3.3.C.2 Distancias entre Paralelos y Meridianos .....	37
3.3.C.3 Desarrollo de la Proyección UTM en toda la superficie Terrestre .....	37
<b>3.3.E. La Medición del Norte Geográfico Verdadero.....</b>	<b>41</b>
Convergencia de meridianos en el Meridiano Central del Huso.....	42
Convergencia de meridianos al Este del Meridiano Central del Huso.....	42
Convergencia de meridianos al Oeste del Meridiano Central del Huso.....	42
<b>3.3.F Designación de Coordenadas UTM.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.G.1 ¿Duplicidad de Coordenadas UTM? .....</b>	<b>46</b>
3.3.G.1 Duplicidad de coordenadas entre extremos de dos husos consecutivos .....	46
3.3.G.2 Representación de varios Husos bajo solo Origen grid de un Huso .....	47
<b>4 SISTEMA UTM. DISTRIBUCION DE HUSOS .....</b>	<b>51</b>
4.1 Distribución de Husos y Zonas para España .....	52
4.2 Distribución de Husos y Zonas para Castilla y León.....	53
<b>5 CUADRICULAS DE COORDENADAS UTM.....</b>	<b>54</b>
5.1 Limite de Percepción Visual .....	56
5.2 Digitalización de planos/mapas .....	59
<b>6 LOCALIZACION DE HUSOS Y ZONAS UTM PARA ESPAÑA.....</b>	<b>60</b>
6.1 INDETERMINACION CAUSADA POR NO ESPECIFICAR EL HUSO .....	64
<b>7 EL DATUM.....</b>	<b>65</b>
7.1 EL GEOIDE .....	65
7.2 EL ELIPSOIDE .....	66
ESFERICIDAD TERRESTRE .....	67
Elipsoide comparado con el Geoide.....	69
Elipsoide comparado con el Geoide. Ejemplos.....	70
7.3 EL DATUM.....	72
7.3.1 Desviaciones de los ángulos fundamentales del DATUM.....	73
7.4 ELIPSOIDES de empleo usual .....	75
7.5 DATUMS de empleo usual .....	75
7.6 Diferencias ocasionadas al emplear DATUMS distintos .....	76
7.7 Coordenadas Geodésicas y Coordenadas Geocéntricas .....	79
7.8 DATUM WGS-84. SISTEMA GPS .....	82
<b>8 LA COORDENADA “Z” .....</b>	<b>83</b>
<b>Software empleado:.....</b>	<b>85</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>85</b>
<b>Base de datos Geográfica .....</b>	<b>85</b>
<b>Agradecimientos/Notas.....</b>	<b>85</b>

## **0. INTRODUCCION**

Esta publicación tiene como objeto el acercamiento al lector el conocimiento de los parámetros cartográficos comúnmente utilizados, con cinco pilares básicos: las coordenadas Geográficas, la proyección **UTM**, la esfericidad terrestre, la representación terrestre y el **DATUM**.

Las localizaciones geográficas las empleamos, habitualmente, para la localización de proyectos, centroides de parcelas, mallas de muestreo, empleadas en proyectos dentro del ámbito de la ingeniería. Hoy en día, debido al famoso ya fenómeno de la “globalización”, unido al empleo cada vez en mayor medida de los sistemas de posicionamiento global, **GPS**, es necesario conocer los parámetros que emplean estos sistemas, para no llevarnos desagradables sorpresas con los resultados de las mediciones efectuadas en campo, sobre todo al superponerlo con cartografía digital, o la existente editada por las instituciones.

Se expondrán distintos sistemas de proyección con sus características principales. Se desarrolla la proyección **UTM**, describiéndola a partir de la proyección Mercator, hasta centrarnos en el origen de las coordenadas distribución de husos, la convergencia de meridianos y las mallas **UTM**.

El desarrollo de esta proyección se efectúa, no porque sea la mejor, sino porque es la empleada en la cartografía Española, y debido a las innumerables preguntas que efectúan los alumnos de esta Escuela Universitaria y las que surgen en los foros de discusión y listas de distribución tipo (SIG), me inducen a efectuar esta monografía.

Digo que no es la mejor proyección, ya que presenta una serie de problemas sobre todo a la hora de trabajar con ella, en especial cuando se cambia de Huso, etc. Hay que recordar que si España adopto este sistema es porque no le quedo mas remedio que adoptarlo. Hace poco alguien me dijo: “Si en los años 50, cuando los Americanos nos dieron la cartografía de España en proyección UTM, les hubiéramos dado con ella en la cabeza, habríamos ganado mucho”, y que razón tiene, con esto, creo, que esta todo dicho.

Una vez acercada la forma terrestre y su representación combinándola con el Geoide y Elipsoide, se define el **DATUM**, considerándolo desde el punto de vista que define un origen y situación de un sistema de coordenadas valido para una determinada zona de la tierra, no extrapolable a toda la superficie terrestre.

Por ultimo se determinan una serie de puntos empleando datums distintos, para ver sus diferencias, coordenadas geocéntricas y coordenadas geográficas. Se definirá el sistema **WGS-84**, así como una breve pincelada sobre la medición de la coordenada “Z”, de la que habría bastante que hablar.

Hubiese sido fácil llenar la publicación de formulas y formulas, que convertirían la monografía en un somnifero estupendo y aburriría a un caballo de madera, pero se ha intentado llenarla de gráficos e imágenes que ayuden a la comprensión de los temas tratados y hacer mas amena su lectura.

Me conformo con que cuando en un proyecto, publicación, cartografía o cuando simplemente se localice un punto en coordenadas Geográficas o en Coordenadas **UTM** se especifique el **Datum/Elipsoide** de referencia en el que se están dando esas coordenadas o esa cartografía.

No es mucho, ¿no?...

Si además no me preguntan si “esas líneas de color azul” que existen en la cartografía Española 1:50.000 y 1:25.000 son los meridianos y paralelos, juro que me doy con un canto en los dientes...

## 1. LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA DE UN PUNTO

Básicamente la localización geográfica de un punto se puede realizar detallando uno de estos dos parámetros:

- Coordenadas geográficas en formato Longitud-Latitud.
- Coordenadas (x,y) UTM. Universal Transversa Mercator.

Cada uno de estas dos formas de localizar un punto sobre la superficie terrestre debe de cumplir los siguientes requisitos:

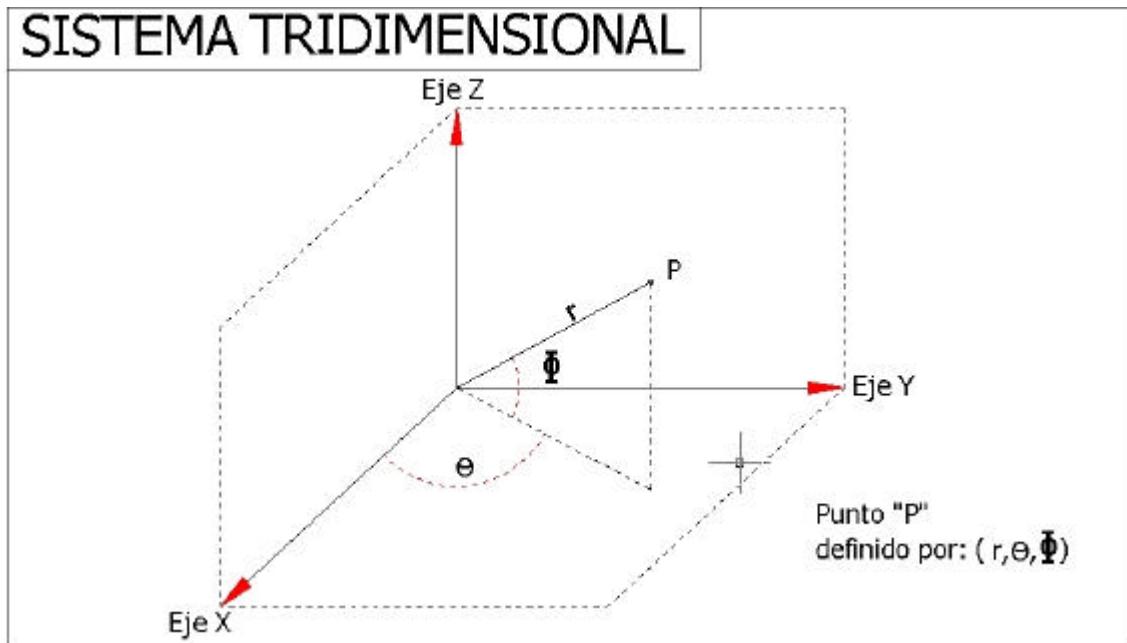
- Que el punto sea único
- Que quede perfectamente identificado el sistema de proyección empleado al localizar el punto.
- Que permita referenciar la coordenada "z" del punto

## 2. COORDENADAS GEOGRAFICAS

Las coordenadas Geográficas son una forma de designar un punto sobre la superficie terrestre con el siguiente formato:

3°14'26" W  
42°52'21" N

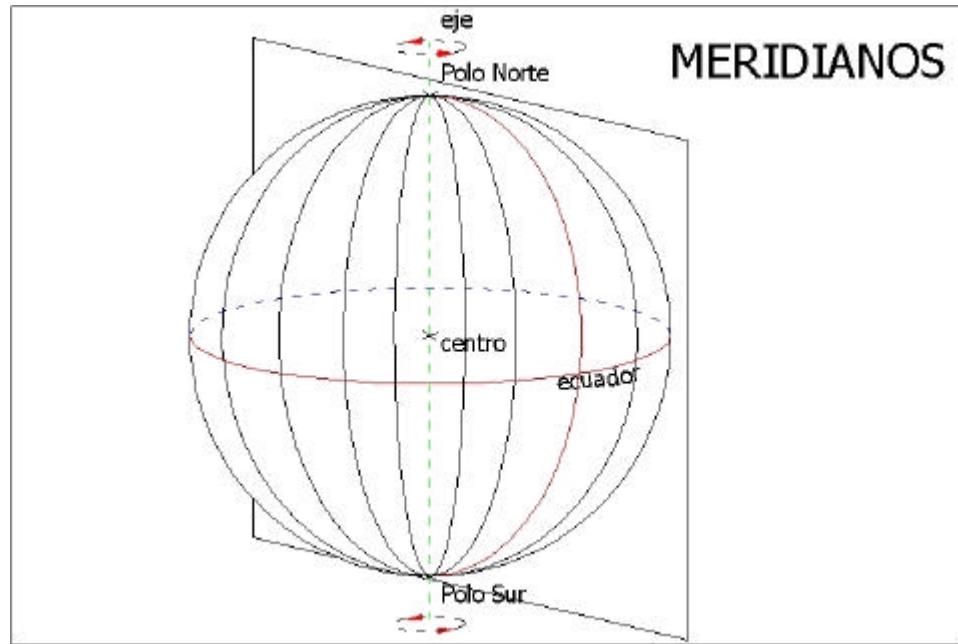
Esta designación supone la creación de un sistema de referencia de tres dimensiones:



- Se define el eje de la tierra como la recta ideal de giro del globo terráqueo en su giro del movimiento de rotación. Es la recta que une los dos polos geográficos. Polo Norte y Polo Sur.
-

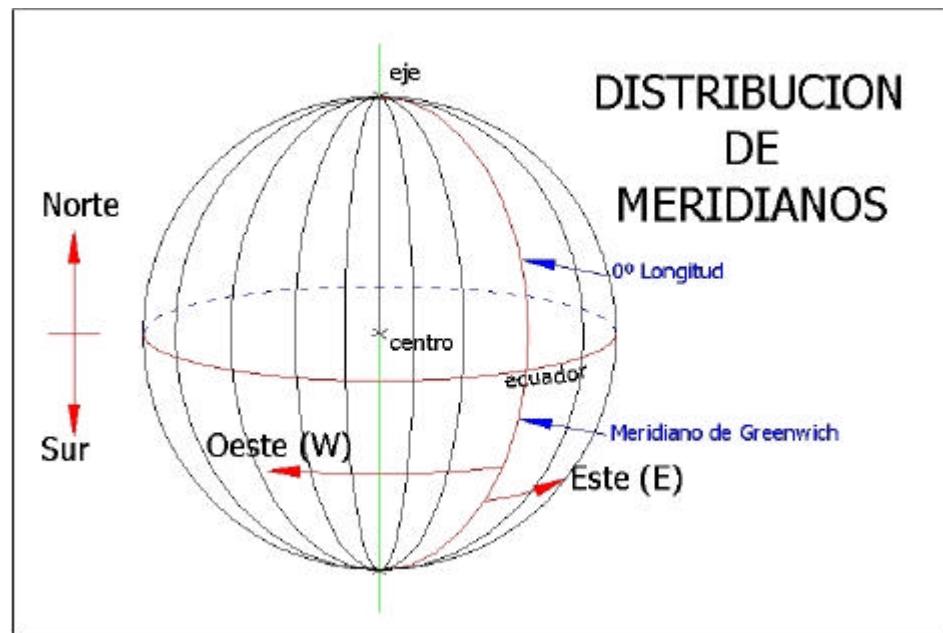
### 2.1.1 MERIDIANOS

Se definen los meridianos como las líneas de intersección con la superficie terrestre, de los infinitos planos que contienen el eje de la tierra.

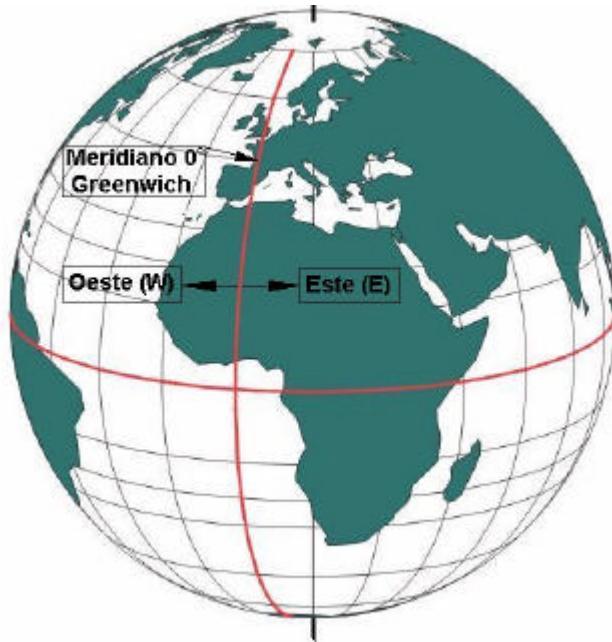


El sistema toma como origen para designar la situación de una posición geográfica un determinado meridiano, denominado **meridiano  $0^{\circ}$** , cuyo nombre toma el de una ciudad inglesa por el que pasa; “**GREENWICH**”.

La existencia de este meridiano divide al globo terráqueo en dos zonas; las situadas al Oeste (W) del meridiano  $0^{\circ}$ , hasta el antemeridiano y las situadas al Este (E) del meridiano  $0^{\circ}$  hasta el antemeridiano:

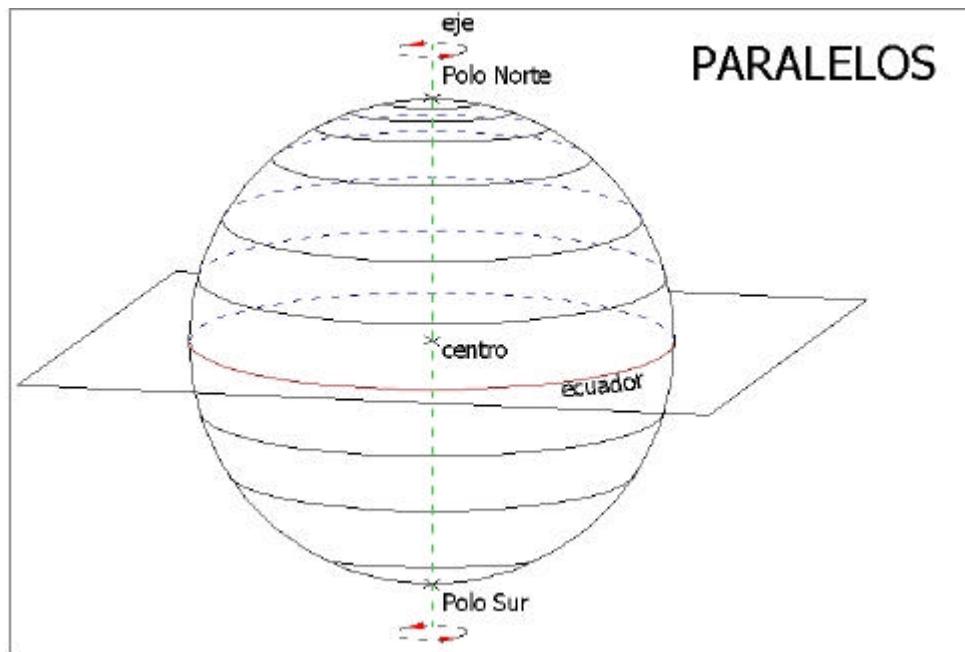


Con la superficie terrestre:

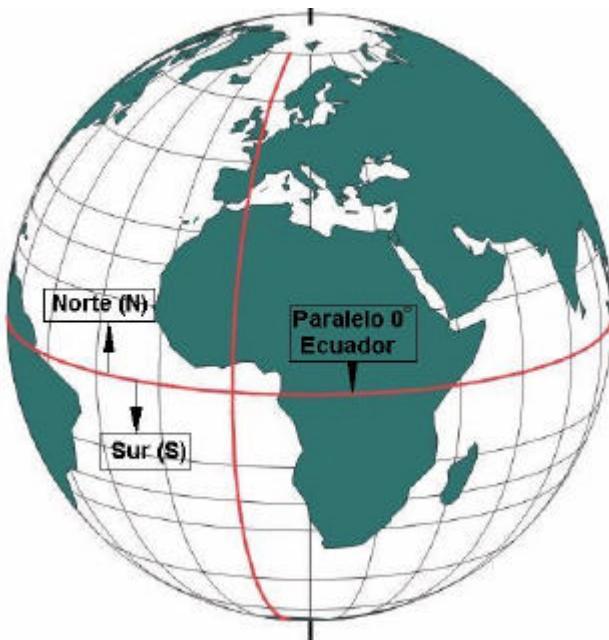


## 2.1.2 PARALELOS

Se definen los paralelos como las líneas de intersección de los infinitos planos perpendiculares al eje terrestre con la superficie de la tierra.



Se definen sobre el globo terráqueo los paralelos, creándose el paralelo principal aquel que se encuentra a la máxima distancia del centro de la tierra. A este paralelo de mayor radio se le denomina "**ECUADOR**", que divide el globo en dos casquetes o hemisferios; el hemisferio norte y el hemisferio sur. Paralelos geométricamente a él, se trazan el resto de los paralelos, de menor radio, tanto en dirección al polo Norte como al Polo sur:



Este paralelo principal, o **ECUADOR**, se toma como origen en el sistema de referencia creado, de modo que se designa la situación de un punto haciendo referencia a su situación respecto de estos dos casquetes:

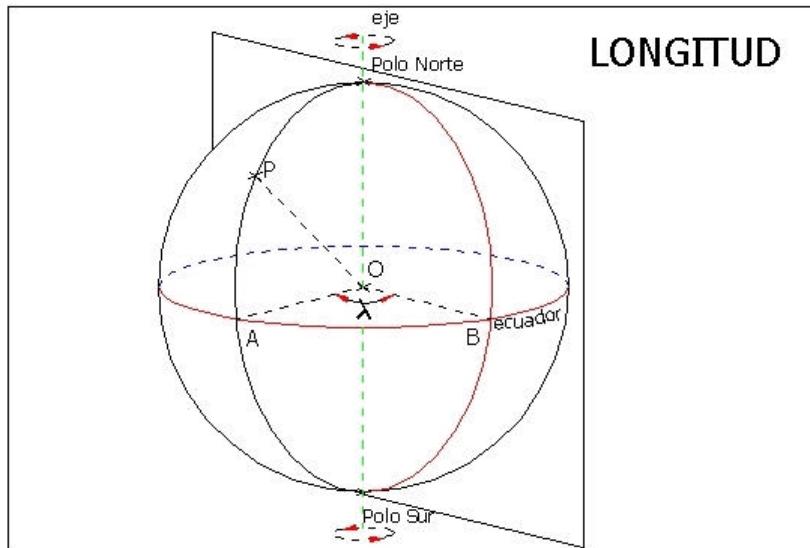
Una vez que tenemos establecida una red de meridianos y paralelos, la situación geográfica de un punto viene definida por su longitud y su latitud, con referencia a la red creada:

## **2.2 LONGITUD**

Se define la Longitud ( $\lambda$ ) de un punto P como el valor del diedro formado por el plano meridiano que pasa por P y el meridiano origen, (**0º Meridiano de Greenwich**).

La longitud es gráficamente el ángulo formado por OAB:

$$\lambda = \text{OAB}$$



La designación de la longitud lleva aparejada la designación de la posición espacial del punto con respecto al meridiano origen o meridiano de Greenwich, así se designa posición Oeste (W) cuando está a la izquierda del meridiano origen y Este (E) cuando está situado a la derecha.

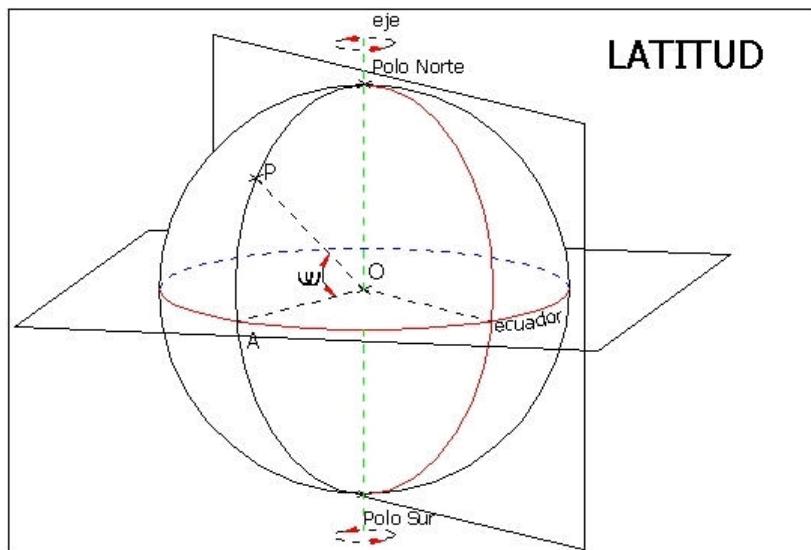
La latitud presenta un mínimo posible de 0º hasta un máximo de 180º, 0º-180ºE, 0º-180º W.

## **2.3 LATITUD**

Se denomina Latitud geográfica ( $\omega$ ) de un punto P al ángulo formado por la vertical a la tierra que pasa por dicho punto con el plano ecuador.

La vertical se considera la unión del punto con el origen o centro de la tierra, obteniéndose la latitud midiendo el ángulo ( $\omega$ ) sobre el meridiano que pasa por el punto P.

$$\omega = \text{OAP}$$

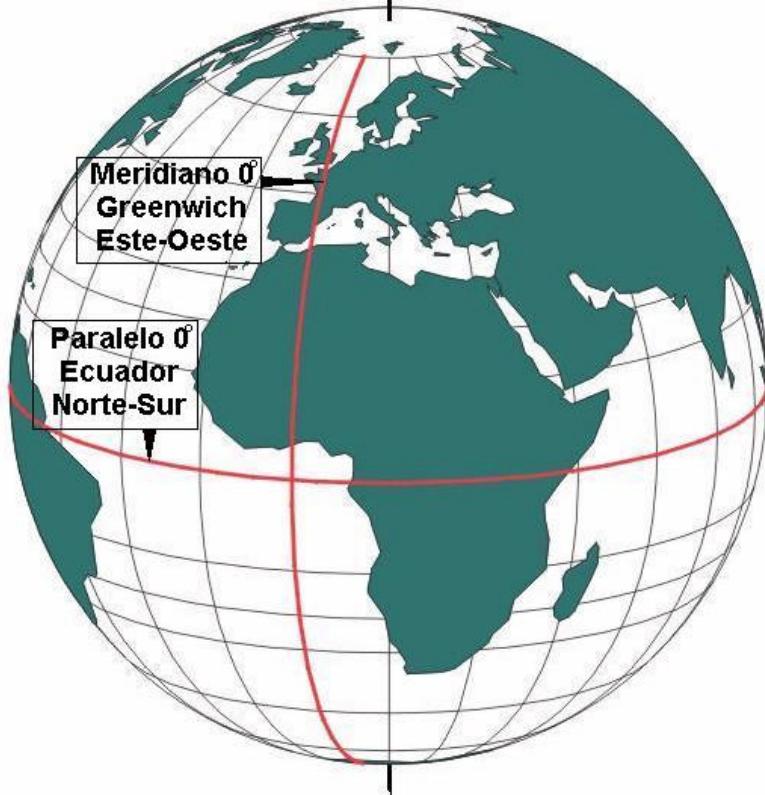


La latitud máxima y mínima va desde los  $0^\circ$  hasta los  $90^\circ$ ,  $0^\circ$ - $90^\circ\text{N}$ ,  $0^\circ$ - $90^\circ\text{S}$ .

Los  $90^\circ$  de latitud coinciden con los polos, polo Norte y polo Sur.

