Tema 4.3 Proyecciones cónicas y cilíndricas: La UTM

Cartografía I

2º Curso de IT en Topografía

1er Cuatrimestre 2008/09

EPS Jaén

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

1. Proyecciones cónicas
   - Cónicas polares
   - Proyección Lambert
   - Proyección Bonne
2. Proyecciones cilíndricas
   - Concepto y tipos
   - Polares
3. Proyección Mercator
   - Definición
   - Coordenadas
4. Definición de la UTM
   - Representación
   - Propiedades
   - Uso y aspectos normativos
5. Coordenadas UTM
   - En cada huso
   - Sistemas de coordenadas
6. Cálculos
   - Transformaciones de coordenadas
   - Otros cálculos

1. Proyecciones cónicas
   - Cónicas polares
   - Proyección Lambert
   - Proyección Bonne
2. Proyecciones cilíndricas
3. Proyección Mercator
4. Definición de la UTM
5. Coordenadas UTM
6. Cálculos

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

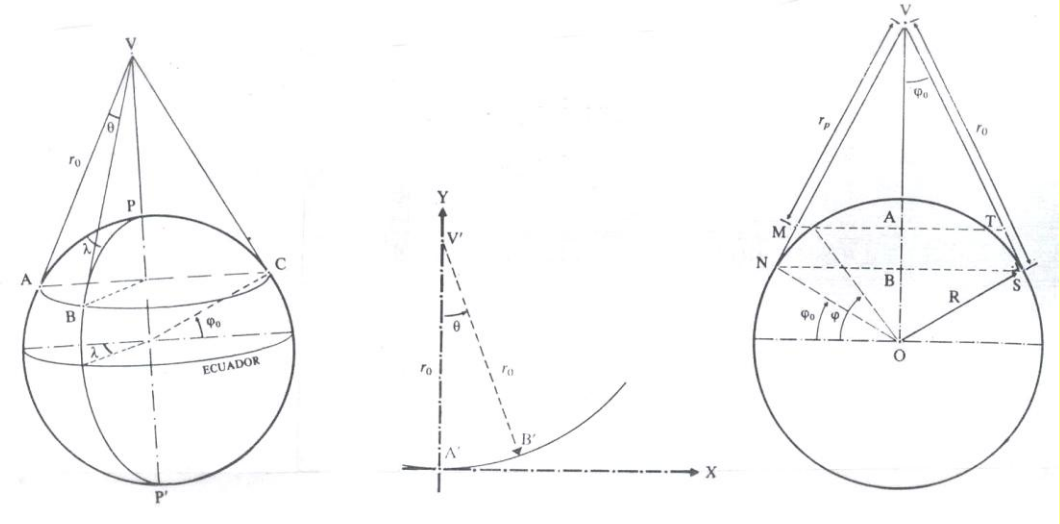
- Se proyecta sobre una superficie cónica, cuyo eje coincide generalmente con el de la Tierra
- El cono es tangente a la Tierra en un paralelo o secante según dos
- Los paralelos tangente o secantes son automecoicos
- En una proyección cónica central polar:
  - Los meridianos son rectas concurrentes en el polo (convergencia)
  - Los paralelos son arcos de circunferencia concéntricos en el polo
- En ella se basan varias proyecciones (equidistantes, equivalentes), pero las más importantes son la conforme (Lambert) y la de Bonne
- Convergencia de meridianos z: Angulo entre cada meridiano y el central

