

# Proyecciones cartográficas en los mapas del Atlas Nacional de España

## Cartographic projections on National Atlas of Spain maps

Juan José Alonso Gamo [jjalonso@mitma.es](mailto:jjalonso@mitma.es)  
Instituto Geográfico Nacional (IGN). Ministerio de Fomento. España

### Resumen

El Atlas Nacional de España (ANE) fue iniciado en el año 1987 como consecuencia del acuerdo de Consejo de Ministros del 13 de junio de 1986. Contempla en su cartografía el uso de diversas proyecciones adaptadas a la utilidad de cada tipo de mapa. Antes del año 2008 también se empleó principalmente la proyección conforme de Lambert para los mapas de España y Europa, y la proyección Van der Grinten I para los mapas del mundo.

Así pues, el uso de la proyección Lambert para la cartografía nacional ha sido habitual desde el primer Atlas Nacional del año 1965. Sin embargo, durante la fase de análisis y diseño del proyecto Sistema de Información del Atlas Nacional de España (SIANE) se requirió formalizar los cálculos y parámetros de las proyecciones empleadas para la nueva cartografía del Atlas Nacional de España; especialmente para la cartografía de la Península e islas Canarias.

En los siguientes puntos se describe el proceso que se siguió para calcular los parámetros de la proyección Lambert empleada para España, haciendo finalmente una mención a las principales proyecciones utilizadas para otros ámbitos geográficos.

### Abstract

The National Atlas of Spain (ANE) began in 1987 as a result of the agreement of the Council of Ministers in its meeting of 13 June 1986. ANE cartography, considers the use of several projections according to the use of each kind of map. Before 2008, the Lambert Conformal projection for Spain and Europe maps were also used, and the Van der Grinten I projection for world maps.

Thus, the use of the Lambert projection for national mapping has been a common fact since the first National Atlas of 1965. However, during the analysis and design of the National Atlas of Spain Information System (SIANE), it was required to formalize the computing and the projection parameters for the new National Atlas of Spain cartography; especially for Peninsula and Canary islands mapping.

In the following sections the process to compute the parameters of the Lambert projection used for National Atlas of Spain is described. Finally, a mention of the main projections used for other geographic areas is done.

**Palabras clave:** proyección cartográfica, atlas, sistema de referencia de coordenadas, Lambert, conforme, deformación

**Keywords:** map projection, atlas, coordinate reference system, Lambert, conformal, distortion

## Índice

Resumen .....	1
Abstract.....	1
1. Proyección cónica conforme de Lambert en los mapas del Atlas Nacional de España para escalas entre 1:1.000.000 y 1:13.500.000.....	3
1.1. Península y Baleares .....	3
1.2. Canarias .....	7
1.3. Deformaciones superficiales.....	8
1.4. Algunos valores de deformación .....	9
2. Otras proyecciones en el Atlas Nacional de España .....	10
3. Referencias.....	10
Anexo I. Funciones Matlab .....	11
F1 .....	11
F2.....	11
F3.....	11
F4.....	12
F5.....	12
F6.....	12
F7.....	13
F8.....	13
Anexo II. Descripción formal de los sistemas de referencia proyectados.....	15
OGC Well-Known Text (WKT).....	15
ISO 19111.....	15

# 1. Proyección cónica conforme de Lambert en los mapas del Atlas Nacional de España para escalas entre 1:1.000.000 y 1:13.500.000

La elección de una proyección viene dada por las características de la zona a representar, dimensiones, forma y situación en el globo. En España la elección del sistema de proyección se recoge de forma oficial en el Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial:

*“Se adopta el sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) como sistema de referencia geodésico oficial en España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares. En el caso de las Islas Canarias, se adopta el sistema REGCAN95. Ambos sistemas tienen asociado el elipsoide GRS80 y están materializados por el marco que define la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales, REGENTE, y sus densificaciones.”*

*“Para cartografía terrestre, básica y derivada, a escala igual o menor de 1:500.000, se adopta el sistema de referencia de coordenadas ETRS-Cónica Conforme de Lambert.”*

En el anexo I se han incluido los algoritmos que han llevado a la elección de los parámetros de la proyección; no obstante, se hace notar que la pretensión no era organizarlos o implementarlos de una manera computacionalmente óptima.

## 1.1. Península y Baleares

La zona que se desea cartografiar se extiende en latitud desde aproximadamente 43° 48' N (Punta da Estaca de Bares), hasta los 35° 15' N (sur de la Ciudad Autónoma de Melilla). Sin embargo, esta zona incluye el Mar de Alborán, en el cual generalmente no suelen representarse datos. Además, las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla suponen una superficie muy pequeña respecto al resto de la Península, lo cual es más acusado a la escala de trabajo. Por esta razón, no se ha tomado la latitud más meridional de Melilla como extremo inferior del área con objeto de designar el paralelo origen, sino que se han considerado los paralelos extremos 36° N y 44° N (esta es la zona dentro de la cual se controlarán las deformaciones lineales). Su media aritmética nos proporciona el paralelo origen de la proyección: 40° N.

A partir de esta información comenzaremos a calcular los parámetros de la proyección cónica conforme de Lambert con dos paralelos estándar.

En lugar de recurrir a la elección de los paralelos automecicos, como se hace en ocasiones, utilizando la regla de tomarlos a 1/6 y 5/6 de la extensión abarcada por la zona a representar en latitud, se ha empleado el artificio de Tissot, que supone aplicar un factor de escala al radio del paralelo origen en la proyección para repartir las deformaciones por todo el área representada simulando así un cono secante como superficie de proyección.

