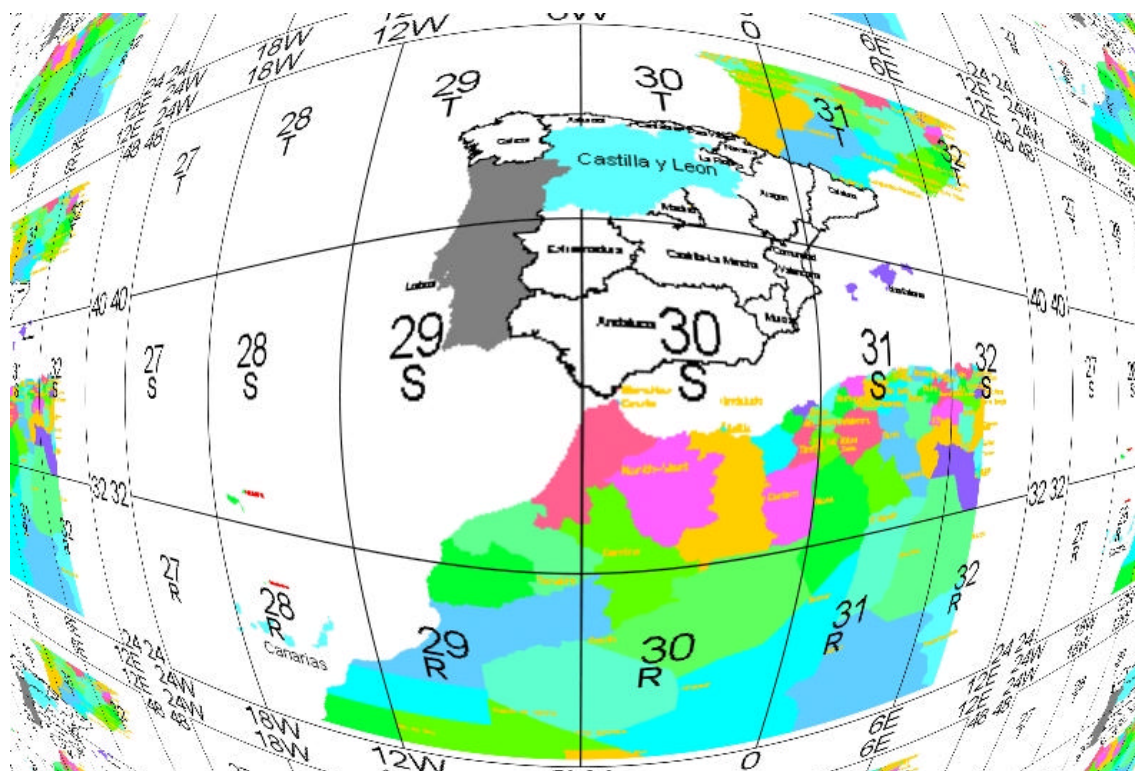


Localizaciones Geográficas.

La Proyección UTM.

(Universal Transversa Mercator)



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

INDICE.....	2
1. LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA DE UN PUNTO.....	4
3. PROYECCIONES. LA PROYECCION UTM.	5
3.1 Proyecciones planas.....	6
3.2 Proyecciones geodésicas.....	7
3.3 LA PROYECCION MERCATOR – MERCATOR TRANSVERSAL.....	8
3.3.A Líneas Loxodrómicas y Ortodrómicas	14
3.3.B Ventajas del Sistema UTM	16
3.3.C Origen de Coordenadas UTM	19
3.3.C.1. Coordenadas en el Huso 30 Norte.....	21
3.3.C.2 Distancias entre Paralelos y Meridianos	22
3.3.C.3 Desarrollo de la Proyección UTM en toda la superficie Terrestre	22
3.3.E. La Medición del Norte Geográfico Verdadero.....	26
Convergencia de meridianos en el Meridiano Central del Huso.....	27
Convergencia de meridianos al Este del Meridiano Central del Huso.....	27
Convergencia de meridianos al Oeste del Meridiano Central del Huso.....	27
3.3.F Designación de Coordenadas UTM.....	29
3.3.G.1 ¿Duplicidad de Coordenadas UTM?	31
3.3.G.1 Duplicidad de coordenadas entre extremos de dos husos consecutivos.....	31
3.3.G.2 Representación de varios Husos bajo solo Origen grid de un Huso	32
4 SISTEMA UTM. DISTRIBUCION DE HUSOS	36
4.1 Distribución de Husos y Zonas para España	37
4.2 Distribución de Husos y Zonas para Castilla y León.....	38
5 CUADRICULAS DE COORDENADAS UTM.....	39
5.1 Limite de Percepción Visual	41
5.2 Digitalización de planos/mapas	44
6 LOCALIZACION DE HUSOS Y ZONAS UTM PARA ESPAÑA.....	45
6.1 INDETERMINACION CAUSADA POR NO ESPECIFICAR EL HUSO	49
Software empleado:.....	51
Bibliografía.....	51
Base de datos Geográfica	51
Agradecimientos/Notas.....	51

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:

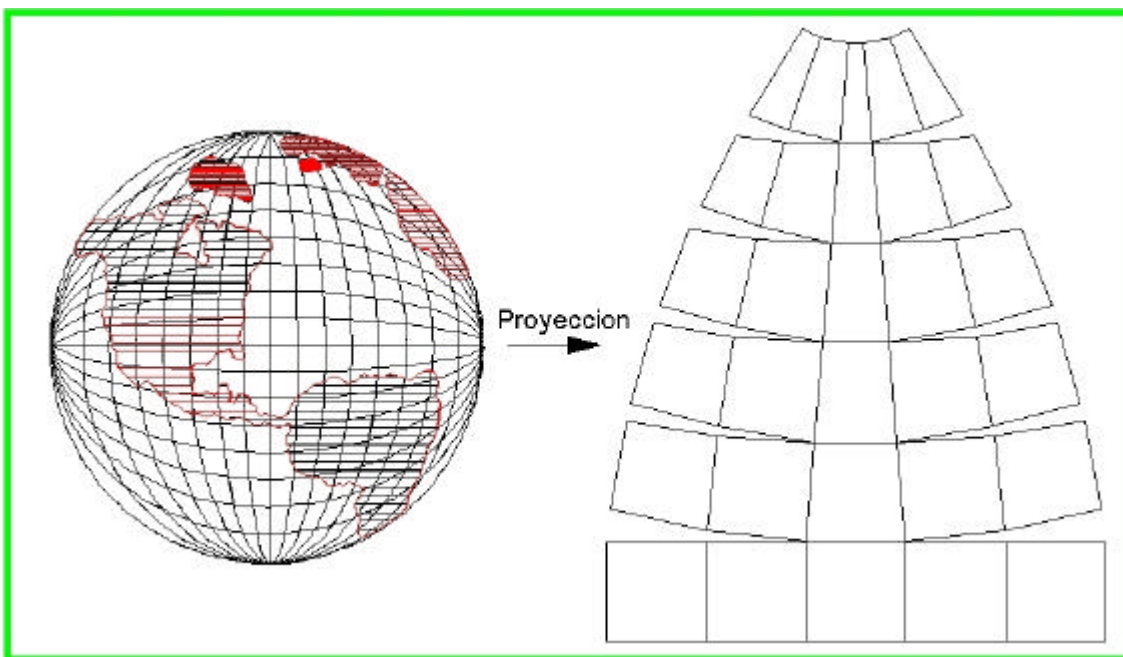
- Coordenadas geográficas en formato Longitud-Latitud.
- Coordenadas (x,y) UTM. Universal Transversa Mercator.

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

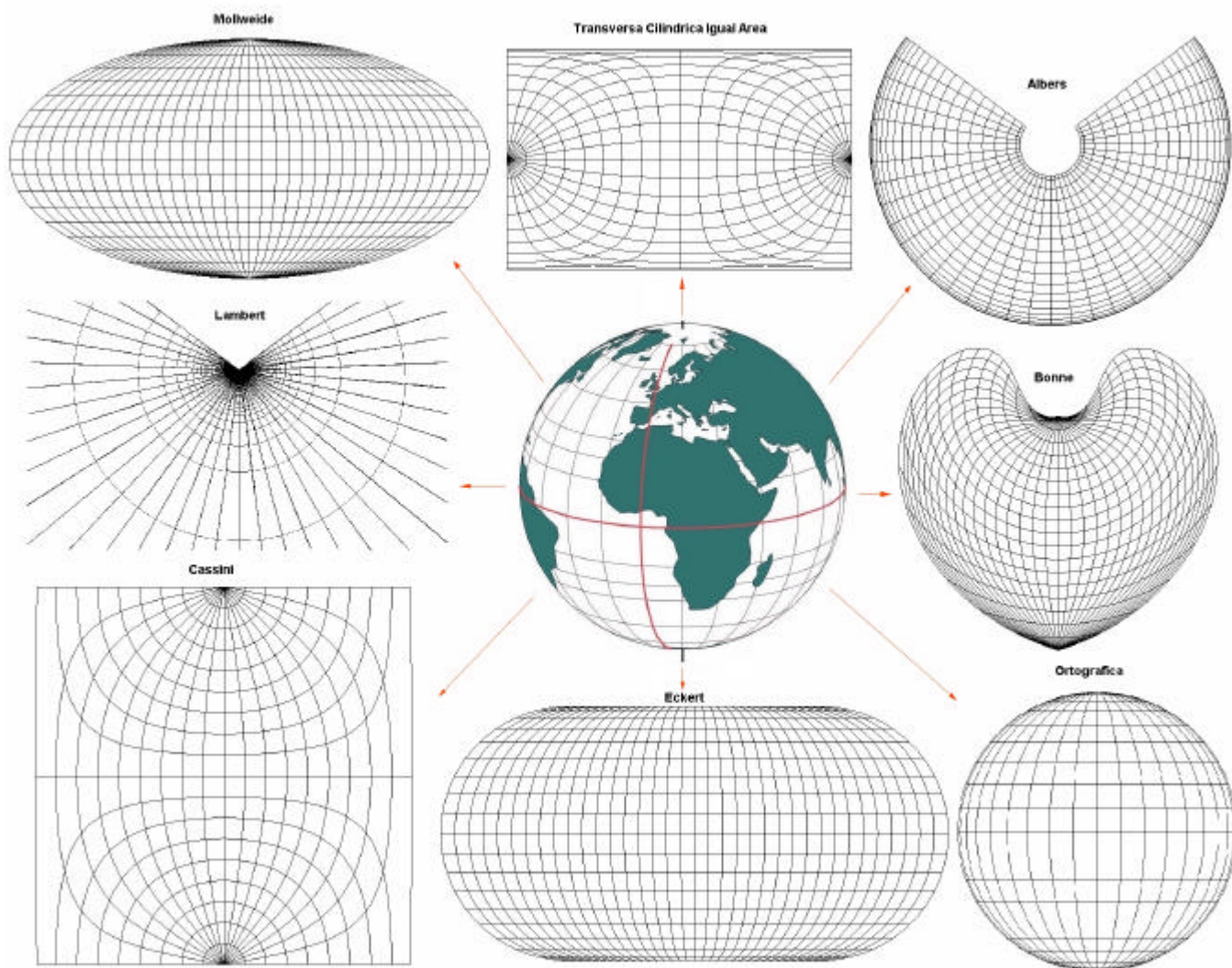
3. PROYECCIONES. LA PROYECCION UTM.

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.

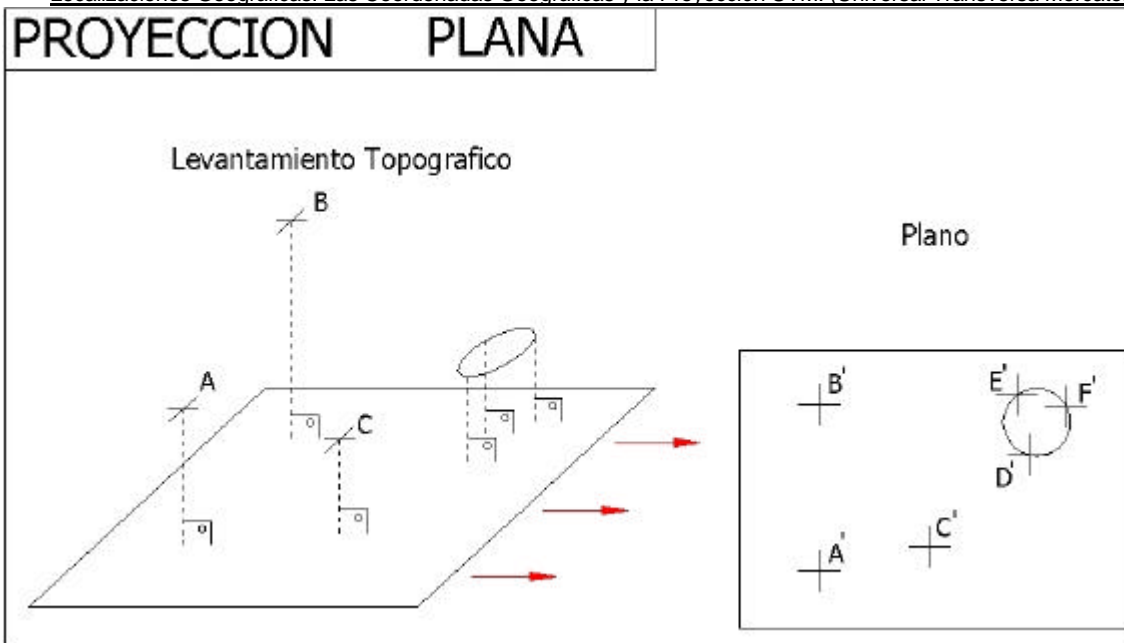
En todos los casos conservan o minimizan los errores, dependiendo de la magnitud física que se desea conservar; su superficie, las distancias, los ángulos, etc., teniendo en cuenta que únicamente se podrá conservar una de las magnitudes anteriormente descritas y no todas a la vez:



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 “ ϕ ” 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.

