

Planificación y ejecución de Redes de Control de Calidad en Procesos Cartográficos. El Proyecto RGPA en el Principado de Asturias.

Óscar Cuadrado⁽¹⁾, Luis García-Asenjo⁽²⁾, David Hernández⁽³⁾, Alfonso Nuñez⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Centro de Cartografía Ambiental y Territorial del Principado de Asturias, oscarm@princast.es

⁽²⁾ Universidad Politécnica de Valencia, lugarcia@cgf.upv.es

⁽³⁾ Universidad de Salamanca, dhernand@usal.es

⁽⁴⁾ Universidad de Salamanca

RESUMEN

Los diferentes proyectos cartográficos desarrollados por el Gobierno Autónomo Asturiano a partir del año 2003 han exigido el establecimiento del oportuno control de calidad. Para ello se ha optado por densificar el marco de referencia definido por los vértices de la red REGENTE (Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales) existentes en el territorio asturiano, dando lugar a la denominada Red de Control de Procesos Cartográficos del Gobierno del Principado de Asturias (RGPA). La precisión del marco de referencia resultante permite las tareas posteriores de apoyo fotogramétrico, observación en campo de los puntos de control de calidad y las tareas de levantamientos cartográficos por topografía clásica a grandes escalas (1:1.000, 1:500, o inferiores). El presente artículo describe el proceso acometido para la obtención de la RGPA, las decisiones adoptadas y los resultados obtenidos.

1. ANTECEDENTES.

El proyecto RGPA, dirigido por el Centro de Cartografía Ambiental y Territorial del Gobierno del Principado de Asturias (CCATPA), ha sido desarrollado dentro de los trabajos de generación de ortofotografía a escala 1/5.000 de la totalidad del territorio asturiano, pasando en la actualidad a tener entidad propia dada la magnitud de los trabajos y los buenos resultados obtenidos durante su ejecución. Gracias a esta primera experiencia piloto desarrollada por el CCATPA ha sido posible contrastar el estado actual de la Red Regente en el Principado de Asturias, así como las precisiones medias proporcionadas por la ROI, mostrando unas precisiones que si bien son más que satisfactorias para el objetivo con el que fue creada (servir de apoyo en las labores de desarrollo del Mapa Topográfico Nacional) hoy en día se ha quedado un poco desfasada en cuanto a las precisiones exigidas en los proyectos de infraestructuras, ingeniería civil, labores de minería o como soporte a la generación de cartografía a escalas mayores (1/1.000, 1/500) que se están desarrollando en determinados concejos asturianos.

Por otro lado, el empleo de forma sistemática en las labores de toma de observaciones directas en campo mediante instrumental GPS, dado el ahorro importante en tiempos y costes, aconseja utilizar un marco de referencia que proporcione precisiones similares a la facilitadas por este tipo de instrumental, con el objeto de no degradar el trabajo de campo para adaptarlo a un marco menos preciso. Es aquí donde se plantea el problema, dado que la Red Regente no es lo suficientemente densa como para adaptarse a las necesidades actuales de trabajo en cuanto a rapidez, facilidad de acceso, distancias mínimas de líneas base, etc., abordándose su densificación con un nuevo vértice dentro de cada triángulo formado por tres vértices oficiales.

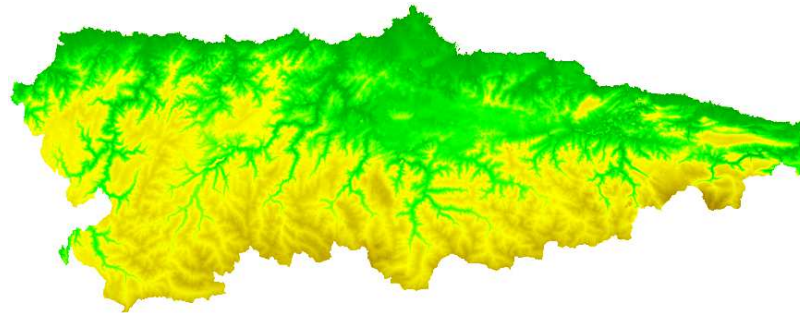
2. NECESIDADES Y OBJETIVOS

Enmarcado dentro del proyecto principal "Generación de ortofotografía color 1/5.000 del Principado de Asturias", se ha densificado la Red Regente implantada por el Instituto Geográfico Nacional recientemente. Los vértices que configuran esta Red, pertenecen además a la Red de Orden Inferior (ROI), disponiendo de coordenadas geodésicas en dos marcos de referencia básicos en la actualidad:

- ETRS89 Elipsoide: GRS80.
- ED50 Elipsoide: Internacional de 1924.

Asturias es una comunidad autónoma con una orografía heterogénea. Se pueden encontrar suaves colinas en la rasa costera, las laderas del Sueve y abruptas montañas en el macizo central de los Picos de Europa o las Ubiñas. Por tanto, la orografía una variable fundamental a la hora de distribuir y afrontar la densificación de las redes geodésicas existentes.

Madrid, 19-22 Octubre 2004



Dadas las precisiones exigidas en el proyecto de generación de ortofotografía 1/5.000, así como el resto de proyectos cartográficos posteriores en los cuales se va a emplear el vuelo fotogramétrico generado, actualización de cartografía básica 1/5.000, revisión del modelo digital de elevaciones existente, proyecto SIGPAC (Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas), etc., la solución adoptada por el CCATPA ha sido enlazar todos los trabajos previos a la ortofotografía con la única Red Geodésica existente en el estado español que proporciona estas precisiones, la Red Regente. El empleo de la Red Regente a través de sus coordenadas en el sistema ETRS89 exclusivamente como marco de referencia nos va a permitir conseguir las precisiones exigidas, a la vez que nos permite calcular los parámetros de transformación para adecuar nuestro trabajo al sistema de referencia oficial en la actualidad (ED50). Sin embargo, la configuración actual de esta Red es de un vértice por hoja del Mapa Topográfico Nacional 1/50.000, por lo que no existe un número lo suficientemente elevado de vértices como para facilitar su empleo. Una de las condiciones básicas de estos vértices, es la de disponer de fácil acceso rodado, siendo esto en algunas ocasiones un poco difícil de conseguir, por no decir imposible, debido a las particularidades del territorio antes descritas. El acceso a alguno de los vértices que forman esta red se hace complicado, si además se tienen en cuenta las especiales condiciones climáticas del Principado de Asturias.



Lo anterior motiva la decisión por parte del CCATPA de densificar la red Regente con el objeto de disponer de una Red Autónoma, precisa y de fácil acceso que facilite las labores posteriores de toma de datos en campo para cualquier actuación topográfica o cartográfica que exija de georeferenciación precisa.

Además, la densificación va a permitir a la dirección técnica del proyecto realizar las labores de control de calidad necesarias para garantizar las precisiones del mismo.

Por último, ha sido el primer paso para conseguir unificar las Redes Geodésicas Nacionales y Municipales en lo que vamos a denominar a partir de este momento **RED DE CONTROL DEL GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS (RGPA)**.

Mediante esta densificación, se facilita y recomienda a todas las entidades locales que vayan a desarrollar nueva cartografía en sus concejos que enlacen con esta red, lo que permitirá en un futuro la transformación de forma ágil al nuevo sistema de referencia, tal y como recomienda las comisiones **EUROGEOGRAPHICS** y **EUREF**, calculando unos parámetros de transformación únicos para toda la comunidad, una vez que ETRFxx sea adoptado definitivamente como el marco de referencia oficial.

