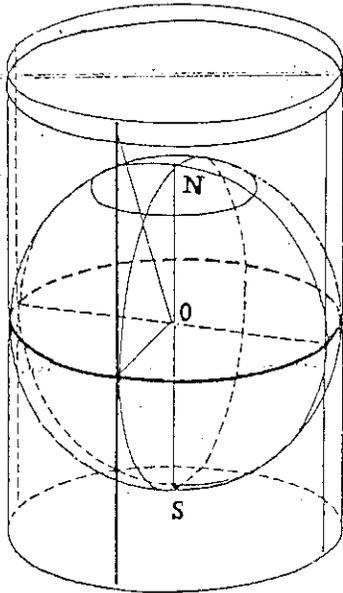
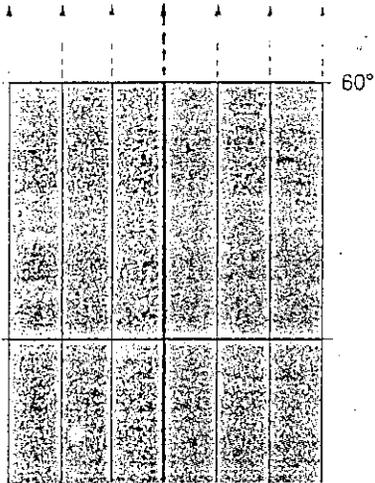


PROYECCIÓN CILÍNDRICA
con contacto en el Ecuador

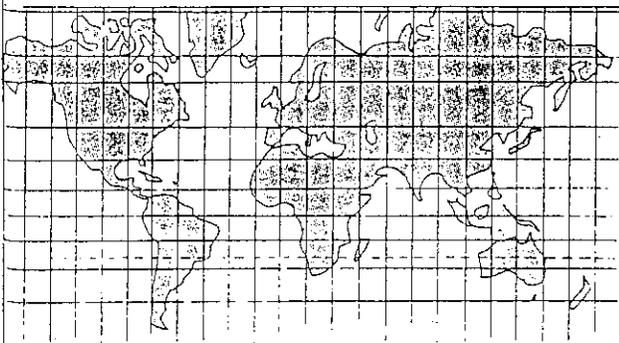


hacia el Polo en el infinito



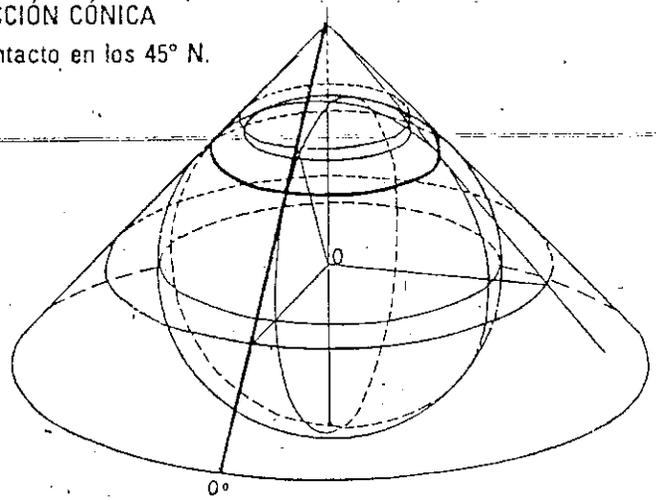
paralelo de escala conservada (Ecuador)
90° W 0° 90° E

hacia el Polo en el infinito

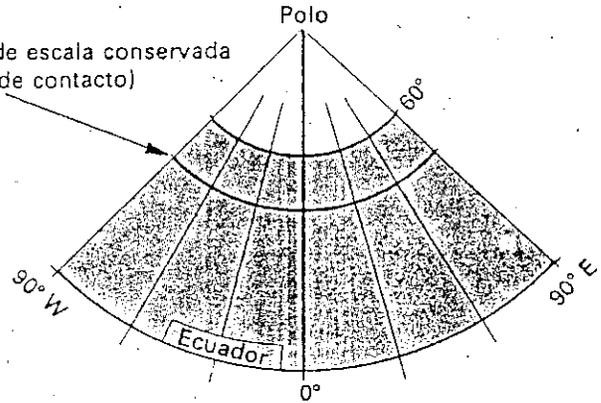


En la proyección cilíndrica están muy exageradas las superficies en las altas latitudes. Solamente en el Ecuador las dimensiones son exactas.