Para obtener el valor de esa constante, calculamos inicialmente la deformación lineal sobre el paralelo 40° N mediante la función [F1] para una proyección cónica tangente. Los resultados se muestran en la siguiente figura. En ésta, se representa en abscisas la latitud y en ordenadas las deformaciones. Además se han marcado dos líneas verticales con los extremos de la zona

a representar en latitud y varias líneas horizontales con algunos valores de deformaciones como referencia, concretamente  $1 \pm 0.0005$  y  $1 \pm 0.0012$ , donde 1 significa que no hay deformación.

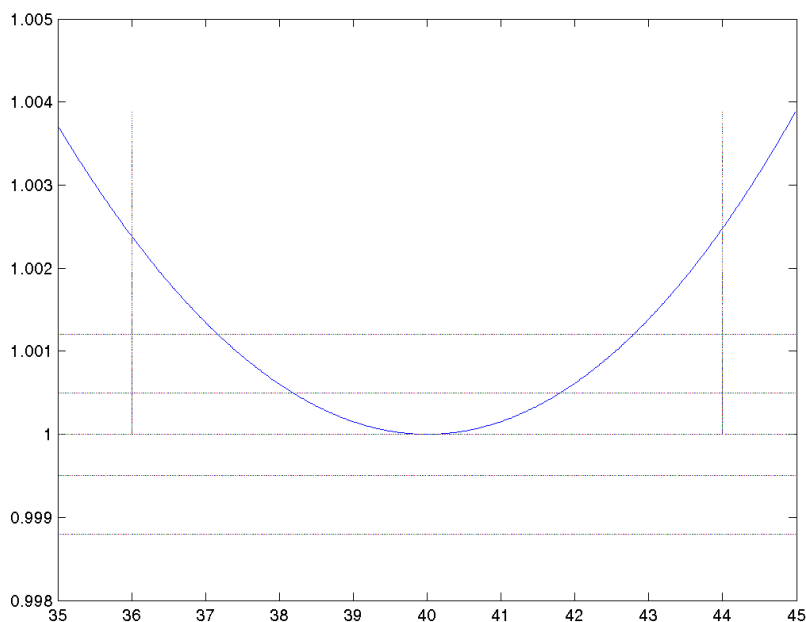


Figura 1. Variación de la deformación lineal a lo largo del paralelo según la latitud. Proyección tangente. Obtención: `dibuja_lambert_tangente(SD2RAD(35), SD2RAD(0.01), SD2RAD(45))`

La máxima deformación para la zona a representar ocurre a 44° N (función [F2]):

```
LCC_k_tangente(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(40), SD2RAD(44))
```

```
k_max = 1.00248288122136
```

Si ahora forzamos el cálculo para obtener la mitad de la deformación para el mismo punto, haciendo el mismo cálculo que en `LCC_k_tangente()` hacia atrás ([F3]), podremos obtener el valor de la constante que buscábamos:

```
constante_tissot(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(40), SD2RAD(44), (1+0.00248288122136/2))
```

```
k_tissot = 0.998761634104746
```

Con este valor y la elección de la latitud del falso origen a 40° N, podemos calcular la nueva deformación lineal sobre el paralelo empleando [F4] y [F5]. La función de anamorfosis lineal queda representada en la siguiente figura:

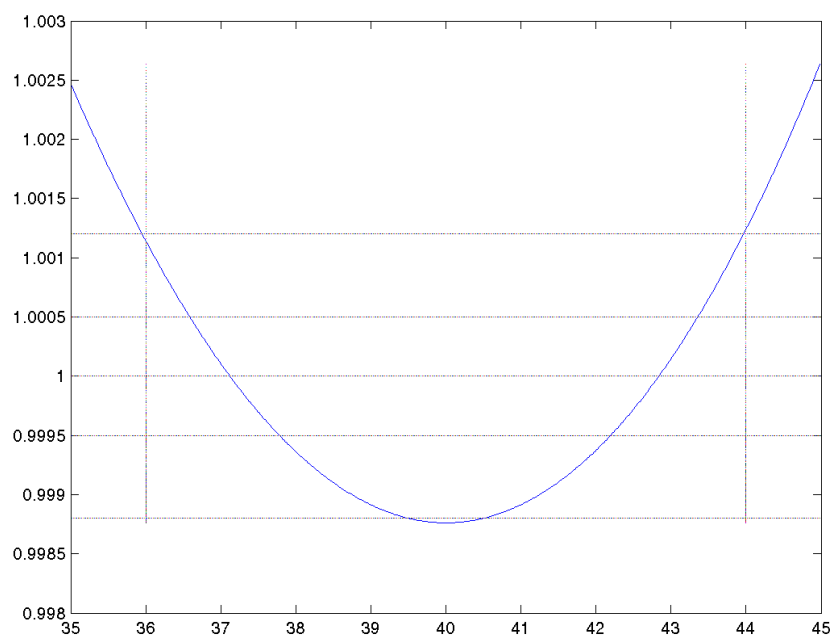


Figura 2. Variación de la deformación lineal a lo largo del paralelo según la latitud. Proyección secante. Obtención: `dibuja_lambert_tissot(SD2RAD(35), SD2RAD(0.01), SD2RAD(45))`

Utilizando un sencillo algoritmo de búsqueda binaria ([F6]) podemos obtener las intersecciones de la función anterior con  $K=1$ , o dicho de otra forma, las latitudes de los paralelos a lo largo de los cuáles no hay deformación lineal. En el resto de latitudes la deformación puede extraerse de la anterior figura.

