

## GIPUZKOAKO LURRALDE HISTORIKOKO GEODESIA ETA TOPOGRAFIA LANETARAKO GOMENDIOAK

### SARRERA

Joan den mendearen amaieraz geroztik, topografia eta geodesia lanetan GNSS sistemak ezartzea eta ohiz erabiltzea lanerako modu berriak ekartzen ari da. Lan horiek Erreferentziazko Azpiegitura Geodesiko Lokal berriak izan behar dituzte oinarri, hau da, egungo Erreferentzia Sistema Globalaren dentsifikatuztat hartu behar diren horiek (Erreferentzia Sistema Globala ITRF08 eta IGS08 da). Europan ETRS89 dentsifikazioa du, ETRF gauzatzeen bitartez. 2002az geroztik, Gipuzkoako Foru Aldundiak lau dimentsioko Azpiegitura Geodesiko bat du Gipuzkoako Lurralde Historikoaren gainekoa; horrek planimetria ( $\phi$ ,  $\lambda$ ), altimetria ( $H$ ,  $h$ ) eta denbora ( $t$ ) osagaiei erantzuten die.

1071 Errege Dekretuak, 2007ko abuztuaren 27koak, estatuko Erreferentzia Sistema berritza bere gain hartu du aipatutako ETRS89 hori, ED50en orde. ETRS89 honek Europa osoan sistema hori bera erabiltzea ekarriko du, doitasunaren areagotze adierazkor batekin eta GNSS datuekin lan egiteko erraztasun handiagoarekin batera, transformazio geodesikoak saihesten baititu. Dekretuak berekin dakar ETRS89az lan egitea, nahiz azken produktuaren beste kopia bat eman ahal izango den, ED50ez, 2012 arte. Arau honek, bere aldetik, eutsi egiten dio, penintsulako lurraldeari dagokionez, Alacanten itsasoak duen batez besteko mailari, altimetriko erreferentzia sistema gisa.

ETRS89ren balio berberaz, Europa osorako Altimetriko Erreferentzia Sistema bat (EVRS) definitzen ari da; hori ezarri ondoren, Gipuzkoako Azpiegitura Geodesikoan txertatu beharko da. Duela gutxi, Institutu Geografiko Nazionalak (IGN) doitasun handiko nibelaziorako REDNAP proiektua ( $Zatia \leq 1.5 \text{ mm} \sqrt{k}$ ) garatu du estatuan. Proiektu horri 1987an egindako Gipuzkoako Nibelazio Sarea gehitu zaio, eta trinkoagoa gelditu da.

### GIPUZKOAKO AZPIEGITURA GEODESIKOA. ITRF\*, ETRS89 eta IGNren REDNAP esparruak

2010eko azaroan osagai hauek ditu:

- **Estazio Iraunkorren GNSS Sarea.** 20 km-tik beherako distantzia, lurralde osoan, Elgeta, Igeldo, Lazkao eta Pasaiako estazioetara:
  - Postprozesurako datuak: GPS datuak 2005az geroztik eta GPS+GLONASS 2007aren amaieraz geroztik.
  - GNSS RTK eta NRTK datuak denbora errealean. RTCM2.3 eta RTCM3.1.
  - Esparru geodesiko berean, aldundiaren sarea trinkotu egiten da Gipuzkoan dagoen estazio baten seinalearekin eta inguruko beste seiren seinaleekin. Zazpi estazio horiek beste entitate batzuenak dira.
- **ROI sarean beharturik zentratutako Estazio Pasiboen Sarea.** 10 km-tik beherako distantzia, lurralde osoan, 11 estazioetara eta 5 Regente estaziotara. 2002. urtean egindako lana.
- **Estazio Pasiboen Sarea.** 240 iltze hirigune eta errepideetan; horietatik 100 5 cm-tik beherako doitasunez. Hirigune guztietan gutxienez iltze bat. 2005. urtean egindako lanak.
- **NAP eta NP Nibelazio Sareak.** 1987ko NP sarea dentsifikatzen eta atzera behatzen ari da, NAP nibelazioa erabiliz. 2005az geroztik 460 km nibelatu dira. Sare horrek 476 NAP iltze ditu eta 193 NP iltze.
- **Gipuzkoako Grabimetria Sarea (GGS).** Sare hau Astronomia eta Geodesia Institutuak Madrilen duen grabitate absolutuko estazioarekin lotuta dago. Oinarrizko GGSak 11 estazio ditu, 15  $\mu\text{Gal}$  inguruko doitasunez. Sare horretan oinarrituta, 2005az geroztik 380 iltze behatu dira, etorkizunean geoide lokal bat mantentzeko xedeaz.
- **AutoGNSSa.** Doako web zerbitzua da eta, edozein erabiltzailek bidalitako 10, 15 edo 30 segundoko rinex fitxategi estatikoetatik abiatuta, ITRF\* eta ETRS89 koordenatuak kalkulatu ditu. GPS bektoreak Gipuzkoako GNSS Sarearen eta IGSren esparruan prozesatu dira. Sarrera libreko zerbitzuaren helburua da Gipuzkoan egiten diren lan guztietarako prozesu-lanabes homogeneo bat

eskaintzea; gainera, zerbitzu horren kalitateak bakar-bakarrik behaketa denbora eta datuak hartzen diren bitarteko horizontea izango ditu baldintzatzaile.

Gipuzkoan dagoen erreferentzia-esparrua sare hauek osatzen dute:

- Estazio Iraunkorren GNSS Sarea.
- NAP Nibelazio Sarea.
- Oinarrizko Grabimetria Sarea.
- AutoGNSSa.

ROIko Estazio Pasiboen Sarea, Estazio Pasiboen Sarea eta NP Nibelazio Sarea aurrekoen lagungarriak dira, eta mendeko horiek ematen dituzten laburpenen irakurketa arretaz egin behar da, zaharrak direlako eta zehaztapenak heterogeneoak direlako.

