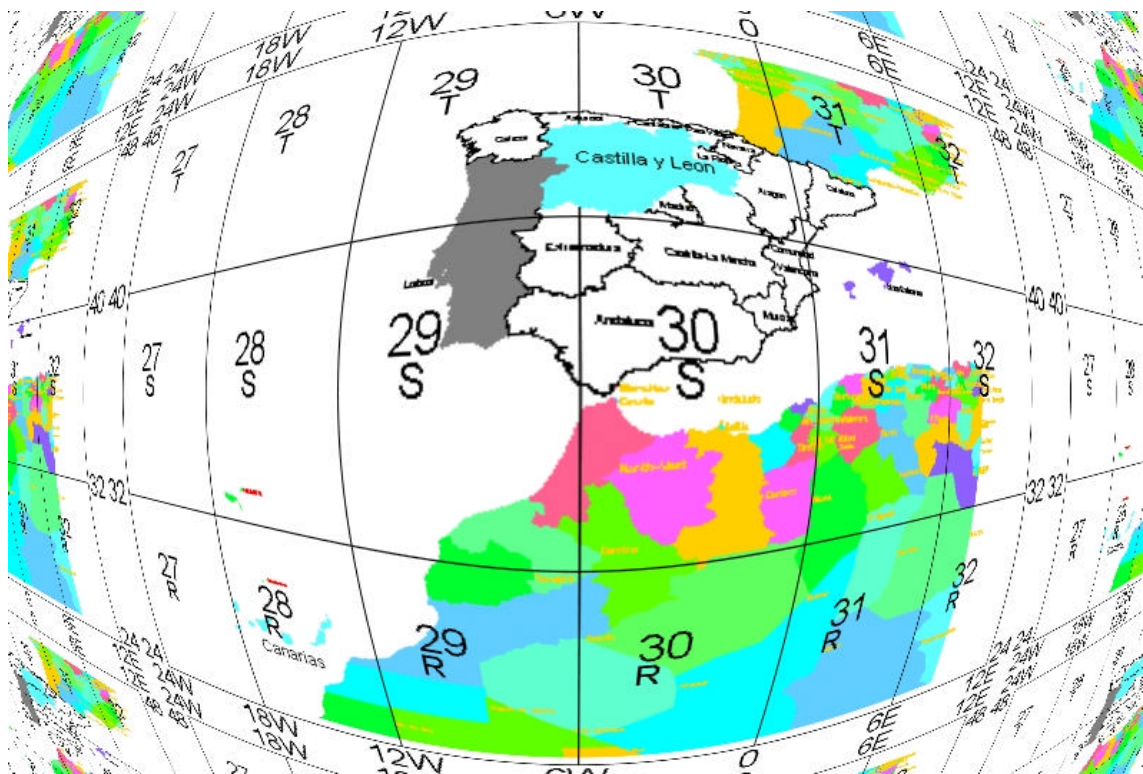


Localizaciones Geográficas.

# 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:

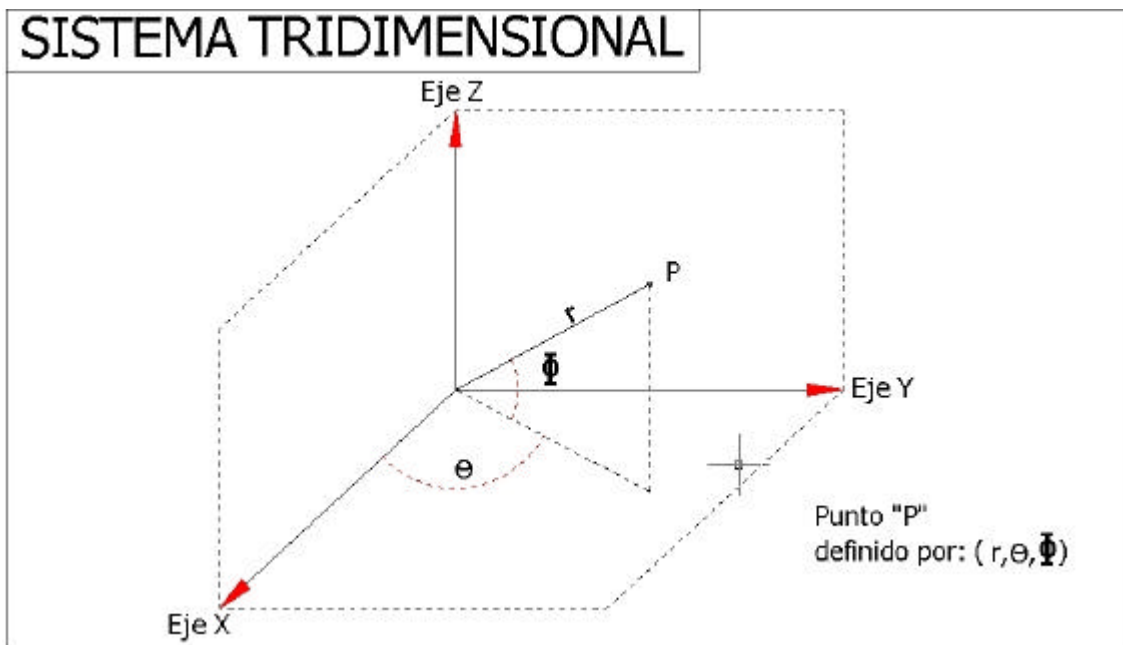
- Que el punto sea único
- Que quede perfectamente identificado el sistema de proyección empleado al localizar el punto.
- Que permita referenciar la coordenada "z" del punto

## 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**

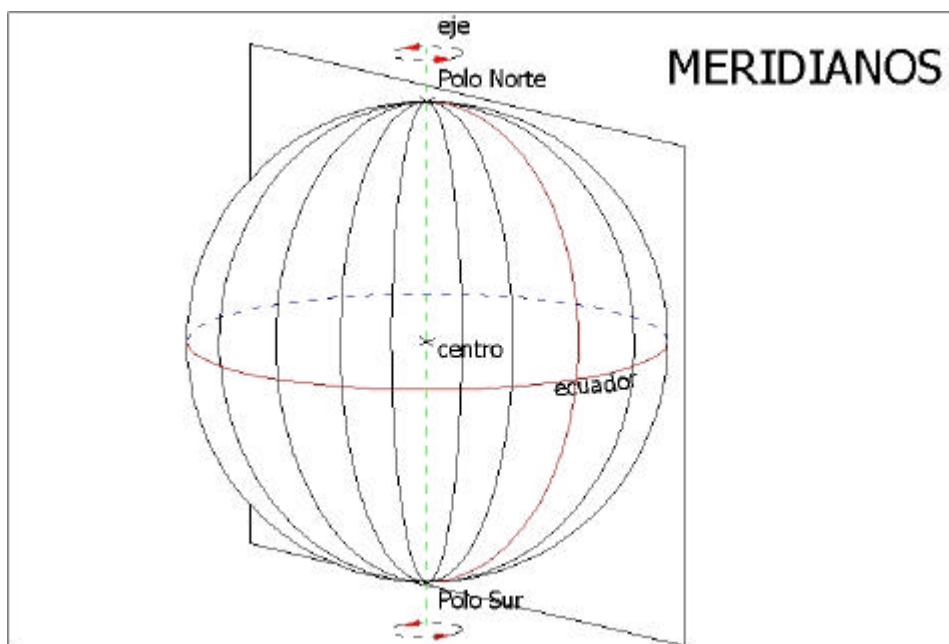
Esta designación supone la creación de un sistema de referencia de tres dimensiones:



- 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.

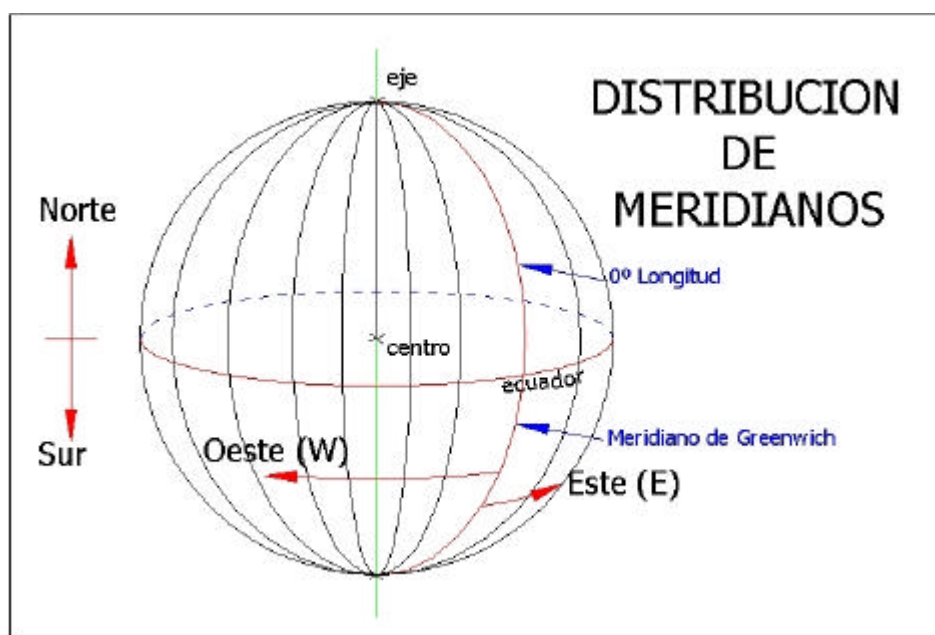
### 2.1.1 MERIDIANOS

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

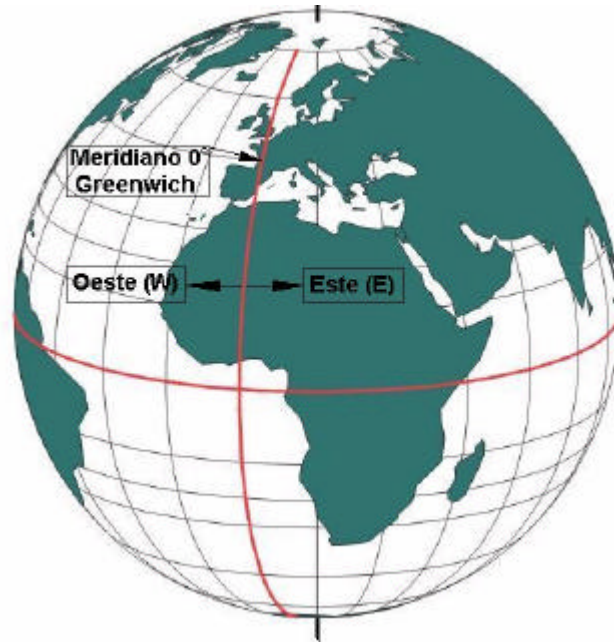


El sistema toma como origen para designar la situación de una posición geográfica un determinado meridiano, denominado **meridiano 0°**, cuyo nombre toma el de una ciudad inglesa por el que pasa; **“GREENWICH”**.

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



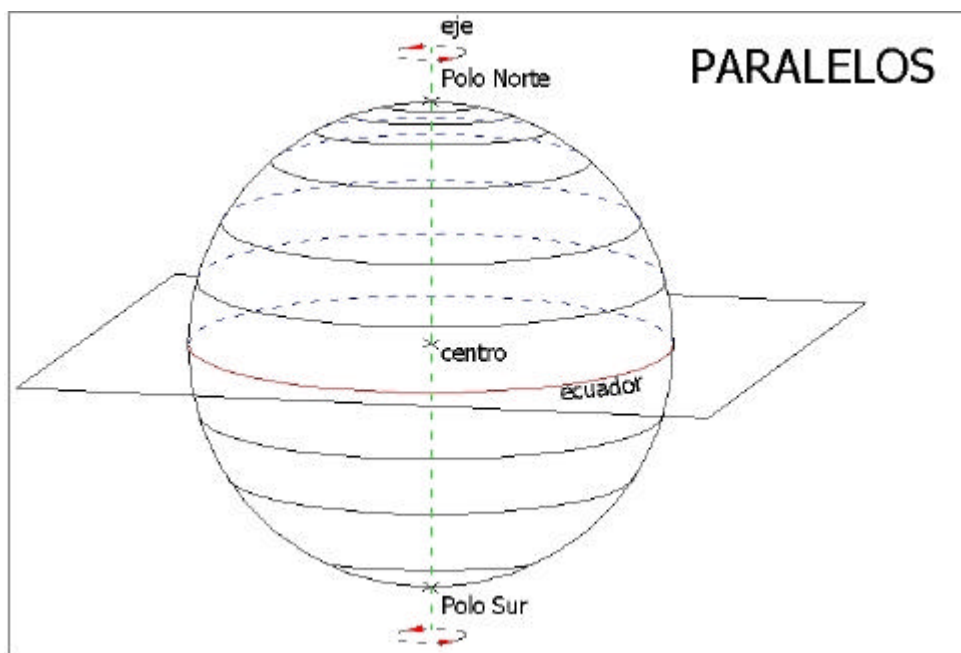
Con la superficie terrestre:



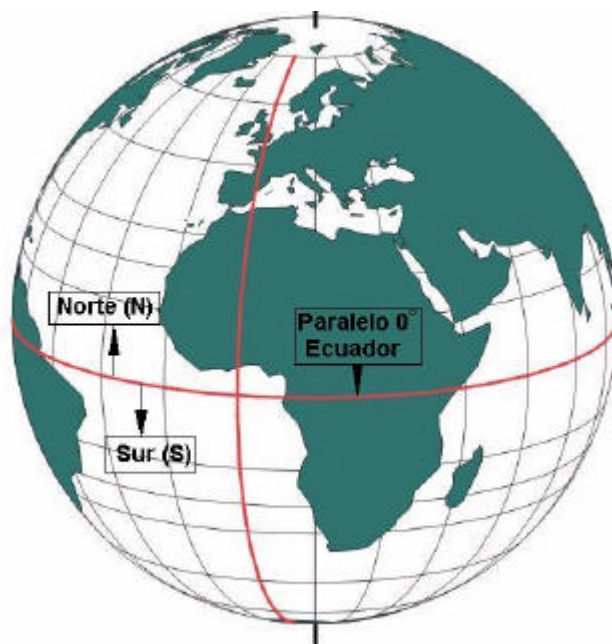


### 2.1.2 PARALELOS

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 geoméricamente 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:

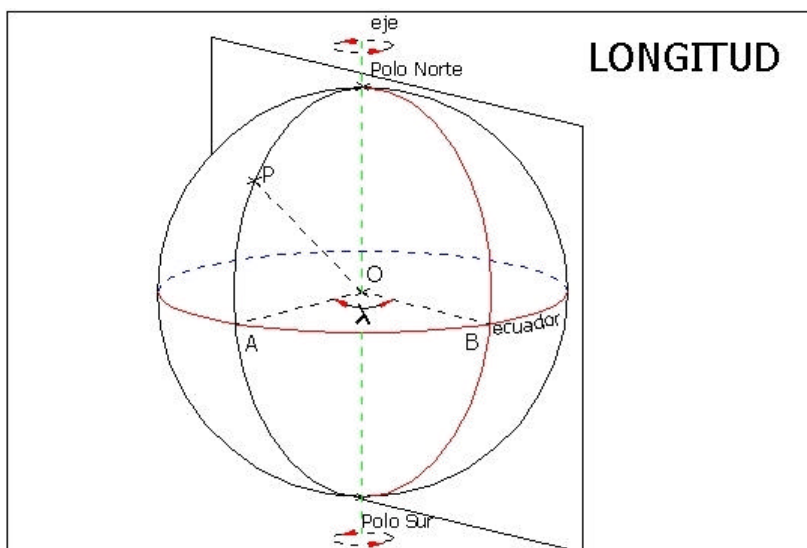


## **2.2 LONGITUD**

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, (**0° 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.