Paralelo automecoico superior:  $42^{\circ} 50' 12.561593''$  N  
 Paralelo automecoico inferior:  $37^{\circ} 07' 21.603315''$  N

En la figura anterior se puede ver que la elección del factor del artificio de Tissot, nos lleva a admitir una deformación, en los extremos de la zona a representar y en el paralelo origen, de hasta alrededor de  $1/770$  (0.0013), en lugar de la habitual  $1/2000$ . Esto supone unos 130 m de error en 100 km en lugar de 50 m. Se trata de errores que pueden permitirse a estas escalas de trabajo, no siendo el objetivo principal de estos mapas el poder efectuar medidas precisas, sino representar cartografía estadística y cualitativa. Por tanto, sólo se empleará una proyección para toda la Península, en contraste al mapa 1:500.000 del Instituto Geográfico Nacional, que en el caso de la Península, utiliza una proyección secante para la zona norte y otra para la sur.

En la zona que queda por debajo de los  $36^{\circ}$  N, la deformación lineal puede llegar a  $1/400$  (250 m en 100 km).

Si hubiésemos empleado la regla de tomar los paralelos automecoicos directamente a  $1/6$  del borde norte y sur de la zona a representar, las latitudes serían  $44 - (44 - 36)/6 = 42^{\circ} 40'$  y  $36 + (44 - 36)/6 = 37^{\circ} 20'$ . La gráfica que representa la anamorfosis estará desplazada hacia las ordenadas positivas (N), haciendo que las deformaciones disminuyan en las latitudes medias, pero, pero aumenten en los extremos norte y sur de la zona representada ([F7] y [F8]). Por esta razón no resulta del todo conveniente utilizarla.

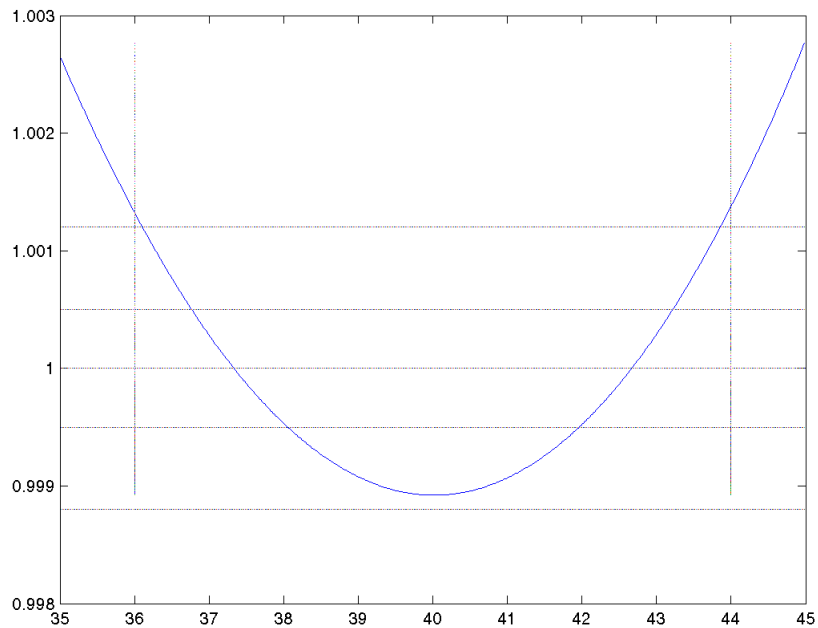


Figura 3. Variación de la deformación lineal a lo largo del paralelo según la latitud.

Paralelos automecoicos a 1/6 de los extremos norte y sur. Obtención:

`dibuja_lambert_paralelos_elegidos(SD2RAD(35), SD2RAD(0.01), SD2RAD(45))`

Si ahora damos un valor a la longitud origen para fijar la representación de toda la Península e indicamos unos valores de falso norte y este adecuados para obtener coordenadas positivas en la zona, habremos completado los parámetros de la proyección Lambert para la Península y Baleares (figura 4). Redondeando los valores antes obtenidos, quedan definitivamente de la siguiente forma:

*Sistema de referencia geodésico: ETRS89 (elipsoide GRS80)*

*Latitud falso origen: 40° N*

*Latitud del paralelo automecoico superior: 42° 50' N*

*Latitud del paralelo automecoico inferior: 37° 07' N*

*Longitud origen: -3°*

*Falso norte: 600000 m*

*Falso este: 600000 m*

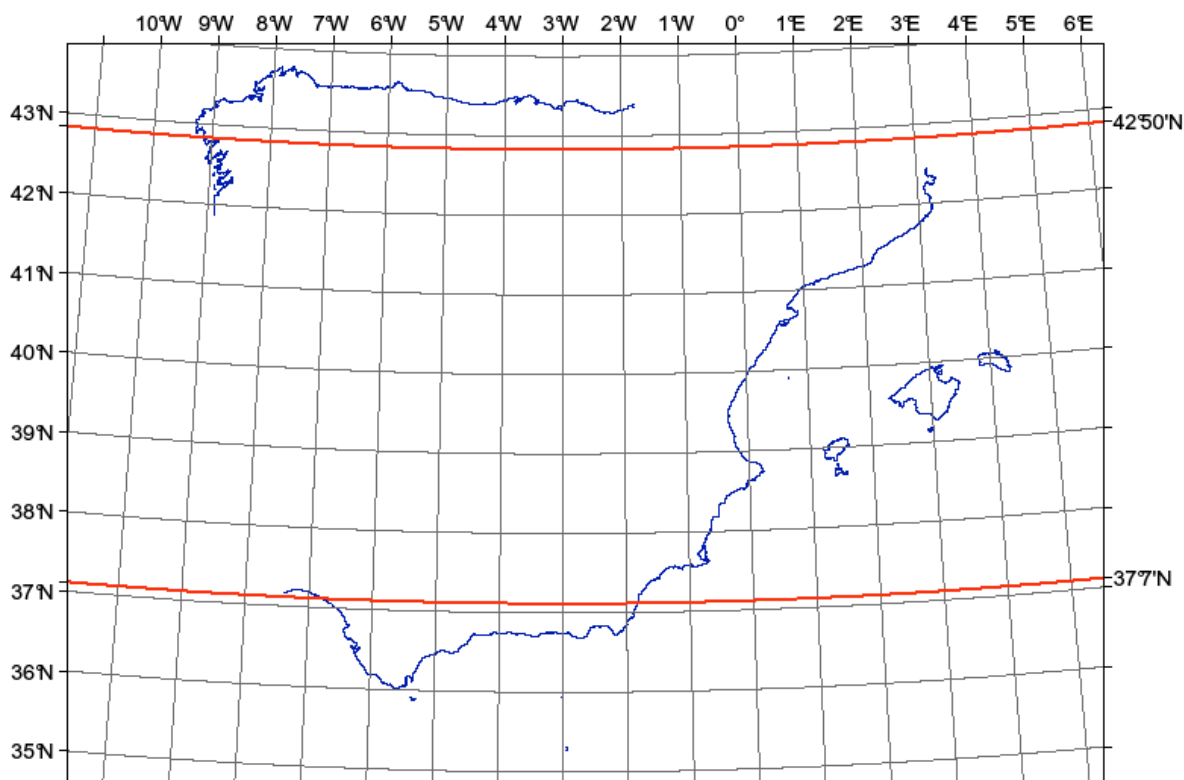


Figura 4. Paralelos automecoicos en la proyección cónica conforme Lambert para la Península e islas Baleares

## 1.2. Canarias

En el caso de Canarias, la zona a representar varía en latitud entre  $27^{\circ} 37'$  y  $29^{\circ} 26'$  N, por lo que el paralelo de tangencia puede ser el  $28^{\circ} 31' 30''$  o, más abreviadamente,  $28^{\circ} 30'$  N. Dado que la extensión a representar en latitud es muy inferior, también lo serán las deformaciones, por lo cual basta con emplear una proyección cónica tangente (figura 5, [F1]).

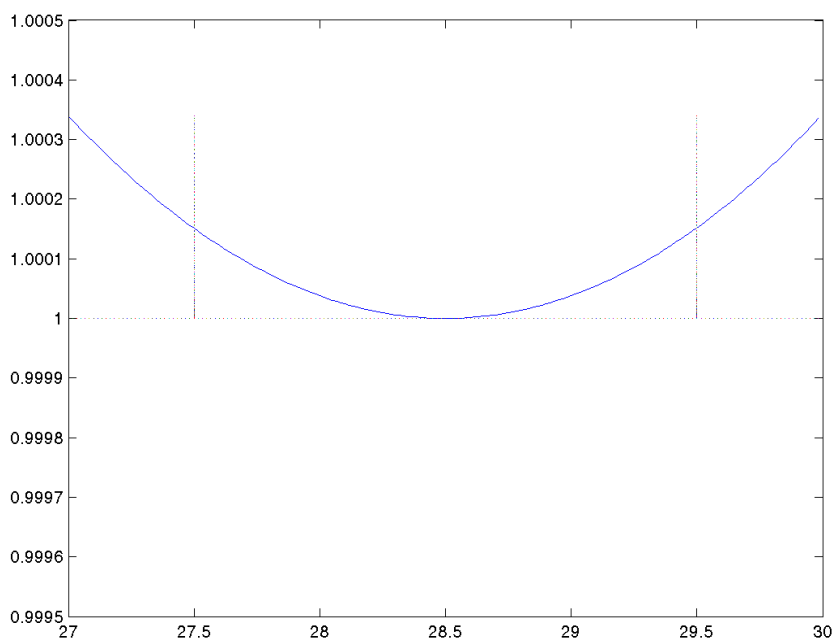


Figura 5. Variación de la deformación lineal a lo largo del paralelo según la latitud. Proyección tangente para las islas Canarias. Obtención: `dibuja_lambert_tangente(SD2RAD(27), SD2RAD(0.01), SD2RAD(30))`

La información de partida para las bases cartográficas de las islas Canarias, en ocasiones está disponible únicamente en el sistema de referencia geodésico WGS84. Para una mayor comodidad a la hora de manejar los datos y teniendo en cuenta la diversidad de escalas que se utilizan en el ANE, dichas bases son transformadas al sistema ETRS89 antes de ser proyectadas. De esta forma es posible tratar los datos y sus actualizaciones de forma conjunta para toda España, así como publicarlos de forma interoperable a través de servicios OGC con más facilidad. Por ello, y siendo consecuentes con el Real Decreto 1071/2007 para escalas inferiores a 1:500.000, los parámetros de la proyección Lambert para Canarias (figura 6), quedan de la siguiente forma:

*Sistema de referencia geodésico: ETRS89 (elipsoide GRS80)*

*Latitud origen: 28° 30' N*

*Longitud origen: -16°*

*Falso norte: 300000 m*

*Falso este: 300000 m*

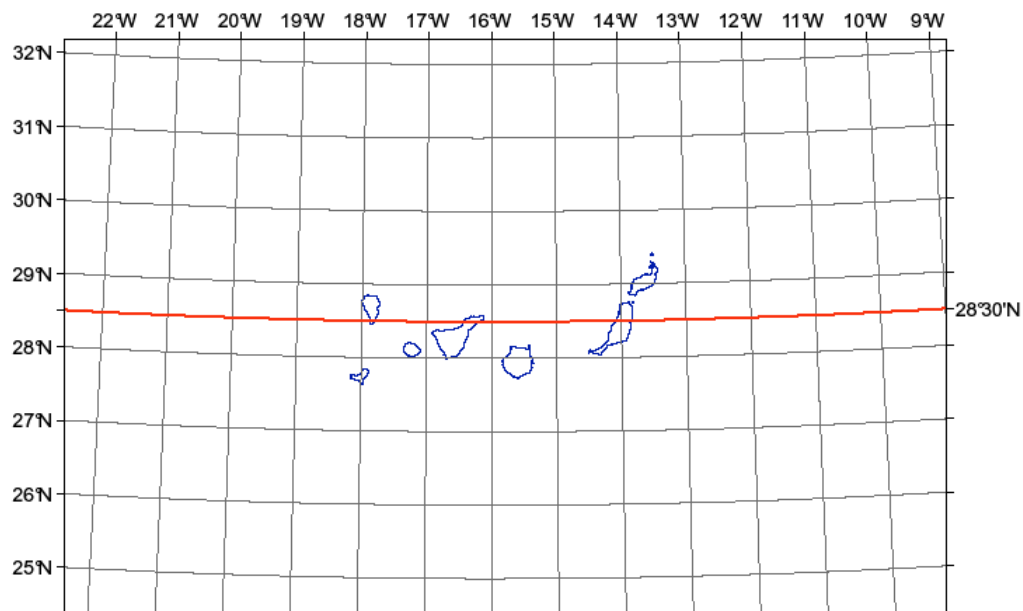


Figura 6. Paralelo automecoico en la proyección cónica conforme Lambert para Canarias.

### **1.3. Deformaciones superficiales**

El valor de las deformaciones en un punto P se pueden calcular utilizando el concepto de elipse indicatriz de Tissot, según el cual los puntos de una circunferencia sobre el elipsoide, centrada en el punto P en estudio, y próximos a este, se transforman en una elipse al realizarse la proyección cartográfica sobre el plano. El valor de la deformación superficial puede expresarse como  $s = h k \text{sen}(I)$ ; siendo  $h$  la deformación a lo largo de los meridianos,  $k$  la deformación a lo largo de los paralelos e  $I$  el ángulo entre las direcciones de paralelos y meridianos.

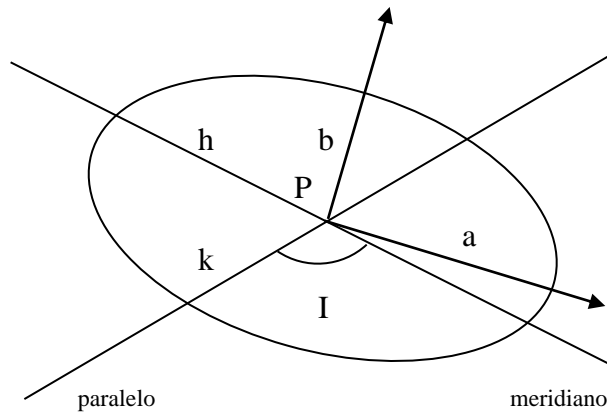


Figura 7. Elipse indicatriz de Tissot

Al ser conforme la proyección, las deformaciones sobre el paralelo y sobre el meridiano tienen la misma magnitud ( $h = k$ ), con lo que la elipse anterior degenera en un círculo. Además, paralelos y meridianos en el elipsoide son dos familias de curvas ortogonales (líneas de curvatura), por lo que al mantenerse los ángulos como consecuencia de la transformación,  $I = 90^\circ$ . Por ello,

$$s = h k = k k$$

El valor máximo de la deformación superficial en la Península resulta ([F8]):

LCC\_k(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(37.07), SD2RAD(42.50), SD2RAD(40), SD2RAD(44))

k(44°) = 1.001246283712  
s(44°) = k k = 1.00249412064709

Y en Canarias ([F2]):

LCC\_k\_tangente(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(28.30), SD2RAD(29.30))

k(29° 30') = 1.00015203145217  
s(29° 30') = 1.0003040860179

## 1.4. Algunos valores de deformación

Península y Baleares		
Latitud	Deformación Lineal (k)	Deformación superficial
35°	1,002463888	1,004933847
35° 30'	1,001764784	1,003532682
36°	1,001137907	1,002277108
36° 30'	1,000583509	1,001167359
37°	1,000101877	1,000203764
37° 30'	0,999693329	0,999386753
38°	0,999358221	0,998716855
38° 30'	0,999096943	0,998194702

Canarias		
Latitud	Deformación Lineal (k)	Deformación superficial
27°	1,000339384	1,000678884
27° 30'	1,000151054	1,000302130
28°	1,000037820	1,000075642
28° 30'	1	1
29°	1,000037942	1,000075886
29° 30'	1,000152031	1,000304086
30°	1,000342685	1,000685487

39°	0,998909922	0,997821033
39° 30'	0,998797623	0,997596691
40°	0,998760549	0,997522635
40° 30'	0,998799244	0,997599931
41°	0,998914293	0,997829766
41° 30'	0,999106323	0,998213445
42°	0,999376005	0,998752399
42° 30'	0,999724054	0,999448185
43°	1,000151234	1,000302492
43° 30'	1,000658357	1,001317147
44°	1,001246283	1,002494120

Tabla 1. Algunos valores de deformaciones lineales y superficiales.

## 2. Otras proyecciones en el Atlas Nacional de España

Teniendo en cuenta que la mayor parte de la cartografía de Atlas es de carácter estadístico, una de las consideraciones más importantes en la elección de las proyecciones cartográficas para los mapas de Europa y del mundo es, precisamente, la conservación de las superficies en mapas en los que el área representada nos conduce habitualmente a grandes deformaciones.

De esta forma y siguiendo las recomendaciones dadas por la Comisión Europea, el Atlas Nacional de España considera, el uso de la proyección Lambert acimutal equiárea para Europa además de la proyección cónica conforme de Lambert, ambas definidas en *Map projections for Europe* (2001).