## **XEDEA**

Dokumentu ireki honen xedea da gomendio eta praktika egoki sorta bat aipatzea, batetik, Gipuzkoako Azpiegitura Geodesikoaren bidez, topografia lanak eta geodesia kontrolerakoak ahalik eta zorrotasun handienaz lotzeko indarrean dauden nazioarteko esparruekin eta, bestetik, ED50 sare lokalak ETRS89ra migratzeko.

## **PLANIMETRIA**

- Erreferentzia-sistema ofiziala ETRS89 da; hala ere, produktuaren beste kopia bat eman daiteke ED50 sistema zaharrean. Horrela, ETRS89 erabat dagoenean indarrean, posible izango da datu originaletarako ETRS89ra jotzea, datuak berriz eraldatu beharrik gabe.
- Ohiko topografia lanetan ETRS89 koordinatuetatik abia daiteke, baina zorrotasun handiagoko geodesia lanetan ITRF\*k izan behar du lanerako esparrua, behaketa-garai bati lotuta gainera beti.
- Landa, prozesatze, kalkulu, konpentsazio eta doiketa lan guztiak esparru berean egingo dira beti.
- ITRF\* eta ETRS89 arteko aldaketa [Boucher eta Altamimi-ren parametroen](#) bidez egin behar da.
- ETRS89 eta ED50 arteko aldaketa egiteko, erabiliko den bakarra IGNk garatutako gutxieneko kurbadurazko transformazio metodoa izango da. Eskura dagoen azken sareta erabiliko da, eta Eusko Jaurlaritzak prestatutako [transformazio programa](#) erabil daiteke, aurrekoan oinarrituta dago eta.

## **Oinarri estazioak ezartzea**

- Lan eremuaren ertzetan eta ardatz nagusian zehar gutxienez oinarrizko 3 estazio ezarriko dira (nagusi bat eta bigarren mailako bi), eta AutoGNSS bidez Gipuzkoako Azpiegitura Geodesikoarekin lotzea bermatuko da.
- Lan eremua 5 km<sup>2</sup>-tik beherakoa den kasuetan, nahikoa da oinarri estazio bakarra erabiltzea.
- Azterketa eremuan estazio pasiborik edo iraunkorrik izanez gero, hauek ere azterketan sartuko dira; zenbaitetan, estazio osagarri bat ezartzea ere nahikoa izango da. Kasu guztietan, estazio pasiboen kalitatea aztertu egin beharko da, ematen dituzten laburpenak zehatz aztertuz, koordinatu egokiak direla bermatzearen.
- Oinarrizko estazioen eta pasiboen behaketa gutxienez 2 saiotan egin behar da, eta horien artean gutxienez 3 orduko tartea behar da, sateliteen posizio aldaketa ziurtatzeko. Azken soluzioa saio bakoitzean lortutako en batez bestekoa izango da.
- Saio bakoitzeko soluzioen arteko aldeak 3 cm-tik beherakoak izatea ziurtatzeko, saioek 2,5 ordu baino gehiago iraun beharko dute. Aldi bereko behaketen kasuan, edo estazio pasibo edo iraunkor bat dagoenean, bigarren mailako oinarrizko estazioen behaketa 1,5 orduetik gora irauten duten saioen bidez egin daiteke.

## **Oinarrizko lerroak**

- Hargailuen arteko distantziaren arabera, behaketa-denborak hauek izango dira: 20 minutu + 1 minutu km-ko. 1:500eko eskalen kasuan, denborak 30 minutu + 2 minutu km-ko izatea komeni da.

- Monofrekuentzia-hargailuak erabiltzen badira denborak bikoiztu egin behar dira, eta distantzia gehienez 5 km-koa izango da.
- Antenen garaiera zuzen neurtzeko, zehaztasuna beharrezkoa da. Horretarako, beti hartzaile berdinak erabiltzeko gomendatzen da, antena konstanteen erroreak saihesteko. Eszentrikotasunak altimetria atalean adierazten den bezala neurtuko dira.

### Oinarrizko lerroak prozesatzea

- Bektore ez nabarizko soluzioak hartuko dira, eta konfigurazioa gutxieneko bidekoa izango da.
- Distantziak 5 km-tik beherakoak direnean, L1 soluzioak gomendatzen dira; 5 eta 15 km bitartean, L1eko edo L3ko emaitzarik onena da soluzioa; eta 15 km-tik gora, ez badago estazio iraunkorrik lanean, L3ko emaitza. Kasu guztietan, bektoreko muturren artean desnibel txikia egonez beti.
- Beti erakunde beraren efemeride zehatzen bidez prozesatuko da, eta erreferentzia-esparrua indarrean dagoena izango da (IGS2008), koordenatuak behaketa-garaira egokituz.
- Ionosfera-efektua kentzea komeni da, hain zuzen bi eroaleak modu linealean konbinatuz, eta troposfera-efektua kentzea, VMF1 (*Viena Mapping Function*) izeneko eredu erabiliz. Era berean, eta lehenetsun ordena honi eutsita, hauexek onartzen dira: GMF (*Global Mapping Function*); Saastamoinen-en eredu Niell-en funtzioari aplikatuta; eta Hopfield (baita eredu aldatua ere) —azkena gomendatzen den aukera da Hopfield—.