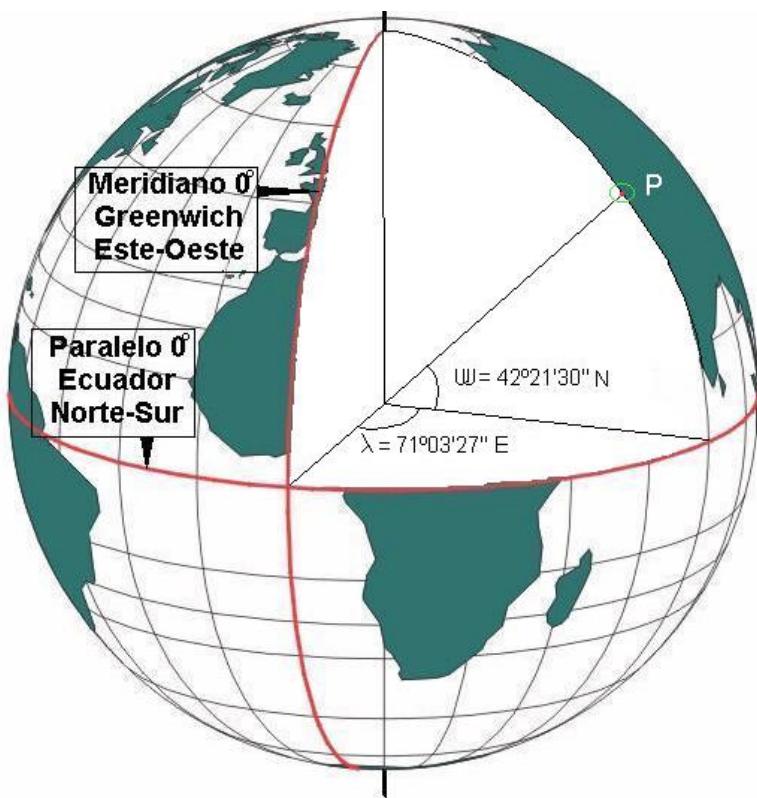
(nota datos expresados en el sistema de medición angular sexagésimal, ya que es el sistema empleado para la medición de las coordenadas geográficas)

Este sistema de designación tiene los siguientes orígenes para la Longitud y la Latitud:



## **2.4 EJEMPLO DE DESIGNACIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS**

Dado el siguiente croquis se designa un punto “P” sobre la superficie terrestre:



El punto "P" representado en la figura anterior tiene de coordenadas geográficas:

$$\lambda=71^{\circ} 03' 27'' \text{ E}$$

$$\omega=42^{\circ} 21' 30'' \text{ N}$$

Longitud referida al meridiano de Greenwich

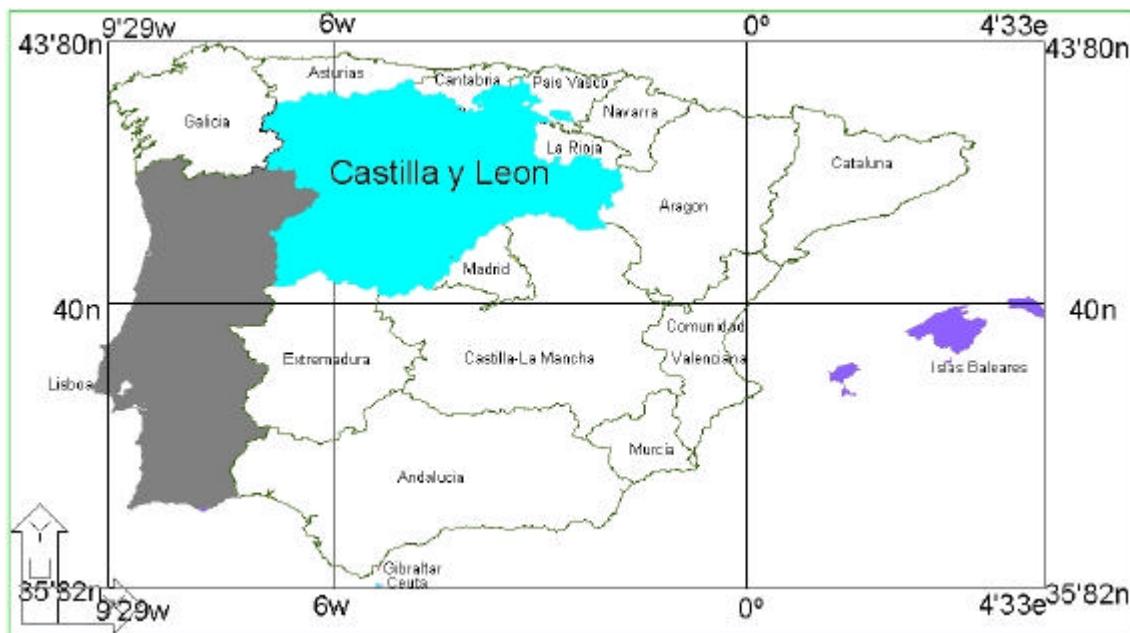
Es conveniente especificar cual es el meridiano de origen, ya que antes era común que cada país tuviese su "meridiano 0°". En España antiguamente se empleaba el "**Meridiano de Madrid**" como origen longitudes, dicho meridiano es el que pasa por el Observatorio Astronómico de Madrid;



Para convertir una localización geográfica referida al meridiano de Madrid al meridiano de Greenwich hay que modificar las longitudes en  $-3^{\circ} 41' 15''$ . Este sistema actualmente está en desuso, tendiéndose al sistema internacional con el meridiano recomendado. (Greenwich  $0^{\circ}$ )

## **2.5 COORDENADAS GEOGRAFICAS PARA ESPAÑA**

La localización geográfica de la Península Ibérica, Baleares y plazas africanas es la siguiente:



Las coordenadas geográficas presentan los siguientes máximos y mínimos:

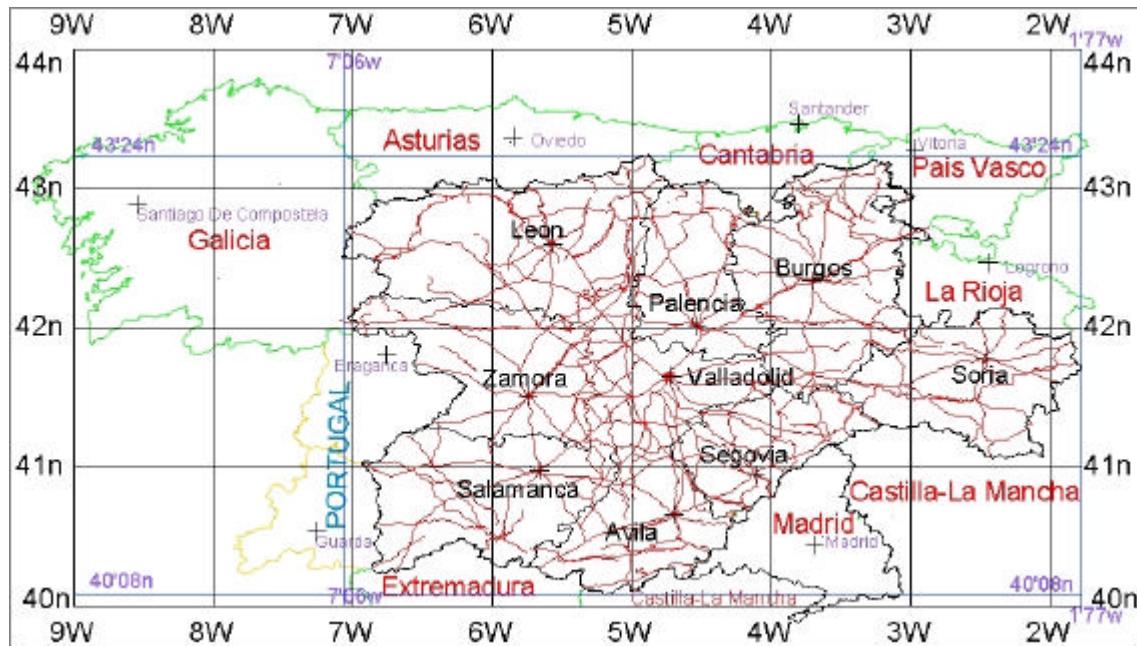
	Mínima	Máxima
<b>Latitud</b>	35°8'20 N	43°8'00 N
<b>Longitud</b>	9°29' W	4°33' E
Longitudes referidas al meridiano de Greenwich		

Para el archipiélago canario:



	Mínima	Máxima
<b>Latitud</b>	27°6'00 N	29°42'00 N
<b>Longitud</b>	13°40' W	18°2' W
Longitudes referidas al meridiano de Greenwich		

## 2.6 COORDENADAS GEOGRAFICAS PARA CASTILLA Y LEON

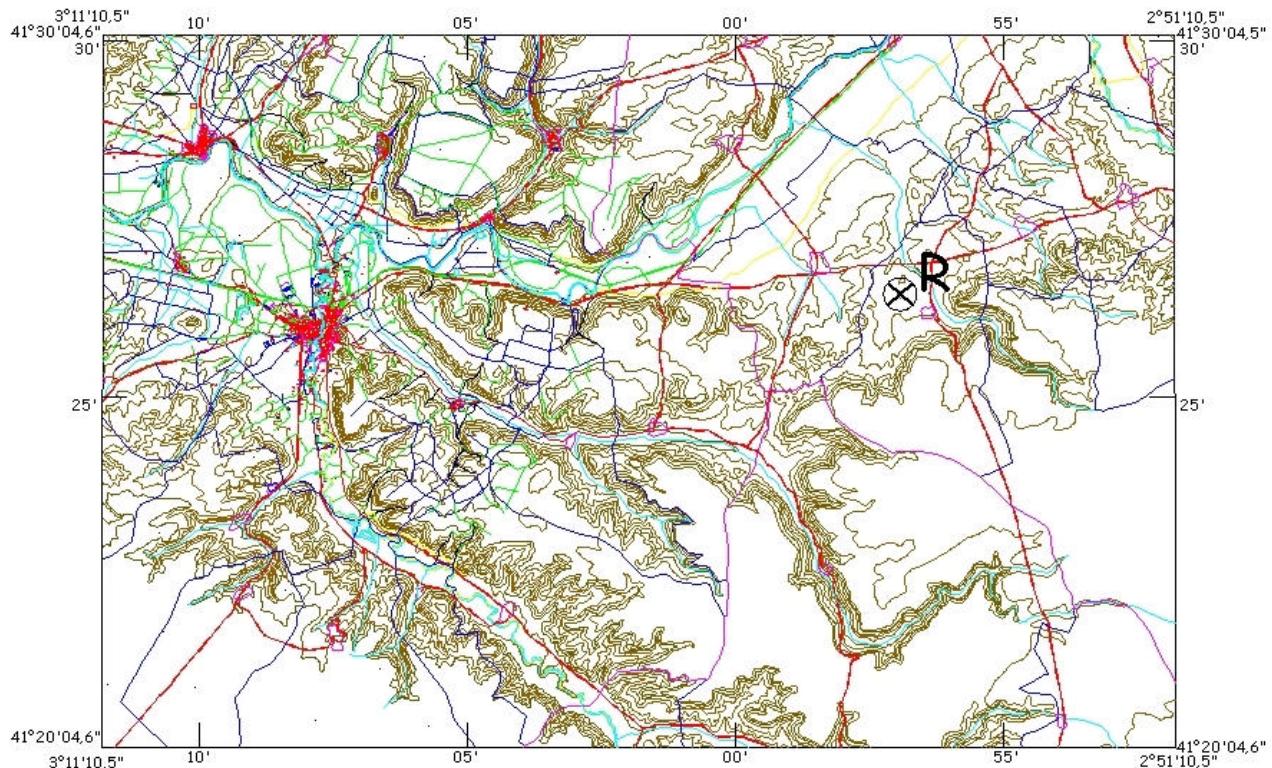


	Mínima	Máxima
<b>Latitud</b>	40'08° N	43'24° N
<b>Longitud</b>	1'77° W	7'06° W

Longitudes referidas al meridiano de Greenwich

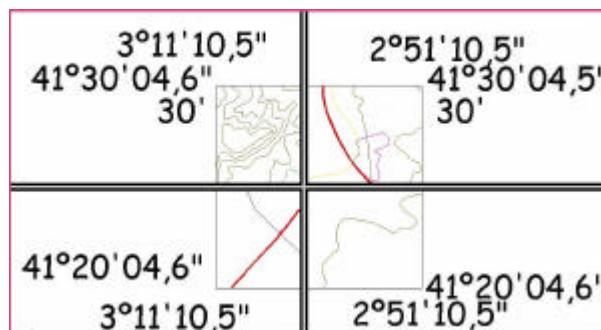
## **2.7 DESIGNACION DE COORDENADAS GEOGRAFICAS SOBRE LA CARTOGRAFIA 1:50.000**

Como ejemplo de designación de coordenadas geográficas se designa un punto "R":



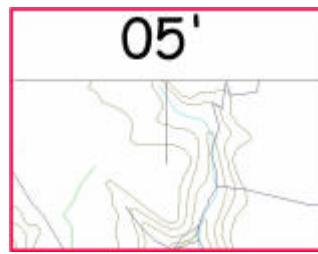
Punto existente en un plano a escala 1:50.000, (sin escala en la imagen anterior).

Sobre esta cartografía, las coordenadas geográficas están situadas en las cuatro esquinas del mapa:

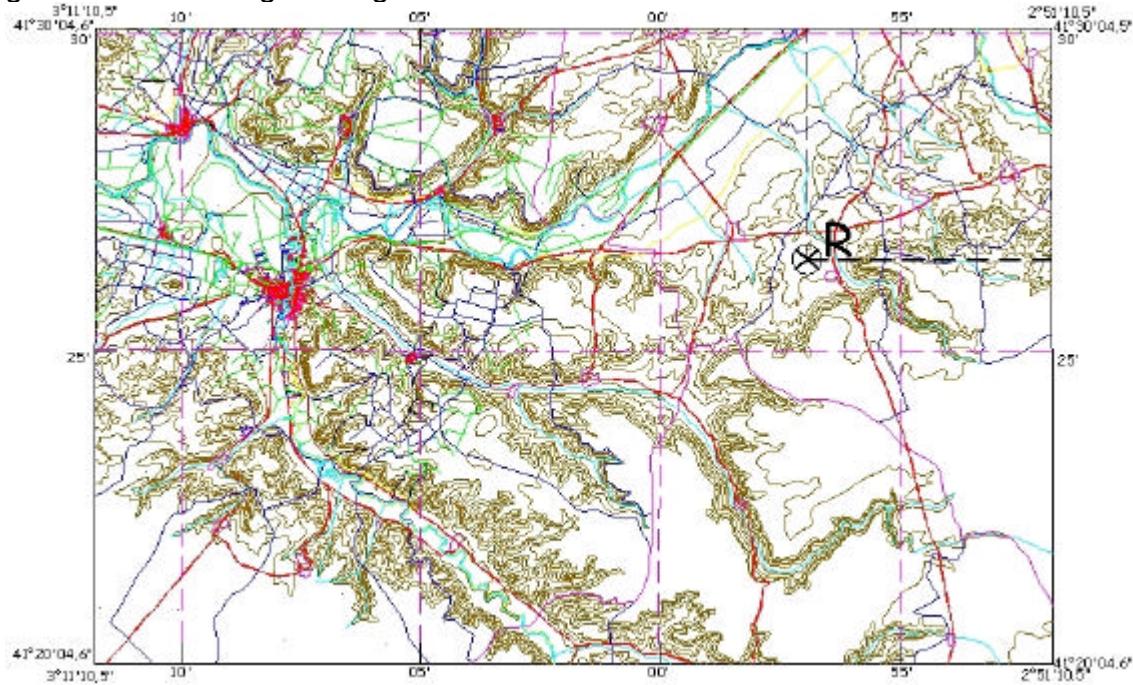


Nótese que las dos líneas exteriores en posición vertical marcan la dirección de los meridianos, así como las horizontales marcan la dirección de dos paralelos.

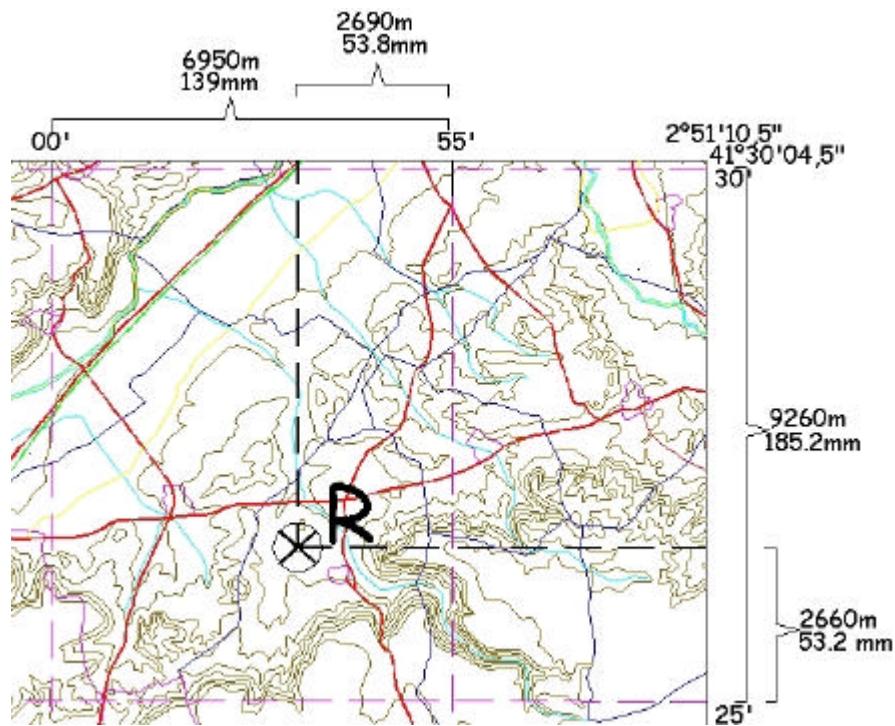
Accesoriamente a estas coordenadas exteriores existe una serie de subdivisiones interiores graduadas cada 5':



Para designar la coordenada geográfica del punto "K", unimos las graduaciones de igual longitud/latitud:



Y realizamos la medición, sobre el exterior, de las distancias existentes entre cada dos subdivisiones y la existente desde una marca auxiliar hasta las líneas horizontal o vertical del punto a medir:



Calculamos, en primer lugar, la diferencia de longitud con una marca auxiliar:

$$5' \Rightarrow 5'*60''/1' \Rightarrow 300''$$

$$\begin{array}{lcl} 300'' & \Rightarrow & 6950 \text{ m} \\ \times & \Rightarrow & 2690 \text{ m} \end{array}$$

$$x = 2690*300'' / 6950 \text{ m} = 116''$$

$$116'' \Rightarrow 0^\circ 1' 56''$$

Por lo que la Longitud calculada es:

Longitud en la marca en el Mapa	02°55'00"
Diferencia Hasta la marca en el Mapa	00°01'56"
Longitud Total Calculada	02°56'56"

Calculamos ahora la diferencia de Latitud:

$$5' \Rightarrow 5'*60''/1' \Rightarrow 300''$$

$$\begin{array}{lcl} 300'' & \Rightarrow & 9260 \text{ m} \\ \times & \Rightarrow & 2660 \text{ m} \end{array}$$

$$x = 2660*300'' / 9260 \text{ m} = 86''$$

$$86'' \Rightarrow 0^\circ 1' 26''$$

Por lo que la Latitud calculada es:

Latitud en la marca en el Mapa	41°25'00"
Diferencia Hasta la marca en el Mapa	00°01'26"
Latitud Total Calculada	41°26'26"

Las coordenadas del punto K son:

41°26'26" Hemisferio Norte $\Rightarrow 41^\circ 26'26'' \text{ N}$
02°56'56" Oeste de 0° Greenwich $\Rightarrow 02^\circ 56'56'' \text{ W}$

La designación de este punto, para que quede definido el sistema empleado en la designación se debería especificar:

**41°26'26" N      Longitud referida al Meridiano de Greenwich  
02°56'56" W      Datum: ED-50 (European Datum 1950)**

**(La designación de este punto se da con una precisión de 1").**

Una coordenada geográfica sobre un mapa 1:50.000 se podría dar con una resolución mayor, tanto como se es capaz de apreciar sobre una representación cartográfica.

Para ver el límite existente sobre la cartografía deberemos fijarnos primero en la máxima apreciación lineal que podemos efectuar sobre la hoja-papel que contiene la cartografía:

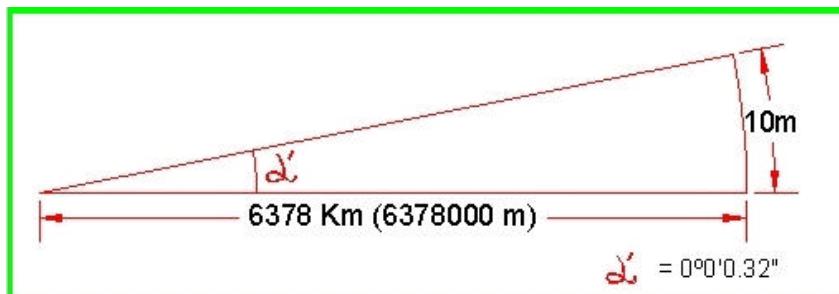
$$\text{Denominador de la escala (D)} = 50.000$$

$$\text{Límite de Percepción visual (Imp)} = 0'2 \text{ mm}$$

$$\text{Máxima apreciación (Ma)} 1:50.000;$$

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

Por lo que la máxima apreciación lineal posible sobre el mapa serán 10 metros, correspondiendo esta distancia de 10 metros a un arco-meridiano de  $0^{\circ}0'0.32''$ , suponiendo un radio terrestre de 6378 km:



Quedando indeterminadas posiciones geográficas por debajo de la resolución lineal del mapa, al no poderse apreciar gráficamente la situación de coordenadas con mayor resolución de lo que se puede ver a simple vista sobre nuestro plano.

Se designa la coordenada antes referenciada a la máxima resolución posible apreciable en la cartografía 1:50.000:

**Longitud:**

$$5' \Rightarrow 0^{\circ}5'0'' \Rightarrow 0.0833333333 \text{ (deg)}$$

$$0.0833333333 \text{ (deg)} \Rightarrow 6950 \text{ m}$$

$$x \Rightarrow 2690 \text{ m}$$

$$x = 2690 * 0.0833333333 \text{ (deg)} / 6950 \text{ m} = 0.032254196 \text{ (deg)} \\ 0.032254196 \text{ (deg)} \Rightarrow 0^{\circ} 1' 56.12''$$

Longitud calculada es:

Longitud en la marca en el Mapa	$02^{\circ}55'00''$
Diferencia Hasta la marca en el Mapa	$00^{\circ} 1' 56.12''$
Longitud Total Calculada	$02^{\circ}56'56.12''$

**Latitud:**

$$5' \Rightarrow 0^{\circ}5'0'' \Rightarrow 0.0833333333 \text{ (deg)}$$

$$0.0833333333 \text{ (deg)} \Rightarrow 9260 \text{ m}$$

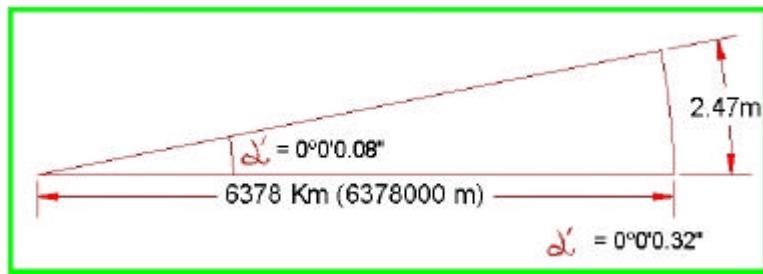
$$x \Rightarrow 2660 \text{ m}$$

$$x = 2660 * 0.0833333333 \text{ (deg)} / 9260 \text{ m} = 0.023938084 \text{ (deg)} \\ 0.023938084 \text{ (deg)} \Rightarrow 0^{\circ} 1' 26.18''$$

Por lo que la Latitud calculada es:

Latitud en la marca en el Mapa	$41^{\circ}25'00''$
Diferencia Hasta la marca en el Mapa	$00^{\circ}01'26.18''$
Latitud Total Calculada	$41^{\circ}26'26.18''$

Este ángulo tal y como esta designado esta dado con una resolución de un arco meridiano de  $0^{\circ}0'0.08''$ , que corresponde a una distancia de 2.47m:



Cantidad (2.47m) que es superior a la resolución del mapa (10m) por lo que la designación de la coordenada es:

Las coordenadas del punto K son:

$41^{\circ}26'26''$ Hemisferio Norte $\Rightarrow 41^{\circ}26'26''$ N
$02^{\circ}56'56''$ Oeste de $0^{\circ}$ Greenwich $\Rightarrow 02^{\circ}56'56''$ W

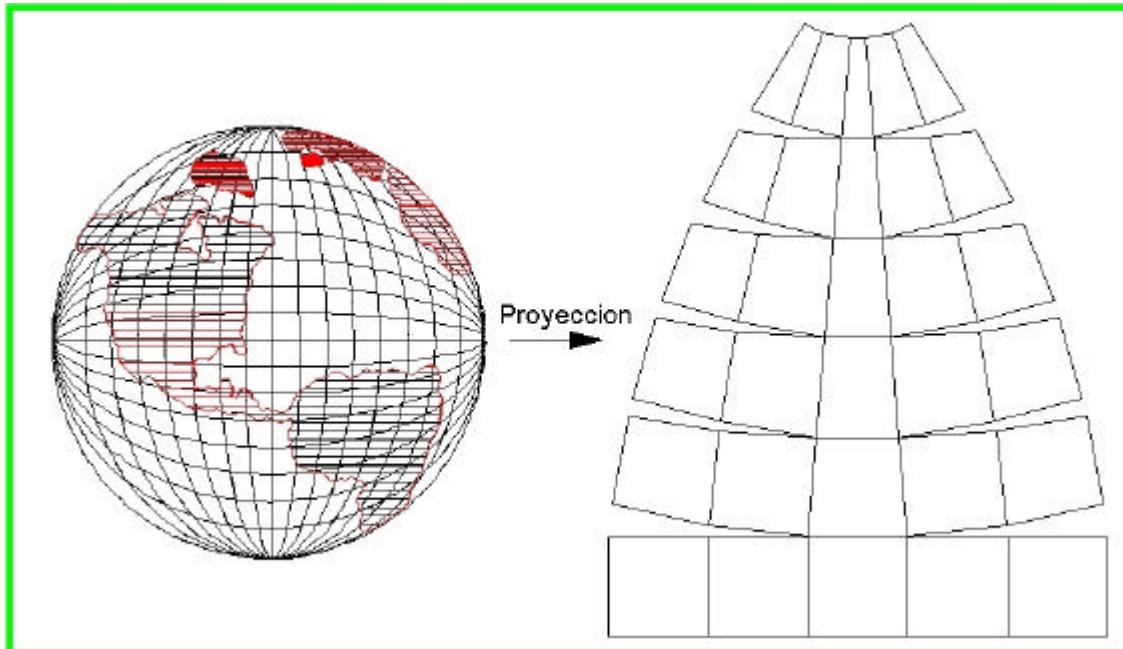


$41^{\circ}26'26''$  N  
 $02^{\circ}56'56''$  W

*Longitud referida al Meridiano de Greenwich  
Datum: ED-50 (European Datum 1950)*

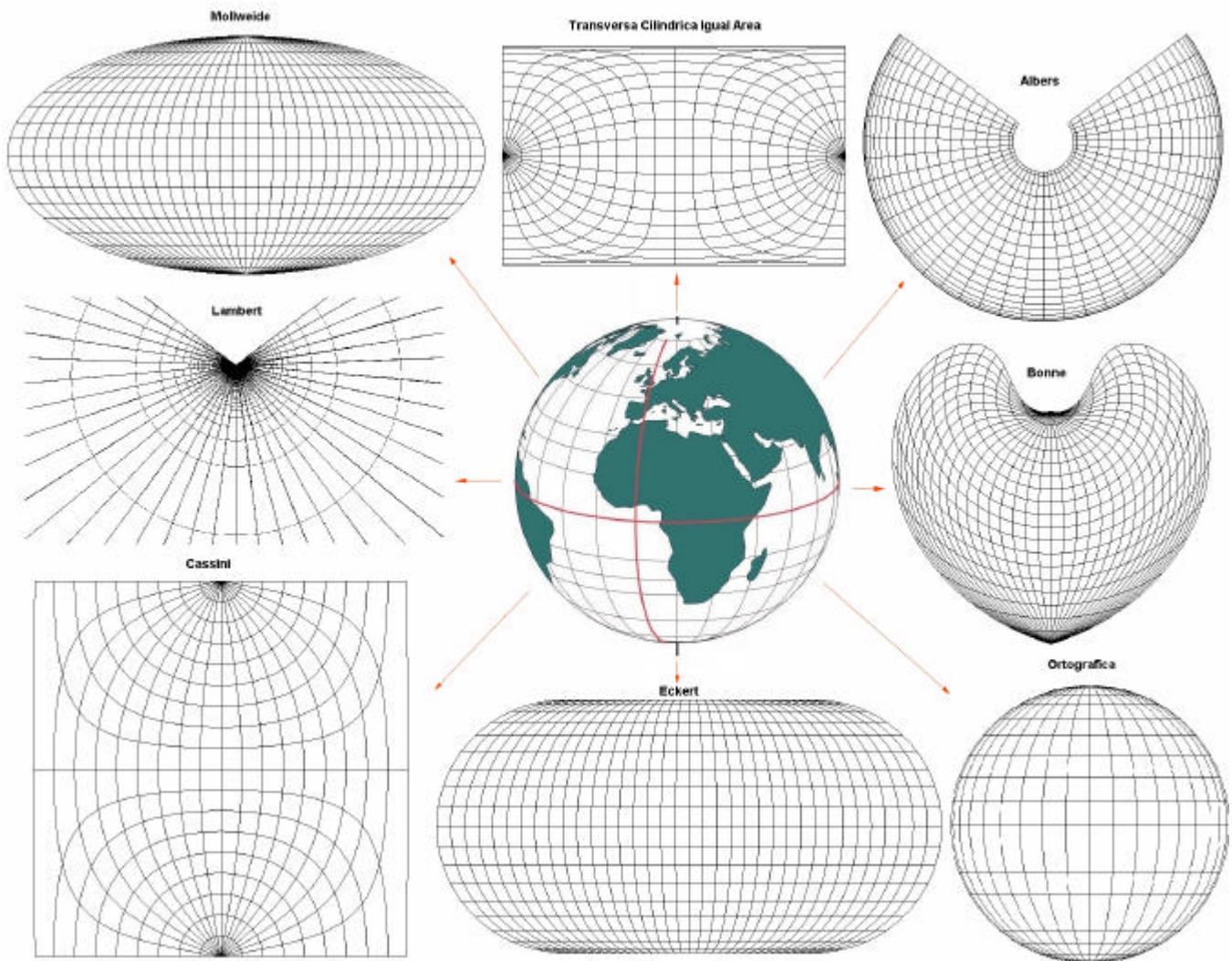
### **3. PROYECCIONES. LA PROYECCION UTM.**

La representación cartográfica del globo terrestre, ya sea considerado esté como una esfera o una elipsoide, supone un problema, ya que no existe modo alguno de representar toda la superficie desarrollada sin deformarla e incluso de llegar a representarla fielmente, ya que la superficie de una esfera no es desarrollable en su conversión a un soporte papel (a una representación plana).