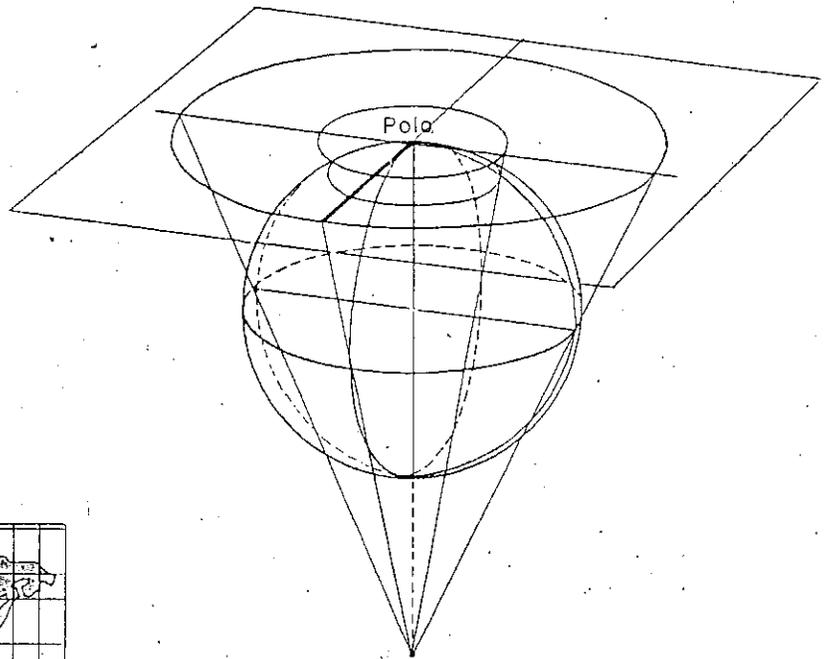
PROYECCIÓN CÓNICA
con contacto en los 45° N.



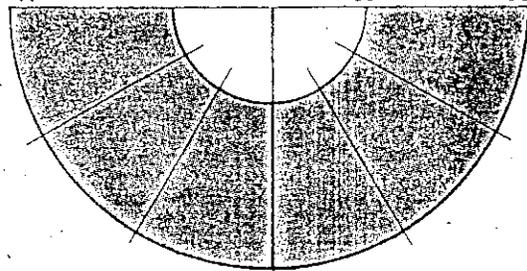
paralelo de escala conservada
(paralelo de contacto)



PROYECCIÓN SOBRE UN PLANO CON CONTACTO EN EL POLO NORTE



90° W Polo 60° 90° E



5.2 Proyecciones cartográficas

Introducción.- Tipos de sistemas.-

La elección de un sistema de proyección depende de la utilización que hay de hacerse de la carta o del mapa. En muchos casos, bastará con la representación de los detalles geográficos sin excesiva precisión. Puede ser el caso de la representación de planisferios, en que se buscan los contornos de continentes, islas, países, etc.

En general, los mapas han de satisfacer una serie de propiedades geométricas. Así, para la marina y la aviación, en que se navega siguiendo unas líneas llamadas loxodrómicas u ortodrómicas que mantendrán al piloto en el rumbo elegido, la carta o mapa tendrá que conservar los ángulos, o lo que es lo mismo, ser conforme.

Los sistemas que conservan los ángulos, es decir, las líneas en la esfera forman al cortarse el mismo ángulo que sus representaciones planas (el ángulo de dos curvas que se cortan es el ángulo de sus tangentes); se las llama **conformes** y la conservación de ángulos vale para cualquier par de curvas, en caso de que no haya igualdad de ángulos la diferencia existente en cada caso entre el ángulo real y el del mapa es la **anamorfosis angular**.

Asimismo, estas proyecciones podrían servir para acciones militares en que además, se precisa medir distancias con la máxima precisión para el lanzamiento de proyectiles. A las proyecciones que conservan distancias se les denomina **afiláticas**.

Los sistemas que conservan las distancias en ciertas líneas determinadas (**automecoicas**). Eso quiere decir que en esas líneas o direcciones la escala es la misma, en cambio no lo es entre dos puntos cualesquiera, existiendo deformaciones que se llaman **anamorfosis lineal**.

Hay sistemas que conservan las distancias a lo largo de direcciones especiales, p. e. las que salen de un punto determinado, (**equidistantes**).

El cociente de la escala correspondiente a la distancia entre esos puntos y la escala en las líneas automecoicas no es la unidad, sino un número mayor o menor próximo a la unidad.

