

RECOMENDACIONES EN LOS TRABAJOS GEODÉSICOS Y TOPOGRÁFICOS DEL TERRITORIO HISTÓRICO DE BIZKAIA

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 (ITRF2014 e IGB14), cuya densificación en Europa, a través de las materializaciones ETRF, es ETRS89: más concretamente, ETRF2000, materializado en la época 2021.6 ([Boucher et al., 2011](#)). La Diputación Foral de Bizkaia mantiene una Infraestructura Geodésica tetradimensional del Territorio Histórico de Bizkaia, que atiende a las componentes planimétrica (φ, λ), 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. 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 Bizkaia. El Instituto Geográfico Nacional ha finalizado el proyecto REDNAP de nivelación de alta precisión (Tramo $\leq 1.5 \text{ mm } \sqrt{k}$) en el estado, al que se está enlazando y densificando la Red de Nivelación de Bizkaia.

INFRAESTRUCTURA GEODÉSICA DE BIZKAIA. Marcos ITRF*, ETRS89 y REDNAP del IGN

A diciembre de 2021 se compone de:

- **Red de Estaciones Permanentes GNSS.** Compuesto por las estaciones de Gernika, Sopuerta, Barazar, Lemoiz y Autoridad Portuaria de Bilbao:
 - Datos GPS/GLONASS/GALILEO/BEIDOU 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 otras 7 en su entorno, que pertenecen a otras entidades.
- **Red de Nivelación NAP.** Se está llevando a cabo una densificación de la REDNAP observada por el IGN, reobservando también las señales de la red NAP de 1990 del Gobierno Vasco, y densificando con nuevas señales de la Diputación Foral de Bizkaia. Desde 2017 se han nivelado 348 km, cuenta con 354 clavos nuevos NAP de Diputación Foral de Bizkaia y 83 clavos de Gobierno Vasco reobservados.

El marco de referencia en Bizkaia está materializado por:

- Red de Estaciones Permanentes GNSS.
- Red de Nivelación NAP.

OBJETO

El propósito de este documento abierto es señalar una serie de recomendaciones y buenas prácticas de cara a acceder, con el mayor rigor posible, trabajos topográficos y de control geodésico, a los vigentes marcos internacionales mediante la Infraestructura Geodésica de Bizkaia.

PLANIMETRÍA

- El sistema de referencia oficial es ETRS89, si bien la materialización del mismo en Bizkaia, al igual que en el resto del Estado, es ETRF2000, Esta materialización del marco de referencia se llevó a cabo por el Grupo de Trabajo de la Comisión Especializada del Sistema Geodésico (sub grupo de Cálculo), y se utilizaron observaciones GNSS de estaciones distribuidas por toda la península desde 2011-04-17 a 2017-01-28 (vigencia completa de IGb08). La época de referencia es 2017.0.
- Gracias a que la Red Activa está plenamente operativa desde principios de 2006, es posible determinar, con elevada precisión, las velocidades de las estaciones. Por ello, es posible referir el Marco de Referencia a cualquier época.
- En los trabajos topográficos convencionales, donde la precisión absoluta no es requisito primordial, se puede partir de coordenadas ETRS89. Sin embargo, en trabajos geodésicos de mayor rigor el marco de trabajo debe ser el mismo en el que vienen dadas las coordenadas de los satélites y al que se refieren los Centros de Fase de las antenas y relojes (IGSxx o sus derivaciones, como IGb08, IGb14, en función del marco vigente) y siempre ligado a la época de observación. La proyección de las soluciones a la época y marco de referencia se realizará utilizando las velocidades medias de las Estaciones Activas del Territorio.
- Todos los trabajos de campo, procesamiento, cálculo, compensación y ajuste se efectuarán siempre en el marco materializado por las Estaciones Activas. Para trabajos en que la precisión demandada no sea elevada (escalas 1/1.000 e inferiores), se podrá trabajar directamente en ETRF2000, sin aplicar velocidades a las estaciones. En todos los demás casos, las coordenadas han de ser trasladadas a la época de observación.
- El traspaso entre ITRF* y ETRS89 debe efectuarse siguiendo las recomendaciones de la Nota Técnica de Z. Altamimi (<http://etrs89.ensg.ign.fr/pub/EUREF-TN-1.pdf>).
- El traspaso entre ETRS89 y ED50 se realizará mediante la transformación de la red a ETRS89 empleando el método de transformación de mínima curvatura desarrollado por el IGN y mediante la última rejilla disponible, u obteniendo los parámetros de transformación, siempre y cuando se justifique su idoneidad.