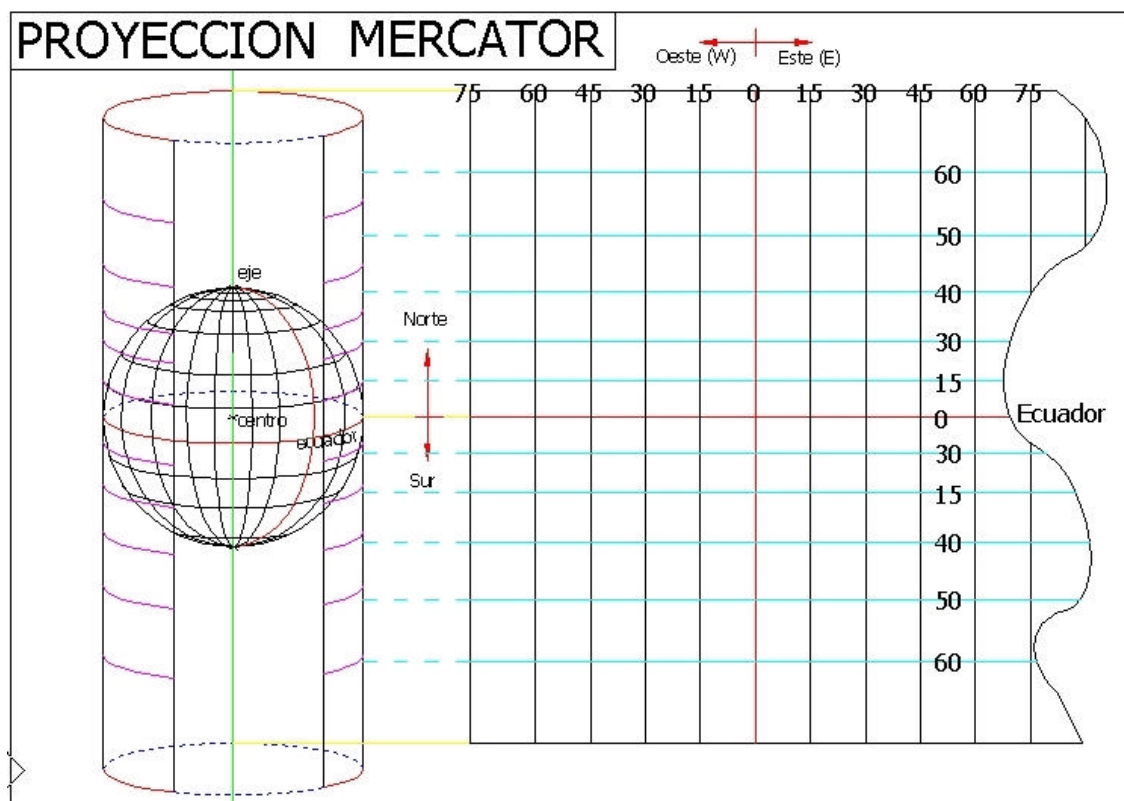
3.3 LA PROYECCION MERCATOR – MERCATOR TRANSVERSAL

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.

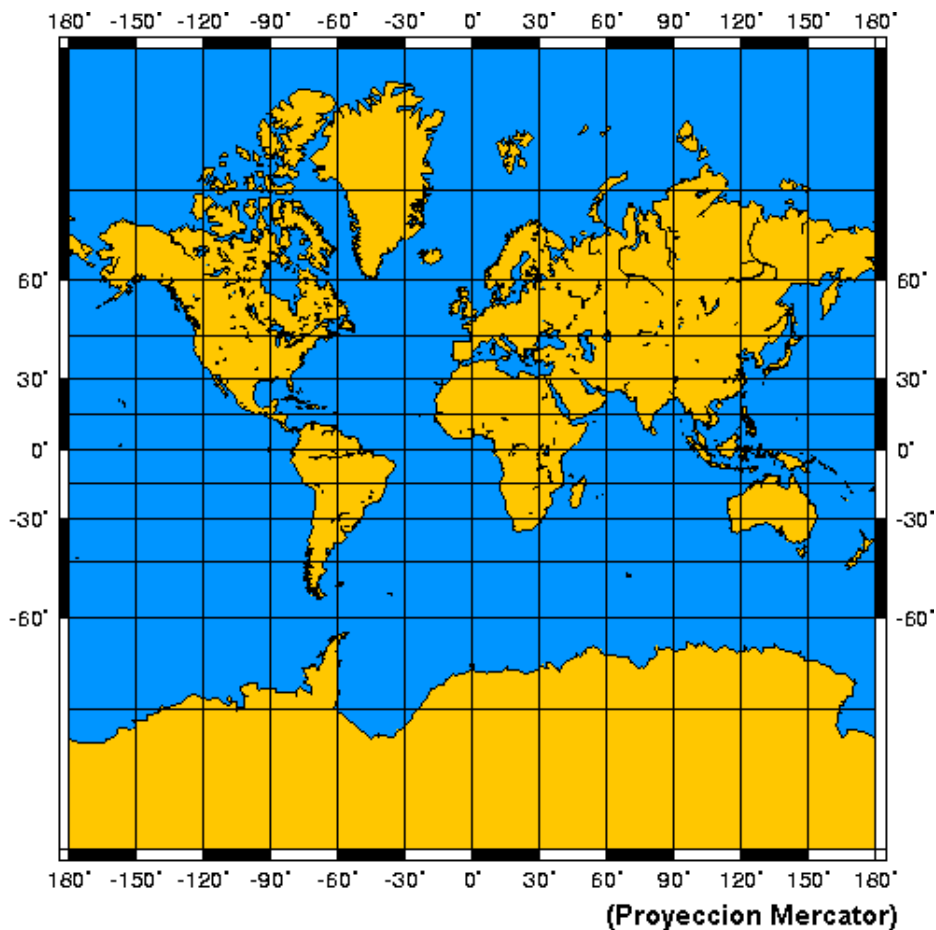
Otra de las formas de clasificar a las proyecciones en función de la figura geométrica empleada al proyectar. La proyección **UTM** esta dentro de las llamadas proyecciones cilíndricas, por emplear un cilindro situado en una determinada posición espacial para proyectar las situaciones geográficas.

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:

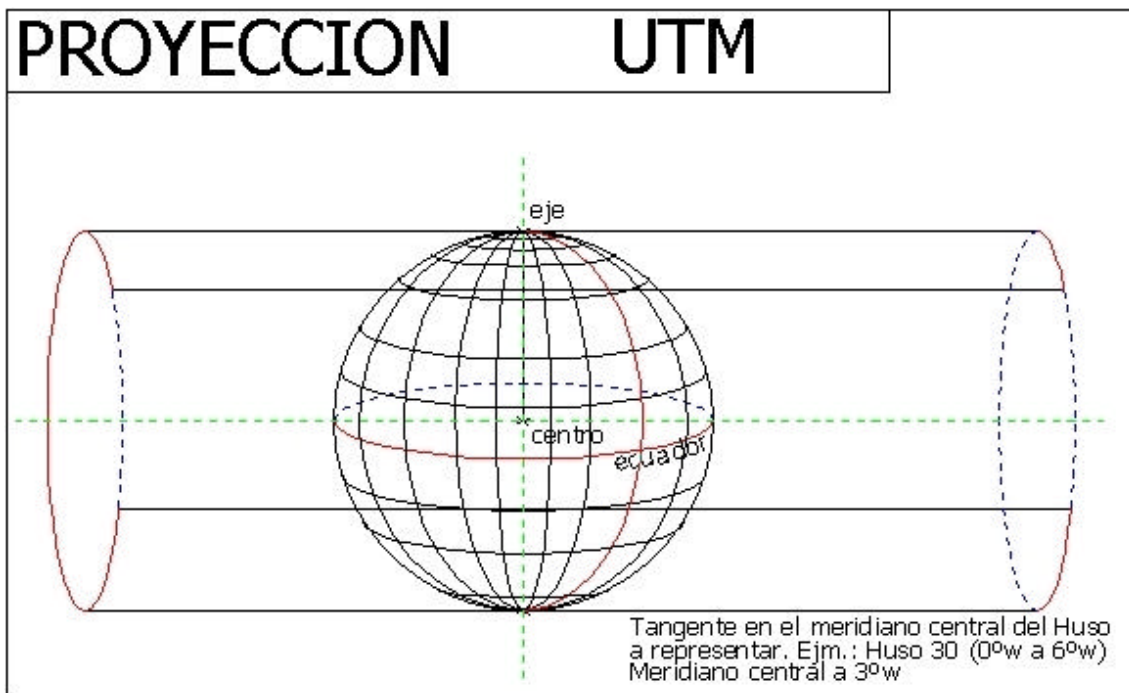


La red creada hace que tanto meridianos como paralelos formen una cuadrícula oblicua, “grid” o rejilla, de manera que una recta oblicua situada entre dos paralelos forma un ángulo constante con los meridianos.

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:



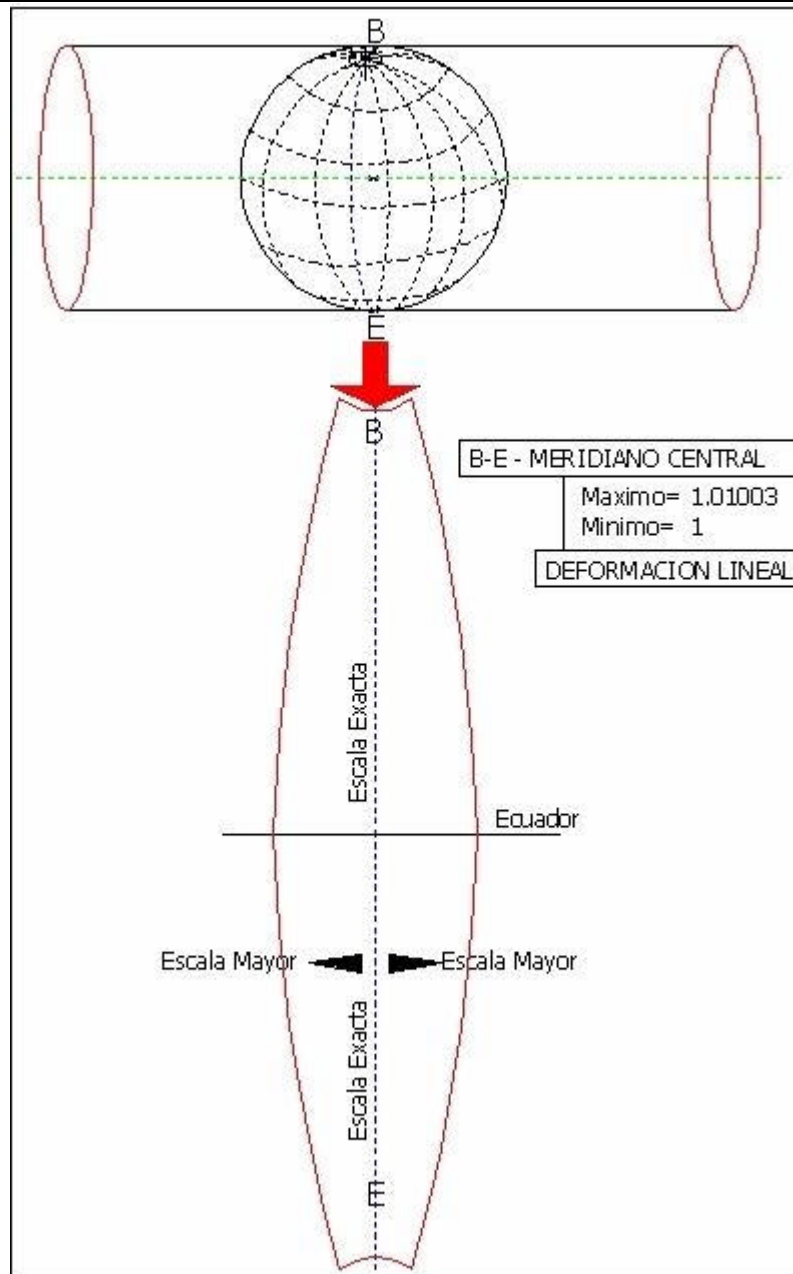
Se define un **huso** como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos. Cada huso puede contener 3°, 6° u 8°. El Sistema **UTM** emplea Husos de 6° de Longitud.

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,

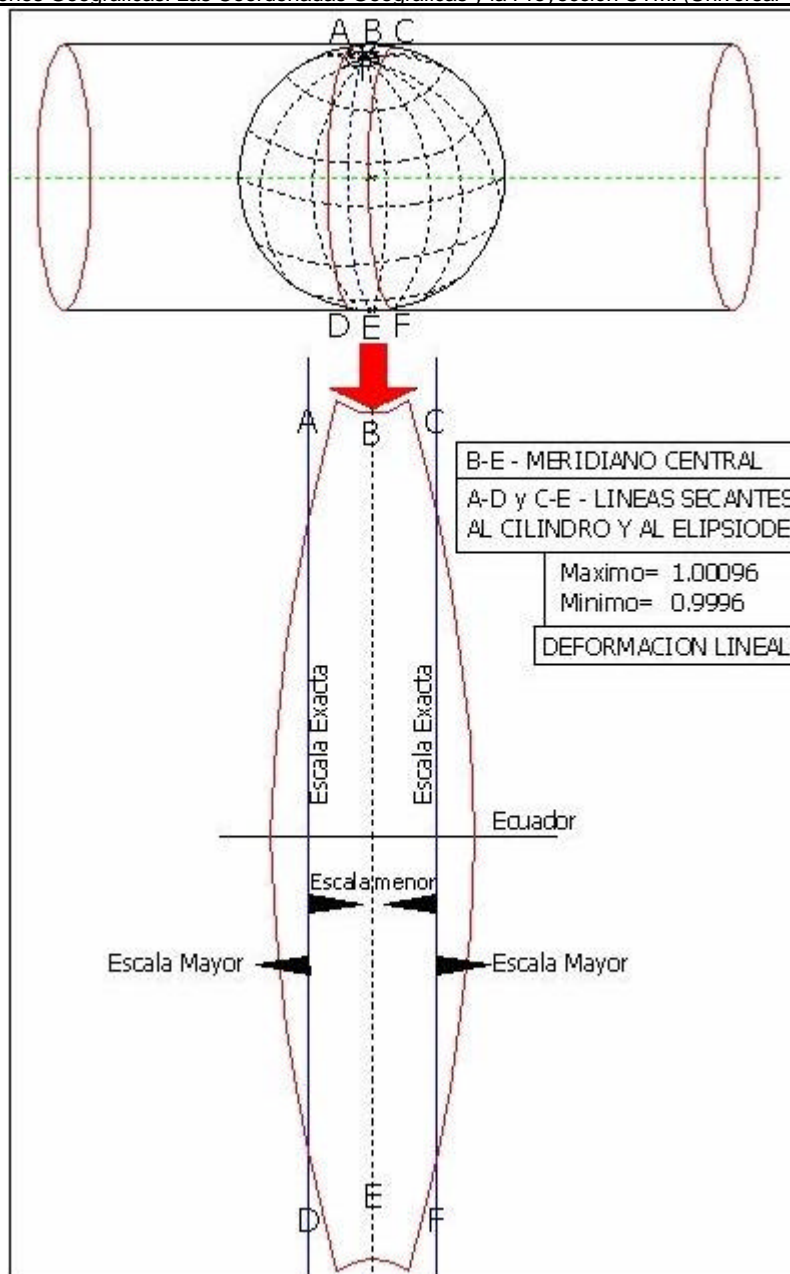
Esta red creada, ("**grid**"), se forma huso a huso, mediante el empleo **de un cilindro distinto para generar cada uno de los husos**, siendo cada uno de los cilindros empleados tangente al meridiano central de cada huso, cuya longitud es de 3°, o múltiplo de esta cantidad con 6° de separación.