$$AB = rp * \lambda = R * \cos\varphi_0 * \lambda$$

$$A'B' = R\theta * \mathrm{cotg}\varphi_0$$

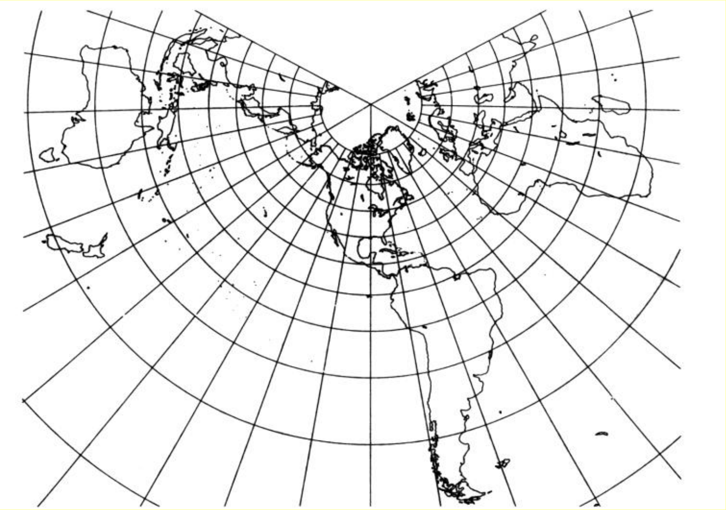
$$\text{Si } AB = A'B'$$

$$\theta = \lambda * \mathrm{sen}\varphi_0$$



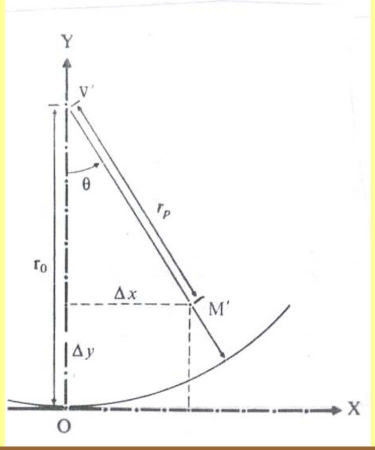
T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

- Es la más conocida de las calculadas por el matemático Lambert (1772)
- Desarrollo matemático conforme dentro de cónicas polares, donde la separación entre paralelos busca esta condición de conformidad
- Mínima deformación en torno a paralelo de tangencia o entre los secantes



- En España en los mapas del ejército:
  - Cono tangente al paralelo 40º
  - Secante a paralelos 37º10’ y 42º50’
- Representación de amplias zonas, sobre todo si se extienden de E a W (USA)
- Meridianos : Rectas concurrentes en el polo (ángulo de convergencia)
- Paralelos: Circunferencias concéntricas separándose desde paralelo tangencia

Coordenadas



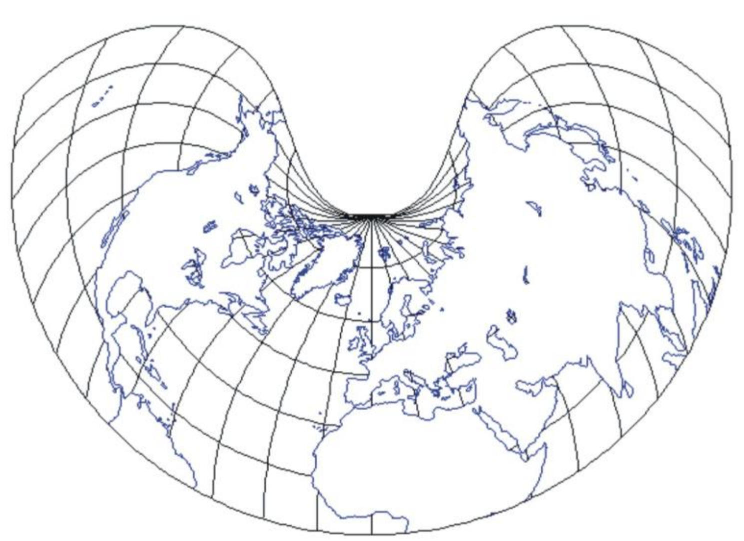
- Eje Y: Meridiano central (p.e. Madrid)
- Eje X: Recta tangente a paralelo de tangencia en Y

$$x = r * sen\theta \quad e \quad y = r_0 - r * cos\theta$$

- Donde r y r0: radio del paralelo del punto y de tangencia en proyección; θ: convergencia
- Para evitar coordenadas negativas el origen se desplaza

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

- El meridiano central automecoico se divide en partes iguales, puntos de paso de los paralelos
- Por ellos se trazan los paralelos como arcos de circunferencia cuyo desarrollo es el real a escala
- Los paralelos se dividen en partes iguales y por ellas se trazan los paralelos
- El aspecto de la representación es una forma característica de abanico