En el caso de los mapas del mundo se suma a las ya empleadas en el ANE, la proyección Winkel III considerada como principal para este tipo de mapas por diversos organismos cartográficos. La principal característica de esta proyección afiláctica es que minimiza los tres tipos de deformaciones; ángulos, distancias y superficies.

## 3. Referencias

Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España.

Annoni, A., Luzet, C. (2001): *Map Projections for Europe*, Institute for Environment and Sustainability, EuroGeographics, European Commission.

Snyder, John P. (1987): *Map Projections-A Working Manual*, U.S.G.S. Professional Paper 1395. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office.

Lipschutz, Martin M (1982): *Geometría Diferencial*. Schaum-McGraw-Hill. México.

Martín Asín, F. (1990): *Geodesia y Cartografía Matemática*. Editorial Paraninfo. Madrid.

Rennen, Markus (2004): *Coordinate Conversion and Datum Transformation in Iceland*, Version 1.3. Online software - Manual and Technical Reference.

Canters, Frank; Declair, Hugo (1989): *The World in Perspective-A Directory of World Map Projections*. Chichester, England: John Wiley and Sons.

Alonso, J.J.; Zamora, M. (2009): "Spanish National Atlas Information System development: a step forward", XXIV International Cartographic Conference (ICC 2009), Chile.

## Anexo I. Funciones Matlab

### F1

% Dibuja la deformación lineal sobre el paralelo en la proyección cónica conforme Lambert tangente, entre dos latitudes dadas

```
function [] = dibuja_lambert_tangente(xmin, step, xmax)

x=xmin;
%y=LCC_k_tangente(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(28.30), x); %Canarias
y=LCC_k_tangente(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(40), x); %Peninsula

i=xmin;
while xmin==xmin
    i=i+step;
    if(i>xmax)
        break
    end
    x=[x i];
    %y=[y LCC_k_tangente(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(28.30), i)]; %Canarias
    y=[y LCC_k_tangente(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(40), i)]; %Peninsula
end
x=x*180/pi;
plot(x,y, x,1.0005, x,0.9995, x,1.0012, x,0.9988, 36,y, 44,y, x,1)
```

### F2

% Calcula la deformación lineal sobre el paralelo en la proyección cónica conforme Lambert

```
% a: semieje mayor elipsoide
% f: aplanamiento
% fib: latitud origen
% lat: latitud del punto en estudio

function [k]=LCC_k_tangente(a, f, fib, lat)

E2=2*f-f*f;
e=sqrt(E2);

colat0=(pi/2)-fib;
n=sin(fib);
N0=a/((1-E2*sin(fib)*sin(fib))^0.5);
r0=N0*cot(fib);
re=r0/(((tan(colat0/2))^n)*((1+e*cos(colat0))/(1-e*cos(colat0)))^(e*n/2)));

colat=(pi/2)-lat;
rp=re*(((tan(colat/2))^n)*((1+e*cos(colat))/(1-e*cos(colat)))^(e*n/2)));
N=a/((1-E2*sin(lat)*sin(lat))^0.5);

k=n*rp/(N*cos(lat));
```

### F3

% Calcula la constante del artificio de Tissot

```
function [k]=constante_tissot(a, f, fib, lat, k_max)

E2=2*f-f*f;
e=sqrt(E2);
n=sin(fib);
```

```

N0=a/((1-E2*sin(fib)*sin(fib))^0.5);
colat0=(pi/2)-fib;
N=a/((1-E2*sin(lat)*sin(lat))^0.5);
colat=(pi/2)-lat;

rp=(k_max*N*cos(lat))/n;
re=rp/(((tan(colat/2))^n)*((1+e*cos(colat))/(1-e*cos(colat)))^(e*n/2));
r0=re*(((tan(colat0/2))^n)*((1+e*cos(colat0))/(1-e*cos(colat0)))^(e*n/2));

r0_1=N0*cot(fib);
k_tissot=r0/r0_1

```

## F4

% Dibuja la deformación lineal sobre el paralelo en la proyección cónica conforme Lambert empleando el artificio de Tissot, entre dos latitudes dadas

```

function [] = dibuja_lambert_tissot(xmin, step, xmax)

x=xmin;
y=LCC_k_tissot(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(40), x);

i=xmin;
while xmin==xmin
    i=i+step;
    if(i>xmax)
        break
    end
    x=[x i];
    y=[y LCC_k_tissot(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(40), i)];
end
x=x*180/pi;
plot(x,y, x,1.0005, x,0.9995, x,1.0012, x,0.9988, 36,y, 44,y, x,1)

```

## F5

% Calcula la deformación lineal sobre el paralelo en la proyección cónica conforme Lambert

```

% a: semieje mayor elipsoide
% f: aplanamiento
% fib: latitud del falso origen (2 paralelos automecoicos)
% lat: latitud del punto en estudio

function [k]=LCC_k_tissot(a, f, fib, lat)

E2=2*f-f*f;
e=sqrt(E2);

k_tissot=0.998761634104746;

colat0=(pi/2)-fib;
n=sin(fib);
N0=a/((1-E2*sin(fib)*sin(fib))^0.5);
r0_1=N0*cot(fib);
r0=r0_1*k_tissot;
re=r0/(((tan(colat0/2))^n)*((1+e*cos(colat0))/(1-e*cos(colat0)))^(e*n/2));

colat=(pi/2)-lat;
rp=re*(((tan(colat/2))^n)*((1+e*cos(colat))/(1-e*cos(colat)))^(e*n/2));
N=a/((1-E2*sin(lat)*sin(lat))^0.5);

k=n*rp/(N*cos(lat));