### ALTIMETRIA

Planimetria osagaiaz bestela, altimetriakoa ez dago erabat garatuta Gipuzkoako Azpiegitura Geodesikoan. IGNren REDNAP proiektuak —honen bi lineak Gipuzkoa zeharkatzen dute— eta geroko EVRSak dakarten erreferentzia-aldaketarekin batera, doitasun handiz ari da berriro nibelatzen eta dentsifikatzen egungo sarea. NAP tarte guztiak REDNAPera doitu dira, eta horrela lortutako NAP emaitzari NP desnibel zaharrak doitu zaizkio. Eskuragarri dago, beraz, sare heterogeneo bat, non 193 NP iltze aspalditik baitaude. Iltze horiek ez dira berriro nibelatu eta euren datuak kontu handiz erabili behar dira.

- Oinarrizko estazioak NAP iltzeekin lotu behar dira. NP iltzeekin lotu behar izanez gero, kontu handiagorik jardun behar da, soluzio honek dagoeneko daraman denbora eta duen doitasun nominala direla eta.
- Gutxienez 2 NAP iltze behatuko dira, batetik bestera 3 ordu gutxienez igaroko diren saioetan.
- Gipuzkoan lortutako geoide-ondulazioaren hasierako ereduak ikusita, hala nola IGNren EDM08-Rednap ereduak, ez da komeni GNSS bidezko ortometria-kota 2 km baino gehiago mugitzea, eta beste NAP iltze batean ixtea gomendatzen da.
- Beste aukera bat da alderaketa lokalerako plano bat lortzea, gutxienez altimetriaren kontrolerako 4 puntu izanik. Ateratzen den planoaren homogeneotasunak adieraziko digu ea zona horretan behar besteko garantiaz deribatzea dagoen GNSSko altituedein ortometria-kota.

### Antena eszentrikotasunak

- Antenen garaiera zuzen neurtzeko, zehaztasuna beharrezkoa da. Horretarako, beti hartzaile berdinak erabiltzeko gomendatzen da, antena konstanteen erroreak saihesteko.
- Garaierak **ARPr**i dagozkie.
- **Neurketa tripodearekin:**
  - Tripodearen garaiera (**A**) neurtu behar da eta, baldin badaude, tripodearen eta ARPrein artean dauden beste eszentrikotasunak ere bai (**B**). Tripodearen garaiera hori neurtzeko seinalearen zati altueneraino egin behar da (seinalearen sakonerari dagokio **C**). Garaiera hau da: Garaiera =  $A+B-C$
  - **Leicaren “kakoa”** baldin badago, flexometroaren irakurketa (**A**) izango da, eta (**B**) izango da fabrikatzaileak emandako konstantea antena edo oinarri nibelatzailearen arabera.



- Metodologia hau bakar-bakarrik barne-homogeneotasuna eta gaur egun modu uniformean banatuta dauden behar beste erreferentzia-iltze duten sareetan aplikatuko da.

Sarea ezartzeko egindako GNSS behaketak eta ED50erako transformazioan erabilitako parametroak eskuratzeko modurik izatean, jatorrizko behaketek bere jatorrizko datumera eramango dute (ETRS89 edo ITRF\*), eta ED50 soluzioa produzitzeko kalkulaturako alderantzizko transformazioak aplikatuko dira. Sarearen zati bat atzera behatzea komeni da, sare lokala eta horren topografia deribatua modu analogoan eta Helmert transformazio baten bidez doitu daitezzen Gipuzkoako Azpiegitura Geodesikora.

Gipuzkoan, metodologia hori erabili da 1:500 eskalan dauden udalerrietako hiri-kartografietan, eta, horrela, azkenean 100 mm baino gutxiagoko zehaztasunak lortu dira.

### **GNSS SOLUZIOAK DENBORA ERREALEAN**

RTK (oinarri bakuna) eta NRTK (sare-emaitzak) emaitzei begirako gomendioak hauexek dira:

Gomendio orokorrak:

- 1:200 edo 1:500 eskala duten proiektuetan ez da komeni postprozesua egin gabe duten denbora errealeko soluziorik erabiltzea oinarritzko estazioak finkatzeko unean.
- 1:200 edo 1:500 eskaletan, ez da komeni denbora errealeko soluzioez lortutako altitudeak erabiltzea. Kasu horietan, bakar-bakarrik postprozesuaren bidez lortutako altitudeek bermatzen dute behar den doitasuna.

Gomendio zehatzak:

- Eguneratuta eduki *firmwarea*, hautatu antena egokia, eta jarraitu beti fabrikatzailearen argibideei.
- Komeni da aldizka kontrol-punturen bat erabiltzea, sentsorea eta ezarpenak berraztertzeko.
- Antenaren plomua-errorea atzemateko eta mugatzeko era bat da bi behaketa egitea antena 180° biratuz.
- GPS+Glonass sentsoreak erabili behar dira. Horrela, Gipuzkoan emaitzen kopurua gutxienez %15 handiagoa da, GPS soila duten sentsoreak erabilia baino. Baina, horrek ez du nahitaz zehaztasuna hobetzen, eta batzuetan osagai bertikalak okerrera egiten du.
- Sateliteak iragartzeko zenbait tresna oso baliagarriak dira, horizonte txikia den lekuetan landa-lana antolatzeke.
- Ionosfera-iragarpenari jaramon egin behar zaio, eguzki aktibitate handiko aldietan.
- Soluzioak denbora errealean lortzeko muga nagusia komunikazio arazoak dira, bai estazio sarekoak eta bai landa-tresnerietakoak. Horregatik komeni da, landa-lana antolatu baino lehen, eremuko GPRS estaldura aztertzea eta eremuko GPRS abiadura ikuskatzea.
- Landa-lana hasi aurretik aintzat hartuko da beharrezkoa den doitasuna. Teorian, zehaztasun hauek lor daitezke baldintzarik onenetan:
  - 50 mm inguru (60 mm, osagai bertikalean), basea < 20 km-ra, GDOP <= 4 eta 15 denbora-tarte.
  - 25 mm inguru (40 mm, osagai bertikalean), basea < 15 km-ra, GDOP <= 4 eta 12 denbora-tarte minutu batean, eta behaketa errepikatuz.
  - 15 mm inguru (25 mm, osagai bertikalean), basea < 10 km-ra, GDOP <= 2 eta 120 denbora-tarte 3 minutuan eta behaketa errepikatuz.
- Erabili 10-15 graduko goratze-maskara.
- GDOP balio maximoa, 3-4.
- Jaramon egin SNR emaitzei (zarata seinale edo *Señal Ruido*), SNR emaitzek honako hauek adierazi baitezakete: multi-ibilbide erroreak (*multipath*), atmosferako arazoak, interferentziak, etab.
- Inguru hauetan ohikoak dira multi-ibilbide erroreak: zuhaitzien azpian, antena baino garaiera handiagoa duten egituretan, ezpondetan, ibilgailuetan, metalezko objektuetan edo ur-masak hurbil dauden inguruetan.

