

CAMBIO DE DATUM PLANIMÉTRICO: ED50/84(MURCIA) ETRS89



Miguel Ángel Marco Navarro



Cambio de Datum planimétrico:

ED50/84(Murcia) ► ETRS89

Miguel Ángel Marco Navarro

“Creative Commons Reconocimiento No Comercial Compartir Igual 3.0 España” (CC BY-NC-SA 3.0 ES)

Primera edición: 2017

ISBN: 978-84-946797-9-7

URL: <https://goo.gl/2106iT>

Depósito legal: MU 616-2017

Impreso en España

Diseño de cubierta: A. Pascual Rodríguez Grau

Maquetación: M^a Teresa Piqueras Devesa

Imagen de portada: Freepik

Edita: PROYECTO EDUCA

www.proyectoeduca.net



No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (art. 270 y siguientes del Código Penal).

ÍNDICE

1. REPRESENTACIÓN DE LA TIERRA	7
1.1. La figura de la Tierra.....	7
1.2. Sistemas elipsoidales de referencia	7
1.3. Datum	9
2. ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS DE REFERENCIA EN ESPAÑA.....	11
2.1. El primero en considerar era el Datum Madrid.....	11
2.1.1. Proyección poliédrica.....	11
2.1.2. Proyección conforme de Lambert	12
2.2. El European Datum 1950 (ED50)	13
2.3. El World Geodetic System 1984 (WGS84).....	13
2.4. El sistema European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89).....	14
3. COMIENZOS CARTOGRÁFICOS EN LA REGIÓN DE MURCIA.....	15
4. NUEVO SISTEMA DE REFERENCIA OFICIAL: ETRS89.....	17
5. TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS ENTRE SISTEMAS GEODÉSICOS (Del regional ED50/84 al global ETRS89).....	18
6. RELACIONAR MATEMÁTICAMENTE AMBOS SISTEMAS DE COORDENADAS	20
7. CONFIGURACIÓN DE LA REJILLA PARA EL MODELADO DE LA DISTORSIÓN	21
8. TRIANGULAR LA NUBE DE PUNTOS DE LOS 269 VÉRTICES GEODÉSICOS.....	23
9. INTERPOLAR LOS VÉRTICES DE LA REJILLA TRIÁNGULO A TRIÁNGULO	25
10. CORRECCIÓN CX PROCEDENTE DE LA INTERPOLACIÓN DE LA TRIANGULACIÓN.....	28
11. CORRECCIÓN CY PROCEDENTE DE LA INTERPOLACIÓN DE LA TRIANGULACIÓN.....	29

12. INTERPOLAR LAS CORRECCIONES CX Y CY PARA UN PUNTO CUALQUIERA DE LA REGIÓN, EN AMBOS SENTIDOS	30
12.1. Transformación bilineal:	30
12.2. VER EL CÁLCULO INVERSO DE $X_{\text{ETRS89}} / Y_{\text{ETRS89}} \blacktriangleright X_{\text{ED50}} / Y_{\text{ED50}}$	32
13. COMPLETAR LA REJILLA PARA CUBRIR TODO EL TERRITORIO	33
14. TRANSFORMACIONES BASADAS EN ECUACIONES POLINÓMICAS	33
14.1 Traslación	34
14.2. Transformación afín	34
14.3. Transformación bilineal	34
15. CONTROL DE CALIDAD EN LA CARTOGRAFÍA TRANSFORMADA	35
15.1. Exactitud posicional	35
15.2. Consistencia lógica	36
15.3. Compleción	36
16. LISTADO DE COORDENADAS Y CORRECCIONES DE LOS VÉRTICES	37
LISTA DE REFERENCIAS	44
ÍNDICE DE FIGURAS	46
ÍNDICE DE TABLAS	47

PRÓLOGO

El objetivo de este trabajo es tratar el tema del cambio de Datum planimétrico del sistema geodésico local ED50/84, que afecta a la Región de Murcia, al ETRS89 de ámbito europeo.

El motivo de la existencia de este sistema regional es debido a la pronta monumentación llevada a cabo en Murcia, que se hizo antes del año 1984, lo que le facultó para tener una red geodésica operable antes que al resto de España. Este hecho afectó a la cartografía regional y urbana que se realizó a partir del citado año.

Cuando a finales de 1991, principios de 1992, se realizó el ajuste de toda la geodesia de España en ED50, se obtuvieron unas coordenadas diferentes para los vértices de la Región, que variaban respecto a las iniciales en algo más de un metro en la mayoría de la red autonómica.

La red geodésica regional está calculada en proyección UTM y se encuentra por entero en el huso 30. Como ambos sistemas, el ED50/84 y el ETRS89, están en coordenadas UTM, por simplificar el cálculo de la transformación entre ambos, se ha trabajado directamente en coordenadas cuadrícula, en lugar de hacerlo en geodésicas, que sería lo ortodoxo, sobre todo si el ámbito geodésico afectara a más de un huso y los sistemas de representación fueran diferentes.

He estimado abordar el cambio de sistema geodésico genéricamente en dos situaciones diferentes. La primera, cuando el ámbito a transformar es local, es decir cuando afecta a una extensión que está englobada entre unos vértices geodésicos que la circunda. En este caso se podría aplicar una traslación función del lugar o una transformación de semejanza local, que se puede aplicar fácilmente con un programa CAD. Todo ello sería en función de la escala del trabajo, que exigirá una determinada precisión.

El otro caso sería para un ámbito muy grande, en el que afecta a una gran cantidad de vértices geodésicos, como es el caso de una Región. Al no ser tan fácil obtener una función que relacione ambos sistemas de coordenadas con precisión, lo mejor es tabular las correcciones que

relacionan los dos sistemas en una rejilla o cuadrícula, en la que posteriormente se interpolarían las correcciones de ambas coordenadas (X e Y) en función de los valores de la cuatro esquinas de la cuadrícula afectada a cada punto en concreto.

Para tabular las correcciones o distorsiones a aplicar en función de los vértices geodésicos tomados como puntos de ajuste es conveniente, en primer lugar, triangular la nube de puntos de control, para posteriormente interpolar los valores correspondientes a los vértices de la rejilla, que servirán de base para los cálculos posteriores de transformación entre ambos sistemas de coordenadas.

La interpolación de los valores de la rejilla se calcularían en función al triángulo de vértices geodésicos al que pertenece, aplicando una transformación afín, que requiere conocer tres puntos para obtener los seis parámetros que la definen. Se aplicarían tantas transformaciones como triángulos existan al descomponer el territorio.

1. REPRESENTACIÓN DE LA TIERRA

1.1. La figura de la Tierra

La figura física de referencia de la Tierra, excluyendo la topografía o forma externa, se asemeja a la definición de **geoide**, definida como una superficie de nivel equipotencial del campo gravitatorio terrestre.

Esta superficie equipotencial, o de nivel, está materializada por los océanos en calma, cuando se prescinde del efecto perturbador de las mareas y se suponen los mares unidos por multitud de canales infinitesimales, por debajo de los continentes, desprovistos de rozadura.

En la práctica se toma como tal la superficie del nivel medio de los mares como referencia para la altitud.

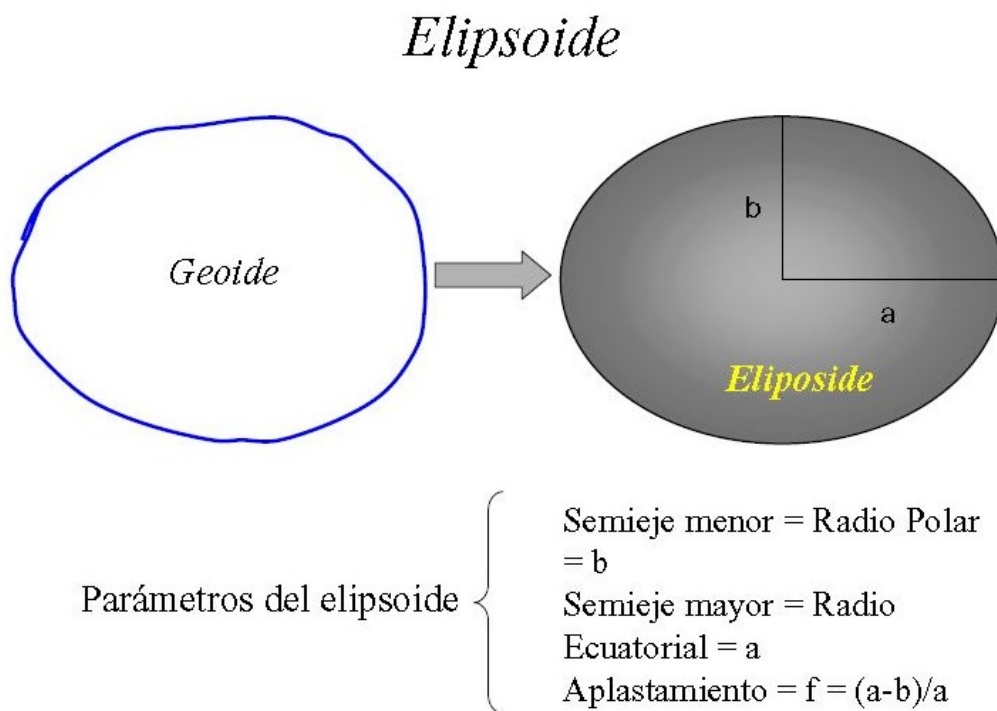


Figura 1.1.- La figura de la Tierra

1.2. Sistemas elipsoidales de referencia

La definición matemática del geoide presenta una gran complejidad matemática, así como su definición. A efectos prácticos, la superficie de la Tierra se representa geométricamente, de una forma más sencilla, con mucha aproximación mediante un

elipsoide de revolución achatado por los polos, definiéndose este sistema con los siguientes parámetros y referencias:

- Superficie de referencia: dimensiones (semiejes a , b).
- Ejes o líneas de referencia en la superficie.
- Sentidos de medida.

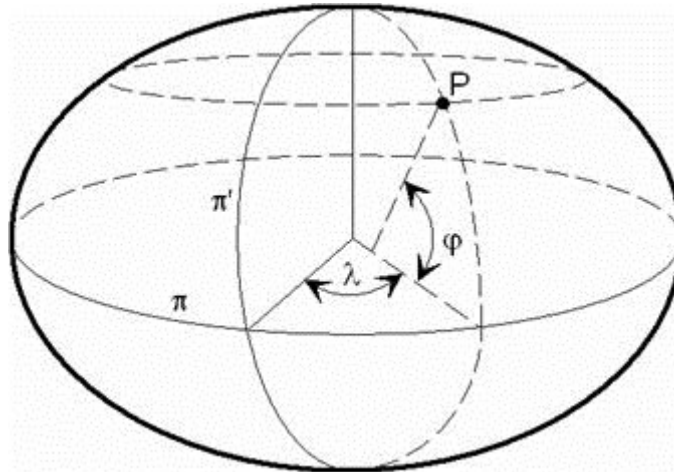


Figura 1.2.- Coordenadas geodésicas en el elipsoide

Sobre esta superficie se definen las **coordenadas geodésicas**:

- **Latitud (ϕ):** ángulo medido sobre el plano meridiano que contiene al punto entre el plano ecuatorial y la normal al elipsoide en P.
- **Longitud (λ):** ángulo medido sobre el plano ecuatorial entre el meridiano origen y el plano meridiano que pasa por P.

El elipsoide de revolución que mejor se adapte al geoide en la zona con un punto donde ambos coinciden o bien la normal a ambos es la solución adoptada, constituyendo el concepto de Sistema Geodésico de Referencia. A lo largo de la historia diversos elipsoides se han utilizado para definir el Sistema de Referencia de cada país, de tal forma que se define aquel que mejor se ajuste al geoide.