```

## F6

% Búsqueda binaria del paralelo con la deformación indicada (1 si es automecoico) en una proyección cónica conforme Lambert

```

format long g
echo off

elipsoide=input('Elipsoide (1:GRS80, 2:Internacional, 3:WGS84, 4:Struve): ');
fib=SD2RAD(input('Latitud falso origen (2 paralelos automecoicos) (GG.MMSS): '));

```

```

kObjetivo=input('Deformacion buscada (indicar 1 si se busca el paralelo automecoicos): ');

if elipsoide==1
    %GRS80
    a=6378137;
    f=1/298.257222101;
elseif elipsoide==2
    %Internacional
    a=6378388;
    f=1/297;
elseif elipsoide==3
    %WGS84
    a=6378137;
    f=1/298.257223563;
else
    return
end

% Extremos inferior y superior entre los que realizar la búsqueda (por ejemplo 36° y 38° para
obtener la latitud del paralelo automecoico inferior)

inf=SD2RAD(input('Latitud inferior de busqueda (GG.MMSS): '));
sup=SD2RAD(input('Latitud superior de busqueda (GG.MMSS): '));

i=0;
while (inf~=sup)
    med=(inf+sup)/2;
    k=LCC_k_tissot(a, f, fib, med);
    if(k<kObjetivo)
        inf=med;
    elseif(k>kObjetivo)
        sup=med;
    elseif(abs(k-kObjetivo)<0.0000000000000001)
        sprintf('Encontrada en la iteracion %d.\nAnamorfosis lineal sobre el paralelo: %.15f ;
Latitud: %.10f', i, k, RAD2SD(med) )
        break
    end
    sprintf('Iteracion %d; Anamorfosis: %.15f ; Latitud: %.10f', i, k, RAD2SD(med) )
    i=i+1;
end
end

```

## F7

```

function [] = dibuja_lambert_paralelos_elegidos(xmin, step, xmax)

x=xmin;
y=LCC_k(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(37.20), SD2RAD(42.40), SD2RAD(40), x);

i=xmin;
while xmin==xmin
    i=i+step;
    if(i>xmax)
        break
    end
    x=[x i];
    y=[y LCC_k(6378137, 1/298.257222101, SD2RAD(37.20), SD2RAD(42.40), SD2RAD(40), i)];
end
x=x*180/pi;
plot(x,y, x,1.0005, x,0.9995, x,1.0012, x,0.9988, 36,y, 44,y, x,1)

```

## F8

```

% Calcula la deformación lineal sobre el paralelo en la proyección cónica conforme Lambert

% a: semieje mayor elipsoide
% f: aplanamiento
% fil: latitud inferior
% fiu: latitud superior
% fib: latitud del falso origen (2 paralelos automecoicos)
% lat: latitud del punto en estudio

function [k]=LCC_k(a, f, fil, fiu, fib, lat)

E2=2*f-f*f;
e=sqrt(E2);

```

```

%en fil y en fiu, l=lower, u=upper; se refiere a las latitudes estandar
Ql=.5*(log((1+sin(fil))/(1-sin(fil)))-e*log((1+e*sin(fil))/(1-e*sin(fil))));
Wl=(1-E2*sin(fil)*sin(fil))^(.5);
Qu=.5*(log((1+sin(fiu))/(1-sin(fiu)))-e*log((1+e*sin(fiu))/(1-e*sin(fiu))));
Wu=(1-E2*sin(fiu)*sin(fiu))^(.5);
Qb=.5*(log((1+sin(fib))/(1-sin(fib)))-e*log((1+e*sin(fib))/(1-e*sin(fib))));
sinfi0=(log((Wu*cos(fil))/(Wl*cos(fiu))))/(Qu-Ql);
K=(a*cos(fil)*exp(Ql*sinfi0))/(Wl*sinfi0);
R0=K/(exp(Qb*sinfi0));

Q=.5*(log((1+sin(lat))/(1-sin(lat)))-e*log((1+e*sin(lat))/(1-e*sin(lat))));
R=K/(exp(Q*sinfi0));
k=((1-E2*sin(lat)*sin(lat))^(.5))*(R*sinfi0)/(a*cos(lat));

```

Nota: las funciones SD2RAD() y RAD2SD() convierten grados expresados en el llamado formato pseudo-decimal sexagesimal (GG.MMSS) a radianes y al contrario, respectivamente.

## Anexo II. Descripción formal de los sistemas de referencia proyectados

### OGC Well-Known Text (WKT)

#### ETRS 1989 Lambert Conformal Conic ANE Peninsula (ES-IGN-ANE:1)

```
PROJCS["ETRS 1989 Lambert ANE Peninsula",GEOGCS["GCS_ETRS_1989",DATUM["D_ETRS_1989",SPHEROID["GRS_1980",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM["Greenwich",0.0],UNIT["Degree",0.0174532925199433]],PROJECTION["Lambert_Conformal_Conic"],PARAMETER["False_Easting",600000.0],PARAMETER["False_Northing",600000.0],PARAMETER["Central_Meridian",-3.0],PARAMETER["Standard_Parallel_1",37.11666666666667],PARAMETER["Standard_Parallel_2",42.83333333333334],PARAMETER["Scale_Factor",1.0],PARAMETER["Latitude_Of_Origin",40.0],UNIT["Meter",1.0]]
```