Las proyecciones estudian las distintas formas de desarrollar la superficie terrestre minimizando, en la medida de lo posible, las deformaciones sufridas al representar la superficie terrestre.

En todos los casos conservan o minimizan los errores, dependiendo de la magnitud física que se desea conservar; su superficie, las distancias, los ángulos, etc., teniendo en cuenta que únicamente se podrá conservar una de las magnitudes anteriormente descritas y no todas a la vez:



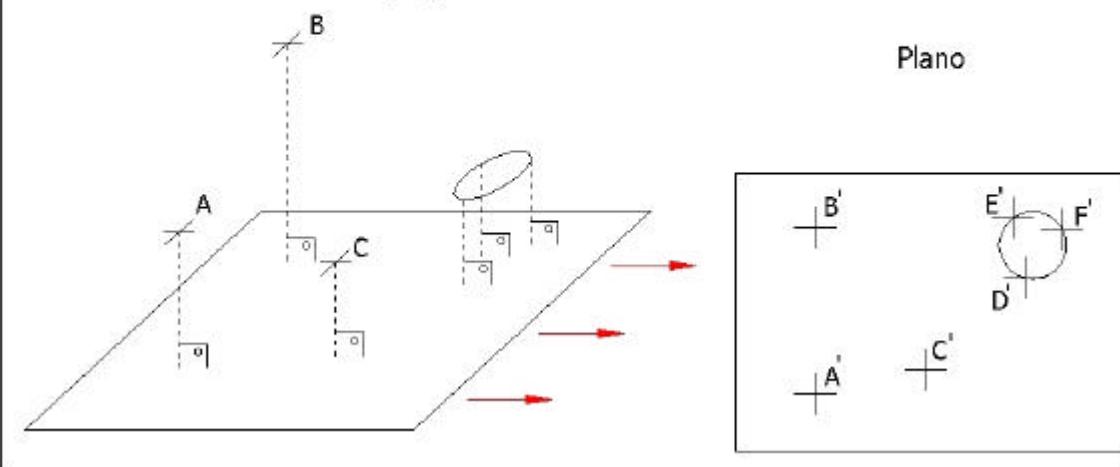
Se recurre a un sistema de proyección cuando la superficie que estemos considerando es tan grande que tiene influencia la esfericidad terrestre en la representación cartográfica. La parte de la tierra entonces representada en papel u otro soporte se denomina "mapa". Esta representación de la tierra entra dentro del campo de la **Geodesia**.

### **3.1 Proyecciones planas**

Cuando la superficie a representar es pequeña y por lo tanto la esfericidad terrestre no va a influir en la representación cartográfica, por ejemplo en pequeños levantamientos topográficos, se recurre a su representación de forma plana, de forma que todos los puntos representados están vistos desde su perpendicular:

# PROYECCION PLANA

Levantamiento Topográfico



A la representación cartográfica obtenida, ya sea en soporte papel o en soporte magnético, se le denomina "plano". Esta representación de la superficie, generalmente en el sistema de planos acotados, está dentro del campo de la Topografía, la Agrimensura, etc.

## 3.2 Proyecciones geodésicas

Las proyecciones geodésicas son proyecciones en las que la esfericidad terrestre tiene repercusión importante sobre la representación de posiciones geográficas, sus superficies, sus ángulos y sus distancias.

El sistema UTM es un sistema de proyección geodésica ideado en 1569 por Gerhard Kremer, denominado Mercator al latinizar su apellido. Es un sistema en el cual se construye geométricamente el mapa de manera que los meridianos y paralelos se transformen en una red regular, rectangular, de manera que se conserven los ángulos originales.

Este tipo de transformación se la denomina conforme. Dentro de las transformaciones posibles existen fundamentalmente tres tipos en función de la variable que conservan una vez proyectados:

- **Proyecciones Conformes:** aquellas en las que los ángulos se conservan, con una relación de semejanza de un valor de "1" en el centro de la proyección hasta un valor máximo de " $1+\frac{c}{r}$ " en los límites del campo de proyección. Esta alteración " $\frac{c}{r}$ " es proporcional al cuadrado de las distancias que une el centro de la proyección con el punto a proyectar. Esta variación en los ángulos se subsana multiplicando todas las escalas por un factor de " $1-(\frac{c}{r})^2$ ". Otro ejemplo de proyección conforme es la proyección Lambert.
- **Proyecciones Equivalentes** son aquellas en las que la superficie se conserva después de la proyección. Como ejemplo de las proyecciones equivalentes esta la proyección Bonne, Sinusoidal y la Goode.
- **Proyecciones Afilacticas** son aquellas en las que no se conservan ni los ángulos ni las distancias. Un ejemplo de este tipo de

proyecciones es la “UPS”, “universal polar stereographics”, que como su nombre indica es la mas usada en latitudes polares.

Una proyección no puede ser a la vez equivalente y conforme, ni a la inversa. En cartografía se emplean sobre todo las Conformes, ya que interesa la magnitud angular sobre la superficial.

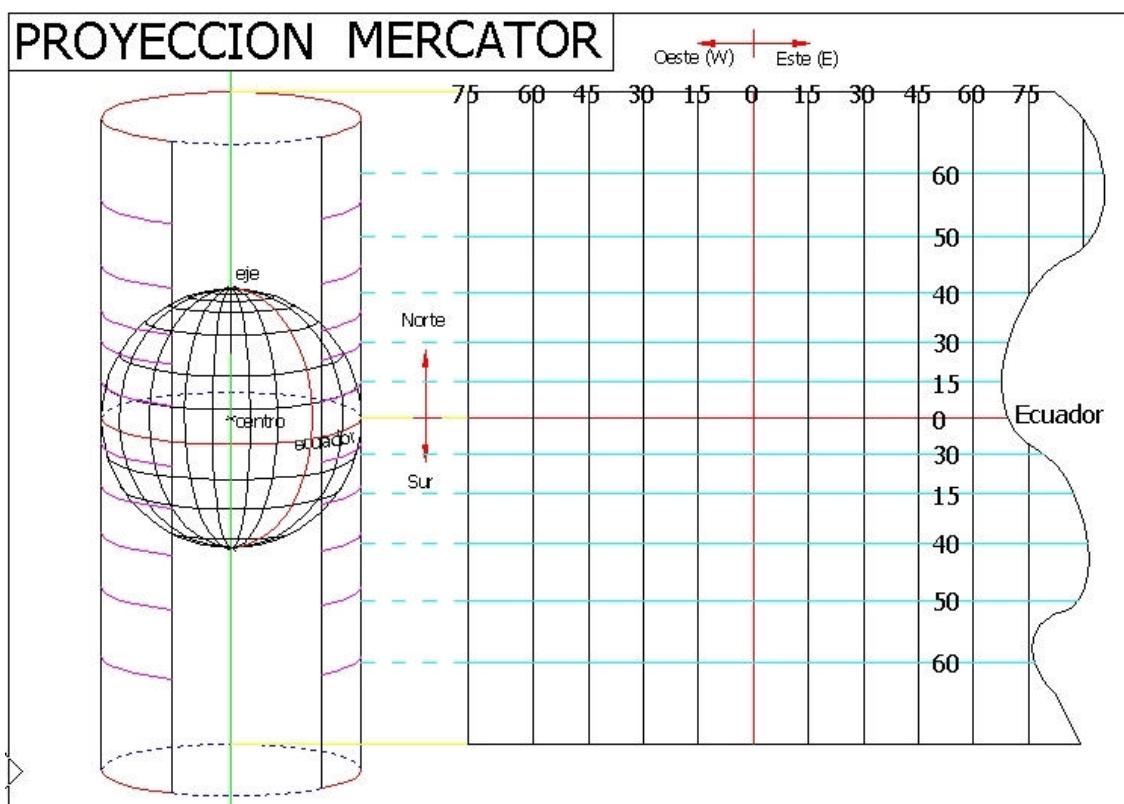
### **3.3 LA PROYECCION MERCATOR – MERCATOR TRANSVERSAL**

La Proyección **UTM** conserva, por lo tanto, los ángulos **PERO DISTORSIONA TODAS LAS SUPERFICIES SOBRE LOS OBJETOS ORIGINALES ASI COMO LAS DISTANCIAS EXISTENTES.**

La proyección **UTM** se emplea habitualmente dada gran importancia militar, y sobre todo, debido a que el Servicio de Defensa de Estados Unidos lo estandariza para su empleo mundial en la década de 1940.

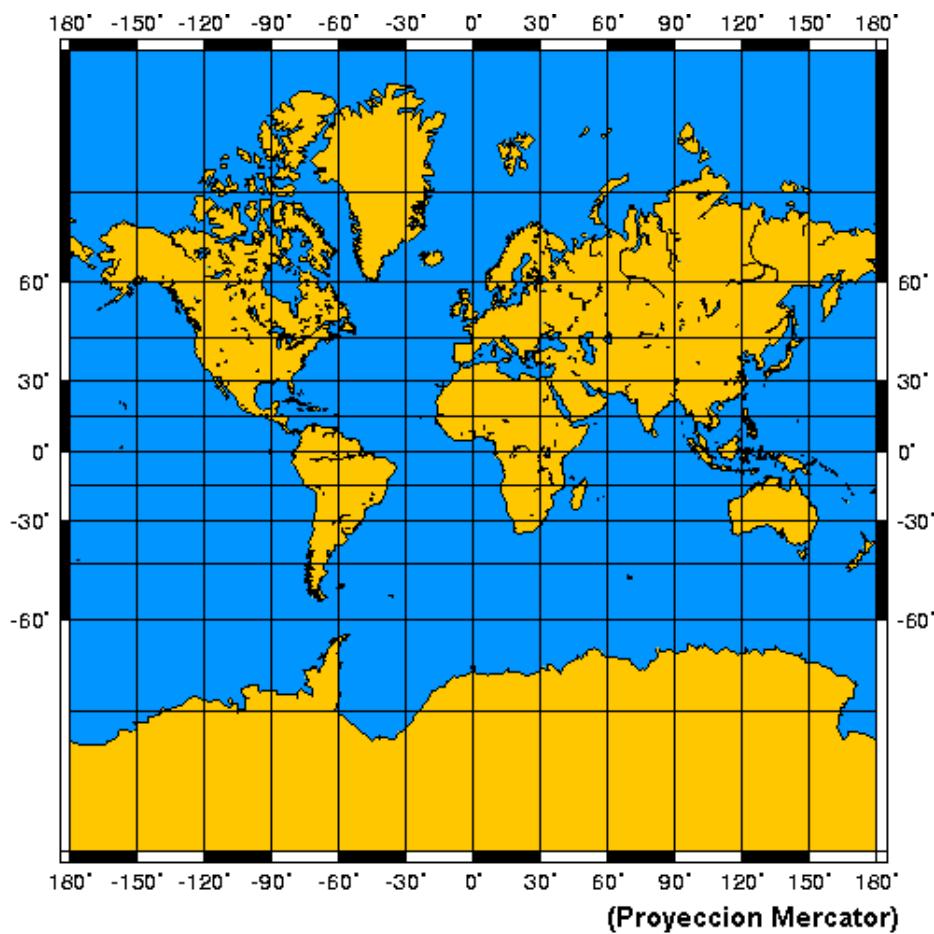
Otra de las formas de clasificar a las proyecciones en función de la figura geométrica empleada al proyectar. La proyección **UTM** esta dentro de las llamadas proyecciones cilíndricas, por emplear un cilindro situado en una determinada posición espacial para proyectar las situaciones geográficas.

El sistema de proyección **UTM** toma como base la proyección **MERCATOR**. Este es un sistema que emplea un cilindro situado de forma tangente al elipsoide en el ecuador:

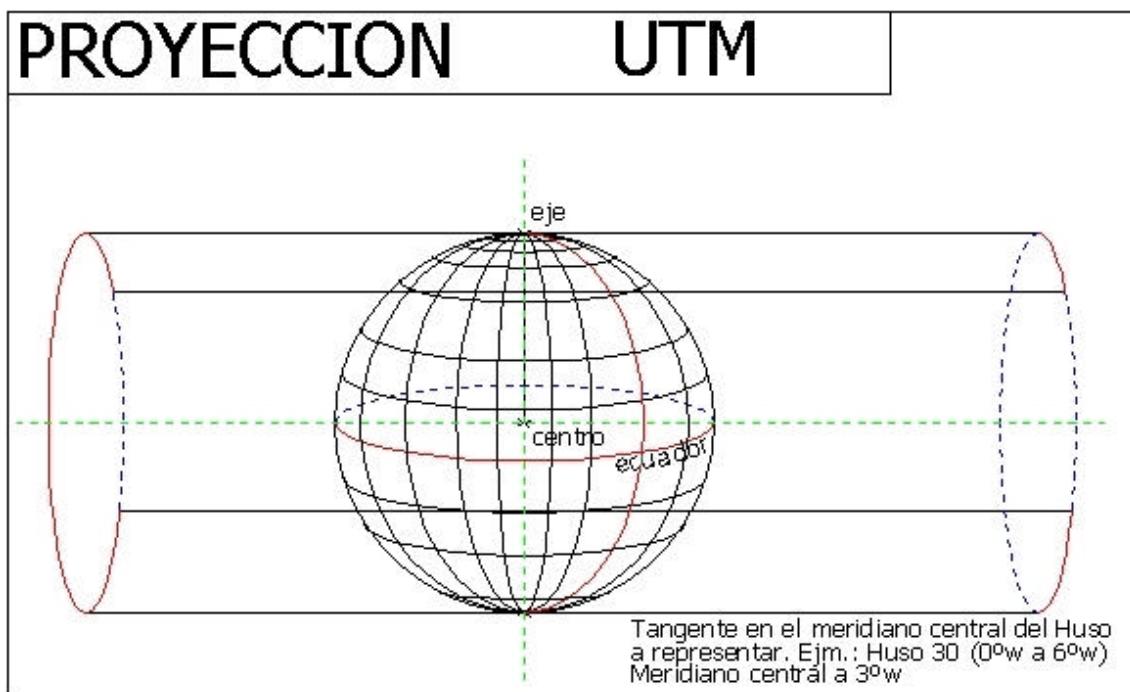


La red creada hace que tanto meridianos como paralelos formen una cuadricula oblicua, “grid” o rejilla, de manera que una recta oblicua situada entre dos paralelos forma un ángulo constante con los meridianos.

Como ejemplo de esta proyección se muestra el desarrollo de todo el globo terráqueo en la proyección mercator:



La **proyección TRANSVERSAL MERCATOR (UTM)**, toma como base la proyección **Mercator**, sin embargo la posición del cilindro de proyección es transversal respecto del eje de la tierra:



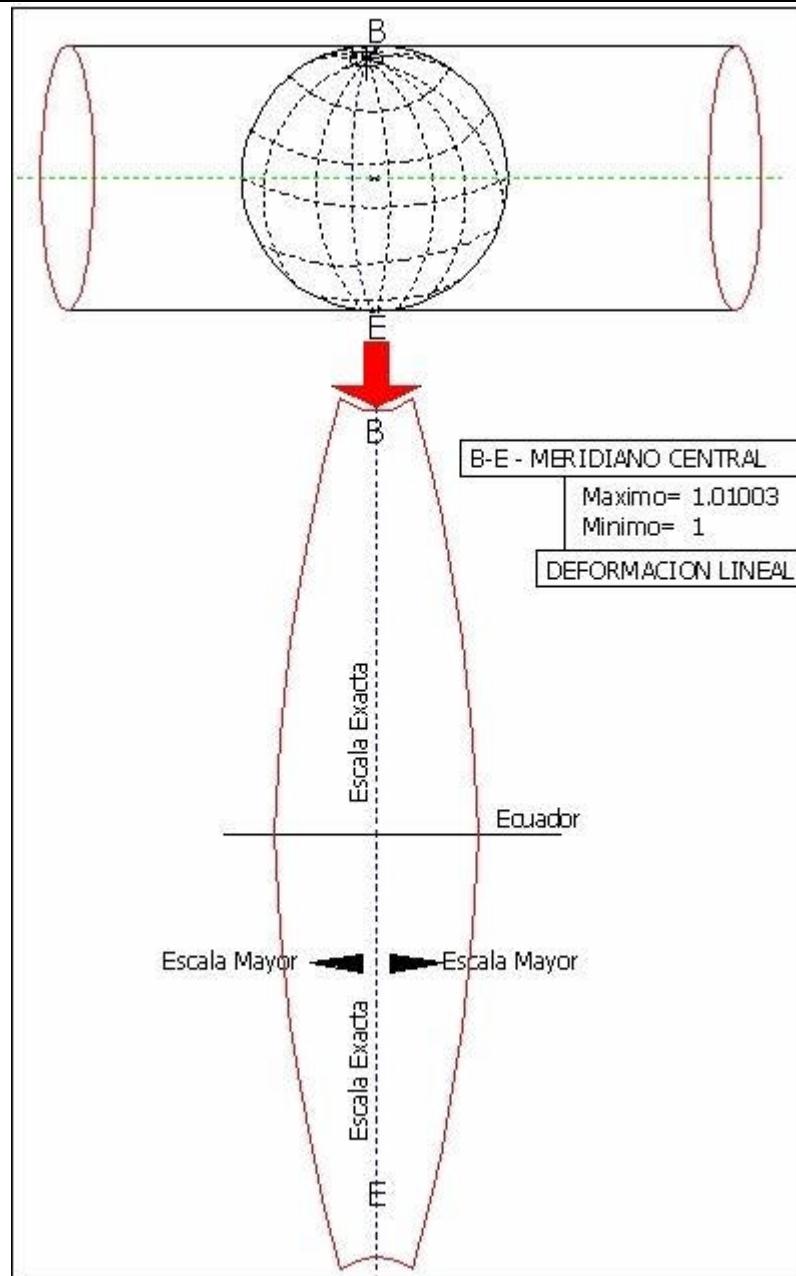
Se define un **huso** como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos. Cada huso puede contener 3°, 6° u 8°. El Sistema **UTM** emplea Husos de 6° de Longitud.

La proyección **UTM** genera husos comprendidos entre meridianos de 6° de Longitud, generándose en cada huso un meridiano central equidistante 3° de longitud de los extremos de cada huso. Los husos se generan a partir del meridiano = de Greenwich, 0° a 6° E y W, 6° a 12° E y W, 12 a 18° E y W, ....

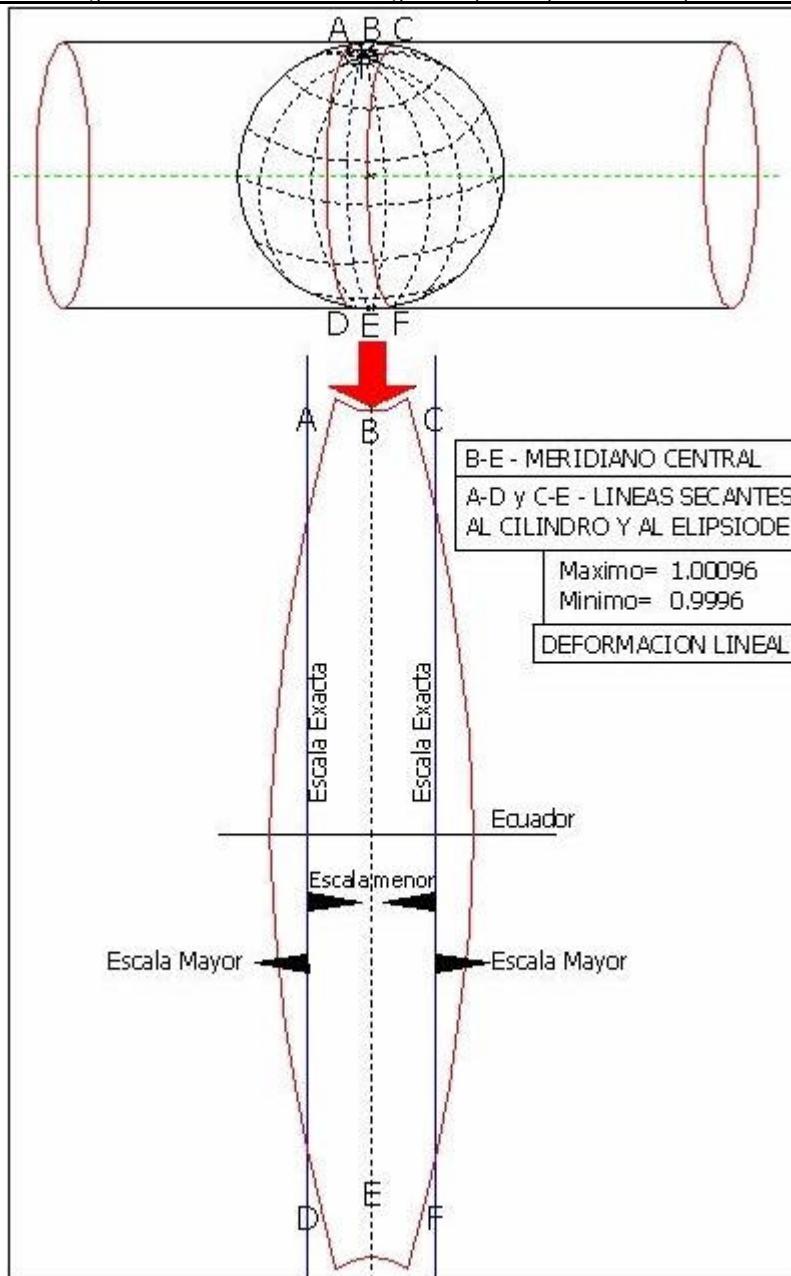
Esta red creada, (“**grid**”), se forma huso a huso, mediante el empleo **de un cilindro distinto para generar cada uno de los husos**, siendo cada uno de los cilindros empleados tangente al meridiano central de cada huso, cuya longitud es de 3°, o múltiplo de esta cantidad con 6° de separación.

Esta situación del cilindro de proyección, tangente al meridiano central del huso proyectado, hace que únicamente una línea se considerada como automedica, la del meridiano central. Sobre esta línea, el modulo de deformación lineal K es la unidad (1), creciendo linealmente conforme se aumenta la distancia a este meridiano central.

Esta relación entre las distancias reales y las proyectadas presenta un mínimo de 1 y un máximo de 1.01003, (distorsión lineal desde 0 a 1.003%):



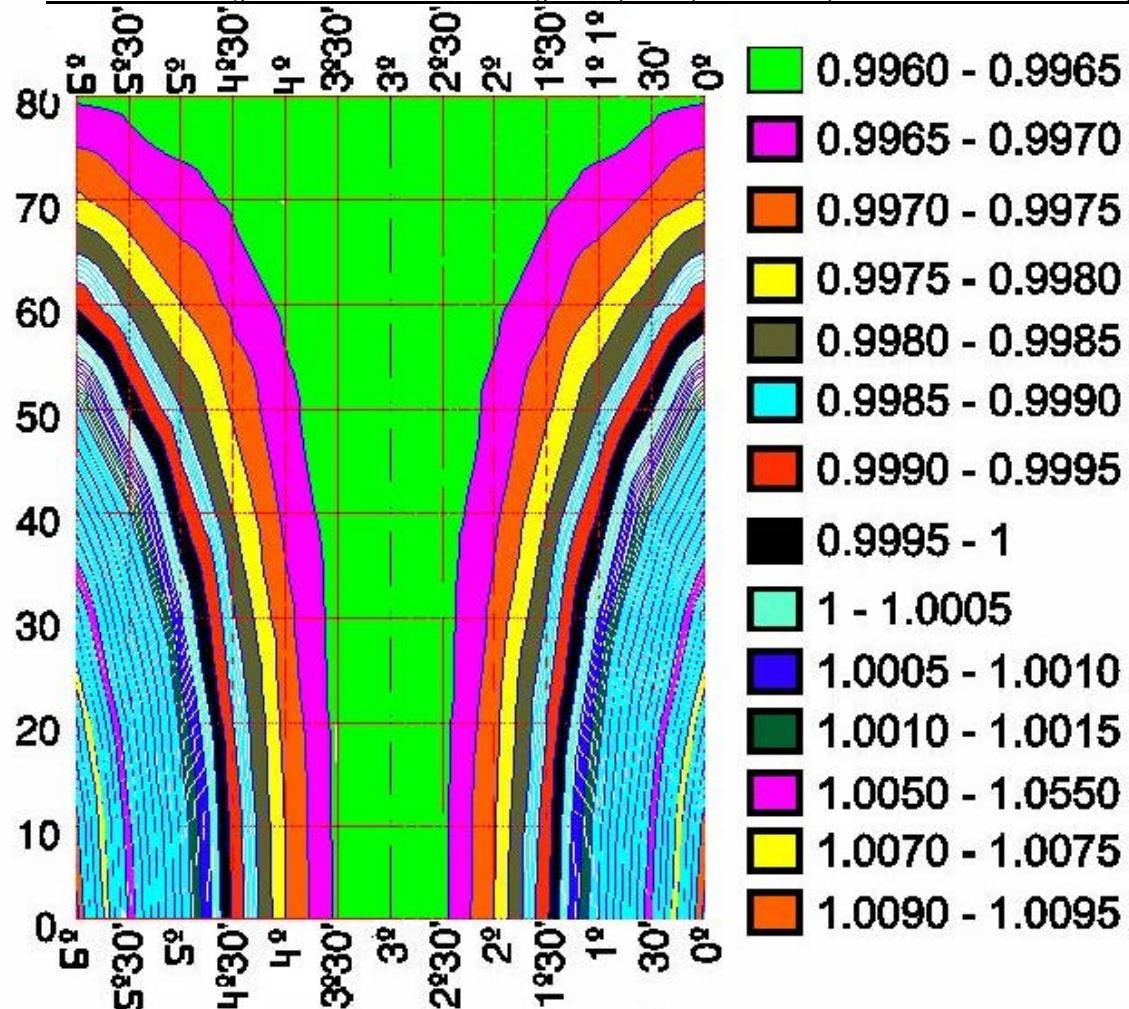
Para evitar que la distorsión de las magnitudes lineales aumente conforme se aumenta la distancia al meridiano central se aplica a la un factor  $K_c$  a las distancias  $K_c=0.9996$ , de modo que la posición del cilindro de proyección sea secante al elipsoide, creándose dos líneas en las que el modulo de anamorfosis lineal sea la unidad.



La transformación geométrica creada con la proyección hace que únicamente dos líneas se consideren **"rectas"**, (en la misma dirección de los meridianos y paralelos); el meridiano central del huso y el paralelo  $0^{\circ}$  (ecuador), en los que ambos coinciden con el meridiano geográfico y el paralelo principal, (ecuador).

El meridiano central, por lo tanto, se encuentra orientado en la dirección del Norte Geográfico, y el paralelo  $0^{\circ}$  se encuentra orientado en rumbo  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$ , dirección Este (e) y Oeste (w).