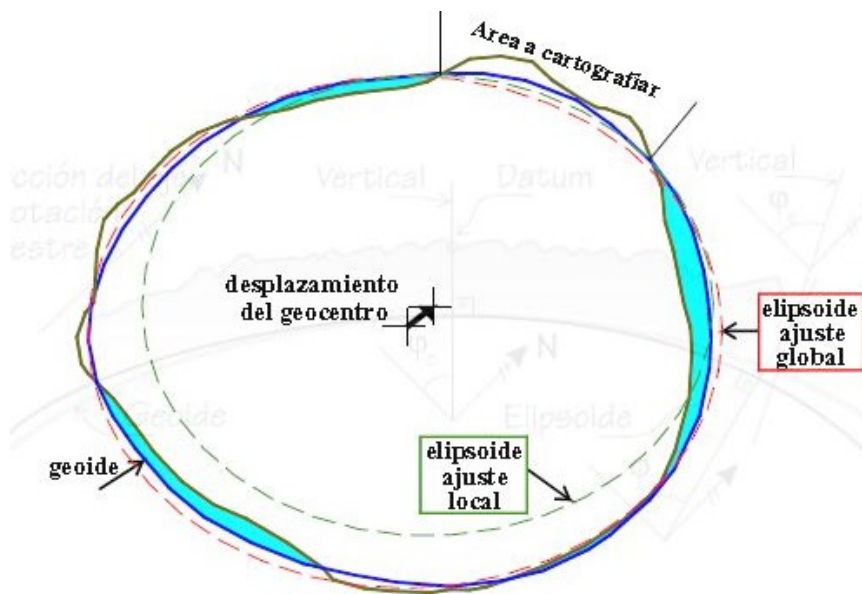


Figura 1.3.- Tipos de elipsoides

1.3. Datum

En geodesia existirán dos Datum: el horizontal y el vertical. Este último es la superficie de referencia respecto a la que se definen las altitudes. En este caso, lo más normal es que sea el geoide.

El Datum es el punto de partida de un sistema de referencia geodésico. En él, el geoide y el elipsoide son tangentes, es decir que la vertical de la plomada y la normal al elipsoide coinciden. A este punto se le determinan coordenadas longitud y latitud astronómicamente con gran precisión, así como el acimut de una dirección por medios también astronómicos, para el inicio del cálculo de la red. Esta descripción de Datum es la clásica. Actualmente, con la geodesia espacial se opta por ser la descripción matemática de la Tierra. Típicamente se define como un elipsoide de revolución achatado por los polos, con sus dos radios (ecuatorial y polar), o su radio ecuatorial y el nivel de "achataamiento". En el que el origen del sistema es el centro de masas de la Tierra, el eje Z pasa por los polos, y el plano XY coincide con el ecuador. El origen de longitudes es el meridiano de Greenwich.

Hay que tener en cuenta que diferentes zonas del mundo y diferentes mapas pueden utilizar un "datum" distinto, por lo que pueden no encajar exactamente.

Una vez elegido el elipsoide que se adapte al área a cartografiar, hay que buscar una proyección o desarrollo cartográfico que permita representar la superficie esférica en el plano, con las mínimas deformaciones, y que se adapte lo mejor posible a la forma, orientación y

amplitud del territorio a cartografiar. También influye el uso que se le va a dar a la cartografía. Desde el punto de vista práctico se usan las proyecciones conformes, que conservan los ángulos, ya que tienen tanto usos civiles como militares. Los casos más usados en España son la **UTM** para la representación general del territorio. Y la Mercator para navegación aérea y marítima.

Para catastro, en España, se usa también la UTM. No es la más adecuada, porque no conserva la superficie, como sería de desear. Ya que esta se ve afectada por el cuadrado del coeficiente de anamorfosis lineal de la proyección en el centro de la parcela. Detalle este que se suele ignorar, ya que las deformaciones lineales son mínimas, y están controladas dentro de un rango para cada huso.

2. ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS DE REFERENCIA EN ESPAÑA

En España, a lo largo de su historia más o menos reciente, ha habido varios sistemas geodésicos, cada uno con su Datum planimétrico y su representación del territorio en una u otra proyección cartográfica. El Datum altimétrico es el nivel medio de las aguas del mar en Alicante.

2.1. El primero en considerar era el Datum Madrid

Usaba el elipsoide de **Struve**, y la proyección era la **poliédrica** o **policónica de Gauss** para uso civil. Para el militar se decidió por la proyección **conforme de Lambert**, ya que permitía una representación continua del territorio de toda la península, cosa que no pasaba con la policónica.

El Datum Madrid (**Observatorio del Retiro**), es sobre el que se calculó la antigua Red Geodésica española.

Los parámetros del elipsoide de revolución de Struve adoptado en 1924 son:

$$a = 6378298.3 \text{ metros}$$

$$b = 6356657.1 \text{ metros}$$

$$\text{Aplanamiento} = 1:294.73$$

2.1.1. Proyección poliédrica

Este sistema permite considerar cada hoja del MTN50 por separado como representación exacta del terreno, y tomar sobre ella cualquier medida lineal, superficial o angular, de acuerdo con la escala. El problema con esta proyección es a la hora de casar varias hojas a la vez, no es posible ya que cada hoja es una proyección diferente.

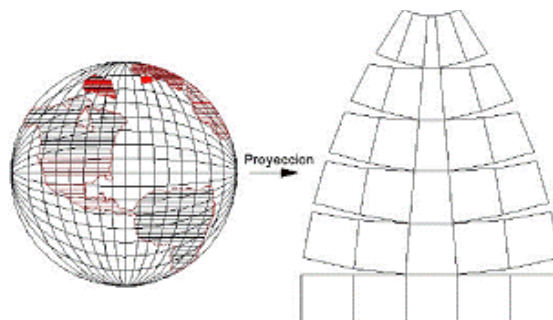


Figura 2.1.- Sistema inicial con elipsoide de Struve y datum Madrid

2.1.2. Proyección conforme de Lambert

En España, la cartografía militar ha empleado durante mucho tiempo las coordenadas y la cuadrícula de este sistema. Como ejes OY, OX, se eligieron como meridiano central el de Madrid y la recta perpendicular en su intersección con el paralelo 40º, siendo el origen un punto próximo a Aranjuez.

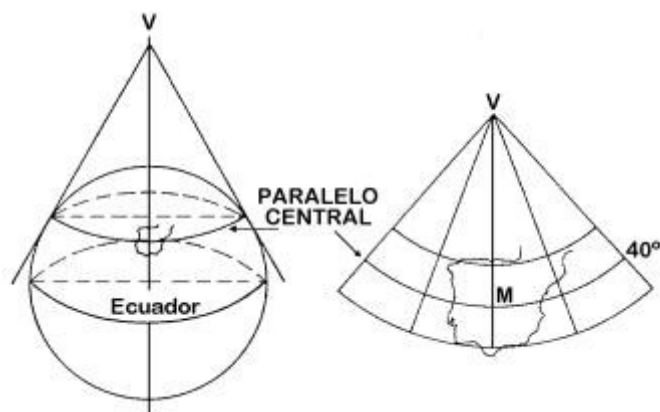


Figura 2.2.- Proyección conforme de Lambert

En esencia, la proyección superpone un cono sobre la esfera de la Tierra con dos paralelos de referencia secantes al globo e intersecándolo. Esto minimiza la distorsión proveniente proyectar una superficie tridimensional a una bidimensional. La distorsión es nula a lo largo de los paralelos de referencia, y se incrementa fuera de los paralelos elegidos. Como el nombre lo indica, esta proyección es conforme. Por tanto, las rectas de la cuadrícula no son ni meridianos ni paralelos, si no, paralelos a ellos.

Además, para evitar las coordenadas negativas se trasladó el origen 600 kilómetros al Oeste y 600 kilómetros al Sur.

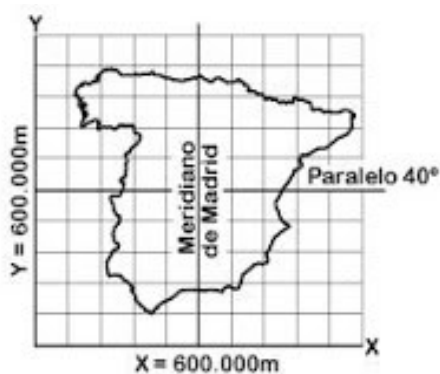


Figura 2.3.- Origen de coordenadas en la proyección conforme de Lambert

2.2. El European Datum 1950 (ED50)

Hayford propuso en 1924 en la Asamblea Internacional de Geodesia y Geofísica (Madrid) un Elipsoide Internacional de Referencia, con:

$$a = 6378388$$

$$\alpha = 1/297$$

Este elipsoide fue utilizado ampliamente por la mayoría de países. En la orientación de este sistema se estipula:

- El eje menor del elipsoide de referencia es paralelo a la dirección definida por el origen internacional convencional (O.I.C.) para el movimiento del polo.
- El meridiano de referencia es paralelo al meridiano cero adoptado por el BIH para las longitudes (**Greenwich**).

En España se adoptó en **1970** el Sistema ED50 (**Datum Potsdam**) como sistema oficial, sustituyendo al antiguo con elipsoide de Struve y datum Madrid. Se utilizó como sistema de representación la proyección **UTM**.

2.3. El World Geodetic System 1984 (WGS84)

Desde 1987, el **GPS** utiliza el World Geodetic System **WGS-84**, que es un sistema de referencia terrestre único para referenciar las posiciones y vectores. Se estableció este sistema utilizando observaciones Doppler al sistema de satélites de navegación NNSS o Transit, de tal forma que se adaptara lo mejor posible a toda la Tierra.

Se define como un sistema cartesiano geocéntrico del siguiente modo:

- Origen, centro de masas de la Tierra, incluyendo océanos y atmósfera.
- Eje Z paralelo a la dirección del polo CIO o polo medio definido por el BIH, época 1984.0 con una precisión de 0,005".
- El eje X la intersección del meridiano origen, **Greenwich**, y el plano que pasa por el origen y es perpendicular al eje Z, el meridiano de referencia coincide con el meridiano cero del BIH en la época 1984.0 con una precisión de 0,005". Realmente el meridiano origen se define como el IERS Reference Meridian (IRM).
- El eje Y ortogonal a los anteriores, pasando por el origen.

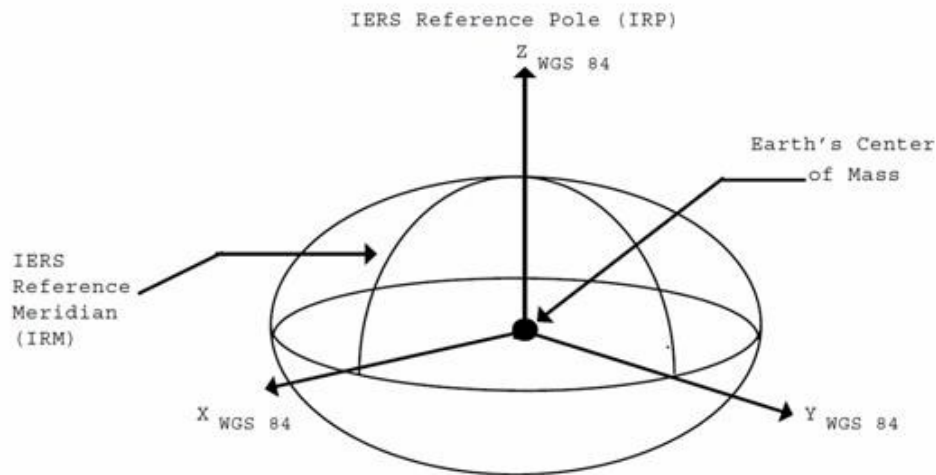


Figura 2.4. Sistema geodésico WGS84

2.4. El sistema European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)

La Subcomisión de la Asociación Internacional de Geodésia (**IAG**) para el marco de referencia europeo (EUREF) recomendó que el Sistema de Referencia Terrestre para Europa que debía ser adoptado (Florenia, 1990), denominado European Terrestrial Reference System 1989 (**ETRS89**).

El **Real Decreto 1071/2007** establece **ETRS89** 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**, ya que ETRS89 solo afecta a la parte estable de la placa eurasiática. 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.

- Elipsoide **GRS80**. Con los siguientes parámetros:

Semi-eje mayor a : 6378137.000

Achatamiento $(1/f) = 298.25722210088$

- Proyección **UTM**
- Origen de longitudes: meridiano de Greenwich, también conocido como meridiano cero, meridiano base o primer meridiano.

3. COMIENZOS CARTOGRÁFICOS EN LA REGIÓN DE MURCIA

En el decenio 1982-1992 se procedió a reconstruir la Red Geodésica Nacional construyendo nuevos monumentos de hormigón armado que sustituyeron a la Red Antigua (RA) y que ha constituido la materialización práctica del Sistema Geodésico de Referencia European Datum 1950 (**ED50**).

Este plan reorganizó la Red en dos partes:

- a) Red de Primer Orden (**RPO**), con unos 680 vértices y una longitud de lados de 30 - 40 km. Se observó mediante triangulación o trilateración, y su cálculo y compensación se realizó sobre el Sistema ED50.
- b) Red de Orden Inferior (**ROI**) con unos 11.000 vértices y una longitud media de lados de 7 km (densidad de un vértice por cada 45 km²). En su mayor parte se observó mediante triangulación por el método de vueltas de horizonte y se calculó construyendo a la **RPO** y la red de nivelación.