T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

1. Proyecciones cónicas

2. Proyecciones cilíndricas

- Concepto y tipos
- Polares

3. Proyección Mercator

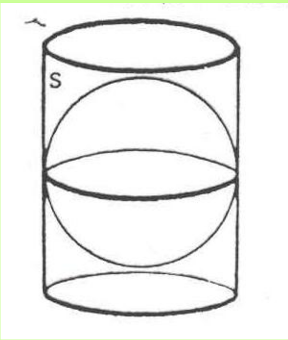
4. Definición de la UTM

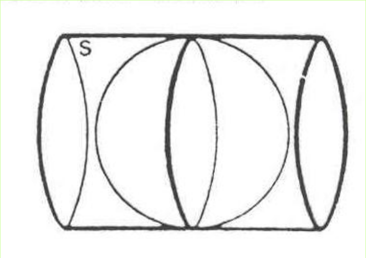
5. Coordenadas UTM

6. Cálculos

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

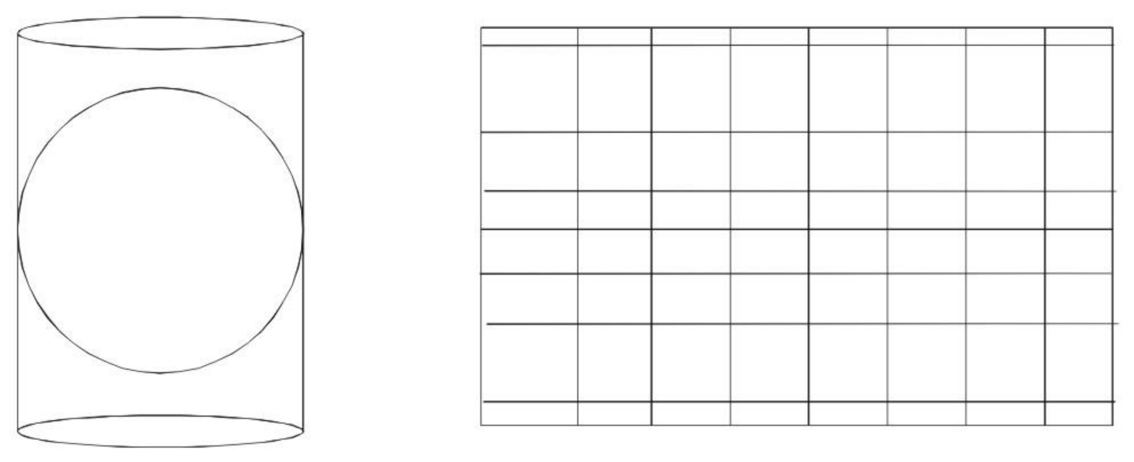
- Se proyecta sobre un cilindro que es perfectamente desarrollable posteriormente sobre un plano
- En función de la posición del cilindro en relación a la esfera:
  - Polares: Eje del cilindro coincide con el de la Tierra
  - Transversas: Los ejes son perpendiculares
  - Oblicuas: Los ejes son oblicuos





T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

- El eje del cilindro coincide con el de la Tierra, es tangente a la Tierra según el Ecuador, que es por lo tanto automecoico
- Si se proyecta la Tierra desde el centro de la misma (proyección cilíndrica central):
  - Meridianos: Rectas paralelas y equidistantes entre sí ($\Delta x = \Delta\lambda$)
  - Paralelos: Rectas paralelas entre sí, y perpendiculares a meridianos



- El espaciado entre paralelos da lugar a distintos desarrollos analíticos:
  - Conforme: Proyección de Marcator
  - Equidistante: Meridianos automecoicos
  - Equivalente: La superficie de los rectángulos igual a los trapecios esféricos delimitados por la red de paralelos y meridianos

