



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CARTOGRÁFICA Y DEL TERRENO

TESIS DOCTORAL.

VERSIÓN REDUCIDA 2015 "GREDOS"

Contraste de geoides gravimétricos con observaciones de nivelación geométrica y GPS en la comunidad de Galicia

José Antonio Tarrío Mosquera

2014

Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno

Escuela Politécnica Superior de Ávila

Universidad de Salamanca

AUTOR:

José Antonio Tarrío Mosquera

DIRECTOR:

Dr. D Alfonso Núñez-García del Pozo

2014

Bueno, la cosa fue que un día, en los pasillos del Instituto de Lugo, en el edificio de la Diputación, calle de San Marcos, instalado entonces, me encontré con el mapa de Galicia de don Domingo Fontán. Fue mi gran encuentro con mi país gallego: allí estaba mi tierra, la tierra de mi vocación y de mis días, la tierra temporal y la eterna, la tierra que mi lengua —la tierra de mi oscuro acento labriego— necesitaba para soñar. Allí me detuve a contemplar las comarcas conocidas, el camino de Mondoñedo a Riotorto, de Mondoñedo a Foz, de Riotorto a Baltar y Meira, el curso del Masma, el del Miño, el áspero Litoral de esquisto y soledad, el Valadouro; el Cadramón, el más alto monte entre mis vecinos, y allí estaba en sus mil metros sobrados, un Everest inaccesible, cuando desde Lindín se lo veía asomar negro, desnudo, asistiendo impasible el paso de las grandes y preñadas nubes del sudoeste, que aquí dicen vendaval, el “ventus validus”, el poderoso

Álvaro Cunqueiro sobre mapa de Galicia de Domingo Fontán,

«Un mapa de Galicia», *El Progreso* (2 de junio de 1957), en *O reino da chuvia*

RESUMEN

En una realidad geomática cada vez más cambiante, tanto de dimensión como de tiempo y espacio, disponer de medios para poder determinarla, medirla y por ende, si fuese necesario, modificarla; hace de la tecnología GNSS una herramienta auxiliar imprescindible para tal propósito. La aparición de nuevas tecnologías tales como LÍDAR, UAVs, MOBILE MAPPING... implica un conocimiento de precisión de las coordenadas destinadas a proporcionar puntos de control. Si bien en planimetría, esto está subsanado en altimetría se hace necesario ahondar en los métodos actuales para conseguir una precisión mayor a través del conocimiento de la cota ortométrica por medio de tecnologías GNSS.

En esta Tesis Doctoral se plantea una mejora de la cota proporcionada por el GNSS sobre los clavos REDNAP. Para ello se hará una observación sobre puntos REDNAP, con posterior ajuste y contraste de ondulaciones con distintos geoides gravimétricos existentes.

El aspecto más importante de esta Tesis, es que hasta ahora, exceptuando pequeñas campañas llevadas a cabo por organismos gubernamentales, no se había realizado una observación, cálculo y ajuste de coordenadas elipsoidales sobre los clavos de la REDNAP para obtener una altitud elipsoidal con precisión suficiente para poder ajustar a toda la comunidad autónoma.

ABSTRACT

In a world increasingly changing geomatics both dimension and time and space available means to determine it, measure it and therefore, if necessary, modify, GNSS technology for an auxiliary tool essential for that purpose. The emergence of new technologies such as LIDAR, UAVs, MOBILE MAPPING ... implies a knowledge of coordinate precision designed to provide control points. While surveying, this is remedied in altimetry is necessary to delve into the current methods to achieve greater accuracy through knowledge of orthometric height using GNSS technology.

In this thesis arises improved bound provided by the GNSS on nails REDNAP. This will make a remark about REDNAP points, with subsequent adjustment and contrast gravimetric geoid undulations with different existing.

The most important aspect of this thesis, is that so far, except for short campaigns carried out by government agencies, there had been an observation, calculation and adjustment of ellipsoidal coordinates on REDNAP nails to obtain a sufficiently accurate ellipsoidal height order to adjust to the whole autonomous region.

CAPITULO-1 INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 OBJETIVO DE LA TESIS.....	16
1.2 DEFINICIÓN DEL TEMA A INVESTIGAR	16
1.3 FASES DE TRABAJO	17
1.4 COLABORACIONES.....	18
CAPITULO-2 ANTEPROYECTO	19
2.1 INTRODUCCIÓN.....	19
2.2 MARCO DE ACTUACIÓN, DATUMS DISPONIBLES	19
2.2.1 SISTEMAS DE REFERENCIA	19
2.2.1.1 INTRODUCCIÓN	19
2.2.1.2 MARCOS DE REFERENCIA TERRESTRES.....	19
2.2.1.3 DATUMS ALTIMÉTRICOS OFICIALES	28
2.2.1.4 REDES ALTIMÉTRICAS EUROPEAS	28
2.3 SISTEMA GEODÉSICO OFICIAL DE ESPAÑA	30
2.4 SISTEMA GEODÉSICO OFICIAL DE PORTUGAL.....	31
2.4.1 RINGAP RED DE NIVELACIÓN DE ALTA PRECISIÓN	32
2.4.2 RED DE MAREÓGRAFOS	33
2.5 GEOIDE Y ELIPSOIDE. SISTEMA DE ALTURAS.....	34
2.5.1.1 ONDULACIÓN DEL GEOIDE.....	38
2.6 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DEL GEOIDE.....	39
2.6.1 INTRODUCCIÓN	39
2.6.2 MÉTODO DE APROXIMACIÓN POLINÓMICA.....	41
2.6.2.1 MODELO PARA DATOS HOMOGÉNEOS	41
2.6.2.2 ELECCIÓN DEL GRADO DEL POLINOMIO DE APROXIMACIÓN.....	43
2.6.3 DETERMINACIÓN DEL GEOIDE USANDO MODELO GEOPOTENCIALES	44
2.6.3.1 LA INTEGRAL DE STOKES	45
2.6.4 DETERMINACIÓN DEL GEOIDE POR MÉTODOS GEOMÉTRICOS (GNSS/NIVELACIÓN).....	46
2.6.5 DETERMINACIÓN DEL GEOIDE POR MÉTODOS HÍBRIDOS O COMBINADOS.....	46
2.6.6 MODELOS GEOIDALES DE CONTRASTE	48
2.6.6.1 IBERGEO.....	48
2.6.6.2 EGM96.....	49
2.6.6.3 EGG97.....	49
2.6.6.4 IGG 2005, CORCHETE	50
2.6.6.5 EGM08	50
2.6.6.6 EGM08-REDNAP	51

2.7	<i>EL SISTEMA GPS</i>	53
2.7.1	DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA GPS	53
2.7.1.1	SECTOR ESPACIAL	53
2.7.1.2	SECTOR DE CONTROL	62
2.7.1.3	SECTOR USUARIO	63
2.7.2	SISTEMAS DE REFERENCIA	65
2.7.2.1	INTRODUCCIÓN	65
2.7.2.2	OSCILACIONES DE LOS EJES	67
2.7.2.3	SISTEMAS DE TIEMPOS	71
2.7.3	ORBITAS DE LOS SATÉLITES	72
2.7.3.1	INTRODUCCIÓN	72
2.7.3.2	DESCRIPCIÓN DE LA ÓRBITA	73
2.7.4	SEÑALES EMITIDAS POR LOS SATÉLITES	76
2.7.4.1	ESTRUCTURA DE LA SEÑAL	76
2.7.5	OBSERVABLES.....	82
2.7.5.1	ADQUISICIÓN DE DATOS	82
2.7.5.2	COMBINACIONES DE DATOS	86
2.7.5.3	EFFECTOS ATMOSFÉRICOS	88
2.7.5.4	VARIACION DEL CENTRO DE FASE DE LA ANTENA	97
2.7.5.5	MULTIPATH	97
2.7.6	MODELOS MATEMATICOS PARA POSICIONAMIENTO	102
2.7.6.1	POSICIONAMIENTO RELATIVO	102
2.7.7	PROCESADO DE DATOS	109
2.7.7.1	PREPROCESADO DE LOS DATOS.....	109
2.7.7.2	RESOLUCIÓN DE AMBIGÜEDADES	111
2.7.7.3	AJUSTE DE MODELOS MATEMÁTICOS.....	118
2.7.8	TRANSFORMACIÓN DE LOS RESULTADOS GNSS	121
2.7.8.1	INTRODUCCIÓN	121
2.7.8.2	TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS.....	122
2.7.8.3	TRANSFORMACIONES DEL DATUM.....	127
2.8	<i>FUNDAMENTO TEÓRICO DEL DISEÑO DE LA RED</i>	130
2.8.1	OBSERVACIONES CON GNSS	131
2.8.1.1	GENERALIDADES	131