La monumentación de la Red Geodésica Nacional está formada generalmente por una base prismática cuadrada de altura variable y de 1 m de lado para los vértices de la ROI y de 3 m para los vértices de la RPO. Sobre esta base existe un pilar cilíndrico de 1,20 m de altura y 0,3 m de diámetro para los vértices de la ROI y 0,4 m de diámetro para los vértices de la RPO.

En la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia este proceso de monumentación finalizó antes de 1984. Lo que motivó que se le calculara una geodesia propia (**ED50/84**) antes que al resto del país. Las coordenadas de esta "*red regional*" se vieron después afectadas con el cálculo en conjunto de toda la red nacional (**ED50/92**).



Figura 3.1.- Triangulación de primer orden original

El hecho de tener anticipadamente una red geodésica operable hizo que la cartografía, que posteriormente se hizo, estuviera referenciada a ella. Por ello cuando en 1992 salieron las coordenadas definitivas de la **ED50**, estas últimas se tuvieron que ignorar, porque aceptarlas hubiera supuesto tener que hacer de nuevo, sobre todo, la cartografía urbana de todos los núcleos urbanos de la Región, y eso era muy costoso, sobre todo porque la cartografía se usaba en papel, y la digital estaba iniciándose.

La variación de las coordenadas, entre ambos sistemas ED50, iba desde 0.00 m a más de un metro en valor absoluto, sobre todo en la componente X. Hecho que puede constatarse en el siguiente cuadro en el que se comparan las coordenadas, en ambos marcos de referencia, de los vértices de primer orden de la Región, como muestra orientativa:

Vértices 1º orden	Hoja MTN50 Núm	REGIONAL		NACIONAL		Diferencias ED50/92 - ED50/84	
Nombre		ED50/84		ED50/92			
		X	Y	X	Y	X	Y
Carche	870-05	660373,90	4255074,92	660372,59	4255074,16	-1,31	-0,76
Cabeza de Asno	890-99	627620,60	4243367,51	627619,58	4243367,02	-1,02	-0,49
Pila	891-95	658490,19	4236903,42	658488,97	4236902,77	-1,22	-0,65
Revolcadores	909-73	564572,49	4213308,82	564572,49	4213308,81	0,00	-0,01
Buitre	910-89	595753,03	4223601,49	595751,70	4223601,05	-1,33	-0,44
Almeces	912-28	638662,88	4222215,25	638661,79	4222214,81	-1,09	-0,44
Selva	932-45	614700,50	4198314,63	614699,45	4198314,30	-1,05	-0,33
Columbares	934-45	673930,03	4199553,53	673929,12	4199553,16	-0,91	-0,37
Gigante	952-64	589712,81	4177677,42	589711,71	4177676,71	-1,10	-0,71
Talayón	975-93	629528,38	4158510,46	629527,63	4158510,15	-0,75	-0,31
Algarrobo	976-78	652570,85	4168028,25	652569,83	4168027,81	-1,02	-0,44
Sancti Spiritus 1º	977-96	688609,72	4164726,47	688608,62	4164725,86	-1,10	-0,61
					máximo =	0,00	-0,01
					mínimo =	-1,33	-0,76
					Diferencia=	1,33	0,75

Tabla 3.1.- Comparación de coordenadas ED50 regional y nacional

Estas diferencias provocan, cartográficamente hablando, que se tengan que tratar a ambos sistemas como distintos, ya que estas tienen representación en las escalas usadas tanto en la cartografía urbana (1/500 y 1/1.000), como en la (1/5.000), que compone el Mapa Topográfico Regional (**MTR5**).

4. NUEVO SISTEMA DE REFERENCIA OFICIAL: ETRS89

Actualmente el sistema de referencia oficial es el ETRS89. La cartografía de la Región de Murcia a estas alturas es digital al 100%, pero en un principio está originalmente en el sistema geodésico ED50/84.

El estar en formato digital permite el cambio de Datum informáticamente como algo viable desde varios puntos de vista, principalmente el técnico y el económico, ya que solo supone cálculo, una vez adquirida la aplicación.

Como el IGN calculó una rejilla en formato NTv2 para hacer la transformación entre los sistemas geodésicos ED50/92 - ETRS89. Aquí en Murcia se aprovechó esa circunstancia, por lo que solo les faltaba obtener la rejilla que transformase de ED50/84 - ED50/92. E integrar esos datos en una aplicación informática que permita todas las combinaciones entre los tres sistemas, y para los diferentes formatos de la cartografía más usados, bien sean vectoriales o ráster.

Sin embargo, la mayor parte del trabajo de transformación, de ED50/84 - ETRS89, había que hacerla en dos pasos, con la consiguiente pérdida de precisión, que cartográficamente será despreciable, pero que no quita que se desease desde el punto de vista profesional hacerlo en un solo paso. Esta **inquietud** es la que ha motivado la decisión de hacer el presente **TRABAJO FIN DE GRADO**.

5. TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS ENTRE SISTEMAS GEODÉSICOS

(Del regional ED50/84 al global ETRS89)

Para afrontar la transformación de coordenadas entre ambos sistemas se considera más adecuado modelar la distorsión a través de una cuadrícula o rejilla, que permita automatizar su cálculo mediante una aplicación informática, para pasar de un sistema local antiguo y heterogéneo (ED50/84), a un sistema global y homogéneo (ETRS89).

Para relacionar ambos sistemas se utilizan los datos de los **vértices geodésicos** en ambos datum como puntos de ajuste. Hay en la Región un total de **269 vértices** desde un principio. Actualmente hay algunos más, pero ello es debido a un proceso de densificación, acometido posteriormente a la existencia del sistema ED50/84.

Para afrontar la transformación hay que distinguir en primer lugar si se trata de **trabajos puntuales** o de una **gran superficie** como puede ser una región o un país. Para ello también hay que conocer la relación, a primera vista, que existe entre ambos sistemas. Y esta es que si los comparamos, lo primero que observamos es que hay un detalle importante, que es que hay una traslación muy definida entre ambos sistemas. Acompañada por una distorsión irregular en parte, que es función de punto, y que es de una menor cuantía, despreciable en algunos casos.

Como se trata en este caso en relacionar dos sistemas, ambos en el mismo tipo de coordenadas, separados entre sí algo más de doscientos metros, y que toda la Región está en el **huso 30**. Esta relación la vamos a hacer directamente en coordenadas UTM, no en geodésicas como sería lo ortodoxo. Que sería el caso en el que se implican varios husos y las proyecciones cartográficas de ambos sistemas fueran diferentes.

- **Transformación de trabajos puntuales.** Estos podrían ser levantamientos topográficos o cartográficos que se encuentren incluidos en el ámbito de dos o tres vértices geodésicos vecinos entre sí. Según la escala del trabajo a transformar, se lo podría aplicar una **traslación promedio**, basándose en esos geodésicos que los circundan. O si se requiere hacer una transformación más fina, se podrían relacionar ambos sistemas mediante una **transformación de semejanza**, en la que además de la traslación se le aplicasen un pequeño giro y factor de escala. Este proceso se puede realizar directamente con un programa de **CAD**. Al levantamiento habría que añadirles los dos vértices en ambos sistemas. Posteriormente seleccionar todo lo que se va a transformar y aplicarle una

traslación, seguida de un giro, y finalmente un cambio de escala. Todo esto se haría apoyándose en los vértices geodésicos, que habrán sido representados por diferentes entes geométricos, para que cuando haya que usarlos, las referencias a objetos, permita discriminar unos de otros, y operar correctamente. Los vértices de un sistema pueden ser círculos, y los del otro, extremos de una línea, por poner un ejemplo.

- Otra forma sencilla y precisa de hacer una transformación por traslación, para trabajos puntuales, es determinar esta en los ficheros **DWG** donde se han interpolado las curvas de nivel los valores de **Cx** y **Cy**. Los gráficos de estas correcciones se exponen más adelante, con una **equidistancia de 5 cm** en dichos valores. Bastaría con pegar en el programa de **CAD** el entorno aproximado del área a transformar, en coordenadas originales, y de un vistazo tendríamos los valores de la traslación.
- **Transformación de grandes superficies.** En este caso, al ser el territorio muy extenso al intervenir una gran cantidad de vértices geodésicos, las distorsiones irregulares que habría que tener en cuenta para relacionar ambos sistemas, es muy difícil de modelar en una función matemática, más cuanto mayor sea el ámbito. Este caso se aborda **tabulando la distorsión** mediante una rejilla a lo largo y ancho del territorio, de manera que permita una transformación continua y precisa en todo el ámbito de aplicación, y unívoca. El ancho de esta rejilla puede ser de 1,2 minutos de arco, si se trabaja con coordenadas geodésicas. O de 2 km si se trata de coordenadas UTM, como es el presente caso. Para cada vértice de la rejilla se le interpolaría el valor correspondiente de la distorsión, fruto de la relación entre ambos sistemas de coordenadas.

6. RELACIONAR MATEMÁTICAMENTE AMBOS SISTEMAS DE COORDENADAS

La relación entre ambos sistemas la vamos a hacer de la forma más simple que existe, que es la siguiente:

$$X_{ETRS89} = X_{ED50/84} + Cx$$

$$Y_{ETRS89} = Y_{ED50/84} + Cy$$

Es decir, vamos a calcular la corrección que hay que aplicar a cada coordenada para que obtener la correspondiente del otro sistema. Este proceso, como ya se verá, funciona tanto en un sentido como en el inverso, respetando los signos, naturalmente.

En los términos **Cx** y **Cy** se incluye, en bruto, tanto una **traslación** muy marcada entre ambos sistemas, que podemos considerar constante a determinados efectos prácticos, como la distorsión residual de la transformación, que es función de punto, según se verá después en los gráficos en los que se interpole las curvas de nivel de las correcciones a aplicar a las coordenadas. Estos datos son:

$$Cx = -111,90 \pm 0,64 \text{ m}$$

$$Cy = -208,05 \pm 0,56 \text{ m}$$

A partir de ahora vamos a llamar **distorsión**, en conjunto, a los términos **Cx** y **Cy**.

Para modelar los términos **Cx** y **Cy** de una manera continua, sobre todo el territorio, vamos a usar una rejilla, una para cada dato, con un ancho de 2 km. Los valores de cada esquina de la rejilla los vamos a interpolar de la nube de puntos de los 269 vértices geodésicos que compone la red geodésica original. Lo vamos a hacer de una forma sistemática y ordenada. Para ello vamos a triangular en primer lugar dicha nube. Y dentro de cada triángulo vamos a interpolar los puntos de la rejilla que le afecten.

7. CONFIGURACIÓN DE LA REJILLA PARA EL MODELADO DE LA DISTORSIÓN

Para ello tenemos que observar el listado de los 269 vértices, y así podemos determinar las coordenadas extremas de todo el ámbito, que son:

	$X_{ED50/84}$	$Y_{ED50/84}$
Máximas	703.903,21	4.288.991,37
Mínimas	564.572,49	4.138.021,05
Diferencias	139.330,72	150.970,32

Tabla 7.1.- Ámbito de coordenadas de la red geodésica regional

Redondeando convenientemente a múltiplos de 2 km, y teniendo en cuenta que hay parte del territorio regional fuera del contorno de los geodésicos, queda:

	X	Y
Máximo (final)	708.000	4.292.000
Mínimo (origen)	556.000	4.136.000

Tabla 7.2.- Ámbito de coordenadas del territorio regional

Para la formación de la rejilla queda un $\Delta X = 152 \text{ km}$, y un $\Delta Y = 156 \text{ km}$. Sabiendo que el ancho de esta es de 2 km, el número de vértices quedaría:

$$152 \text{ km} / 2 + 1 = 77 \text{ vértices}$$

$$156 \text{ km} / 2 + 1 = 79 \text{ vértices}$$

$$\text{Lo que hace un total de: } 77 * 79 = 6.083 \text{ vértices}$$

El IGN ha usado una rejilla en formato **NTv2**, cuyo almacenamiento digital es en formato binario de extensión **gsb**.

Desconozco los detalles del formato NTv2. Personalmente utilizaría, al no conocerlo, en una aplicación personal, un tipo de rejilla propio, basado en el uso de un fichero de **acceso**

directo o aleatorio, en el que es posible leer o escribir cualquier registro sin necesidad de leer todos los anteriores al que se desea leer o modificar.

Para ello cada registro estaría compuesto por dos campos, que corresponderían a los valores **Cx** y **Cy** para cada esquina. Usaría para ellos **variables reales de simple precisión (!)**, que tienen una tamaño de **4 bytes** por dato. Lo que da un tamaño de 8 bytes por registro. Teniendo en cuenta que se trata de 6.083 puntos, el fichero tendría un tamaño de **48.664 bytes**.