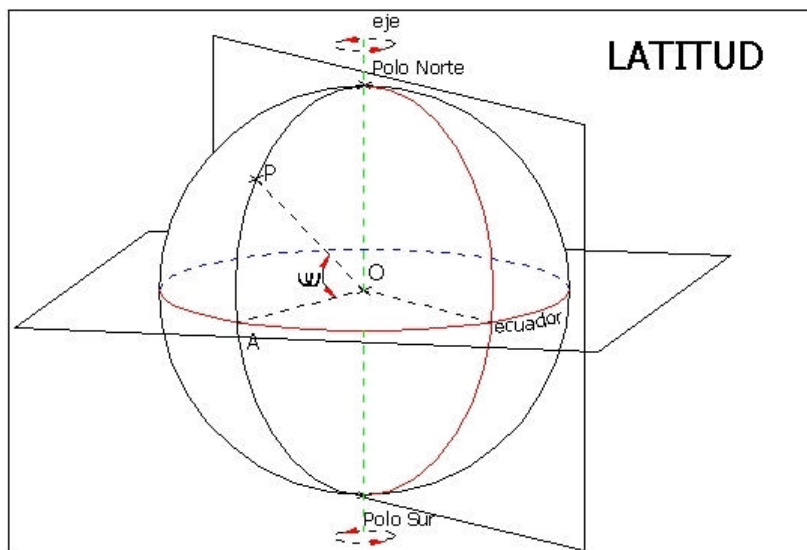
La latitud presenta un mínimo posible de 0° hasta un máximo de 180°, 0°-180°E, 0°-180°W.

## **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.

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

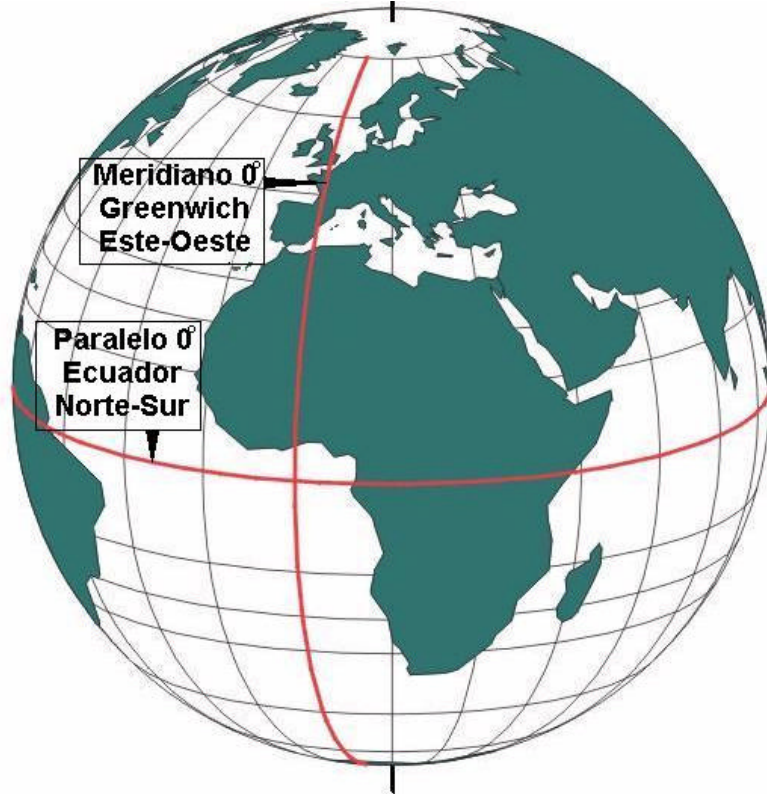


La latitud máxima y mínima va desde los  $0^\circ$  hasta los  $90^\circ$ ,  $0^\circ$ - $90^\circ$ N,  $0^\circ$ - $90^\circ$ S.

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

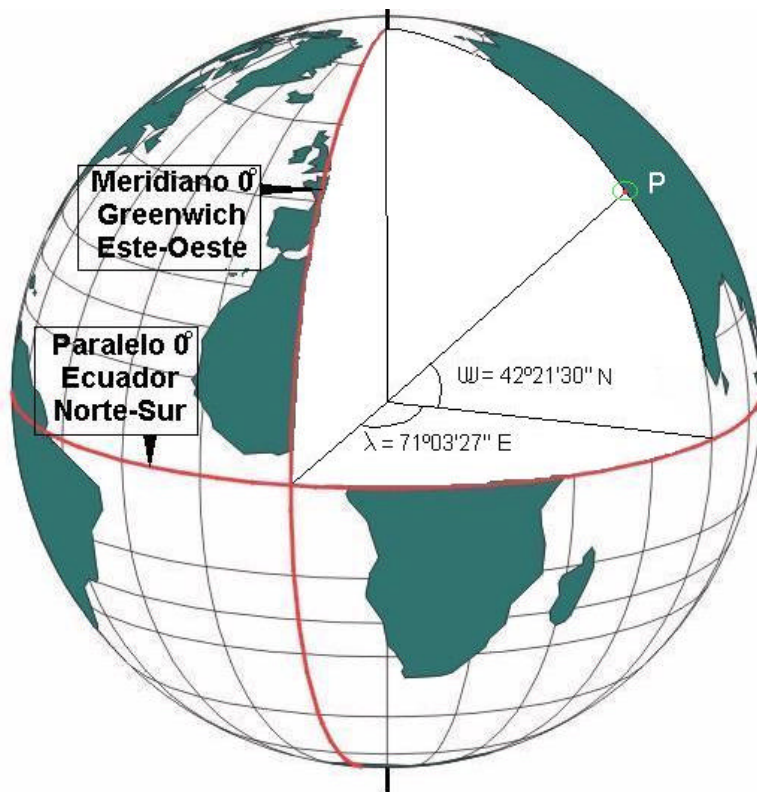
(nota datos expresados en el sistema de medición angular sexagésimal, ya que es el sistema empleado para la medición de las coordenadas geográficas)

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

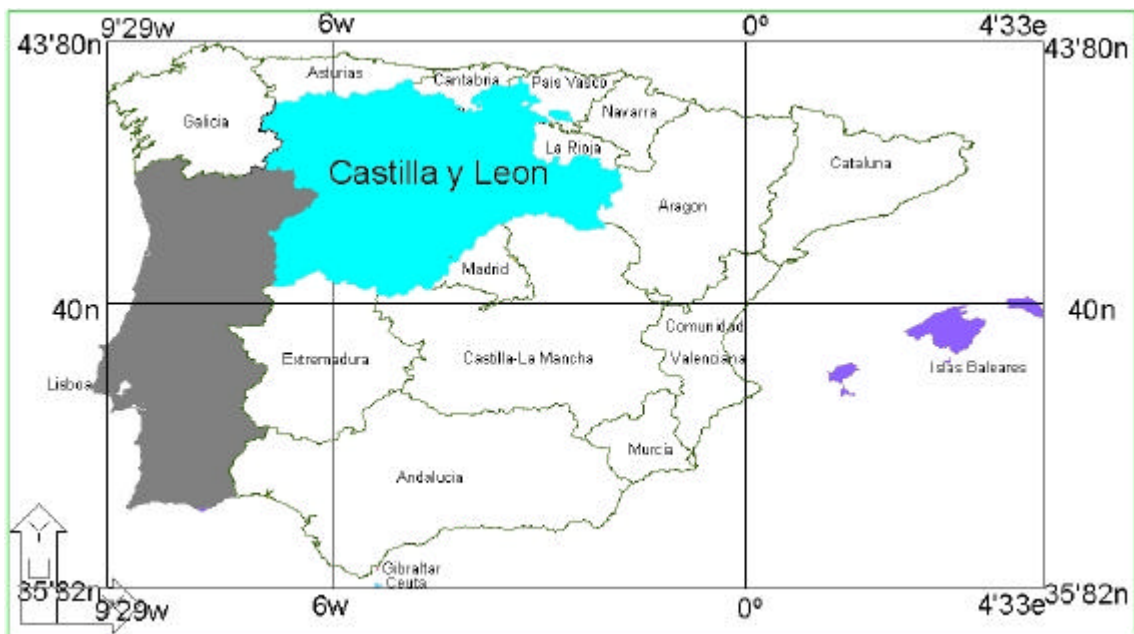
Es conveniente especificar cual es el meridiano de origen, ya que antes era común que cada país tuviese su "meridiano 0°". En España antiguamente se empleaba el "**Meridiano de Madrid**" como origen longitudes, dicho meridiano es el que pasa por el Observatorio Astronómico de Madrid;



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 esta en desuso, tendiéndose al sistema internacional con el meridiano recomendado. (Greenwich 0°)

## 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>	35'82° N	43'80° N
<b>Longitud</b>	9'29° W	4'33° W

Longitudes referidas al meridiano de Greenwich

Para el archipiélago canario:

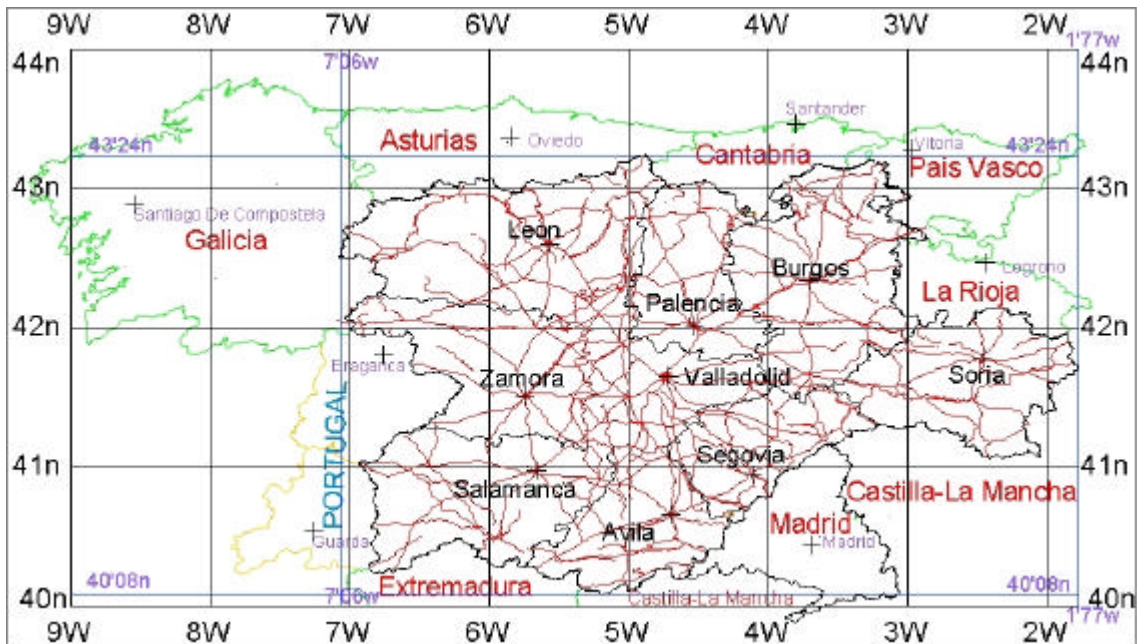


	Mínima	Máxima
<b>Latitud</b>	27'60° N	29'42° N
<b>Longitud</b>	13'40° W	18'2° W

Longitudes referidas al meridiano de Greenwich



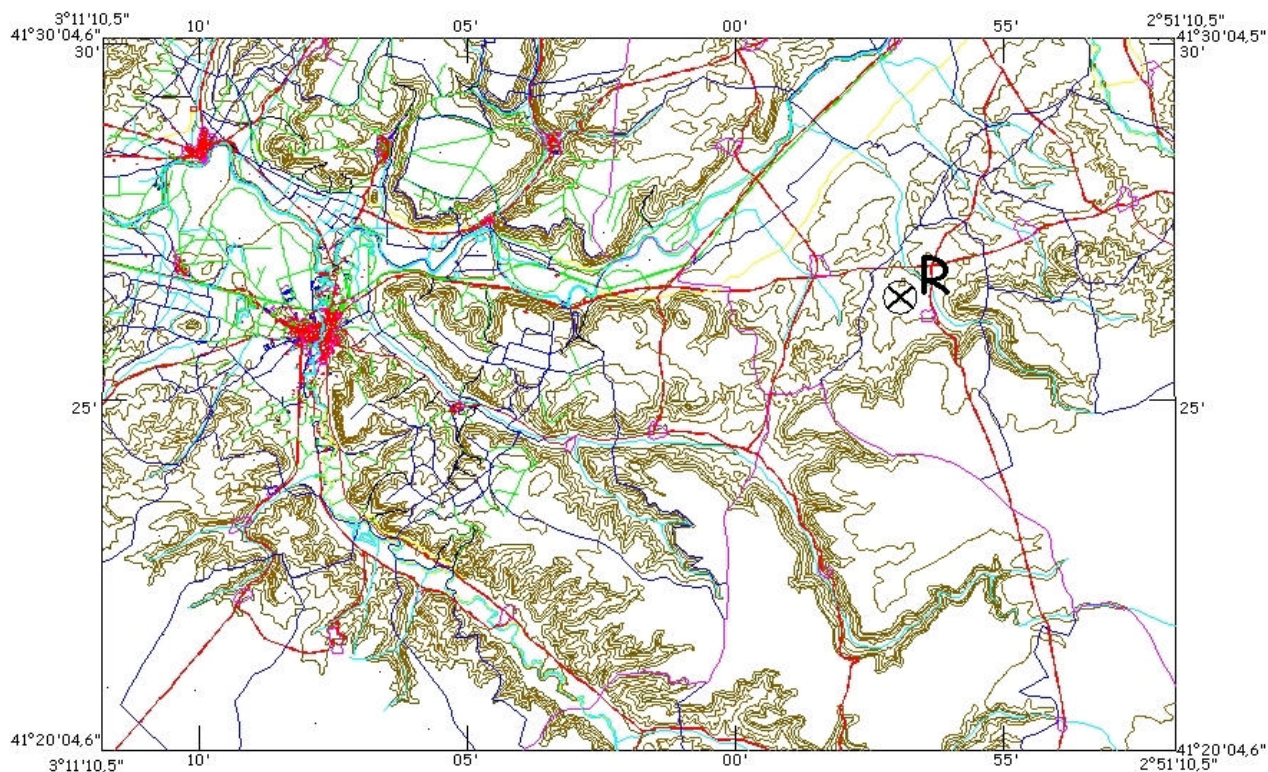
## 2.6 COORDENADAS GEOGRAFICAS PARA CASTILLA Y LEON



	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		

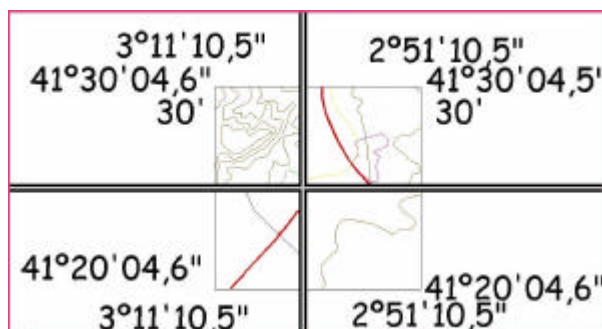
## **2.7 DESIGNACION DE COORDENADAS GEOGRAFICAS SOBRE LA CARTOGRAFIA 1:50.000**

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).