2.8.1.2	PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJO PREVIOS	131
2.9	<i>OBSERVACIONES GPS</i>	136
2.9.1	MEDICIONES DE CÓDIGO Y DE FASE DE LA PORTADORA	136
2.9.2	PROCESADO EN TIEMPO REAL Y POSTPROCESO	136
2.9.3	POSICIONAMIENTO ABSOLUTO Y RELATIVO	136
2.9.4	MEDICIONES ESTÁTICAS	136
2.9.5	TÉCNICAS DE OBSERVACIÓN	137
2.9.5.1	POSICIONAMIENTO RELATIVO ESTÁTICO	137
2.9.6	EQUIPO DE CAMPO	137
2.9.6.1	RECEPTOR GNSS TRIMBLE.....	139
2.9.6.2	RECEPTOR GNSS TOPCON	141
2.9.6.3	RECEPTOR GNSS GEOMAX.....	142

CAPITULO-3 OBSERVACIÓN, CÁLCULO Y AJUSTE DE COORDENADAS ELIPSOIDALES PRECISAS SOBRE LA RED DE NIVELACIÓN 143

3.1	<i>INTRODUCCIÓN</i>	143
3.2	<i>OBSERVACIÓN GNSS</i>	143
3.2.1	PLANIFICACIÓN.....	143
3.2.1.1	TIEMPO DE OBSERVACIÓN	146
3.2.2	ERRORES DE OBSERVACIÓN. SOLUCIONES.....	147
3.2.3	ESTRATEGIA DE OBSERVACIÓN	148
3.3	<i>PROCESADO DE DATOS</i>	151
3.3.1	PREPROCESADO. IMPORTACIÓN Y DEPURACIÓN DE DATOS.....	152
3.3.2	PROCESADO DE LÍNEASBASE	159
3.4	<i>AJUSTE DE LA RED, SOFTWARE GPSRED</i>	162
3.4.1	INTRODUCCIÓN A LA APLICACIÓN GPSRED.....	162
3.4.2	MENÚ PRINCIPAL.....	163
3.4.2.1	LECTURA DE FICHEROS DE VECTORES	163
3.4.2.2	IMPORTACIÓN DE COORDENADAS DE VÉRTICES	165
3.4.2.3	TRANSFORMACIÓN HELMERT	167
3.4.2.4	CÁLCULO DE COORDENADAS	168
3.4.2.5	COMPENSACIÓN	169
3.4.3	PROGRAMAS AUXILIARES.....	173
3.4.3.1	CONVERSIÓN DE COORDENADAS.....	173
3.4.4	UTILIDADES	175

CAPITULO-4	CÁLCULOS Y RESULTADOS	177
4.1	<i>DATOS INICIALES.....</i>	177
4.2	<i>RESULTADOS.....</i>	179
4.2.1	<i>PLANIMETRÍA</i>	179
4.2.2	<i>ALTIMETRÍA.....</i>	183
4.3	<i>RESULTADOS ETRS89, COTA ELIPSOIDAL.....</i>	186
CAPITULO-5	CONCLUSIONES Y REVISIONES FUTURAS	187
5.1	<i>COMPROBACIÓN DE LA RED DE ORDEN CERO.....</i>	187
5.2	<i>PRECISIÓN DE LAS COTAS ELIPSOIDALES OBTENIDAS.....</i>	189
5.3	<i>CONTRASTE DE GEOIDES GRAVIMÉTRICOS.....</i>	192
5.4	<i>REVISIONES FUTURAS RECOMENDADAS.....</i>	196
CAPITULO-6	ANEXO DE RESEÑAS EMPLEADAS.....	197
6.1	<i>RESEÑAS ERGNSS.....</i>	197
6.2	<i>RESEÑAS VÉRTICES GEODÉSICOS.....</i>	199
6.3	<i>RESEÑAS REDNAP.....</i>	218
BIBLIOGRAFÍA.....		331
AGRADECIMIENTOS		333

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.2-1 ESQUEMA CARTESIANO GLOBAL	20
FIGURA 2.2-2 ESQUEMA RED IBERIA 95	21
FIGURA 2.2-3 REDES GEODÉSICAS DE ESPAÑA	22
FIGURA 2.2-4 RED ERGNSS	24
FIGURA 2.2-5 ESQUEMA CÁLCULO RED ITACYL	24
FIGURA 2.2-6 ESQUEMA COBERTURA GALNET	26
FIGURA 2.2-7 RED SMARTNET LÓGICA ACTUAL	27
FIGURA 2.2-8 RED SMARTNET LÓGICA AÑO 2010	27
FIGURA 2.2-9 ESTADO DE LA RED UELN 95/98 EN 2002 Y DIFERENCIAS ENTRE EL DATUM EUVN Y LOS DISTINTOS DATUMS NACIONALES	29
FIGURA 2.2-10 VECTORES DE ERROR DE REDNAP	30
FIGURA 2.4-1 RGANP-RED NIVELACIÓN PORTUGAL	33
FIGURA 2.5-1 ESQUEMA ELIPSOIDE, GEOIDE Y SUS VERTICALES	36
FIGURA 2.5-2 ALTURAS SOBRE SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES	37
FIGURA 2.5-3 REPRESENTACIÓN ONDULACIÓN GEOIDAL	38
FIGURA 2.6-1 REPRESENTACIÓN GEOIDE IBERGEO08	48
FIGURA 2.6-2 REPRESENTACIÓN GEOIDE EGM96	49
FIGURA 2.6-3 REPRESENTACIÓN GEOIDE EGG97	50
FIGURA 2.6-4 REPRESENTACIÓN GEOIDE IGG05	50
FIGURA 2.6-5 MODELO EGM08 CON MALLA DE 2.5'	51
FIGURA 2.6-6 REPRESENTACIÓN EGM08-REDNAP	52
FIGURA 2.7-1 ESQUEMA FRECUENCIAS Y CÓDIGO GPS	56
FIGURA 2.7-2 GENERACIÓN DE CÓDIGOS GPS	57
FIGURA 2.7-3 FRECUENCIA FUNDAMENTAL GPS Y SUS DERIVADAS	59
FIGURA 2.7-4 ESQUEMA FLUJO SECTOR DE CONTROL	62
FIGURA 2.7-5 TRIEDRO SISTEMA GPS	66
FIGURA 2.7-6 REPRESENTACIÓN EFECTO PRECESIÓN	70
FIGURA 2.7-7 REPRESENTACIÓN EFECTO NUTACIÓN	71
FIGURA 2.7-8 REPRESENTACIÓN ESFERA CELESTE GPS	74
FIGURA 2.7-9 APOGEO Y PERIGEO	75
FIGURA 2.7-10 REFRACCIÓN IONOSFÉRICA	92
FIGURA 2.7-11 MODELO DE HOPFIELD	95
FIGURA 2.7-12 REFRACCIÓN TROPOSFÉRICA	96
FIGURA 2.7-13 EFECTO MULTIPATH	98
FIGURA 2.7-14 ESQUEMA ANGULAR EFECTO MULTIPATH	101
FIGURA 2.7-15 COORDENADAS GEOCÉNTRICAS Y TOPOCÉNTRICAS	123
FIGURA 2.7-16 COORDENADAS GEODÉSICAS Y HORIZONTALES LOCALES	125
FIGURA 2.7-17 COORDENADAS HORIZONTALES LOCALES	126
FIGURA 2.7-18 TRANSFORMACIÓN TRIDIMENSIONAL 7P	129
FIGURA 2.8-1 REPRESENTACIÓN CARTESIANA EJES VENTANA OBSERVACIÓN	132
FIGURA 2.9-1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RECEPTOR TRIMBLE R6	139
FIGURA 2.9-2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RECEPTOR TRIMBLE R8	140
FIGURA 2.9-3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RECEPTOR TOPCON HIPERPRO	141
FIGURA 2.9-4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RECEPTOR GEOMAX	142
FIGURA 3.2-1 REDES PUNTOS FIDUCIALES EN GALICIA	143
FIGURA 3.2-2 REDNAP EN GALICIA	145
FIGURA 3.2-3 ESQUEMA PUNTOS CONTROLES DISPONIBLES Y MEDIDOS	146
FIGURA 3.2-4 ESTACIONAMIENTOS SOBRE REDNAP	147
FIGURA 3.2-5 ESQUEMA ARP EQUIPO GNSS	149
FIGURA 3.2-6 ORGANIZACIÓN DATOS EN PC	150
FIGURA 3.2-7 ESQUEMA DE TODOS LOS PUNTOS OBSERVADOS	151
FIGURA 3.3-1 OPCIONES DE TRANSFORMACIÓN RINEX	152
FIGURA 3.3-2 PÁGINA DE LA NOAA PARA CORRECCIONES DE ANTENA	153
FIGURA 3.3-3 CORRECCIONES DE ANTENA	153
FIGURA 3.3-4 PARÁMETROS DE ANTENA EN LGO	154