Esta situación del cilindro de proyección, tangente al meridiano central del huso proyectado, hace que únicamente una línea se considerada como autometrica, 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%):



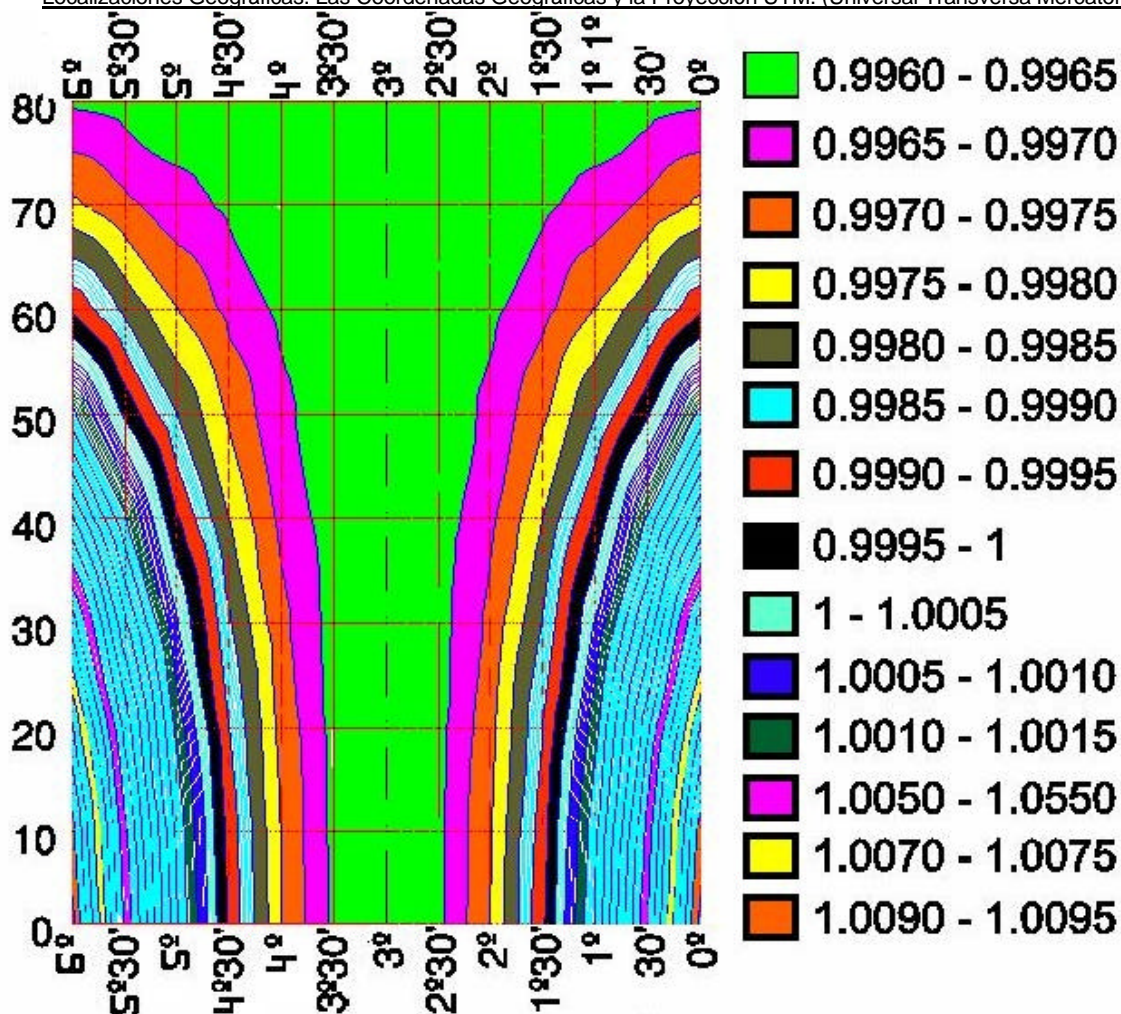
Para evitar que la distorsión de las magnitudes lineales aumente conforme se aumenta la distancia al meridiano central se aplica a la un factor K_c a las distancias $K_c=0.9996$, de modo que la posición del cilindro de proyección sea secante al elipsoide, creándose dos líneas en las que el modulo de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

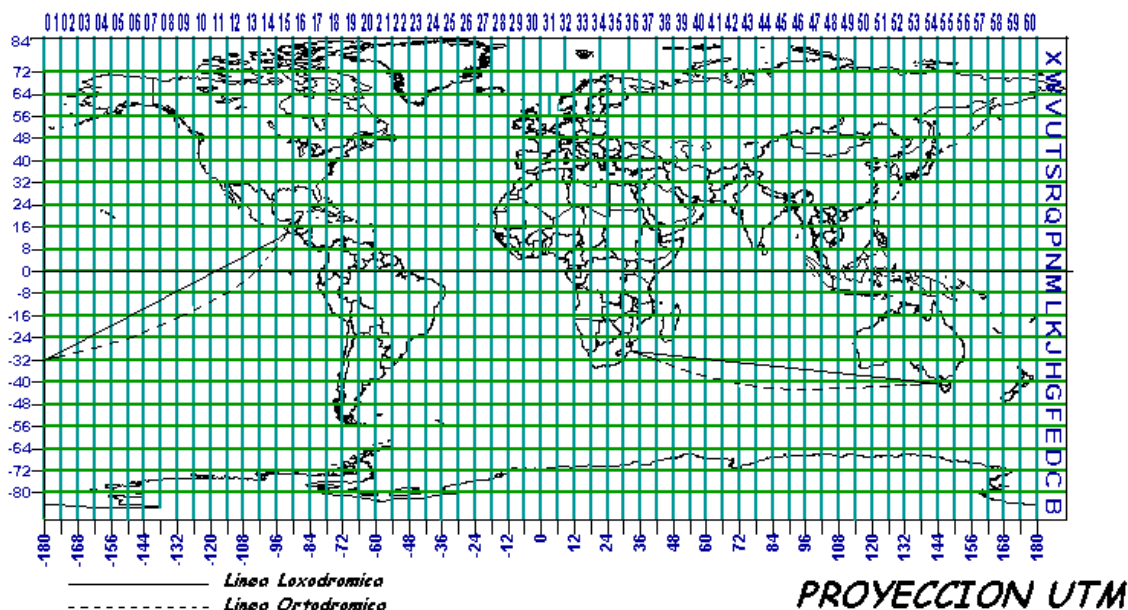


(Huso representado 30 norte)

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

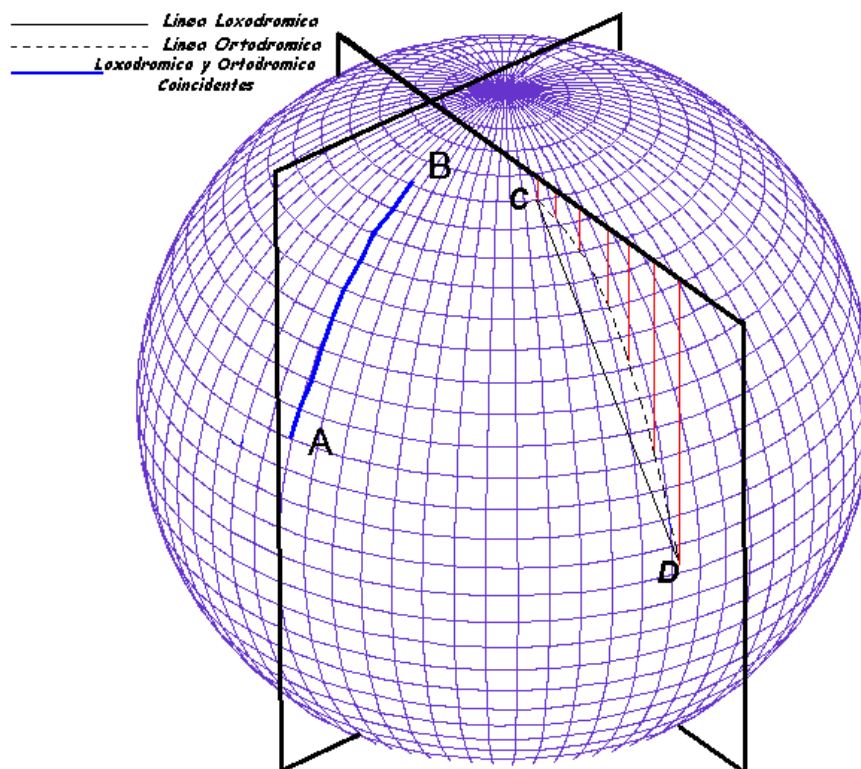
3.3.A Líneas Loxodrómicas y Ortodrómicas

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**.

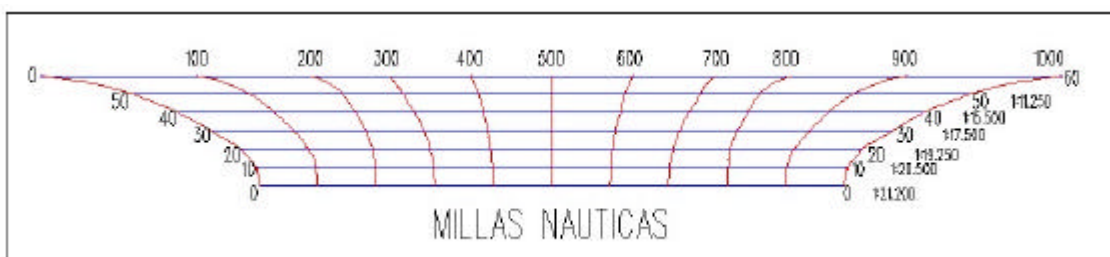


Esta diferencia entre el recorrido Loxodrómico y el recorrido Ortodrómico es más acusado en zonas próximas a los polos, por encima de los 80° de Latitud, por lo que en estas zonas se recurre a otro tipo de proyecciones para su empleo en las cartas marinas.

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:



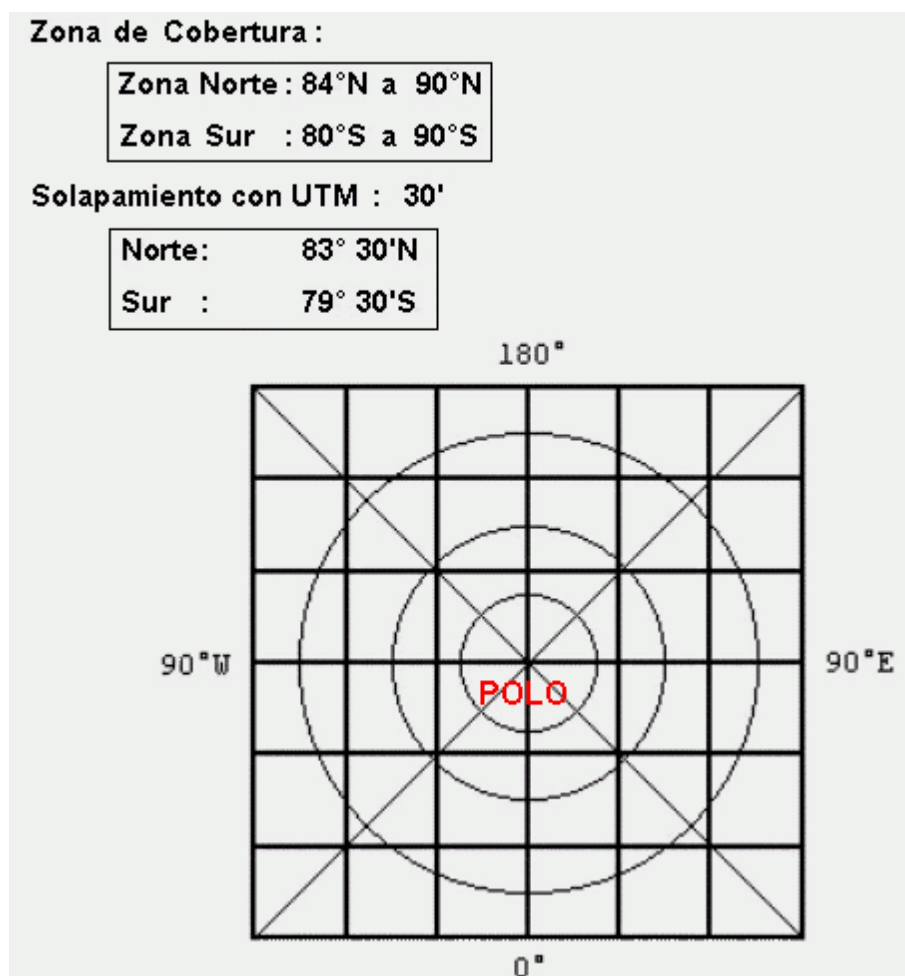
No siendo extrapolable esta escala a la totalidad del mapa.