En esta rejilla el origen de coordenadas sería el valor mínimo: (556.000, 4.136.000), el segundo punto aumentaría la X en 2 km, permaneciendo la Y invariable, así hasta el punto 77 que sería el último que tendría por Y el valor 4.136.000. En el siguiente, el 78 volvería a tener la X mínima y la Y le aumentaría en 2 km, respecto a los valores que mantenía en la tanda anterior de puntos, y así sucesivamente. Crecerían en X de menos a más, y en Y también de menos a más, hasta alcanzar el punto 6.083, correspondiente a las coordenadas máximas anteriormente descritas para esta tabla.

8. TRIANGULAR LA NUBE DE PUNTOS DE LOS 269 VÉRTICES GEODÉSICOS

Para ello vamos a partir de una línea de contorno o perímetro que englobe a todos los puntos de la nube. El principal motivo de esta es evitar que se formen triángulos perimetales muy obtusos, que nos podrían producir un efecto borde característico.

Para el presente trabajo se ha hecho la triangulación con el programa **MDT** que parece que aplica los algoritmos del método de **Delaunay**.

En el siguiente gráfico en el que aparece la triangulación resuelta, se aprecia que los triángulos formados son los más pequeños y regulares posible, porque de esta forma definen mejor el terreno que tienen que representar. Para poder hacer este trabajo se han de buscar los puntos más cercanos, y entre ellos los que formen los triángulos más regulares y pequeños. Ello se consigue buscando a través de las siguientes fórmulas que relacionan el área del triángulo con el radio del círculo que lo circunscribe. Cuanto más regular sea el triángulo, a equivalente superficie, más pequeño será el círculo:

$$s = \frac{a + b + c}{2}.$$

$$\text{área} = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}.$$

$$2R = \frac{abc}{2\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}}.$$

Donde **a**, **b** y **c** son los lados del triángulo, **s** el semiperímetro, y **R** el radio de la circunferencia circunscrita.

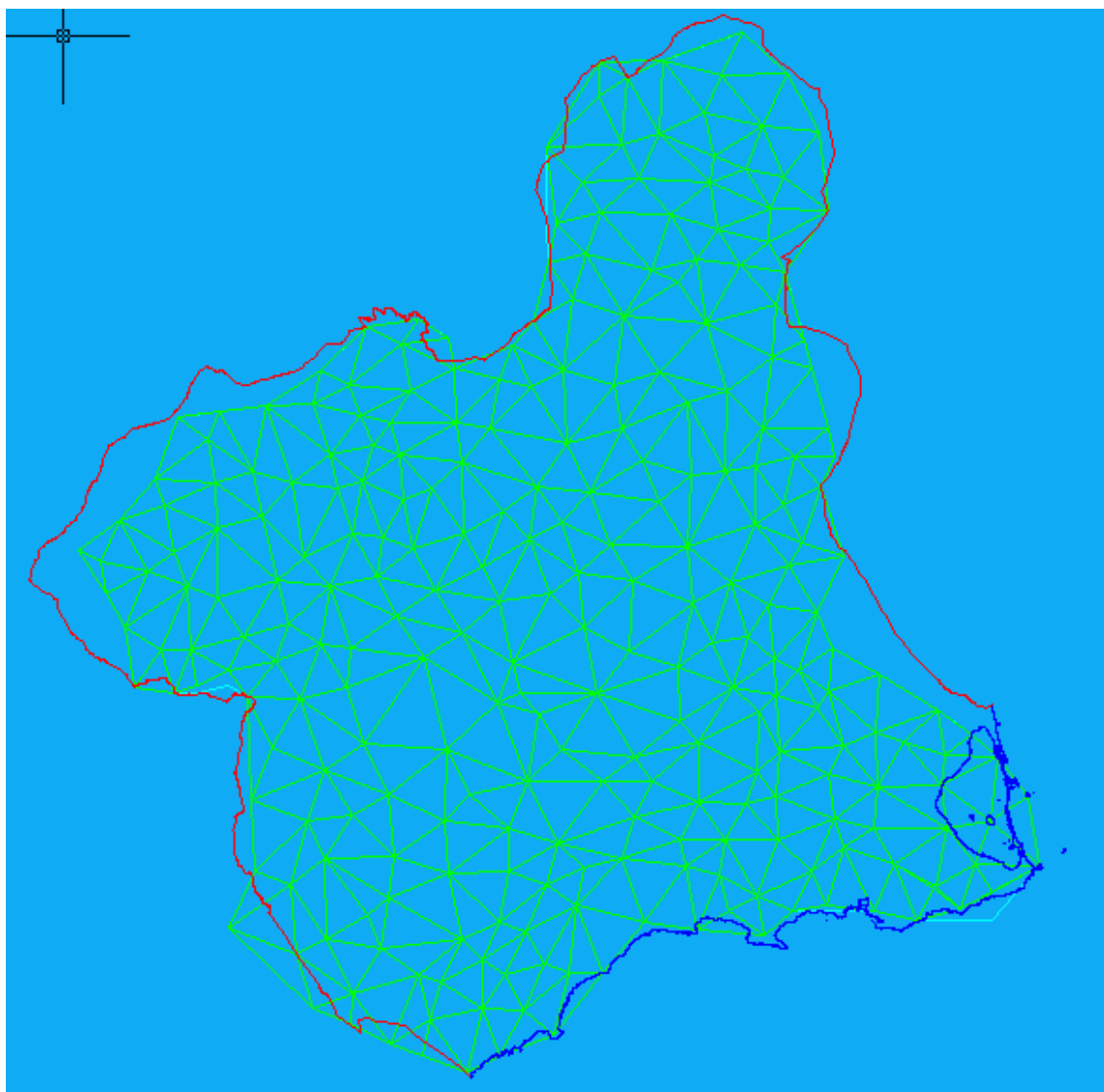


Figura 8.1.- Triangulación de la nube de los puntos de la red geodésica

9. INTERPOLAR LOS VÉRTICES DE LA REJILLA TRIÁNGULO A TRIÁNGULO

Para interpolar los valores de la rejilla tendremos que ir trabajando triángulo a triángulo. Y lo que vamos realmente a interpolar son los valores C_x y C_y . Para ello vamos a hacer la siguiente construcción. Cada triángulo tendrá por coordenadas X e Y las que tiene en el sistema ED50/84, y como Z tendrán la correspondiente C_x para un caso, y la C_y para el otro. Ya que para cada punto tendremos que interpolar dos valores, C_x y C_y que sumados a su correspondientes X e Y en ED50/84 nos den las coordenadas en ETRS89.

Por cada tipo de corrección vamos a obtener una superficie tridimensional en el que la Z es la corrección a aplicar.

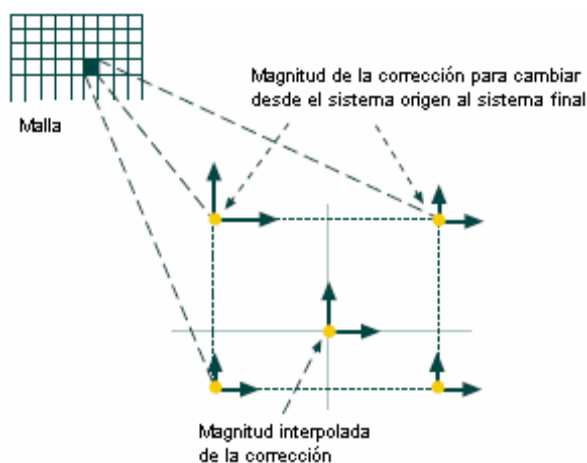


Figura 9.1.- Interpolación de un punto en la rejilla

Obtención de las variaciones de coordenadas que sufre un punto según una malla. Las fórmulas a utilizar para la interpolación son:

$$A X_{ED50/84} + B Y_{ED50/84} + G = C_x$$

$$C X_{ED50/84} + D Y_{ED50/84} + H = C_y$$

En las que hay seis parámetros (A, B, G, C, D y H) y se necesitan tres puntos conocidos para que haya solución única. Es decir, los tres puntos de cada triángulo.

Estas fórmulas son la de la transformación afín, pero también equivalen a los dos triángulos en el espacio, uno para cada superficie, ya que los valores C_x definen una superficie, y C_y otra, porque son tratados como la coordenada Z del plano definido por tres puntos.

Este tipo de transformación aplica, además de una traslación en el plano, dos cambios de escala, uno por cada eje coordenado, un giro, y una pequeña torsión.

Aplicar estas fórmulas supone una sencilla interpolación en toda regla. El cálculo solo se hará para los puntos del interior de cada triángulo y para los que caigan exactamente sobre uno de los lados. En este hipotético caso el punto de la rejilla se calcularía dos veces con idéntica solución en ambos casos, por lo que no ocasiona ningún problema.

El cálculo de esta transformación para cada triángulo se haría con las siguientes fórmulas, que ya resuelven los parámetros:

Promedios:

$$C_{xs} = \frac{\sum C_{xi}}{3} \quad C_{ys} = \frac{\sum C_{yi}}{3} \quad x_s = \frac{\sum X_i}{3} \quad y_s = \frac{\sum Y_i}{3}$$

Valores referidos a los promedios:

$$c_{xi} = C_{xi} - C_{xs} \quad c_{yi} = C_{yi} - C_{ys} \quad x_i = X_i - x_s \quad y_i = Y_i - y_s$$

Cálculo de los parámetros de la ecuación de **Cx**:

$$A = \frac{\sum(y_i^2) * \sum(x_i * c_{xi}) - \sum(x_i * y_i) * \sum(y_i * c_{xi})}{\sum(x_i^2) * \sum(y_i^2) - \sum(x_i * y_i)^2}$$

$$B = \frac{\sum(x_i^2) * \sum(y_i * c_{xi}) - \sum(x_i * y_i) * \sum(x_i * c_{xi})}{\sum(x_i^2) * \sum(y_i^2) - \sum(x_i * y_i)^2}$$

$$G = C_{xs} - A * x_s - B * y_s$$

Cálculo de los parámetros de la ecuación de **Cy**:

$$C = \frac{\sum(y_i^2) * \sum(x_i * c_{yi}) - \sum(x_i * y_i) * \sum(y_i * c_{yi})}{\sum(x_i^2) * \sum(y_i^2) - \sum(x_i * y_i)^2}$$

$$D = \frac{\sum(x_i^2) * \sum(y_i * c_{yi}) - \sum(x_i * y_i) * \sum(x_i * c_{yi})}{\sum(x_i^2) * \sum(y_i^2) - \sum(x_i * y_i)^2}$$

$$H = C_{ys} - C * x_s - D * y_s$$

El ancho de **rejilla** se ha estimado en **2 * 2 km**. Aumentar estos valores puede producir una suavización de las curvas que se obtendrían a partir de las rejillas, en comparación con las interpoladas directamente de los triángulos.

Las fórmulas de más arriba son las correspondientes al cálculo por mínimos cuadrados de la transformación afín. Particularizadas en este caso para tres puntos. Por eso los promedios, que corresponden a las primeras fórmulas, están divididos por tres.