- Adi egon sentsoreak ematen dituen behaketa-doitasunaren parametroei. Azaltzen den errore hori bider bi edo hiru egin, fabrikatzaileen baikortasuna oso errotuta dago eta.
- 100 mm baino prezisio eskasagoa duten soluzioak baztertu egin behar dira.
- Egin kasu RTK latentziari (zuzenketa adina), segundo batzuk baino handiagoa denean lorturiko prezisioan eragin handia izan dezake eta.
- Eman minutu bat edo bi hasieratzeari, behar den prezisioaren arabera.
- Kontrol puntuak erabili (Gipuzkoako Sare Pasiboa), bai RTK edo NRTK saio bakoitza hasi baino lehen, bai ari den bitartean eta bai bukatzean.
- Horizonte ona duen kontrol puntu berri bat ezartzea praktikoagoa eta fidagarriagoa da, horizontea mugatua duen baina existitzen den kontrol puntu bat okupatzen saiatzea baino.
- Behaketa zuzena dela ziurtatzeko modu bakarra da behaketa berriro egitea, noiz eta sateliteen konstelazioa bestelakoa denean.
- Denbora-tarteen batuz bestekoa egin behar da edozein behaketa egiteko, gutxienez 5-10 tarterena.
- Osagai bertikala garrantzitsua den puntuetan edo erreferentziazko GNSS estazioaren eta tresneria mugikorraren arteko garaiera aldea 200 m baino handiagoa den lekuetan, bi behaketa egin behar dira eta batez bestekoa atera. Behaketa biok 150 denbora-tarte (3 minutu) izango dituzte, eta bataren eta bestearen artean 20 eta 45 minutuko tarte egon behar du.
- Oraingoz ez dugu zehatz ezagutzen ozeanoaren zamak Gipuzkoan duen eragina: gehienez, 20 mm-koa izan daiteke planimetriari eta 60 mm-koa bertikalean. Leku baterako, hiru behaketa egin behar dira, haien artean 3 ordu utzi eta kalkulatu  $\sum = \sqrt{[\frac{1}{2}H_1^2 + H_2^2 + \frac{1}{2}H_3^2 - H_1H_2 - H_2H_3]}$ . Kalkuluaren emaitzak behar den tolerantzia gainditzen duenean, zama ozeanikoa nabarmena izaten da. Proiektu horietan behaketen artean sei orduko tarte utzi behar da, egun erdiko itsasaldien tarte dela eta.
- Ez dira denbora errealeko soluzioak erabili behar, baldin eta erreferentziazko estazioa eta tresneria mugikorra dauden lekuen arteko baldintza atmosferikoak oso bestelakoak badira.
- GPS+Glonass soluzioak erabili behar dira GPS soluzioen ordez, hala RTKn nola NRTKn.
- RTK soluzioak erabili behar dira NRTK soluzioen ordez, baldin eta gertuen dagoen estazioa 20 km baino gutxiagora badago. NRTK soluzioak jabedunak dira, eta soluzio horiek sortu ziren estazioen arteko distantzia 70 km inguru denean erabiltzeko. Gipuzkoan, estazio dentsitatea eta estazio horien arteko altuera-aldea direla medio, NRTK soluzioak ez dira oso onak, estazioen bat ez dabilenean izan ezik. Bestalde, GPRS estaldura txikia denean ere NRTK soluzioak ez dira oso baliagarriak, soluzio horietako datuen tamaina handiagoa baita.
- RTK produktuen artean CERCANA zerbitzua edo *mount pointa* erabiltzea gomendatzen da beti, GFaren lau estazioez gain, beste batzuenak diren sei estazio gehitzen baititu.
- RTK produktu batez finkatzen ez bada soluzioa edo gertuen dagoen estazioa 20 km-ra baino urrutiago dagoenean, erabiltzaileak NRTK produktuen bat erabili behar du.
- i-Max soluzioen ordez Max soluzioak erabiltzea gomendatzen da, zentsoreak horiek prozesatzeko beharrezkoa den *softwarea* baldin badu.
- Soluzioak finkatzen ez badira Gipuzkoako GNSS Sarean dauden denbora errealeko produktuekin, GPS bakarrik duten Eusko Jaurlaritzaren soluzioak erabili behar dira arau gisa. Hain zuzen ere, Gipuzkoako mendebaldean GPS bakarrik duten Bizkaiko Aldundiaren soluzioak erabili behar dira eta ekialdean, Nafarroako Gobernuaren GNSS soluzioak.

## AZKEN GOMENDIOAK

Dokumentu honetan aipatutako gomendioak ahalik eta soluziorik onena lortzera daude bideratuta, eta egin behar dugun proiektuaren berezitasunetara egokitu beharko ditugu, inolaz ere. Dena den, kasu guztietan derrigorrezkotzat ditugu hurrenak:

- Gutxienez proiektuko bi estazio aukeratzea eta horien kalitatea eta egungo esparruekiko doiketa egiaztatzea AutoGNSS bidez.
- Metodo klasikoak erabiltzea Nibelazio Sarera lotzeko, eta beti-beti NAP iltzeak erabiliz.