Por otra parte, la conservación de superficies es importante para la realización del catastro y todas sus consecuencias fiscales. Las proyecciones que conservan las superficies se les denomina **equivalentes**.

Los sistemas que conservan la superficie de cualquier figura, se les llama **equivalentes**; las proyecciones no equivalentes presentan **anamorfosis superficial** (cociente entre superficie del mapa y superficie real).

A pesar de que en cada caso sería conveniente utilizar proyecciones conformes, afiláticas o equivalentes, según las necesidades geográficas y cartográficas, en los mapas modernos la proyección más utilizada es la conforme.

No hay proyección que conserve los tres tipos de dimensiones (ángulos, distancias y superficies)

CONFORMES	<i>Conserva los ángulos</i>	<i>(navegación aérea)</i>
APHILÁTICAS	<i>Conserva algunas distancias</i>	<i>(acciones militares)</i>
EQUIVALENTES	<i>Conserva superficies</i>	<i>(realización de catastro)</i>

CLASIFICACIÓN GEOMÉTRICA

Otro aspecto que sirve para clasificar los sistemas depende de la definición geométrica de los distintos sistemas (paso de la esfera al plano se ha hecho directamente o por intermedio de un cilindro o de un cono). Según este criterio se clasifican en:

PROYECCIONES.- Si se hacen *directamente* se habla de **proyecciones planas o perspectivas**. Se obtienen proyectando la superficie terrestre sobre un plano, desde un punto que llamaremos vértice de proyección. (*Estereográfica, ortográfica, gnomónica, Mapa Topográfico Nacional...*)

DESARROLLOS.- Si hay *paso intermedio* son **desarrollos**. Se obtienen considerando una superficie cónica o cilíndrica tangente a la esfera. Se define en ellos una correspondencia entre los puntos de la esfera y del cono o cilindro, desarrollando después esta superficie, en cuyo caso se llaman directos. Si dicho eje está en el plano del Ecuador se llaman desarrollos transversos, y si ocupa cualquier otra posición, dará lugar a los desarrollos oblicuos o también llamados horizontales.

Si se pasa de la esfera a un cilindro, que después se desarrolla, se obtiene una *proyección cilíndrica* (*Mercator, U.T.M.*).

Si es de la esfera a un cono, se trata de una *proyección cónica* (*Lambert, Bonne...*)

ANALÍTICOS.- Hay otros sistemas de representación, cuyo origen no es geométrico, sino analítico. Entre ellos está el utilizado hace unos años en la Cartografía oficial española.

Como superficie de referencia se utilizará la esfera ($R_T = 6.370$ km.), o el elipsoide (los radios de curvatura de las secciones principales son:

$$\begin{aligned} \text{la gran normal o normal principal} \quad N &= \frac{x}{\cos \varphi} = \frac{a}{(1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi)^{1/2}} \\ \text{y el radio de curvatura de la elipse meridiana} \quad \rho &= \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi)^{3/2}} \end{aligned}$$

Los radios de curvatura dependen de la latitud φ y de los parámetros a y e del elipsoide, por lo que todos los puntos de un paralelo tendrán los mismos radios de curvatura principales)

El radio del paralelo de un punto en la esfera = $R \cos \varphi$ en el elipsoide = $N \cos \varphi$

Un elemento de arco de paralelo en el elipsoide será $N \cos \varphi d\lambda$

Un arco ds de meridiano sobre la esfera $ds = R d\varphi$ en el elipsoide $ds = \rho d\varphi$

Dentro de cada grupo se puede distinguir si se trata de una **proyección geométrica** propiamente dicha o de una **representación analítica** y dentro de las geométricas si se ha proyectado según rectas paralelas o rectas concurrentes.

También puede considerarse si el plano en el primer caso es:

<u>tangente en un polo a la Tierra</u>	(polar o ecuatorial)
<u>tangente en un punto del ecuador</u>	(meridiana o transversa)
<u>o en un punto distinto de éstos</u>	(oblicua)

En el caso de *proyecciones cónicas y cilíndricas* se distinguen las **tangentes** y las **secantes**, según lo sean a la tierra los conos o cilindros auxiliares.

Análogamente, según la *posición de su eje*, se les llama **polares, transversas y oblicuas**.

Las *ecuatoriales y meridianas* se denominan también **acimutales**, y las *oblicuas*, **cenitales**.

PROYECCIONES	Desde un punto (vértice de proyección) se proyecta la superficie terrestre sobre un plano.
DESARROLLOS	Se obtienen en una superficie cónica o cilíndrica tangente a la esfera, luego se desarrolla.