FIGURA 3.3-5 IMPORTACIÓN DE EFEMÉRIDES PRECISAS.....	154
FIGURA 3.3-6 HISTÓRICO DE EFEMÉRIDES PRECISAS	155
FIGURA 3.3-7 GRÁFICO DE CÁLCULO DE LÍNEAS BASE	159
FIGURA 3.3-8 PARÁMETROS PROCESADO I.....	160
FIGURA 3.3-9 PARÁMETROS PROCESADO II.....	160
FIGURA 3.3-10 PARÁMETROS PROCESADO III.....	161
FIGURA 3.3-11 ASCCI DE LÍNEASBASE CALCULADO	161
FIGURA 3.4-1 IMAGEN INICIO GPSRED	162
FIGURA 3.4-2 MENÚ PRINCIPAL GPSRED	163
FIGURA 3.4-3 LECTURA FICHEROS GPS	164
FIGURA 3.4-4 IMPORTACIÓN FICHEROS GPS	164
FIGURA 3.4-5 IMPORTACIÓN COORDENADAS PUNTOS DE CONTROL.....	165
FIGURA 3.4-6 ENTRADA DE PUNTOS DE CONTROL.....	166
FIGURA 3.4-7 LISTADO DE PUNTOS	166
FIGURA 3.4-8 TRANSFORMACIÓN DE HELMERT.....	167
FIGURA 3.4-9 OPCIONES CÁLCULO DE COORDENADAS	168
FIGURA 3.4-10 VENTANA DE COMPENSACIÓN	169
FIGURA 3.4-11 INTRODUCCIÓN DE PUNTOS FIJOS PLANIMÉTRICOS.....	170
FIGURA 3.4-12 ENTRADA DE DATOS PARA COMPENSACIÓN	171
FIGURA 3.4-13 PARÁMETROS DE REDUNDANCIA	171
FIGURA 3.4-14 INTRODUCCIÓN DE PUNTOS DE CONTROL ALTIMÉTRICO	172
FIGURA 3.4-15 CUADRO DIÁLOGO COMPENSACIÓN ALTIMÉTRICA.....	172
FIGURA 3.4-16 CUADRO DE COORDENADAS FINALES.....	173
FIGURA 3.4-17 PROGRAMAS AUXILIARES	173
FIGURA 3.4-18 CONVERSACIÓN DE COORDENADAS	174
FIGURA 3.4-19 CIERRE DE TRIÁNGULOS	175
FIGURA 3.4-20 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA RED.....	175
FIGURA 3.4-21 UTILIDADES MS-DOS	176
FIGURA 4.1-1 LÍNEASBASE DE PARTIDA.....	179
FIGURA 4.2-1 FICHERO DE COMPENSACIÓN, DATOS DE ENTRADA DE LA COMPENSACIÓN	180
FIGURA 4.2-2 FICHERO DE COMPENSACIÓN, RESULTADOS DE LA COMPENSACIÓN	181
FIGURA 4.2-3 FICHERO DE COMPENSACIÓN, ELIPSES DE ERROR ESTÁNDAR ABSOLUTAS.....	182
FIGURA 4.2-4 FICHERO DE COMPENSACIÓN ALTIMÉTRICA, DATOS DE ENTRADA	183
FIGURA 4.2-5 FICHERO DE COMPENSACIÓN ALTIMÉTRICA, TABLA DE RESIDUOS	184
FIGURA 4.2-6 COMPENSACIÓN ALTIMÉTRICA, TABLA DE ERRORES Y REDUNDANCIA DE OBSERVACIONES.....	185
FIGURA 4.2-7 RESULTADOS AJUSTE, CIERRE TRIÁNGULOS GPS.....	186
FIGURA 5.1-1 DISTRIBUCIÓN DE LOS VÉRTICES REGENTE OBSERVADOS	188
FIGURA 5.2-1 DISTRIBUCIÓN OBSERVACIÓN REDNAP	189
FIGURA 5.2-2 HISTOGRAMA EMC ALTIMETRÍA.....	190
FIGURA 5.2-3 MAPA PRECISIONES ALTIMETRÍA	190
FIGURA 5.2-4 HISTOGRAMA EMC PLANIMETRÍA.....	191
FIGURA 5.2-5 MAPA DE PRECISIONES PLANIMETRÍA.....	192
FIGURA 5.3-1 GRÁFICO DE CONTRASTE DE MODELOS GEOIDALES, DIFERENCIAS DIRECTAS	194
FIGURA 5.3-2 GRÁFICO DE CONTRASTE DE MODELOS GEOIDALES, DIFERENCIAS MODELOS ESCALADOS	195

INDICE DE TABLAS

TABLA 2.5-1 PARÁMETROS ELIPSOIDE GRS80.....	35
TABLA 2.5-2 CONSTANTES FÍSICAS Y GEOMÉTRICAS ELIPSOIDE GRS80	36
TABLA 2.7-1 COMPONENTES SEÑAL GPS	58
TABLA 2.7-2 MENSAJE DE NAVEGACIÓN GPS.....	59
TABLA 2.7-3 RELACIÓN ÉPOCAS-SATÉLITES Y TRIPLES DIFERENCIAS	107
TABLA 2.9-1 TIEMPO APROXIMADOS PARA OBSERVACIONES ESTÁTICAS	137
TABLA 3.2-1 PUNTOS OCUPADOS Y DURACIÓN DIARIA.....	148
TABLA 3.3-1 OCUPACIONES GPS, DURACIÓN Y TIPO DE ANTENA	159
TABLA 4.1-1 PUNTOS FIDUCIALES	177
TABLA 4.1-2 CÁLCULO DE LÍNEASBASE	178
TABLA 5.1-1 DIFERENCIAS ENTRE VÉRTICES	187
TABLA 5.1-2 DIFERENCIAS VÉRTICE IGP	188
TABLA 5.3-2 CONTRASTE DE MODELOS GEOIDALES	194

CAPITULO-1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DE LA TESIS

El actual uso de técnicas GNSS (acrónimo de *Global Navigation Satellite System*) para trabajos de ingeniería, catastro, cartografía y geomática en general, hace necesario un profundo análisis de las ventajas y limitaciones de este método a la hora de acometer proyectos y hacer inversiones en los mismos. Es evidente que este tipo de técnicas, a día de hoy, son el medio principal para poder dotar de georreferenciación a la cartografía nueva y a la actualizable, máxime debido al cambio de datum geodésico (R.D. 1071/2007, de 27 de julio) que nos obliga a una bidireccionalidad del antiguo ED50 al nuevo ETRS89. Este datum permite mayor homogeneidad para posicionamiento y navegación, y por ende la integración de nuestra cartografía con la de países fronterizos con España, como Portugal, Francia y Andorra, que en el caso de comunidades como la de Galicia se hace más palpable al limitar en su parte sur con Portugal.