Dokumentu hau irekia da, eta Gipuzkoako Azpiegitura Geodesikoa garatu ahala gaurkotuko da. Edozein irakurlek egoki iritzitako oharrak, hobekuntzak eta zuzenketak ere kontuan hartuko dira.

Bertsioen kontrola:

1.1 bertsioa: 2008ko otsailak 22.

1.2 bertsioa: 2010ko azaroak 25.

1.3 bertsioa: 2011ko martxoak 15.

## RECOMENDACIONES EN LOS TRABAJOS GEODÉSICOS Y TOPOGRÁFICOS DEL TERRITORIO HISTÓRICO DE GIPUZKOA

### INTRODUCCIÓN

Desde finales del siglo pasado, la implantación y empleo habitual en tareas topográficas y geodésicas de los Sistemas GNSS está suponiendo nuevos modos de trabajo. Tareas que deben apoyarse en nuevas Infraestructuras Geodésicas Locales de Referencia, entendidas como densificaciones del actual Sistema de Referencia Global (ITRF08 e IGS08), cuya densificación en Europa, a través de las materializaciones ETRF, es ETRS89. Desde el año 2002, la Diputación Foral de Gipuzkoa mantiene una Infraestructura Geodésica tetradimensional del Territorio Histórico de Gipuzkoa, que atiende a las componentes planimétrica ( $\phi$ ,  $\lambda$ ), altimétrica ( $H$ ,  $h$ ) y temporal ( $t$ ).

El Real Decreto 1071 de 27 de Agosto de 2007 ha asumido como nuevo Sistema de Referencia en el estado el citado ETRS89 en sustitución de ED50. ETRS89 supone el empleo de un mismo sistema en toda Europa, un aumento significativo de la precisión y mayor facilidad para trabajar con datos GNSS al evitar transformaciones geodésicas. El Decreto lleva implícito trabajar en ETRS89, aun cuando pueda entregarse otra copia del producto final en ED50 hasta el año 2012. Esta norma, a su vez, mantiene como sistema de referencia altimétrico el nivel medio del mar en Alicante en el territorio peninsular.

De forma equivalente a ETRS89, se está definiendo un Sistema de Referencia Altimétrico común a toda Europa (EVRS) que una vez establecido deberá integrarse en la Infraestructura Geodésica de Gipuzkoa. Recientemente, el Instituto Geográfico Nacional ha desarrollado el proyecto REDNAP de nivelación de alta precisión (Tramo  $\leq 1.5 \text{ mm} \sqrt{k}$ ) en el estado, al que se ha enlazado y densificado la Red de Nivelación de Gipuzkoa materializada en 1987.

### INFRAESTRUCTURA GEODÉSICA DE GIPUZKOA. Marcos ITRF\*, ETRS89 y REDNAP del IGN

A noviembre de 2010 se compone de:

- **Red de Estaciones Permanentes GNSS.** Distancias inferiores a 20 km en todo el territorio a las estaciones de Elgeta, Igeldo, Lazkao y Pasaia:
  - Datos GPS desde 2005 y GPS+GLONASS desde finales de 2007 para postproceso.
  - Datos GNSS RTK y NRTK en tiempo real. RTCM2.3 y RTCM3.1
  - En el mismo marco geodésico, la red propia se densifica con la señal de 1 estación en Gipuzkoa y 6 en su entorno, que pertenecen a otras entidades.
- **Red de Estaciones Pasivas con centrado forzoso en ROI.** Distancias inferiores a 10 km en todo el territorio a las 11 estaciones y a 5 estaciones Regente. Trabajos efectuados el año 2002.
- **Red de Estaciones Pasivas.** 240 clavos en cascos urbanos y carreteras, 100 de ellos con precisiones inferiores a 5 cm. Al menos 1 clavo en todos los cascos urbanos. Trabajos efectuados el año 2005.
- **Redes de Nivelación NAP y NP.** La red NP de 1987 está siendo densificada y reobservada mediante Nivelación NAP. Desde 2005 se han nivelado 460 km, cuenta con 476 clavos NAP y 193 NP.
- **Red Gravimétrica de Gipuzkoa (RGG).** Red enlazada con la estación de gravedad absoluta del Instituto de Astronomía y Geodesia, en Madrid. La RGG básica se compone de 11 estaciones con precisiones en torno a los 15  $\mu\text{Gal}$ . Apoyados en esta red, desde el año 2005, se han observado 380 clavos con objeto de mantener en el futuro un geoide local.
- **AutoGNSS.** Es un servicio web gratuito que calcula coordenadas ITRF\* y ETRS89 a partir de ficheros rinex estáticos de 10, 15 ó 30 segundos enviados por cualquier usuario. El procesamiento de vectores GPS se efectúa en el marco de la Red GNSS de Gipuzkoa e IGS. El objetivo del servicio de libre acceso es ofrecer una herramienta de procesamiento homogéneo para todos los trabajos que se realizan en Gipuzkoa y cuya calidad solo esté sujeta al tiempo de observación y al horizonte existente durante la toma de datos.

El marco de referencia en Gipuzkoa está materializado por:

- Red de Estaciones Permanentes GNSS.
- Red de Nivelación NAP.
- Red Gravimétrica Básica.
- AutoGNSS.

Las Redes de Estaciones Pasivas ROI, Estaciones Pasivas y Nivelación NP, tienen carácter subsidiario de las anteriores y es necesario realizar una atenta lectura de sus reseñas debido en su caso a su antigüedad y a la heterogeneidad de sus precisiones.