10. CORRECCIÓN CX PROCEDENTE DE LA INTERPOLACIÓN DE LA TRIANGULACIÓN

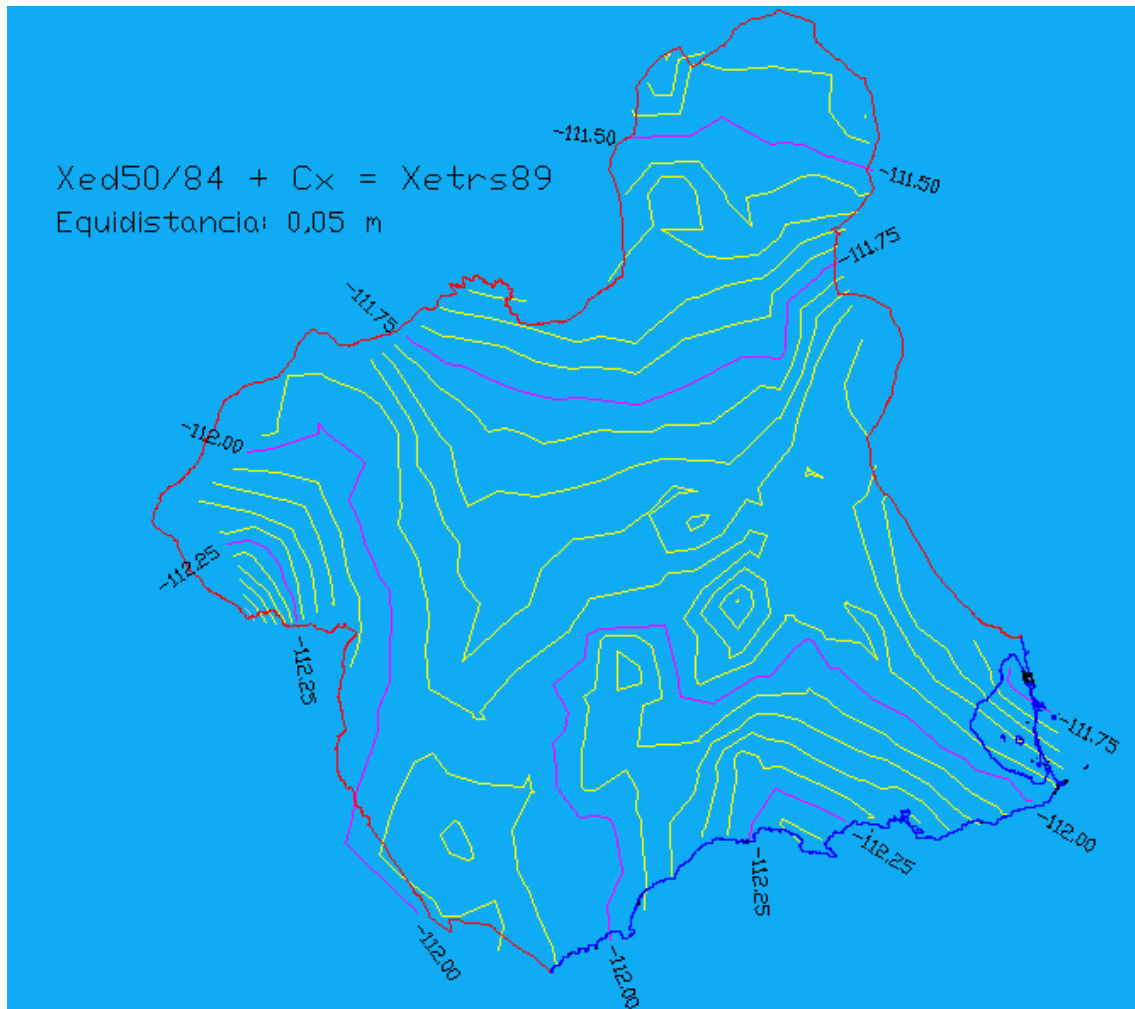


Figura 10.1.- Gráfico de la corrección Cx

11. CORRECCIÓN CY PROCEDENTE DE LA INTERPOLACIÓN DE LA TRIANGULACIÓN

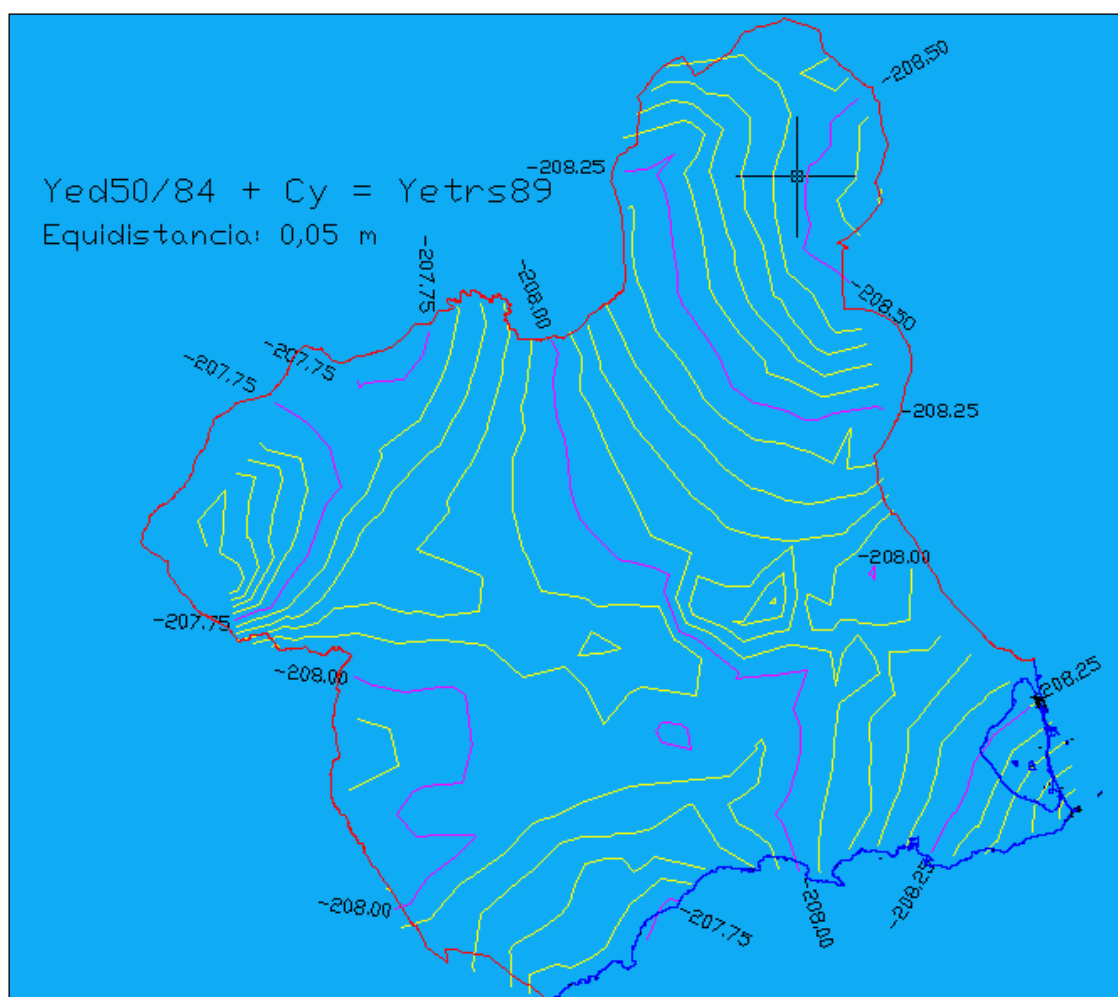


Figura 11.1.- Gráfico de la corrección Cy

12. INTERPOLAR LAS CORRECCIONES CX Y CY PARA UN PUNTO CUALQUIERA DE LA REGIÓN, EN AMBOS SENTIDOS

12.1. Transformación bilineal:

$$A * X_{ED50} + B * Y_{ED50} + E * X_{ED50} * Y_{ED50} + G = Cx$$

$$C * X_{ED50} + D * Y_{ED50} + F * X_{ED50} * Y_{ED50} + H = Cy$$

Requiere 4 puntos para obtener los 8 parámetros.

Estas son las fórmulas que se usarán en la cuadrícula para interpolar la corrección que dar a las coordenadas, para transformarlas de un sistema geodésico a otro.

Está basada en los valores de Cx y Cy de las cuatro esquinas de la rejilla donde está el punto, y en la posición dentro de ella, así como en la dimensión de la rejilla.

Estas funciones son las que interpolan las correcciones irregulares de la red que no son por tanto modelables en una única fórmula. Lo puede hacer a partir de una rejilla en la que se tabulan las correcciones que hay que aplicar a lo largo y ancho de todo el territorio. Permitiendo un cálculo continuo en todo el ámbito, y muy ajustado a los puntos de control, a partir de los que se ha interpolado la cuadrícula.

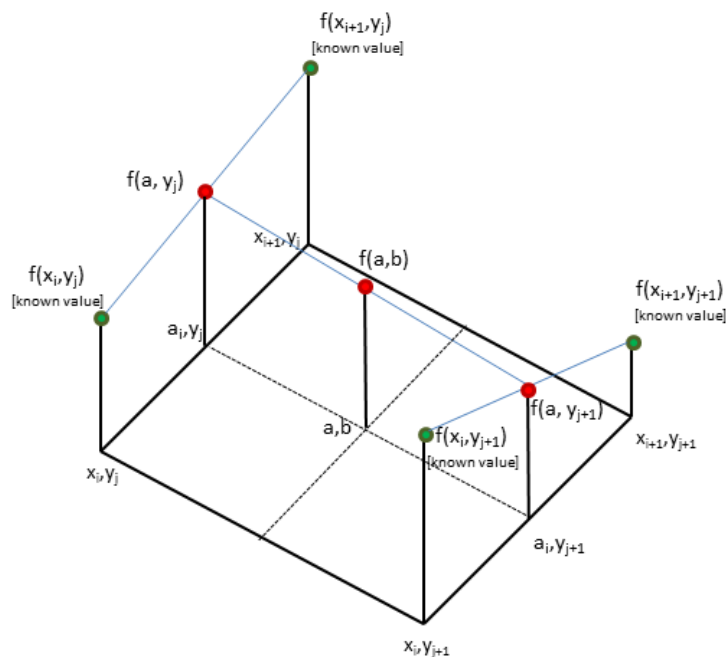
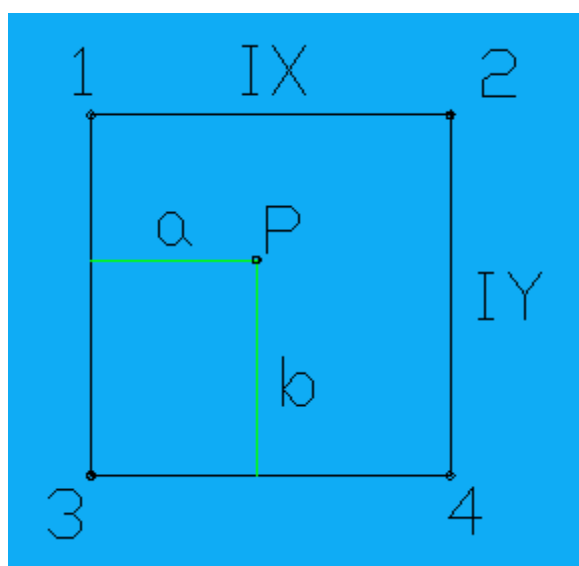


Figura 12.1.- Gráfico de la interpolación bilineal



a	b	a * b
$C_{xp} = C_{x3} + (C_{x4} - C_{x3}) * \frac{\quad}{IX} + (C_{x1} - C_{x3}) * \frac{\quad}{IY} + (C_{x2} + C_{x3} - C_{x1} - C_{x4}) * \frac{\quad}{IX * IY}$		
b	a	a * b
$C_{yp} = C_{y3} + (C_{y1} - C_{y3}) * \frac{\quad}{IY} + (C_{y4} - C_{y3}) * \frac{\quad}{IX} + (C_{y2} + C_{y3} - C_{y1} - C_{y4}) * \frac{\quad}{IX * IY}$		

Figura 12.2.- Esquema y fórmulas para interpolar las correcciones de un punto P cualquiera

La primera fórmula calcula la corrección de la coordenada **X** (**X_p + C_{xp}**)

La segunda calcula la corrección de coordenada **Y** (**Y_p + C_{yp}**)

El cálculo de las coordenadas quedaría:

$$X_{ETRS89} = X_{ED50} + C_{xp}$$

$$Y_{ETRS89} = Y_{ED50} + C_{yp}$$

Para deducir las fórmulas de la interpolación (una para la **X** y otra para la **Y**) se ha supuesto que el contorno de los cuatro vértices de cada cuadrícula se unen por segmentos rectos, y que la corrección que se le calcula a **P** (**C_{xp}** o **C_{yp}**) la determina la intersección de las rectas paralelas a los ejes coordenados que pasan por **P**, que se apoyan en las rectas perimetrales formadas por los puntos **1, 2, 3 y 4**.