El factor de escala aumenta en mayor magnitud conforme aumenta la distancia al meridiano central:

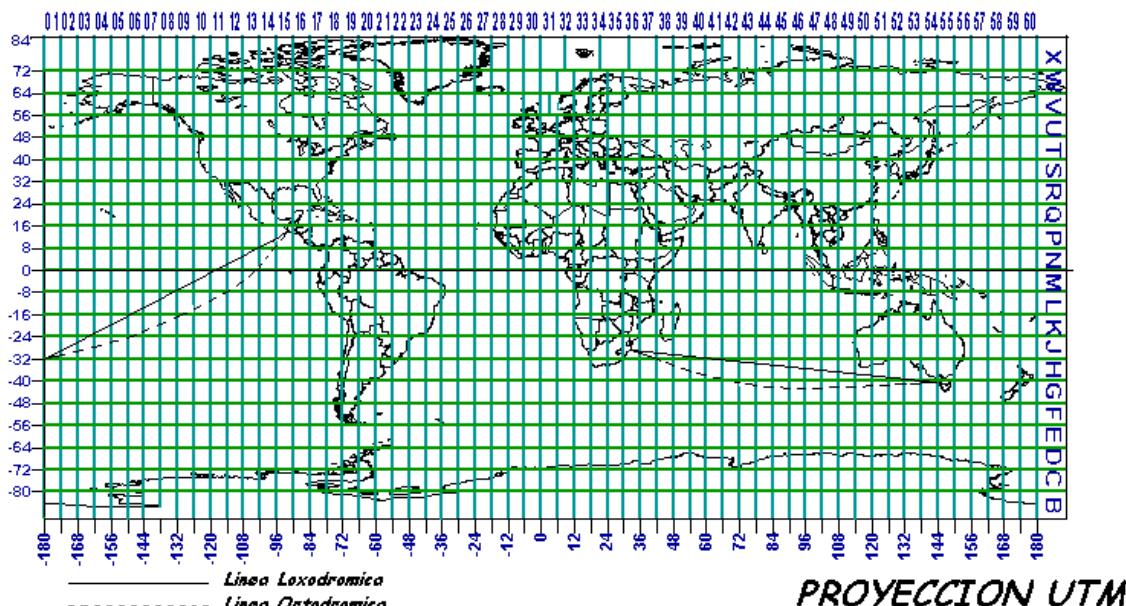


( Huso representado 30 norte)

Esta distorsión lineal presenta un mínimo de un  $-0.04\%$  a un máximo de  $+0.096\%$ .

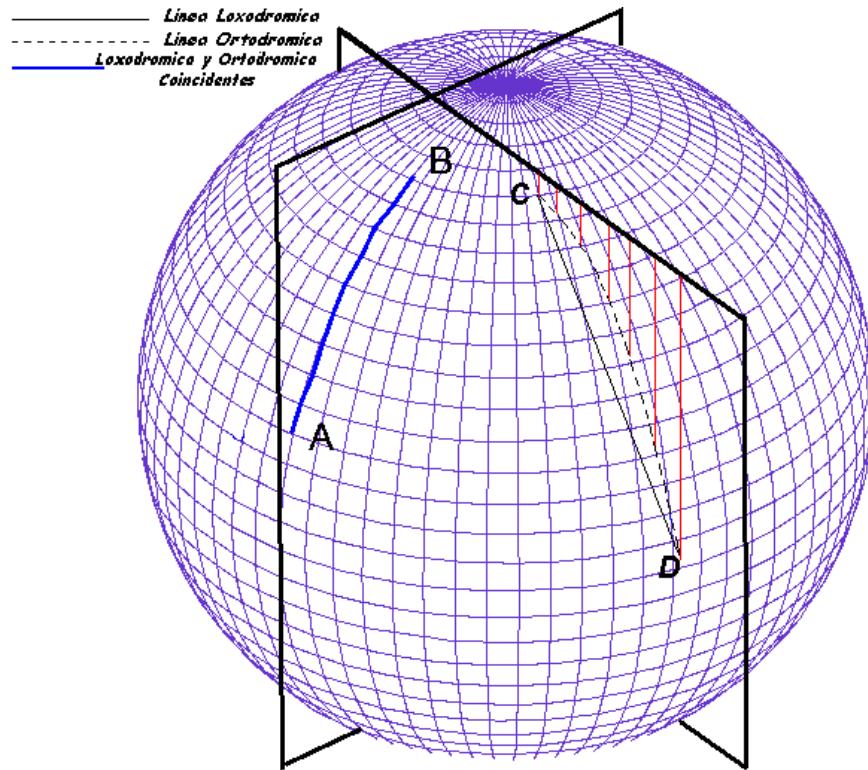
### **3.3.A Líneas Loxodrómicas y Ortodrómicas**

Curiosamente un barco que navegue siguiendo este rumbo constante, fácil de conservar en la navegación marina, describirá un recta llamada **Loxodrómica**, la cual no será el camino mas corto entre los dos puntos a recorrer. A la línea de menor recorrido entre los dos puntos se la denomina **Ortodrómica**.

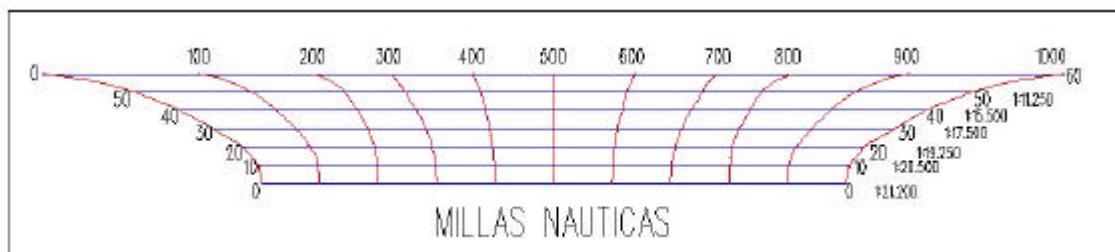


Esta diferencia entre el recorrido Loxodrómico y el recorrido Ortodrómico es más acusado en zonas próximas a los polos, por encima de los 80º de Latitud, por lo que en estas zonas se recurre a otro tipo de proyecciones para su empleo en las cartas marinas.

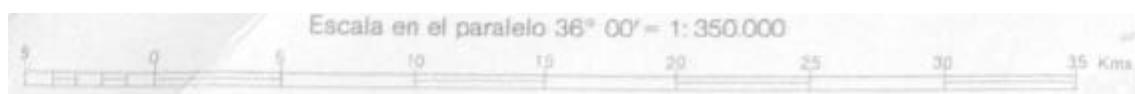
Visto sobre el globo terráqueo la línea ortodrómica y loxodrómica son coincidentes en el recorrido A-B, ya que se encuentra la línea sobre un meridiano central de un huso, y ambas líneas, por el hecho de encontrarse sobre el meridiano central, la proyección **UTM** la transforma en una línea recta, lateral de la rejilla creada. La Línea C-D presenta una ortodrómica que es el mínimo recorrido entre ambos puntos, y una loxodrómica en la que se conserva el acimut para unir ambos puntos.



La medición de las distancias es por tanto distinta en función de la latitud donde se encuentre, por ello se adicionan a las cartas de navegación una escala gráfica, que será utilizada dependiendo de la latitud se le atribuirá una escala distinta del tipo:



O bien se especifica la escala del mapa para refiriéndose a la escala existente en un determinado paralelo:



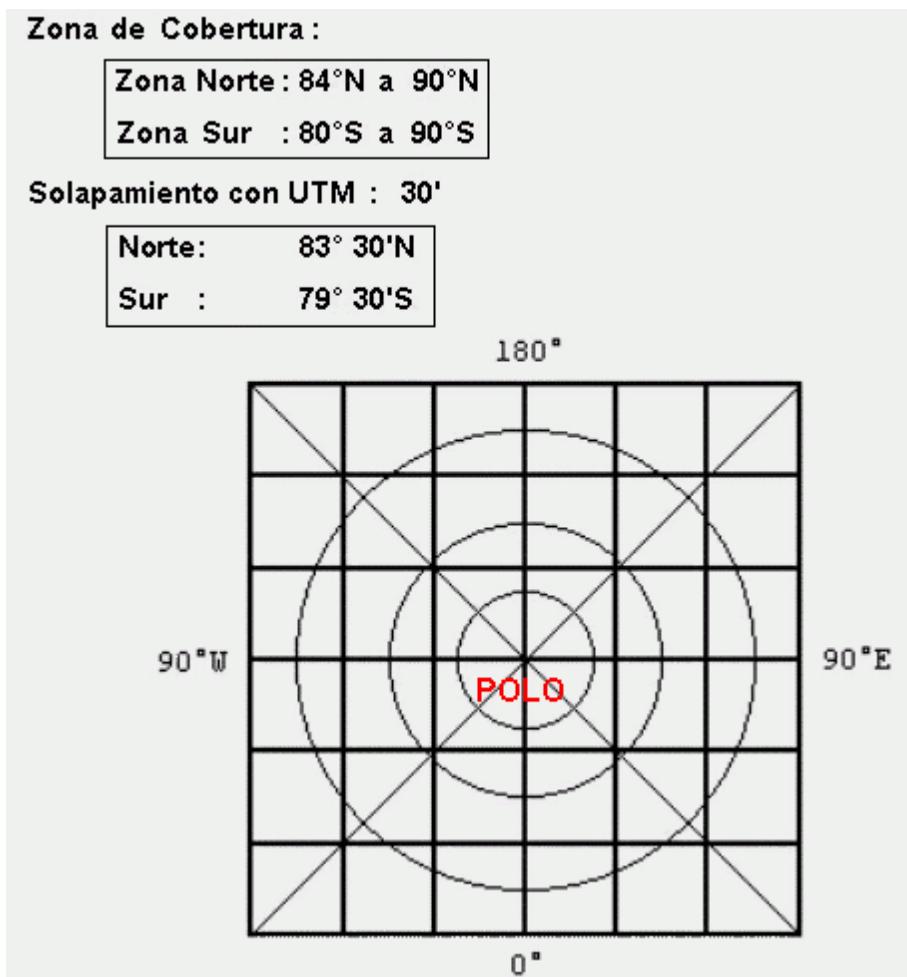
No siendo extrapolable esta escala a la totalidad del mapa.

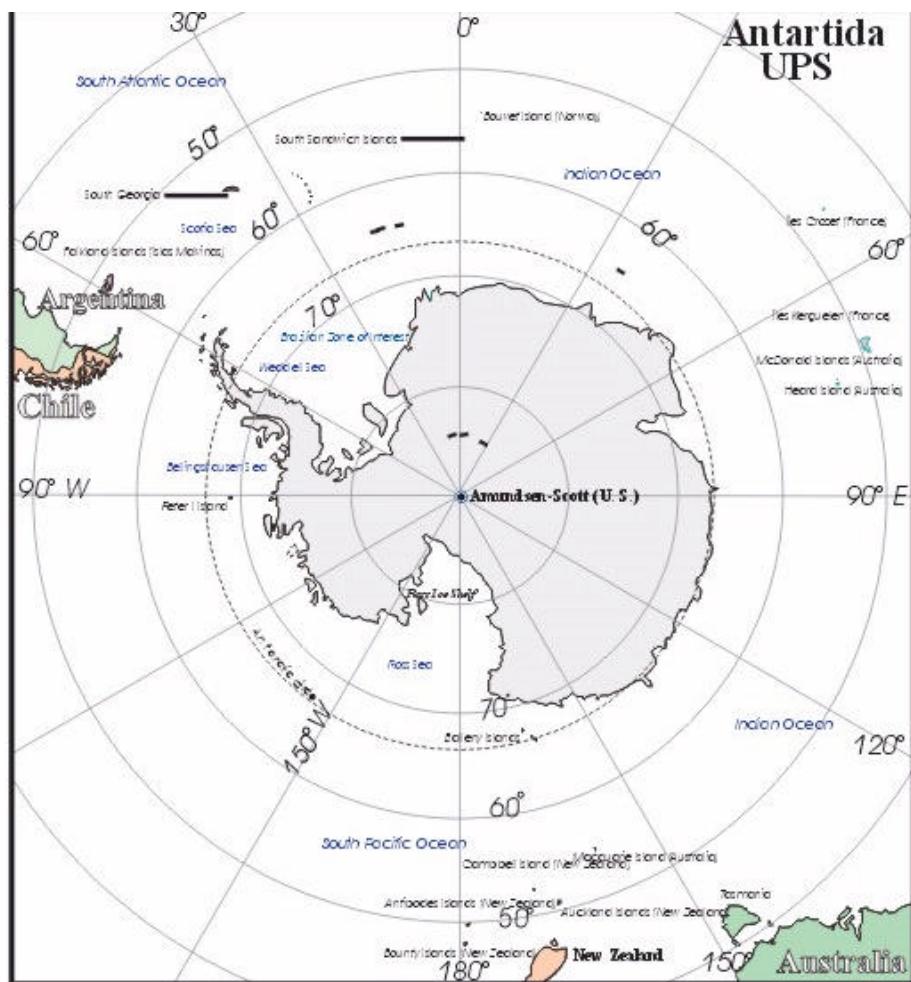
### **3.3.B Ventajas del Sistema UTM**

El sistema de Proyección UTM tiene las siguientes ventajas frente a otros sistemas de proyección:

- Conserva los ángulos
- No distorsiona las superficies en grandes magnitudes, (por debajo de los 80º de Latitud).
- Es un sistema que designa un punto o zona de manera concreta y fácil de localizar.
- Es un sistema empleado en todo el mundo, empleo universal, fundamentalmente por su uso militar.

El sistema UTM es un sistema comúnmente utilizado entre los 0º y los 84º de latitud norte y los 80º de latitud sur, por lo que es un sistema estandarizado de empleo en España. No se emplea a partir de los 80º de latitud ya que produce una distorsión mas acusada cuanto mayor es la distancia al ecuador, como ocurre en los polos, por ello se emplea, tanto en el hemisferio Norte como en el hemisferio Sur por estas latitudes. Para la cartografía de zonas existentes en los polos se emplea normalmente el sistema de **coordenadas UPS (Universal Polar Stereographic)**;

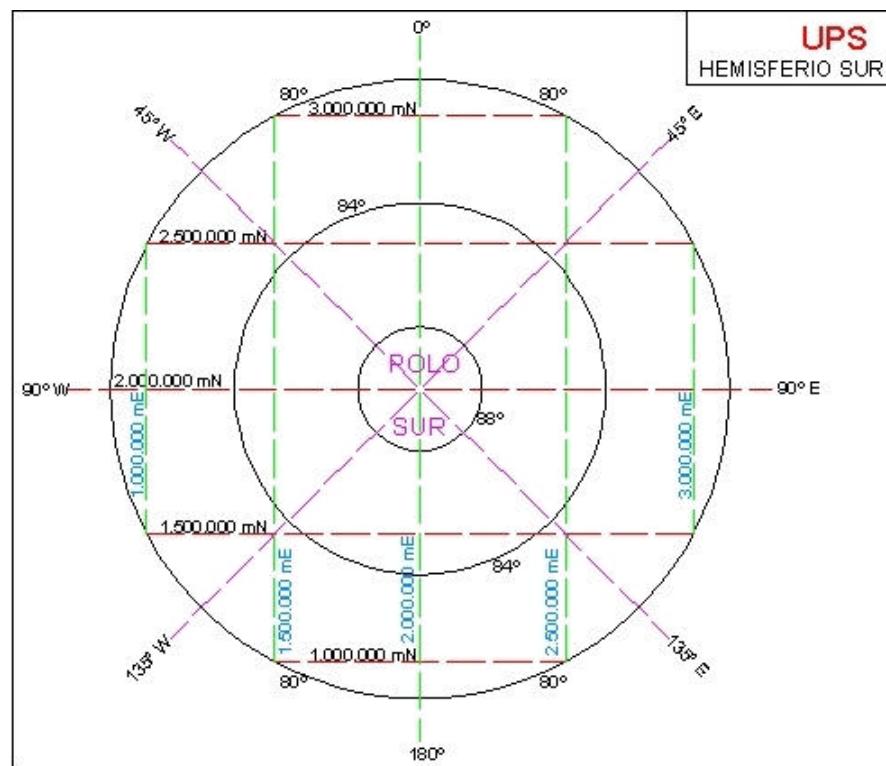
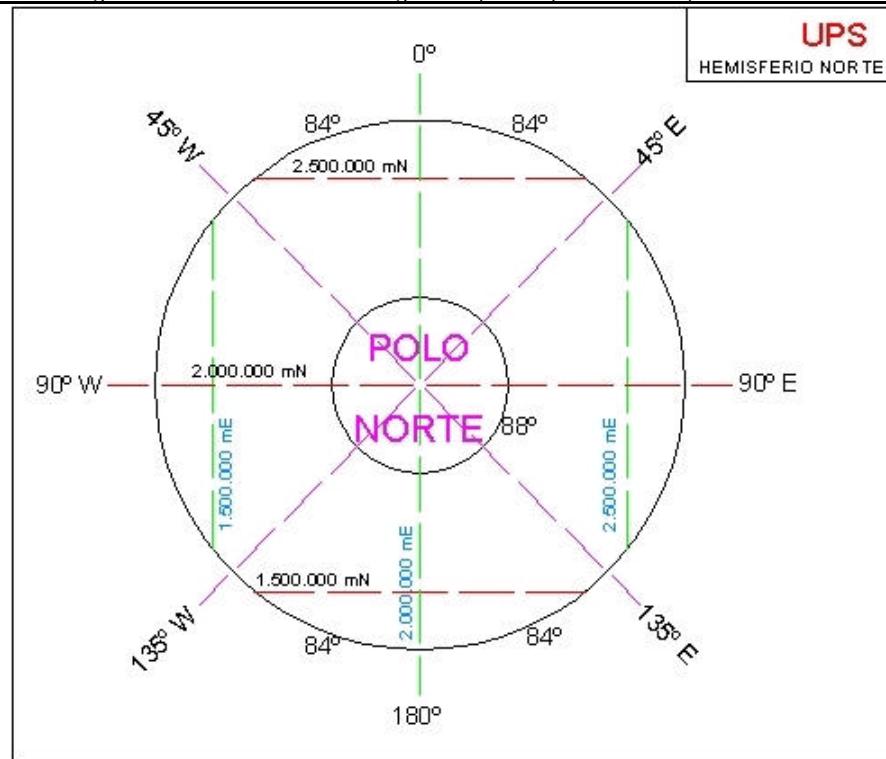




Este sistema de representación plana se **denomina PROYECCION STEREOGRAFICA POLAR**, en el que el vértice de proyección se encuentra situado en cada uno de los polos.

La transformación efectuada convierte los paralelos en circunferencias concéntricas con centro en el polo y los meridianos en rectas concurrentes; el haz de rectas que pasa por el polo.

Esta proyección también forma un sistema cuadriculado, "grid", con el siguiente sistema de coordenadas, distinto para cada uno de los polos:



Sistema con coordenadas (x,y) (2.000.000,2.000.000) para cada uno de los polos geográficos.

### **3.3.C Origen de Coordenadas UTM**

El sistema localiza un punto por coordenadas del tipo:

X= 462.130

Y= 4.634.140

Unicamente con estos datos el punto no queda definido ya que carece de los siguientes datos:

- Los datos no tienen Unidades: ej. Metro, Kilometro, etc.
- Los datos no localizan el hemisferio donde se encuentra
- Los datos no localizan el Huso UTM de proyección
- Los datos no localizan el Datum (origen del sistema de coordenadas)

Para que el punto quede localizado perfectamente se debe de detallar como sigue:

X= 462.130 m

Y= 4.634.140 m

Huso=30 Zona=T

Datum: European 50 (ED50)

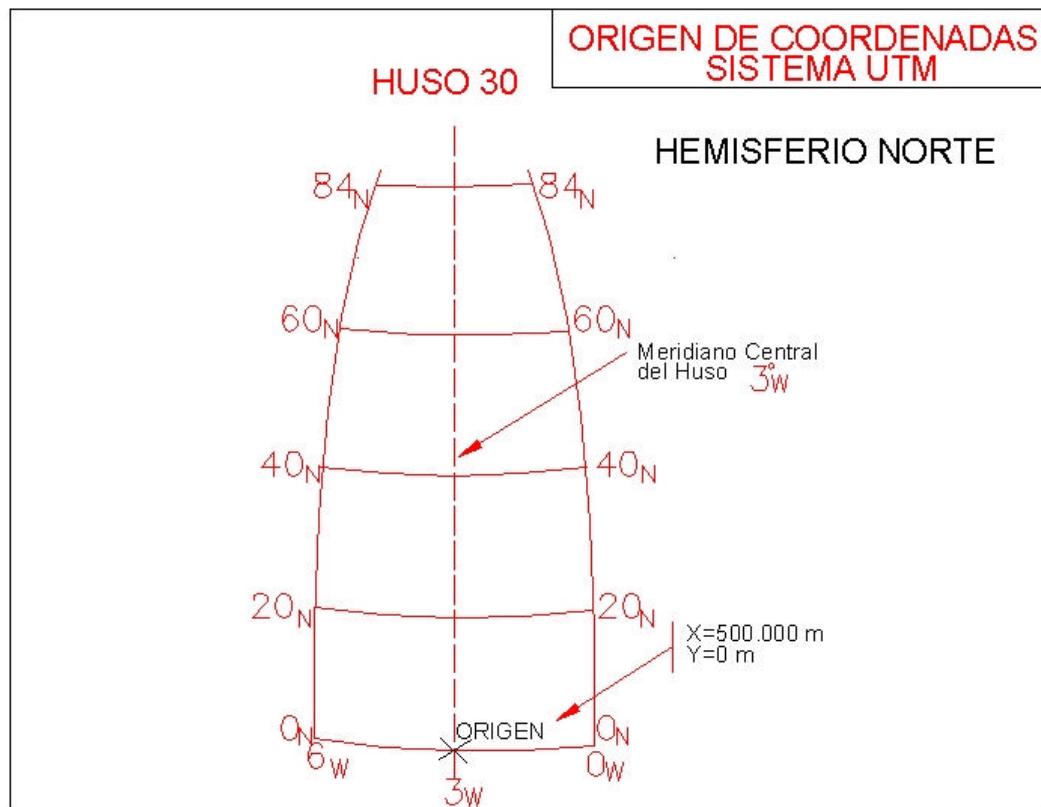
Punto perfectamente

Localizado.

Para la explicación del sistema se toma como ejemplo el huso 30, en su zona Norte, ya que en el se encuentra cubierta una gran zona de la Península Ibérica.

Para todos los husos el sistema cubre desde los 80º S hasta los 84º N de latitud.

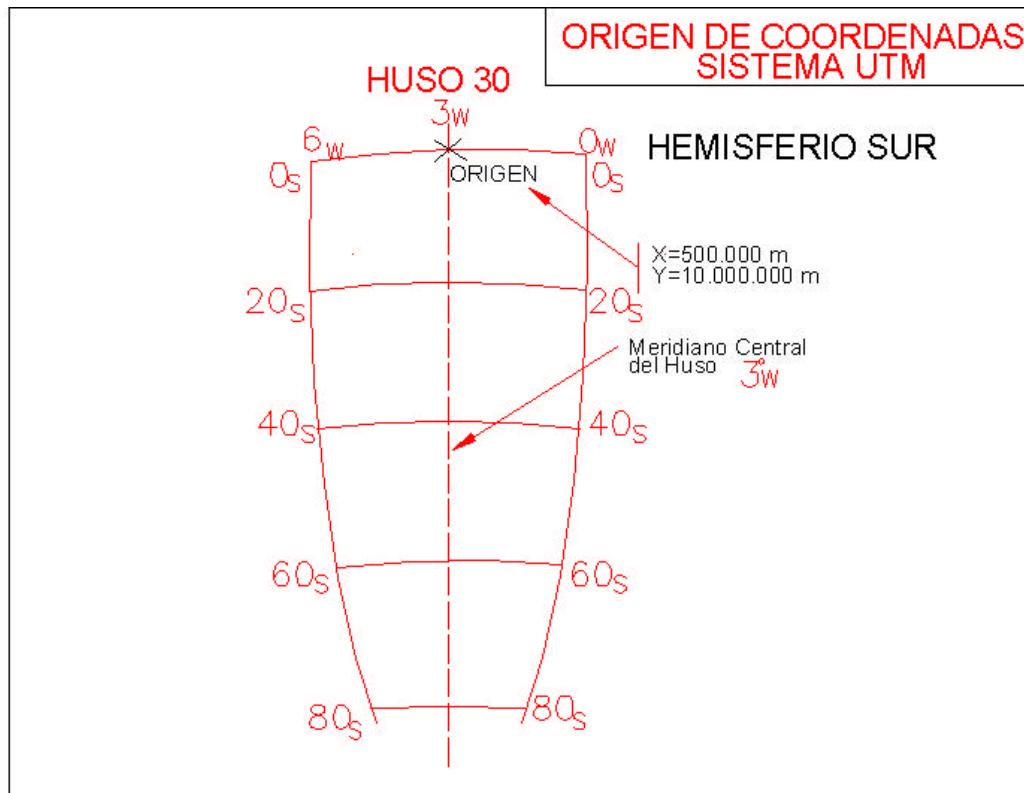
El Origen de coordenadas del sistema es distinto para cada huso, tomándose como origen el siguiente punto:



A la intersección del meridiano central del huso con el ecuador, en el hemisferio norte, toma un valor en **x** de 500.000 metros e **y** 0 metros. De esta manera se evita que el sistema genere, en el hemisferio Norte, coordenadas negativas en el sistema.

En una hoja del mapa que contiene varios husos, habitualmente se representa con el sistema de coordenadas de ambos husos, por lo tanto con los dos orígenes distintos.

Sobre el hemisferio sur el origen es el mismo pero con distintas coordenadas de origen:

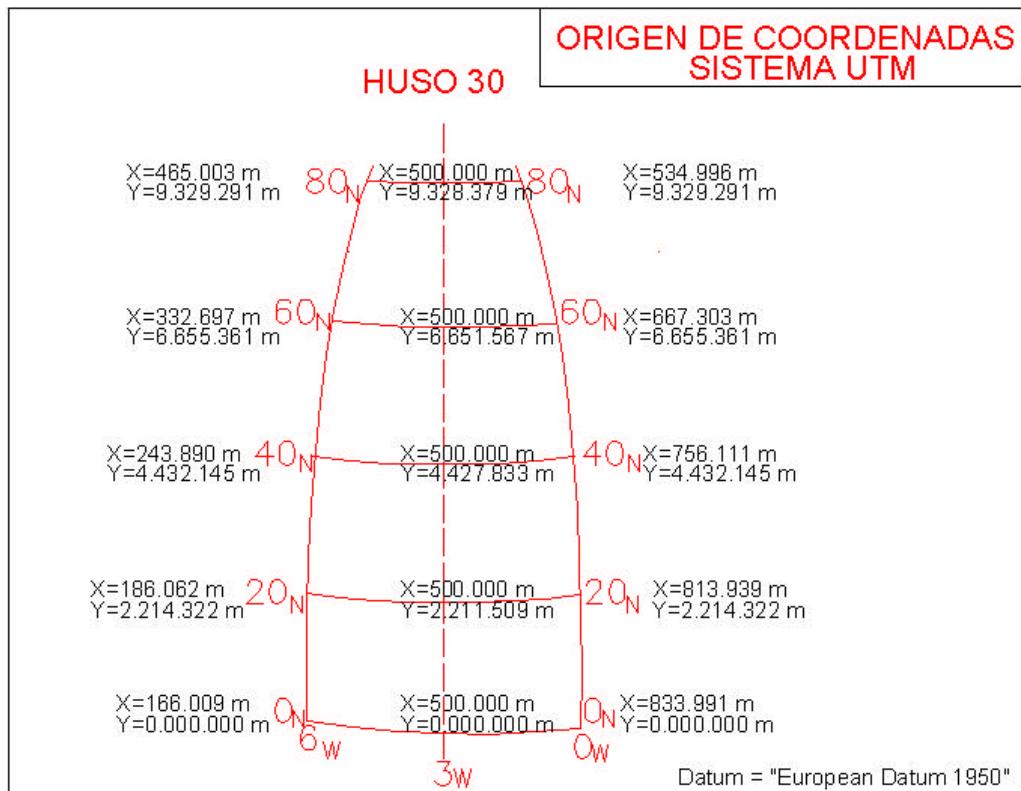


Se toma como coordenada este (**x**, “**easting**”), 500.000 metros, la misma que en el hemisferio norte y de coordenada norte (**y**, “**northing**”) 10.000.000 metros, y de la misma manera, no pueden existir coordenadas negativas en la coordenada situada en el hemisferio sur, ya que la mínima coordenada ,situada en la latitud 80° S, sería como máximo de 9.328.380.5 metros.