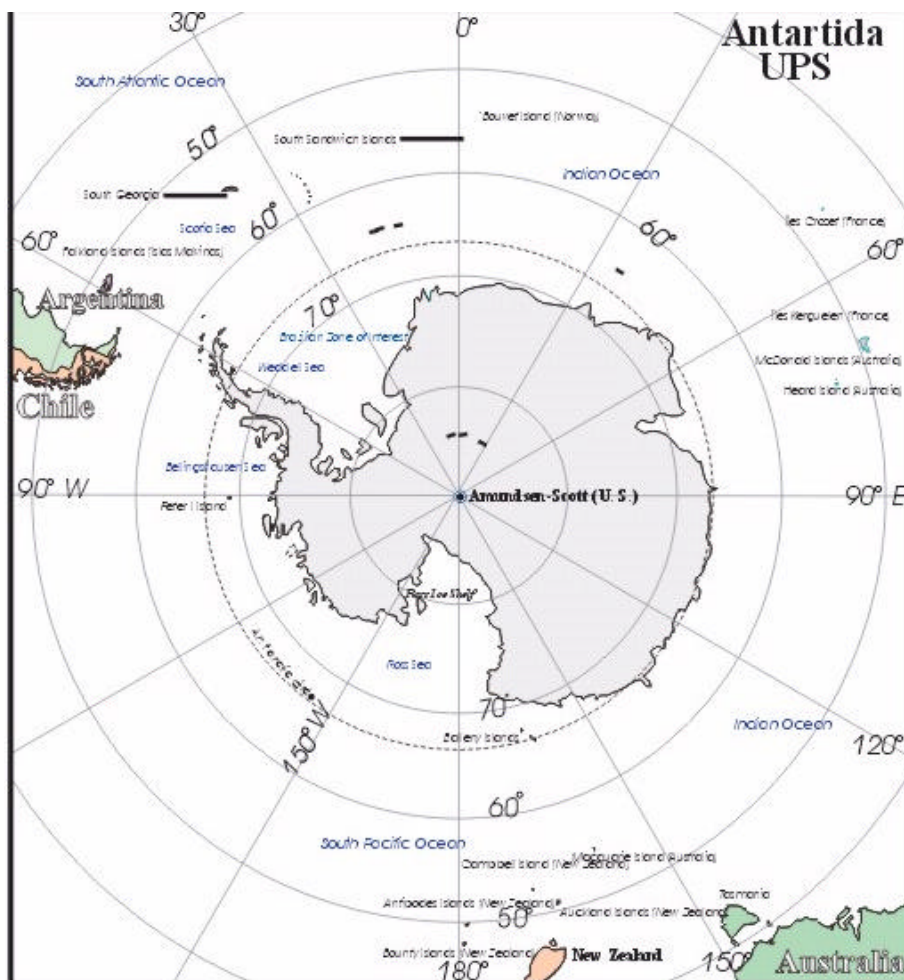
3.3.B Ventajas del Sistema UTM

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)**;

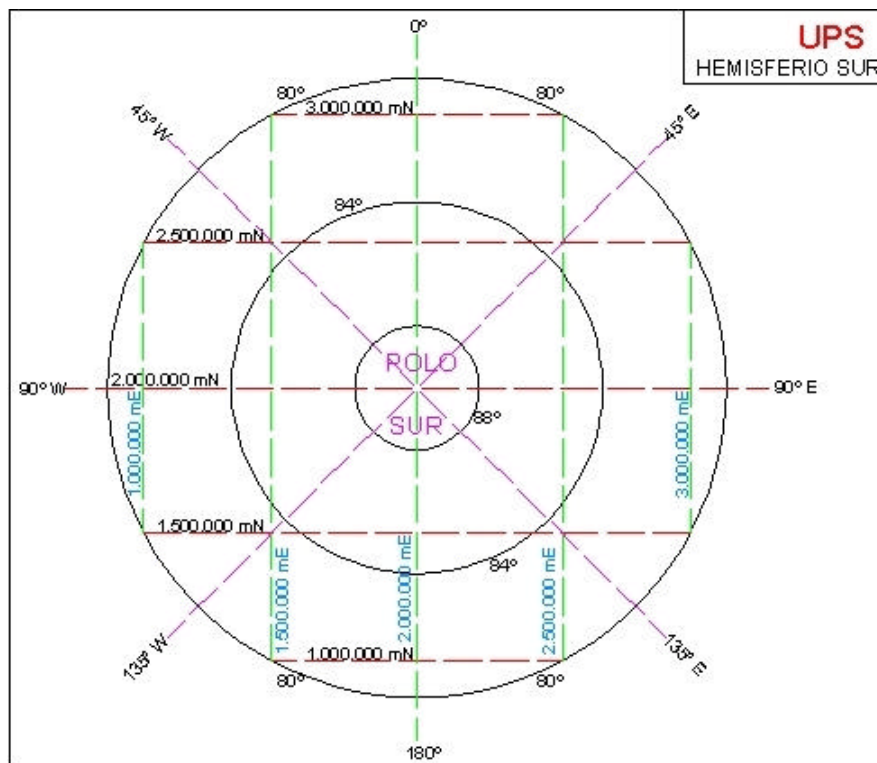
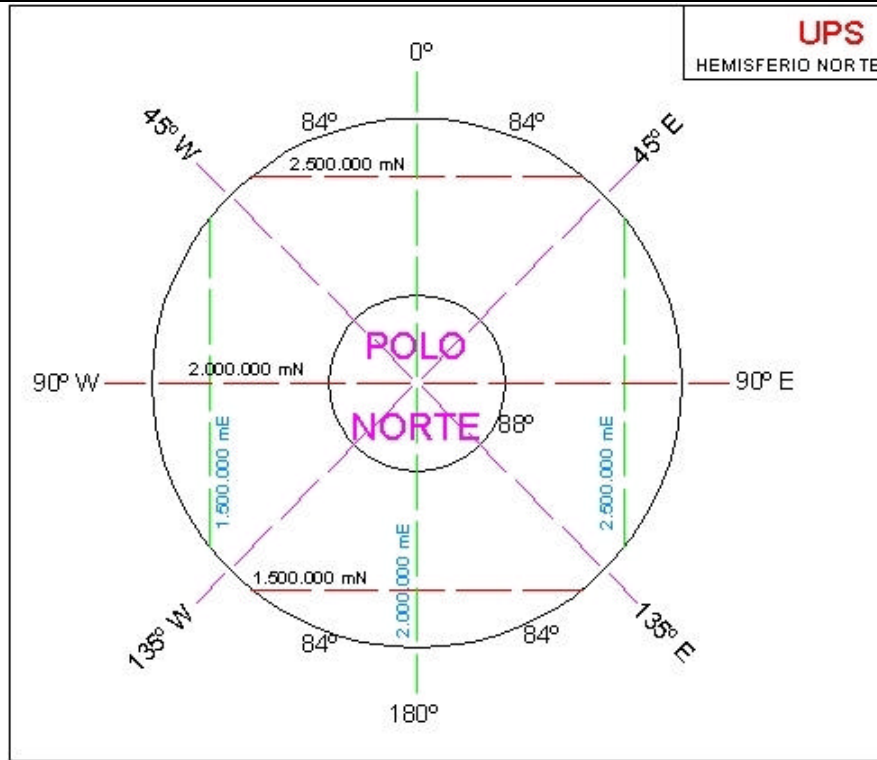




Este sistema de representación plana se **denomina PROYECCION STEREOGRAFICA POLAR**, en el que el vértice de proyección se encuentra situado en cada uno de los polos.

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)

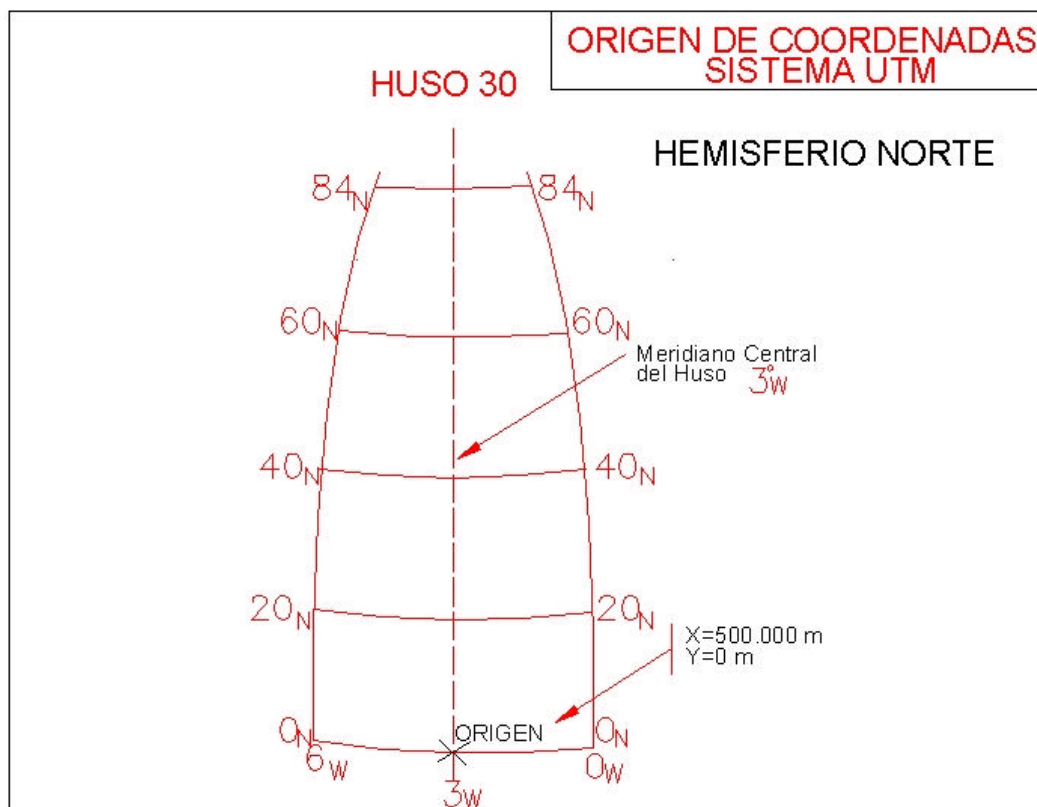
Punto perfectamente

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.

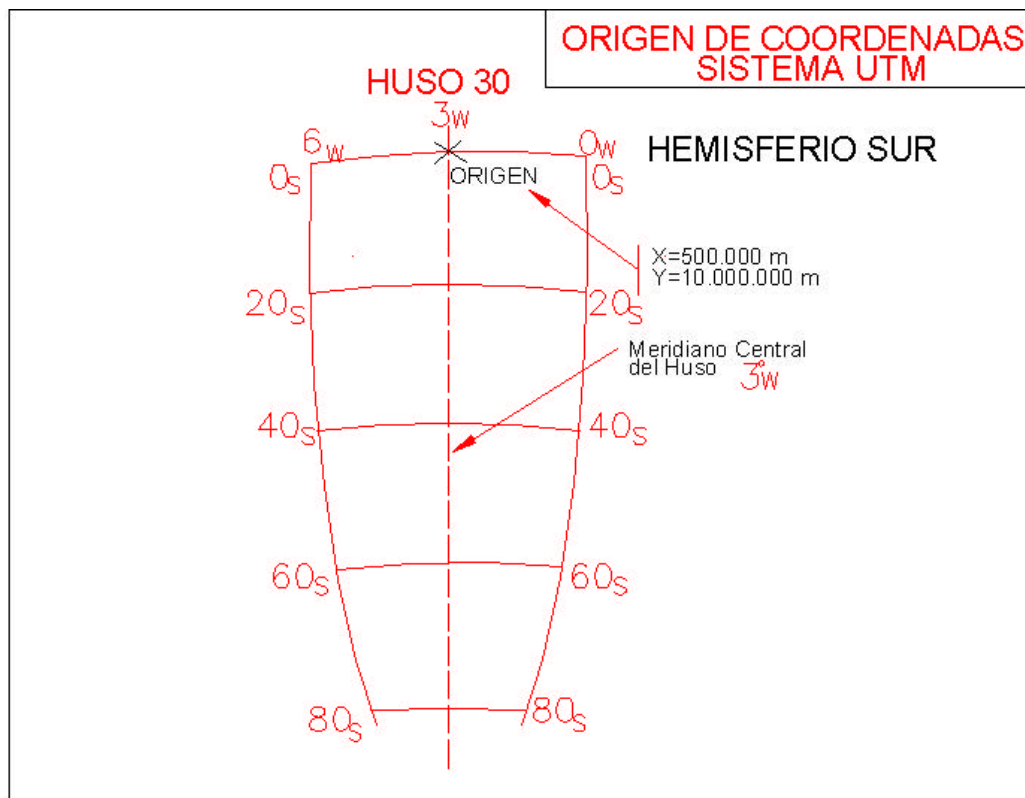
El Origen de coordenadas del sistema es distinto para cada huso, tomándose como origen el siguiente punto:



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:

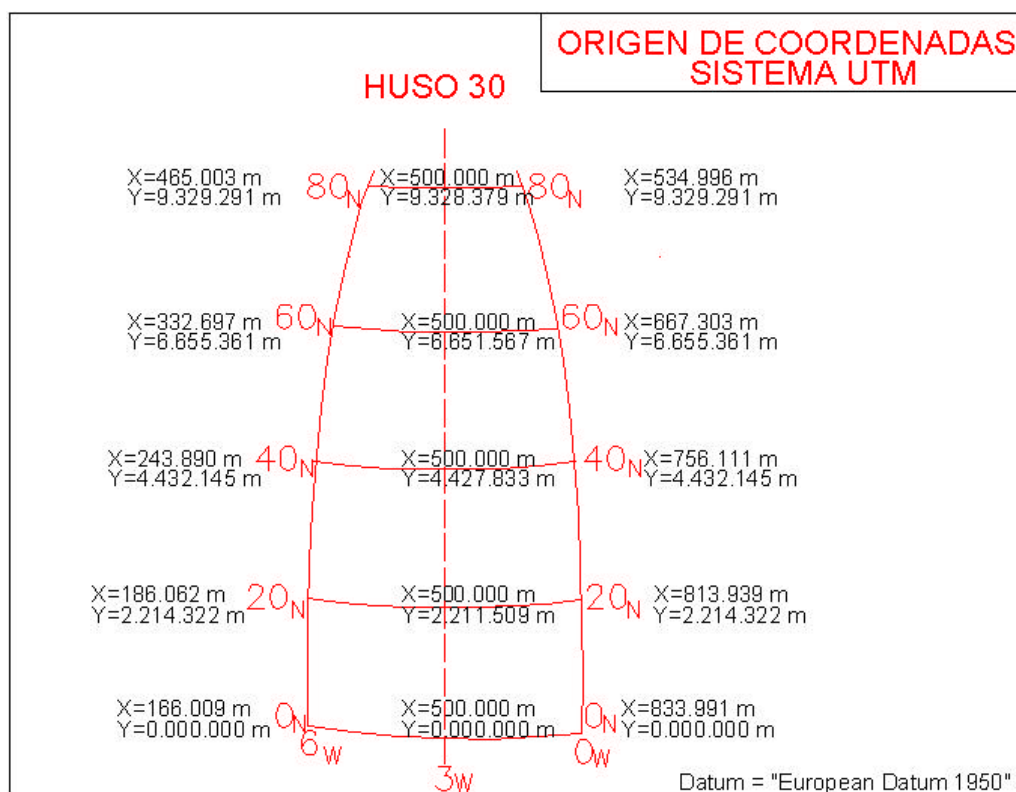


Se toma como coordenada este (**x**, "**easting**") ,500.000 metros, la misma que en el hemisferio norte y de coordenada norte (**y**, "**northing**") 10.000.000 metros, y de la misma manera, no pueden existir coordenadas negativas en la coordenada situada en el hemisferio sur, ya que la mínima coordenada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

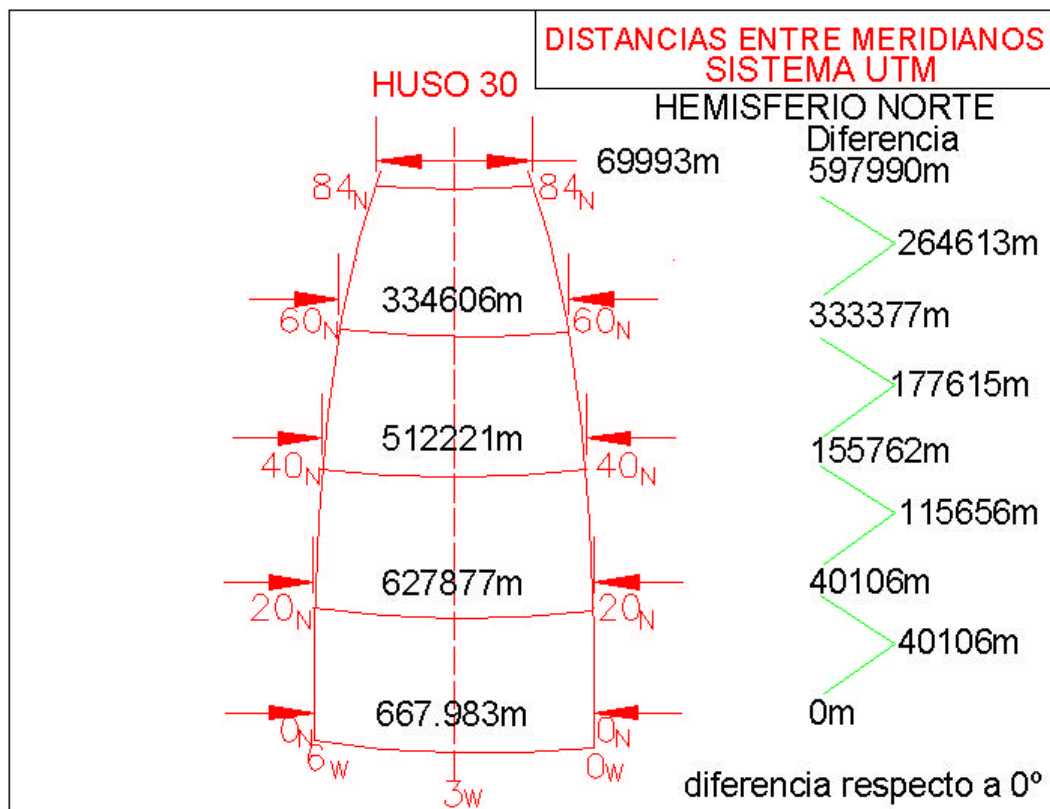


Obsérvese que la coordenada **y**, "northing", únicamente coincide en todos los puntos situados sobre el paralelo 0° (ecuador), 0°N 0°W, 0°N 3°W y 0°N 6°W. En todos estos puntos, situados en el ecuador toma el valor de 0.000.000 m. Recuérdese que únicamente esta línea está orientada según el paralelo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

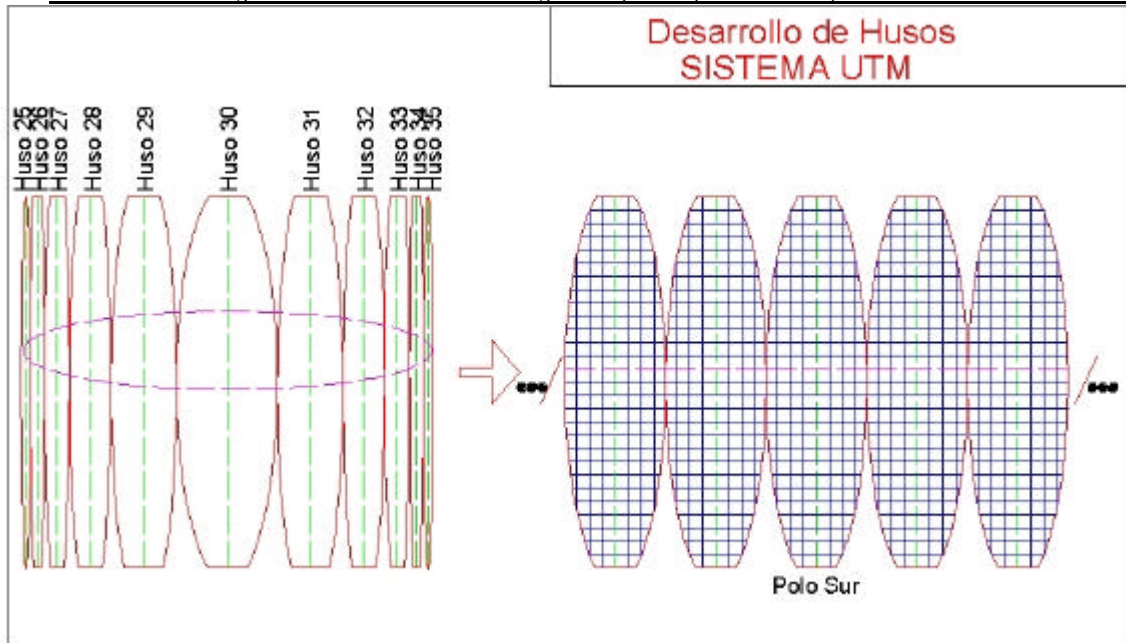
Con el origen de coordenadas del sistema UTM y a causa de la proyección efectuada, hace que disminuya las distancias entre meridianos según se avanza en dirección Norte:



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

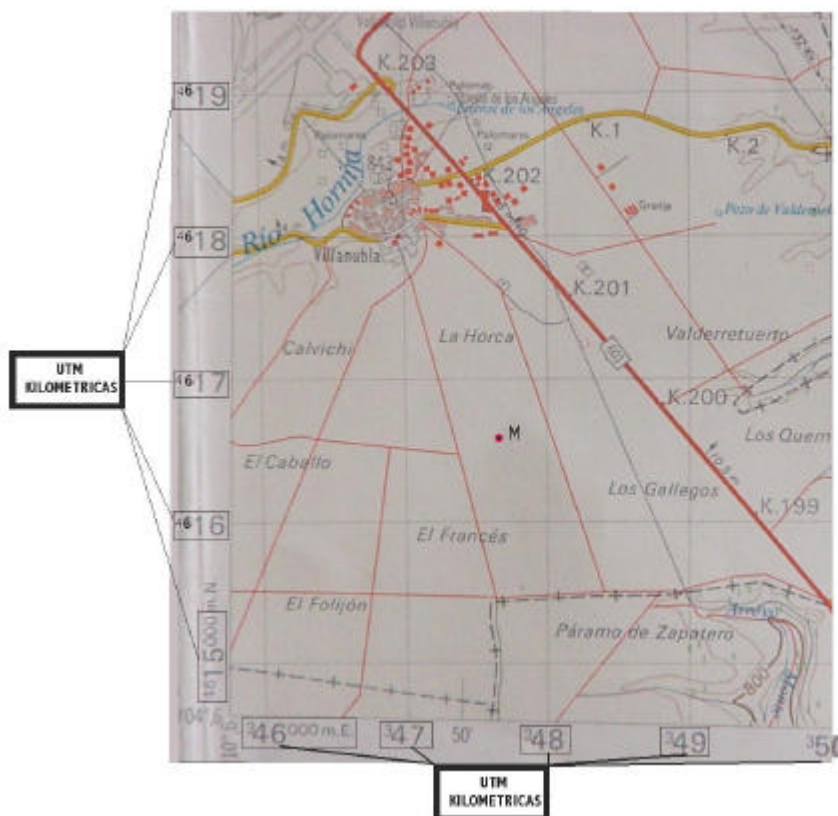
Como resultado de emplear un sistema cartesiano, es habitual la existencia en la cartografía de mallas que unen puntos de igual ordenada y abscisa.

La separación de las mallas varia 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**:

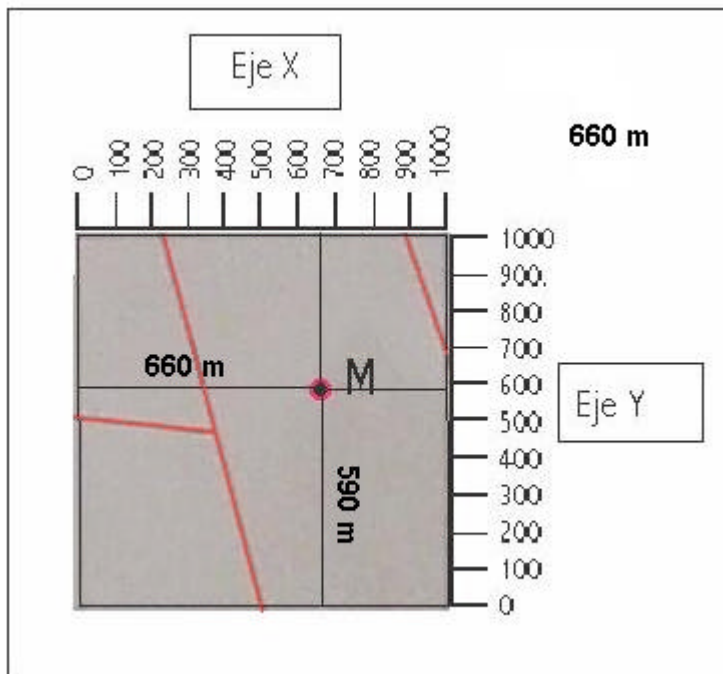


La designación kilométrica de la coordenada **x** (**eastings**) se nombra mediante tres dígitos, uno de los cuales, el primero, se encuentra de menor tamaño de fuente. La designación de la coordenada **y** (**northing**) se nombra mediante cuatro dígitos, de los cuales, los dos primeros se encuentran 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:



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

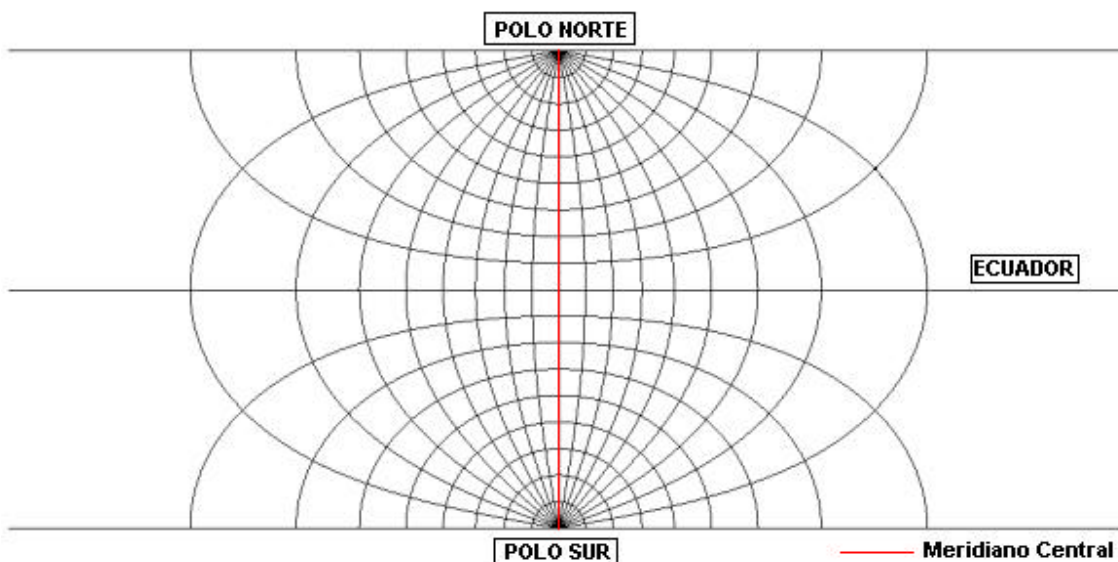
$$y = 590 \text{ m}$$

Luego la coordenada buscada es:

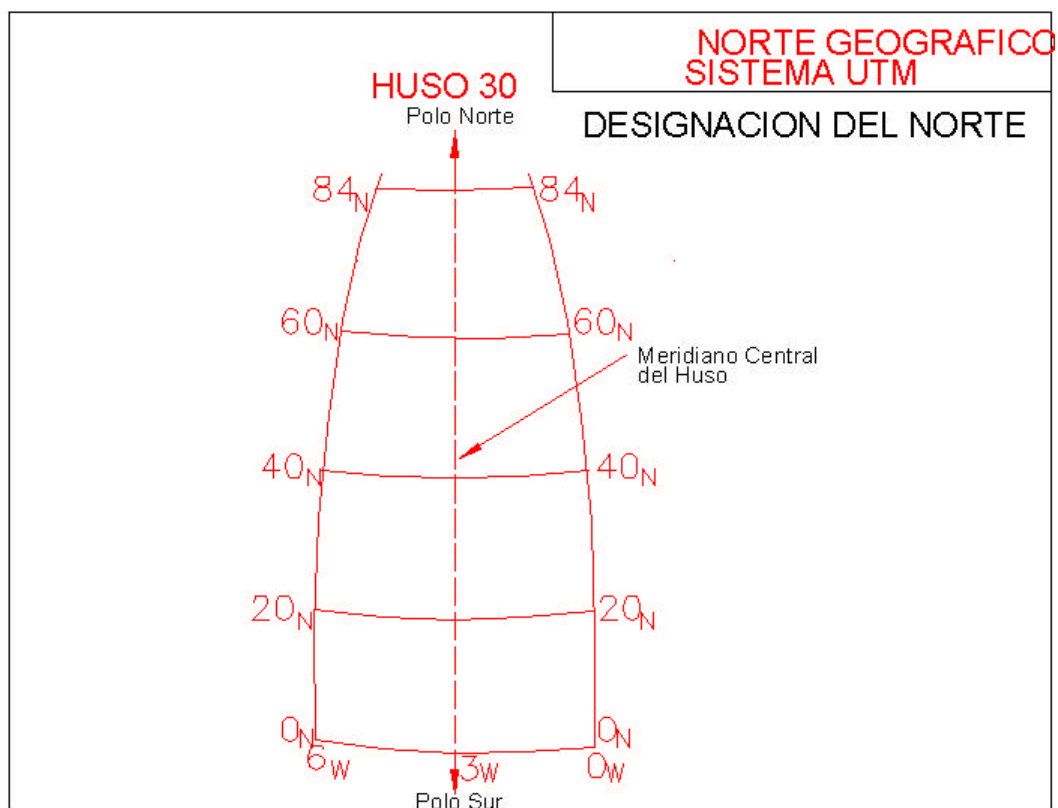
	X	Y
Kilométrica	347.000 m	4.616.000 m
Apreciación en la Cuadrícula	660 m	590 m
Coordenada Buscada	347.660 m	4.616.590 m

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:

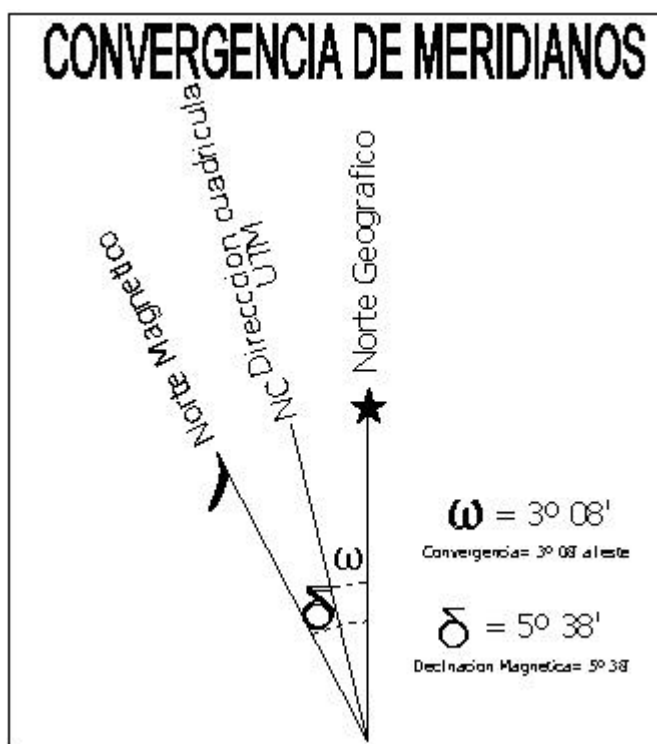


El valor de la coordenada **UTM x** toma el valor de 500.000 m, según la definición del sistema.

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.

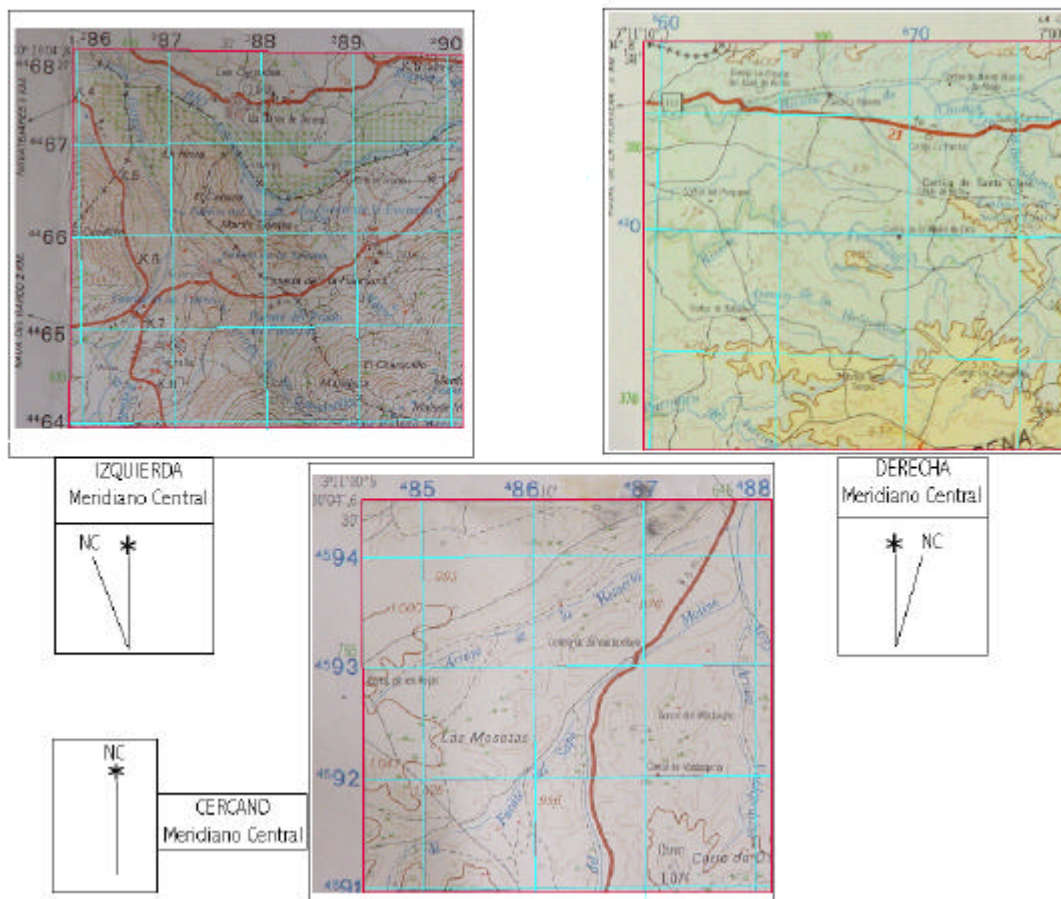
Convergencia de meridianos al Oeste del Meridiano Central del Huso

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

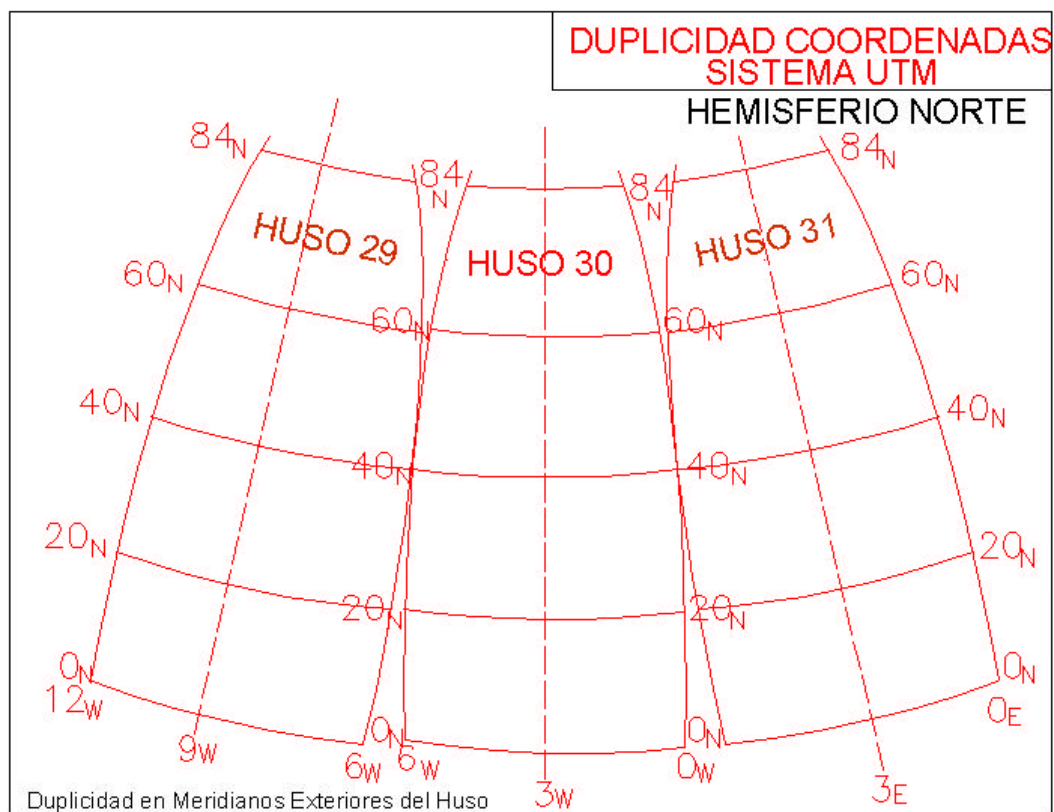
Nótese que en la designación de la coordenada tiene (n) dígitos en la coordenada **Norte** "y", y (n-1) dígitos en la coordenada **Este** "x".

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:

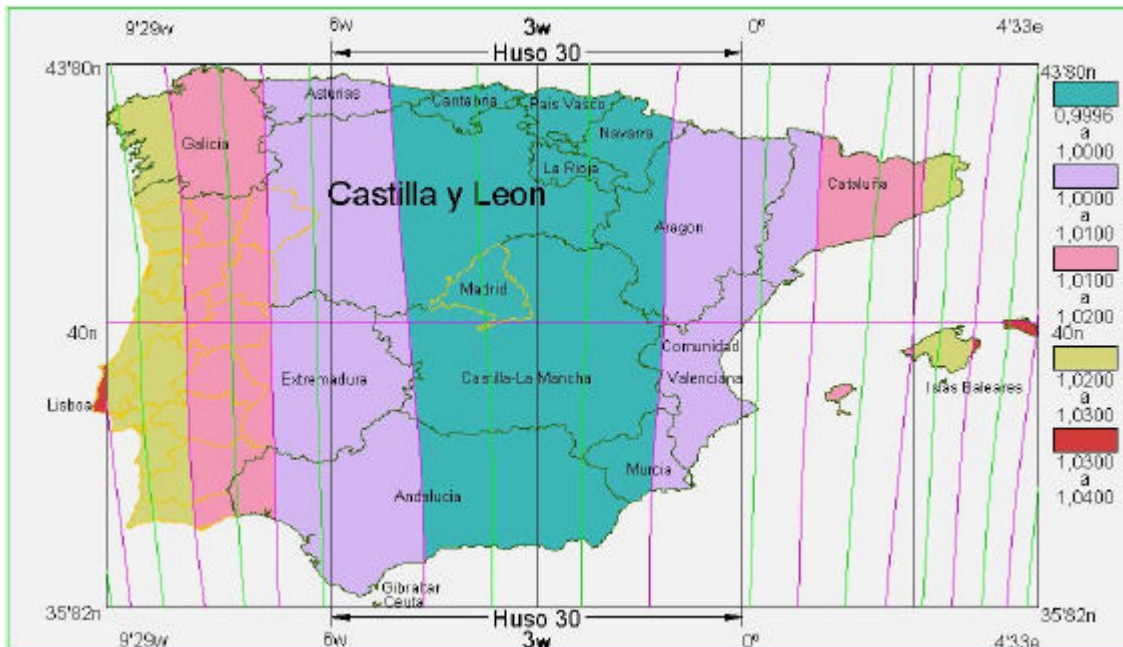
Origen	Geográfica	Coordenada UTM		Origen
		X	y	
Huso 29	42°0'0.0"N4°0'0.0"W	914143.57	4661883.98	Huso 29
Huso 30	42°0'0.0"N4°0'0.0"W	417181.93	4650259.84	Huso 30
Huso 31	42°0'0.0"N4°0'0.0"W	-79874.09	4673541.14	Huso 31

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:

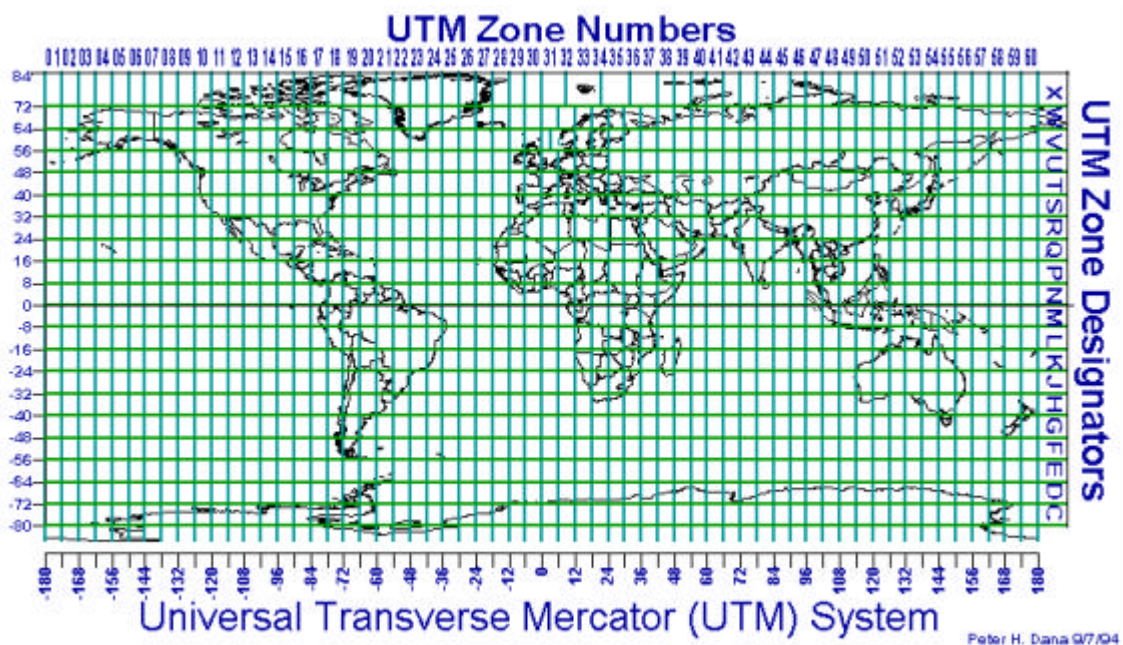
- Sobre el **Huso 30**: posiciones UTM que se encuentran en el huso 29, 30 y huso 31, Península Ibérica, baleares y Plazas Africanas
- Sobre el **Huso 28**: posiciones UTM que se encuentran en el Huso 28 y huso 27, (Canarias).