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

1. Proyecciones cónicas

2. Proyecciones cilíndricas

3. Proyección Mercator

- Definición
- Coordenadas

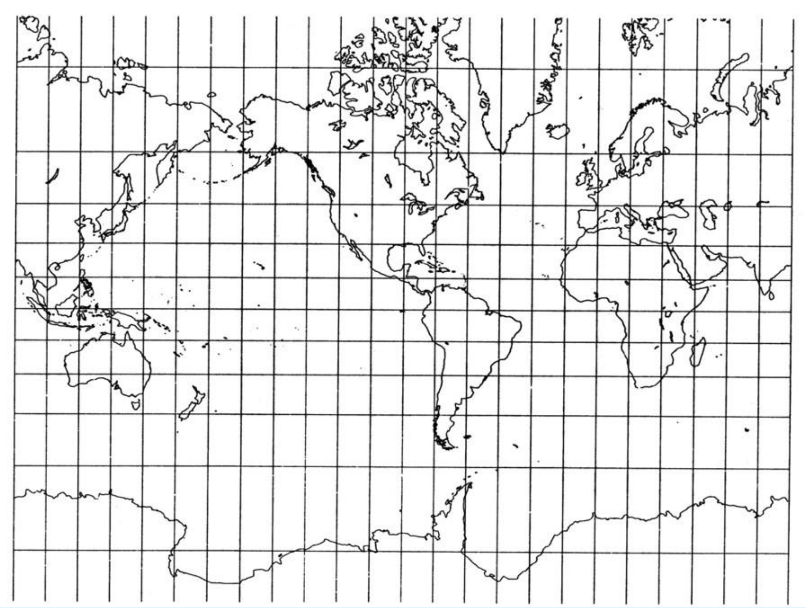
4. Definición de la UTM

5. Coordenadas UTM

6. Cálculos

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

- Antecedentes: Se remontan a Hiparco (s II a JC.) y cartas portulanas
- Construida empíricamente por Mercator (G. Kremer) en 1567
- Su desarrollo matemático no fue posible hasta el cálculo infinitesimal

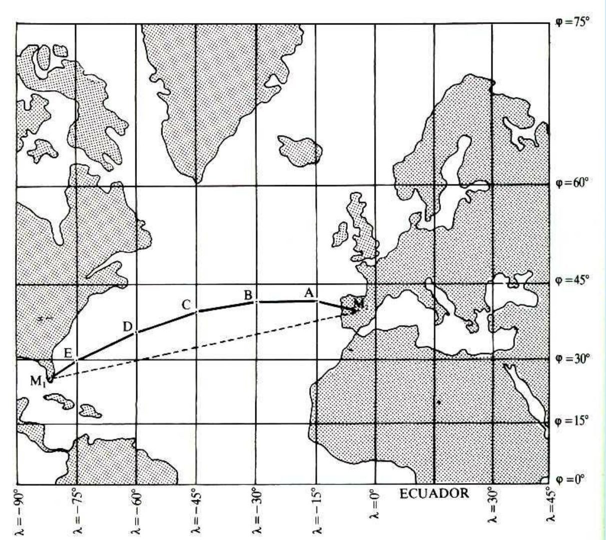


Representación

- Cuadrícula de paralelos y meridianos
- Los meridianos son equidistantes
- Los paralelos se van espaciando a medida que aumenta la latitud

Propiedades

- El Ecuador es automecoico
- Las deformaciones (areales) aumentan cuando nos alejamos de él
- Es conforme, las líneas de rumbo constante (loxodrómicas) como rectas



Uso

- En navegación y mapamundis, además de para representar zonas ecuatoriales

Latitud creciente

- La conformidad se consigue compensando alargamiento de paralelos con otro equivalente en meridianos (paralelos cada vez más espaciados)
- Relación entre longitud de paralelos y meridianos: coseno de la latitud

$$\text{Si} \quad \Delta\lambda = \Delta\varphi; \qquad \frac{\text{Lap}}{\text{Lam}} = \cos\varphi$$

$$\text{Lam} = \text{Lap} * \sec\varphi$$

- A partir de ahí dada la longitud de un arco de paralelo en la representación (Δx) se puede calcular la de un arco de meridiano (Δy)
- El factor: "latitud creciente de Mercator"