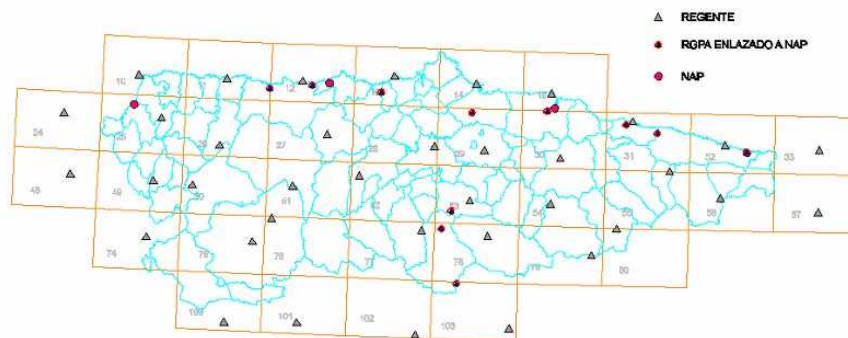
3. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PROYECTO

- Observación: Estático relativo con puestas comunes de cinco receptores bifrecuencia de al menos 40 minutos de solape con un PDOP máximo de 5 y un mínimo de cinco satélites comunes.
- Reobservación de baselines en ventanas diferentes.
- Procesado líneas GPS: Solución fija de dobles diferencias con empleo de efemérides precisas. Precisión exigida: 0.10 m. en planimetría y 0.15 m. en altimetría, mejoradas considerablemente.
- Solución en ETRS89 por ajuste mmcc libre y ligado, en ED50 por Helmert bidimensional y en altitudes ortométricas por ajuste mmcc. Cálculo de modelo del geoide.

4. MARCOS DE REFERENCIA GEODÉSICOS.

Los sistemas de referencia geodésicos que se han empleado para definir la RGPA son ETRS89, con altitudes elipsoidales, y ED50 con altitudes ortométricas. En consecuencia, el marco de referencia geodésico que se debe utilizar es la Red Regente y la Red de Nivelación de Alta Precisión.

El número de puntos fijos en el sistema ETRS89 está compuesto por 26 vértices en la comunidad asturiana, 4 en Galicia, 5 en la comunidad castellano leonesa y 2 en Cantabria., con un total de 37 vértices fijos.



DEFINICIÓN DEL MARCO DE REFERENCIA GEODÉSICO

La información relativa al marco de referencia geodésico ha sido obtenida del Instituto Geográfico Nacional. De esta forma, para todos los vértices Regente incluidos en el Principado de Asturias se dispone de su situación en los dos sistemas de referencia, ETRS89 y ED50, tal y como se expresa en los listados que se incluyen a continuación:

ETRS89

NUMERO	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	HUSO	x UTM	y UTM
001043	Pancha	-7.023372793	43.331902353	79.763	29	658093.575	4824342.233
001143	Sienra	-6.413943657	43.332202462	124.839	29	686233.624	4825156.566
001233	Musqueiros	-6.234463286	43.333143777	125.815	29	710339.910	4826159.417
002456	Padornelo	-7.195535319	43.260693949	673.333	29	634989.962	4810502.745
002576	Castelo	-6.564861219	43.260596286	697.000	29	666166.592	4811168.905

Con altitudes elipsoidales referidas a la cabeza del pilar y las coordenadas geodésicas expresadas en formato seudo decimal sexagesimal

ED50

Numero	Longitud	Latitud	Alt.Ortom	Huso	X utm	Y utm	Nombre
001043	-7.041208055556	43.556388416667	0025.600	29	658218.66	4824555.44	Pancha
001143	-6.692815500000	43.557213027778	0071.300	29	686357.77	4825369.26	Sienra
001532	-5.404886750000	43.547814388889	0134.100	30	305720.10	4824549.13	Tazonos
002456	-7.330546972222	43.436375138889	0617.600	29	635114.75	4810716.21	Padornelo
002576	-6.945356222222	43.436096333333	0641.700	29	666291.04	4811382.10	Castelo

Con las altitudes ortométricas referidas a la base del pilar y las coordenadas geodésicas expresadas en grado y fracción de grado sexagesimal. Todas las altitudes ortométricas han sido trasladadas a la cabeza del pilar de forma que el punto de altitud conocida sea el mismo en ambos marcos de referencia.

Ha sido necesario antes de realizar cualquier medición prestar atención a todos aquellos vértices que pudieran tener algún tipo de desperfecto, como es el caso del vértice Raso (08019), en el que fue necesario referir las altitudes a la parte superior de la base prismática. Para ello se ha medido sobre el terreno las alturas de los pilares y contrastándolas con la proporcionada en las reseñas del Instituto Geográfico Nacional.



5. PLANIFICACIÓN, RECONOCIMIENTO Y MONUMENTACIÓN

El proyecto, planificación, observación y procesado de las baselines de la red se llevó a cabo a finales del año 2003, y su control de calidad a principios de 2004.

Dentro de los condicionantes que se han planteado para el diseño son:

- Ubicación en localizaciones geográficas importantes.
- Garantía de permanencia y estabilidad en el tiempo.
- Posibilidad de acceso rodado.
- Geometría idónea respecto al triángulo formado por vértices Regente en el que se ubica (en lo posible buscando el centroide del triángulo formado por los puntos fijos).
- Evitar ocultaciones de elementos y cercanía a vías de comunicación de elevado tránsito para evitar saltos de ciclos provocados por los vehículos.
- Proximidad a clavos de nivelación de alta precisión de la Red NAP vigente.
- Ubicación en zonas elevadas que faciliten su uso posterior como estaciones de referencia para trabajos GPS en tiempo real.

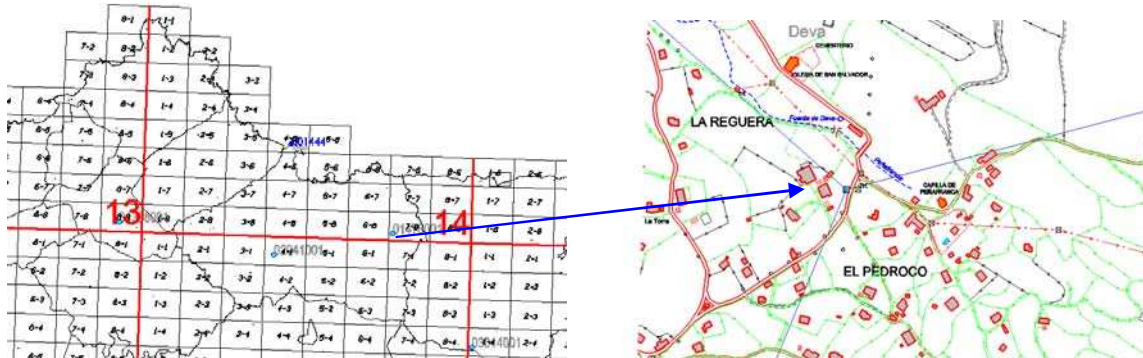
Dado que uno de los objetivos fundamentales es garantizar la estabilidad y permanencia a lo largo del tiempo de las señales se han utilizado, en la medida de lo posible, depósitos municipales de agua, muros de presas, muros de hormigón o piedra, etc.