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



4 SISTEMA UTM. DISTRIBUCION DE HUSOS

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



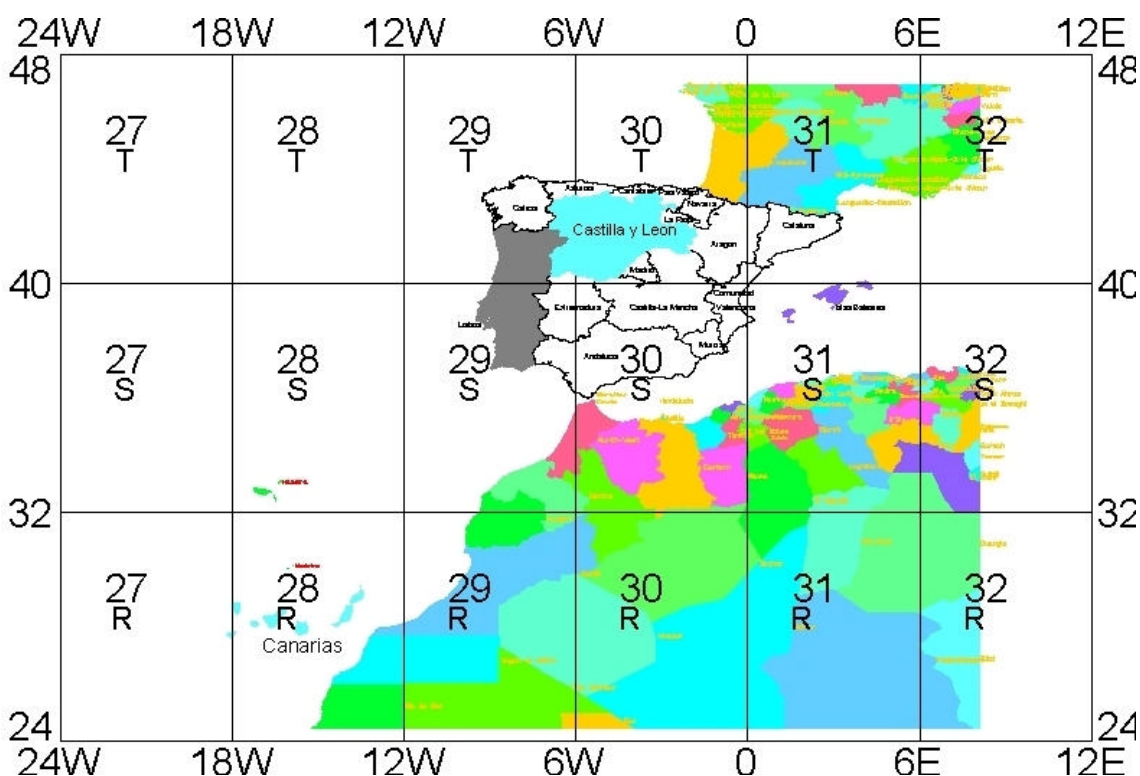
Cada **HUSO** comprende un total de **6 °** de **LONGITUD**, medidos desde el antemeridiano de **Greenwich** (180° Este), numerados en dirección este.

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

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

4.1 Distribución de Husos y Zonas para España

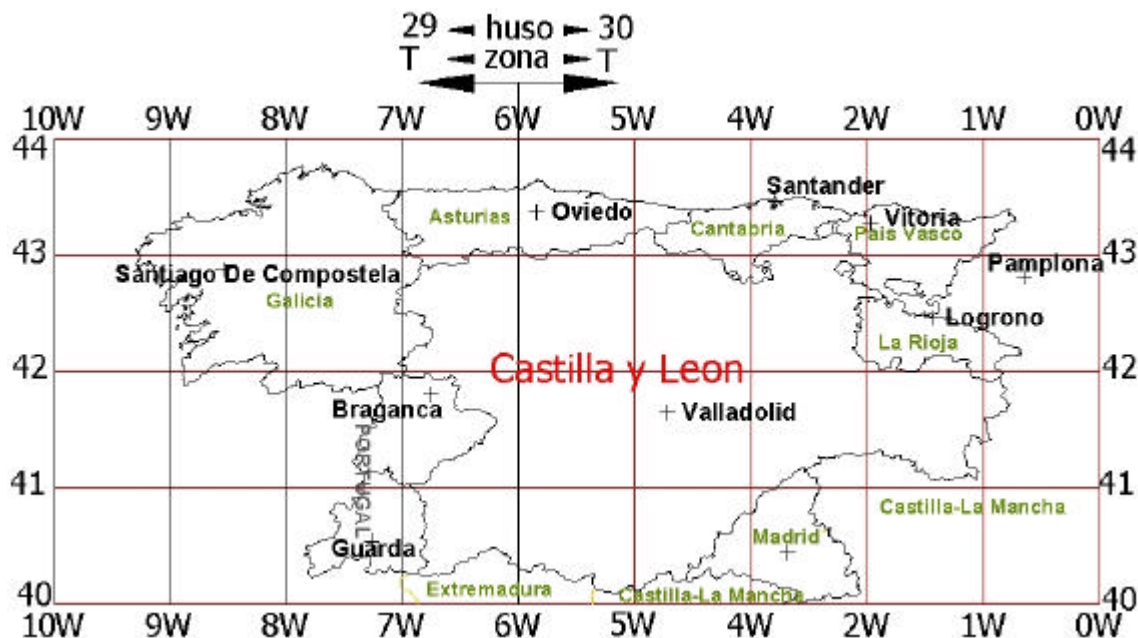
La distribución de **Husos y zonas** para España es la siguiente:



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

4.2 Distribución de Husos y Zonas para Castilla y León

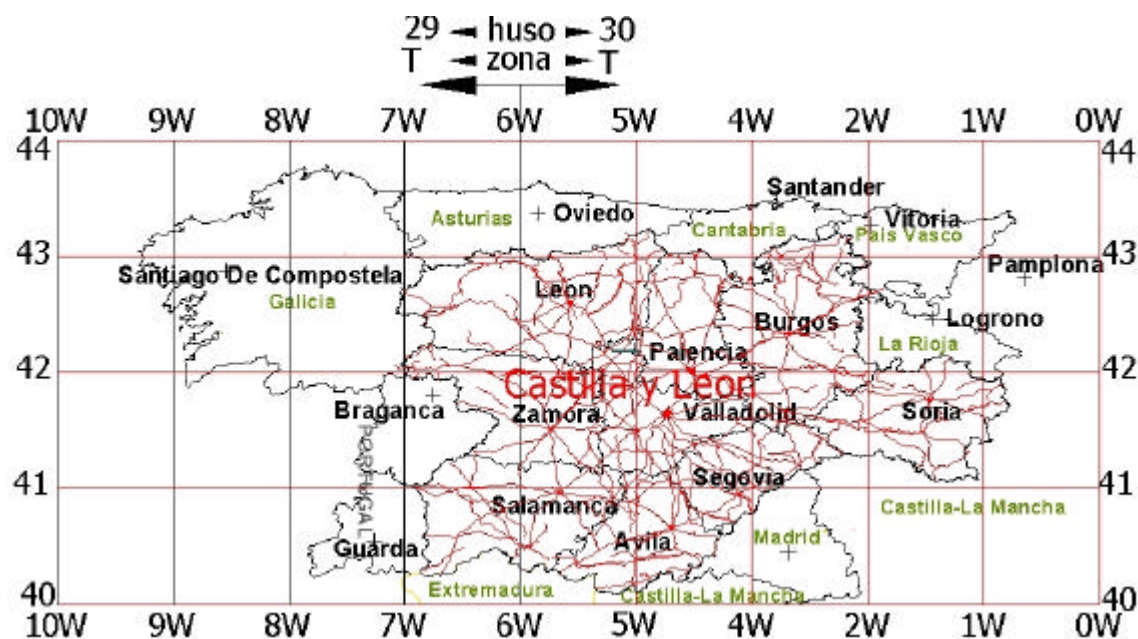
Para nuestra Comunidad Autónoma, Castilla y León, se localizan los dos siguientes husos:



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

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

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



5 CUADRICULAS DE COORDENADAS UTM

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

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

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

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

Por ejemplo para el siguiente mapa 1:50.000:



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

X= 349.170 m
Y= 4.708.900 m

La coordenada UTM define un cuadrícula de la siguiente resolución:

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

Máxima apreciación (Ma);

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

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



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

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

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

Únicamente se podría definir la coordenada:

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

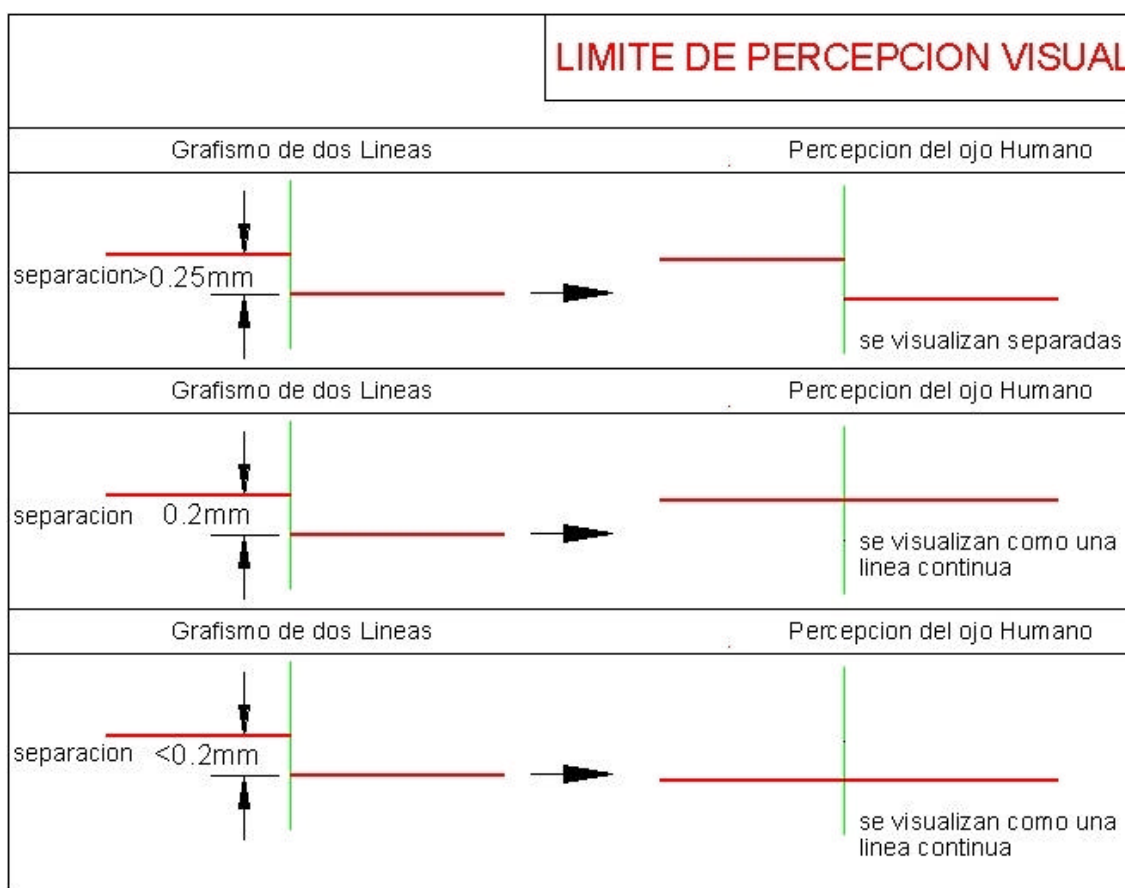
Ya que cualquier otra coordenada designada quedaría por encima de la resolución máxima que somos capaces de apreciar en el mapa.