En la actualidad el uso de técnicas GNSS proporciona suficiente precisión en 3D para proyectos de cartografía a escalas medias; el problema se plantea cuando queremos usar GNSS para implantación de redes de detalle, proyectos de ingeniería o cartografía de escalas grandes. En estos casos la transformación de alturas entre las proporcionadas por el GNSS h (alturas elipsoidales) a alturas sobre la superficie topográfica H (alturas ortométricas) requiere el conocimiento de un modelo geoidal lo suficientemente preciso como para poder usar técnicas de geodesia espacial en estos proyectos, y esto es importante, sin necesidad de emplear técnicas de topografía clásica como nivelaciones trigonométricas o geométricas.

Es por tanto imprescindible cuando se trabaja con GNSS disponer de un modelo de geoide, lo suficientemente contrastado como para convertir incrementos de altitud elipsoidal en incrementos de altitud ortométrica con suficiente precisión. Por todo lo anterior nos vamos a marcar los siguientes objetivos:

1. Comprobación de la fiabilidad de la red de orden cero que se usará para el cálculo de las alturas elipsoidales de los claves de la REDNAP, analizando los resultados obtenidos.
2. Observación, cálculo y ajuste de cota elipsoidal en una cantidad representativa de clavos a fin de poder estudiar la ondulación calculada, y ver la diferencia con la proporcionada por los diferentes modelos geoidales gravimétricos disponibles. Se espera obtener una precisión inferior a 1.0-1.5 cm. en el 90% de los puntos.
3. Contraste con modelos geoidales gravimétricos.

1.2 DEFINICIÓN DEL TEMA A INVESTIGAR

Debido a la implantación actual del datum geodésico ETRS89 para España, el uso del GNSS para mediciones, comprobaciones, replanteos y sobre todo georreferenciaciones, fundamentalmente en posicionamiento relativo cinemático, sea mediante la solución de base simple o base de red (VRS, FKP, PRS, MAC, etc...) hace necesario un modelo geoidal de precisión para poder tener un cálculo adecuado de H mediante la fórmula de ondulación de primer orden:

$$N = h - H$$

que para la Península Ibérica presenta valores positivos de N de aproximadamente 50 metros.

El problema que plantean los modelos geoidales actuales (no las superficies de referencia escaladas) que están a disposición del usuario, además de la precisión, es que la

referencia altimétrica a la que se refiere no suele ser la oficial de cualquier país, por tanto debe de hacerse un contraste de los mismos con puntos fiduciales oficiales de altitud conocida y altitudes GNSS. Otro problema es, que a veces las altitudes elipsoidales que se toman como dato no tienen la suficiente precisión como para hacer el contraste entre ondulaciones del modelo geoidal y las obtenidas entre diferencias de altitudes conocidas, esto es medidas con períodos cortos y en simple frecuencia, con horizontes GNSS deficientes, desde puntos fiduciales con poca precisión etc...

Lo que se plantea en esta tesis doctoral es hacer la observación, procesado y ajuste de observaciones GNSS sobre una serie de clavos de la REDNAP y vértices REGENTE (a efectos de comprobación), para obtener coordenadas en ETRS89 con la precisión esperable de $\sigma_{xyz} \leq 0.015 \text{ m}$, aplicado todo ello al ámbito de la comunidad de Galicia.

Una vez realizado esto, haremos el contraste con los modelos siguientes modelos geoidales gravimétricos:

- IBERGEO 95
- EGM96
- EGM97
- IGG2005 (Corchete)
- EGM2008
- EGM08 ajustado a REDNAP a cargo del IGN

Los puntos de control que se emplearán por pertenecer a una red de clase B¹, serán las estaciones de referencia de las redes públicas ERGNSS² e ITACYL para cubrir la zona limítrofe con Castilla-León y Portugal, y las redes GALNET y SMARNET-GALICIA; de éstas últimas se hará comprobaciones para probar la precisión de sus coordenadas, y el ARP (antenna reference point). Las comprobaciones altimétricas serán de vital importancia en este proyecto debido a la alta importancia de la altura elipsoidal calculada.

1.3 FASES DE TRABAJO

La tesis doctoral se ha estructurado dentro de tres bloques:

El primer bloque incluye el capítulo 1 y el 2; el primero de ellos *Introducción*, nos da una visión global acerca del objetivo del trabajo, precisiones esperadas a priori y campo de actuación. En el capítulo 2, *Anteproyecto* se explican los fundamentos teóricos de la observación, cálculo y ajuste de los datos; el datum en el cual se enmarcan las observaciones, el tipo de observaciones empleadas, etc...

En el segundo bloque, que incluye el capítulo 3 *Observación, Cálculo y Ajuste de coordenadas elipsoidales precisas sobre la red de nivelación*, detallamos con minuciosidad la planificación de las observaciones, la metodología de observación, los algoritmos y transformaciones y el ajuste final de las observaciones. El penúltimo bloque corresponde con los capítulos 4 y 5, *Cálculos y resultados y conclusiones* donde se exponen las conclusiones obtenidas basadas en los resultados, las precisiones alcanzadas a posteriori, también se ha realizado una comprobación de coordenadas de puntos de clase B, como son los vértices REGENTE, a fin de comprobar posibles sesgos, si los hubiese, en los puntos fiduciales. Se indican también las futuras actuaciones para la mejora continua de resultados.

¹ Jerarquía de Redes Geodésicas del grupo de trabajo VIII CERCO

² Esta red es la matriz de las demás, clase A

Por último se adjuntan los *Anexos* con las reseñas de datos empleados, en el capítulo 6.

1.4 COLABORACIONES

La envergadura del trabajo de campo ha implicado el uso de un gran número de equipos GNSS realizando mediciones simultáneas, 11 en algún caso, sumando a mayores las bases de las estaciones activas. Esto no hubiese sido posible sin la ayuda organismos y empresas del sector, que han prestado sus equipos y/o software de procesamiento desinteresadamente, las cuales citamos a continuación:

- Constructora San José cediendo equipos GPS.
- Cartogalicia cediendo datos RINEX y equipos GNSS.
- Global Suministros Topográficos cediendo equipos GNSS.
- Lógica equipamientos integrales cediendo datos RINEX y el software de procesamiento.
- IGN, cediendo datos RINEX de las estaciones ERGNSS.

CAPITULO-2 ANTEPROYECTO

2.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado, eminentemente teórico, se van a fundamentar de forma teórica todos los interrogantes que tendrán lugar en el capítulo 3, con la explicación posterior del porqué de la solución adoptada. Es por esto que en este apartado se van a desarrollar las siguientes cuestiones:

- Datums existentes actualmente, sus características y precisiones.
- Modelos geoidales gravimétricos, sus características y precisiones.
- Sistema GNSS en todo su conjunto, particularizando en el GPS; desde la descripción inicial del sistema hasta los datos finales que proporciona, pasando por los algoritmos de cálculo que emplea.
- En último lugar se hará un análisis de las tipologías más idóneas para redes GNSS, los días óptimos de observación y la planificación de la misma.