## **OBJETO**

El propósito de este documento abierto es señalar una serie de recomendaciones y buenas prácticas para enlazar, con el mayor rigor posible, trabajos topográficos y de control geodésico a los vigentes marcos internacionales mediante la Infraestructura Geodésica de Gipuzkoa, así como migrar redes locales ED50 a ETRS89.

## **PLANIMETRÍA**

- El sistema de referencia oficial es ETRS89, aun cuando se pueda entregar otra copia del producto final en el antiguo ED50. De este modo cuando ETRS89 sea de plena vigencia será posible remitirse a los datos originales en ETRS89 sin necesidad de volver a transformar los datos.
- En trabajos topográficos usuales se puede partir de coordenadas ETRS89, pero en trabajos geodésicos de mayor rigor el marco de trabajo debe ser ITRF\* y siempre ligado a una época de observación.
- Todos los trabajos de campo, procesamiento, cálculo, compensación y ajuste se efectuarán siempre en un mismo marco.
- El traspaso entre ITRF\* y ETRS89 debe efectuarse mediante los [parámetros de Boucher y Altamimi](#).
- El traspaso entre ETRS89 y ED50 se realizará únicamente con el método de transformación de mínima curvatura desarrollado por el IGN. Se empleará la última rejilla disponible, y se puede emplear el [programa de transformación](#) elaborado por Gobierno Vasco ya que se basa en el anterior.

## **Implantación de estaciones base**

- En el área de trabajo se establecerán al menos 3 estaciones base (1 principal y 2 secundarias) en sus márgenes y a lo largo de su eje mayor, y se garantizará el enlace a la Infraestructura Geodésica de Gipuzkoa mediante AutoGNSS.
- En el caso de áreas de trabajo inferiores a 5 km<sup>2</sup> es suficiente el empleo de una única estación base.
- En caso de contar con estaciones pasivas o permanentes en el área de estudio, estas se incluirán en el estudio y eventualmente será suficiente establecer una estación adicional. En todos los casos la calidad de las estaciones pasivas debe ser chequeada, examinando con detalle sus reseñas, para garantizar la bondad de sus coordenadas.
- La observación de las estaciones base y pasivas debe realizarse con un mínimo de 2 sesiones separadas por al menos 3 horas para asegurar el cambio de posición de satélites. La solución final será el promedio de las obtenidas en cada sesión.
- Para asegurar diferencias menores a 3 cm entre las soluciones de cada sesión, las sesiones deben ser superiores 2,5 horas. En el caso de observación simultánea o de existir una estación pasiva o permanente, las estaciones base secundarias pueden observarse mediante sesiones superiores a 1,5 horas.

## **Líneas base**

- En base a la distancia entre receptores los tiempos de observación serán de 20 minutos + 1 minuto por km. En el caso de escalas 1:500 es aconsejable que los tiempos sean de 30 minutos + 2 minutos por km.
- Si se emplean receptores monofrecuencia, el tiempo debe duplicarse y la distancia se limitará a 5 km.

- La medición de alturas de antena debe ser lo más cuidadosa posible y se recomienda el empleo de receptores idénticos para evitar errores de constantes de antena. Las excentricidades se medirán como se señala en el apartado de altimetría.

### Procesado de líneas base

- Se adoptarán soluciones de vectores no triviales y la configuración será la de mínimo camino.
- Para distancias inferiores a 5 km se recomiendan soluciones L1, entre 5 y 15 km el mejor resultado de L1 o L3 y por encima de 15 km, si alguna estación permanente no está operativa, el resultado de L3. En todos los casos, siempre en condiciones de escaso desnivel entre los extremos del vector.
- Se procesará mediante efemérides precisas siempre de un mismo organismo y el marco de referencia será el vigente (IGS2008), refiriendo las coordenadas a la época de observación.
- Se recomienda eliminar el efecto ionosférico mediante la combinación lineal de las dos portadoras y el efecto troposférico empleando el modelo conocido como VMF1 (*Viena Mapping Function*). Se admiten igualmente, y en este orden de preferencia, GMF (*Global Mapping Function*), el modelo de Saastamoinen aplicado a la función de Niell, siendo Hopfield (incluso el modelo modificado) la última opción recomendada.

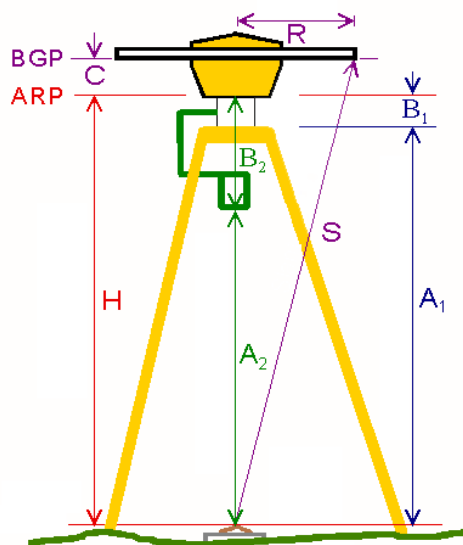
### ALTIMETRÍA

A diferencia de la componente planimétrica, la altimétrica no está completamente desarrollada en la Infraestructura Geodésica de Gipuzkoa. Junto con el cambio de referencia que supone el proyecto REDNAP del IGN, dos de cuyas líneas atraviesan Gipuzkoa, y el futuro EVRS, se está volviendo a nivelar y densificar mediante alta precisión la red existente. Los tramos NAP se ajustan en bloque a REDNAP y a la solución NAP obtenida se ajustan los antiguos desniveles NP. Contamos por tanto con una red heterogénea en la que perviven 193 antiguos clavos NP que no han sido renivelados en los que hay que extremar la cautela.