12.2. VER EL CÁLCULO INVERSO DE $X_{\text{ETRS89}} / Y_{\text{ETRS89}} \blacktriangleright X_{\text{ED50}} / Y_{\text{ED50}}$

La fórmula para el cálculo inverso es la misma pero despejando convenientemente:

$$X_{\text{ED50}} = X_{\text{ETRS89}} - C_{xp}$$

$$Y_{\text{ED50}} = Y_{\text{ETRS89}} - C_{yp}$$

Para ello se considera, en primera aproximación que:

$$X_{\text{ED50}} \approx X_{\text{ETRS89}}$$

$$Y_{\text{ED50}} \approx Y_{\text{ETRS89}}$$

Con los que nos saldrán unos valores aproximados de C_{xp}' y C_{yp}' al interpolar en la misma rejilla que se utiliza en el caso directo. Estos valores a efectos prácticos se pueden considerar constantes por lo que al aplicarlos nos darían un valor muy aproximado de las coordenadas que buscamos:

$$X_{\text{ED50}} \approx X_{\text{ETRS89}} - C_{xp}'$$

$$Y_{\text{ED50}} \approx Y_{\text{ETRS89}} - C_{yp}'$$

Si volvemos a hacer otra interacción en el cálculo (obtener las correcciones en función de X_{ED50} e Y_{ED50}), el resultado obtenido se puede considerar el final de lo que buscamos:

$$X_{\text{ED50}} = X_{\text{ETRS89}} - C_{xp}$$

$$Y_{\text{ED50}} = Y_{\text{ETRS89}} - C_{yp}$$

13. COMPLETAR LA REJILLA PARA CUBRIR TODO EL TERRITORIO

Por la interpolación directa de la triangulación no se cubre la rejilla con datos para todo el territorio regional. Este vacío es necesario llenarlo. Para ello hay varias opciones. El mayor problema a evitar es el efecto borde. En realidad se trata de una extrapolación en un entorno cercano. Después de considerar varias opciones, me parece que la más sencilla de aplicar, de manera que tenga en cuenta los vértices del entorno, y se pueda mecanizar sencillamente mediante un algoritmo, que es utilizar para cada vértice vacío de la rejilla la media ponderada de las correcciones de los vértices cercanos, tomando como peso el **inverso de la distancia** de la rejilla al vértice. Se podría utilizar para ello los vértices que estén a menos de 15 km, por ejemplo.

En dicho cálculo influirían más los vértices más cercanos al punto de la rejilla a completar, por lo que se ha de estimar que el efecto borde tendería a no hacerse mostrar.

14. TRANSFORMACIONES BASADAS EN ECUACIONES POLINÓMICAS

Puede ser interesante para determinadas aplicaciones desarrollar funciones que nos permitan calcular directamente las correcciones en función de las coordenadas. Lo más fácil de implementar son los polinomios. En el presente trabajo se van a ver varias opciones, desde la simple traslación a un polinomio de segundo grado, pasando por la transformación afín. La transformación de semejanza se va a obviar porque solo deduce un factor de escala, mientras que la afín deduce dos, uno para cada eje coordenado, que es más propio para el tratamiento de la **proyección UTM**, como es el caso, en el que la escala varía de forma diferente según los ejes **X** e **Y**.

Los cálculos se van a hacer sobredeterminados, aplicando la teoría de mínimos cuadrados que nos dará la solución más probable al hacer que la suma de los cuadrados de los residuos sea mínima.

Para ello solo se van a usar los vértices pertenecientes a la red **REGENTE** (25 puntos en la Región), por:

- Estar uniformemente distribuidos. Uno por cada hoja del MTN50.
- Ser los que se han observado con técnicas espaciales.
- Y porque son suficientes como muestra del conjunto de la Región.

14.1 Traslación

Haciendo un promedio de la traslación de los 269 puntos de la red regional salen las siguientes correcciones:

$$X_{ETRS89} = X_{ED50/84} - 111,90$$

$$Y_{ETRS89} = Y_{ED50/84} - 208,05$$

Con un error típico de $\pm 0,21$ m y un error máximo en ambas coordenadas de $\pm 0,64$ m.

14.2. Transformación afín

De la forma:

$$C_x = A_0 + A_1 * X_{ED50} + A_2 * Y_{ED50}$$

$$C_y = B_0 + B_1 * X_{ED50} + B_2 * Y_{ED50}$$

$$X_{ETRS89} = C_x + X_{ED50}$$

$$X_{ETRS89} = A_0 + X(1 + A_1) + Y * A_2$$

$$Y_{ETRS89} = C_y + Y_{ED50}$$

$$Y_{ETRS89} = B_0 + X * B_1 + Y(1 + B_2)$$

Operando y deduciendo se llega a las expresiones:

$$X_{ETRS89} = - 131,04 + X_{ED50/84} * 1,00000132 + Y_{ED50/84} * 4,355E-06$$

$$Y_{ETRS89} = - 192,34 - X_{ED50/84} * 4,70E-06 + Y_{ED50/84} * 0,999996974$$

Con un error típico de $\pm 0,12$ m, y un error máximo de ± 52 cm.

Los factores de escala para cada eje coordenado son:

$$K_x = 1,000001317$$

$$K_y = 0,999996974$$

14.3. Transformación bilineal

De la forma:

$$C_x = A_0 + A_1 * X + A_2 * Y + A_3 * XY$$

$$C_y = B_0 + B_1 * X + B_2 * Y + B_3 * XY$$

$$X_{ETRS89} = X + A_0 + A_1 * X + A_2 * Y + A_3 * XY$$

$$X_{ETRS89} = A_0 + X(1 + A_1) + Y * A_2 + XY * A_3$$

$$Y_{ETRS89} = Y + B_0 + B_1 * X + B_2 * Y + B_3 * XY$$

$$Y_{ETRS89} = B_0 + X * B_1 + Y(1 + B_2) + XY * B_3$$

Operando y deduciendo se llega a las expresiones:

$$X_{ETRS89} = -131,051 + 1,00000131699 * X_{ED50/84} + 0,0000043554 * Y_{ED50/84} + 3,79103E-15 * X_{ED50/84} * Y_{ED50/84}$$

$$Y_{ETRS89} = -192,339 - 4,70291E-06 * X_{ED50/84} + 0,99999697361 * Y_{ED50/84} - 1,80968E-15 * X_{ED50/84} * Y_{ED50/84}$$

El término XY apenas vale 1 cm para las posiciones extremas de la Región, por lo que se puede decir que estas expresiones matemáticas son iguales que las obtenidas para la transformación afín, a efectos prácticos.

15. CONTROL DE CALIDAD EN LA CARTOGRAFÍA TRANSFORMADA

El problema es garantizar que el software a emplear aplique correctamente la rejilla, por tanto a efectos técnicos hay que tener en cuenta una serie de criterios de calidad en cartografía transformada en ETRS89. Al transformar de forma automática las distintas series, se deben satisfacer sus requerimientos en cuanto a que la pérdida de exactitud e información sea mínima y el mantenimiento de los requisitos de consistencia lógica sea máximo.

Consecuentemente la transformación de Datum, aunque sencilla de aplicar, a nivel técnico debe tener en cuenta algunas limitaciones que presentan las herramientas aplicadas para una reproyección a ETRS89.

15.1. Exactitud posicional

La forma más simple y fiable de realizar este control consiste en contrastar las medidas proporcionadas de una serie de puntos por muestreo, con los correspondientes valores obtenidos por observación directa en el terreno o extraídos de bases de datos de puntos de control ETRS89, pero en cualquier caso, de una fuente de datos que garantice su exactitud. Se cumple con los requisitos geométricos cuando los valores de los parámetros de precisión calculados a partir de estas discrepancias no sobrepasen un límite fijado según la escala de la información.

15.2. Consistencia lógica

Otra de las componentes de calidad cartográfica es el mantenimiento de la consistencia lógica en información vectorial transformada. A veces la pérdida de consistencia puede no ser un efecto de la transformación en sí, sino de la herramienta utilizada. Esta componente estará asegurada a través del control de los siguientes aspectos:

- **Continuidad entre bloques/hojas transformadas:** en el caso de disponer de información dividida en bloques/hojas, se deberá garantizar la conexión geométrica entre una hoja y las limítrofes transformadas o producidas en el nuevo Datum. Se debe tener en cuenta que la definición de las esquinas en ETRS89 de la nueva cartografía producida no coincidirá por completo con las de las series cartográficas existentes en ED50 reproyectadas a ETRS89. En caso de estar trabajando combinando cartografía reproyectada y cartografía producida en ETRS89 adaptada al nuevo corte, puede aparecer una falta de continuidad entre las hojas. De producirse esta situación con frecuencia, se podrían fusionar las hojas reproyectadas desde ED50 contenidas en una hoja 1:50000 y volver a realizar el corte basándose en la nueva definición de esquinas propuesta por la Comisión de Normas Cartográficas.
- **Continuidad entre objetos transformados:** Se debe garantizar la conexión entre todos los objetos que poseían esta característica en la cartografía inicial ED50. Puede aparecer una falta de continuidad por una mala reproyección del software.
- **Cierre de recintos:** Control para garantizar el cierre de las líneas que componen las formas poligonales. Si un elemento está cortado por el marco de una hoja o bloque, deberá quedar cerrado o guardar continuidad con una línea coincidente con él.
- **Consistencia topológica:** Las limitaciones de las herramientas de transformación de ED50 a ETRS89 pueden producir una posible descomposición o cambio de algunos tipos gráficos en primitivas gráficas diferentes a las permitidas en el modelo de aplicación de la serie. A modo de ejemplo, podría darse el caso de pérdida de la primitiva gráfica correspondiente a una multilínea al convertirse ésta en la transformación en una cadena compleja.

15.3. Compleción

Se debe comprobar que no se pierde información al realizar la transformación. Para ello la herramienta de reproyección tiene que garantizar que no se omitan los objetos y elementos representados en la serie inicial.

16. LISTADO DE COORDENADAS Y CORRECCIONES DE LOS VÉRTICES

Los puntos en **negrita** corresponden a los **vértices** de la red **REGENTE**.

El listado de los vértices va organizado por la numeración de estos, que está basada en las hojas del MTN50 en las que se encuentran.

Las dos últimas cifras del número son como los índices de una tabla que indica en qué posición de la hoja del MTR50 correspondiente se encuentra.

Como el número del vértice es función de la hoja en la que se encuentra, y de su posición dentro de ella, ello lleva consigo que a lo largo de pasar por varios sistemas geodésicos, al aumentar cada vez a más la precisión, cambie de numeración, por lo que para comparar un vértice en distintos sistemas hay que atender principalmente a su nombre.

En el presente TFG se ha indicado el número de vértice correspondiente al sistema geodésico más actual. Por ello se encontrarán en el siguiente listado un vértice en verde que corresponde, como ejemplo, al que no solo ha cambiado de número, sino también de hoja del MTN50 al que pertenecía en un principio.

Tabla 16.1.- Listado de coordenadas en ambos sistema y correcciones

Hoja MTN50	ED50/84		ETRS89		CORRECCIONES	
Núm	X	Y	X	Y	Cx	Cy
81831	640067,79	4284466,57	639956,445	4284258,112	-111,345	-208,458
81850	644241,08	4282490,30	644129,624	4282281,879	-111,456	-208,421
81871	649447,18	4284790,83	649335,748	4284582,387	-111,432	-208,443
81890	657767,35	4282574,62	657655,901	4282366,163	-111,449	-208,457
81914	660848,00	4288991,37	660736,575	4288782,891	-111,425	-208,479
81930	667370,70	4283036,70	667259,257	4282828,268	-111,443	-208,432
84415	632598,38	4272275,09	632486,893	4272066,797	-111,487	-208,293
84422	637642,35	4267073,09	637530,801	4266864,849	-111,549	-208,241
84430	640488,16	4262830,59	640376,518	4262622,333	-111,642	-208,257
84439	640040,12	4279745,59	639928,750	4279537,222	-111,370	-208,368
84445	643369,06	4272629,84	643257,574	4272421,583	-111,486	-208,257
84452	645867,60	4267690,07	645756,059	4267481,726	-111,541	-208,344
84466	648871,20	4274187,42	648759,699	4273979,062	-111,501	-208,358
84492	656029,92	4267084,62	655918,408	4266876,174	-111,512	-208,446
84494	656776,47	4270990,23	656664,974	4270781,786	-111,496	-208,444
84497	655335,10	4277209,83	655223,619	4277001,403	-111,481	-208,427
84513	661448,20	4269088,96	661336,695	4268880,466	-111,505	-208,494
84516	663677,74	4275306,08	663566,269	4275097,599	-111,471	-208,481
84520	664807,54	4263254,52	664695,967	4263045,983	-111,573	-208,537
84522	666749,01	4268052,69	666637,511	4267844,173	-111,499	-208,517
84546	671855,22	4274587,88	671743,819	4274379,308	-111,401	-208,572
86821	606350,08	4246204,35	606238,468	4245996,560	-111,612	-207,790
86841	613876,80	4247178,72	613765,230	4246970,824	-111,570	-207,896
86860	618350,35	4244450,86	618238,742	4244242,912	-111,608	-207,948
86901	630650,12	4246951,38	630538,517	4246743,225	-111,603	-208,155
86916	632718,39	4255386,08	632606,808	4255177,890	-111,582	-208,190
86919	633809,03	4261238,37	633697,474	4261030,176	-111,556	-208,194
86923	636392,90	4250139,90	636281,276	4249931,691	-111,624	-208,209
86926	638061,06	4256770,77	637949,458	4256562,545	-111,602	-208,225
86942	643724,82	4247906,96	643613,191	4247698,692	-111,629	-208,268
86965	647719,10	4254257,43	647607,515	4254049,108	-111,585	-208,322
86974	651498,20	4252660,50	651386,607	4252452,139	-111,593	-208,361