2.2 MARCO DE ACTUACIÓN, DATUMS DISPONIBLES

La gran extensión de la comunidad de Galicia (29.574Km²), un 5.8 % del territorio español, la orografía singular de la misma y el límite con Portugal en su parte sur, hace que a la hora de seleccionar la ubicación de los puntos a observar con GNSS tengamos que tener especial esmero para evitar en la medida de lo posible horizontes GNSS pobres y distancias relativamente grandes a los puntos que tomaremos como fiduciales. Esto se debe tener en cuenta de igual manera para comprobar las distancias base-móvil para la planificación de la observación, tiempo de observación y tiempos de desplazamiento entre puntos. Resulta de la misma forma, tener especial cuidado en la elección del datum de partida.

2.2.1 SISTEMAS DE REFERENCIA

2.2.1.1 INTRODUCCIÓN

En redes geodésicas en las que los puntos se deban obtener en un determinado sistema de coordenadas es imprescindible un estudio previo de los datums, tanto planimétricos como altimétricos, así como del sistema de proyección cartográfico a utilizar y en el cuál se van a apoyar las bases y los cálculos del proyecto.

Los sistemas de referencia geodésicos definen la forma y dimensión de la Tierra, así como el origen y orientación de los sistemas de coordenadas. Los sistemas de referencia geodésicos pueden ser descritos en base a dos modelos matemáticos: el esférico y el elipsoídico, los cuales son obtenidos en base a parámetros físicos medidos sobre la superficie terrestre, tales como la aceleración de gravedad.

Los sistemas de coordenadas permiten definir posiciones sobre la superficie de la Tierra. El sistema más comúnmente usado es el de latitud, longitud y altura. El primer meridiano y el ecuador son los planos que definen la latitud y la longitud. La latitud geodésica de un punto, es el ángulo desde el plano ecuatorial a la dirección vertical de la línea normal al elipsoide de referencia. La longitud geodésica de un punto es el ángulo que forma el meridiano que pasa por el punto con el meridiano origen en sentido dextrógiro. La altura elipsoidal de un punto es la distancia desde el elipsoide de referencia al punto en dirección normal al elipsoide.

2.2.1.2 MARCOS DE REFERENCIA TERRESTRES

Dentro de un sistema cartesiano global, las coordenadas están expresadas en función de los ejes X Y Z, del cual su origen es el centro de masas de la Tierra. El eje Z es paralelo al eje

de rotación terrestre, el eje X a su vez es paralelo al meridiano de Greenwich y por último el eje Y es perpendicular al plano XOZ.

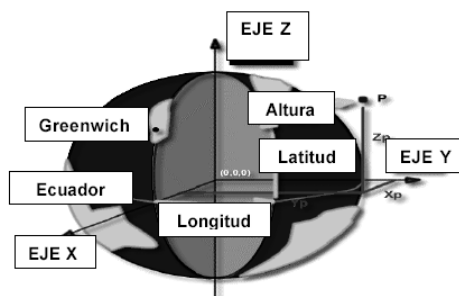


Figura 2.2-1 Esquema cartesiano Global

Debido a la variedad de sistemas de referencia globales que se podrían definir, el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (**Internacional Earth Rotation Service IERS**) encargado del establecimiento de estos marcos muy precisos, ha definido el Sistema de Referencia Terrestre (**Internacional Terrestrial Reference System ITRS**).

El ITRS se materializó en el terreno a través de una serie de estaciones fiduciales repartidas por todo el planeta que constituyen el marco de referencia terrestre (Internacional Terrestrial Reference Frame ITRF) del cual se obtienen soluciones anualmente mediante técnicas de observación muy precisas³.

Las coordenadas ITRF-89 ([C. Boucher, Z. Altamini, 1991, p. 137](#)) de las treinta y seis estaciones europeas IERS, definen el Marco de Referencia Terrestre Europeo 1989 (European Terrestrial Reference Frame 1989) que rota con la parte estable de Europa.

Aprovechando la infraestructura de la ETRF-89, la subcomisión EUREF (**Reference Frame Sub Commission for Europe**) de la Asociación Geodésica Internacional (IAG) llevó a cabo una campaña GNSS denominada EUREF-89, mediante la cual se determinaron coordenadas de setenta y uno estaciones adicionales en Europa, catorce de ellas en España.

En 1992 la subcomisión EUREF adoptó el elipsoide GRS-80 (Geodetic Reference System 1980) para expresar el sistema ETRF en coordenadas geográficas.

2.2.1.2.1 DENSIFICACIÓN EN ESPAÑA DE LA RED EUREF-89

2.2.1.2.1.1 IBERIA

El objetivo de cumplimentar las recomendaciones de EUREF y de solucionar el problema de la insuficiente precisión de EUREF89, el IGN de España y el Instituto Portugués de Cartografía e Cadastro acordaron llevar a cabo una nueva campaña GNSS que, bajo la denominación IBERIA 95, abarcase un total de 39 estaciones (12 portuguesas y 27 españolas), homogéneamente distribuidas por el territorio peninsular y coincidentes con las primitivas estaciones EUREF89, el número de estaciones quedó prefijado por el de receptores GNSS de idéntica marca y tipo existentes en ambas instituciones en el momento adecuado para la observación.

³ desde 2008 el marco oficial es ITRF08.

La elección de los vértices geodésicos integrantes de IBERIA95 obedeció a diversos criterios, entre las que merecen ser destacados:

- distancia entre estaciones adyacentes compatible con el número escogido de vértices.
- monumentación estable y perdurable.
- eliminación de los errores de centrado mediante un dispositivo de centrado forzado.
- ubicación de los vértices en lugares que permitan su nivelación geométrica o geodésica de alta precisión.
- en las proximidades de las estaciones no deberán de existir posible interferencias de radiofrecuencia ni obstáculos generadores de posibles multitrayectorias.
- las estaciones deberán ser fácilmente accesibles.



Figura 2.2-2 Esquema Red Iberia 95

Quedó así constituida la red nacional de “orden 0”, que fue admitida internacionalmente (**Work Group VIII CERCO**) como red de Clase B –*precisión en torno a 1 cm en la época de observación*– en el simposio EUREF98.

2.2.1.2.1.2 REGENTE

La red Iberia sirve de apoyo para el proyecto REGENTE (Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales) con el que se pretende dar coordenadas GNSS WGS-84 a 1100 vértices de la Red Geodésica Nacional (uno por hoja del MTN-50).

El proyecto REGENTE tiene por objetivos:

- la materialización, observación y cálculo de coordenadas para toda España, de una red geodésica tridimensional de primer orden, con precisión absoluta en igual o mejor que 5 cm.
- obtener una transformación precisa entre ED50 y ETRS89.

- facilitar los datos para la obtención o depuración de un geoide de precisión cm., la observación de la red se apoya con observaciones gravimétricas y observación GNSS sobre clavos de nivelación.
- facilitar el acceso de los usuarios a una red GNSS de alta precisión, de modo que cualquier punto en el territorio nacional se encuentre dentro de círculo de radio máximo de 15 Km. con centro en un vértice REGENTE.

Los vértices cumplen las siguientes especificaciones:

- pertenecer a la red geodésica nacional, ser una estación VLBI o SLR.
- reunir características comunes a una estación GNSS con fácil acceso con vehículo, horizonte despejado por encima de 10 grados, y estar alejados de elementos que puedan causar multitrayectoria o interferencias radioeléctricas.
- dado que regente constituye una red geodésica tridimensional con altitudes elipsoidales referidas al elipsoide GRS80, debe quedar perfectamente ligada a la red geodésica nacional ED50 cuyas altitudes son ortométricas. Para ello más del 10% de los vértices se enlazan con la red de nivelación.
- siempre que reúnan estas características serán incluidas en REGENTE los puntos Laplace y las estaciones de segundo orden pertenecientes a la red geodésica nacional.
- los vértices IBERIA95 y BALEAR98 también pertenecen a la red REGENTE, por ser su red de soporte.