$$\Delta y = \frac{\Delta\varphi}{\cos\varphi} = \Delta\varphi * \sec\varphi$$

Coordenadas

- En el plano se forma un sistema de coordenadas rectangulares (x e y)
- El eje X es el Ecuador y el eje Y el meridiano central de la proyección

$$x = \lambda$$

$$y = \ln \operatorname{tag}\left(\frac{\varphi}{2} + \frac{\pi}{4}\right)$$

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

1. Proyecciones cónicas

2. Proyecciones cilíndricas

3. Proyección Mercator

4. Definición de la UTM

- Representación
- Propiedades
- Uso y aspectos normativos

5. Coordenadas UTM

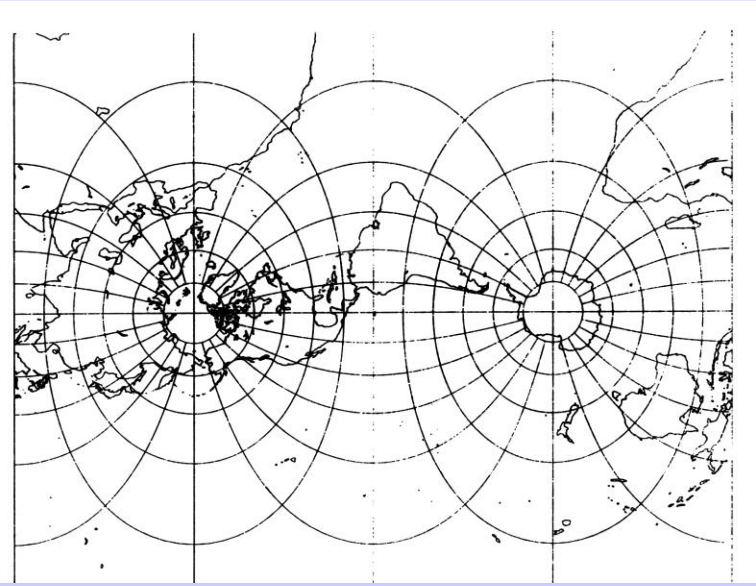
6. Cálculos

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

- Desarrollada por el matemático Gauss (s. XVIII)
- Es la versión transversa de la proyección de Mercator
- Se trata pues de un desarrollo cilíndrico en el que el eje es perpendicular al de la Tierra
- En este caso el cilindro es tangente a la Tierra según un meridiano central, que es automecoico

Representación

- El meridiano central y el Ecuador son rectas perpendiculares entre sí
- El resto de los meridianos y paralelos son curvas complejas pero perpendiculares en cada punto
- Da lugar a una red ortogonal



T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

Propiedades

- Es conforme, como la de Mercator
- El meridiano central es automecoico
- Las deformaciones areales aumentan a medida que nos alejamos de él

Carácter universal

- Se pueden utilizar varios cilindros con deformación escasa en torno a sus meridianos centrales
- En total se emplean 60 cilindros u husos, que cubren toda la Tierra
- Se empieza por el antimeridiano de Greenwich (Primer huso: 0-6º W, Meridiano central: 3º W)

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

Uso

- Recomendada para países que se extiendan en el sentido de un meridiano (usado como central)
- Sin embargo, se puede usar prácticamente para toda la Tierra en zonas en torno a meridianos centrales, salvo en las zonas polares (>80º)
- Numerosos países la utilizan para su cartografía oficial, según recomen-dación de ICA/ACI

Aspectos normativos

- Desde 1970 (D. 2303/1970) es la obligatoria para la cartografía oficial española y la recomendada para la cartografía privada