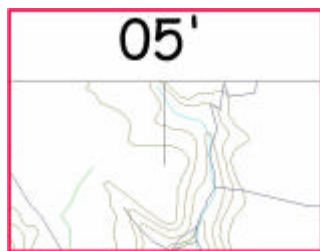
Sobre esta cartografía, las coordenadas geográficas están situadas en las cuatro esquinas del mapa:



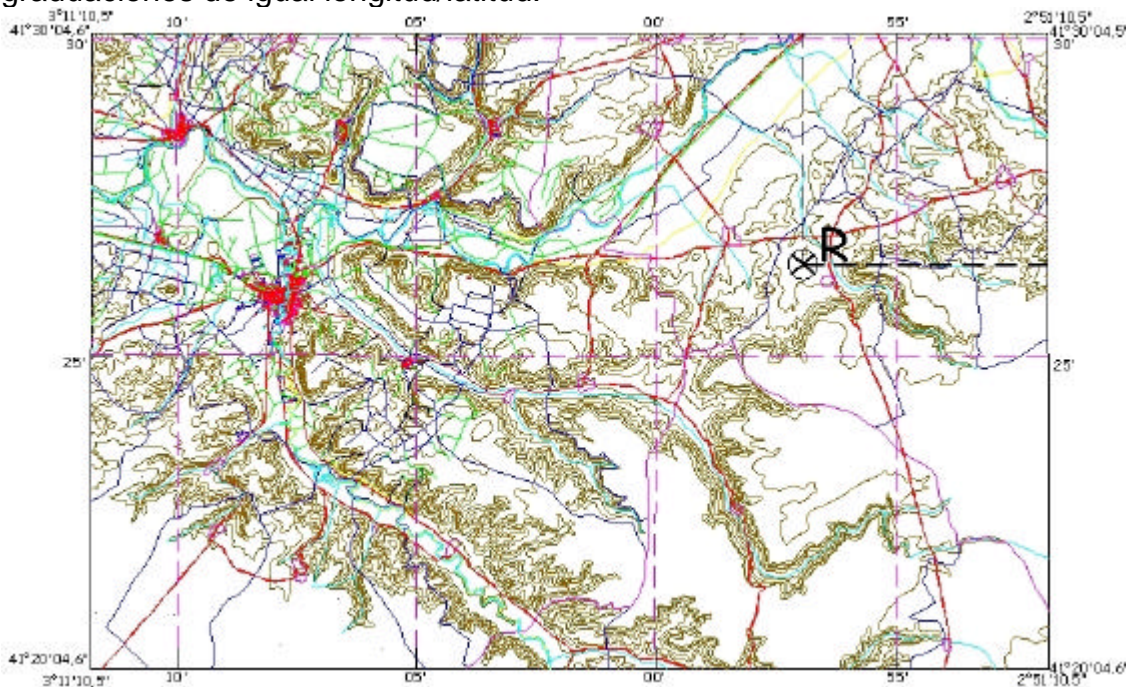
Nótese que las dos líneas exteriores en posición vertical marcan la dirección de los meridianos, así como las horizontales marcan la dirección de los paralelos.

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

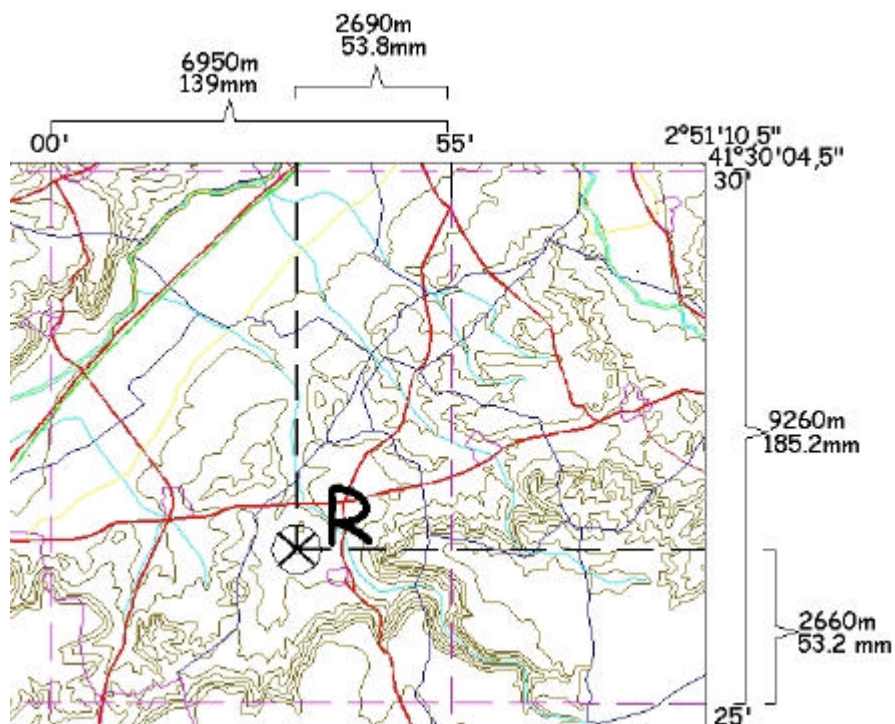




Para designar la coordenada geográfica del punto "K", unimos las graduaciones de igual longitud/latitud:



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:

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

$$300'' \Rightarrow 6950 \text{ m}$$

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

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

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

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:

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

$$300'' \Rightarrow 9260 \text{ m}$$

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

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

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

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°26'26'' N
02°56'56'' Oeste de 0° Greenwich $\Rightarrow$ 02°56'56'' 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:

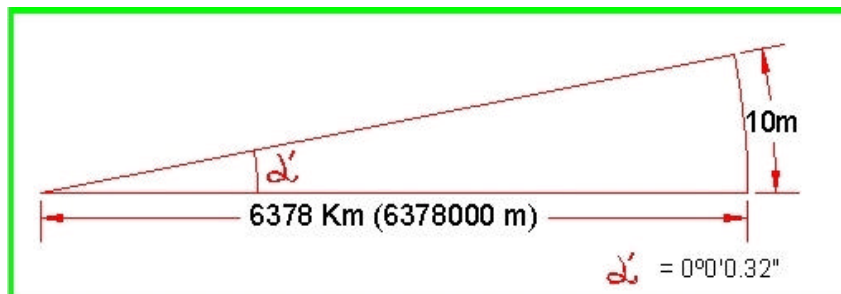
Denominador de la escala (**D**) = 50.000

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

Máxima apreciación (**Ma**) 1:50.000;

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

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°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°55'00"
Diferencia Hasta la marca en el Mapa	00° 1' 56.12"
Longitud Total Calculada	02°56'56.12"

**Latitud:**

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

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

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

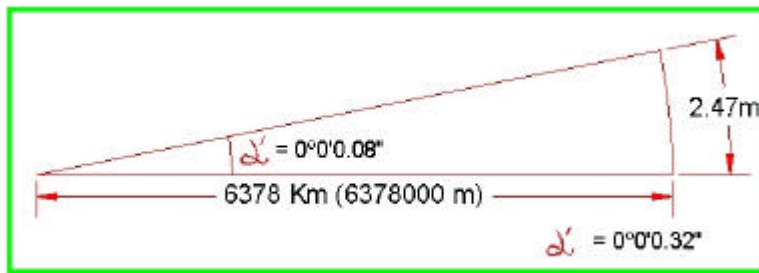
$$x = 2660 * 0.0833333333 \text{ (deg)} / 9260 \text{ m} = 0.023938084 \text{ (deg)}$$

$$0.023938084 \text{ (deg)} \Rightarrow 0^{\circ} 1' 26.18''$$

Por lo que la Latitud calculada es:

Latitud en la marca en el Mapa	41°25'00"
Diferencia Hasta la marca en el Mapa	00°01'26.18"
Latitud Total Calculada	41°26'26.18"

Este ángulo tal y como esta designado esta dado con una resolución de un arco meridiano de 0°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

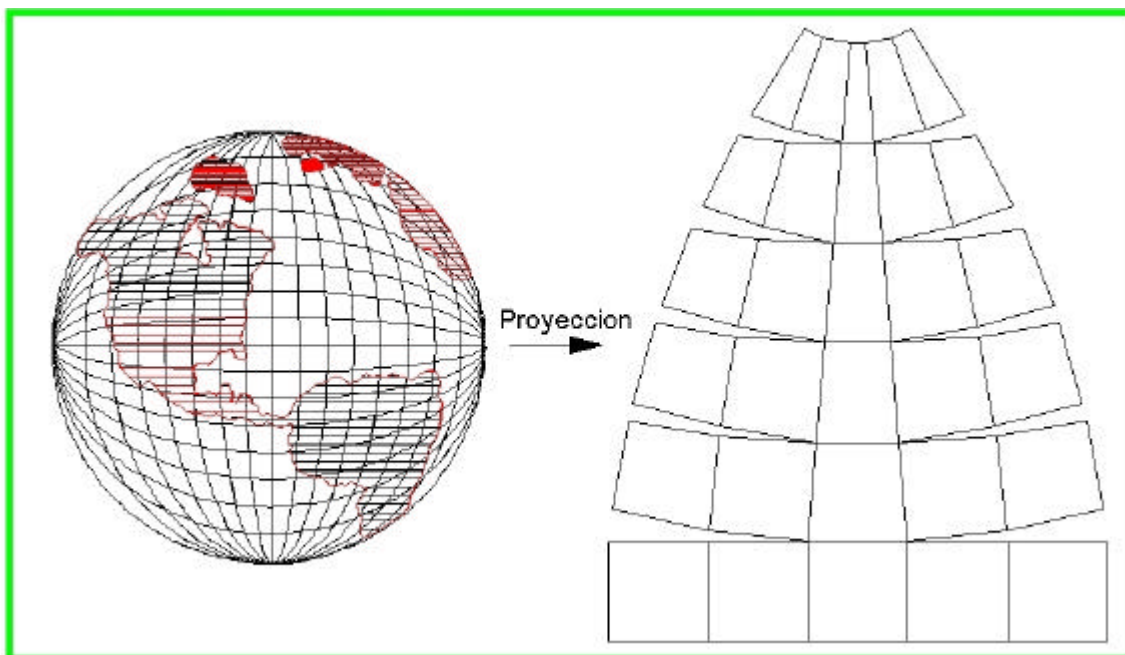


**$41^{\circ}26'26''$  N**  
 **$02^{\circ}56'56''$  W**

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

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

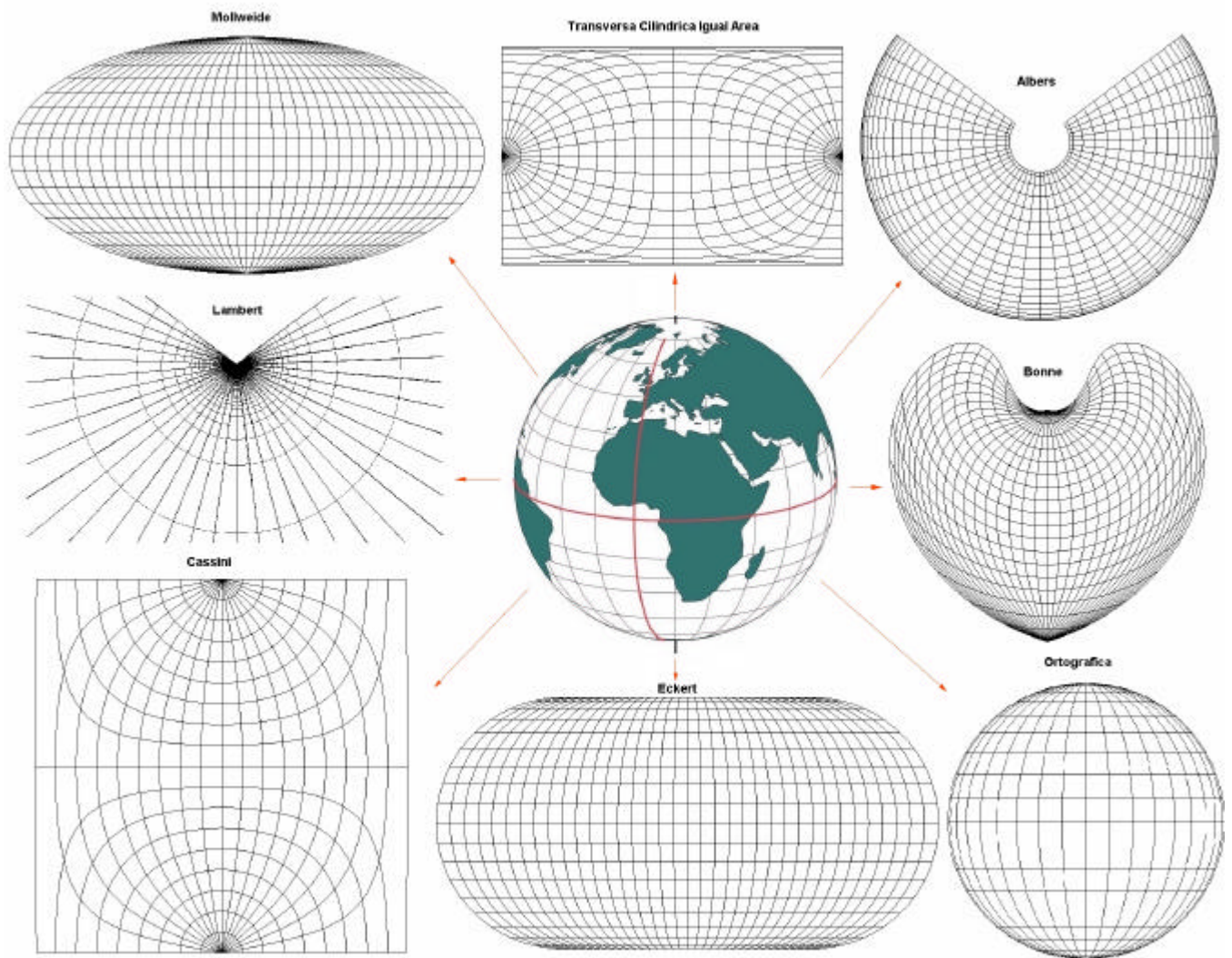
La representación cartográfica del globo terrestre, ya sea considerado esté como una esfera o una elipsoide, supone un problema, ya que no existe modo alguno de representar toda la superficie desarrollada sin deformarla e incluso de llegar a representarla fielmente, ya que la superficie de una esfera 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:

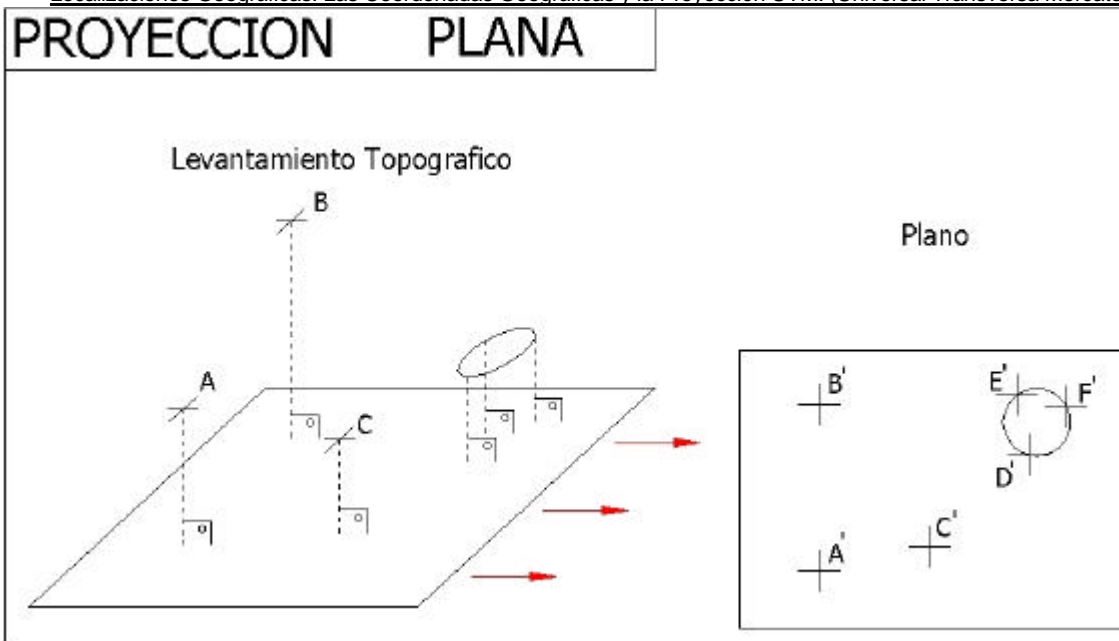




Se recurre a un sistema de proyección cuando la superficie que estamos considerando es tan grande que tiene influencia la esfericidad terrestre en la representación cartográfica. La parte de la tierra entonces representada en papel u otro soporte se denomina “**mapa**”. Esta representación de la tierra 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:



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 geoméricamente 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 “ $1+\phi$ ” en los límites del campo de proyección. Esta alteración “ $\phi$ ” 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 “ $1-(2/\phi)$ ”. 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 Afilácticas** 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.

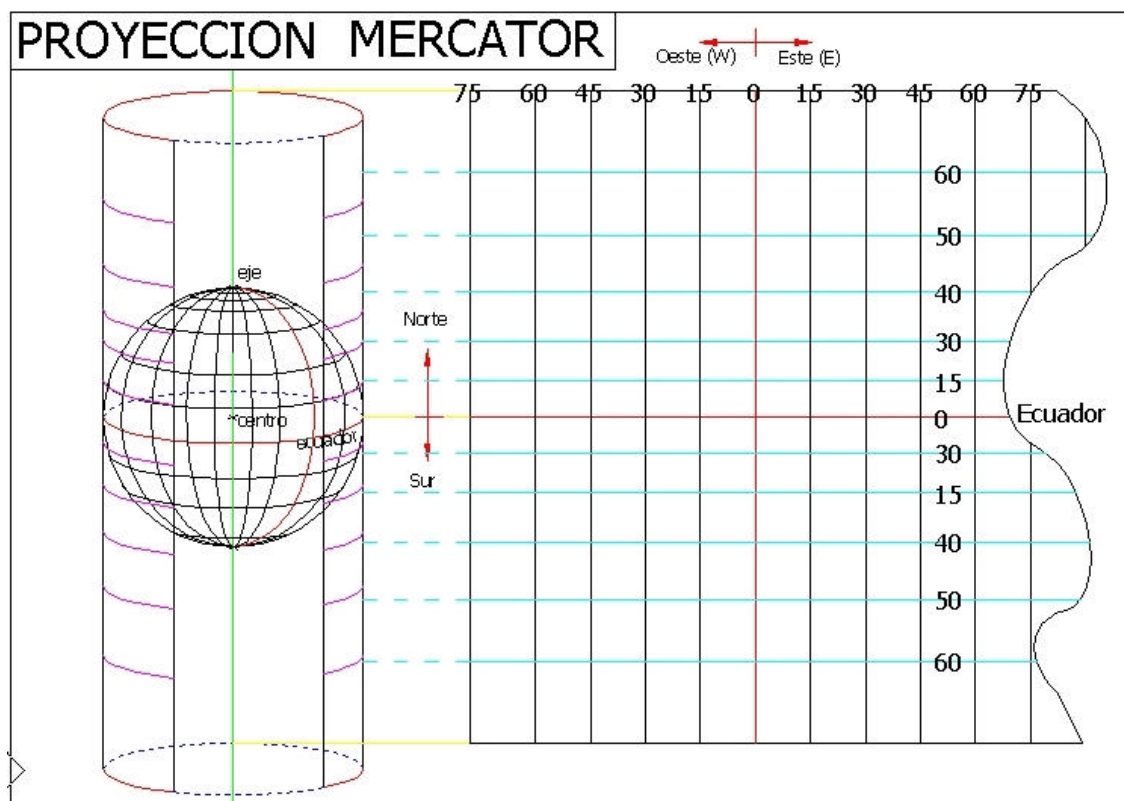
### **3.3 LA PROYECCION MERCATOR – MERCATOR TRANSVERSAL**

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.

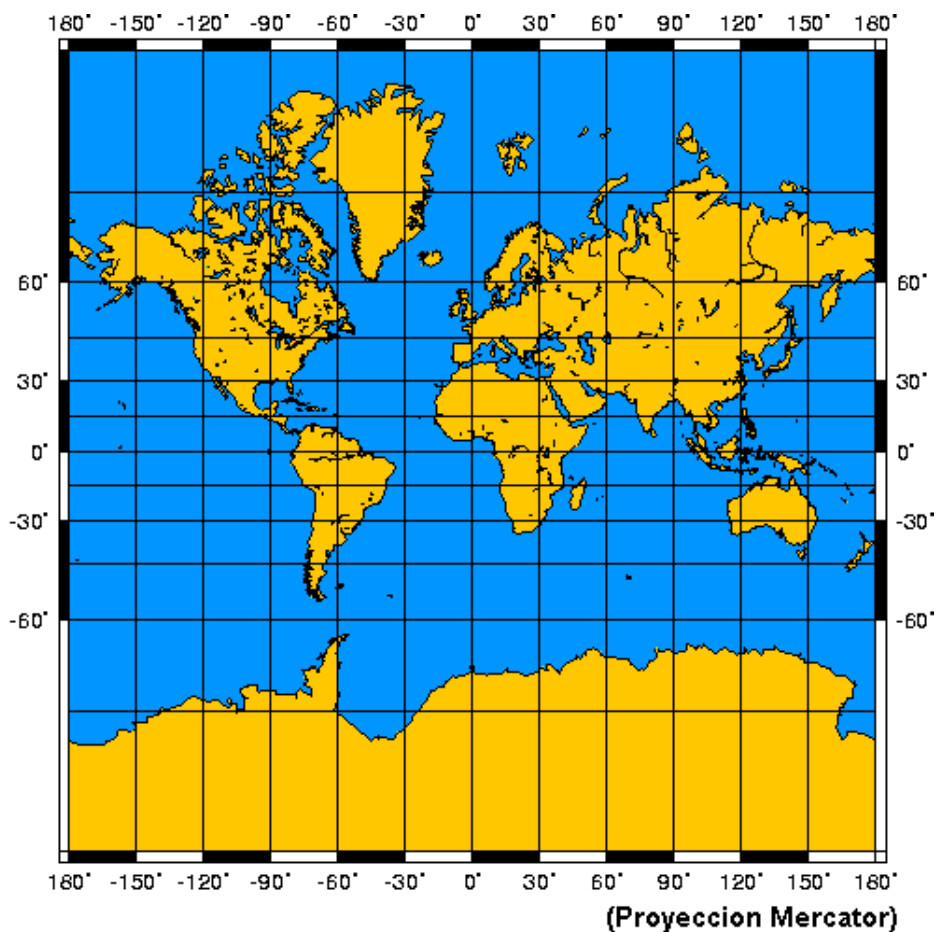
Otra de las formas de clasificar a las proyecciones en función de la figura geométrica empleada al proyectar. La proyección **UTM** esta dentro de las llamadas proyecciones cilíndricas, por emplear un cilindro situado en una determinada posición espacial para proyectar las situaciones geográficas.

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:

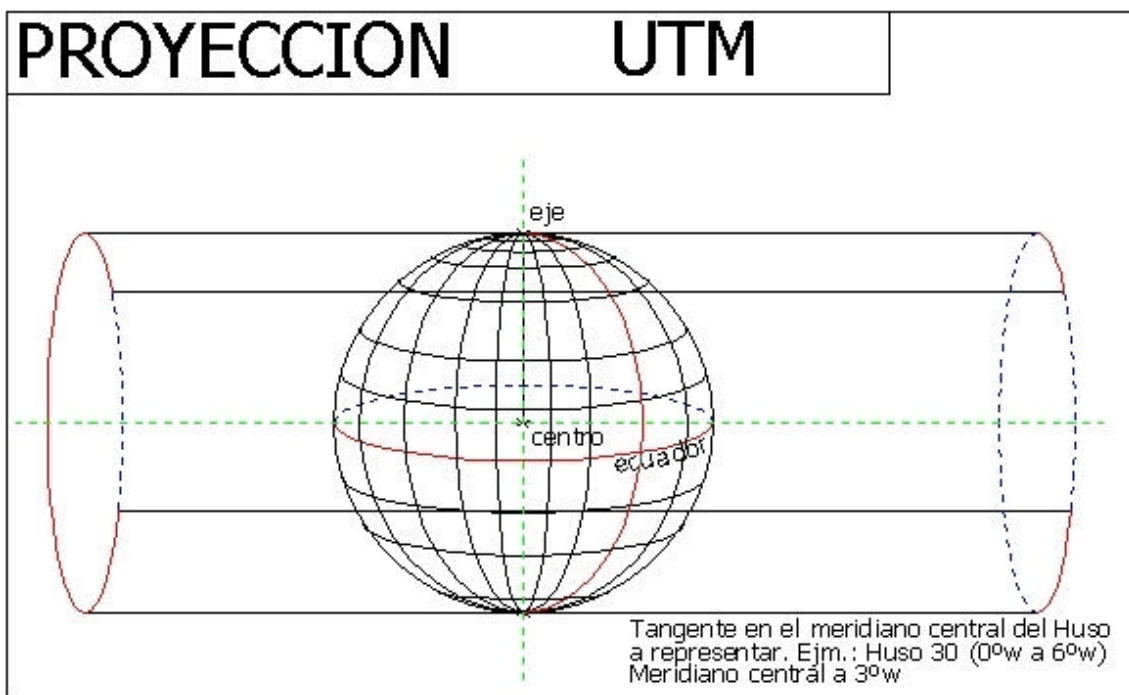


La red creada hace que tanto meridianos como paralelos formen una cuadrícula oblicua, “grid” o rejilla, de manera que una recta oblicua situada entre dos paralelos forma un ángulo constante con los meridianos.

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:



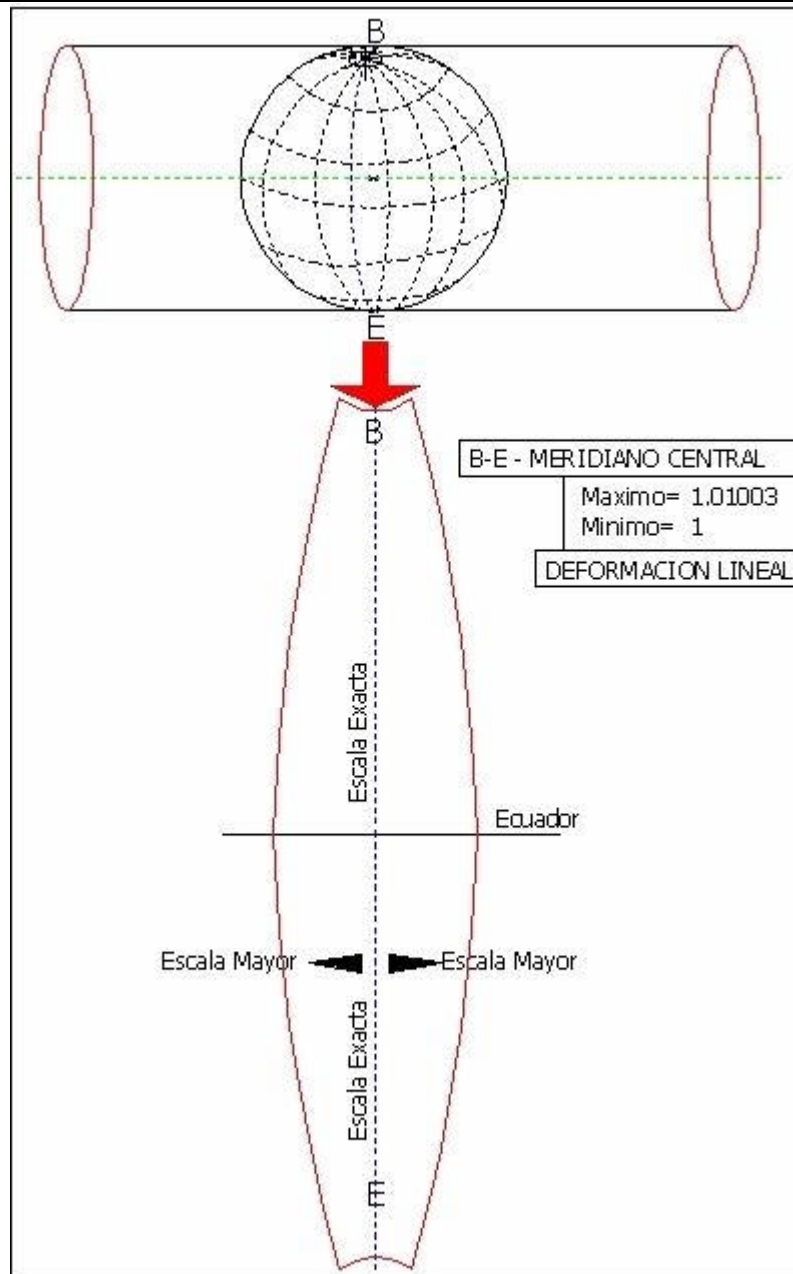
Se define un **huso** como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos. Cada huso puede contener 3°, 6° u 8°. El Sistema **UTM** emplea Husos de 6° de Longitud.

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, ....