El método utilizado para su observación consiste en el estacionamiento simultáneo en bloques de nueve vértices con nueve receptores simultáneos de doble frecuencia y dos estaciones monofrecuencia en sendos clavos de nivelación cercanos a uno de los vértices del bloque. La observación se realiza en dos sesiones de cuatro horas, separadas cada una de ellas dos horas de forma que al comienzo de cada sesión se observa la constelación opuesta a la anterior.



Figura 2.2-3 Redes Geodésicas de España

2.2.1.2.1.3 ERGNSS

Desde 1998, el Centro de Observaciones Geodésicas del IGN viene desarrollando una red de estaciones permanentes GNSS (ERGNSS) que cubre todo el territorio nacional, exceptuando Cataluña. Actualmente (año 2012) está constituida por 33 estaciones, de las cuales 20 están integradas en la EPN (European Permanent Network) y dos en la IGS (International GNSS Service), contribuyendo así el IGN a la densificación de los marcos globales y definición del sistema ETRS89.

La ERGNSS se encuadra internacionalmente como red de Clase A –conjunto de puntos integrados en el ITRF con coordenadas y campos de velocidades con precisión <1 cm, independientemente de la época de observación–. El IGN ha dispuesto un servidor para el acceso público a los datos de todas las estaciones ERGNSS a distintos intervalos a partir de 1 segundo, lo que puede satisfacer todas las necesidades de los usuarios de topografía para aplicaciones de post-proceso en modo de trabajo relativo.

En la zona de Galicia existen tres bases (dos en el período que se hizo la observación de campo, año 2010) en Coruña, Vigo y una en Lugo no perteneciente a EUREF.

Las coordenadas de las bases pertenecientes a esta red son hasta el momento las más precisas de la Península Ibérica, al ser de clase A.

Los objetivos de dicha red (según el IGN) se pueden resumir en:

- Obtención de coordenadas muy precisas y campo de velocidades en todos los puntos de la red.
- Contribución a la definición de los nuevos Sistemas de Referencia Globales (ITRF) en el territorio nacional.
- Ser puntos fundamentales de la Red Europea EUREF de estaciones permanentes (EPN) para la densificación de los marcos globales y definición del sistema ETRS89, (*esto no sucede en todas, sobre todo en las últimas Lugo, Zafra, etc...*)
- Utilización de los registros de datos continuos para estudios de Geodinámica, troposfera, ionosfera, meteorología, etc.
- Definir una red fundamental como apoyo para aplicaciones en tiempo real de correcciones diferenciales (DGNSS) y RTK.
- Proporcionar a los usuarios de GNSS, públicamente, los datos para trabajos geodésicos, cartográficos, topográficos y de posicionamiento en general.



Figura 2.2-4 Red ERGNSS

2.2.1.2.1.4 ITACYL

Para la implementación de la red GNSS de Castilla y León se ha realizado el cálculo de coordenadas precisas de las estaciones en el sistema ETRS89, dentro de un marco coherente con la red REGENTE y con las estaciones permanentes GNSS de la red del IGN, utilizando como referencia estaciones del IGS en el nuevo marco ITRF05, y calibraciones absolutas de antena. El mapa de situación de las estaciones utilizadas en el cálculo es:

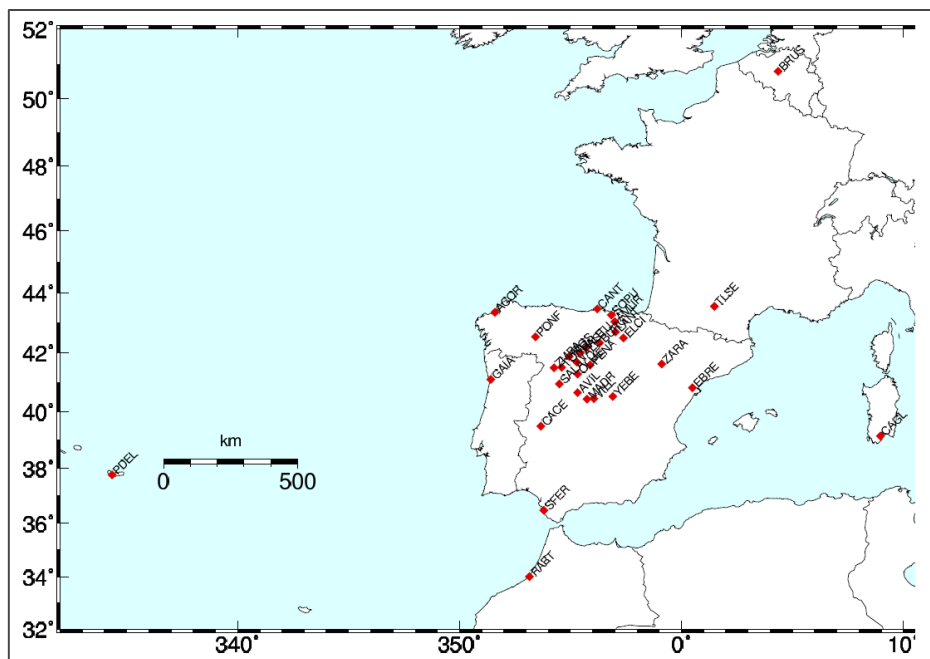


Figura 2.2-5 Esquema cálculo red ITACYL

2.2.1.2.1.5 GALNET

En el año 2009 la empresa gallega Cartogalicia S.L., mediante la colaboración con distintos organismos oficiales implanta en el territorio gallego 20+1 receptores GNSS modelo Topcon NET-G3, con antenas CR-3 Choke Ring. Esta antena ha sido probada y calibrada por la reconocida entidad dependiente del Departamento de Comercio de Estados Unidos, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), miembro de la NGS (National Geodetic Survey). Todos los receptores tienen capacidad de trabajar conjuntamente a través de un Centro de Control que se instaló y puso en funcionamiento conforme a las necesidades de la red. A través de dicho Centro de Control se gestiona la transmisión de correcciones diferenciales en tiempo real RTK por las siguientes vías:

- Comunicación telefónica directa vía GSM/GPRS.
- Vía Internet conforme al protocolo NTRIP.

Igualmente se gestiona el registro de datos para cálculos en postproceso en formato universal RINEX y su difusión a través de Internet mediante la correspondiente página Web.

El Centro de Control ubicado en Santiago gestiona todas las operaciones de la Red de Estaciones de Referencia Permanentes RTK de Galicia. Este centro dispone de los medios necesarios para establecimiento de comunicaciones con las Estaciones de Referencia, así como para la emisión de datos para su empleo por los usuarios de dicha Red.

Se han instalado las antenas de los receptores teniendo en cuenta las siguientes premisas:

- Lugar con menos obstrucciones al cielo visible, evitando en lo posible efectos multitrayectoria.
- Provocar el menor impacto tanto en el lugar de ubicación así como a nivel estético.
- Estabilidad máxima de la antena cumpliendo todos los requisitos IGS.

La solución de red y en base simple de GALNET se gestiona con el software Topnet de Topcon.

Las distancias entre ellos queda marcada en aproximadamente 70 km formando una malla de triángulos.

En el cálculo de las coordenadas de *GALNET*, se han usado como puntos fiduciales, las estaciones de control de A Coruña y Vigo pertenecientes a la red ERGNSS, las precisiones obtenidas implican que *GALNET* sea una red de clase B.