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

1. Proyecciones cónicas

2. Proyecciones cilíndricas

3. Proyección Mercator

4. Definición de la UTM

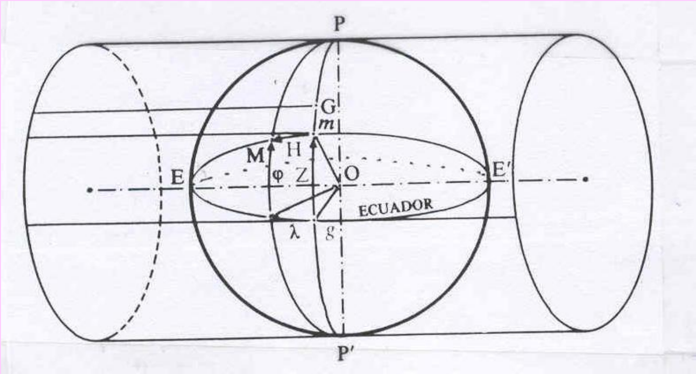
5. Coordenadas UTM

- En cada huso
- Sistemas de coordenadas
- Sistema CUTM

6. Cálculos

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

- La determinación de las coordenadas se hace a partir de otras intermedias
- Falsos meridianos: Circunferencias máximas perpendiculares al meridiano de tangencia
- Falsos paralelos: Circunferencias menores paralelas al meridiano de tangencia



Coordenadas intermedias

- Falsa longitud Z: Angulo que forma el falso meridiano de un punto con el Ecuador
- Falsa latitud H: Angulo que forma la vertical en un punto (de falso paralelo) con meridiano central

Coordenadas rectangulares

- Hay ecuaciones que relaciona estas coordenadas con la latitud y la longitud
- Con estas ecuaciones y las empleadas en la proyección de Mercator se calculan las rectangulares

$$y = Z$$

$$x = \ln \mathrm{tag}\left(\frac{H}{2} + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$\mathrm{tag} Z = \mathrm{tag}\varphi * \sec\lambda$$

$$\mathrm{sen} H = \mathrm{sen}\lambda * \cos\varphi$$

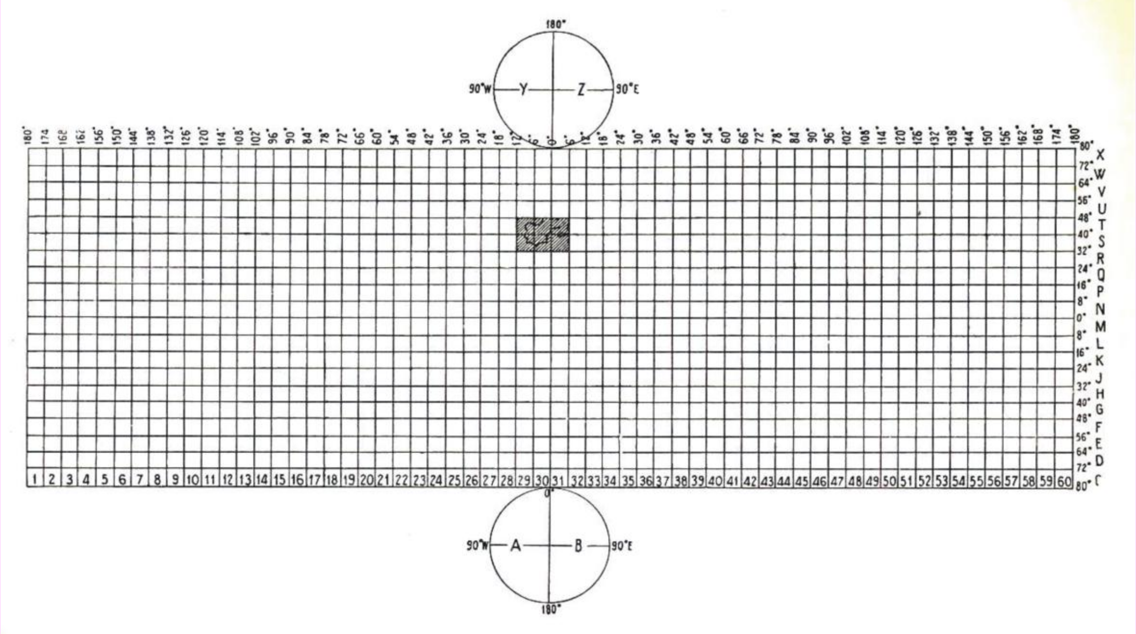
- El origen de coordenadas se sitúa en el Ecuador y a 500 km al Oeste del meridiano central, para evitar las coordenadas negativas
- Y: En metros desde Ecuador (en España: 7 empezando por 4)
- X: En metros desde eje paralelo al meridiano central, 500 Km al W