Todas las coordenadas (**y**, “**northing**”) **UTM**, estén situadas en el hemisferio sur, o en el hemisferio norte tienen un valor inferior a 10.000.000, empleándose para su designación menos de 8 dígitos.

### **3.3.C.1. Coordenadas en el Huso 30 Norte**

Las coordenadas del huso 30 norte en su intersección con los meridianos y paralelos principales es la siguiente:

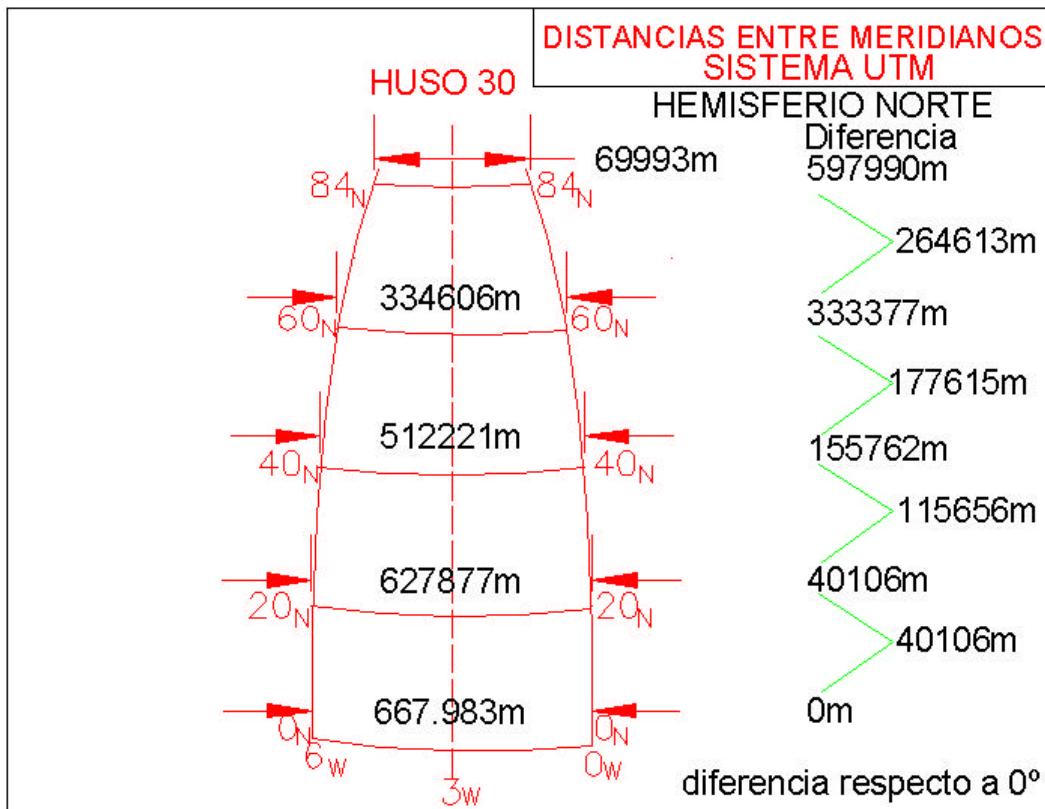


Obsérvese que la coordenada **y**, “**northing**”, únicamente coincide en todos los puntos situados sobre el paralelo  $0^{\circ}$  (ecuador),  $0^{\circ}\text{N } 0^{\circ}\text{W}$ ,  $0^{\circ}\text{N } 3^{\circ}\text{W}$  y  $0^{\circ}\text{N } 6^{\circ}\text{W}$ . En todos estos puntos, situados en el ecuador toma el valor de 0.000.000 m. Recuérdese que únicamente esta línea esta orientada según el paralelo del **ecuador**.

A su vez únicamente coincide la coordenada **x**, “**easting**”, sobre un único meridiano ( $3^{\circ}\text{W}$ ), el meridiano central del huso 30 norte, en el que toma el valor de 500.000 m. Recuérdese que únicamente esta línea es coincidente con un meridiano y se encuentra orientada al norte geográfico.

### **3.3.C.2 Distancias entre Paralelos y Meridianos**

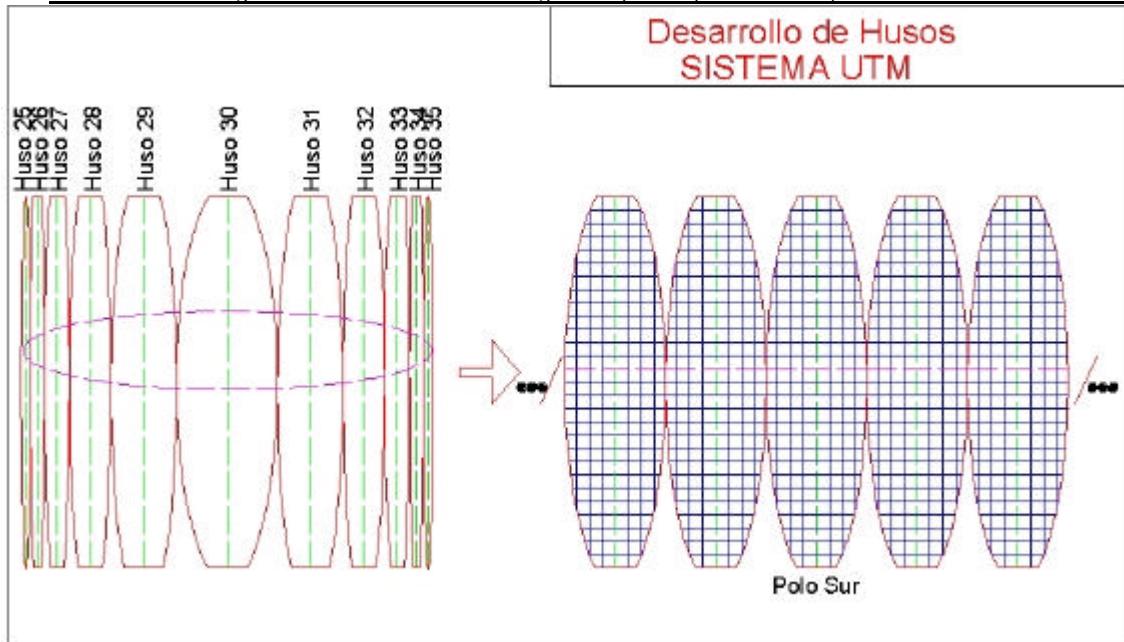
Con el origen de coordenadas del sistema UTM y a causa de la proyección efectuada, hace que disminuya las distancias entre meridianos según se avanza en dirección Norte:



Esta diferencia va siendo mas acusada según aumenta la latitud y nos acercamos a los polos, con un máximo para el sistema en el paralelo 84°N y en el 80° S en el Hemisferio sur.

### **3.3.C.3 Desarrollo de la Proyección UTM en toda la superficie Terrestre**

El empleo de un cilindro de proyección para cada huso, con una situación distinta del cilindro de proyección, implica que cada zona geográfica comprendida en cada huso quede bajo un sistema coordenado distinto:



Esta distribución causa que no exista la misma longitud desde el meridiano central del huso hasta el meridiano, dependiendo de la latitud en la que nos encontramos.

### 3.3.D La Malla UTM

Como resultado de emplear un sistema cartesiano, es habitual la existencia en la cartografía de mallas que unen puntos de igual ordenada y abscisa.

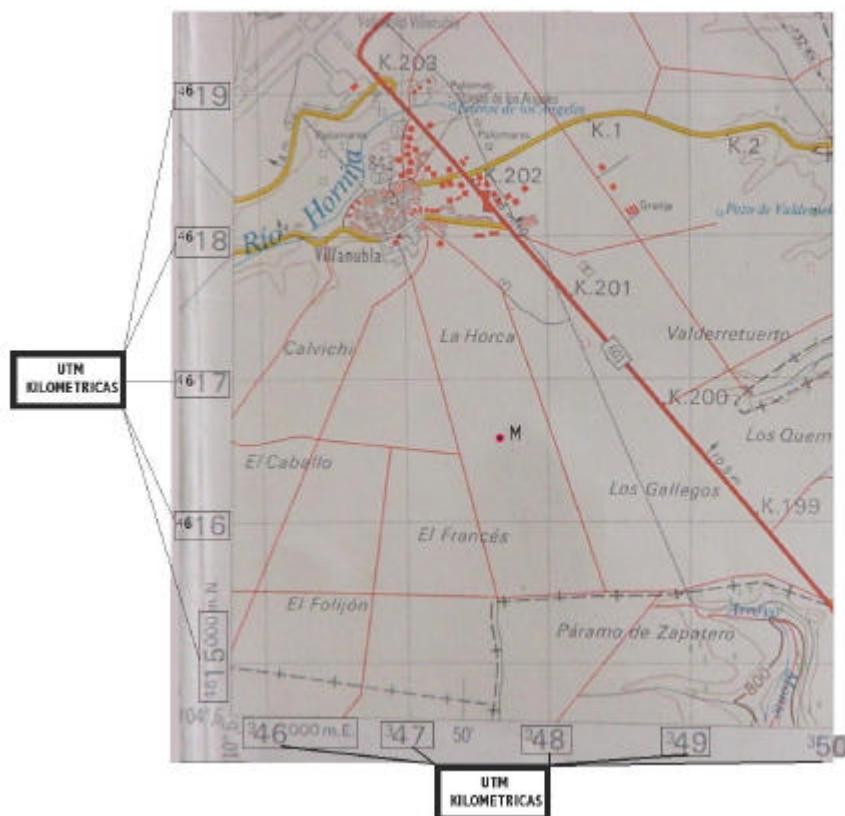
La separación de las mallas varía con la escala del plano, así es habitual encontrar mallas Kilométricas en la cartografía 1:25.000 y 1:50.000.

Las separaciones, en soporte papel de las mallas, oscilan;

Escala	Separación (mm)	Separación (cm)
1:50.000	20	2
1:25.000	40	4

Las notaciones de las mallas kilométricas se encuentran en los bordes de los planos, de color negro, al igual que las coordenadas geográficas.

Se procede a leer las coordenadas del punto “M” en un plano 1:50.000 del Servicio Geográfico del Ejercito, auxiliándose de la malla **UTM**:



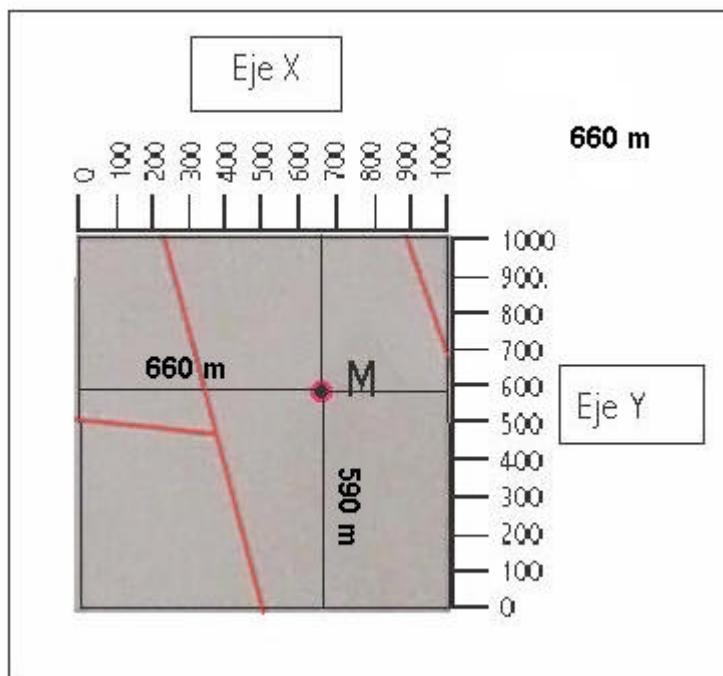
La designación kilométrica de la coordenada **x (easting)** se nombra mediante tres dígitos, uno de los cuales, el primero, se encuentra de menor tamaño de fuente. La designación de la coordenada **y (northing)** se nombra mediante cuatro dígitos, de los cuales, los dos primeros se encuentran a un menor tamaño de letra, buscamos la cuadricula que contiene al punto:

$$\begin{array}{lll} X = 347 \text{ Km.} & - & x = 347.000 \text{ m} \\ Y = 4616 \text{ Km.} & - & y = 4.616.000 \text{ m} \end{array}$$

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

La cuadricula que contiene al punto se busca, en el eje **x**, la primera división de cuadricula existente a la izquierda del punto y en el eje **y** la primera división por debajo del punto “M”.

Interpolamos sobre la malla en la cuadricula kilométrica que contiene al punto:



$$x = 660 \text{ m}$$

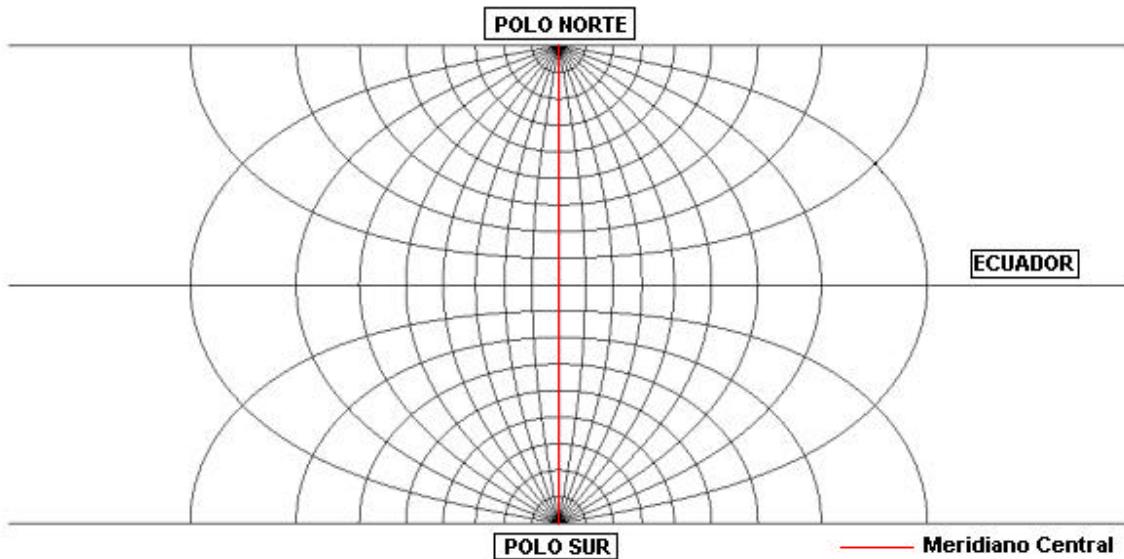
$$y = 590 \text{ m}$$

Luego la coordenada buscada es:

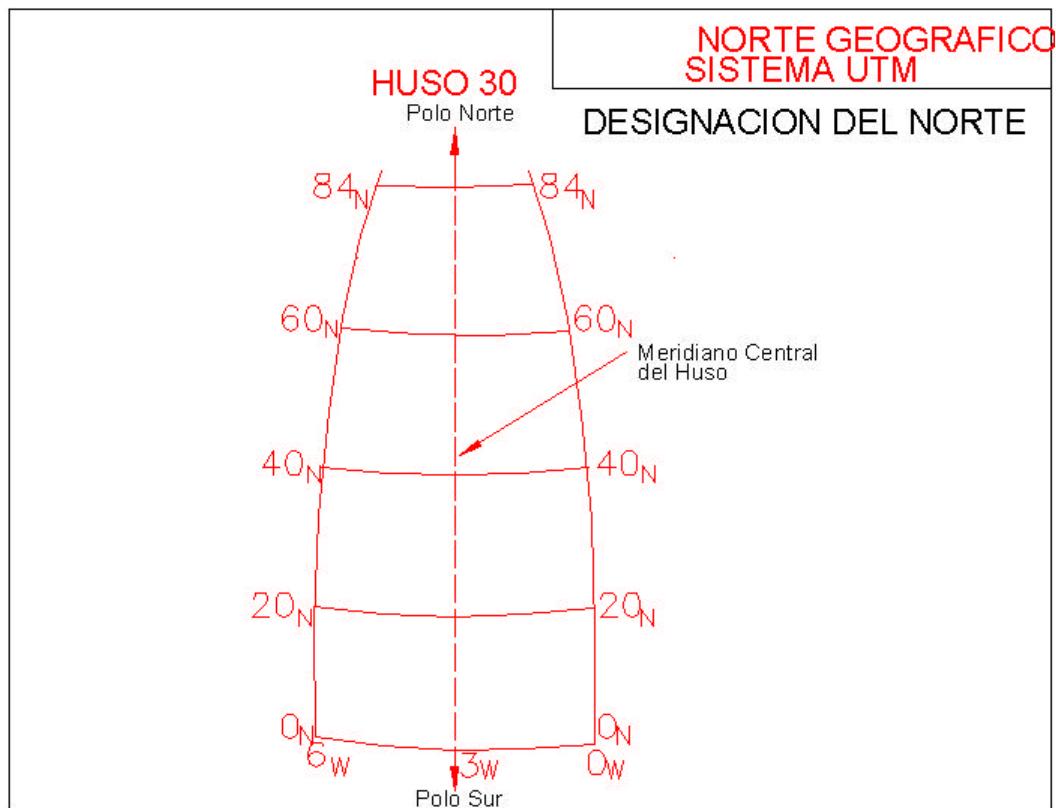
	X	Y
Kilométrica	347.000 m	4.616.000 m
Apreciación en la Cuadricula	660 m	590 m
Coordenada Buscada	347.660 m	4.616.590 m

### **3.3.E. La Medición del Norte Geográfico Verdadero.**

El sistema de cuadriculas **UTM**, (“grid”), no marca el norte geográfico en todas las cuadriculas rectangulares creadas, ya que los meridianos y paralelos aparecen distorsionados con respecto a la cuadricula:



En el cuadriculado (“grid”), solamente existe una dirección, coincidente con un meridiano en cada huso, que realmente se encuentra orientada al norte, esta dirección es el meridiano central de cada huso:

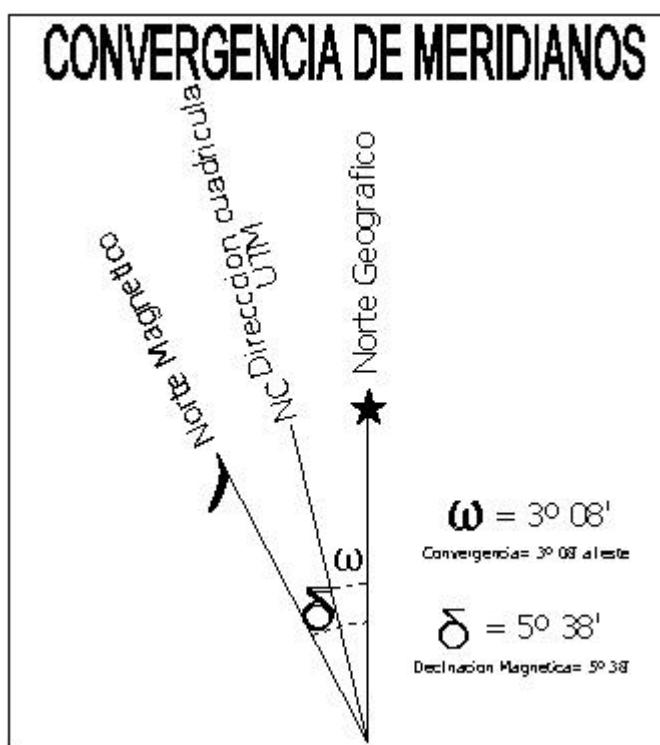


El valor de la coordenada **UTM x** toma el valor de 500.000 m, según la definición del sistema.

El resto de las cuadriculas existentes dentro del huso desvían la dirección real del norte geográfico. Esta desviación se la denomina "**CONVERGENCIA DE CUADRICULA**", designada habitualmente por la letra griega T, que se encuentra evaluada en los mapas topográficos, como son el 1:50.000 del Servicio Geográfico del Ejercito y del Instituto Geográfico Nacional.

Esta convergencia de cuadricula se encuentra designada para el punto central del mapa, y dependiendo de la escala del plano se puede considerar prácticamente igual para toda la hoja. La valoración de **la convergencia de cuadricula**, T, se encuentra habitualmente aparejada a la valoración de la declinatoria magnética de la hoja.

La notación **NC**, en las leyendas de la cartografía, indica la dirección de la cuadricula sobre el plano y T indica la diferencia entre el norte geográfico y la dirección **NC** de la cuadricula:



### Convergencia de meridianos en el Meridiano Central del Huso

Sobre el meridiano central del huso, al coincidir el meridiano con la tangente al cilindro de revolución de la proyección, ambas direcciones, la de la malla **UTM** y el meridiano son coincidentes.

### Convergencia de meridianos al Este del Meridiano Central del Huso

Al Este del meridiano central, y aumentando según su longitud, la convergencia T se debe tomar en dirección Oeste para localizar el norte geográfico.

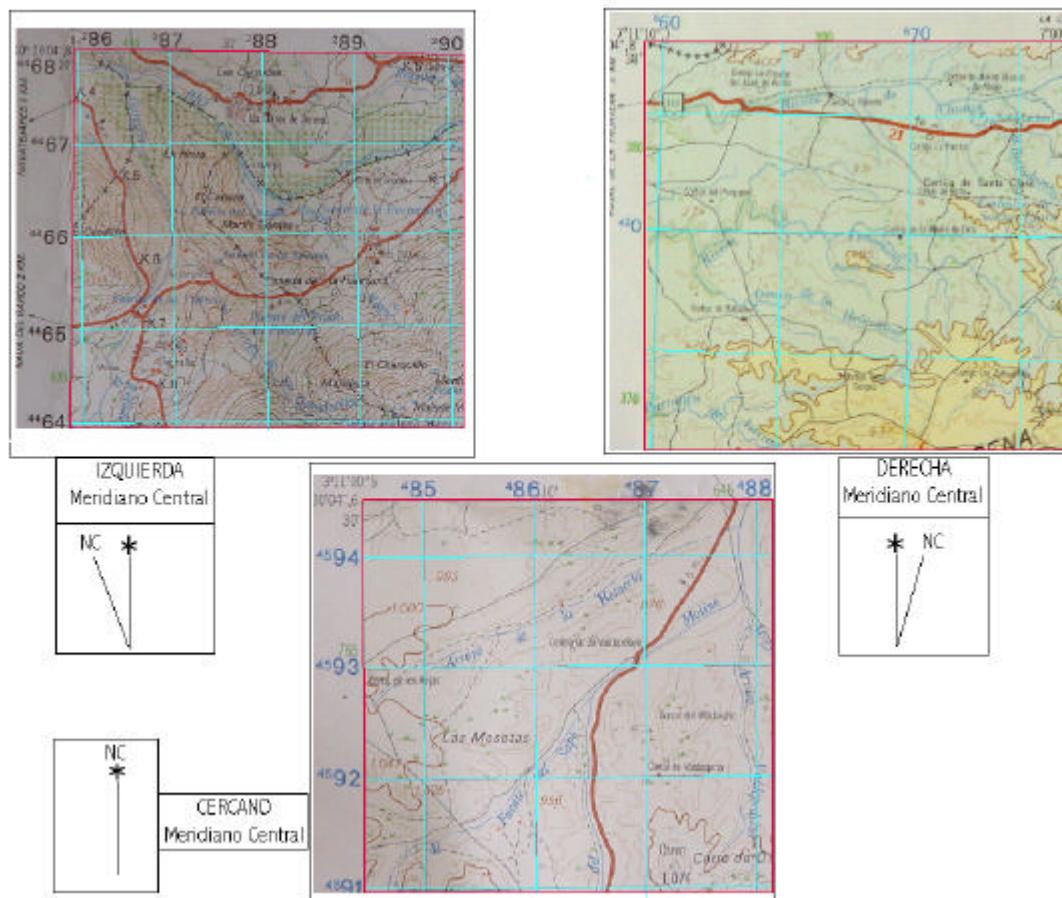
### Convergencia de meridianos al Oeste del Meridiano Central del Huso

Al Este del meridiano central, y aumentando según disminuye su longitud, la convergencia T se debe tomar en dirección Oeste para localizar el norte geográfico.



Recuérdese que en cada punto del mapa tendrá **una Convergencia de Cuadrícula distinta** y que en la cartografía se evalúa esta distorsión únicamente refiriéndola al punto central del mapa.

Ejemplos en mapas 1:50.000 y 1:200.000:



(Nota: La línea situada a la izquierda de cada una de las imágenes esta orientada según un meridiano geográfico, por lo que esta orientada al norte geográfico).

### **3.3.F Designación de Coordenadas UTM**

La designación de coordenadas **UTM** se puede realizar de distintas maneras:

- Designación de la coordenada indicando su ordenada y abscisa:

x= 386.143 m

y= 4.560.137 m

huso30 zona T

Datum: ED50

o bien:

este (**easting**)= 386.143 m

norte (**northing**)= 4.560.137 m

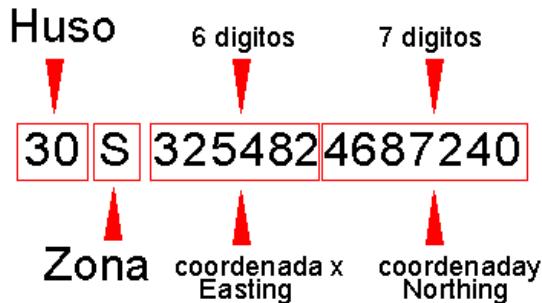
huso 30 zona T

Datum: ED50

- Designación de la cuadricula.

El formato de designación de la cuadricula depende de la resolución con que se encuentran las coordenadas **UTM**. Para una resolución de 1 metro es el siguiente:

## DESIGNACION UTM - Resolucion 1m



Para la resolucion de un Kilometro:



Las coordenadas anteriormente designada en este sistema seria:

$x = 386.143 \text{ m}$

$y = 4.560.137 \text{ m}$

huso30 zona T

Datum: ED50

30T 3861434560137      Datum: ED50

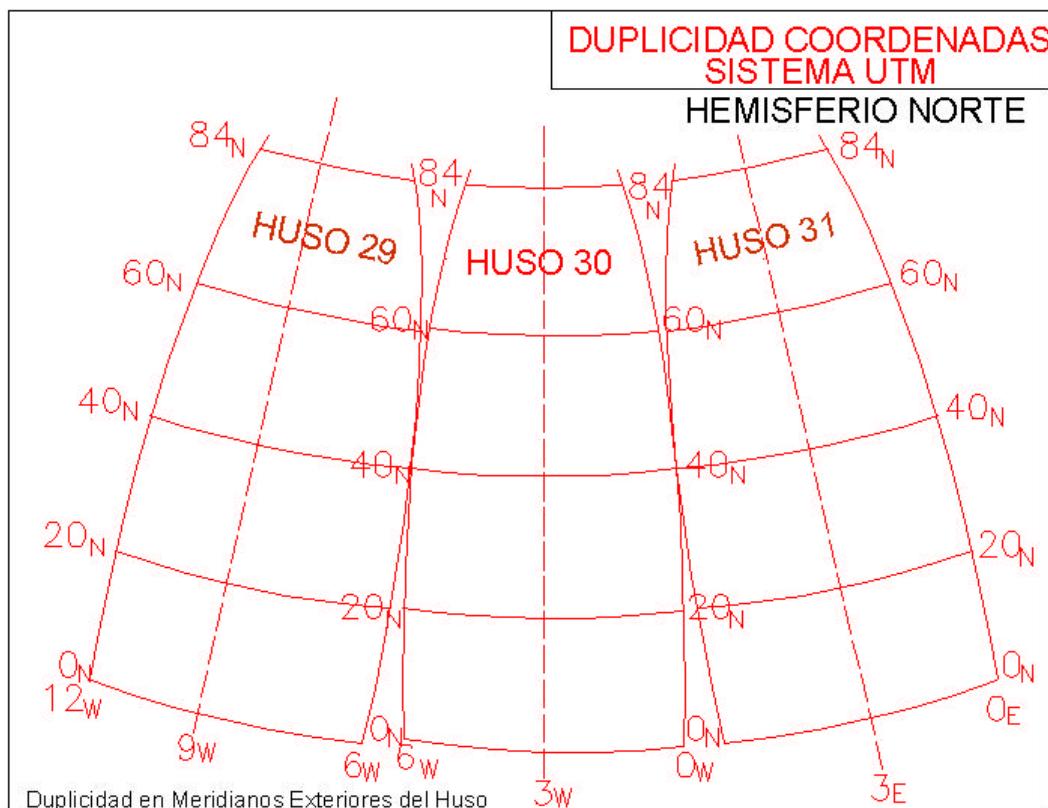
Nótese que en la designación de la coordenada tiene (n) dígitos en la coordenada **Norte** "y", y (n-1) dígitos en la coordenada **Este** "x".