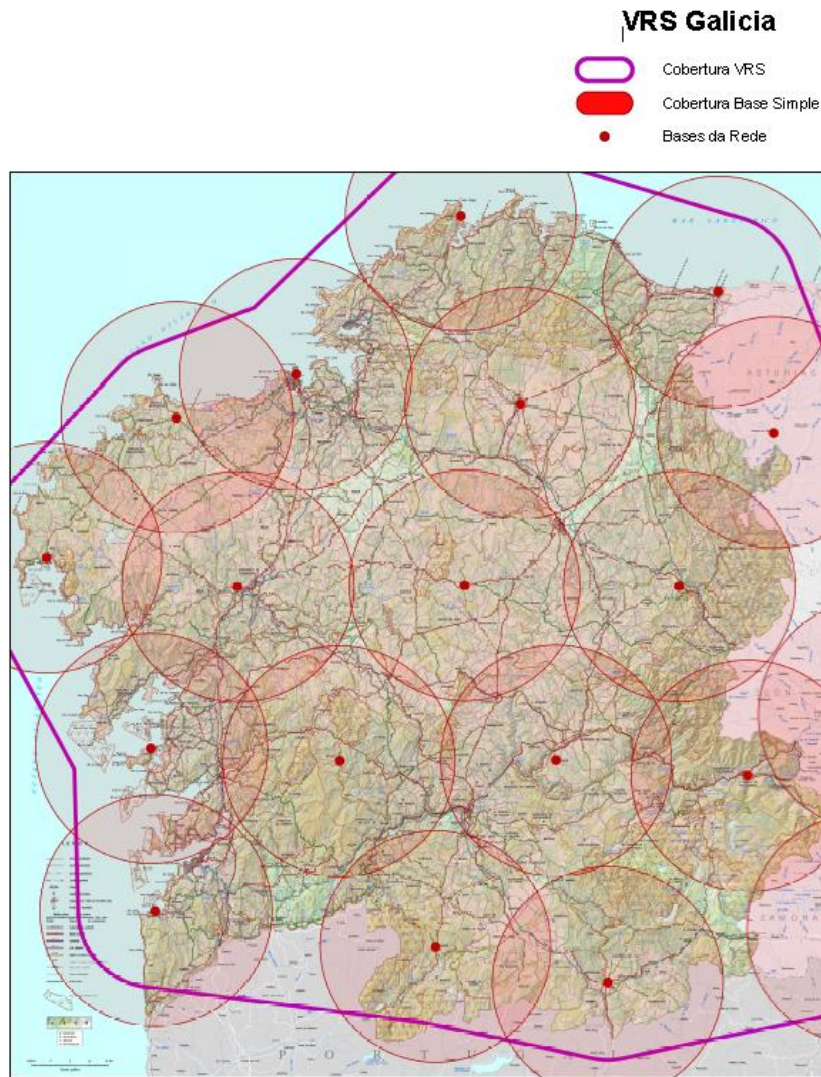


Figura 2.2-6 Esquema cobertura GALNET

2.2.1.2.1.6 SMARTNET GALICIA

SmartnetGalicia es la denominación que tiene que el conjunto de bases de la empresa LógicaEquipamientos Integrales, en la comunidad de Galicia, no hay información referente a cálculo de la misma a disposición del usuario. La configuración geográfica actual es la siguiente:



Figura 2.2-7 Red Smartnet Lógica actual

Diferente a la realizada en la época de observación, que era:



Figura 2.2-8 Red Smartnet Lógica año 2010

La no continuidad temporal de esta red, motivará que en esta tesis se use de manera secundaria, y no como puntos fiduciales para el cálculo de las alturas elipsoidales.

2.2.1.3 DATUMS ALTIMÉTRICOS OFICIALES

Un sistema de referencia altimétrico se caracteriza por un datum altimétrico y por un conjunto de altitudes relacionadas con la gravedad. Por lo general, el datum altimétrico se refiere al nivel medio del mar y se obtiene a partir de una o más estaciones provistas de mareógrafos. El ETRS89 es un **sistema de referencia de coordenadas compuesto** en el que únicamente por interés práctico se separan las referencias “terrestre” y “vertical”. Así pues, la principal diferencia entre el ITRS/ETRS y el WHS/EVRS, (World High System/European Vertical Reference System) estriba en la ejecución, de manera que las coordenadas ETRS se encuentran referidas a un sistema no relacionado con las mareas y las altitudes del EVRS se refieren al cero de las mareas.

Los sistemas de referencia altimétricos establecidos a partir de redes nacionales de nivelación de alta precisión se empezaron a utilizar en Europa a partir de 1860. La primera red de **Nivelación de Precisión (NP)** realizada en España se acometió en 1871 para dar soporte altimétrico a la formación del Mapa Topográfico Nacional, prolongándose los trabajos hasta 1922. Las líneas de nivelación discurrían a lo largo de carreteras o vías del ferrocarril, observándose exclusivamente desniveles. Para la obtención de las altitudes de los clavos implantados no se dispuso de datos gravimétricos, ni se efectuó una compensación en bloque.

El datum altimétrico adoptado fue el nivel **medio del Mar Mediterráneo en Alicante**, habiéndose obtenido éste a partir de cuatro observaciones directas realizadas cada día sobre una escala de mareas colocada en el interior del puerto durante el periodo de tiempo comprendido entre los meses de junio de 1870 y 1872. La base de dicha escala se enlazó con el punto NP-1 colocado en el primer peldaño de la escalera del Ayuntamiento de Alicante, manteniéndose dicha referencia hasta la actualidad.

Siguiendo las recomendaciones de la **UIGG (International Union of Geodesy and Geophysics)**, en 1925 se proyectó una red de **Nivelación de Alta Precisión (NAP)** que ya incorporaba medidas del valor de la gravedad a lo largo de las líneas de nivelación. Su observación finalizó en 1972, comprendiendo un total de unos 11.000 km que discurren por carreteras o vías de ferrocarril del territorio peninsular.

Entre 1975 y 1988 el IGN realizó trabajos de densificación en las zonas Sureste, Centro, Galicia y Estrecho de Gibraltar. Entre 1997 y 2001 se llevó a cabo una nivelación de precisión, con características muy próximas a la de alta precisión en las Islas Canarias (1.100 km). En el año 2000 y al amparo del programa **Interreg-II (Iniciativa comunitaria relativa al desarrollo de las zonas transfronterizas, la cooperación transfronteriza y las redes de energía)** de la Unión Europea, se realizó la red NAP de los Pirineos (1.500 km).

2.2.1.4 REDES ALTIMÉTRICAS EUROPEAS

Los sistemas de referencia altimétricos europeos tradicionales, establecidos a partir de las correspondientes redes nacionales de Nivelación de Alta Precisión, se encuentran referidos a datums verticales locales. Esto conlleva numerosos inconvenientes, ya que los distintos países utilizan como referencia diferentes niveles de diversos mares y océanos –Mar Báltico, Mar del Norte, Mar Mediterráneo, Mar Negro, Océano Atlántico–, llegándose a alcanzar diferencias de varios decímetros entre ellos; no todas las superficies de cota cero están referidas al nivel medio del mar, encontrándose algunas al nivel de la bajamar (Ostende) y otras al de la pleamar (Ámsterdam); y se emplean tres tipos diferentes de altitudes.

Para tratar de conseguir un único marco de referencia continental, desde 1994 la Subcomisión EUREF ha desarrollado los siguientes proyectos:

- Red Unificada de Nivelación Europea, **UELN95/98 (United European Leveling Network 95/98)**, cuyo objetivo fue establecer un datum vertical unificado estático para toda Europa con precisión decimétrica, extendiéndolo a los países del Este de Europa.
- Red Europea de Referencia Altimétrica GNSS, **EUVN (European Vertical GNSS Reference Network)**, preparada en paralelo con la UELN, consistió en una red integrada de observaciones GNSS, de nivelación y mareográficas que permitió obtener relaciones entre el datum del UELN y el de cada uno de los sistemas altimétricos nacionales con precisión de pocos centímetros. Se pretendió que este proyecto fuera la preparación de un sistema de referencia geocinemático para Europa, así como que proporcionase datos para la determinación de la figura del geode gravimétrico continental, **EGG (European Gravimetric Geoid)**
- Sistema Europeo de Referencia Altimétrico **EVRS, (European Vertical Reference System)** caracterizado por la adopción de un datum referido al Nivel normal de Ámsterdam, NAP (Normaal Amsterdams Peil), con cota geopotencial cero, y la obtención de diferencias de potencial gravitatorio respecto al NAP o altitudes normales equivalentes. Se adoptan los resultados de UELN95/98 y EUVN como realizaciones de EVRS, empleando el término de Red Europea de Referencia Altimétrica 2000, **EVRF2000 (European Vertical Reference Frame 2000)**

Está previsto obtener un nuevo datum a partir de las cotas geopotenciales de varios puntos distribuidos por Europa, entre los que se encontrarían los mareógrafos de Alicante y La Coruña.