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

- Posición de un punto: primero nombrar el huso y luego coordenadas
- En España:
  - Husos 29, 30 y 31 para península y Baleares
  - Husos 27 y 28 para Canarias

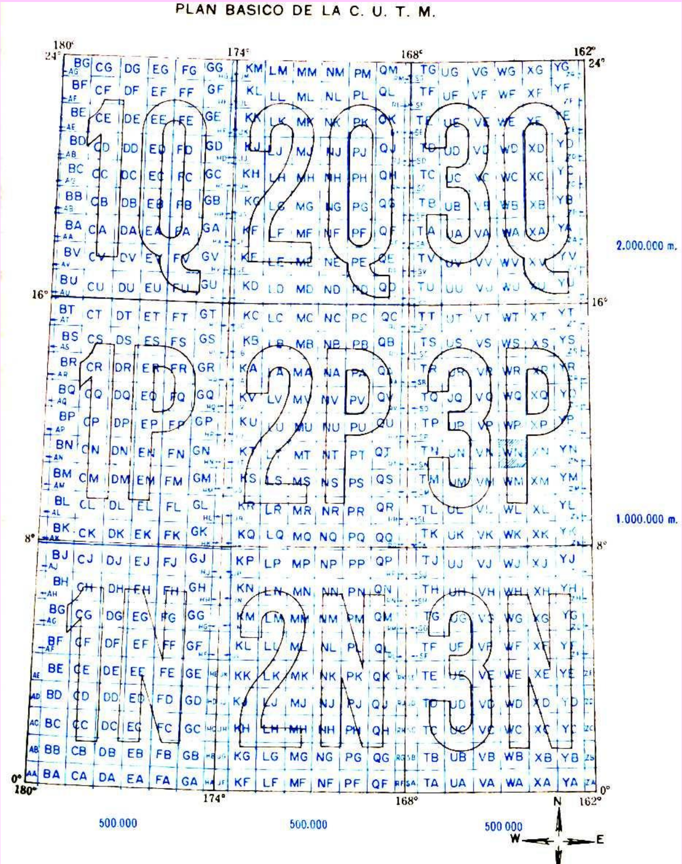
Sistema CUTM

- Como la proyección se usa para la región entre los paralelos 80º N y S, se divide en 20 zonas
- Así, se forman zonas de 6*8º nombrados con un número del 1 al 60 y una letra de la C a la X



T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

- Cada una de las zonas se divide en cuadrados de 100 * 100 Km cuyos lados son paralelos al Ecuador (transformadas) y al meridiano central
- Las columnas se nombran con una letra de la A a la Z (24 letras) y las filas con otra de la A a la V (husos pares con la A e impares con la F)
- Para completar la definición de un punto falta dar coordenadas en cada cuadrado de 100 km, es decir sólo hace falta dar 5 cifras en x e y