### **3.3.G.1 ¿Duplicidad de Coordenadas UTM?**

Puede existir en la proyección **UTM** que un mismo punto posea dos coordenadas distintas en **UTM** o la representación de posiciones geográficas de varios husos referenciadas únicamente a un huso.

#### **3.3.G.1 Duplicidad de coordenadas entre extremos de dos husos consecutivos**

Existe una serie de zonas entre dos husos consecutivos en la que existe una duplicidad de las coordenadas **UTM**, esta línea es la del meridiano existente entre dos husos consecutivos:



Sobre el meridiano exterior del huso, en el huso 30 meridiano  $0^{\circ}$  y meridiano  $6^{\circ}W$ , existe duplicidad de coordenadas al existir coordenadas en dos husos distintos, **huso 30** con el **huso 29** ( $6^{\circ}W$ ), y **huso 30** con el **huso 31** ( $0^{\circ}W$ ).

La posición geográfica;  $40^{\circ}00'0.00'' N$   $6^{\circ}00'0.00'' W$  sobre **el huso 30** tiene de coordenadas **UTM**:

$40^{\circ}00'0.00'' N$   $6^{\circ}00'0.00'' W$        $x = 243888.8 \text{ m}$       30T  
 $y = 4432145.2 \text{ m}$       ( ED50/Internacional)

Y sobre el **huso 29**:

$40^{\circ}00'0.00'' N$   $6^{\circ}00'0.00'' W$        $x = 756111.2 \text{ m}$       29T  
 $y = 4432145.2 \text{ m}$       ( ED50/Internacional)

### **3.3.G.2 Representación de varios Husos bajo solo Origen grid de un Huso**

Con la introducción de lleno, en estos tiempos, de los sistemas **CAD** (Diseño Asistido por Ordenador) y en general de sistemas informáticos en los que se representan información gráfica georreferenciada, como los sistemas **SIG**, (Sistemas de Información Geográfica), y en general cualquier sistema que involucre información de carácter espacial, nos encontramos con el problema que supone la representación de posiciones geográficas en proyección **UTM** existentes en distintos husos.

Estos sistemas informáticos disponen de un sistema cartesiano x,y ó x,y,z sobre el cual se localizan las coordenadas **UTM**, las coordenadas en cualquier otro sistema de proyección y/o incluso las coordenadas geográficas, pero no disponen de un sistema en el que incluir dos o más orígenes de coordenadas para posiciones geográficas.

Por ello para poder representar coordenadas de toda la península Ibérica en un sistema informático, y por requerimientos del servicio, (no porque sea lo ideal), se recurre a la representación sobre el Huso 30 de posiciones geográficas existentes en el huso 29 y en el huso 31, ya que la península Ibérica se encuentra en tres Husos, el 29, el 30 y el 31. De esta manera se pasa de tener tres orígenes de coordenadas, uno por cada huso, a un solo sistema de coordenadas, el del huso 30.

Esta operación se la conoce como “**forzar**” las coordenadas **UTM** a un determinado Huso, hecho que es posible pero no recomendable, ya que la distribución de husos y el empleo de distintos cilindros de proyección se efectúan para evitar, o disminuir en lo posible, la distorsión causada por la proyección, factor de anamorfosis lineal o factor de escala. Este factor aumenta de forma exponencial conforme aumenta la distancia al meridiano central del huso de representación.

Al forzar esta representación al huso 30 de posiciones geográficas existentes en la península Ibérica que por defecto están en el huso 29 y en el huso 31, como ocurre con Galicia y Baleares (huso 29 y huso 3, respectivamente), todas las coordenadas y Northing son positivas al encontrarnos en el hemisferio norte y tener el huso 30, como todos los husos, coordenada y = 0m en el ecuador.

Las coordenadas x Easting del huso 31 son positivas en la coordenada x, al ser superiores a las existentes en el huso 30, que por definición del sistema coordinado, serán positivas. Las posiciones geográficas del huso 29, representadas bajo el huso 30 también son positivas hasta llegar a la coordenada x=0, quedando únicamente una pequeña zona de la península con coordenadas negativas, la zona del Cabo Finisterre en Galicia:



Para las posiciones geográficas del huso 29, 30 y 31, son positivas, como todas las coordenadas x “Norting”, estén en el hemisferio norte o en el hemisferio sur.



Zona ampliada con designación de coordenadas UTM (wgs-84)

(nota: coordenadas UTM Datum/elipsoide wsg-84)

Por ejemplo la coordenada 42ºN 4ºW (WGS-84), sobre el origen de coordenadas en los husos 29, 30, 31:

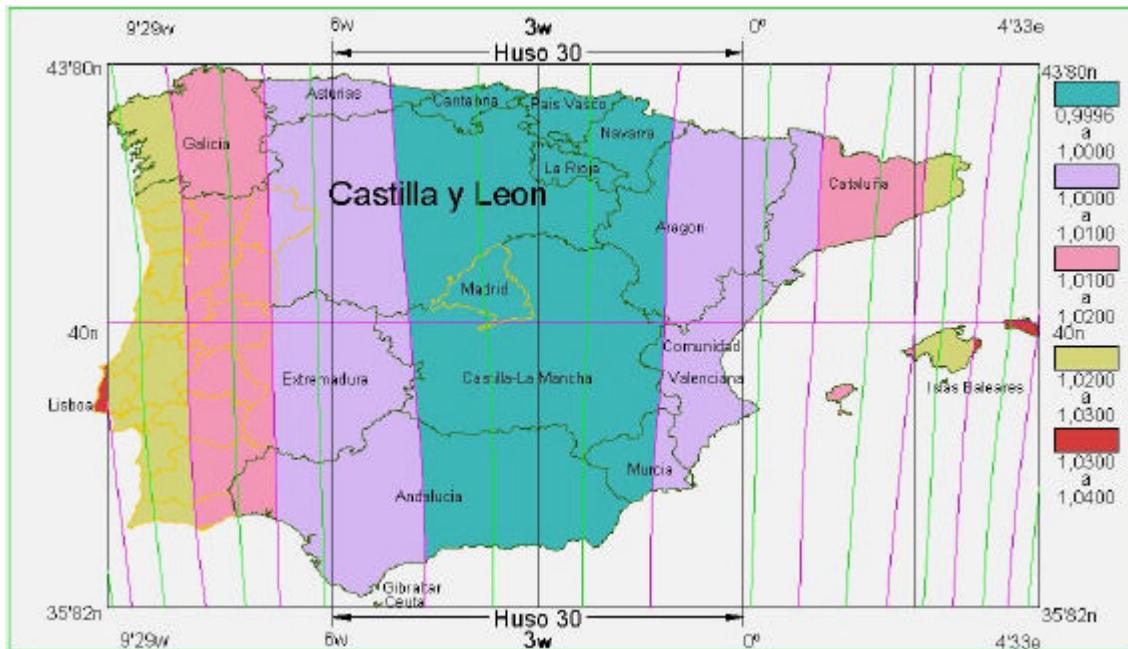
Origen	Geográfica	Coordenada UTM		Origen
		X	y	
Huso 29	42º0'0.0"N 4º0'0.0"W	914143.57	4661883.98	Huso 29
Huso 30	42º0'0.0"N 4º0'0.0"W	417181.93	4650259.84	Huso 30
Huso 31	42º0'0.0"N 4º0'0.0"W	-79874.09	4673541.14	Huso 31

Por defecto la coordenada 42ºN 4ºW (WGS-84) pertenece al huso 30, debiendo ser referenciada esta coordenada a este huso, ya que conforme se eleva la distancia al meridiano central del huso, mayor es la distorsión ocasionada por la proyección.

De esta manera es posible representar bajo dos husos toda la España:

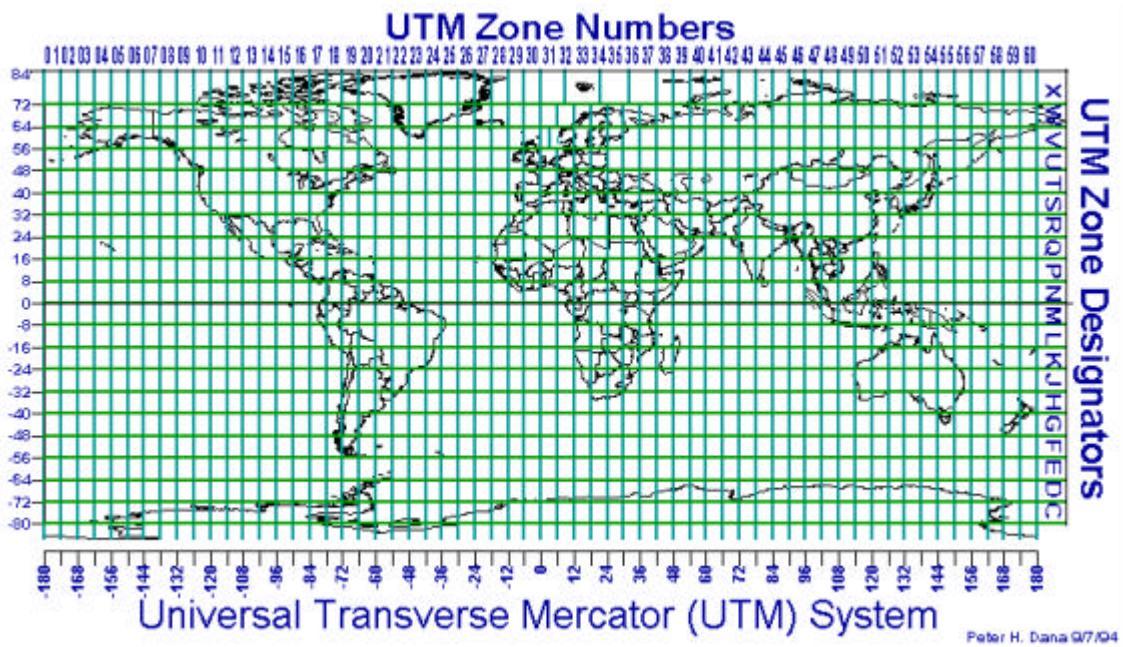
- Sobre el **Huso 30**: posiciones UTM que se encuentran en el huso 29, 30 y huso 31, Península Ibérica, Baleares y Plazas Africanas
- Sobre el **Huso 28**: posiciones UTM que se encuentran en el Huso 28 y huso 27, (Canarias).

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:



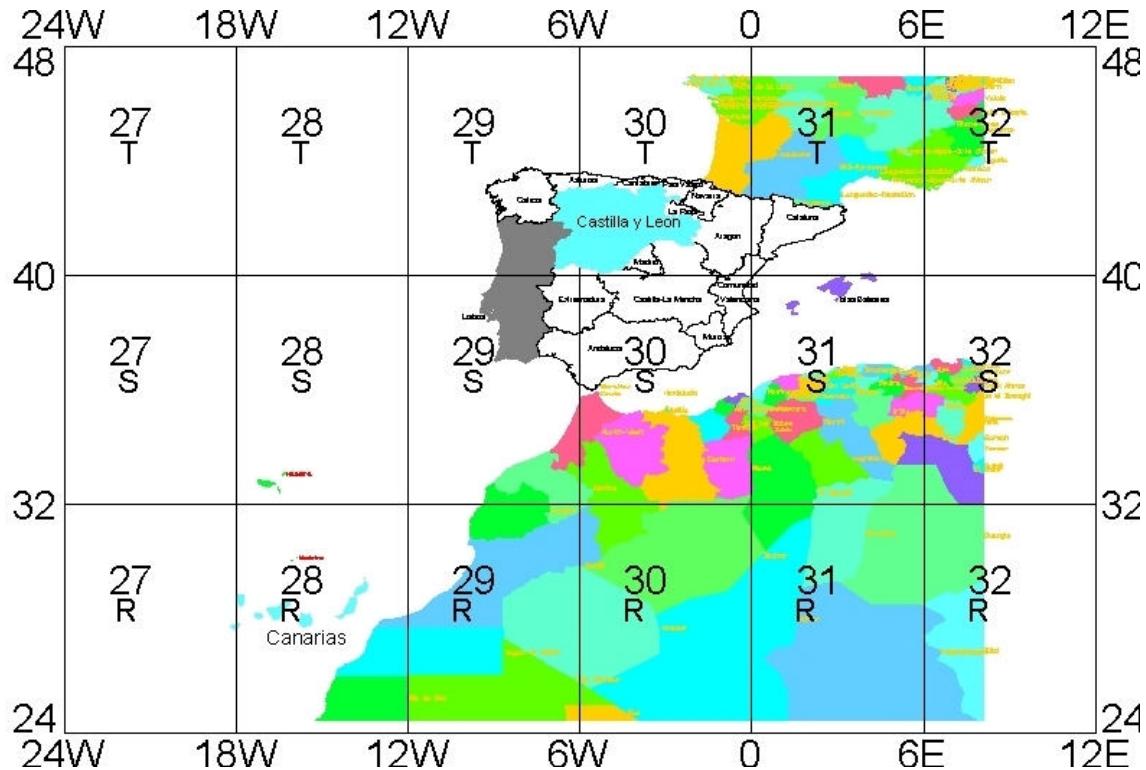
Cada **HUSO** comprende un total de **6º** de LONGITUD, medidos desde el antemeridiano de Greenwich (180º Este), numerados en dirección este.

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 **NPQRSTUVWX** corresponden a zonas situadas en el hemisferio Norte. Cada una de estas zonas se corresponden a **8º** de LATITUD si esta comprendido dentro de las zonas desde la letra **CDEF...STUW**, y para la zona **B** y **X** que comprenden **12º** de LATITUD.

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

#### **4.1 Distribución de Husos y Zonas para España**

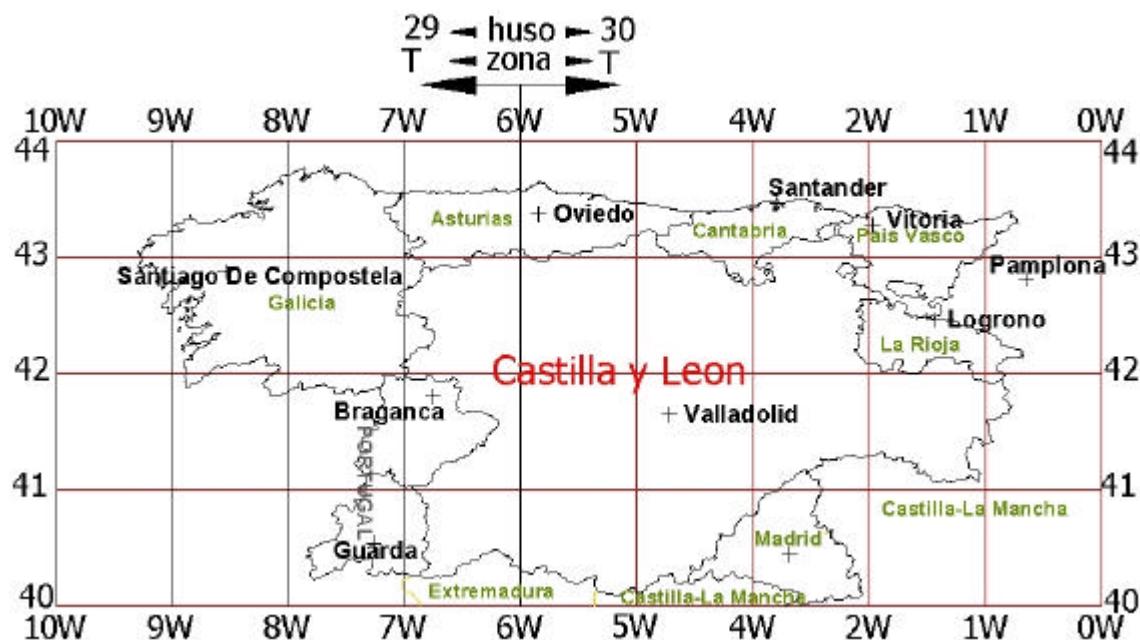
La distribución de **Husos y zonas** para España es la siguiente:



El espacio geográfico que ocupa España está comprendido 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

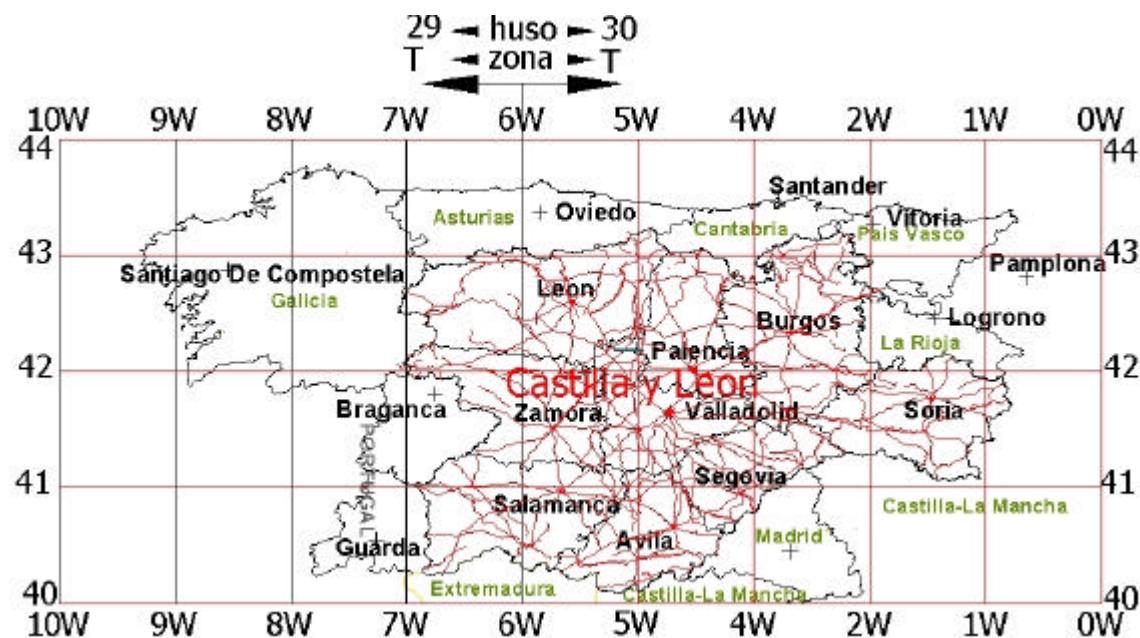
Para nuestra Comunidad Autónoma, Castilla y León, se localizan los dos siguientes husos:



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

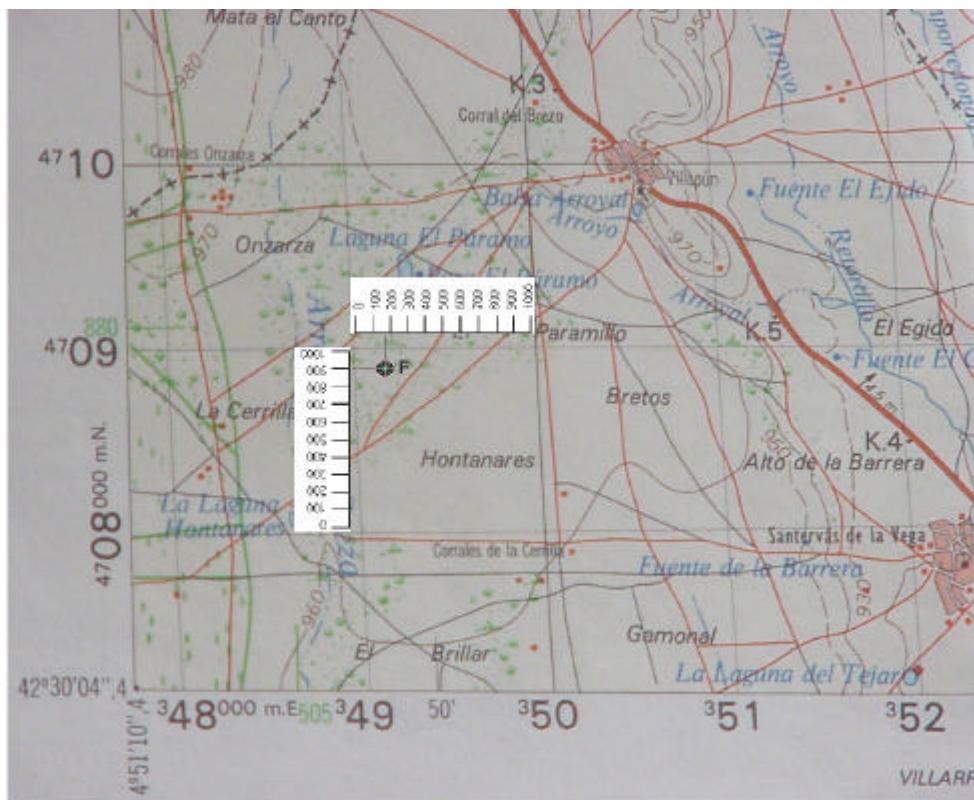
Hay que hacer notar que un las coordenadas **UTM** localizan un punto en un sistema coordenado, por lo que la precisión que podrá tener es tan grande como el sistema empleado en designar la citada coordenada me permita:

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 cuadricula de la siguiente resolución:

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

Máxima apreciación (Ma);

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

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 cuadricula descrito, sino que se encuentra en la esquina inferior izquierda de dicha cuadricula.

No se entendería que el usuario lograse apreciar mas 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:

$$\begin{array}{lll} X=349.176 & \text{o} & X=349.173 \\ Y=4.708.903 & & Y=4.708.896 \end{array} \quad \begin{array}{lll} X=349.167 & \text{o} & X=349.165 \\ Y=4.708.901 & & Y=4.708.902 \end{array}$$

Unicamente se podría definir la coordenada:

$$\begin{array}{ll} X= 349.170 \text{ m} \\ Y= 4.708.900 \text{ m} \end{array} \quad \text{o valores múltiplos de 10 m}$$

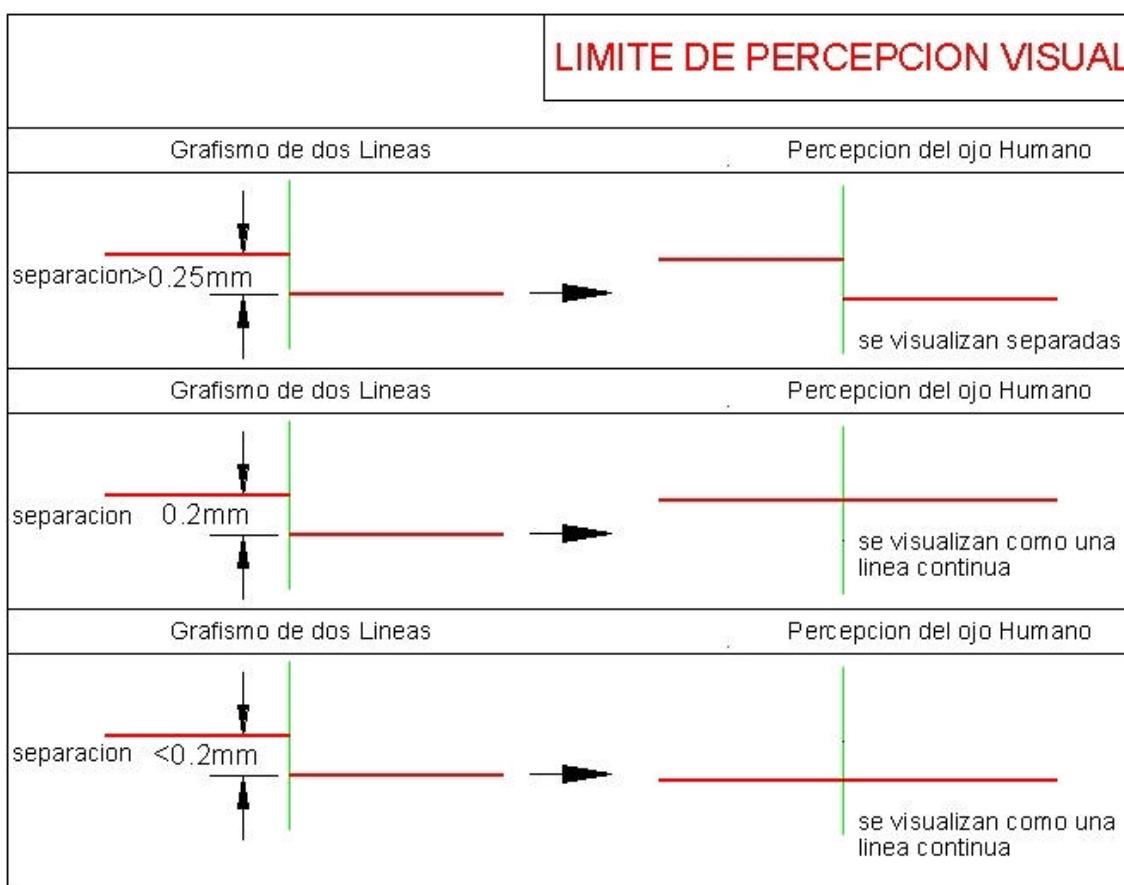
Ya que cualquier otra coordenada designada quedaría por encima de la resolución máxima que somos capaces de apreciar en el mapa.

## 5.1 Límite de Percepción Visual

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

Se define como *límite 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 límite, 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 límite a la máxima resolución visual.



Este límite 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 límite, 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 límite de percepción visual me condiciona a que la máxima apreciación posible en el plano es de:

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

Máxima apreciación (**Ma**):

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

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:

$$\text{Denominador de la escala (D)} = 50.000$$

$$\text{Límite de Percepción visual (lmp)} = 0'2 \text{ mm}$$

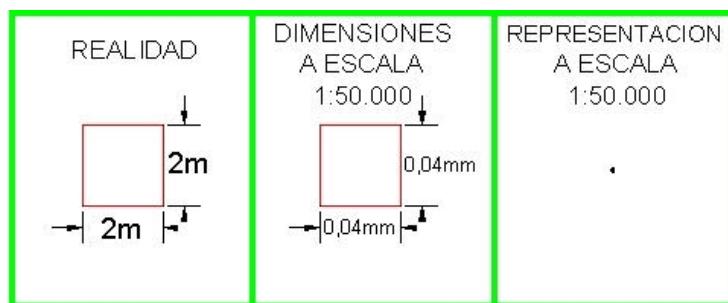
$$\text{Máxima apreciación (Ma) } 1:50.000;$$

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

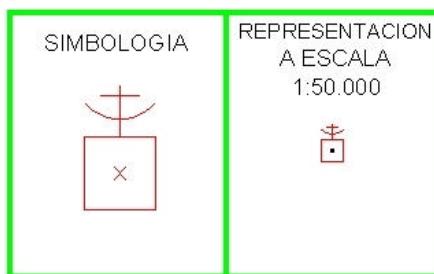
con las del mapa/plano 1:10.000

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

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  $50.000 * 0.2\text{mm} = 10\text{m}$ , 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:

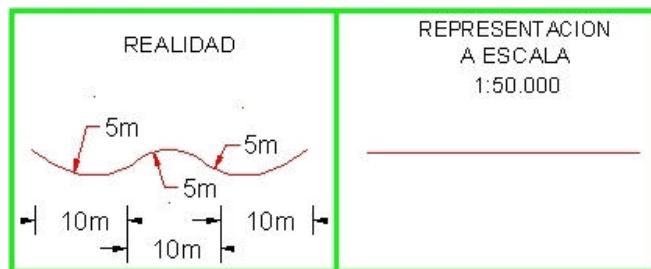


Para representar este elemento en la cartografía y transmitir información de lo que se ha representado con el punto, deberemos recurrir a un símbolo, ya que un rectángulo de 0.04mm x 0.04mm no se puede representar:

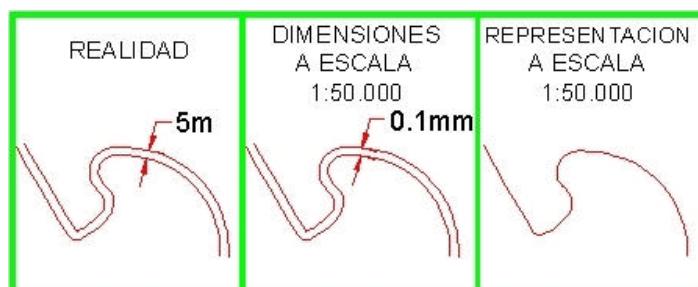


Este **límite de percepción visual** no solamente afecta a entidades puntuales, sino que afecta a todos los elementos a representar, por ejemplo a

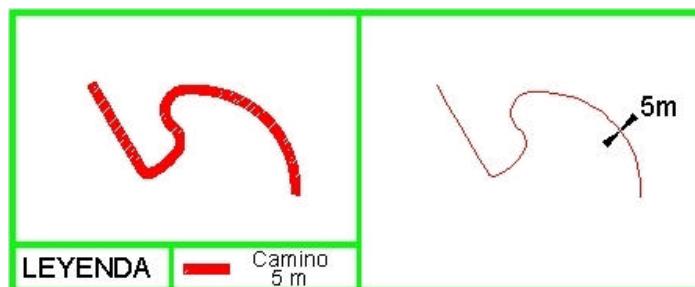
Localizaciones Geográficas. Las Coordenadas Geográficas y la Proyección UTM. (Universal Transversa Mercator)  
un camino que tiene una serie de curvas de 5 metros de radio representados a escala 1:50.000:



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.