Hoja MTN50	ED50/84		ETRS89		CORRECCIONES	
Núm	X	Y	X	Y	Cx	Cy
86979	650370,18	4262381,87	650258,639	4262173,488	-111,541	-208,382
86981	655613,68	4246720,54	655502,008	4246512,161	-111,672	-208,379
86986	654305,17	4255860,55	654193,618	4255652,156	-111,552	-208,394
86998	657207,58	4260328,10	657096,015	4260119,643	-111,565	-208,457
87005	660373,90	4255074,92	660262,277	4254866,424	-111,623	-208,496
87022	665588,24	4249411,99	665476,481	4249203,505	-111,759	-208,485
87025	667168,36	4253995,61	667056,669	4253787,097	-111,691	-208,513
87027	664511,89	4258487,26	664400,294	4258278,738	-111,596	-208,522
87059	673325,24	4263007,71	673213,707	4262799,105	-111,533	-208,605
88924	579169,13	4233203,59	579057,182	4232995,826	-111,948	-207,764
88942	583534,97	4229887,02	583422,975	4229679,261	-111,995	-207,759
88944	585173,15	4233930,62	585061,208	4233722,841	-111,942	-207,779
88960	589977,00	4225343,87	589865,012	4225136,098	-111,988	-207,772
88975	592010,10	4234856,94	591898,182	4234649,193	-111,918	-207,747
88995	598687,78	4235056,67	598575,970	4234848,920	-111,810	-207,750
88998	599875,60	4239974,59	599763,883	4239766,866	-111,717	-207,724
89001	601093,79	4227651,06	600981,941	4227443,255	-111,849	-207,805
89014	605398,03	4233254,38	605286,261	4233046,563	-111,769	-207,817
89016	603939,19	4237868,50	603827,471	4237660,717	-111,719	-207,783
89022	607339,29	4228972,66	607227,493	4228764,801	-111,797	-207,859
89031	611346,56	4227760,00	611234,777	4227552,103	-111,783	-207,897
89033	609876,88	4232263,41	609765,123	4232055,547	-111,757	-207,863
89039	611483,89	4243630,99	611372,257	4243423,140	-111,633	-207,850
89046	612912,47	4236896,29	612800,759	4236688,404	-111,711	-207,886
89060	620318,84	4226676,42	620207,068	4226468,444	-111,772	-207,976
89063	619375,79	4232299,90	619264,060	4232091,927	-111,730	-207,973
89068	619220,96	4240262,13	619109,310	4240054,172	-111,650	-207,958
89083	624369,38	4231500,01	624257,651	4231291,988	-111,729	-208,022
89087	625552,53	4238572,51	625440,883	4238364,474	-111,647	-208,036
89099	627620,60	4243367,51	627508,994	4243159,408	-111,606	-208,102
89106	630238,11	4237531,94	630126,441	4237323,824	-111,669	-208,116
89111	635472,52	4229191,98	635360,779	4228983,865	-111,741	-208,115
89117	635033,62	4239863,26	634921,986	4239655,096	-111,634	-208,164
89143	643319,27	4231352,32	643207,520	4231144,141	-111,750	-208,179
89146	642381,97	4237702,59	642270,263	4237494,388	-111,707	-208,202
89150	646420,42	4226858,16	646308,632	4226649,993	-111,788	-208,167
89167	648692,47	4239678,53	648580,765	4239470,269	-111,705	-208,261
89175	652881,77	4235384,39	652770,011	4235176,106	-111,759	-208,284
89195	658490,19	4236903,42	658378,452	4236695,100	-111,738	-208,320
89210	662700,35	4226154,51	662588,429	4225946,296	-111,921	-208,214
89213	663680,63	4231585,07	663568,717	4231376,781	-111,913	-208,289
89228	665106,36	4241727,41	664994,487	4241518,968	-111,873	-208,442
89230	668525,41	4227383,70	668413,467	4227175,500	-111,943	-208,200
89239	669682,92	4244332,16	669571,023	4244123,680	-111,897	-208,480
89242	673279,97	4231475,16	673167,984	4231266,901	-111,986	-208,259
89247	670895,44	4240205,98	670783,498	4239997,586	-111,942	-208,394
89250	674100,84	4227386,52	673988,852	4227178,296	-111,988	-208,224
90973	564572,49	4213308,82	564460,389	4213101,323	-112,101	-207,497
90974	564799,71	4213840,41	564687,569	4213632,824	-112,141	-207,586
90983	567994,77	4212140,40	567882,617	4211932,883	-112,153	-207,517
90990	568890,13	4207436,87	568777,925	4207229,331	-112,205	-207,539

Hoja MTN50	ED50/84		ETRS89		CORRECCIONES	
Núm	X	Y	X	Y	Cx	Cy
90996	570822,36	4218124,95	570710,312	4217917,398	-112,048	-207,552
91012	574822,71	4210810,62	574710,561	4210603,012	-112,149	-207,608
91017	577140,92	4220367,48	577028,903	4220159,862	-112,017	-207,618
91019	575918,20	4224204,74	575806,264	4223997,046	-111,936	-207,694
91023	578567,04	4213407,20	578454,944	4213199,544	-112,096	-207,656
91031	580464,27	4208673,92	580352,129	4208466,229	-112,141	-207,691
91040	584974,72	4206882,47	584862,628	4206674,697	-112,092	-207,773
91045	584937,26	4217133,01	584825,226	4216925,292	-112,034	-207,718
91049	584511,87	4223655,28	584399,868	4223447,549	-112,002	-207,731
91066	591394,41	4218710,46	591282,408	4218502,689	-112,002	-207,771
91071	593505,05	4209356,96	593393,084	4209149,077	-111,966	-207,883
91083	597298,49	4212824,53	597186,538	4212616,646	-111,952	-207,884
91089	595753,03	4223601,49	595641,056	4223393,685	-111,974	-207,805
91101	601137,63	4208531,06	601025,699	4208323,159	-111,931	-207,901
91108	602341,26	4222841,06	602229,399	4222633,207	-111,861	-207,853
91115	604381,62	4216241,57	604269,740	4216033,679	-111,880	-207,891
91119	605861,73	4223737,66	605749,892	4223529,791	-111,838	-207,869
91121	607975,16	4210055,85	607863,295	4209847,931	-111,865	-207,919
91124	608848,37	4215772,28	608736,551	4215564,353	-111,819	-207,927
91137	611764,03	4221069,46	611652,216	4220861,538	-111,814	-207,922
91144	613072,78	4214186,42	612960,929	4213978,481	-111,851	-207,939
91150	616359,74	4207974,34	616247,863	4207766,394	-111,877	-207,946
91158	615763,11	4222753,96	615651,301	4222546,010	-111,809	-207,950
91165	620430,55	4216269,16	620318,713	4216061,188	-111,837	-207,972
91172	623139,73	4211317,77	623027,861	4211109,788	-111,869	-207,982
91186	626249,96	4219383,10	626138,137	4219175,088	-111,823	-208,012
91200	633059,03	4207534,15	632947,127	4207326,144	-111,903	-208,006
91204	629919,03	4215457,53	629807,175	4215249,507	-111,855	-208,023
91208	631190,99	4223004,41	631079,179	4222796,359	-111,811	-208,051
91215	634657,41	4217811,13	634545,555	4217603,076	-111,855	-208,054
91221	637195,12	4210595,73	637083,218	4210387,680	-111,902	-208,050
91228	638662,88	4222215,25	638551,058	4222007,153	-111,822	-208,097
91234	641668,04	4214640,82	641556,134	4214432,742	-111,906	-208,078
91251	644910,92	4209317,07	644799,083	4209109,001	-111,837	-208,069
91267	648733,07	4220974,03	648621,238	4220765,881	-111,832	-208,149
91273	652757,60	4214349,62	652645,714	4214141,493	-111,886	-208,127
91289	653513,11	4224629,96	653401,275	4224421,769	-111,835	-208,191
91299	658288,12	4225122,75	658176,260	4224914,549	-111,860	-208,201
91300	659258,30	4209225,48	659146,377	4209017,384	-111,923	-208,096
91315	662707,38	4217599,84	662595,428	4217391,672	-111,952	-208,168
91322	667478,23	4211525,12	667366,302	4211317,015	-111,928	-208,105
91326	666742,06	4220414,39	666630,137	4220206,195	-111,923	-208,195
91333	669616,34	4214799,72	669504,394	4214591,596	-111,946	-208,124
91348	672165,75	4223124,08	672053,804	4222915,862	-111,946	-208,218
91352	675461,54	4213072,98	675349,698	4212864,956	-111,842	-208,024
93103	572911,94	4193988,48	572799,405	4193780,569	-112,535	-207,911
93098	571473,76	4202522,18	571361,409	4202314,672	-112,351	-207,508
93116	576697,27	4199463,25	576584,959	4199255,518	-112,311	-207,732
93122	578536,99	4193212,27	578424,620	4193004,262	-112,370	-208,008
93133	581926,29	4194095,12	581814,100	4193887,162	-112,190	-207,958
93136	580957,17	4199255,58	580844,969	4199047,773	-112,201	-207,807

Hoja MTN50	ED50/84		ETRS89		CORRECCIONES	
Núm	X	Y	X	Y	Cx	Cy
93152	589124,86	4192473,60	589012,791	4192265,617	-112,069	-207,983
93154	586575,89	4196274,83	586463,789	4196066,900	-112,101	-207,930
93157	588611,28	4201384,08	588499,226	4201176,202	-112,054	-207,878
93175	593202,30	4197740,19	593090,278	4197532,268	-112,022	-207,922
93182	596760,72	4192207,48	596648,727	4191999,513	-111,993	-207,967
93188	595187,46	4203291,90	595075,482	4203084,031	-111,978	-207,869
93196	599947,81	4200099,13	599835,848	4199891,246	-111,962	-207,884
93203	603714,04	4194001,94	603602,103	4193793,987	-111,937	-207,953
93216	604213,29	4199560,13	604101,377	4199352,252	-111,913	-207,878
93238	610590,47	4204228,40	610478,590	4204020,501	-111,880	-207,899
93245	614700,50	4198314,63	614588,625	4198106,714	-111,875	-207,916
93267	620096,88	4201852,08	619984,980	4201644,130	-111,900	-207,950
93281	625417,14	4191807,33	625305,184	4191599,384	-111,956	-207,946
93289	625687,17	4206485,09	625575,268	4206277,115	-111,902	-207,975
93292	628597,84	4193081,60	628485,860	4192873,627	-111,980	-207,973
93294	627649,90	4197432,24	627537,952	4197224,305	-111,948	-207,935
93300	631335,34	4190074,79	631223,247	4189866,888	-112,093	-207,902
93327	637999,53	4202572,48	637887,603	4202364,511	-111,927	-207,969
93332	639940,07	4193070,57	639828,070	4192862,663	-112,000	-207,907
93345	644383,77	4199145,97	644271,780	4198937,838	-111,990	-208,132
93374	651409,09	4196884,59	651297,291	4196676,436	-111,799	-208,154
93379	653631,08	4206038,79	653519,109	4205830,722	-111,971	-208,068
93370	651666,55	4189071,38	651554,664	4188863,372	-111,886	-208,008
93386	656456,01	4200406,21	656344,096	4200198,005	-111,914	-208,205
93392	659503,49	4193951,66	659391,535	4193743,605	-111,955	-208,055
93406	661633,80	4201210,91	661521,895	4201002,861	-111,905	-208,049
93410	663156,60	4190374,18	663044,592	4190166,174	-112,008	-208,006
93411	665638,51	4192760,76	665526,580	4192552,702	-111,930	-208,058
93414	665410,39	4198040,88	665298,464	4197832,835	-111,926	-208,045
93419	664461,39	4205939,68	664349,469	4205731,614	-111,921	-208,066
93430	671546,36	4190812,81	671434,416	4190604,786	-111,944	-208,024
93433	668862,62	4196343,87	668750,668	4196135,813	-111,952	-208,057
93442	673378,80	4193488,32	673266,838	4193280,225	-111,962	-208,095
93445	673930,03	4199553,53	673818,132	4199345,519	-111,898	-208,011
93448	671651,77	4204851,76	671539,866	4204643,763	-111,904	-207,997
93473	680644,50	4195947,08	680532,687	4195738,998	-111,813	-208,082
93500	689008,96	4190665,37	688897,158	4190457,200	-111,802	-208,170
95264	589712,81	4177677,42	589600,788	4177469,323	-112,022	-208,097
95278	592616,47	4185256,55	592504,448	4185048,536	-112,022	-208,014
95282	598017,55	4174508,54	597905,571	4174300,491	-111,979	-208,049
95296	600376,51	4181968,85	600264,544	4181760,828	-111,966	-208,022
95313	604313,31	4175477,65	604201,348	4175269,622	-111,962	-208,028
95318	606205,27	4185644,61	606093,366	4185436,602	-111,904	-208,008
95324	609517,47	4178516,57	609405,521	4178308,571	-111,949	-207,999
95352	617850,79	4174724,76	617738,835	4174516,783	-111,955	-207,977
95358	618089,90	4184904,47	617977,937	4184696,507	-111,963	-207,963
95364	621429,53	4178337,49	621317,574	4178129,535	-111,956	-207,955
95381	627004,09	4173382,93	626892,035	4173174,953	-112,055	-207,977
95395	629656,63	4180312,51	629544,551	4180104,555	-112,079	-207,955
95410	633971,62	4171353,36	633859,564	4171145,410	-112,056	-207,950
95418	634685,36	4185031,98	634573,238	4184824,017	-112,122	-207,963