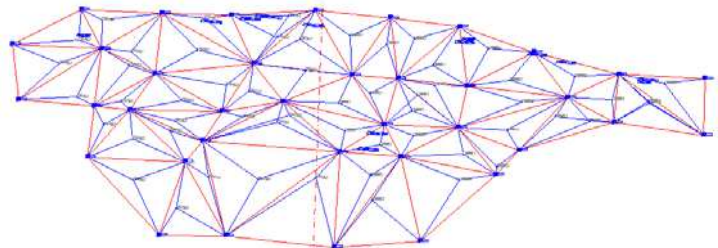
Madrid, 19-22 Octubre 2004

La identificación que le corresponde a cada vértice proyectado se ha decidido en función de su ubicación. Por ejemplo para el **050 25 XXX**, los tres primeros dígitos indican la hoja del MTN en la que se encuentra, las dos siguientes la columna y fila del 1/5.000, y las tres últimas son variables en función del número de puntos por hoja y el tipo de punto:

- Vértices Regente: Identificador oficial.
- Vértices NAP con altitud elipsoidal: Los tres últimos dígitos comienzan en 901
- Vértices RGPA: Los tres últimos dígitos comienzan en 001
- Vértices RGPA con cota ortométrica Los tres últimos dígitos comienzan en 501

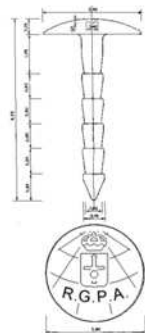


El proyecto realizado en gabinete ha sido modificado a partir del reconocimiento de campo, al comprobarse que la ubicación inicial en algunos casos no era factible debido a ocultaciones, sombras o falta de actualización cartográfica. Debido a la orografía asturiana, a la distribución de las vías de comunicación, así como a los núcleos de población, se ha adecuado la geometría inicial diseñada para adecuarla a la realidad existente.



De forma paralela se ha realizado un reconocimiento del estado actual de las líneas de nivelación vigentes, con el objeto de realizar el correspondiente enlace con algunos de los NAP existentes.

La materialización de todos los puntos RGPA se ha realizado mediante una señal tipo diseñada al efecto, similar a las utilizadas por otras instituciones.



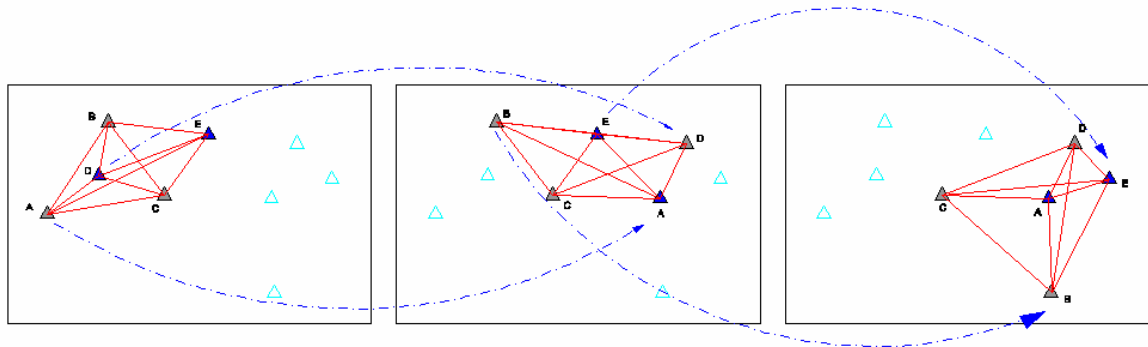
Finalmente se han modificado los identificadores impuestos a priori en función de las ubicaciones definitivas de los 66 nuevos puntos materializados, al haber sido desplazados a nuevas hojas del mapa topográfico de Asturias 1/5.000. Tras la materialización, de las señales tipo, la distribución de puntos ha observado, ha quedado como sigue:

- Vértices Regente:37.
- NAP:.....4.
- RGPA:.....51.
- RGPA con cota ortométrica obtenida por nivelación:.....11.

6. DISEÑO DE LOS BLOQUES DE OBSERVACIÓN

A la hora de planificar los movimientos de los receptores GPS, el único condicionante impuesto ha sido el empleo de 5 receptores de forma simultánea. El jefe del equipo de observación ha planificado los movimientos diarios en función de la disponibilidad de tiempo, operadores o zona de trabajo, siendo esta última la condición más importante a tener en cuenta, dado que en determinadas áreas, solamente se ha podido realizar uno o a lo sumo dos movimientos al día (área occidental de Asturias). De forma excepcional se ha permitido un número menor de receptores observando, en el caso de enlace de puntos débiles mediante baselines redundantes o líneas reobservadas debido a la detección de alguna anomalía.

Para optimizar los movimientos de receptores efectuados se han ido trasladando como se indica en la figura:



7. TOMA DE DATOS

El trabajo de campo se realizó entre el 29 de septiembre y el 16 de diciembre de 2003:

- Del 29 de septiembre 2003 al 04 de octubre de 2003.
- Del 06 de octubre de 2003 al 12 de octubre de 2003.
- Del 14 de octubre de 2003 al 21 de octubre de 2003.
- Del 4 de noviembre de 2003 al 8 de noviembre de 2003.
- Del 10 de noviembre de 2003 al 15 de noviembre de 2003.
- Del 15 de diciembre de 2003 al 17 de diciembre de 2003.

Para realizar la observación se han empleado un mínimo de 5 receptores bifrecuencia Leica SR530, con antenas L1/L2 AT502, registrando de forma simultánea por bloque de observación, con un tiempo mínimo de 45 minutos (alcanzándose una media de 1 hora de observación) y con un intervalo de observación de 10 segundos. Se han medido un total de 628 baselines, en 63 bloques de observación diferente, durante los 25 días de trabajo.

Las observaciones registradas se han almacenado de forma independiente por sesiones de trabajo en formato Rinex 2.0, incluyendo los ficheros de observación y navegación, siendo sustituidos estos últimos por las efemérides de precisión cuando han estado disponibles (<ftp://igsceb.ipl.nasa.gov/pub/product/>).

Al permanecer fijos en la observación de diferentes bloques, determinados vértices han tenido un registro continuo de 10 horas de observación, lo que permitirá enlazar dichos vértices con la red fiduciaria GPS del IGN en un cálculo posterior de la red.

No se han registrado datos meteorológicos dadas las longitudes de trabajo que se están empleado.

Se han tomado un mínimo de 3 fotografías por cada vértice de nueva implantación, así como un croquis de acceso para realizar unas reseñas definitivas. Igualmente, se ha tomado nota de cualquier problema que hubiera podido surgir durante la observación, así como posibles ocultaciones, alturas de pilares en el caso de estacionamiento sobre vértices Regente, etc.

Por otro lado, y una vez analizados los observables en gabinete, la propia empresa encargada de las observaciones reobservó tres bloques por problemas de interrupción de señal, error en la identificación del punto o problemas con las fuentes de alimentación e interrupción del registro simultáneo.