Implantación de estaciones base (ubicaciones con buen horizonte y sin obstáculos que puedan producir efecto "multipath")

- 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 Bizkaia mediante GNSS.
- En el caso de áreas de trabajo inferiores a 5 km² 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 4 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 2 cm entre las soluciones de cada sesión, las sesiones deben ser superiores 3 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 2 horas.

Líneas base (ubicaciones con buen horizonte y sin obstáculos que puedan producir efecto "multipath")

- En base a la distancia entre receptores los tiempos de observación serán de 15 minutos + 1 minuto por km. En el caso de escalas 1:500 es aconsejable que los tiempos sean de 20 minutos + 2 minutos por 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 (linealmente independientes) 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, donde las condiciones de observación son similares en los extremos de los vectores.
- Se procesará mediante efemérides precisas siempre de un mismo organismo y el marco de referencia será el vigente (IGS14 o IGB14), refiriendo las coordenadas a la época de observación.
- Para distancias largas, se ha de 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.
- La máscara de elevación será de 3° y el intervalo de muestreo de las observaciones de 30 s.
- Se recomienda utilizar receptores GPS+GLONASS+GALILEO+BEIDOU

ALTIMETRÍA CLÁSICA

A diferencia de la componente planimétrica, la altimétrica no está completamente implantada en la Infraestructura Geodésica de Bizkaia. El cambio de referencia que supone el proyecto REDNAP del IGN, algunas de cuyas líneas atraviesan Bizkaia junto al cambio de referencia en el futuro a EVRS hacen necesaria nivelación de nuevos tramos NAP. Estos tramos que está realizando la BFA/DFB se ajustan en bloque a REDNAP.

Se dispone, por tanto, de una red heterogénea en la que perviven 178 clavos de IGN, 354 clavos de Diputación Foral de Bizkaia y 172 antiguos clavos de Gobierno Vasco que se están reobservando (83 clavos) en campañas de densificación NAP. Por todo ello hay que extremar la cautela con las señales utilizadas como referencia altimétrica y documentar qué señales han sido utilizadas en los trabajos que se van a llevar a cabo. Las estaciones base deben enlazarse con clavos NAP de IGN, NAP de BFA o clavos NAP de Gobierno Vasco reobservados. Si al acometer cualquier trabajo altimétrico mediante técnicas GNSS se tiene algún tipo de duda, se recomienda realizar una consulta a los responsables de la BFA, para determinar, en base a la información existente, las mejores opciones. Existen muchas cartografías y proyectos derivados de estas cartografías referenciados en marcos altimétricos no vigentes por lo que si se requiere cierta precisión, es conveniente hacer alguna comprobación del origen de altitudes.

Enlaces altimétricos (NPA, NP, trigonométricos y GNSS).

Antes de realizar cualquier trabajo de este tipo se recomienda encarecidamente **consultar la información publicada por la BFA** o en caso de duda realizar la consulta a los responsables de BFA para estudiar las mejores alternativas.

Para enlazar con el marco altimétrico BFA, se tendrán en cuenta:

- El enlace a la Red NAP se realizará, en función de la precisión exigida, en este orden:
 - 1) nivelación geométrica (técnicas NAP: única opción para trabajos de precisión),
 - 2) nivelación trigonométrica.
 - 3) nivelación GNSS + modelo geoide (SAR) con observación estática y postproceso adecuado en base a la distancia observada. El objetivo de un SAR (Superficie Altimétrica de Referencia) es adaptar un modelo de geoide a una Red Nivelación NAP determinada. Para ello se obtienen diferencias de ondulaciones de geoide en señales con datos NAP y GNSS (He-Hort.) y se obtiene una superficie con valores de ondulación de geoide (N) que pueden ser aplicados a las observaciones GNSS (He) para obtener la altura ortométrica en ese punto observado. $Hort = He + N$
 - 4) nivelación GNSS-RTK + SAR. En este caso, será preciso aplicar la variación en altura entre la cota observada y la más reciente de los clavos NAP.
- Independientemente de la técnica de observación (punto anterior), es necesario enlazar a la Red al inicio y al final del itinerario: es siempre preciso salir y llegar a un clavo NAP.
- En caso de no existir señales NAP en el entorno, por el motivo que fuere (desaparición, inexistencia, señales claramente desplazadas,...) se consultará con los responsables de BFA. En estos casos habría que documentar bien el trabajo realizado: métodos de medición, referencias utilizadas, señales materializadas, etc. para poder enlazar el trabajo a la Red NAP en el futuro.
- La utilización de un plano de comparación GNSS/NAP se ha de utilizar en proyectos muy determinados y siempre tras la aceptación previa de la Dirección Técnica.
- Los enlaces obtenidos mediante nivelación geométrica se pueden remitir a BFA para la correcta inclusión de los mismos en la Base de Datos Altimétrica BFA y poder armonizar la totalidad de las altitudes de las distintas redes altimétricas del Territorio Histórico de Bizkaia.

ALTIMETRÍA GNSS

La altimetría GNSS está tomando cada vez un mayor peso en el posicionamiento. Ello se debe a la calidad de las observaciones GNSS, especialmente en altura, y al desarrollo de SAR (Superficies de Referencia Altimétrica).

Para dotar de altura ortométrica a estaciones GNSS mediante RTK, se tendrán en cuenta las siguientes premisas:

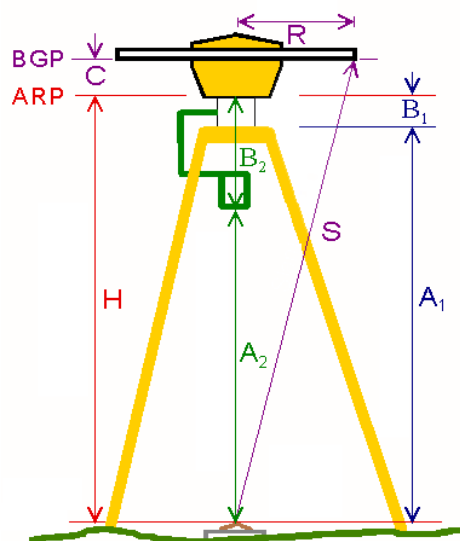
- En ningún caso se admitirán alturas ortométricas GNSS para trabajos con precisiones altimétricas demandadas superiores a 5 cm.
- Es necesario remarcar que las alturas GNSS han de ser tratadas con la máxima cautela posible y, en caso de ser utilizadas para fines en que sea necesario garantizar determinado desnivel, se recomienda utilizar métodos de nivelación clásicos para garantizar los resultados.
- Si se precisa una precisión elevada (5 cm), se habrá de permanecer en cada señal un mínimo de 15 minutos en registro permanente, si bien se recomienda ampliar este intervalo de tiempo a 20 minutos.
- En cualquier caso, será necesario observar una señal NAP para verificar que la SAR se adapta de manera adecuada a la zona objeto de estudio. Si bien lo ideal sería observar la señal NAP al inicio y al final de la sesión, se deja como opción, ya que por motivos de rendimiento este procedimiento puede ser un obstáculo.
- Como medida extraordinaria se aceptará la utilización de un plano de comparación GNSS/NAP. Dicho plano será materializado mediante al menos cuatro estaciones GNSS/NAP que integren

completamente la zona objeto de estudio. La superficie de cubierta por las estaciones GNSS/NAP, habrá de ser en todos los casos inferior a 6 km².

En caso de optar por el post procesado de las observaciones GNSS, las recomendaciones son las expuestas en apartados anteriores, ya que la precisión dependerá, fundamentalmente, del ajuste de la SAR a la zona de análisis.

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**), por ejemplo.
Se recomienda seguir las indicaciones de cada fabricante.