5.1 Limite de Percepción Visual

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

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

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



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

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

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

Máxima apreciación (**Ma**);

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

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

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

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

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

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

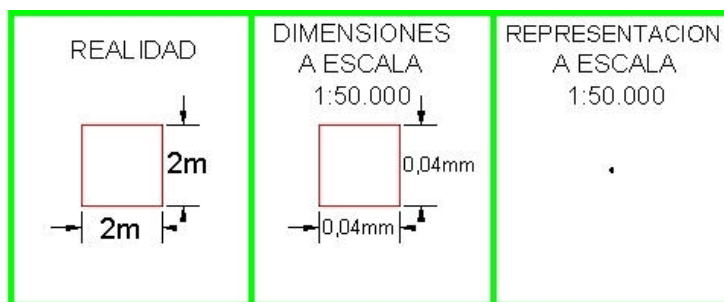
Máxima apreciación (**Ma**) 1:50.000;

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

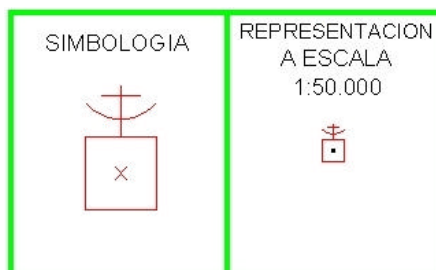
con las del mapa/plano 1:10.000

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

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

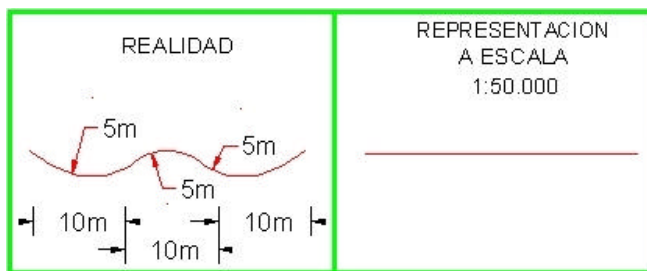


Para representar este elemento en la cartografía y transmitir información de lo que se ha representado con el punto, deberemos recurrir a un símbolo, ya que un rectángulo de 0.04mm x 0.04mm no se puede representar:

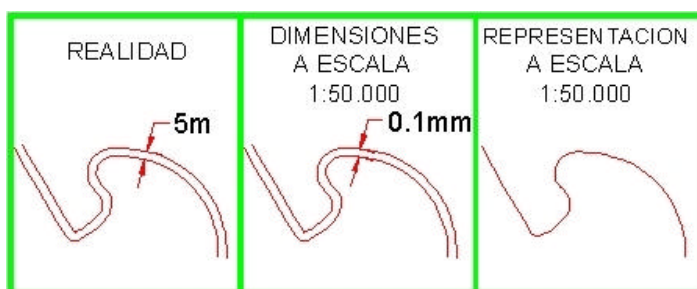


Este **límite de percepción visual** no solamente afecta a entidades puntuales, sino que afecta a todos los elementos a representar, por ejemplo a

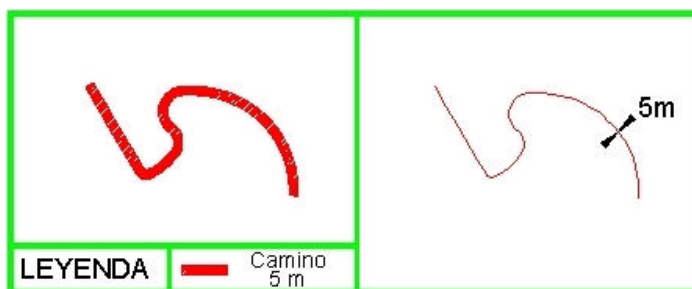
un camino que tiene una serie de curvas de 5 metros de radio representados a escala 1:50.000:



En el que la representación del camino es una línea recta, lo que no quiere decir que el camino no pueda ser representado a escala 1:50.000 porque su anchura sea menor de los 10 m de apreciación en el **limite 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 limite de percepción visual, **si es posible** incluir información cartográfica existente en mapas/planos de escala superior a la del plano original, ya que no será posible apreciar los errores propios de la información cartográfica introducida en el plano creado, por ejemplo parte de la información contenida en un mapa/plano 1:50.000 cuando se introduce en un plano/mapa 1:200.000.

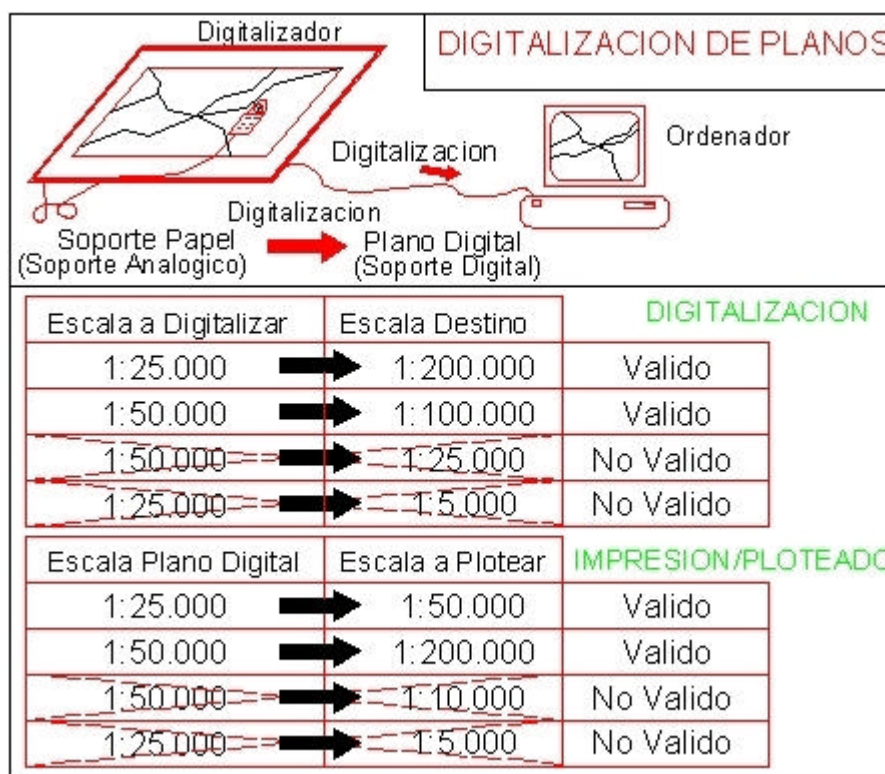
5.2 Digitalización de planos/mapas

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

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

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

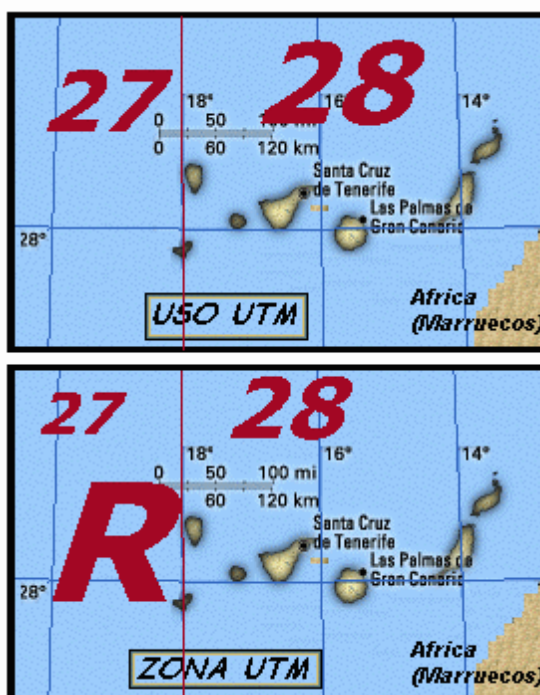
De igual manera no se podrá apreciar en la información digital una coordenada con precisión superior a la existente en el soporte papel original, aunque el sistema informático CAD empleado nos permita apreciar un numero dígitos decimales o enteros superior, sin que la información suministrada por el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



6 LOCALIZACION DE HUSOS Y ZONAS UTM PARA ESPAÑA

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

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



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



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



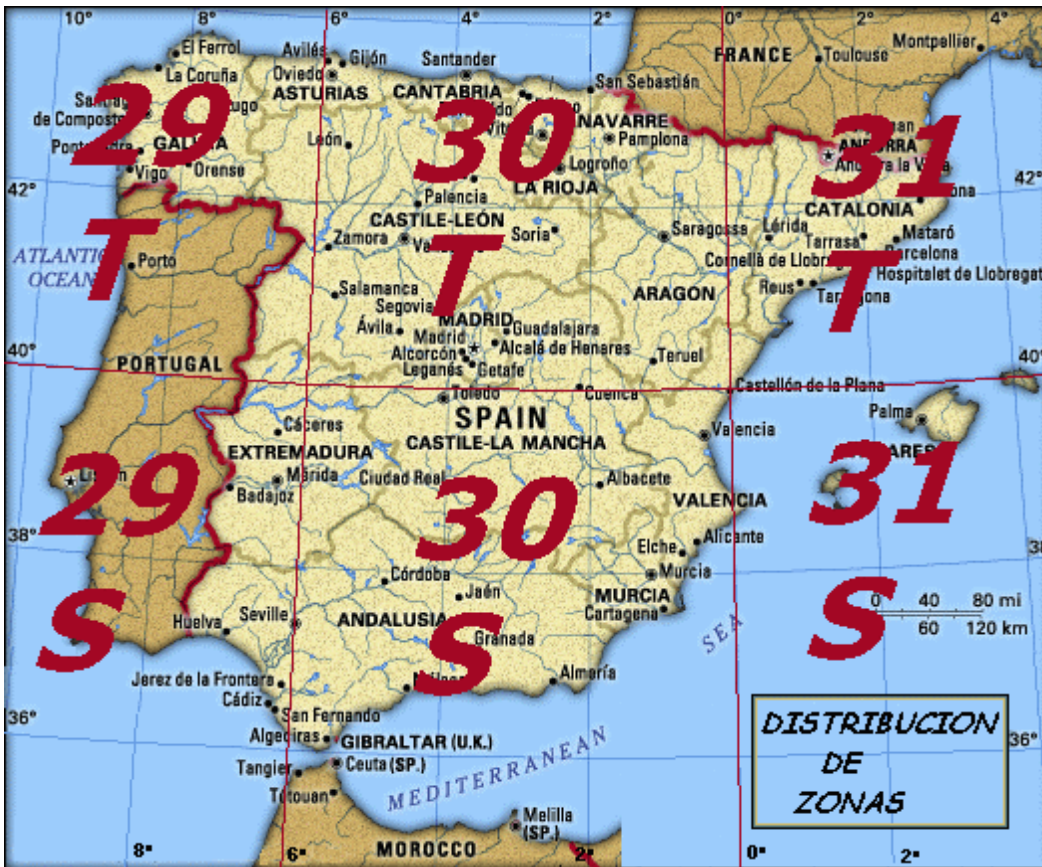
Huso 31: Primer Huso en dirección Este, comprende desde los 0° (Greenwich) hasta 6° de LONGITUD Este (E). Bajo este huso se localizan la zona este de España, parte de la comunidad Valenciana y Cataluña en la zona T y el archipiélago balear en la zona S:



Siendo para el conjunto de la Península Ibérica:



Distribución de zonas para el conjunto de la Península Ibérica:



6.1 INDETERMINACION CAUSADA POR NO ESPECIFICAR EL HUSO

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

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

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

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

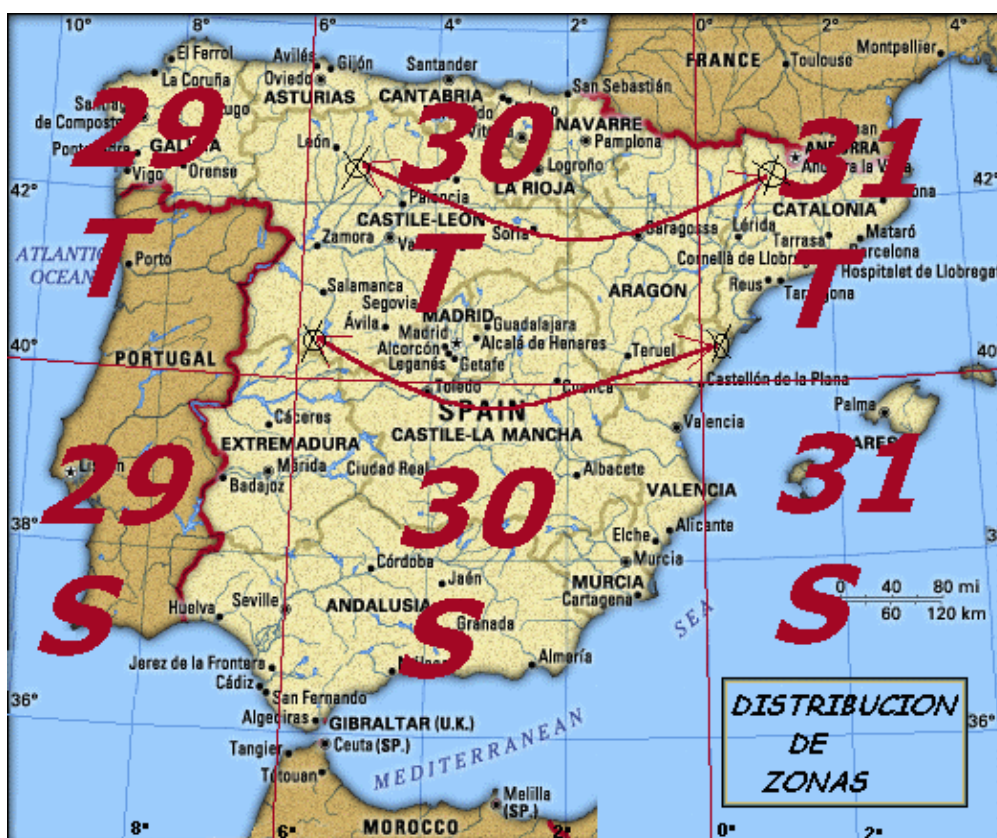
$$\begin{aligned} X &= 302975 \text{ m} \\ Y &= 4707700 \text{ m (ED50 Huso 30, zona T)} \end{aligned}$$

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

O por ejemplo las coordenadas;

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

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



Software empleado:

Geomedia Profesional. Intergraph

Microstation 95, Intergraph

Autocad LT 97. Autodesk

Arc View 3.1 . Esri.

Pc GPS, CMT inc.

Garmin GPS II plus

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

UTMCON,

Carta Digital De España. Servicio Geográfico del Ejército.

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

GENCORD PLUS '99. EOSGIS.

Bibliografía

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

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

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

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

Manuales técnicos:

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

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

GPS & Glonass. Descripción y Aplicaciones. M^a 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

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

Ultima Revisión 13 de febrero de 2001