8. PROCESAMIENTO DE LAS OBSERVACIONES

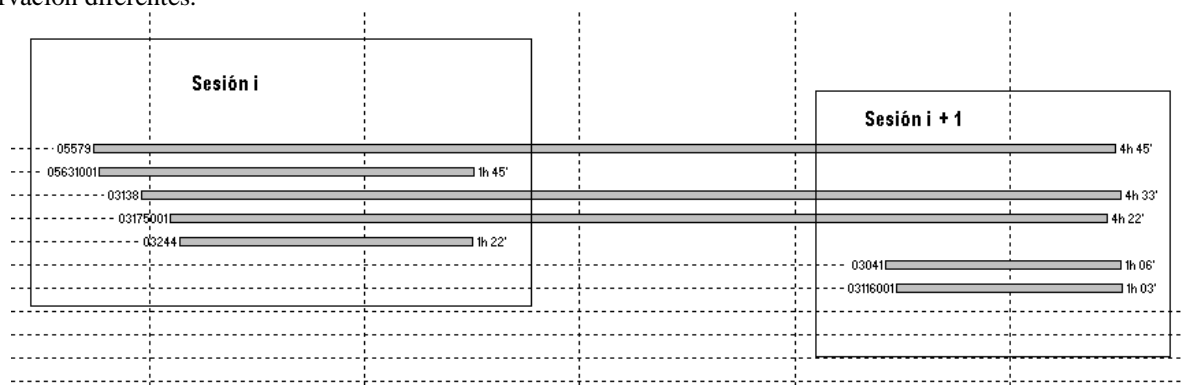
Todas las observaciones han sido procesadas mediante el empleo del software de dos firmas comerciales (Trimble y Leica), empleando los siguientes criterios:

Se ha realizado el procesamiento empleando el software Leica SKI-PRO Versión 3.0, con los siguientes parámetros:

- Ángulo de elevación 15 °
- Órbitas precisas del IGS
- Modelos de centro de fase IGS PVC_03, referidos al test realizado sobre una antena Dorne Margolin ([GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey](#))
- Modelo ionosférico: automático.
- Intervalo de muestreo: 10 seg.
- Modelo troposférico Hopfield clásico.

Las longitudes de las baselíneas oscilan entre 64 m. y 84 km., siendo la media de 20 km. Los períodos de observación largos has garantizado una buena resolución de ambigüedades incluso en aquellas baselíneas de gran longitud.

Dada la disponibilidad de observables comunes en dos sesiones diferentes en base al registro continuo de los receptores que no se han movido entre sesiones continuas, es posible el procesamiento de estas baselíneas con ventanas de observación diferentes.



Una vez procesadas todas las observaciones, se realiza el correspondiente cierre de triángulos, así como la comparación entre baselíneas repetidas en sesiones diferentes.

Los cierres de triángulos se han realizado de forma individual por bloque de observación, realizando un ajuste de los bloques con un punto fijo y comparación de las coordenadas calculadas con los oficiales de Regente, obteniendo una estimación de la precisión obtenida en la observación del bloque.

Finalmente se realiza un cierre de triángulos completo y un ajuste mediante el empleo del módulo de ajuste de las firmas Leica y Trimble.

9. ANÁLISIS DE BASELINEAS OBSERVADAS EN SESIONES DIFERENTES

Una vez procesadas todas las baselíneas, se han contrastado mediante dos formas diferentes. Todos aquellos vectores entre vértices fijos dado que han sido procesados se han contrastado con los incrementos de coordenadas cartesianas tridimensionales calculadas a partir de las coordenadas oficiales de dichos vértices fijos. Se comprueba que

en longitudes inferiores a los 40 Km. las soluciones procesadas entran dentro de las precisiones relativas de los vértices fijos.

Posteriormente se han contrastado las soluciones de baselines procesadas con dos ventanas de observación diferentes en sesiones diferentes obteniendo los resultados siguientes:

- Baselines con diferencias superiores a 20 cm = 2 %.
- Baselines con diferencias entre 20 y 10 cm = 11 %.
- Baselines con diferencias entre 10 y 5 cm = 14 %.
- Baselines con diferencias inferiores a 5 cm = 72 %.

Estos datos han sido tenidos en cuenta a la hora de analizar los resultados del ajuste.

10. CONTROL DE CALIDAD.

En todo trabajo de control de calidad debería aplicarse como norma general el empleo de software cuyos algoritmos fueran totalmente conocidos, lo que únicamente es posible cuando el software es de creación propia o se dispone del código fuente. En particular, en este trabajo de control fue preciso adaptar e implementar programas específicos a las características del control de calidad..

Una vez finalizada la parte de procesado y ajuste de la Red Geodésica por parte del contratista se ha procedido a realizar un control de calidad sobre todos los elementos implicados en el trabajo.

DATOS DE PARTIDA PARA EL CONTROL.

- Coordenadas de los puntos fijos que definen el Marco de Referencia en los dos sistemas, ETRS89 y ED50.
- Altura de los pilares, croquis y fotografías de estos.
- Libretas de campo con las nivelaciones geométricas efectuadas.
- Ficheros Rinex 2.0 con las observaciones de campo y orbitas precisas de los satélites (*.sp3).
- Soluciones para las baselines procesadas por el contratista mediante el software de la firma Leica Ski-Pro.
- Modelo del geoide para el Principado de Asturias IBERGEO95, de Dr. D. Miguel Sevilla de Lerma.

ANÁLISIS DE LOS FICHEROS RINEX DE OBSERVACIÓN.

Mediante esta fase se comprueba si las observaciones se ajustan a las exigencias del Pliego de Prescripciones Técnicas de los trabajos.

Con este objeto se ha confeccionado un programa en cuyo fichero de salida aparece para cada línea la información relativa a:

- Fecha de observación.
- Extremo inicial y final del vector.
- Longitud del vector redondeada al metro, marcándose con un asterisco aquellos vectores que incumplen la condición de que el vector sea inferior a 40 km.
- Tiempo común de observación en los dos extremos del vector, marcándose con un asterisco aquellos que incumplen la condición de que sea superior a 40 minutos.
- Número mínimo de satélites comunes en todas las épocas de observación, marcándose con un asterisco aquellos que incumplen la condición de que sea superior a 4.
- Valor máximo del PDOP para todas las épocas de observación, marcándose con un asterisco aquellos que incumplen la condición de que sea menor que 5.



Madrid, 19-22 Octubre 2004

FECHA	ESTACION	ESTACION	LONGITUD (<40 KM)	TIEMPO (>40 min)	SAT (>4)	PDOP (>5)
2003 9 30	003244	05671001	14606	2 10 30	6	4.290
2003 9 30	003138	003244	30603	1 21 50	6	4.178
2003 9 30	003138	005579	19846	4 31 30	4 *	10.021 *
2003 9 30	003138	03175001	16620	4 21 30	3 *	10.292 *
2003 9 30	003138	05631001	32008	1 32 40	6	4.245
2003 9 30	003244	005579	19617	1 21 50	6	4.178
2003 9 30	003244	03175001	15265	1 21 50	4 *	4.178
2003 9 30	003244	05631001	9286	1 21 50	6	4.178
2003 9 30	005579	03175001	8013	4 21 30	3 *	10.292 *
2003 9 30	005579	05631001	15512	1 44 40	6	4.245
2003 9 30	03175001	05631001	15397	1 25 0	4 *	4.237
2003 9 30	003041	003138	26147	1 5 30	5	4.239
2003 9 30	003041	005579	35347	1 3 50	5	4.239
2003 9 30	003041	03116001	15206	1 2 30	5	4.239
2003 9 30	003041	03175001	37826	1 1 30	4 *	6.125 *
2003 9 30	003138	005579	19846	4 31 30	4 *	10.021 *
2003 9 30	003138	03116001	12788	1 2 30	5	4.239

Este fichero es una importante fuente de información a la que volver en el caso de detectar problemas serios en la comprobación del procesado de los vectores.