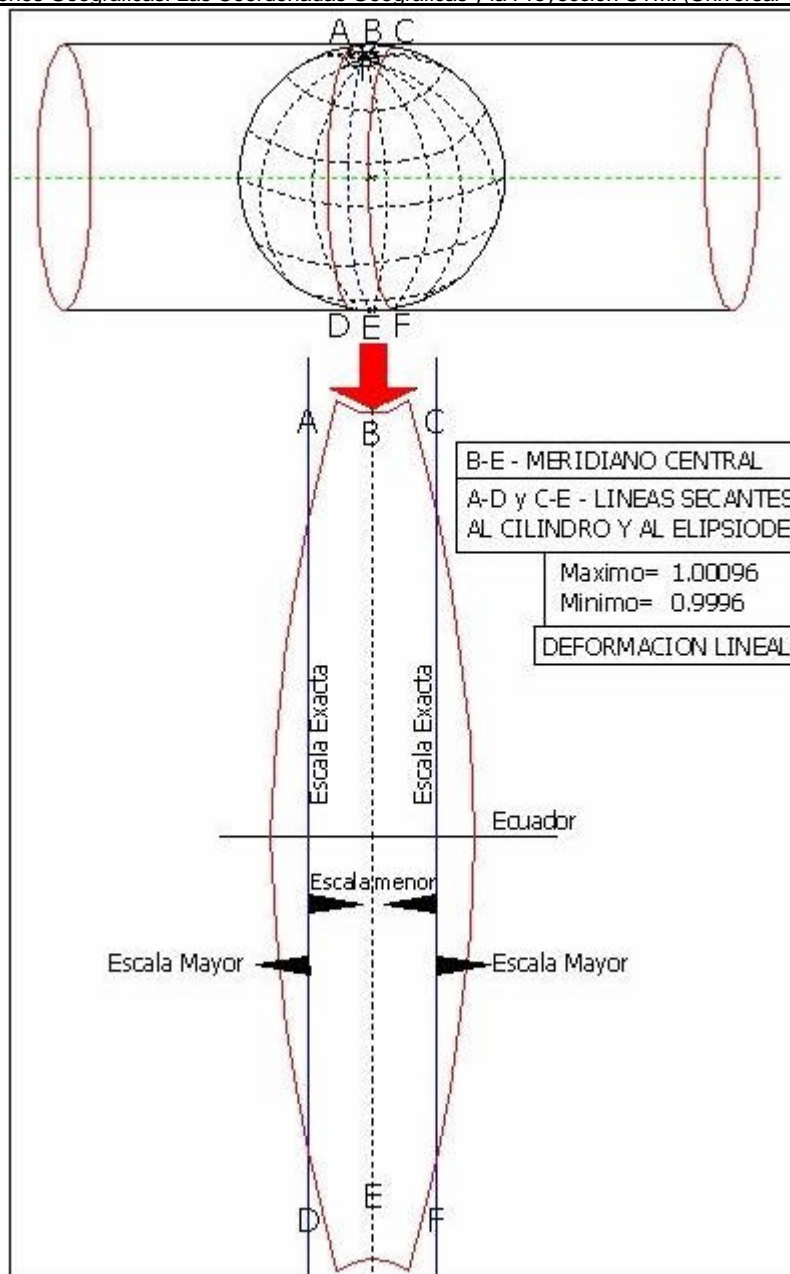
Esta red creada, ("**grid**"), se forma huso a huso, mediante el empleo **de un cilindro distinto para generar cada uno de los husos**, siendo cada uno de los cilindros empleados tangente al meridiano central de cada huso, cuya longitud es de 3°, o múltiplo de esta cantidad con 6° de separación.

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%):



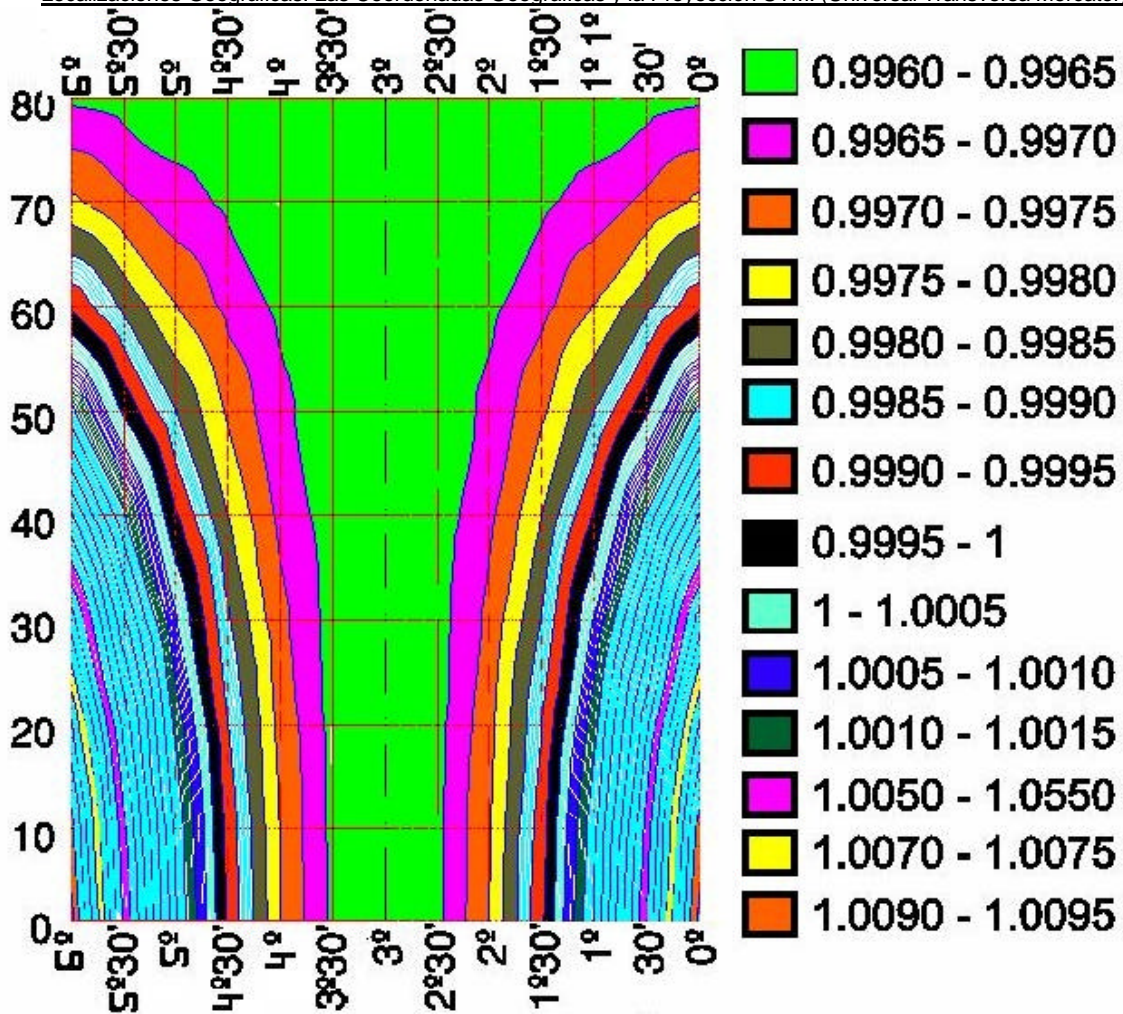
Para evitar que la distorsión de las magnitudes lineales aumente conforme se aumenta la distancia al meridiano central se aplica a la un factor  $K_c$  a las distancias  $K_c=0.9996$ , de modo que la posición del cilindro de proyección sea secante al elipsoide, creándose dos líneas en las que el modulo 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° (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° se encuentra orientado en rumbo 90°-180°, dirección Este (e) y Oeste (w).

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



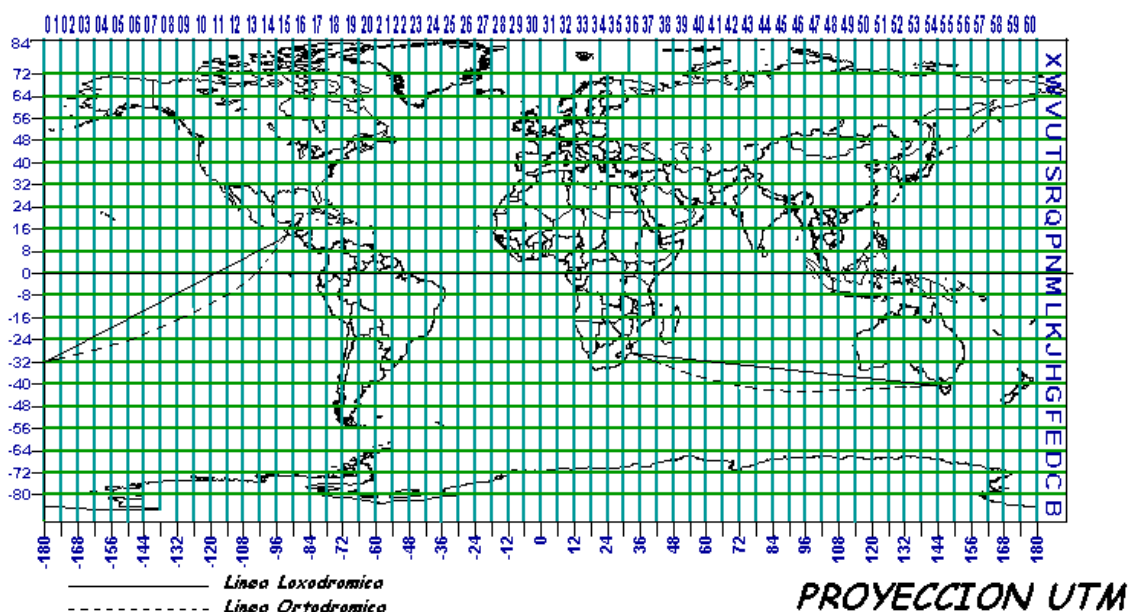
( Huso representado 30 norte)

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



### 3.3.A Líneas Loxodrómicas y Ortodrómicas

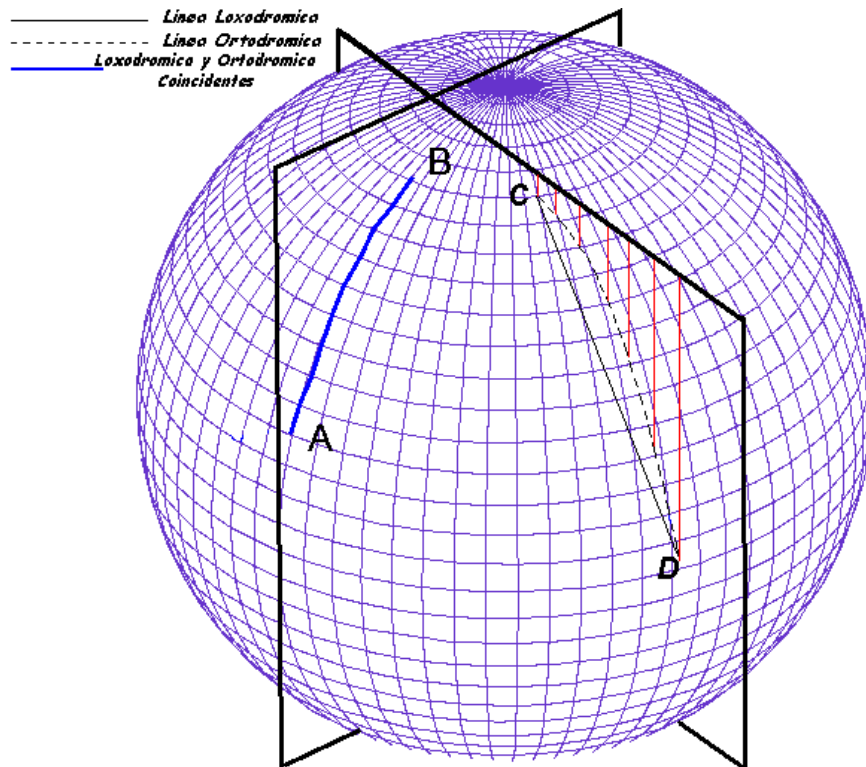
Curiosamente un barco que navegue siguiendo este rumbo constante, fácil de conservar en la navegación marina, describirá un recta llamada **Loxodrómica**, la cual no será el camino mas corto entre los dos puntos a recorrer. A la línea de menor recorrido entre los dos puntos se la denomina **Ortodrómica**.



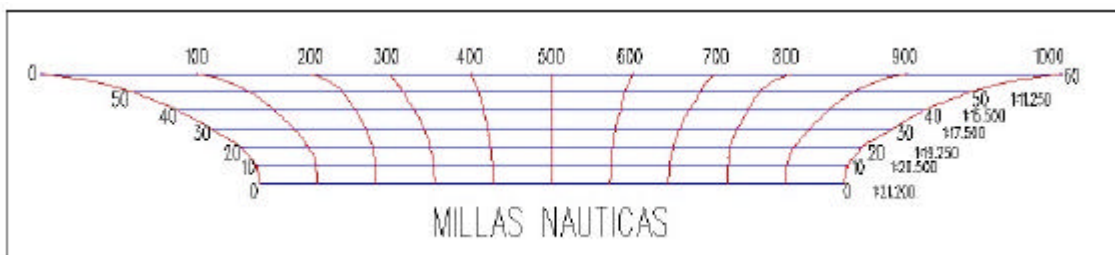
Esta diferencia entre el recorrido Loxodrómico y el recorrido Ortodrómico es más acusado en zonas próximas a los polos, por encima de los 80° de Latitud, por lo que en estas zonas se recurre a otro tipo de proyecciones para su empleo en las cartas marinas.

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.

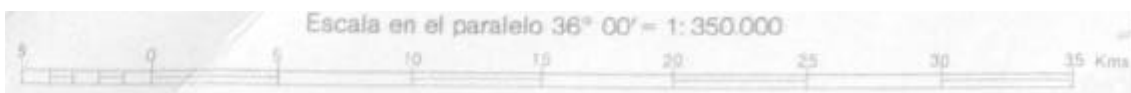




La medición de las distancias es por tanto distinta en función de la latitud donde se encuentre, por ello se adicionan a las cartas de navegación una escala gráfica, que será utilizada dependiendo de la latitud se le atribuirá una escala distinta del tipo:



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



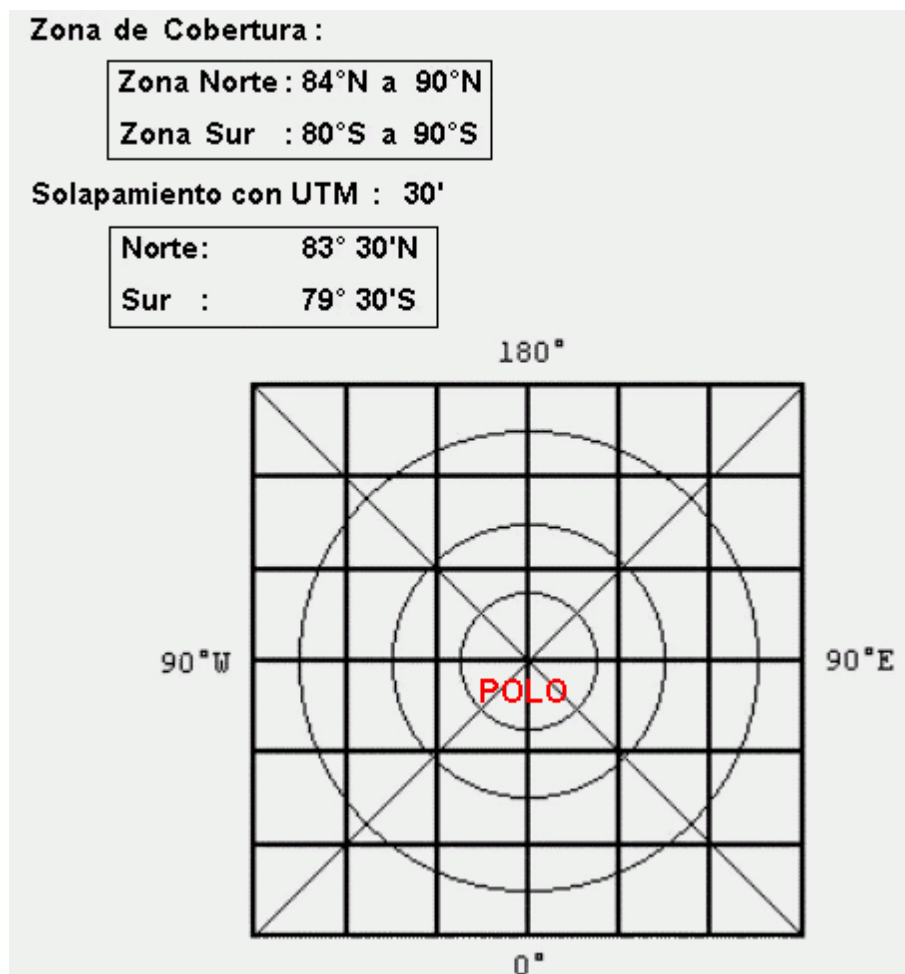
No siendo extrapolable esta escala a la totalidad del mapa.