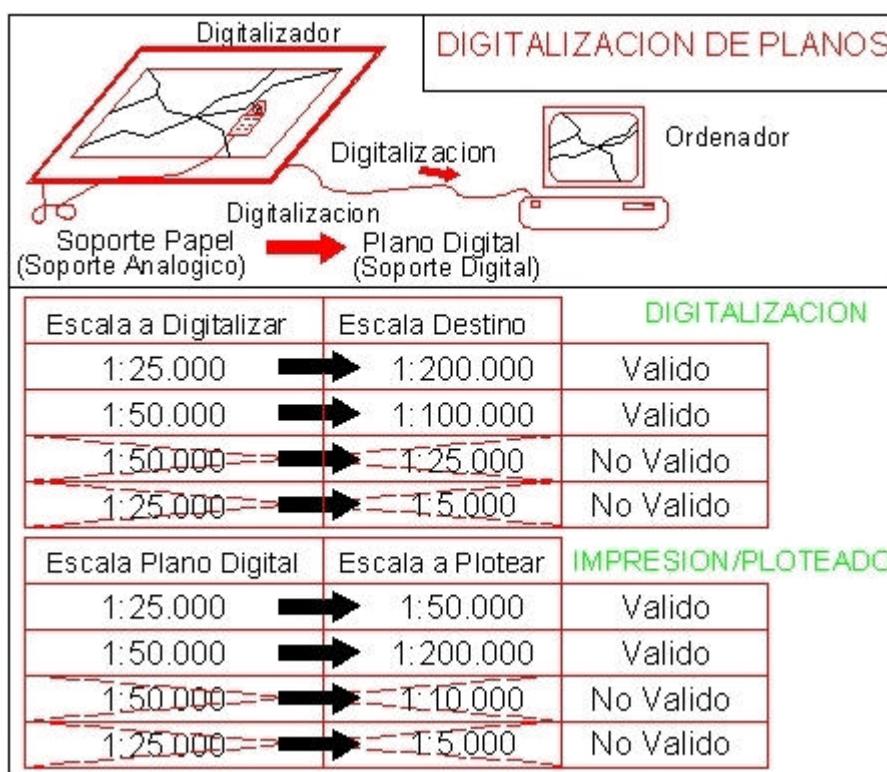
## 5.2 Digitalización de planos/mapas

Con el empleo actual de los sistemas de digitalización para pasar de un soporte papel, (soporte analógico), a un soporte digital este límite 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 Límite, de modo que lo que se pretende digitalizar quede, por lo menos, por debajo del límite 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 válido el **trazado/impresión** de mapas/planos con escalas superiores a las de la cartografía original.

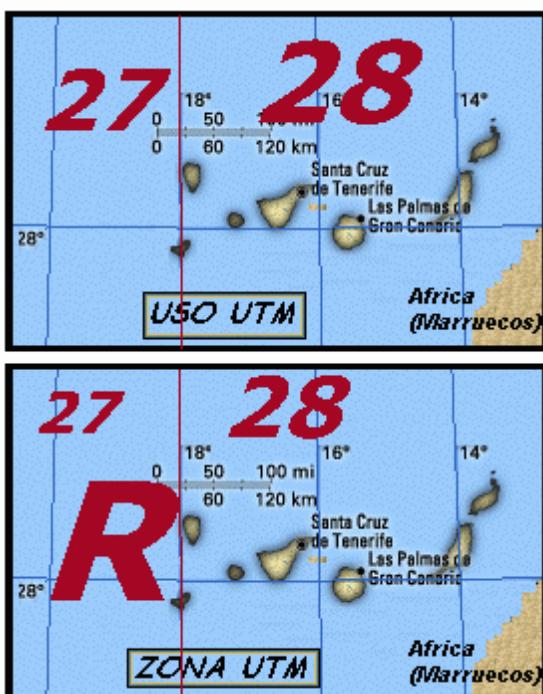
De igual manera no se podrá apreciar en la información digital una coordenada con precisión superior a la existente en el soporte papel original, aunque el sistema informático CAD empleado nos permita apreciar un numero dígitos decimales o enteros superior, sin que la información suministrada por el 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 12º y los 18º 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 6º hasta los 12º de LONGITUD Oeste (W). En él 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 0º hasta 6º de LONGITUD Oeste (W). Bajo este huso se localizan la mayor parte de la superficie de España, en las zonas **S y T**:



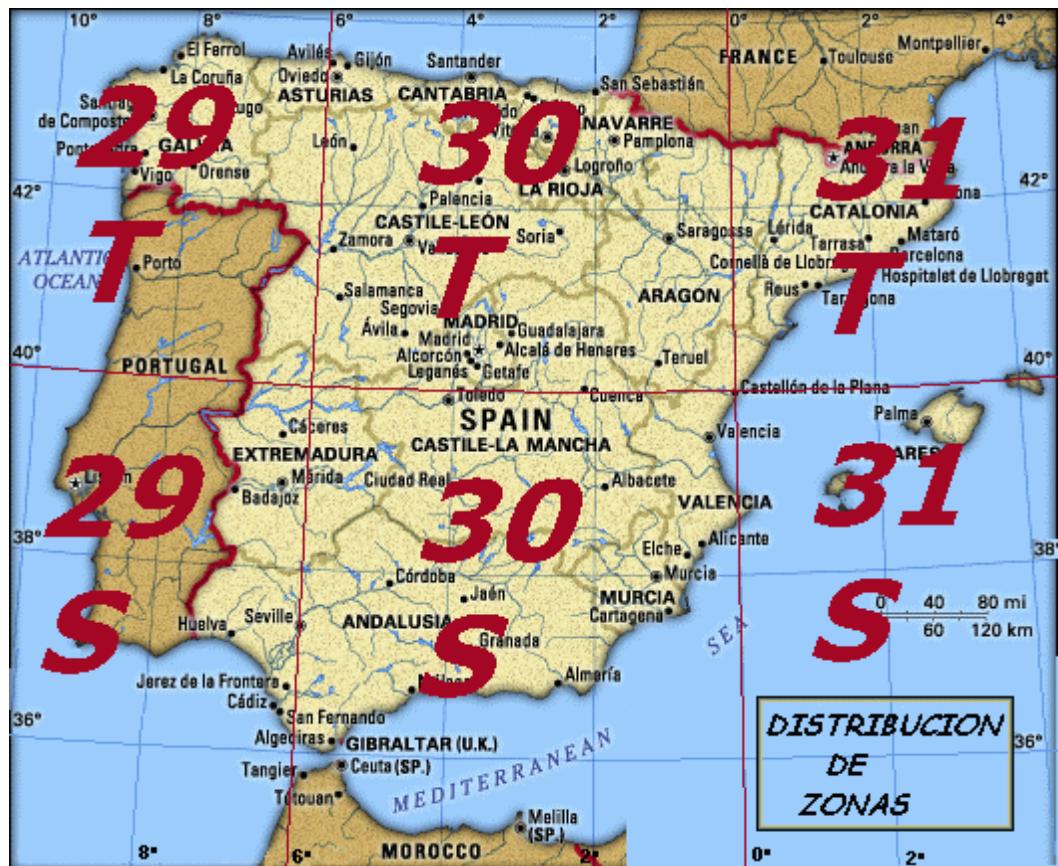
**Huso 31:** Primer Huso en dirección Este, comprende desde los 0º (Greenwich) hasta 6º de LONGITUD Este (E). Bajo este huso se localizan la zona este de España, parte de la comunidad Valenciana y Cataluña en la zona T y el archipiélago balear en la zona S:



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:

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

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**:

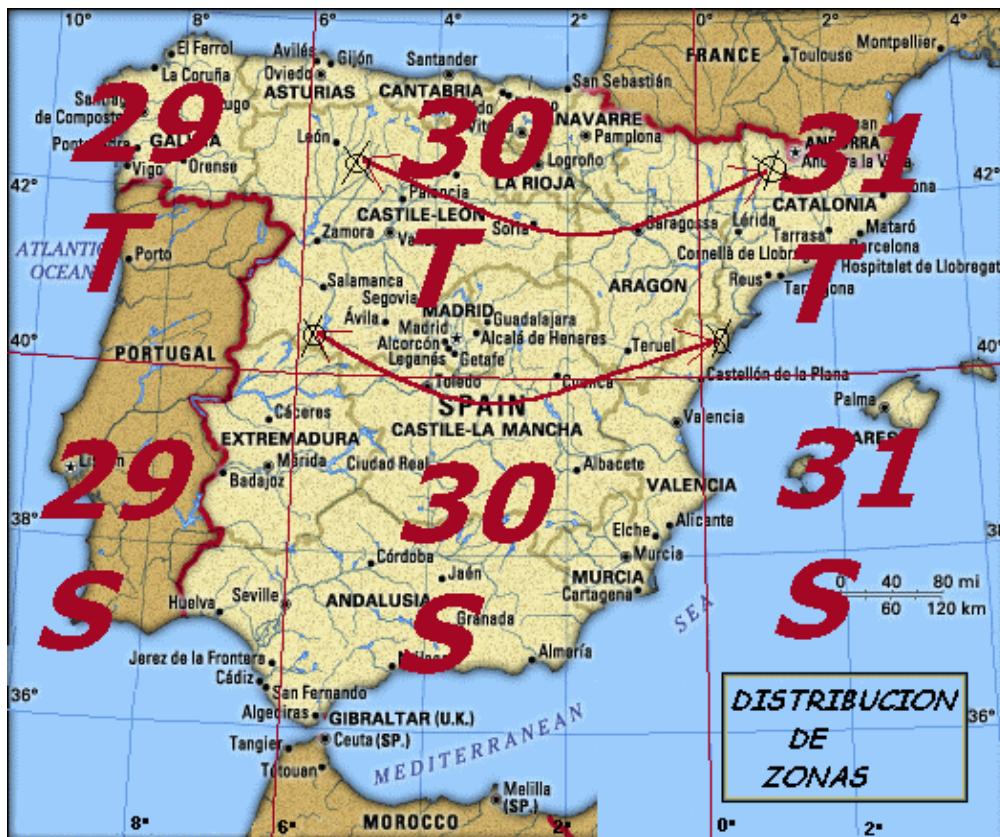
$$\begin{aligned} \underline{X} &= 302975 \text{ m} \\ \underline{Y} &= 4707700 \text{ m (ED50 Huso 30, zona T)} \end{aligned}$$

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;

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

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.



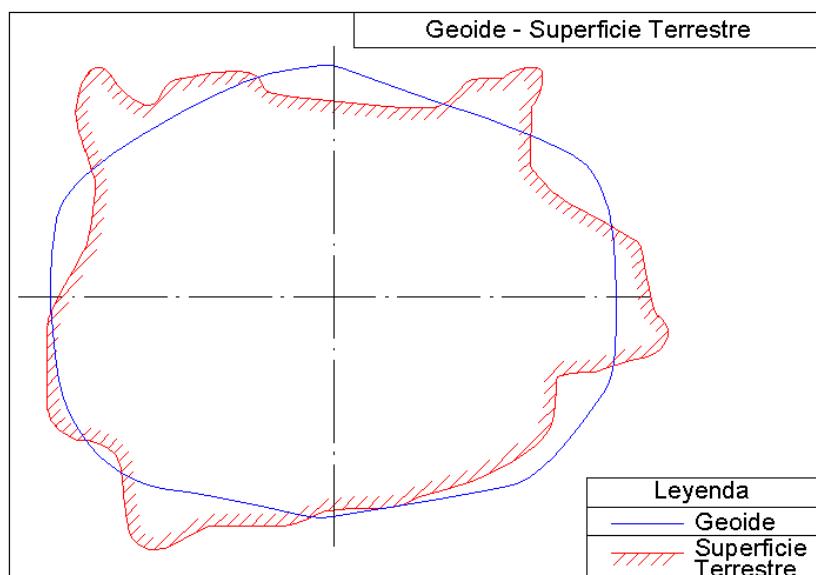
## 7 EL DATUM

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.

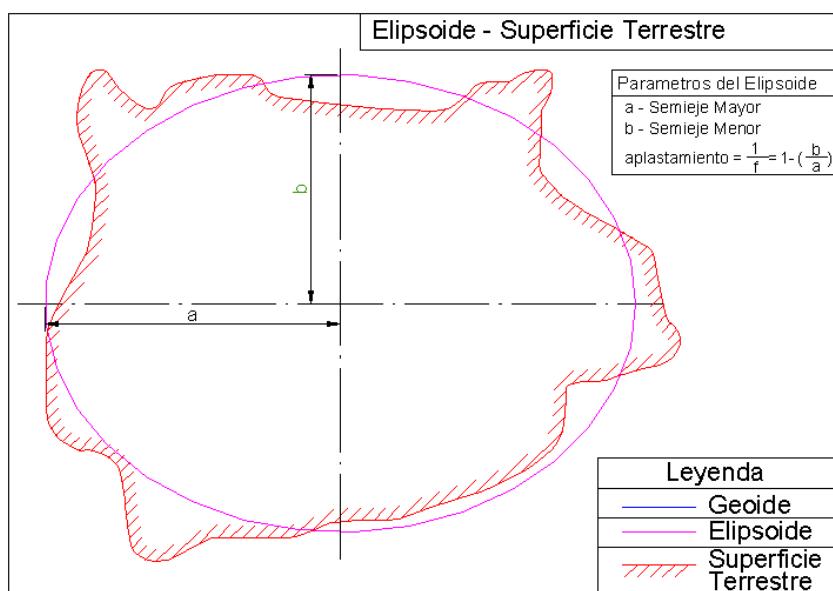


## **7.2 EL ELIPSOIDE**

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
- ➡ - aplastamiento del elipsoide ( $1/f = 1-(b/a)$ )

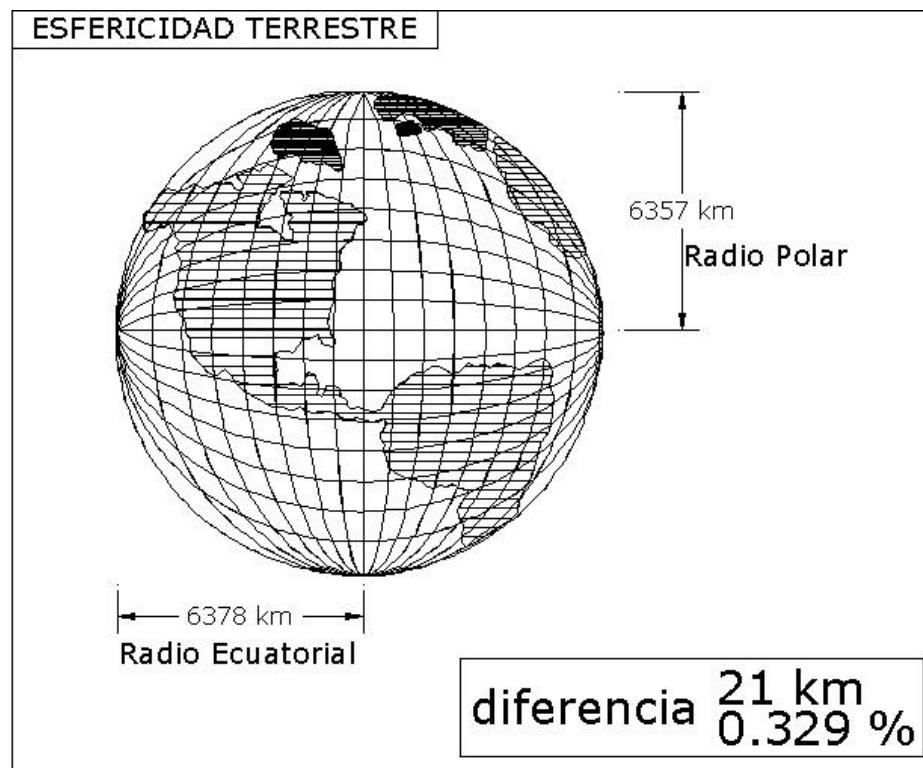
El aplastamiento ( $1/f$ ) suele tomar valores enteros, 296,297 etc.

## ESFERICIDAD TERRESTRE

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



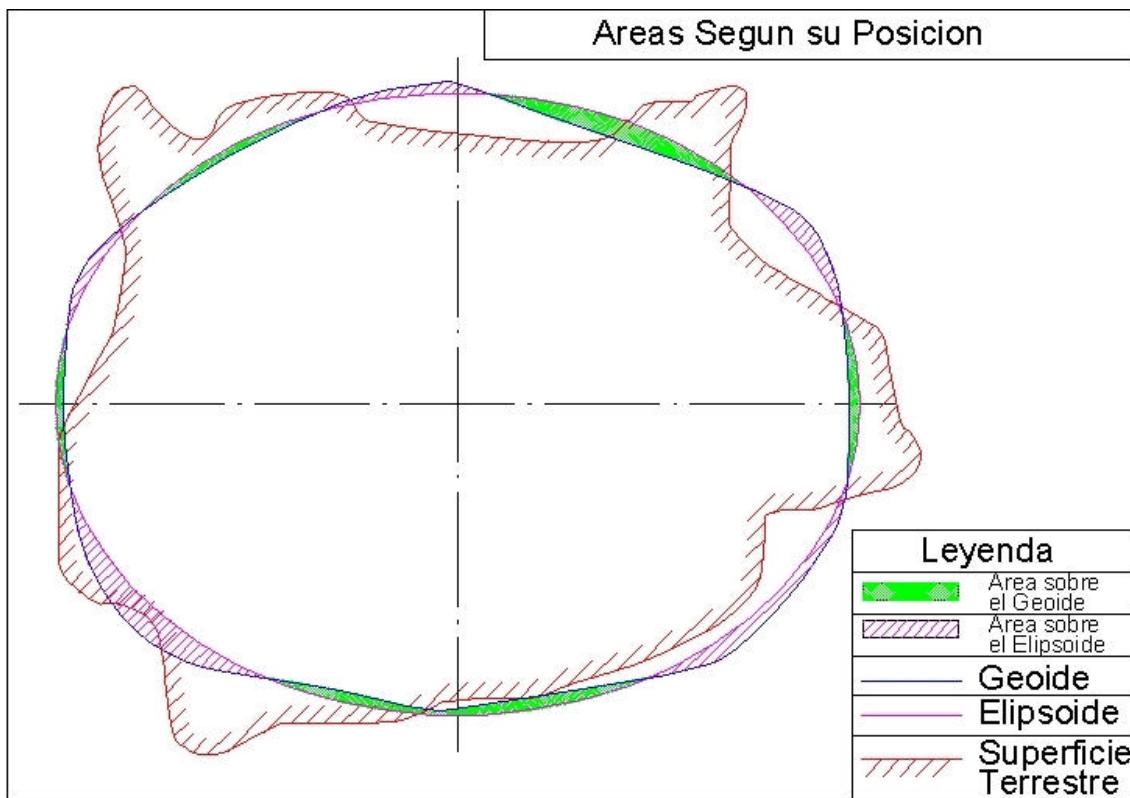
En el computo del diámetro esta diferencia es de 42 km. para la esfera terrestre, con una relación de aplastamiento próxima a 1/300.

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.

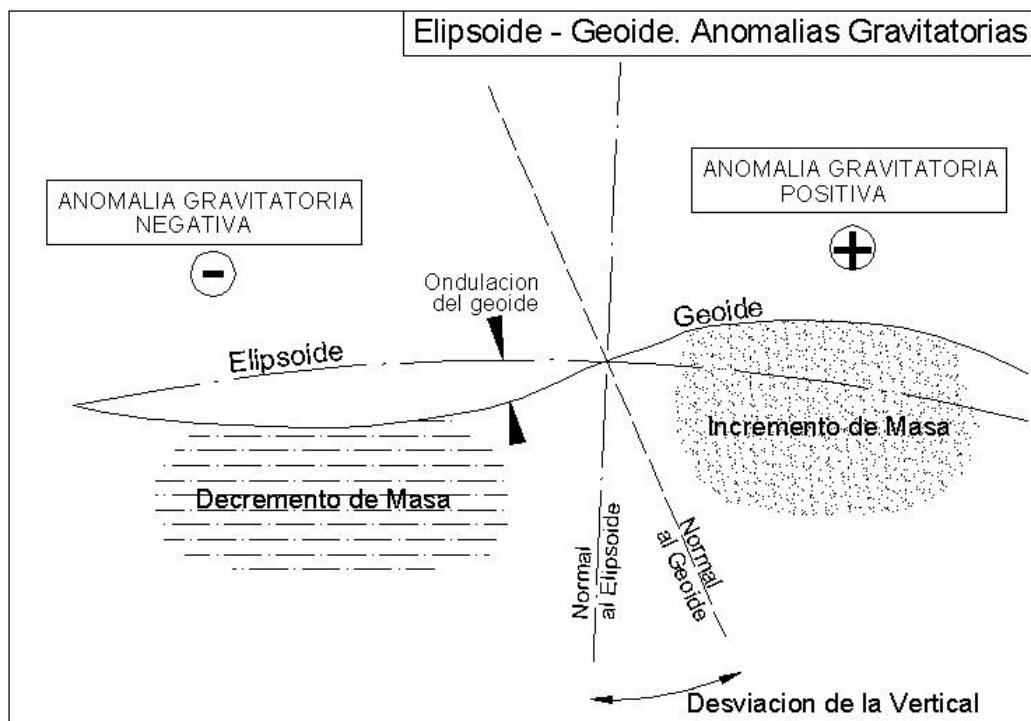
Si lo comparásemos con una esfera de 10 cm de diámetro, la esta esfera tendría un achatamiento de 0'32 mm, cantidad inapreciable y que no es detectable a simple vista:



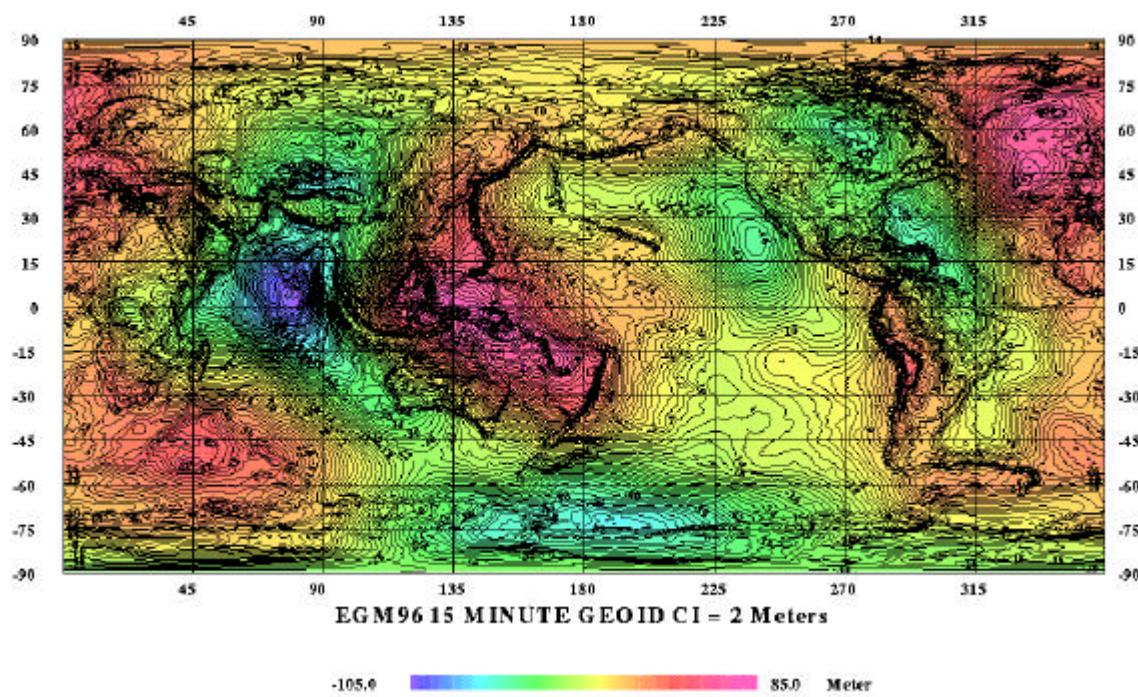
La desigual distribución de la gravedad superficial, y de lo local de las perturbaciones, causa que existan zonas de la tierra por encima del geoide y por debajo de este:



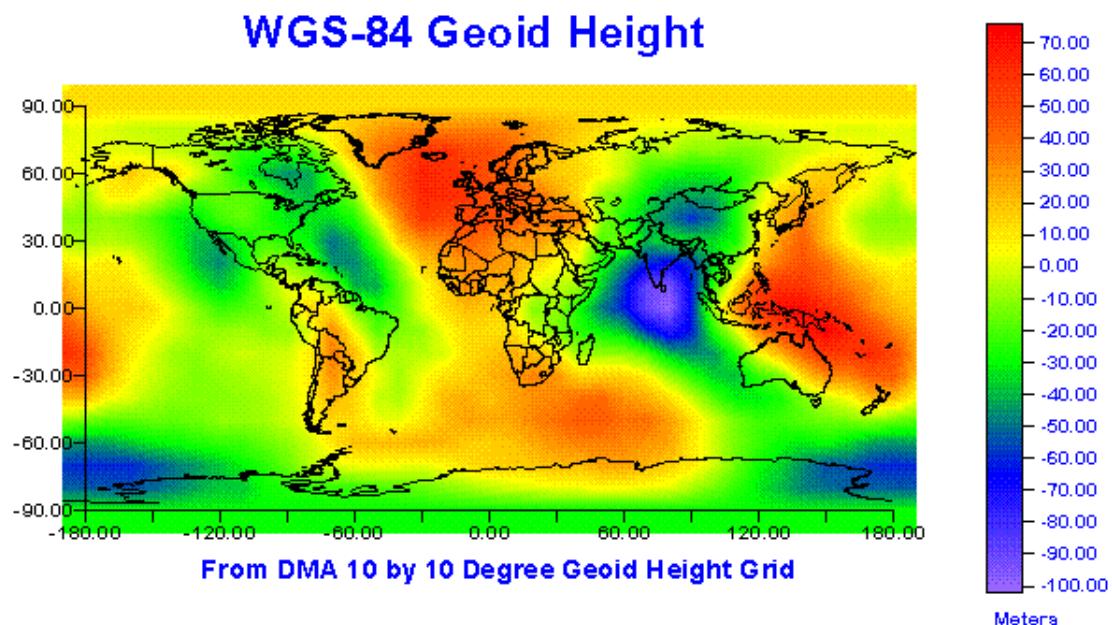
Estas diferencias gravitatorias son causadas por la composición terrestre y la presencia de una gran masa de agua en los océanos, que causa una menor atracción, y hace que, por lo general, el geoide quede por encima del elipsoide en la zona continental y por debajo en la zona oceánica:



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**”:

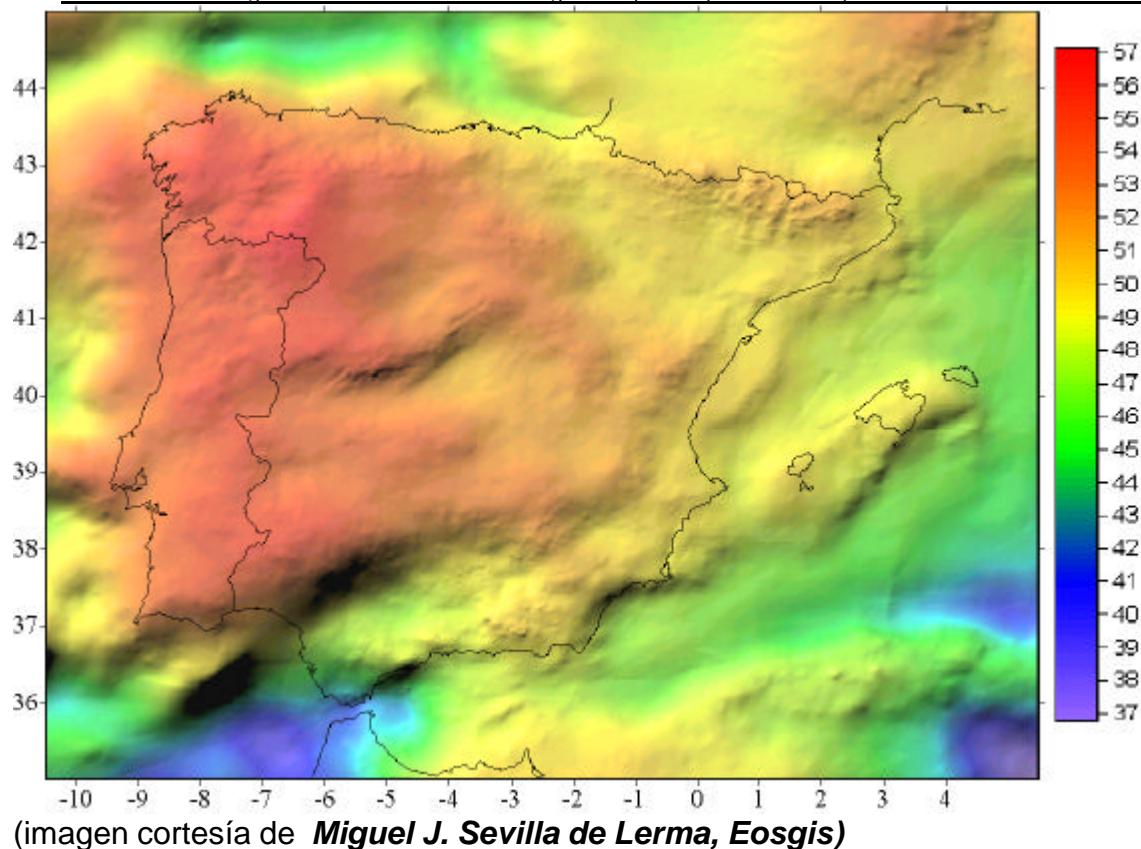


Y la comparación con el geoide **EGM90** con del elipsoide “**WSG-84**”:



Peter H. Dana 11/05/95

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



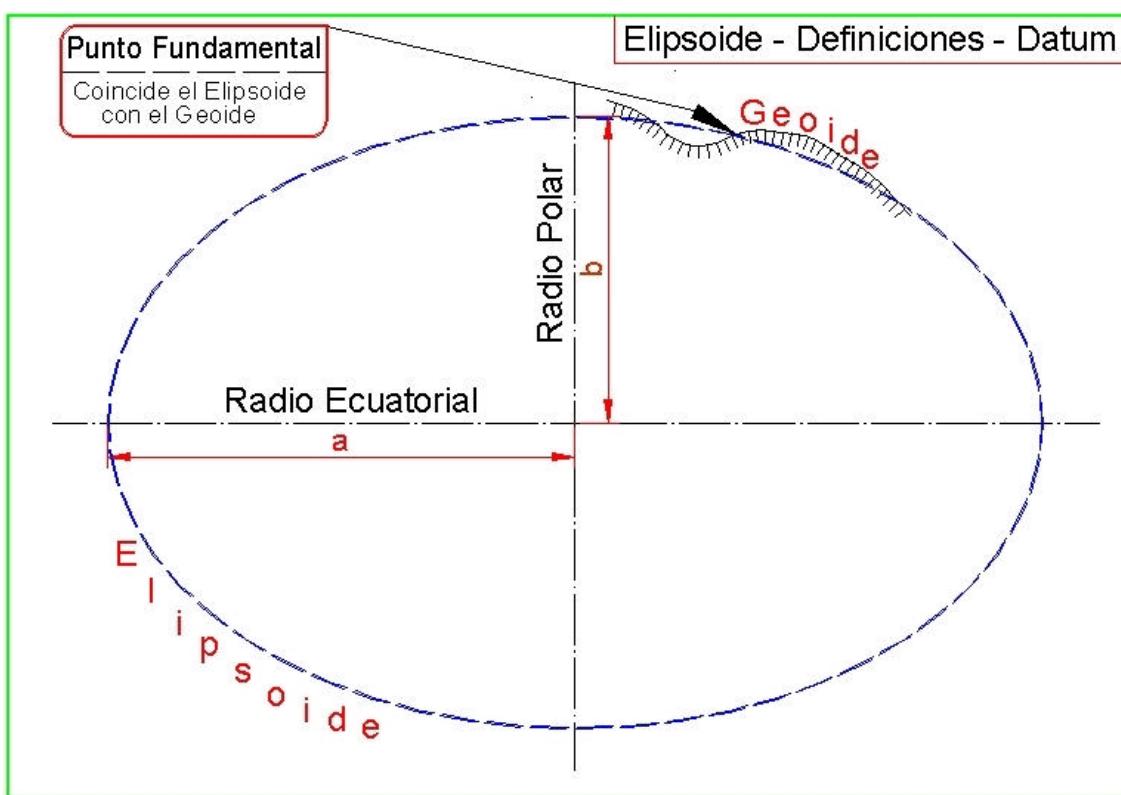
Si consideramos que estas diferencias en raras ocasiones llegan a los 105 metros y que la diferencia entre el radio ecuatorial y el radio polar es de 21 Km, de 42 Km, en su diámetro, queda claro que en el conjunto, la no-esfericidad terrestre existe en términos generales, pero cuando se compara con el geoide, 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**



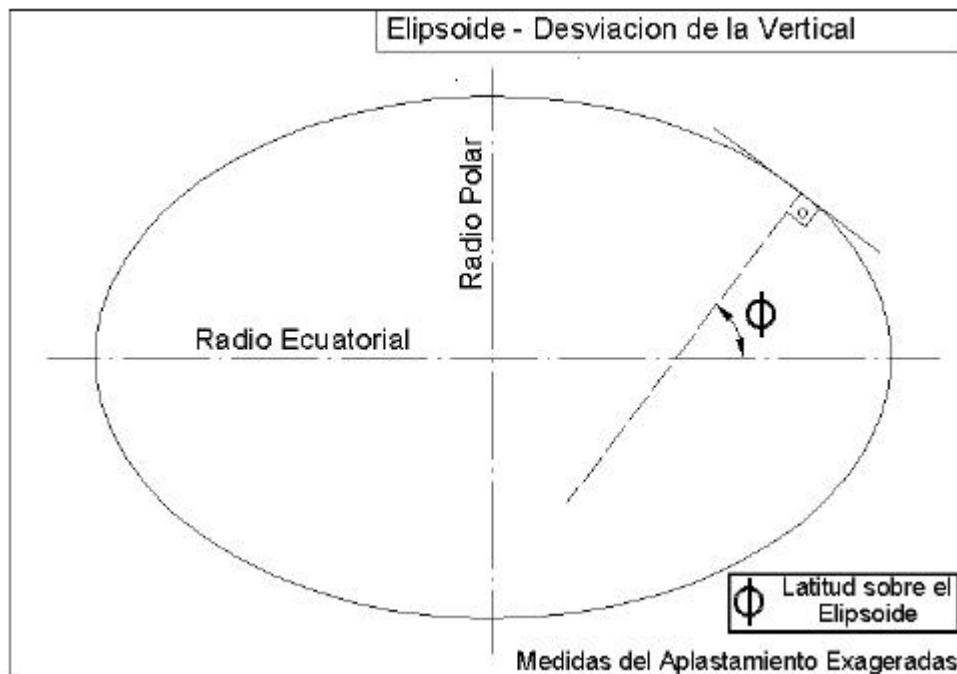
En el punto Fundamental coincide el elipsoide con la superficie real de la tierra así como en este punto las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la tierra).

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**.

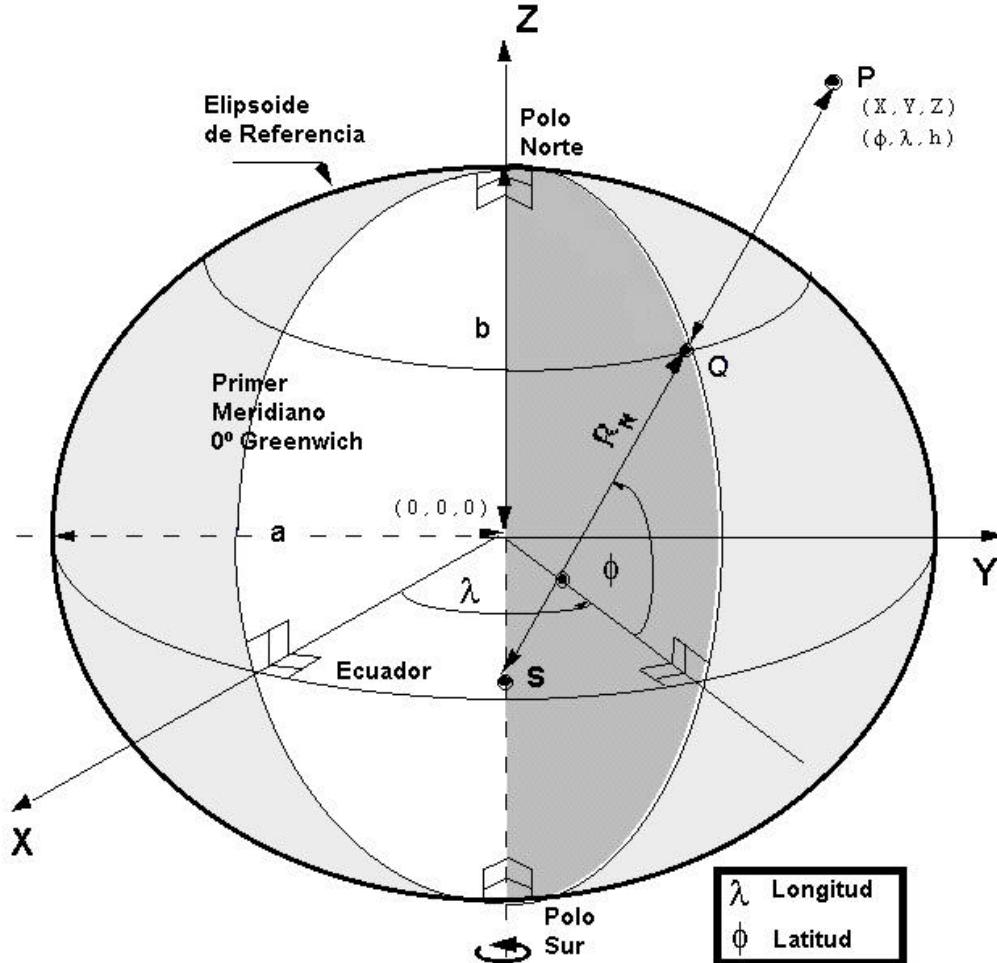
Definido el Datum, ya se puede elaborar la cartografía de cada lugar, pues se tienen unos parámetros de referencia que relacionan el punto origen del geoide y del elipsoide con su localización geográfica, así como la dirección del sistema.

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

Esta desviación viene dada al no coincidir la vertical en el geoide 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 esta situado sobre el eje "Polo Norte- Polo Sur" la desviación sobre el meridiano es  $0^\circ$ .

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  $0^\circ$ .

## **7.4 ELIPSOIDES de empleo usual**

Existe una gran variedad de elipsoides, que se van mejorando matemáticamente para que tengan una mejor aproximación al geoide, o que las desviaciones encontradas con el geoide sean las menores posibles, aunque para cada zona de la tierra se suele emplear un elipsode distinto de manera que se adapte mejor a las desviaciones locales del geoide. 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 una gran numero de datums. Se detallan a continuación los mas 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 Rirnpah	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 (Pl)	05 08 41.42 S	0.00	119 24 14.94 E		Bessel
Australian Geodetic	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:

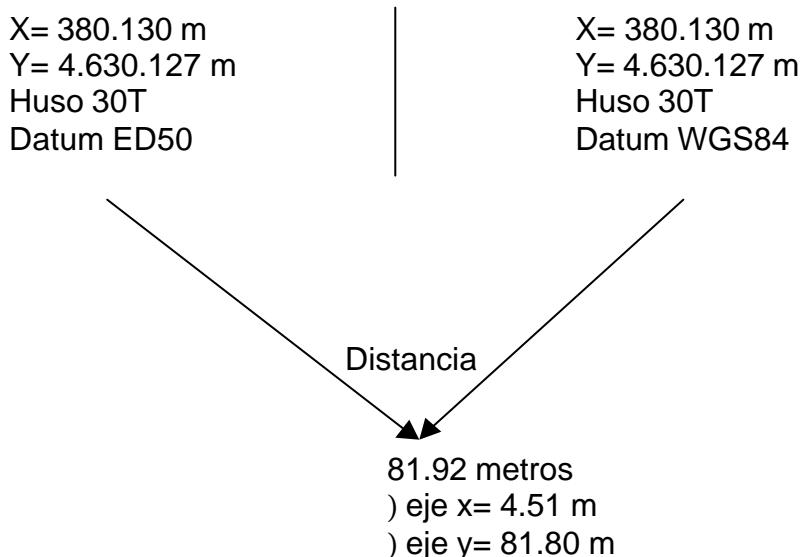
- $a = 6378388 \text{ m}$
- $\text{achatamiento} = 297 \text{ m}$
- Punto fundamental

Longitud : 13º 03' 58.741" E  
Latitud : 52º 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:

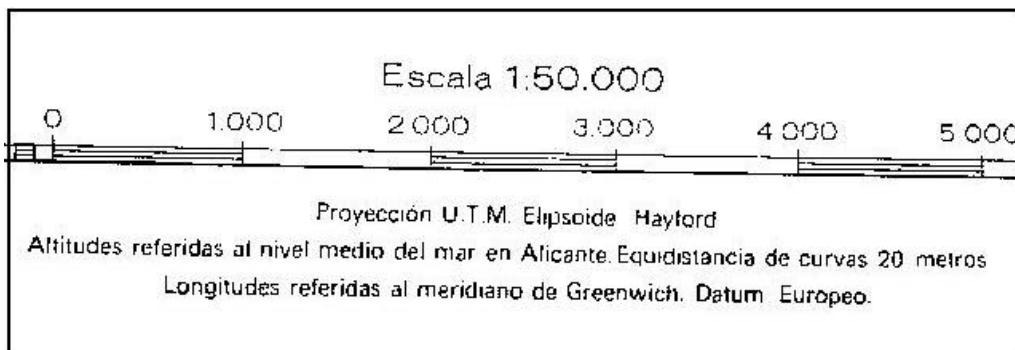
X= 380.130 m		X= 380.126.7 m
Y= 4.630.127 m	corresponde:	Y= 4.629.793.8 m
Huso 30T		Huso 30T
Datum ED50		Datum Pico de las Nieves
	)x= -3.3 m	
	)y= -333.2	

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

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 X	UTM 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:

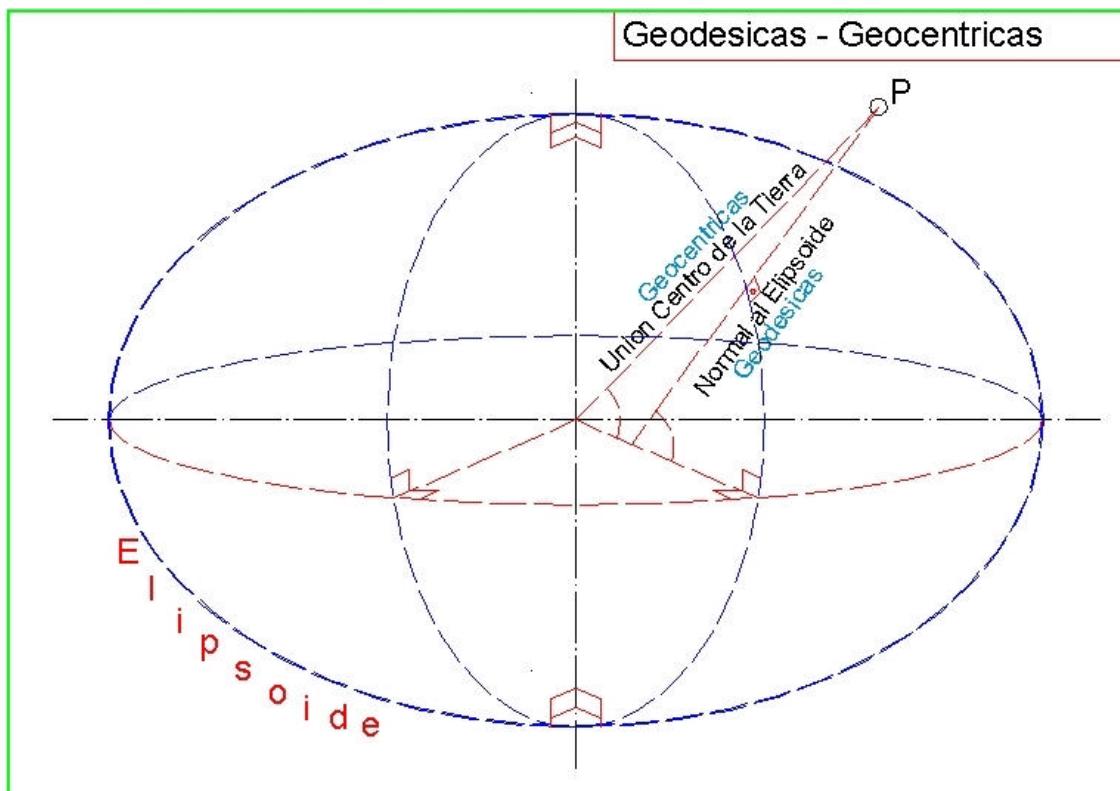


## **7.7 Coordenadas Geodésicas y Coordenadas Geocéntricas**

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 **WSG-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 él no son geodésicas sino geocéntricas, aunque habitualmente se tomen como geodésicas ya que tienen el formato común de las geodésicas.

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

Las coordenadas Geodésicas, generalmente, están referidas a un origen del elipsoide y este puede no coincidir con el resto de 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:

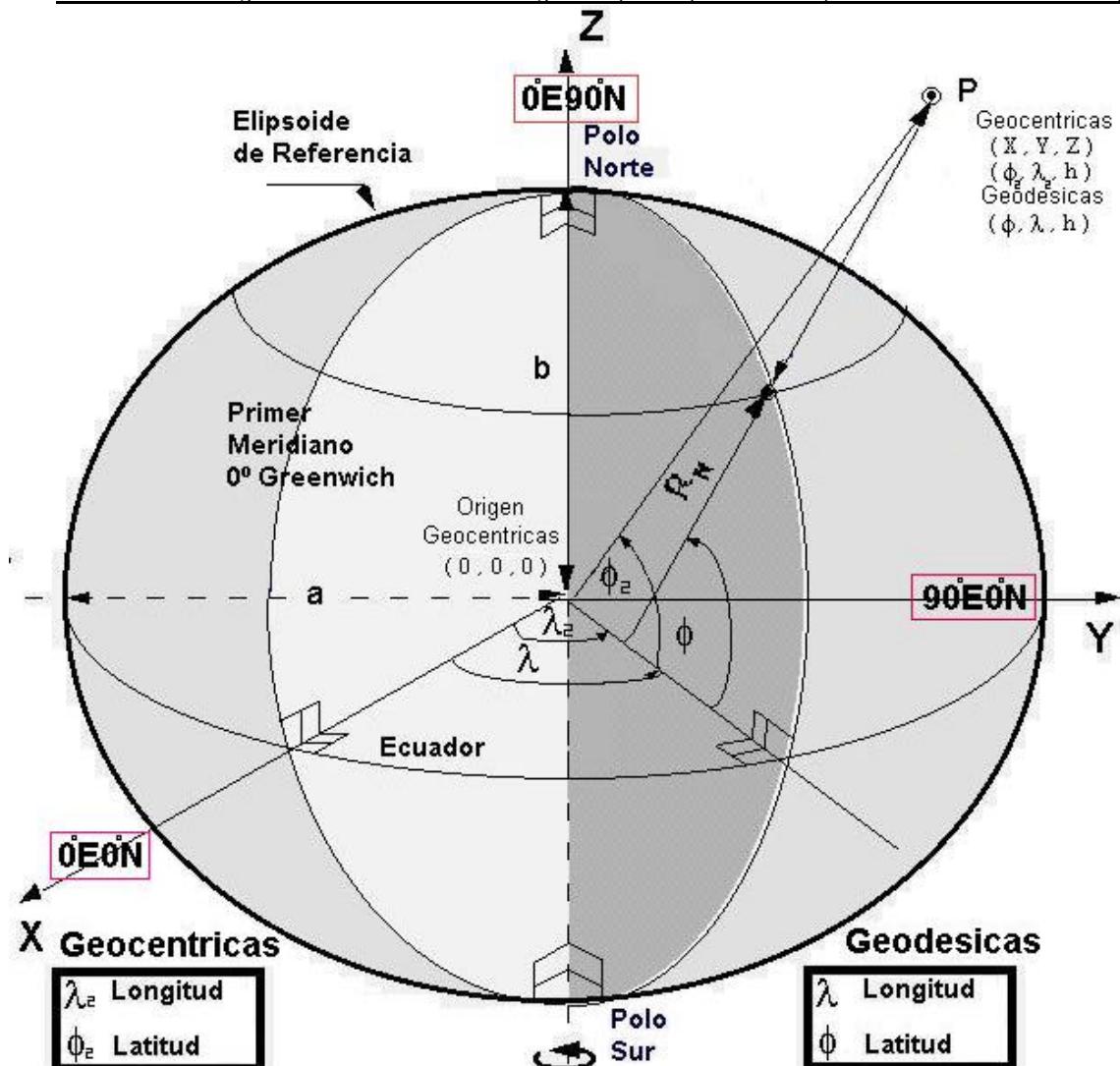
	Latitud			Longitud			Corresponden Geográficas	
	0	'	"	0	'	"	Datum / elipsoide	Long/latitud
Datum / elipsoide	0	'	"	0	'	"	Datum / elipsoide	Long/latitud
Datum Ed50 / internacional	42	10	20 n	5	30	20 w	Datum Wsg-84	42°10'15.77"N 5°30'24.99"W
Datum Wsg-72 / Wsg-72	42	10	20 n	5	30	20 w	Datum Wsg-84	42°10'20.11"N 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-8.4

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**).

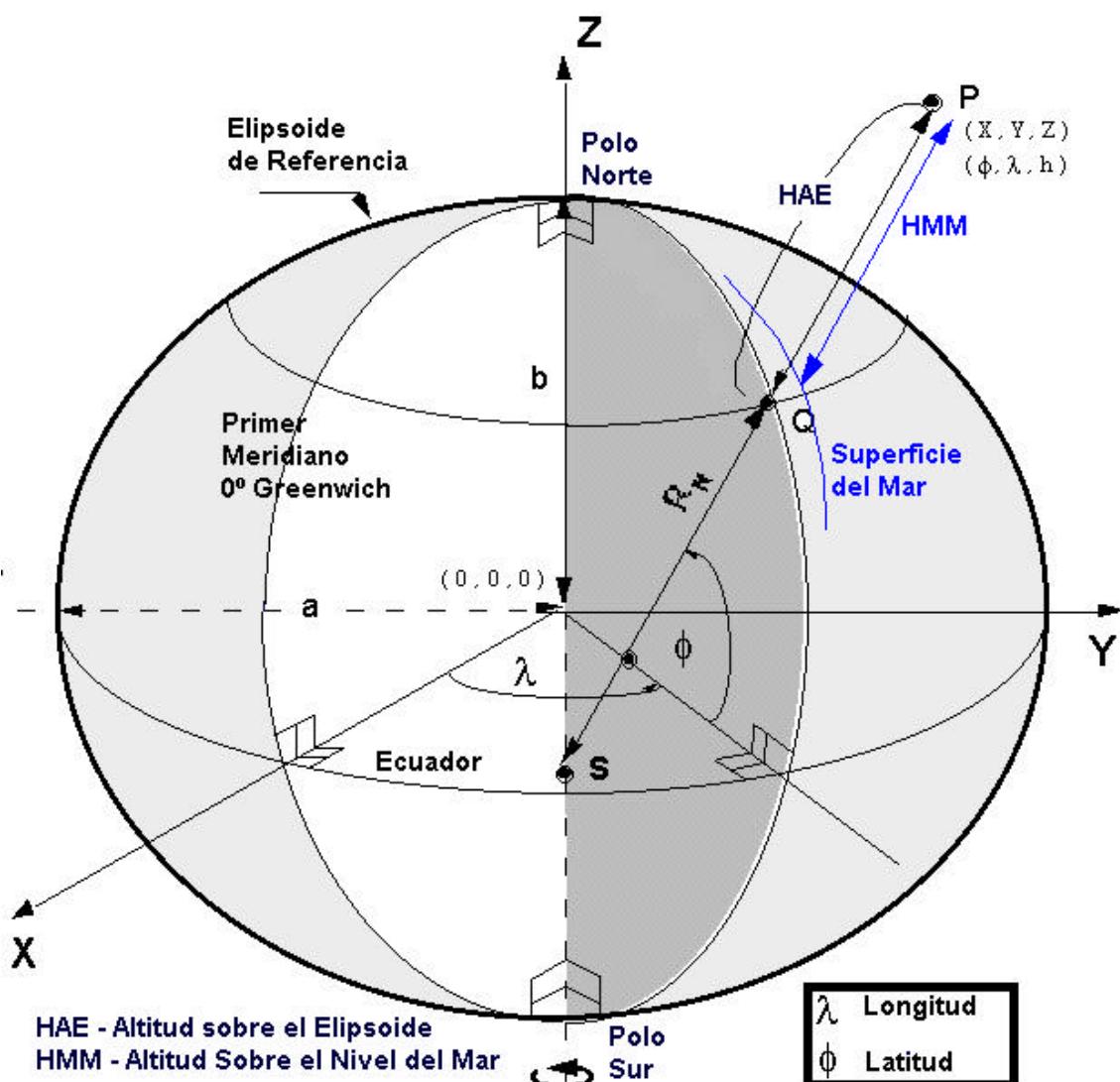
La medición de la “Z” de un punto implica que esta deba de ser referenciada a uno de los sistemas geodésico empleado.

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 Ejercito.

**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, Ellipsoids, Grids and Grid Reference System.

**GPS & Glonass. Descripción y Aplicaciones.** Mª 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 geoide IBERGEO-95. ([www.eosgis.com](http://www.eosgis.com))

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