PROCESADO DE LOS VECTORES GPS MEDIANTE SOFTWARE DIFERENTE.

El software utilizado en el cálculo de los vectores ha sido Trimble Total Control, versión 2.70, en adelante TTC, de la firma comercial Trimble. Para cada uno de los 63 bloques de observación se ha generado un proyecto diferente con el objeto de evitar problemas a la hora de detectar posibles errores que podría generar el integrar todos los datos en un único proyecto.

A partir del procesamiento de cada uno de los bloques, el software permite obtener una salida en formato GEOLAB con los vectores resueltos y su matriz varianza-covarianza, en el sistema de coordenadas cartesianas geocéntricas. A partir de estos ficheros para cada bloque se generan unos nuevos que contienen una línea por vector calculado y con el formato:

- Número del vértice extremo inicial de la observación.
- Número del vértice extremo final de la observación.
- Incremento de coordenada X cartesiana geocéntrica, en metros.
- Incremento de coordenada Y cartesiana geocéntrica, en metros.
- Incremento de coordenada Z cartesiana geocéntrica, en metros.
- Varianza en X, en metros al cuadrado.
- Covarianza XY.
- Covarianza XZ.
- Varianza en Y, en metros al cuadrado.
- Covarianza YZ.
- Varianza en Z, en metros al cuadrado.

Finalmente se ha fusionado la información de cada uno de estos vectores añadiendo dos columnas más con el número de bloque al que pertenece el vector y el código relativo a si en la solución del vector se han conseguido o no fijar las ambigüedades en el proceso de dobles diferencias libres de ionosfera, siendo el valor 1 o 0, respectivamente.

Se han procesado un total de 628 vectores, de los que únicamente en 19 no se ha conseguido fijar ambigüedades en el proceso de dobles diferencias libres de ionosfera.

ANÁLISIS DE LA SOLUCION OBTENIDA PARA EL CONTROL DE CALIDAD.

Se han diseñado varias funciones en lenguaje MatLab, mediante las cuales se realiza el cierre de triángulos a partir de los resultados obtenidos, así como una estadística del número de vectores observados por cada vértice fijo, no contabilizándose aquellos que son rechazados por generar malos errores de cierre de triángulos o por no haberse fijado las ambigüedades en la solución de dobles diferencias libres de ionosfera. Igualmente, el programa determina que vértices observados son de nueva instauración y el número de vectores observados en los que intervienen, verificando si en cada vértice existen como mínimo tres vectores enlazados a vértices fijos, no contabilizándose aquellos que son rechazados por generar malos errores de cierre de triángulos o por no haberse fijado las ambigüedades en la solución de dobles diferencias libres de ionosfera.

- Numero total de vectores procesados 628
- Numero total de vectores con solución doble diferencia libre de ionosfera fija válidos..... 592

Madrid, 19-22 Octubre 2004

- Numero total de vectores con solución doble diferencia libre de ionosfera no fija..... 19
- Numero total de vectores que generan cierres de triángulos superiores a 0.20 m..... 17
- Existen un total de 4308 triángulos.
- 622 triángulos presentan un cierre superior a 0.10 m.
- 331 vectores intervienen en los 622 triángulos que presentan un error de cierre superior a 0.10 m.
- Únicamente 7 de los 331 vectores anteriores no intervienen en ningún triángulo que presente un cierre menor a 0.10 m.

Se podrían eliminar los 17 vectores que generan cierres de triángulos superiores a 0.2 m. y los 7 que generan cierres superiores a 0.10 m., pero se decide posponer esa posibilidad hasta analizar los resultados del ajuste.

CONTRASTACIÓN DE VECTORES PROCESADOS POR EL CONTRATISTA.

A partir de los resultados de los vectores entregados por el contratista y los obtenidos para el control de calidad se ha realizado un programa en lenguaje MatLab, para evaluar las diferencias.

Pto.Ext.Ini.	Pto.Ext.Fin.	Dif.C.X.	Dif.C.Y.	Dif.C.Z.	Distancia.	Bloque.	Fijo
8019	5486001	-0.127	0.092	-0.212	0.264	13	-1
8019	5486001	-0.131	0.083	-0.201	0.254	13	-1
5521001	3017001	0.182	-0.077	0.107	0.224	15	1
10051	7527001	-0.212	0.005	0.039	0.216	28	1
5635	5671002	-0.174	0.100	-0.026	0.202	14	-1
5635	5671002	-0.166	0.072	-0.046	0.186	14	-1
5521001	3017001	0.145	-0.079	0.066	0.178	15	1
5216001	7676001	0.158	-0.070	-0.038	0.177	52	1

En la última solución se indica: (-1) no se han fijado ambigüedades en dobles diferencias libres de ionosfera, (1) si se han fijado ambigüedades en D.D.L.I. Las diferencias encontradas son:

- Entre 0.20 m. y 0.23 m.- 2 vectores.
- Entre 0.10 m. y 0.20 m.- 42 vectores.
- Entre 0.05 m. y 0.10 m.- 127 vectores.
- Menor de 0.05 m.- 261 vectores.

CÁLCULO DE LAS COORDENADAS APROXIMADAS DE LOS VÉRTICES DE LA RGPA.

Debido a que en las matrices varianza-covarianza obtenida en el cálculo de los vectores no figura la influencia de los errores aleatorios asociados a la operación de centrado y medida de la altura de las antenas, se ha considerado oportuno proceder a modificar la estimación de la precisión a priori de los vectores. Así, se transforma en una estimación que contempla una formulación conforme a la teoría clásica de errores. Los parámetros de precisión a priori que se consideran son los habituales para el instrumental y metodología de observación utilizada:

Error en el vector:

- Error de bajada de bandera: 0.010 m. Error proporcional a la distancia: 1 ppm.
- Error de centrado: Se considerarán tres casos diferentes según:
 - a) Los dos vértices extremos del vector sean de la Red Regente. El error a priori se establece en 0.001 m. para los dos extremos.
 - b) Uno de los dos vértices extremos del vector sea de la Red Regente. El error a priori se establece en 0.001 m. para un extremo y 0.005 m. para el otro.
 - c) Ninguno de los dos vértices extremos del vector sea de la Red Regente. El error se establece en 0.005 m. para los dos extremos.

Error de medida de altura de las antenas: Se consideran tres casos diferentes según:

- a) Los dos vértices extremos del vector sean de la Red Regente. El error a priori se establece en 0.005 m. para los dos extremos.
- b) Uno de los dos vértices extremos del vector sea de la Red Regente. El error a priori se establece en 0.005 m. para un extremo y 0.010 m. para el otro.
- c) Ninguno de los dos vértices extremos del vector sea de la Red Regente. El error se establece en 0.010 m. para los dos extremos.

Para realizar el cálculo se ha implementado un programa que utiliza como datos de partida los 529 vectores GPS resultado del procesado de baselines, en los que se han excluido los vectores en los que los dos extremos son vértices Regente, y los 37 vértices de la Red Regente incluidos en la RGPA, utilizando su posición referida a ETRS89. El método de cálculo empleado es la trisección espacial múltiple en el sistema de coordenadas cartesianas geocéntricas. El error de las coordenadas promediadas para cada punto es inferior a 0.030 m. para todos los vértices, de donde se concluye la validez de las coordenadas para entrar en el ajuste.