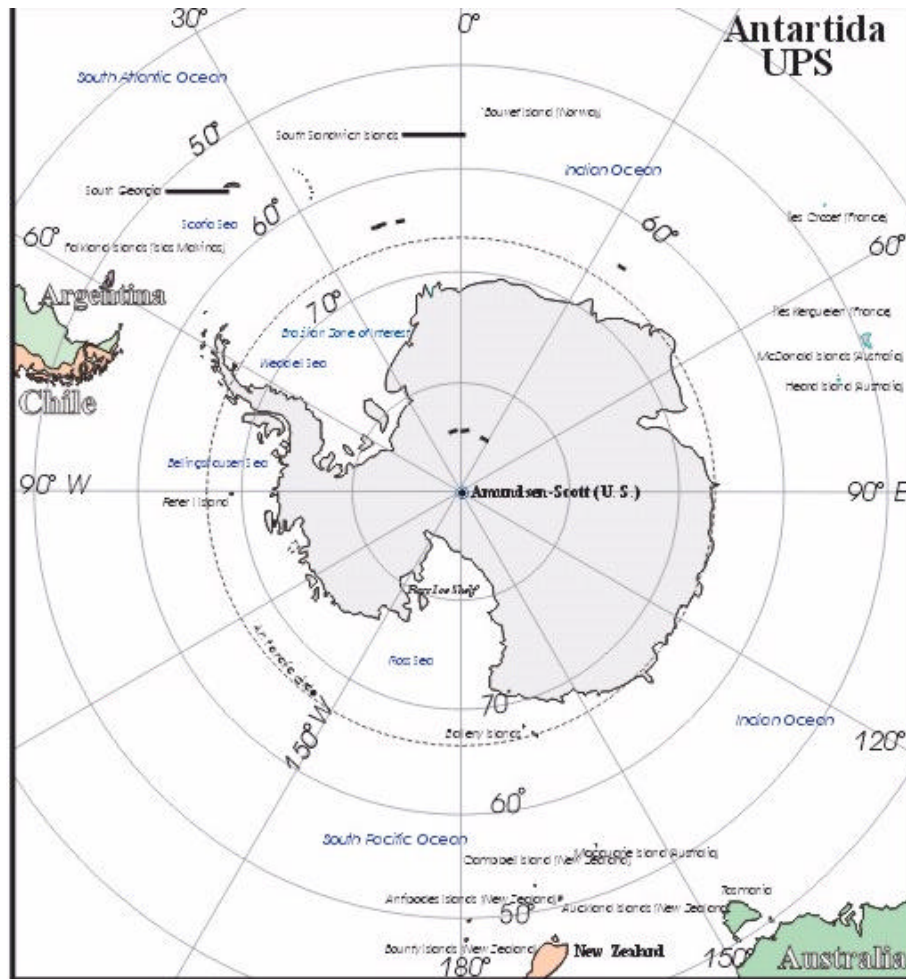
### **3.3.B Ventajas del Sistema UTM**

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 80ª 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)**;

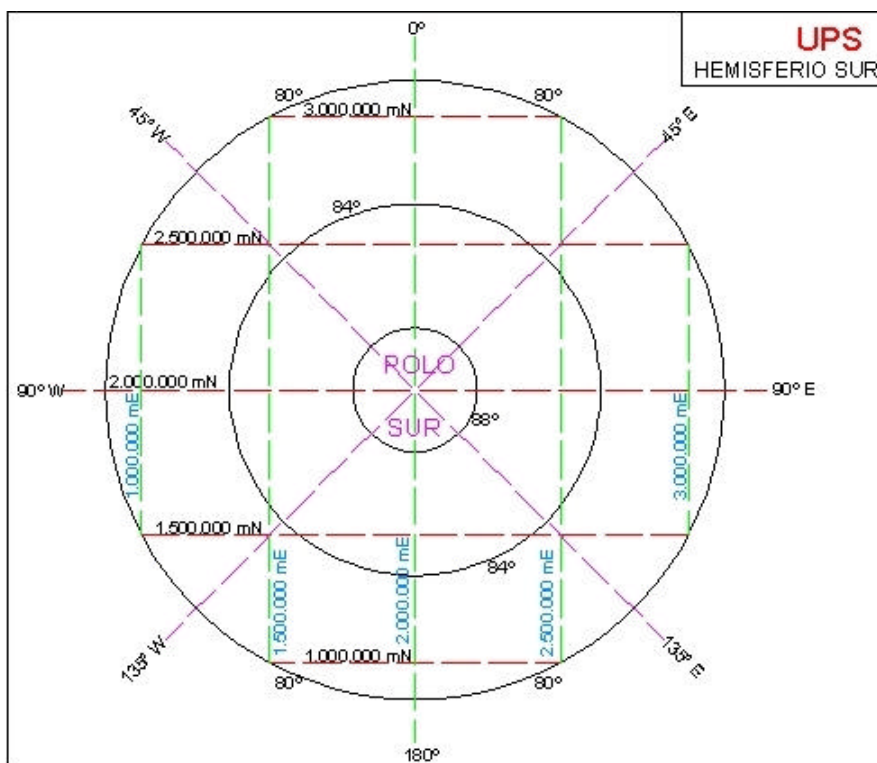
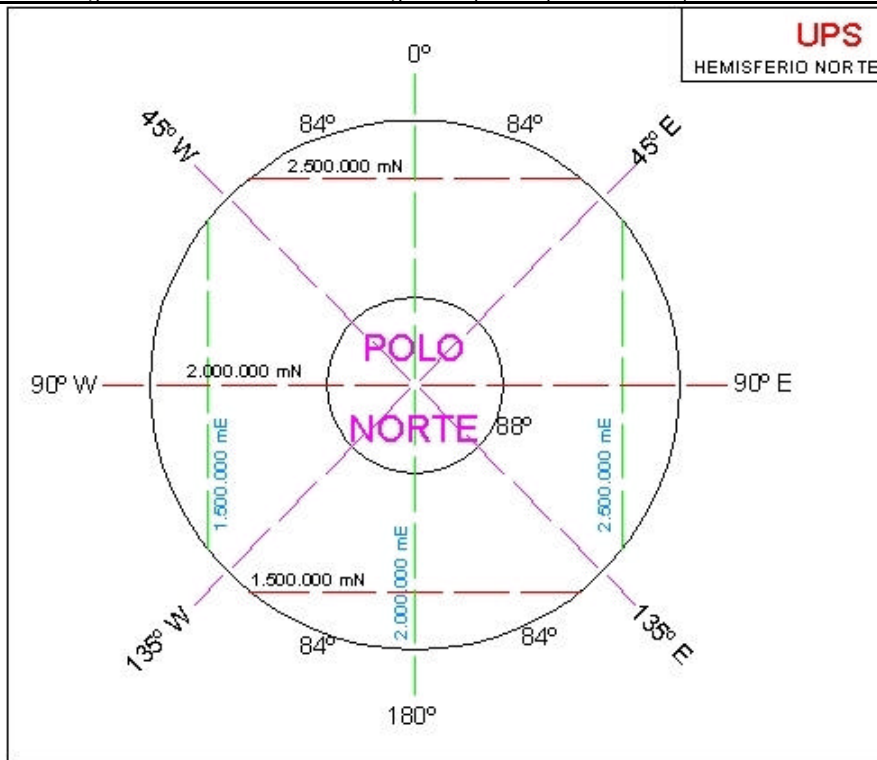




Este sistema de representación plana se **denomina PROYECCION STEREOGRAFICA POLAR**, en el que el vértice de proyección se encuentra situado en cada uno de los polos.

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 cuadrículado, “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)

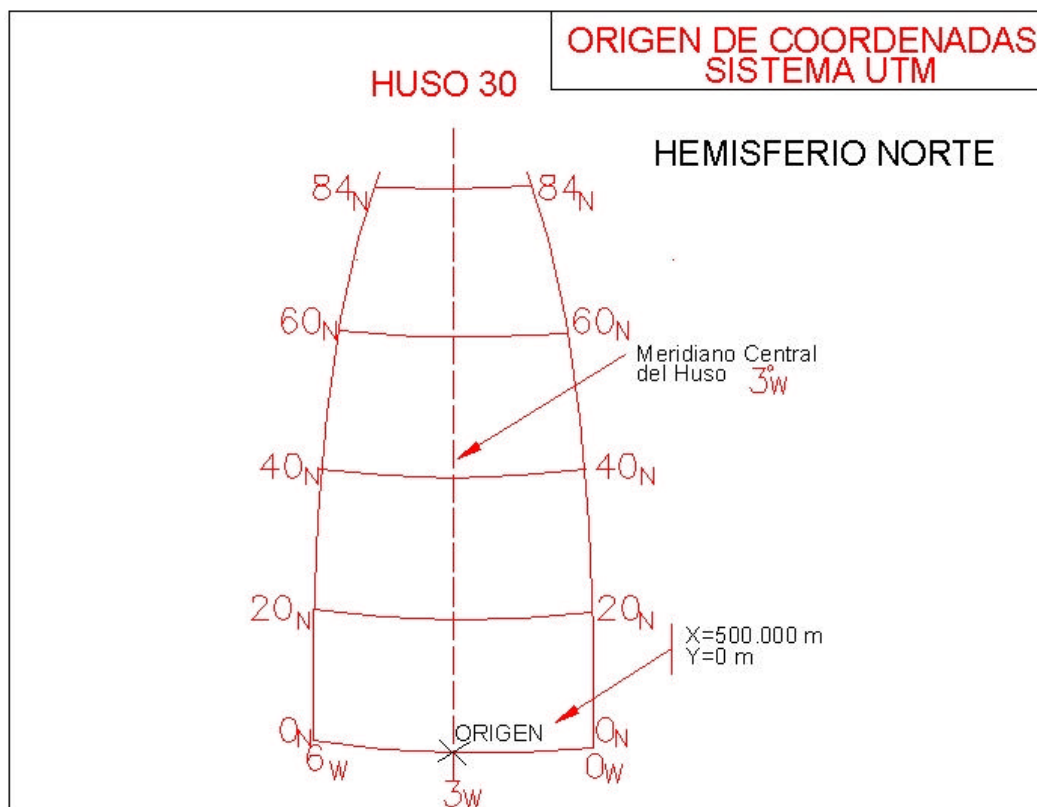
Punto perfectamente

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 80° S hasta los 84° N de latitud.

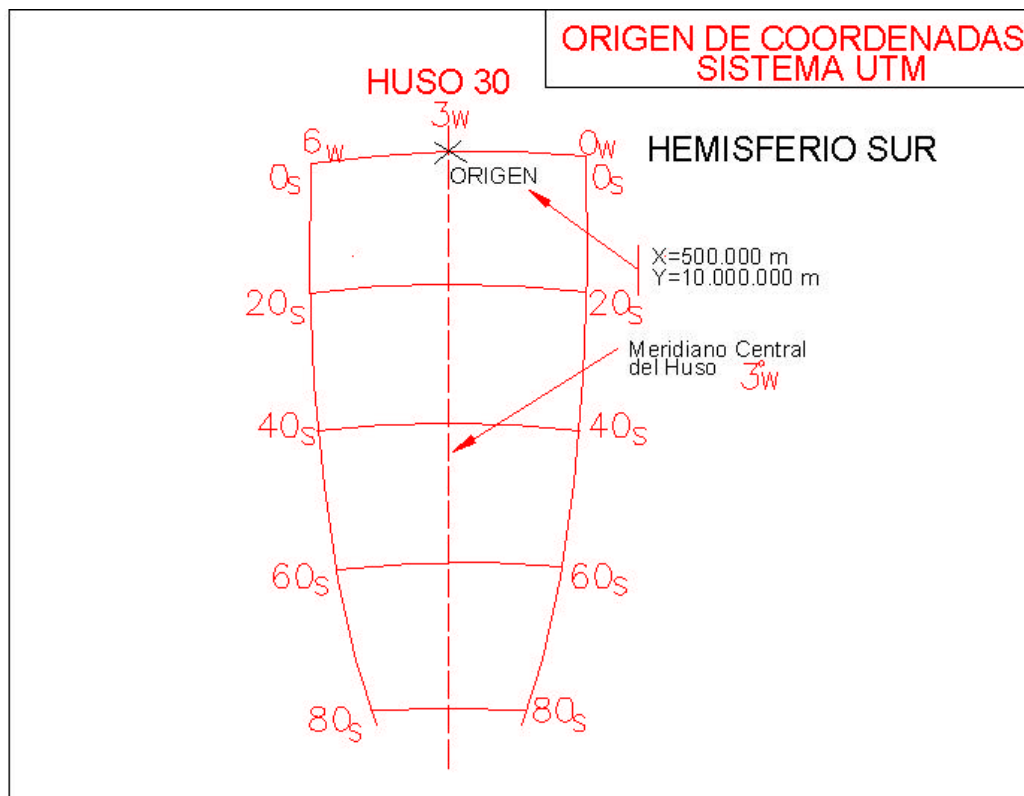
El Origen de coordenadas del sistema es distinto para cada huso, tomándose como origen el siguiente punto:



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:



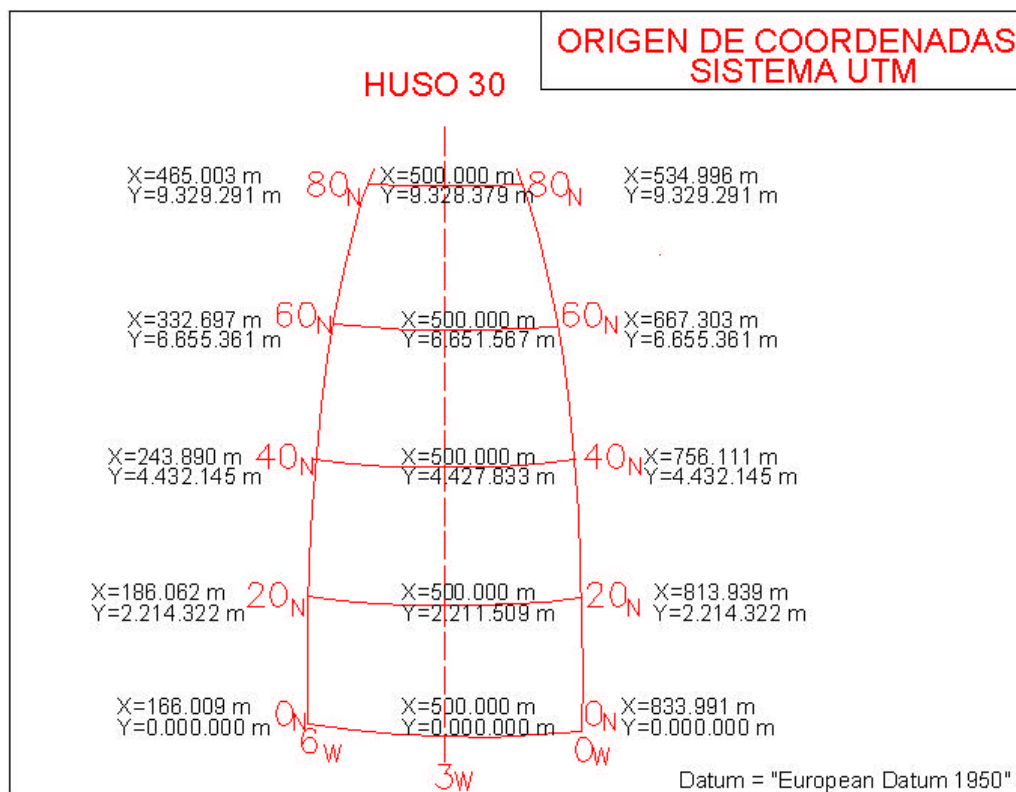
Se toma como coordenada este (**x**, "**easting**") ,500.000 metros, la misma que en el hemisferio norte y de coordenada norte (**y**, "**northing**") 10.000.000 metros, y de la misma manera, no pueden existir coordenadas negativas en la coordenada situada en el hemisferio sur, ya que la mínima coordenada ,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:



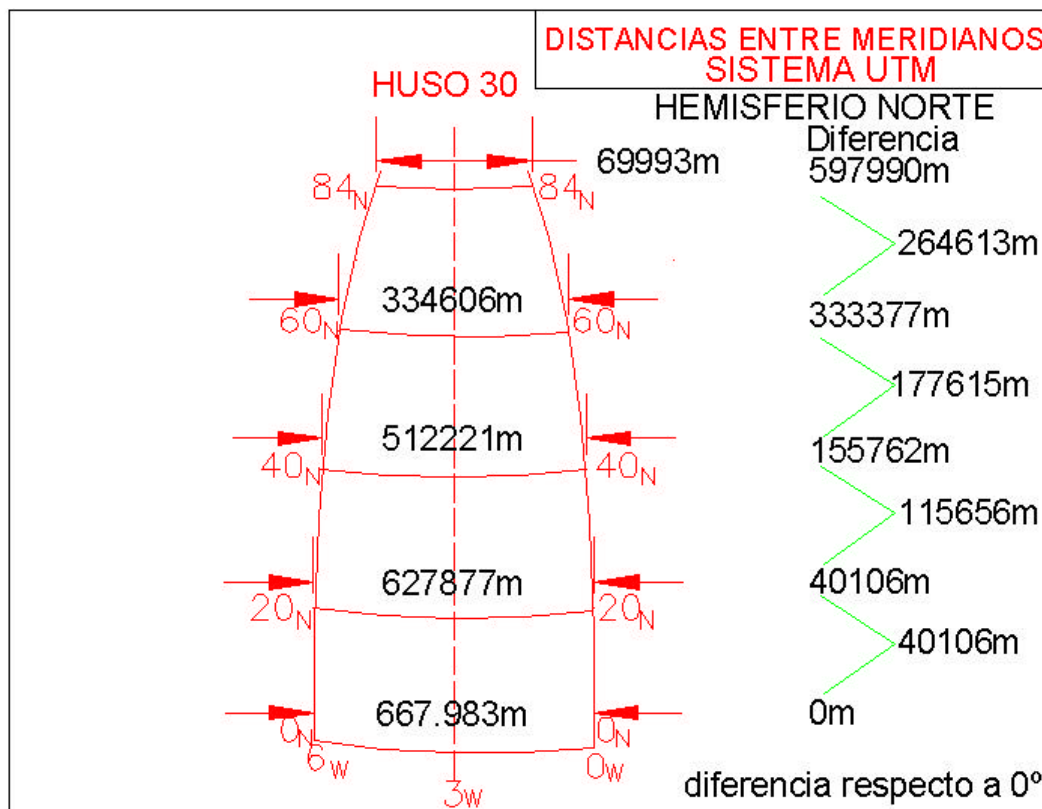
Obsérvese que la coordenada **y**, "northing", únicamente coincide en todos los puntos situados sobre el paralelo 0° (ecuador), 0°N 0°W, 0°N 3°W y 0°N 6°W. En todos estos puntos, situados en el ecuador toma el valor de 0.000.000 m. Recuérdese que únicamente esta línea está orientada según el paralelo del **ecuador**.

A su vez únicamente coincide la coordenada **x**, "easting", sobre un único meridiano (3°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**

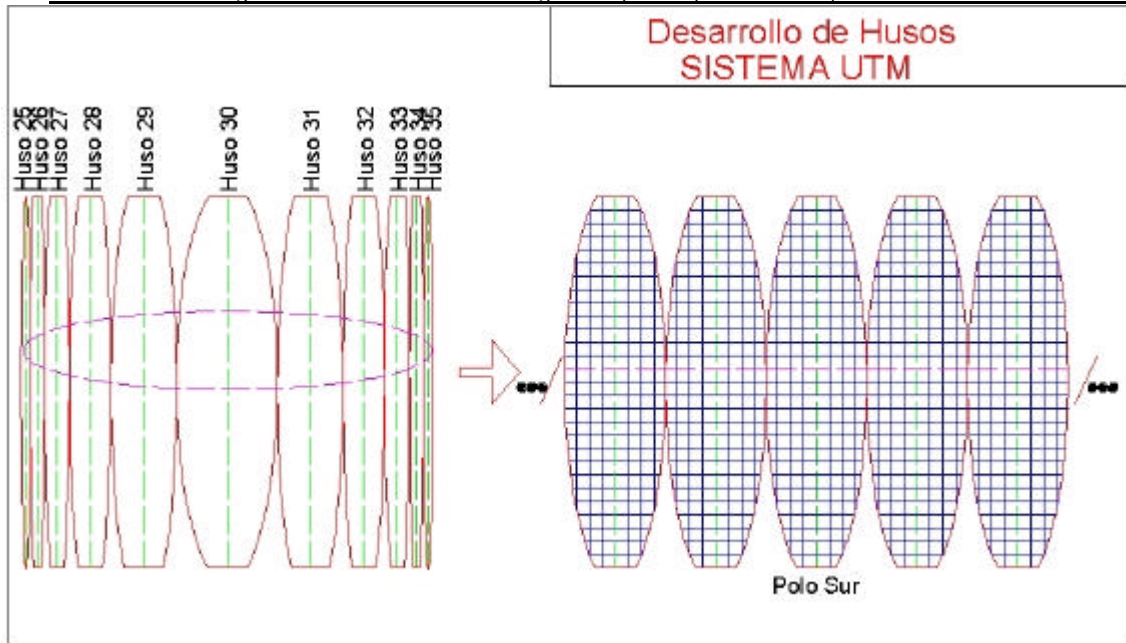
Con el origen de coordenadas del sistema UTM y a causa de la proyección efectuada, hace que disminuya las distancias entre meridianos según se avanza en dirección Norte:



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 encontremos.

### **3.3.D La Malla UTM**

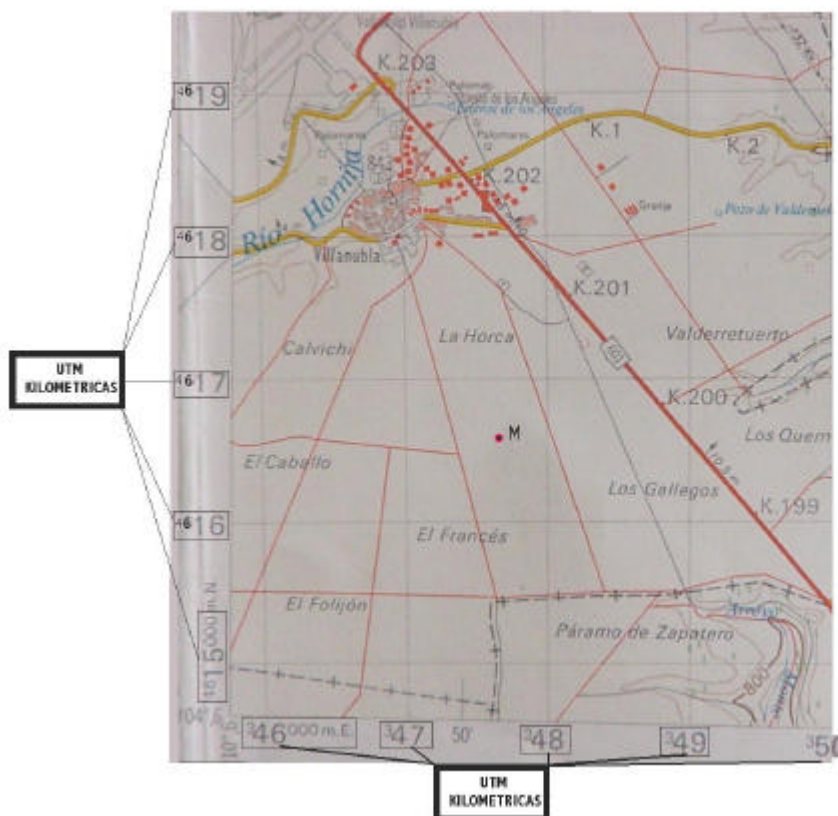
Como resultado de emplear un sistema cartesiano, es habitual la existencia en la cartografía de mallas que unen puntos de igual ordenada y abscisa.

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 Ejército, auxiliándose de la malla **UTM**:

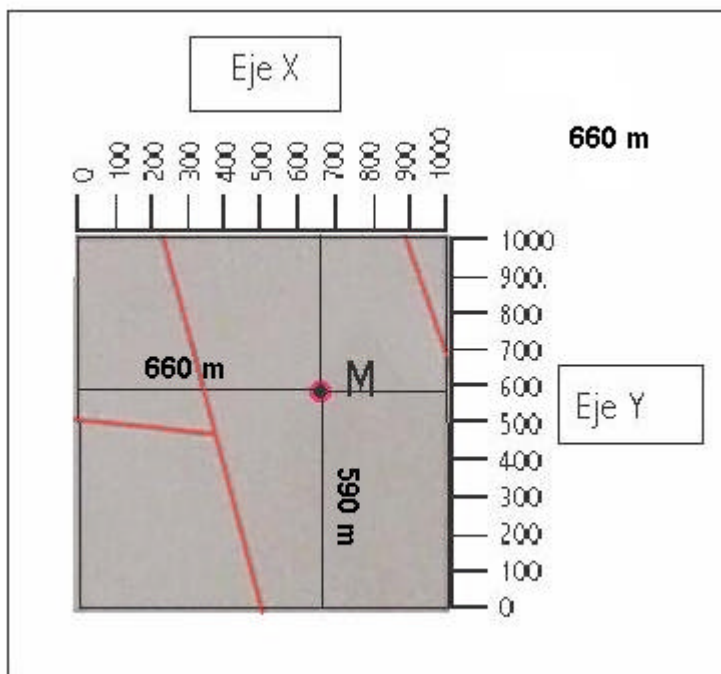


La designación kilométrica de la coordenada **x (eastings)** se nombra mediante tres dígitos, uno de los cuales, el primero, se encuentra de menor tamaño de fuente. La designación de la coordenada **y (northing)** se nombra mediante cuatro dígitos, de los cuales, los dos primeros se encuentran a un menor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

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

La cuadrícula que contiene al punto se busca, en el eje **x**, la primera división de cuadrícula 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 cuadrícula kilométrica que contiene al punto:



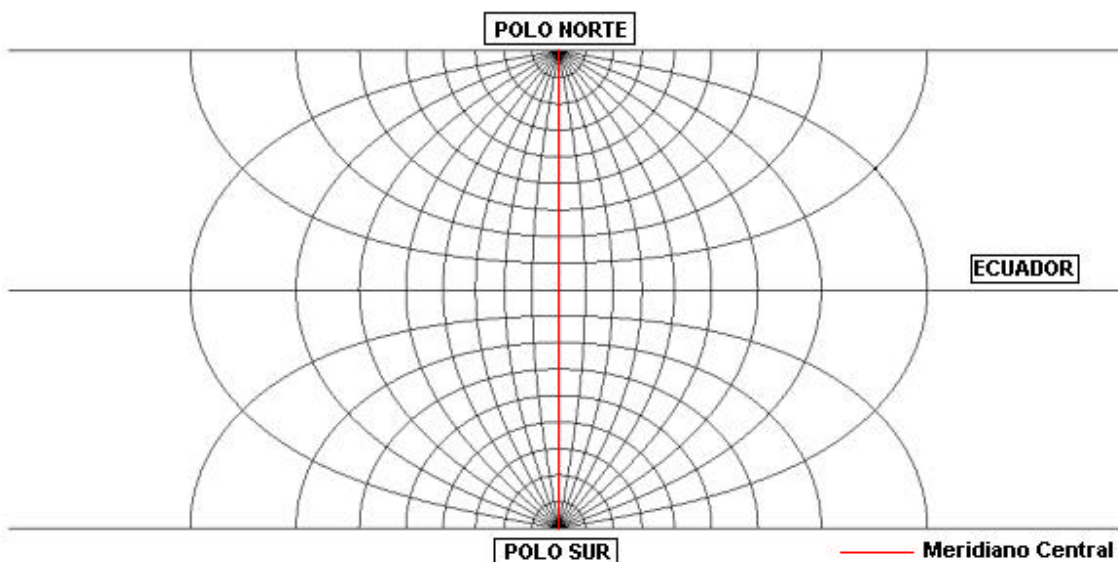
x= 660 m  
y= 590 m

Luego la coordenada buscada es:

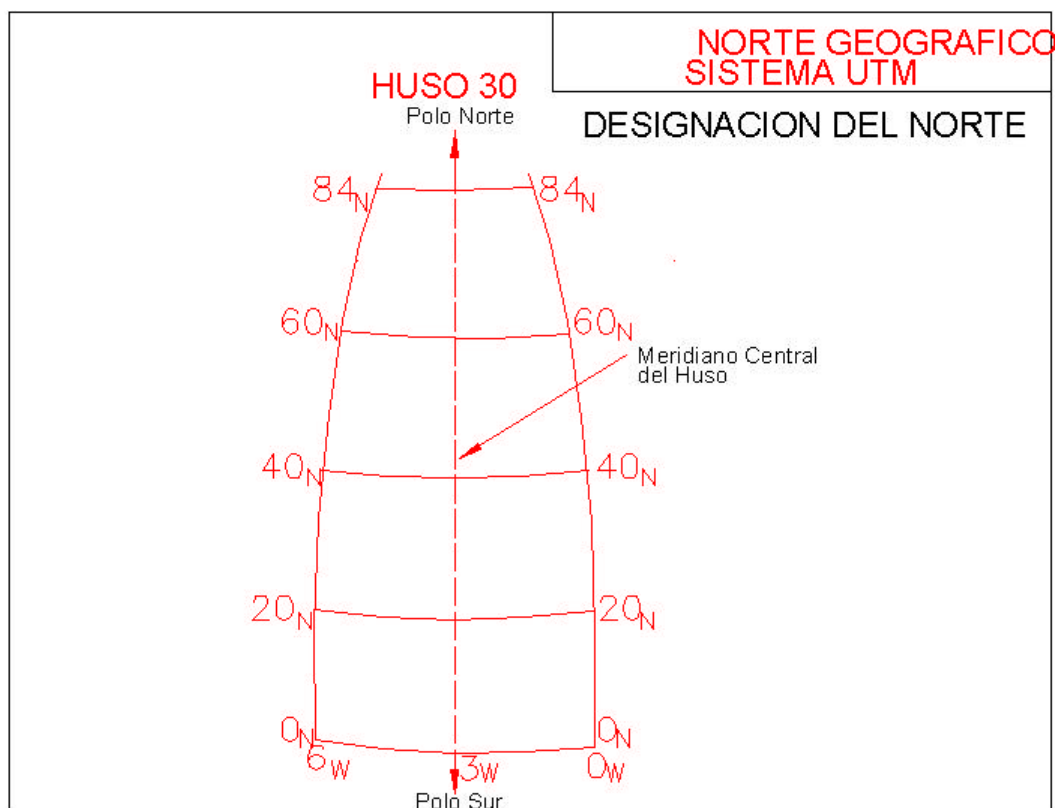
	X	Y
Kilométrica	347.000 m	4.616.000 m
Apreciación en la Cuadrícula	660 m	590 m
Coordenada Buscada	347.660 m	4.616.590 m

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

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



En el cuadrículado (“**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:

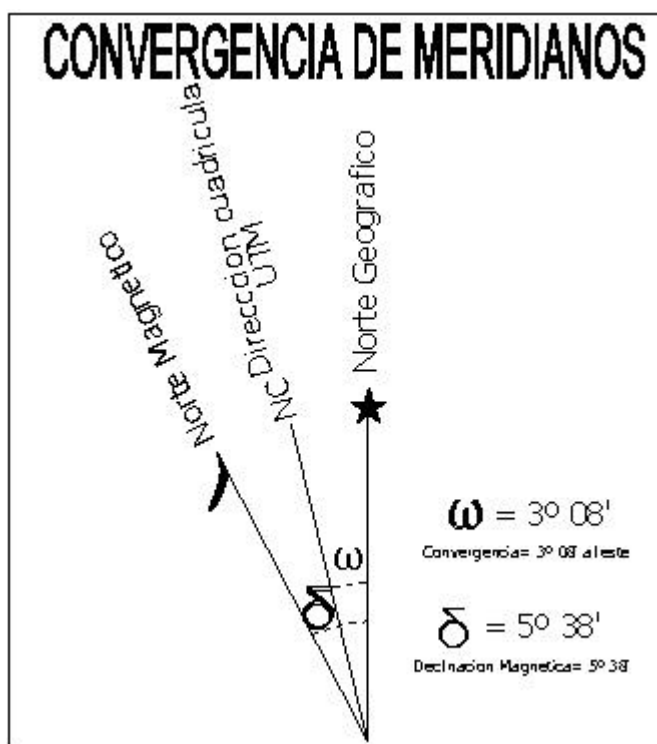


El valor de la coordenada **UTM x** toma el valor de 500.000 m, según la definición del sistema.

El resto de las cuadrículas 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 Ejército y del Instituto Geográfico Nacional*.

Esta convergencia de cuadrícula 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 cuadrícula**, 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 cuadrícula sobre el plano y T indica la diferencia entre el norte geográfico y la dirección **NC** de la cuadrícula:



### 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.

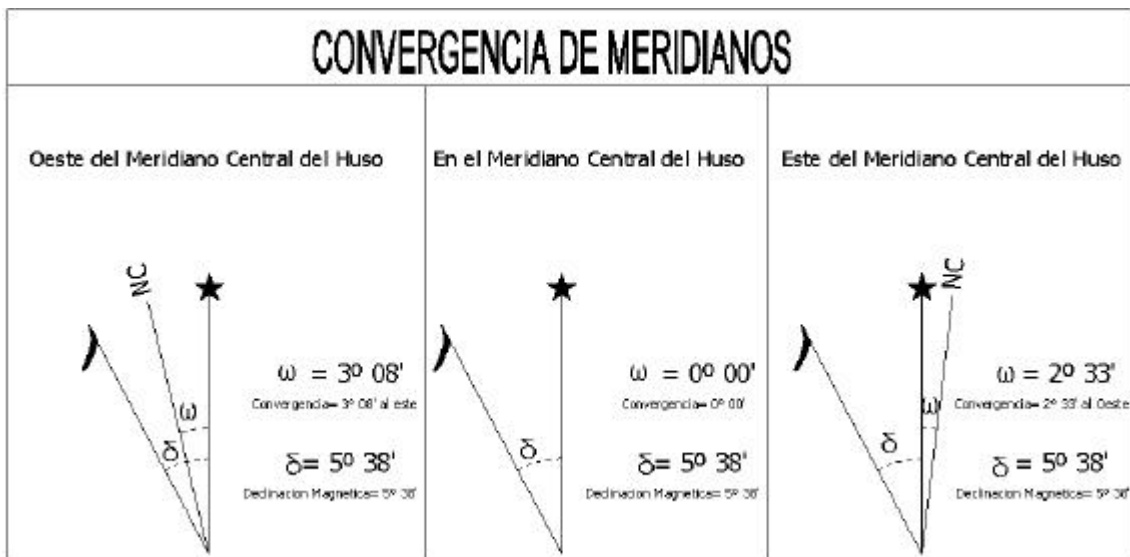
### Convergencia de meridianos al Este del Meridiano Central del Huso

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

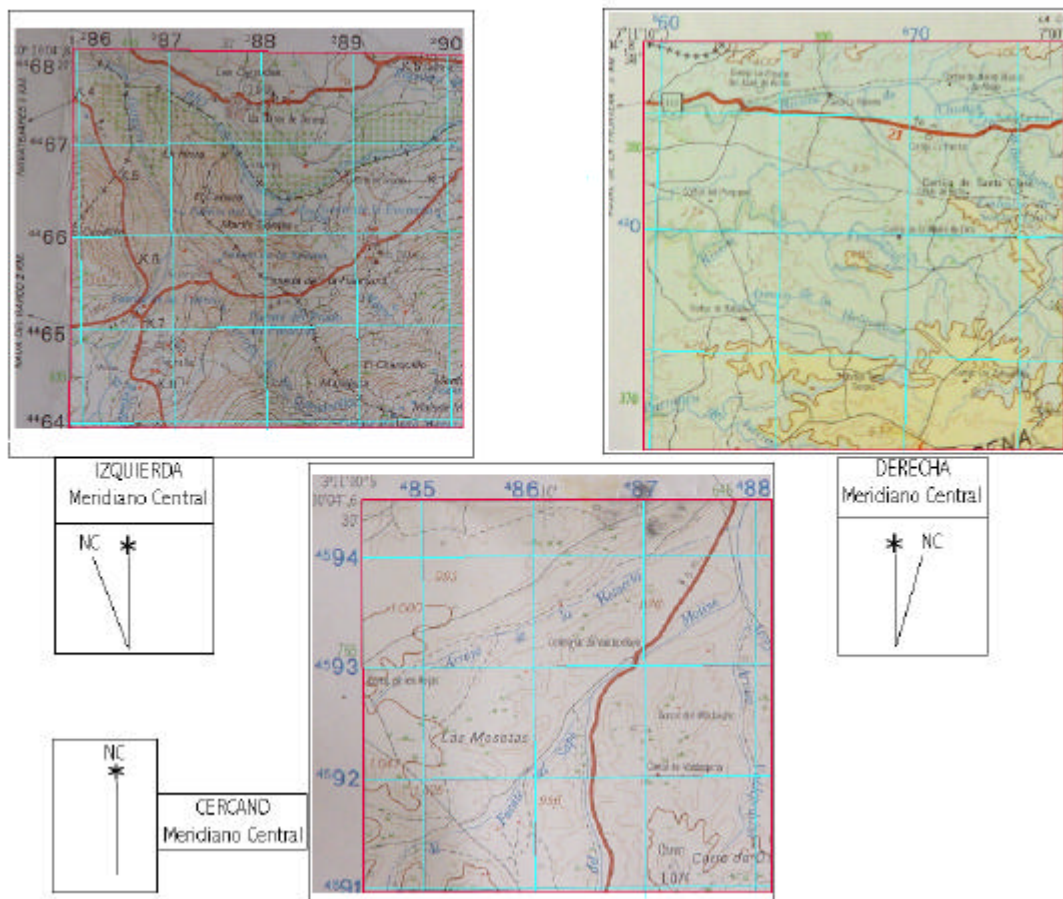


Al Este del meridiano central, y aumentando según disminuye su longitud, la convergencia T se debe tomar en dirección Oeste para localizar el norte geográfico.



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

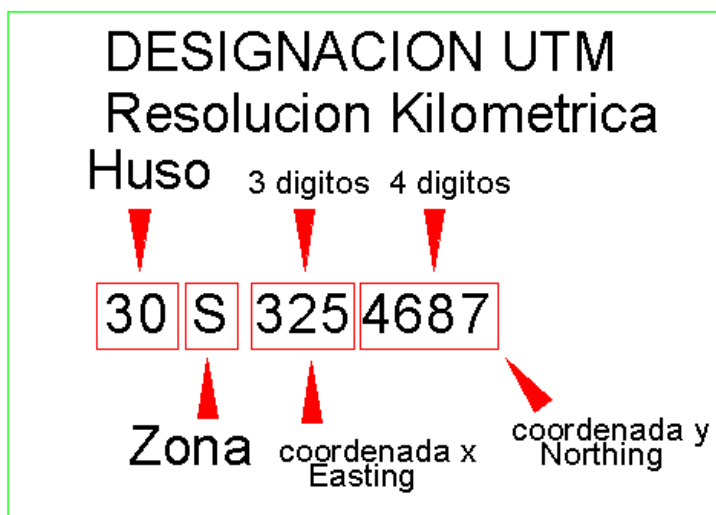
Datum: ED50

- Designación de la cuadrícula.

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



Para la resolución de un Kilometro:



Las coordenadas anteriormente designada en este sistema seria:

x= 386.143 m

y= 4.560.137 m

huso30 zona T

Datum: ED50

30T 3861434560137

Datum: ED50

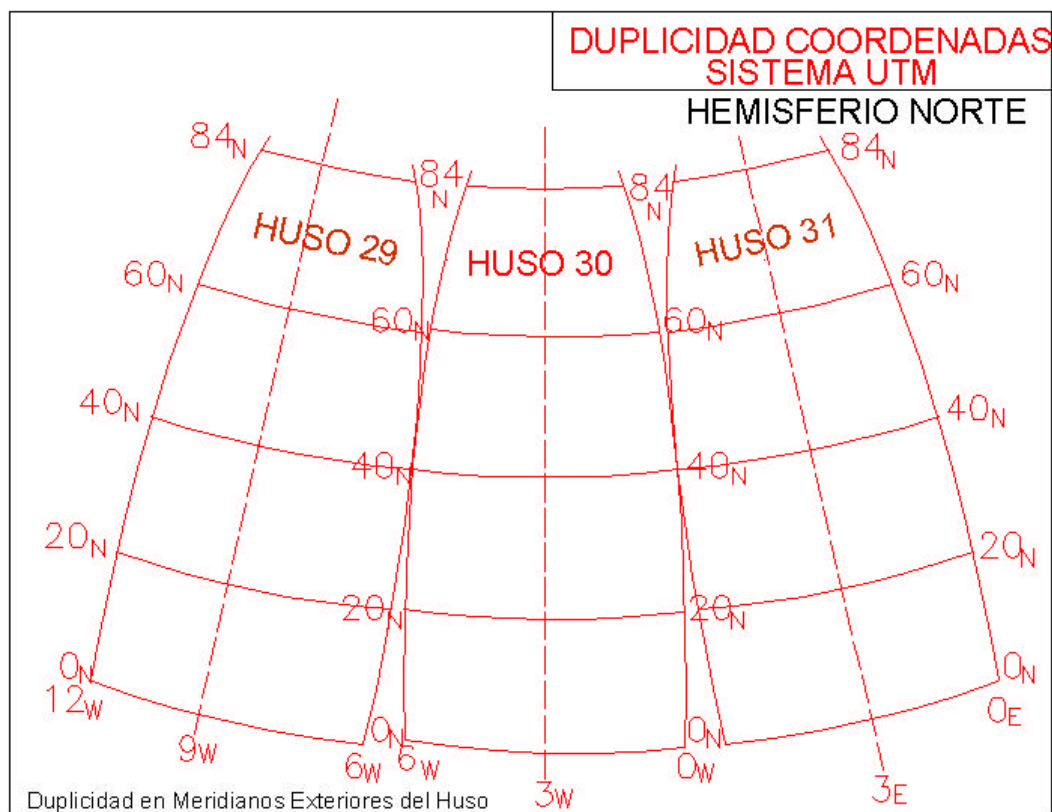
Nótese que en la designación de la coordenada tiene (n) dígitos en la coordenada **Norte** "y", y (n-1) dígitos en la coordenada **Este** "x".

### 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° y meridiano 6°w, existe duplicidad de coordenadas al existir coordenadas en dos husos distintos, **huso 30** con el **huso 29** (6°w), y **huso 30** con el **huso 31** (0°w).

La posición geográfica; 40°00'0.00" N 6°00'0.00" W sobre **el huso 30** tiene de coordenadas **UTM**:

	x= 243888.8 m	30T
40°00'0.00" N 6°00'0.00" W	y= 4432145.2 m	( ED50/Internacional)

Y sobre el **huso 29**:

	x= 756111.2 m	29T
40°00'0.00" N 6°00'0.00" W	y= 4432145.2 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/ó 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 30, 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 coordenado, 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 42°N 4°W (WGS-84), sobre el origen de coordenadas en los husos 29, 30, 31:

Origen	Geográfica	Coordenada UTM		Origen
		X	y	
Huso 29	42°0'0.0"N4°0'0.0"W	914143.57	4661883.98	Huso 29
Huso 30	42°0'0.0"N4°0'0.0"W	417181.93	4650259.84	Huso 30
Huso 31	42°0'0.0"N4°0'0.0"W	-79874.09	4673541.14	Huso 31

Por defecto la coordenada 42°N 4°W (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).