Hoja MTN50	ED50/84		ETRS89		CORRECCIONES	
Núm	X	Y	X	Y	Cx	Cy
95435	640507,54	4180227,26	640395,508	4180019,246	-112,032	-208,014
95442	645389,60	4175222,87	645277,553	4175014,880	-112,047	-207,990
95455	647757,11	4180406,94	647645,107	4180198,967	-112,003	-207,973
95457	645370,10	4183867,60	645258,156	4183659,639	-111,944	-207,961
95470	651805,28	4171996,45	651693,066	4171788,521	-112,214	-207,929
95483	654488,68	4177289,23	654376,557	4177081,284	-112,123	-207,946
95488	654631,45	4185998,91	654519,469	4185790,940	-111,981	-207,970
95490	658448,10	4171838,53	658335,918	4171630,537	-112,182	-207,993
95503	661369,81	4176963,05	661257,701	4176755,043	-112,109	-208,007
95510	666006,81	4171951,44	665894,679	4171743,381	-112,131	-208,059
95514	665715,53	4178107,08	665603,455	4177899,032	-112,075	-208,048
95516	663090,98	4181786,34	662978,924	4181578,319	-112,056	-208,021
95527	666318,89	4184607,31	666206,872	4184399,264	-112,018	-208,046
95542	674148,38	4174839,00	674036,316	4174630,877	-112,064	-208,123
95545	673335,91	4181332,52	673223,912	4181124,403	-111,998	-208,117
95557	675560,88	4185360,49	675448,926	4185152,385	-111,954	-208,105
95561	679757,17	4173461,08	679645,138	4173252,900	-112,032	-208,180
95564	680319,41	4179590,45	680207,432	4179382,274	-111,978	-208,176
95568	680107,23	4187465,56	679995,322	4187257,432	-111,908	-208,128
95588	684286,10	4186080,57	684174,228	4185872,405	-111,872	-208,165
95601	690318,81	4173536,83	690206,854	4173328,552	-111,956	-208,278
95604	689597,26	4179883,41	689485,358	4179675,173	-111,902	-208,237
95607	690165,78	4184239,46	690053,949	4184031,250	-111,831	-208,210
95618	693911,19	4187040,00	693799,421	4186831,794	-111,769	-208,206
95621	696639,64	4174601,29	696527,743	4174392,942	-111,897	-208,348
95626	697789,68	4183847,43	697677,981	4183639,171	-111,699	-208,259
95643	702175,17	4178200,14	702063,412	4177991,785	-111,758	-208,355
97444	586570,11	4159083,53	586458,090	4158875,507	-112,020	-208,023
97468	590239,99	4167264,04	590127,987	4167056,016	-112,003	-208,024
97477	595398,27	4165334,21	595286,310	4165126,200	-111,960	-208,010
97482	596344,30	4155305,67	596232,371	4155097,619	-111,929	-208,051
97493	600715,81	4157488,09	600603,906	4157280,073	-111,904	-208,017
97499	600435,14	4169161,53	600323,203	4168953,545	-111,937	-207,985
97515	606509,42	4161094,53	606397,523	4160886,522	-111,897	-208,008
97522	608555,14	4155987,95	608443,243	4155780,009	-111,897	-207,941
97526	609585,90	4163460,38	609473,985	4163252,379	-111,915	-208,001
97539	610300,54	4169328,91	610188,575	4169120,932	-111,965	-207,978
97540	614030,45	4152316,21	613918,516	4152108,324	-111,934	-207,886
97563	620187,97	4157546,69	620075,990	4157338,805	-111,980	-207,885
97558	618245,71	4166932,15	618133,762	4166724,187	-111,948	-207,963
97571	623219,41	4154402,03	623107,440	4154194,168	-111,970	-207,862
97584	625792,65	4159907,31	625680,677	4159699,449	-111,973	-207,861
97580	626356,72	4152212,43	626244,736	4152004,594	-111,984	-207,836
97593	629528,38	4158510,46	629416,410	4158302,632	-111,970	-207,828
97588	627024,60	4167211,38	626912,542	4167003,443	-112,058	-207,937
97601	632204,56	4153864,40	632092,570	4153656,578	-111,990	-207,822
97607	632551,54	4165318,88	632439,510	4165110,963	-112,030	-207,917
97610	635829,62	4152463,78	635717,583	4152256,001	-112,037	-207,779
97625	636939,94	4162303,86	636827,877	4162095,981	-112,063	-207,879
97628	637982,61	4167819,68	637870,542	4167611,758	-112,068	-207,922
97630	640536,50	4152614,85	640424,403	4152407,118	-112,097	-207,732

Hoja MTN50	ED50/84		ETRS89		CORRECCIONES	
Núm	X	Y	X	Y	Cx	Cy
97649	643461,16	4169151,77	643349,088	4168943,868	-112,072	-207,902
97654	646566,68	4159923,28	646454,524	4159715,406	-112,156	-207,874
97673	654217,70	4158705,79	654105,440	4158497,886	-112,260	-207,904
97678	652570,85	4168028,25	652458,629	4167820,271	-112,221	-207,979
97695	658824,55	4161425,90	658712,244	4161217,907	-112,306	-207,993
97698	657589,24	4166714,86	657476,989	4166506,855	-112,251	-208,005
97713	664030,53	4157918,97	663918,217	4157710,913	-112,313	-208,057
97706	663082,84	4163698,70	662970,580	4163490,653	-112,260	-208,047
97725	668181,82	4161634,62	668069,564	4161426,520	-112,256	-208,100
97738	670862,88	4167345,44	670750,718	4167137,348	-112,162	-208,092
97745	673132,08	4162253,12	673019,879	4162044,963	-112,201	-208,157
97760	675481,73	4170853,69	675369,623	4170645,545	-112,107	-208,145
97764	679716,41	4161598,77	679604,200	4161390,540	-112,210	-208,230
97778	682721,37	4168363,53	682609,287	4168155,307	-112,083	-208,223
97784	686013,04	4160264,31	685900,897	4160055,985	-112,143	-208,325
97796	688609,72	4164726,47	688497,654	4164518,161	-112,066	-208,309
97700	688896,00	4164954,76	688783,938	4164746,452	-112,062	-208,308
97804	692400,07	4161708,12	692288,00	4161499,748	-112,075	-208,372
97818	694604,19	4168229,77	694492,187	4168021,401	-112,003	-208,369
97826	696851,87	4164373,38	696739,860	4164164,981	-112,010	-208,399
97848	703903,21	4168013,87	703791,276	4167805,383	-111,934	-208,487
99698	598845,37	4147451,67	598733,357	4147243,751	-112,013	-207,919
99706	604157,29	4145092,35	604045,331	4144884,414	-111,959	-207,936
99709	604441,70	4149595,58	604329,774	4149387,654	-111,926	-207,926
99725	610014,27	4142311,00	609902,288	4142103,103	-111,982	-207,897
99744	614487,61	4140513,78	614375,674	4140305,916	-111,936	-207,864
99747	615563,44	4145865,52	615451,504	4145657,673	-111,936	-207,847
99760	617236,00	4151286,93	617124,051	4151079,063	-111,949	-207,867
99762	621125,17	4138021,05	621013,227	4137813,297	-111,943	-207,753
99777	623240,61	4147483,87	623128,647	4147276,036	-111,963	-207,834
99784	625761,98	4140575,94	625650,009	4140368,158	-111,971	-207,782
99795	633449,36	4143624,73	633337,347	4143416,966	-112,013	-207,764
99797	629179,04	4146971,80	629067,049	4146763,990	-111,991	-207,810

LISTA DE REFERENCIAS

[1] Lista de referencias bibliográficas mencionadas en el texto, numeradas y colocadas en orden alfabético de su primer autor.

- Análisis de la problemática del cambio de datum geodésico a ETRS89.

Identificador: 20071005 / Consejo Superior Geográfico

Editor: Grupo de trabajo para la transición a ETRS89

- Necesidad de un nuevo "Datum"

Identificador: 20071005 / Consejo Superior Geográfico

Editor: Grupo de trabajo para la transición a ETRS89

- Herramientas para facilitar el cambio

Identificador: 20071005 / Consejo Superior Geográfico

Editor: Grupo de trabajo para la transición a ETRS89

- Aspectos y recomendaciones a considerar para ejecutar el cambio a ETRS89.

Institut Cartografic Valencia

- Uso de la transformación ED50- ETRS89 de los datos geográficos con rejilla NTv2: transformación bidimensional con modelado de distorsión.

Institut Cartografic Valencia

- Transformación de la información geográfica a ETRS89 con modelado de la distorsión en la Comunidad Valenciana.

Institut Cartografic Valencia

- Interpolación espacial

Rafael Arce Mesén

- Otros Métodos de Estimación Espacial

Dr. Martín A. Díaz Viera

Ricardo Casar González

- Sistemas de referencia Geodésicos

Javier Goizueta —ECAS Técnicos Asociados S. A.

- Manual fotogramétrico

Albertz Jörg

- Transformaciones bidimensionales de coordenadas

Eduardo Kirby

- Modelos de transformación entre ED50 y ETRS89

Javier Gonzalez Matesanz y Adolfo Dalda-Mourón

Instituto Geográfico Nacional de España

- Microsoft QuickBASIC 4.5

F. Javier Moldes Teo

- La triangulación de Delaunay aplicada a los modelos digitales del terreno

José Enrique Priego de Los Santos

María Joaquina Porres de La Haza

- Triangulaciones de Delaunay

Dr. Eduardo A. Rodríguez Tello

- Manual de fórmulas y tablas matemáticas

Murray R. Spiegel

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- La figura de la Tierra	7
Figura 1.2.- Coordenadas geodésicas en el elipsoide	8
Figura 1.3.- Tipos de elipsoides	9
Figura 2.1.- Sistema inicial con elipsoide de Struve y datum Madrid	11
Figura 2.2.- Proyección conforme de Lambert	12
Figura 2.3.- Origen de coordenadas en la proyección conforme de Lambert	12
Figura 2.4. Sistema geodésico WGS84	14
Figura 3.1.- Triangulación de primer orden original	15
Figura 8.1.- Triangulación de la nube de los puntos de la red geodésica	24
Figura 9.1.- Interpolación de un punto en la rejilla	25
Figura 10.1.- Gráfico de la corrección C_x	28
Figura 11.1.- Gráfico de la corrección C_y	29
Figura 12.1.- Gráfico de la interpolación bilineal	30
Figura 12.2.- Esquema y fórmulas para interpolar las correcciones de un punto P	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.- Comparación de coordenadas ED50 regional y nacional	16
Tabla 7.1.- Ámbito de coordenadas de la red geodésica regional	21
Tabla 7.2.- Ámbito de coordenadas del territorio regional	21
Tabla 16.1.- Listado de coordenadas en ambos sistema y correcciones	37



**MIGUEL ÁNGEL
MARCO NAVARRO**

Natural de Abanilla (Murcia). Ingeniero Técnico en Topografía por la Universidad Politécnica de Madrid. Continúa sus estudios en el Curso de Adaptación al Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía en la Universidad de León. Lleva trabajando veintiocho años como Ingeniero Técnico en Topografía en el Servicio de Cartografía de la CARM.



La particularidad de la Región de Murcia de disponer de geodesia antes que el resto del país le llevó a hacer cartografía en un sistema geodésico ED50, que podemos clasificar como propio, distinto del obtenido posteriormente en el año 1992 para toda la Península. Este TFG estudia la relación directa del sistema geodésico ED50/84 murciano con el actual ETRS89. La obra trata desde un principio de ser práctica, y se queda a las puertas de abordar por completo su uso en ámbitos cartográficos provinciales o superiores.