AJUSTE DE LA RED EN EL SISTEMA ETRS89.

Se ha realizado el ajuste mínimos cuadrados de la RGPA dividido en ajuste planimétrico sobre la superficie del elipsoide GRS80 y en ajuste alimétrico en el sistema de altitudes elipsoidales. Todos los programas utilizados han sido implementados en Fortram77 por Dr. D. Alfonso Núñez-García del Pozo.

- Ajuste mínimos cuadrados planimétrico sobre la superficie del elipsoide GRS80:
 - Criterio de ponderación: (similar al empleado anteriormente)
 - Observaciones distanciométricas: 0.01 m. + 1 ppm.
 - Observaciones de acimut: 0.01 m. + 2^{cc}.
 - Número de vértices fijos: 37 (Red Regente)
 - Número de vértices libres: 66
 - Número de observaciones:
 - Observaciones distanciométricas: 612
 - Observaciones de acimut: 628
 - Incógnitas:
 - En coordenadas: 132
 - Parámetros sistemáticos: 2
 - Grados de libertad: 1106
 - Varianza a posteriori: 0.39
 - Precisiones:
 - Error absoluto medio en x: 0.008 m.
 - Error absoluto medio en y: 0.009 m.
 - Mayor semieje mayor elipse error: 0.015 m.

De no haber introducido en el ajuste planimétrico las incógnitas correspondientes a los parámetros sistemáticos no habría intervenido en el ajuste ninguna observación entre puntos fijos. A partir de los resultados para los parámetros sistemáticos:

$$\begin{aligned} \text{ESCALA} &= .3713 \text{ PPM} & \text{E.M.C.} &= .0433 \\ \text{DESORIENTACION} &= -.0181 \text{ SEGUNDOS} & \text{E.M.C.} &= .0200 \end{aligned}$$

se observa que tanto la escala como la orientación de las observaciones GPS corresponden a las propias al sistema de referencia ETRS89.

- Ajuste mínimos cuadrados alimétrico en altitudes elipsoidales ETRS89:
 - Criterio de ponderación: (similar al empleado anteriormente)
 - Observación de desnivel: 0.01 m. + 0.01 m./km.
 - Número de vértices fijos: 37 (Red Regente)
 - Número de vértices libres: 66
 - Número de observaciones:
 - Observaciones de desnivel: 623
 - Incógnitas:
 - En coordenadas: 66
 - Grados de libertad: 557
 - Varianza a posteriori: 0.29
 - Precisiones:
 - Mayor emc: 0.029 m.

Se concluye de las soluciones alcanzadas que se ha instaurado la RGPA en ETRS89 con una precisión mayor que 0.02 m. en planimetría y mayor que 0.03 m. en altimetría, en términos de error medio cuadrático.

Madrid, 19-22 Octubre 2004

SOLUCIÓN DE LA RGPA EN ED50

Teniendo en cuenta que la precisión de las coordenadas de partida de los vértices de la Red Regente en ED50 son inferiores a las precisiones para las coordenadas en ETRS89, se ha optado por plantear la solución según el siguiente procedimiento:

- Planimetría: Se determinará y aplicará una transformación de Helmert bidimensional en el plano de la proyección cartográfica UTM, huso 30.
- Altimetría: Se determinarán las altitudes ortométricas a partir de un ajuste mínimos cuadrados de la red fijando todos los vértices de Regente, clavos NAP y vértices RGPA nivelados y con los desniveles elipsoidales GPS corregidos de diferencia de ondulación del geode con el modelo IBERGEO95.

A partir de las coordenadas de la Red Regente en los sistemas de referencia geodésico ETRS89 y ED50 se ha determinado la transformación de Helmert bidimensional sobre el plano de la proyección UTM, huso 30, que permite pasar de ETRS89 a ED50. A continuación se ha aplicado esta transformación a la solución de la RGPA en ETRS89. El motivo de plantear así la solución de la planimetría de la RGPA en ED50 es la baja precisión de las coordenadas de la Red Regente en este sistema, del orden de 0.25 m., como se deduce de los resultados de la determinación de la transformación. En un futuro, si se dispone de mejores coordenadas de la Red Regente en ED50 lo único que habría que hacer es proceder de nuevo a determinar y aplicar la transformación.

Para determinar una transformación de Helmert con la totalidad de los 37 vértices de la Red Regente en la que el modelo estocástico no se rechazará ha sido necesario considerar un error a priori para las coordenadas ED50 de 0.25 m., y de 0.01 m. para las ETRS89 de acuerdo a los resultados del ajuste en este sistema. Con este criterio, los resultados obtenidos son:

PARAMETROS DE LA TRANSFORMACION.

Numero de Puntos Comunes..... 37
Numero de Incógnitas..... 4
Grados de libertad..... 70

PARAMETROS INICIALES DE LA TRANSFORMACION:

Coordenadas del baricentro origen:
- Coord.X = 259120.028 m.
- Coord.Y = 4796293.795 m.
- Traslacion X = 109.354 m.
- Traslacion Y = 205.018 m.
- homotecia = -17.2233 ppm.
- giro = -0.000017 grados centesimales.

PARAMETROS DE ERROR

- Estimador a priori de la varianza del observable de peso unidad..... 1.000
- Estimador a posteriori de la varianza del observable de peso unidad..... 0.735
- Media de los residuos ponderados..... -0.00000000

TEST GLOBAL DEL MODELO.

Test F-Snedecor: para Prob. Error Tipo I = 0.05
Test de una cola.
Ho: El GMM planteado es completo y conforme a las observaciones.
Estadistico varianza a posteriori = 0.7353
Valor Critico F-Snedecor maximo = 1.3078
**** No se rechaza Ho.

RESULTADO DE LA TRANSFORMACION POR MMCC.

Criterio de ponderacion:
- e.m.c. en coord.origen = 0.010 m.
- e.m.c. en coord.destino = 0.250 m.
- e.m.c. de cada observable = 0.250 m.
Correcciones a los parametros iniciales:
Coordenadas del baricentro origen:
- Coord.X = 259120.028 m.
- Coord.Y = 4796293.795 m.
- Dif.Traslacion X = 0.0000000000 m.
- Dif.Traslacion Y = 0.0000000002 m.
- Dif.homotecia = 0.005092 ppm.
- Dif.giro = 0.068598628 seg. centesimales.

Madrid, 19-22 Octubre 2004

Resultados definitivos:

Coordenadas del baricentro origen:

- Coord.X = 259120.028 m.
- Coord.Y = 4796293.795 m.
- Traslacion X = 109.3536 m.
- Traslacion Y = 205.0176 m.
- homotecia = -17.2182 ppm.
- giro = -0.000010 grados centesimales.

Desviaciones típicas de las incógnitas:

- Traslacion X = 0.035270 m.
- Traslacion Y = 0.035270 m.
- homotecia = 0.000506 ppm.
- giro = 0.322430 seg. centesimales.

Las altitudes ortométricas se han resuelto por ajuste mínimos cuadrados fijando la Red Regente, los clavos NAP y los vértices de la RGPA enlazados por nivelación geométrica a clavos NAP, y con desniveles ortométricos obtenidos a partir de corregir los desniveles elipsoidales GPS ETRS89 con el modelo del geoide IBERGEO95.