#### ETRS 1989 Lambert Conformal Conic ANE Canarias (ES-IGN-ANE:2)

```
PROJCS["ETRS 1989 Lambert ANE Canarias",GEOGCS["GCS_ETRS_1989",DATUM["D_ETRS_1989",SPHEROID["GRS_1980",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM["Greenwich",0.0],UNIT["Degree",0.0174532925199433]],PROJECTION["Lambert_Conformal_Conic"],PARAMETER["False_Easting",300000.0],PARAMETER["False_Northing",300000.0],PARAMETER["Central_Meridian",-16.0],PARAMETER["Standard_Parallel_1",28.5],PARAMETER["Standard_Parallel_2",28.5],PARAMETER["Scale_Factor",1.0],PARAMETER["Latitude_Of_Origin",28.5],UNIT["Meter",1.0]]
```

### ISO 19111

Entity	Value
CRS ID	ES-IGN-ANE:1
CRS alias	ETRS 1989 Lambert Conformal Conic ANE Peninsula
CRS alias	ETRS 1989 Lambert ANE Peninsula
CRS valid area	Spain
CRS scope	CRS for conformal Iberian peninsula and Balearic islands mapping at scales between 1:1.000.000 and 1:13.500.000 in Spanish National Atlas
Datum ID	ETRS89
Datum alias	European Terrestrial Reference System 1989
Datum type	Geodetic
Datum realization epoch	1989
Datum valid area	Europe / EUREF
Datum scope	European datum consistent with ITRS at the epoch 1989.0 and fixed to the stable part of the Eurasian continental plate for georeferencing of GIS and geokinematic tasks
Datum remarks	see Boucher, C., Altamimi, Z. (1992): The EUREF Terrestrial Reference System and its First Realizations. Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Heft 52, München 1992, pages 205-213- or ftp://lareg.ensg.ign.fr/pub/euref/info/guidelines/
Prime meridian ID	Greenwich
Prime meridian Greenwich longitude	0°
Ellipsoid ID	GRS 80
Ellipsoid alias	New International
Ellipsoid semi-major axis	6 378 137 m
Ellipsoid shape	TRUE
Ellipsoid inverse flattening	298.2572221
Ellipsoid remarks	see Moritz, H. (1988): Geodetic Reference System 1980. Bulletin Geodesique, The Geodesists Handbook, 1988, Internat. Union of Geodesy and Geophysics
Coordinate system ID	LCC
Coordinate system type	projected

Coordinate system dimension	2
Coordinate system axis name	N
Coordinate system axis direction	North
Coordinate system axis unit identifier	metre
Coordinate system axis name	E
Coordinate system axis direction	East
Coordinate system axis unit identifier	metre
Operation ID	LCC
Operation valid area	Europe
Operation scope	for conformal Iberian peninsula and Balearic islands mapping at scales between 1:1.000.000 and 1:13.500.000 in Spanish National Atlas
Operation method name	Lambert Conformal Conic Projection with 2 standard parallels
Operation method formula	Lambert Conformal Conic Projection for National Atlas of Spain, in <a href="http://www.ign.es/siane/">www.ign.es/siane/</a>
Operation method parameters number	6
Operation parameter name	lower parallel
Operation parameter value	37° 07' N
Operation parameter name	upper parallel
Operation parameter value	42° 50' N
Operation parameter name	latitude grid origin
Operation parameter value	40° N
Operation parameter name	longitude grid origin
Operation parameter value	3° W
Operation parameter name	false northing
Operation parameter value	600 000 m
Operation parameter name	false easting
Operation parameter value	600 000 m

Entity	Value
CRS ID	ES-IGN-ANE:2
CRS alias	ETRS 1989 Lambert Conformal Conic ANE Canarias
CRS alias	ETRS 1989 Lambert ANE Canarias
CRS valid area	Spain
CRS scope	CRS for conformal Canary islands mapping at scales between 1:1.000.000 and 1:13.500.000 in Spanish National Atlas
Datum ID	ETRS89
Datum alias	European Terrestrial Reference System 1989
Datum type	Geodetic
Datum realization epoch	1989
Datum valid area	Europe / EUREF
Datum scope	European datum consistent with ITRS at the epoch 1989.0 and fixed to the stable part of the Eurasian continental plate for georeferencing of GIS and geokinematic tasks
Datum remarks	see Boucher, C., Altamimi, Z. (1992): The EUREF Terrestrial Reference System and its First Realizations. Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Heft 52, München 1992, pages 205-213- or ftp://lareg.ensg.ign.fr/pub/euref/info/guidelines/
Prime meridian ID	Greenwich
Prime meridian Greenwich longitude	0°
Ellipsoid ID	GRS 80
Ellipsoid alias	New International
Ellipsoid semi-major axis	6 378 137 m
Ellipsoid shape	TRUE
Ellipsoid inverse flattening	298.2572221
Ellipsoid remarks	see Moritz, H. (1988): Geodetic Reference System 1980. Bulletin Geodesique, The Geodesists Handbook, 1988, Internat. Union of Geodesy and Geophysics
Coordinate system ID	LCC
Coordinate system type	projected
Coordinate system dimension	2
Coordinate system axis name	N
Coordinate system axis direction	North
Coordinate system axis unit identifier	metre
Coordinate system axis name	E
Coordinate system axis direction	East
Coordinate system axis unit identifier	metre
Operation ID	LCC
Operation valid area	Europe
Operation scope	for conformal Canary islands mapping at scales between 1:1.000.000 and 1:13.500.000 in Spanish National Atlas
Operation method name	Lambert Conformal Conic Projection with 1 standard parallel
Operation method formula	Lambert Conformal Conic Projection for National Atlas of Spain, in www.ign.es/siane/
Operation method parameters number	4
Operation parameter name	latitude grid origin
Operation parameter value	28° 30' N
Operation parameter name	longitude grid origin
Operation parameter value	16° W
Operation parameter name	false northing
Operation parameter value	300 000 m
Operation parameter name	false easting
Operation parameter value	300 000 m