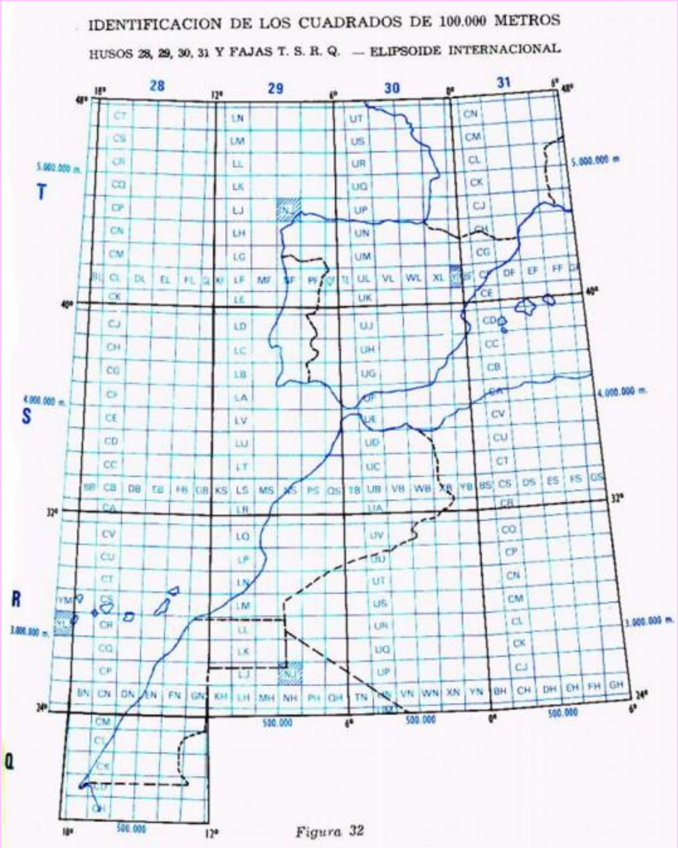


Notación métrica:
30 SVH 3722485544

Decamétrica:
30 SVH 37228554

Hectométrica:
30 SVH 372855

Kilométrica:
30 SVH 3785



T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

1. Proyecciones cónicas

2. Proyecciones cilíndricas

3. Proyección Mercator

4. Definición de la UTM

5. Coordenadas UTM

6. Cálculos

- Transformaciones de coordenadas
- Otros cálculos

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

A coordenadas UTM

- Hay expresiones que permiten el cálculo de coordenadas UTM a partir de las geográficas:

$$X = 500.000 + (IV)\,p + (V)\,p_3 + B_5$$
$$Y = (I) + (II)\,p_2 + (III)\,p_4 + A_6$$

- Donde los valores de p, p_2, p_3 y p_4, B_5 y A_6, y de los paréntesis están tabulados

A coordenadas geográficas

- Igualmente hay ecuaciones que permiten la transformación inversa:

$$\varphi = \varphi' - (VII)q_2 + (VIII)q_4 - D_6$$
$$\lambda = \lambda_0 + (IX)q - (X)q_3 + E_5$$

- Donde los valores de q, q_2, q_3 y q_4, E_5 y D_6, y de los paréntesis están tabulados

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

Convergencia de meridianos

- Expresiones que permiten el cálculo a partir de coordenadas geodésicas y coordenadas UTM:

$$\theta'' = (XII)\ p + (XIII)\ p3 + C5$$

$$\theta'' = (XV)\ q - (XVI)\ q3 + F5$$

Reducción a la cuerda

- Angulo formado entre la línea recta que une dos puntos en la proyección con la tangente a la línea geodésica que une dichos puntos:

$$C''\ A = 6{,}8755 \cdot 10 - 8\ (XVIII)\ (YB - YA)\ (2XA - XB)$$

$$C''\ B = 6{,}8755 \cdot 10 - 8\ (XVIII)\ (YA - YB)\ (2XB - XA)$$

Aplicaciones angulares

- Cálculo del azimut UTM, geodésico proyectado y geodésico (elipsoide):

$$tg\ ZUTM = \Delta X / \Delta Y$$

$$ZUTM + c$$

$$ZG = ZUTM \pm \theta \pm c$$

Factor de escala

- Necesario para pasar de medidas del campo al mapa

$$DUTM = k\ DELIPSOIDE$$

Donde k es el factor de escala

T4.3 Cónicas y cilíndricas: UTM

- Las funciones polinómicas son una herramienta muy usual para transformar coordenadas desde un sistema a otro

Traslación

- Es la transformación más elemental, supone un desplazamiento

$$X = x + a0;\ Y = y + b0$$

Cambio de escala

- Transformación elemental por la que las coordenadas sufren un aumento o disminución de sus dimensiones y valores:

$$\mathrm{X = a1\ x;\ Y = b1\ y}$$

Transformación de similaridad

- Supone conjugar las dos transformaciones anteriores pero con cierta limitación en el comportamiento geométrico

$$X = a0 + a1\ x + a2\ y;\ Y = b0 + b1\ x + b2\ y$$

$$Con:\ a1 = b2;\ b1 = a2$$

Factor de escala

- Similar a la anterior pero incluye factores de escala distintos en las direcciones X e Y:

$$\mathrm{X = a0 + a1\ x + a2\ y;\ Y = b0 + b1\ x + b2\ y}$$