ANALÍTICOS *No son de origen geométrico, sino analítico.*

PROYECCIONES

ESCENOGRÁFICA	<i>El vértice de proyección es un punto cualquiera del espacio exterior a la esfera (a distancia finita)</i>
GNOMÓNICA	<i>El vértice de proyección coincide con el centro de la esfera.</i>
ESTEREOGRÁFICA	<i>El vértice es un punto de la esfera, plano de proyección normal al diámetro que pasa por el vértice.</i>
ORTOGRÁFICA	<i>El vértice de proyección está en el infinito, plano de proyección normal a la dirección del vértice.</i>

ECUATORIAL o directa o polar
 MERIDIANA o transversa
 HORIZONTAL u oblicua

DESARROLLOS

CILÍNDRICOS

DIRECTOS
 Equivalente de LAMBERT
 Meridianos automecoicos
 Conforme (Carta Mercator)

TRANSVERSOS
 Conforme de Gauss
 U.T.M.

CÓNICOS

DIRECTOS
 Conforme de Lambert
 Conforme de Lambert limitado (*no rigurosamente conforme*)

Cuadrícula UTM.-

El sistema de referencia más universal de puntos sobre la Tierra es el geográfico:

latitud	el origen es el Ecuador terrestre, latitud positiva hacia el norte y negativa hacia el sur
longitud	el origen es el meridiano de Greenwich, longitud positiva hacia el este y negativa hacia el oeste

El sistema geográfico es el más adecuado a las aplicaciones geográficas, pero es un poco complicado para usos técnicos. Por esto se prefieren los sistemas de referencia rectangulares.

En las aplicaciones técnicas de la proyección U.T.M. (levantamientos topográficos, construcción de mapas...) son las coordenadas rectangulares X, Y las utilizadas en su correspondiente huso.

Sin embargo, para el empleo de los mapas se ha establecido un sistema universal de designación de puntos, compuesto de letras y cifras, que es la CUTM (Cuadrícula U.T.M.) que nos permite la identificación de un punto con la aproximación deseable, utilizando en cada caso el mínimo necesario, suficiente y posible de datos y omitiendo los superfluos.

- Los **60 husos** de **6°** de amplitud, numerados del 1 al 60 a partir del meridiano 180° de longitud Greenwich, en el sentido Oeste - Este
- **20 bandas** esféricas de **8° de latitud** entre los paralelos +- 80°, que se alfabetizan con letras mayúsculas, de sur a norte, desde la C hasta la X incluidas (excluyendo las CH, I, LL, Ñ y O)

De la intersección de los husos con las bandas resultan $60 * 20 = 1.200$ trapecios esferoidicos de 6° de longitud por 8° de latitud, que reciben el nombre de **zonas** y se designan cada una de ellas por el número del huso seguido por la letra de la banda, no hay repeticiones. Esta es la cuadrícula básica.

España está en las zonas: 29S, 30S, 31S, 29T, **30T**, 31T y 27R, 28R para las Islas Canarias.

Hasta aquí la CUTM está definida por meridianos y paralelos, que son líneas geográficas; en adelante las subdivisiones se establecen, dentro de cada huso por rectas paralelas a los ejes coordenados, de la siguiente forma:

- **Se divide cada huso en cuadrados de 100 Kms.** De lado, a partir del Ecuador (eje de las X), hacia el Norte y el Sur, y a partir del meridiano central (eje de las Y) hacia el Este y el Oeste.. Cada cuadrado se designa por una pareja de letras combinadas de manera que dentro de un área de 18° de longitud por otros 17° de latitud no se repite la denominación de un cuadrado.
 - * Las columnas de cuadrados se rotulan sobre el Ecuador de Oeste a Este, a partir del meridiano de 180°, con dos letras mayúsculas desde la A hasta la Z (excluidas las CH, I, LL, Ñ y O), contando con 24 letras. Como el arco del Ecuador de 6° de longitud tiene un desarrollo de unos 668 Kms., cada huso comprende en el Ecuador seis cuadrados completos (de 100 Kms) y otros dos cuadrados parciales, por lo que se necesitan ocho letras, de modo que dichas 24 letras se repiten exactamente cada tres husos, es decir, cada 18° de longitud.
Los cuadrados laterales incompletos de cada huso se van estrechando a medida que aumenta la latitud.
 - * Las filas de cuadrados se rotulan con mayúsculas con 20 letras, desde la A hasta la V (excluidas las CH, I, LL, Ñ y O). En los husos impares la letra A rotula los cuadrados junto al Ecuador, mientras que en los pares los cuadrados se rotulan con la F.