- Las estaciones base deben enlazarse con clavos NAP. En caso de tener que enlazar con clavos NP, deben tomarse precauciones adicionales dadas la antigüedad y precisión nominal de esa solución.
- Se observarán al menos 2 clavos NAP en sesiones separadas por al menos 3 horas.
- Los modelos iniciales de ondulación de geoide obtenidos en Gipuzkoa, así como el modelo EGM08-REDNAP del IGN, hacen no recomendable arrastrar cota ortométrica con GNSS más de 2 km y se recomienda cerrar en otro clavo NAP.
- Otra posibilidad es obtener un plano de comparación local mediante un mínimo de 4 puntos de control altimétrico. La homogeneidad del plano resultante podrá indicarnos si es posible derivar cota ortométrica de altitudes GNSS en esa zona con suficientes garantías.

### Excentricidades de antena

- La medición de alturas de antena debe ser lo más cuidadosa posible y se recomienda el empleo de receptores idénticos para evitar errores de constantes de antena.
- Las alturas se referirán al **ARP**.
- **Medición en trípode:**
  - Medir la altura (**A**) del trípode y otras excentricidades si las hay, entre el trípode y el ARP (**B**), hasta la parte más elevada de la señal (**C** se refiere a la profundidad de la señal). La altura será:  $Altura = A+B-C$
  - En caso de contar con “**gancho**” de Leica, (**A**) pasa a ser la lectura del flexómetro y (**B**) es la constante proporcionada por el fabricante para cada Antena/Base Nivelante.



Por ejemplo, para la antena AT201/202, sobre base GRT44, B sería 0,389 m. En este caso, la altura será:  $Altura = A + 0,389 - C$

- **Medición con jalón:**

- La lectura es directamente la altura calibrada, teniendo precaución de no mezclar jalones calibrados para GPS con aquellos calibrados para medición con prisma, ya que las alturas no son las mismas. En cualquier caso, seguir las especificaciones del fabricante.

- **Medición sobre pilar:**

- Los pilares no están totalmente verticales y el movimiento de los tornillos nivelantes impide disponer de medida fija, por lo que es imprescindible seguir las especificaciones del fabricante. En el caso de medir con basada, la altura será la media de las tres medidas de la parte de los anclajes.

## TRANSFORMACION DE REDES GEODÉSICAS LOCALES

A la hora de transformar a ETRS89 desde ED50 redes locales y sus topografías derivadas, se hacen las siguientes recomendaciones para emplear en Gipuzkoa un mismo proceso de transformación:

- La componente altimétrica no debe incorporarse a la transformación mientras no se defina por completo la nueva referencia altimétrica en Gipuzkoa, aunque se recomienda enlazar a la nueva NAP para detectar el posible salto existente.
- Realizar una primera transformación de la red a ETRS89 empleando el método de transformación de mínima curvatura desarrollado por el IGN y mediante la última rejilla disponible.
- Observar y enlazar un número suficiente de puntos de control de la red local a la Infraestructura Geodésica de Gipuzkoa, incorporando las estaciones pasivas existentes y empleando las recomendaciones señaladas en los apartados anteriores.
- Comparar las coordenadas obtenidas respecto a las dos soluciones ETRS89: modelo de mínima curvatura de IGN e Infraestructura Geodésica de Gipuzkoa.
- De esa comparación obtener parámetros de transformación (rotación, traslación y factor de escala) para ajustar la totalidad de la red local mediante una transformación Helmert 2D de 5 parámetros a la Infraestructura Geodésica de Gipuzkoa.
- La comparación entre el resultado del ajuste de la transformación Helmert y la solución buscada, nos dará el error de posición de esa red respecto a los marcos internacionales.
- Transformar las topografías derivadas de esa red local mediante la aplicación ED50ETRS89 desarrollada por Gobierno Vasco (incorporando siempre la última rejilla disponible) y realizar una segunda transformación mediante una transformación clásica Helmert con los parámetros obtenidos en la transformación de la red local.

- Esta metodología solo podrá aplicarse a redes internamente homogéneas y que mantengan en la actualidad un número suficiente de clavos de referencia uniformemente distribuidos.

En caso de poder contar con las observaciones GNSS realizadas para implantar la red y los parámetros empleados en la transformación a ED50, las observaciones originales se llevarán a su datum original (ETRS89 ó ITRF\*) y se aplicarán las transformaciones inversas a las calculadas para producir la solución ED50. Se recomienda reobservar parte de la red para ajustar de manera análoga y mediante una transformación Helmert la red local y su topografía derivada a la Infraestructura Geodésica de Gipuzkoa.

En Gipuzkoa se ha aplicado esta metodología a las cartografías urbanas 1:500 municipales existentes, obteniendo precisiones finales inferiores a 100 mm.

### **SOLUCIONES GNSS EN TIEMPO REAL**

Tanto para soluciones RTK (base simple) como NRTK (soluciones de red) se señalan las siguientes recomendaciones:

Recomendaciones generales:

- No se recomienda emplear soluciones en tiempo real, sin postproceso alguno, a la hora de fijar las estaciones base de un proyecto de escala 1:200 o 1:500.
- No se recomienda emplear altitudes obtenidas mediante soluciones en tiempo real para escalas 1:200 o 1:500. En estos casos solo las altitudes obtenidas mediante postproceso garantizan la precisión exigida.