- Ajuste mínimos cuadrados en el sistema de altitudes ortométricas:
 - Criterio de ponderación:
 - Error kilométrico: 0.05 m.
 - Número de vértices fijos: 52 (37 Red Regente + 15 clavos NAP y RGPA nivelados)
 - Número de vértices libres: 51 (103-52)
 - Número de observaciones:
 - Observaciones de desnivel ortométrico: 623
 - Incógnitas:
 - En coordenadas: 51
 - Parámetros sistemáticos: 2
 - Grados de libertad: 572
 - Varianza a posteriori: 0.55
 - Precisiones:
 - Menor emc: 0.043 m.
 - Mayor emc: 0.265 m.

MODELO DEL GEOIDE

A partir de las altitudes elipsoidales ETRS89 y de las altitudes ortométricas de los 103 vértices de la RGPA se ha determinado un modelo del geoide que permitirá obtener un valor de la ondulación del geoide en el sistema de referencia geodésico ETRS89 para cualquier punto en la zona, como será el caso de los puntos de apoyo de aerotriangulación, permitiendo en definitiva obtener su altitud referida al sistema de altitudes ortométricas.

El ajuste se ha realizado a partir de la estimación de una precisión a priori en las ondulaciones del geoide dato, en los 103 vértices de la RGPA, determinada como la composición cuadrática de un error medio cuadrático promedio de 0.20 m. en las altitudes ortométricas (lo que se justifica por los resultados del ajuste de la RGPA en el sistema de altitudes ortométricas incluido anteriormente) y de un error medio cuadrático promedio de 0.05 m. en las altitudes elipsoidales (lo que se justifica por los resultados del ajuste de la RGPA en el sistema de altitudes elipsoidales ETRS89). Los resultados concuerdan con la estimación anterior de la precisión a priori de las ondulaciones como lo evidencia el hecho de que no se rechace el test global del modelo.

Los resultados de los residuos evidencian que se ha obtenido un modelo del geoide que presenta una precisión del orden de 0.20 m. para los datos utilizados en su determinación.

Por ultimo se ha desarrollado un programa que permite obtener la altitud ortométrica de un conjunto de puntos a partir de su posición en el sistema de referencia geodésico ETRS89. El programa también permite determinar la diferencia de ondulación para un vector definido a partir de sus extremos en el sistema de referencia geodésico ETRS89, lo que será de utilidad para transformar desniveles elipsoidales ETRS89 en desniveles ortométricos.

TRABAJOS DE CONTROL ACTUALES

Se han recuperado determinadas observaciones de los trabajos de apoyo fotogramétrico entre vértices de la RGPA, así como determinadas observaciones de la Red de Puntos Control de Calidad (red de puntos con precisión similar a los puntos de apoyo para su empleo como puntos de control de calidad del MDE, límites de parcelas, restitución, etc.) ejecutada posteriormente. La característica especial de estas observaciones es la de disponer de un periodo de observación superior a las seis horas al ser las estaciones de referencia empleadas para su empleo en la toma de puntos de apoyo y control mediante técnicas diferenciales. En alguno de los casos, existen observaciones reiteradas entre vértices con tiempos de observación superiores a las 8 horas, lo cual permite el enlace de dichos vértices con la Red de Estaciones Permanentes del Instituto Geográfico Nacional empleando para ello software específico a este tipo de trabajos.

Se dispone igualmente de una batería de observaciones entre vértices de la RGPA observadas por los técnicos del CCATPA, en las cuales se ha prestado especial atención al estacionamiento del instrumental empleado así como a la lectura de las antenas. Los periodos de observación han sido siempre superiores a los 45 minutos, prestando especial atención al empleo de la mejor ventana de observación para cada día de trabajo, así como el cierre de itinerarios entre vértices de nueva implantación. Las observaciones de control de calidad han sido observadas mediante el empleo de receptores bifrecuencia Trimble 5700.

11. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO.

En la actualidad, se están analizando las observaciones existentes con la intención de generar un almacén de documentación geodésica, perfectamente documentada, mediante la cual sea posible analizar posibles errores groseros que hubieran podido pasar los tests de detección de errores iniciales, como puede ser el detectado en uno de los vértices costeros, en el cual se detectaron errores después del ajuste, durante la observación de puntos de control cartográfico, y que han sido subsanados a partir de observaciones posteriores.

Todas las observaciones Rinex han sido almacenadas empleando los nombres estándar de las antenas calibradas por el IGS, de esta manera cualquier software GPS de última generación es capaz de reconocerlas de forma inmediata, y aplicando los incrementos del centro de fase de la antena de forma correcta.

Se está creando una ficha tipo de cada uno de los vértices que forman la RGPA en el cual se describe la ubicación, forma de acceso y detalles principales de la señal, acompañada de varias fotos de detalle, así como un recorte de la fotografía aérea de la zona en la cual se encuentra dicho vértice. Igualmente se acompaña de un recorte del Mapa Topográfico de Asturias 1:10.000 y un esquema con la red de carreteras principal de la zona. Esta ficha se almacenará en formato PDF para que el usuario pueda descargar e imprimirlas desde internet. Las coordenadas que aparecen en la ficha se obtienen por consulta contra la base de datos correspondiente, de manera que su actualización tras nuevos cálculos es inmediata.

Se prevé la creación de un portal Web paralelo al Sistema de información Territorial del Principado de Asturias (www.princast.es/sitpacarto/) en el cual se colgará toda esta información así como un tablón de actualización de coordenadas, documentos técnicos, etc., de manera que los profesionales del campo de la topografía podrán tener acceso a la información actualizada.

Finalmente se está desarrollando un software específico que garantice la transformación entre sistemas de referencia (ED50-ETRS89) de forma sencilla para garantizar que todas las transformaciones realizadas se apliquen utilizando los mismos parámetros.

Gracias a los buenos resultados obtenidos en este proyecto, y dada la buena acogida que esta red tiene por parte de los usuarios se prevé una densificación de esta red en todos los concejos asturianos, así como en los núcleos de población más grandes, con el objeto de facilitar las labores geodésicas en los trabajos de generación de cartografía a grandes escalas. De la misma manera, aprovechando la reobservación por parte del Instituto Geográfico Nacional de las redes de nivelación de alta precisión existentes en el Principado de Asturias, se hace necesario una densificación de dichas redes que nos permita calcular un modelo de geoide de calidad, que garantice precisiones altimétricas similares a las ya disponibles en planimetría.

Mediante esta densificación se proporcionará a todos aquellos técnicos que desarrollan su labor profesional dentro del campo de la topografía y la cartografía un marco de referencia ágil, estable y preciso, justificando todo ello la obligatoriedad del enlace de todos los trabajos realizados con este marco de referencia para evitar determinados errores en los trabajos o la picaresca de auxiliarse en el empleo de una red poco precisa. Al emplear todos el mismo sistema de

Madrid, 19-22 Octubre 2004

referencia solo queda aplicar correctamente cada una de las técnicas necesarias para realizar la correspondiente representación cartográfica de la realidad.

12. MANTENIMIENTO DE LA RED

Una vez finalizada la fase actual, se prevé un mantenimiento anual de la red, evitando en lo posible el deterioro o pérdida de las señales monumentadas hasta el momento.