De esta forma resulta que dos filas de cuadrados con la misma letra dentro de un mismo huso están separadas por $19 * 100$ Kms desarrollo aproximado de 17° del arco de meridiano, de modo que la designación completa de un cuadrado se repite cada 17° de latitud. Por tanto, dos cuadrados con la misma designación no se encuentran dentro de un área de 17° de latitud por 18° de longitud.

La designación de un cuadrado se expresa por la letra de la columna seguido por la letra de la fila. Si puede haber ambigüedad en la designación, se antepone la sigla de la zona, por ejemplo 30TWM es único en toda la Tierra.

La identificación completa de un punto cualquiera en la CUTM constará de:

- la designación de la zona y el cuadrado de los 100 kms
- las coordenadas numéricas del punto, en las que se prescindirá de las cifras que representen las centenas de kilómetros, por estar contenidas implícitamente en la sigla del cuadrado de los 100 kms.

Por ejemplo, un punto comprendido en el huso 30 que tiene de coordenadas UTM aproximadas al metro de:

$$X = 468.367$$

$$Y = 4.582.717$$

Este punto está en la zona 30T y en el cuadrado VL, la designación del cuadrado de 100 Kms será 30TVL

Todos los puntos del huso 30 cuya X comience por 4 y cuya Y comience por las cifras 45, estarán contenidos en dicho cuadrado, por lo que no será necesario citar estas cifras para identificar el punto dado, cuya referencia completa será, aproximada al metro:

$$30 T V L 6836782717$$

(aproximación de 1 metro)

las cifras de la abscisa y de la ordenada se escriben sin separación entre unas y otras después de las letras del cuadrado. Estas cifras son siempre en número par, en el ejemplo diez cifras. Las cinco primeras corresponden a la abscisa y las cinco últimas a la ordenada del punto dentro del cuadrado de los 100 Kms. Es decir, que dicho punto, en el sistema rectangular de referencia 30 TVL, tiene por

coordenadas:

$$X = 68367$$

$$Y = 82717 \text{ metros}$$

De los dos grupos de cifras, la primera de la izquierda de cada grupo representa siempre, y sin excepción, decenas de kilómetros, las siguientes, unidades de kilómetros, y así sucesivamente.

Teniendo en cuenta este criterio, cuando no sea necesario o posible aproximar las coordenadas al metro, se prescindirá de las cifras que representan al metro de la abscisa y la ordenada:

30 T V L 68368271	(aproximación de 10 metros)
30 T V L 683827	(aproximación de 100 metros)
30 T V L 6882	(aproximación de 1 Kilómetro)

Primera letra del cuadrado de 100 kms		Segunda letra del cuadrado de 100 kms		Centenas de Kms de la ordenada										
Huso	Centenas de Km de la abscisa	Huso (paridad)	Millares de Km de la ordenada (paridad)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
3+1	A B C D E F G H	2+1		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	
3+2	J K L M N P Q R	2	2	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	
3	S T U V W X Y Z	2+1		L	M	N	P	Q	R	S	T	U	V	
		2	2+1	R	S	T	U	V	A	B	C	D	E	

Características de la proyección U.T.M.

Proyección.-

Universal Transversa Mercator (U.T.M.). Husos de 6° de amplitud

Sistema de referencia geodésico $\varphi, \Delta\lambda$

Origen de longitudes: Meridiano central de cada huso

Origen de latitudes: Ecuador

Sistema de referencia plana X, Y

Eje de coordenadas: Transformada recta del meridiano central del huso

Eje de abscisas: Transformada recta del Ecuador

Sistema de referencia plano convencional X, Y

Obtenido por traslación del sistema anterior, dando al origen del mismo las coordenadas:

$$X = 500.000 \text{ metros}$$

$$Y = 0 \text{ metros}$$

Factor de reducción de escala

$$K_0 = 0,9996$$

Numeración de los husos.-

Del 1 al 60 a partir del antimeridiano de Greenwich y hacia el Este

Superficie de referencia.-

Elipsoide internacional de Hayford, con parámetros fundamentales:

$$\text{semieje mayor } \alpha = 6.378.388 \text{ m}$$

$$\text{aplastamiento } \alpha = \frac{1}{297} = 0,003367$$