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

- **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 Bizkaia un mismo proceso de transformación:

- La componente altimétrica, por regla general, no debe incorporarse a la transformación mientras no se defina por completo y se fije el marco altimétrico en Bizkaia. Actualmente, cascos municipales del territorio, se requieren enlaces a clavos NAP lejanos, A ello hay que añadir la dificultad de integrar en las bases topográficas municipales nuevas actualizaciones con marco altimétrico distinto al existente, ya que es inviable unir por ejemplo curvas de distintas alturas. O la necesidad de tener que volver a transformar otra vez todas las bases ante futuros cambios de marco altimétrico.
- Sí se recomienda enlazar geoméricamente a NAP una muestra representativa de la red de clavos municipales para calcular el salto existente con el marco actual de la Infraestructura Geodésica de Bizkaia y así poder gestionar la integración en la cartografía municipal de futuras actualizaciones o remitir ese dato a técnicos que se estén apoyando en esa red local para otros trabajos.
- Se recomienda remitir los enlaces, desniveles brutos obtenidos mediante nivelación geométrica, a BFA para su inclusión de los mismos en la Base de Datos Altimétrica BFA y poder armonizar la totalidad de las altitudes de las distintas redes altimétricas del Territorio Histórico de Bizkaia.
- Se recomienda remitir a BFA la red de bases municipales para que parte de esos clavos sean observados en las campañas de reobservación GNSS/NAP de la BFA
- En el caso de tener que aplicar una traslación en la altura ortométrica a la cartografía existente, será preciso generar un nuevo modelo digital del terreno.
- 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 Bizkaia, 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 Bizkaia.
- 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 Bizkaia.
- 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) 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 Bizkaia.

SOLUCIONES GNSS EN TIEMPO REAL

Tanto para soluciones RTK (base simple como 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.
- No se recomienda utilizar GNSS para dar altitudes cuyo uso requiera cierta precisión (5 cm o mejor).

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+GALILEO+BEIDOU. Diversas 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 alta 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.
- En caso de problemas con las comunicaciones, las soluciones de estaciones simples o la más cercana pueden resultar una mejor opción que las correcciones de Red.
- En caso de tener un receptor o firmware antiguo, que sólo es capaz de emplear GPS+GLONASS, (sin GALILEO y BEIDOU) habrá que emplear el producto CERCANA3_GPS_GLO para recibir correcciones desde la estación de referencia más cercana.
- Emplear una máscara de elevación de 3 a 10 grados.
- Máximo valor de GDOP 3-4.
- Prestar atención a los resultados: SNR (*Signal Noise Ratio*) como posible indicador de errores, efecto multitrayectoria, problemas atmosféricos, interferencias, etc.
- Los errores de multitrayectoria (*multipath*) son habituales junto a estructuras reflectantes, 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 para tener una estimación más realista de las precisiones a esperar.
- Toda solución con precisión inferior a 100 mm (error medio cuadrático, con nivel de confianza 1σ), 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, por motivos de convergencia de las soluciones, los primeros 1-2 minutos, dependiendo de la precisión requerida.
- Emplear puntos de control (señales de la Red Nivelación NAP Bizkaia) antes, durante y al finalizar cada sesión RTK

- 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 10 épocas (observaciones a 1 Hz).
- 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.
- No emplear soluciones en tiempo real con diferencias atmosféricas notables entre los extremos del vector observado.
- Emplear soluciones multi GNSS frente a soluciones GPS RTK.
- Emplear soluciones RTK de base simple siempre que nos encontremos a menos de 20 km de la estación más cercana y el desnivel no sea elevado. Las soluciones de Red son propietarias y están optimizadas para distancias entre estaciones muy largas. Además, el mayor volumen de datos de las soluciones de Red puede ser limitante en condiciones de baja cobertura de telefonía.
- En caso de no ser posible fijar las ambigüedades con los productos en tiempo real generados por la Red GNSS de Bizkaia se deben emplear, como regla general, los productos generados por Gobierno Vasco (Red GNSS de Euskadi). En el Este de Bizkaia se admiten, igualmente, las soluciones generadas a partir de los productos generados por la Diputación Foral de Gipuzkoa (Red GNSS de Gipuzkoa).

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:

- Emplear métodos clásicos para enlazar a la Red de Nivelación y siempre mediante clavos NAP.
- Verificar en todos los casos las soluciones mediante la repetición de alguna de las observaciones.

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

Control de versiones:
Versión 1.2: Diciembre de 2021.