Anualmente se realizarán campañas de reconocimiento del estado de las señales, simultaneadas con las campañas de densificación de dicha red. En base a los resultados de dichas campañas se planificarán las observaciones o reobservaciones del año siguiente.

13. CONCLUSIONES.

El coste final aproximado de este proyecto ronda los 44.000 Euros, incluida la partida presupuestaria necesaria para el control de calidad. El periodo de ejecución ha sido de cinco meses.

No se hubieran podido alcanzar los resultados anteriores sin la calidad de la Red Regente, contrastada en este proyecto.

Desde el CCATPA se recomienda en aquellos casos en los cuales se pretenda afrontar la generación de nueva cartografía se realice íntegramente en el nuevo sistema de referencia ETRS89, realizando las labores de transformación a ED50 en la fase final. Por otro lado dadas las facilidades que las diferentes firmas de software de gestión de sistema de información geográficos ofrecen, esta labor no tiene más complejidad que introducir los correspondientes parámetros de transformación en el fichero correspondiente para que cuando a la hora de proporcionar dicha cartografía a un usuario externo, esta sea transformada al sistema de referencia correspondiente y viceversa. A su vez, en el caso de recibir cartografía externa, la disponibilidad de una red de calidad homogénea le va a permitir realizar las labores propias de control de calidad de dicha cartografía y su posterior transformación al sistema de referencia ETRS89 aplicando los parámetros calculados en sentido inverso.

Sin embargo esta tarea aquí descrita no es del todo cierta en cuanto que muchas veces la calidad local o precisiones relativas de la cartografía actual depende en cierta manera de las precisiones relativas de los vértices de la Red de Orden Inferior que fueron empleados para la realización del apoyo, levantamientos topográficos, redes geodésicas locales, etc. Estas desviaciones locales quizás son inapreciables en cartografía a una determinada escala, pero sí que debe empezarse a tener en cuenta para escalas urbanas como puede ser 2.000 o superiores.

Por lo tanto, el disponer de una red con una calidad homogénea en la totalidad del territorio, mediante la cual podamos obtener una red de puntos de control que nos permita realizar los correspondientes muestreos y calcular los parámetros de transformación para transformar esa cartografía entre los diferentes marcos de referencia no garantiza una conservación en la calidad cartográfica existente

14. REFERENCIAS.

DALDA MOURÓN, A. GONZÁLEZ MATESANZ F.J. " Parámetros de Transformación entre Sistemas de Referencia Terrestres". Jornadas Técnicas sobre Topografía, Cartografía Fotogrametría, Geodesia y Teledetección. Universidad de Alcalá. 2001. Pág. 189-227.

FERRER TORIO, R., PIÑA PATÓN, B., NÚÑEZ-GARCÍA DEL POZO, A. VALBUENA DURÁN, J.L. " Sistema de Posicionamiento Global, G.P.S". Servicio de Publicaciones.E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria. 1991. Santander.

GARCÍA-ASENJO, L. HERNÁNDEZ, D. " Geodesia". Servicio de Reprografía de la Universidad Politécnica de Valencia. 2004. Referencia 2003.647

GERALD L. MADER. " GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey". National Geodetic Survey. NOS, NOAA. Silver Spring.

JAROSLAV ŠIMEK, JAN KOSTELECKÝ. " Modern geodetic network and datum in europe". Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography.

JOSÉ REGIDOR GUTIÉRREZ, JUAN F. PRIETO MORÍN, J. MANUEL SANZ MEGIA, RAFAEL QUIROS DONATE, ANTONIO BARBADILLO FERNANDEZ. " El Proyecto Regente", VII Congreso Nacional De Topografía y Cartografía. Madrid. 2000



Madrid, 19-22 Octubre 2004

MARÍA VIRGINIA MACKERN, CLAUDIO BRUNINI, JUAN MOIRANO, RUBÉN RODRÍGUEZ, EDUARDO LAURÍA. "Hacia la unificación de las redes geodésicas argentinas". Actas de la 21ª Reunión Científica de Geofísica y Geodesia, Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Rosario, Argentina. septiembre de 2002.

MELVIN HOYER, EUGEN WILDERMANN, LEVY JIMÉNEZ, HERMOGENES SUAREZ, HUMBERTO GARCÍA. "Procesamiento de las mediciones satelitarias GPS del proyecto Densificación REGVEN". Laboratorio de Geodesia Física y Satelital, La Universidad Del Zulia.

MIKAEL LILJE. "Changing the geodetic infrastructure in sweden". Deputy Head Geodetic Research Division. Sweden

MICHAEL ANDERSON, DON D'ONOFRIO, GREGORY A. HELMER, WAYNE WHEELER, JR. "Specifications for geodetic control networks using high-production gps surveying techniques". Version 2.0, July 1995. California Geodetic Control Committee

M.C. ECKL, R.A. SNAY, T. SOLER, M. W. CLINE, G. L. MADER. "Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration". Journal of Geodesy (2001) 75: Pag 633-640.

M P STEWART. "How accurate is the Australian National GPS Network as a framework for GPS heighting?". School of Surveying and Land Information Curtin University of Technology, Perth , West Australia

M. P. STEWART, H. HOUGHTON, X. DING. "The Statefix west Australian GPS network" IAG Symposia volume 118. Rio de Janeiro. Brazil, 1997.

NÚÑEZ-GARCÍA DEL POZO. A., VALBUENA DURÁN, J.L., BADA DE COMINGES, G., YEBES LÓPEZ, E., DE LA CRUZ ARGIBAY, F. "Test GPS con receptores Ashtech para observación de Redes Geodésicas de alta precisión. Separata del nº 11 de la Revista del Instituto Geográfico y Catastral de Portugal. 1992.

NÚÑEZ-GARCÍA DEL POZO, A., JIMENO, V., MOLINERO, P., BADA DE COMINGES, G., VALBUENA DURÁN, J.L. "Densificación con G.P.S. de una red de tercer orden". Topcart 92. Madrid. 1992.

NUÑEZ-GARCIA DEL POZO, A., MARIA MACAU FABREGA. "Densificación de la red de tercer orden". Topografía y Cartografía.

REAR ADM. JOHN D. BOSSLER, CHAIRMAN. "Standards and Specifications for Geodetic Control Networks". Federal Geodetic Control Committee. Rockville, Maryland. September 1984.

REAR ADM. JOHN D. BOSSLER, CHAIRMAN. "Geometric geodetic accuracy standard and specifications for using GPS relative positioning techniques". Versión 5.0. National Geodetic Survey. NoAA. May 11, 1988.

RICHARD A. SNAY, TOMÁS SOLER, AND MARK ECKL. "GPS Precision with Carrier Phase Observations: Does Distance and/or Time Matter". Professional Surveyor Magazine • octubre de 2002

RODRÍGUEZ PUJOL, E., CATURLA SÁNCHEZ DE NEIRA, J.L. "IBERIA95. Red Peninsular de Orden Cero". Instituto Geográfico Nacional. 1999. Publicación Técnica nº 30. ISBN: 84-95172-02-X.

SHANLONG KUANG, COVENTINE FIDIS, FLOYD THOMAS. "GPS Control Densification Project for Illinois Department of Transportation District 3". Surveying and Land Information Science. Vol 62. Nº 4. 2002. Pags 225-238.

WERNER GURTNER. "RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.10" Astronomical Institute . University of Berne. 2002.