Recomendaciones:

- Mantener actualizado el firmware, seleccionar la antena adecuada y seguir en todo momento las instrucciones del fabricante.
- Emplear periódicamente un punto de control para revisar el sensor y su configuración.
- Una manera de detectar y limitar un posible error de plomada de la antena es realizar dos observaciones girando esta 180°.
- Emplear sensores GPS+Glonass. En Gipuzkoa supone incrementar el número de soluciones al menos un 15% frente a sensores solo GPS, pero no supone mejorar necesariamente su precisión, en algunos casos llega a empeorar la componente vertical.
- Diversas de herramientas de predicción de satélites son muy útiles a la hora de programar el trabajo de campo en zonas de poco horizonte.
- Prestar atención a la predicción de ionosfera en los períodos de máxima actividad solar.
- La principal limitación para obtener soluciones en tiempo real viene dada por incidencias de comunicaciones, tanto en la red de estaciones como en los equipos de campo. Conviene revisar la cobertura y testear la velocidad GPRS en el área antes de programar el trabajo de campo.
- Tener muy en cuenta la precisión requerida antes de iniciar el trabajo de campo. Teóricamente se pueden obtener en condiciones óptimas, las siguientes precisiones:
  - En torno a 50 mm (60 mm vertical) con distancias a la base < 20 km, GDOP ≤ 4 y 15 épocas.
  - En torno a 25mm (40 mm vertical) con distancias a la base < 15 km, GDOP ≤ 3, 12 épocas en 1 minuto y repetición de observación.
  - En torno a 15 mm (25 mm vertical) con distancias a la base < 10 km, GDOP ≤ 2 y 120 épocas en 3 minutos y repetición de observación.
- Emplear una máscara de elevación de 10-15 grados.
- Máximo valor de GDOP 3-4.
- Prestar atención a los resultados SNR (Señal Ruido) como posible indicador de errores multitrayectoria, problemas atmosféricos, interferencias, etc.
- Los errores de multitrayectoria (*multipath*) son habituales bajo arbolado, estructuras de altura superior a la antena, taludes, vehículos, objetos metálicos y masas de agua en un entorno cercano.

- Prestar atención a los parámetros de precisión de la observación que ofrece el sensor y multiplicar su error por 2-3 debido al inveterado optimismo de los fabricantes.
- Toda solución con precisión inferior a 100 mm, debe descartarse.
- Prestar atención a la latencia RTK (edad de la corrección), si es superior a varios segundos puede influir notablemente en la precisión obtenida.
- Destinar a la inicialización 1-2 minutos dependiendo de la precisión requerida.
- Emplear puntos de control (Red Pasiva de Gipuzkoa) antes, durante y al finalizar cada sesión RTK o NRTK.
- Es más práctico y fiable establecer un nuevo punto de control con buen horizonte, que intentar ocupar un punto de control ya existente pero con horizonte limitado.
- La única manera de asegurar la bondad de una observación es volver a repetirla al menos en una ocasión y en otro periodo de tiempo que asegure el cambio de constelación de satélites.
- Para cualquier observación, promediar al menos 5-10 épocas.
- En puntos donde es importante la componente vertical o donde la diferencia de altura entre la estación GNSS de referencia y el equipo móvil supera 200 m, promediar dos observaciones de 150 épocas (3 minutos) separadas con una ventana temporal entre 20 y 45 minutos.
- Por el momento no conocemos en profundidad en Gipuzkoa el efecto debido a la carga oceánica (puede alcanzar máximos de 20 mm en planimetría y 60 mm en vertical). Para una localidad, realizar 3 observaciones separadas por 3 horas y calcular  $\sum = \sqrt{[\frac{1}{2}H_1^2 + H_2^2 + \frac{1}{2}H_3^2 - H_1H_2 - H_2H_3]}$ , si se supera la tolerancia exigida, la carga oceánica es relevante y en ese proyecto de trabajo debemos repetir las observaciones separadas por 6 horas, dado el periodo semidiurno de mareas.
- No emplear soluciones en tiempo real con diferencias atmosféricas notables entre la localidad de la estación de referencia y la del equipo móvil.
- Emplear soluciones GPS+Glonass frente a soluciones GPS tanto en RTK como NRTK.
- Emplear soluciones RTK frente a NRTK siempre que nos encontremos a menos de 20 km de la estación más cercana. Las soluciones NRTK son propietarias y están optimizadas para distancias entre estaciones en torno a unos 70 km. En Gipuzkoa dada la densidad y la diferencia de altura de las estaciones, las soluciones NRTK no suponen excesiva ventaja, salvo que alguna de las estaciones no esté operativa. Además, el mayor volumen de datos de las soluciones NRTK puede ser limitante en condiciones de baja cobertura GPRS.
- Dentro de los productos RTK se recomienda emplear siempre el servicio o “mount point” CERCANA ya que añade a las 4 estaciones propias, 6 estaciones de otros propietarios.
- En caso de no fijar solución con un producto RTK o que la estación más cercana se encuentre a más de 20 km el usuario debe emplear un producto NRTK.
- Se recomienda emplear soluciones Max si el sensor dispone del software necesario para procesar este mensaje, frente a soluciones i-Max.
- En caso de no fijar soluciones con los productos en tiempo real de la Red GNSS de Gipuzkoa se deben emplear como regla general las soluciones solo GPS de Gobierno Vasco (VRS). En particular, en el oeste de Gipuzkoa las soluciones solo GPS de la Diputación de Bizkaia y en el este las soluciones GNSS del Gobierno de Navarra.

## RECOMENDACIONES FINALES

Las recomendaciones señaladas en el documento están orientadas a obtener la mejor solución posible y necesariamente deben adecuarse a las particularidades del proyecto que debemos realizar. En todos los casos entendemos obligatorio:

- Elegir al menos dos estaciones del proyecto y verificar su calidad y ajuste a los marcos actuales mediante AutoGNSS.
- Emplear métodos clásicos para enlazar a la Red de Nivelación y siempre mediante clavos NAP.

Este documento tiene carácter abierto y se actualizará conforme al desarrollo de la Infraestructura Geodésica de Gipuzkoa y las observaciones, mejoras y correcciones que cualquier lector tenga oportuno señalar.

Control de versiones:

Versión 1.1: 22 de febrero de 2008.

Versión 1.2: 25 de noviembre de 2010.

Versión 1.3: 15 de marzo de 2011.