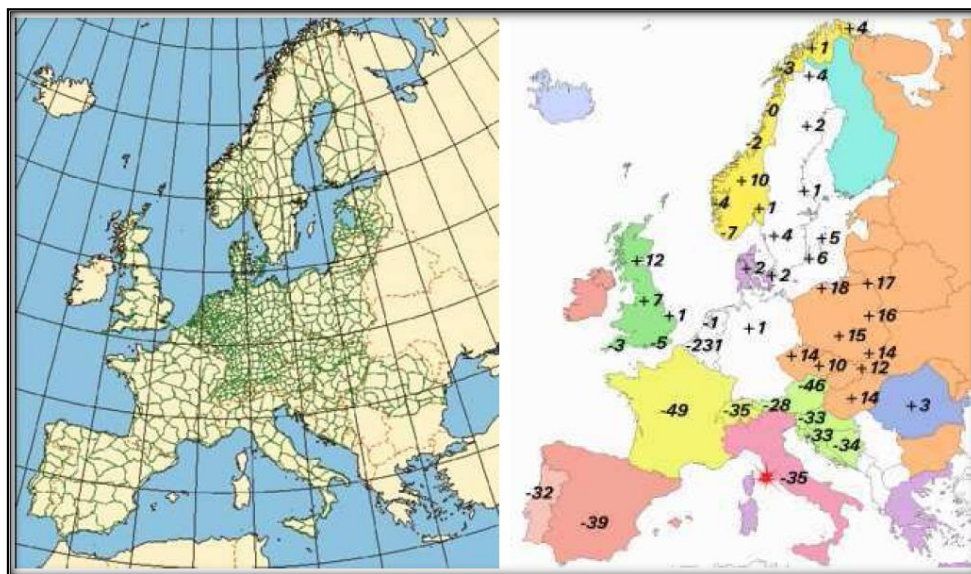


Figura 2.2-9 Estado de la red UELN 95/98 en 2002 y diferencias entre el datum EUVN y los distintos datums nacionales

2.2.1.4.1 REDNAP⁴

La nueva Red de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP) fue comenzada en 1999 y finalizada en 2007 en la Península y un año después en Baleares. REDNAP peninsular tiene una longitud de aproximadamente 16.500 kilómetros. En Baleares la red cubre una longitud de algo

⁴ Documentación extraída de la página web del I.G.N.

más de 600 kilómetros. Todas las líneas discurren a lo largo de carreteras, autopistas y autovías, con señales espaciadas aproximadamente 1 kilómetro.

La red peninsular ha sido compensada en bloque en 2008, obteniéndose el ajuste REDNAP-2008, referenciado al "datum" común a las dos redes antiguas (1871-1922 y 1928-1972). En las islas, el "datum" es local y está relacionado con el n. m. m. en cada una de ellas.

A partir de 2008, con el objetivo de reducir los polígonos de REDNAP a una longitud máxima de 400 kilómetros y mejorar la precisión de la carta del geoide en aquellas zonas con poca densidad de líneas de nivelación, se procedió a establecer líneas complementarias hasta un total de 3.200 kilómetros, lo que extenderá la red peninsular hasta los 20.000 kilómetros.

CÁLCULO Y COMPENSACIÓN REDNAP

En noviembre de 2007 finalizó la observación de REDNAP en la Península, de tal forma que se procedió a realizar, en cotas geopotenciales, un ajuste mínimos cuadrados de la red compuesta por los 136 nodos que constituyen el bloque peninsular y los 14 falsos nodos situados en los puntos fronterizos.

Para la compensación se adoptó un único punto fundamental: el nodo de Alicante, materializado por la señal NP1, que ha sido la señal fundamental en todos los cálculos de la red altimétrica española realizados hasta la fecha y cuyo valor geopotencial es de 3,34142 u. g. p. referido al nivel medio del mar en el puerto de Alicante.

El promedio de todas las líneas arroja un residuo promedio de 0,16 ppm, lo cual indica la gran calidad de las observaciones en su conjunto. Como se puede ver en la figura, los vectores de error van aumentando a medida que los nodos se alejan de Alicante.



Figura 2.2-10 Vectores de error de REDNAP

2.3 SISTEMA GEODÉSICO OFICIAL DE ESPAÑA

Por **R.D. 1071/2007, de 27 de julio**, quedó regulado el sistema de referencia geodésico sobre el que se debe compilar **toda la información geográfica y cartográfica oficial** referida a todo o parte del territorio español.

- **Sistema de referencia geodésico (art. 3):** Se adopta el sistema **ETRS89** para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares, y el REGCAN95 para el caso de las Islas Canarias. Ambos tienen asociado el elipsoide **GRS80** y están materializados por el marco que define la red REGENTE y sus densificaciones.

- **Sistema de referencia altimétrico (art. 4):** Se tomará como referencia de altitudes los registros del **nivel medio del mar en Alicante para la Península Ibérica** y las referencias mareográficas locales para cada una de las islas, el sistema está materializado por las líneas de la **red NAP**.

Sistema de representación cartográfica (art. 5): Conforme a las recomendaciones del Grupo de trabajo para Referenciación Espacial, se adopta el sistema de referencia de coordenadas **ETRS-Cónica conforme de Lambert** para cartografía terrestre, básica y derivada, a escala igual o menor de 1/500.000 y el **ETRS-Transversa de Mercator** para escalas mayores de 1/500.000.

Toda la cartografía y bases de datos de información geográfica y cartográfica producida o actualizada por las Administraciones Públicas deberán compilarse y publicarse conforme a lo que se dispone en el R.D. 1071/2007 a partir del 1 de enero de 2015.

A partir del 1 de enero de 2012 no podrá inscribirse en el Registro Central de Cartografía ni incluirse en el Plan Cartográfico Nacional ningún proyecto nuevo que no se atenga a las especificaciones del R.D. 1071/2007.

En este estado y pese a que REGENTE constituye la base sobre la que todos los trabajos geodésicos, topográficos y cartográficos deben apoyarse, se ha considerado necesario dotar de coordenadas ETRS89 a los aproximadamente 9.850 vértices geodésicos restantes de la ROI que no pertenecen a REGENTE, siendo el **Consejo Superior Geográfico (CSG)** el organismo encargado de facilitar el método de transformación entre los sistemas de referencia nuevos y antiguos, su forma de utilización y la información técnica asociada. En general, el cambio de datum debería poder realizarse mediante una transformación conforme de siete parámetros (traslación, giro y cambio de escala). No obstante, los inevitables residuos propios de una gran red de ámbito nacional provocan una distorsión que presenta una cierta correlación espacial y que es necesario modelar de alguna manera. De entre las distintas técnicas existentes para ello, el Grupo de Trabajo para la transición de ED50 a ETRS89, creado a instancias del CSG, ha optado por el método de transformación de **Superficies de Mínima Curvatura (SMC)**, encontrándose disponible la documentación generada en el servidor público de datos <ftp://ftp.geodesia.ign.es> (carpeta ROI-ETRS89).

El formato de rejilla adoptado, denominado **Transformación Nacional de Canadá (NTV2)**, permite incorporar múltiples sub-rejillas jerarquizadas, lo que hizo posible ir añadiendo transformaciones más localizadas dentro de la rejilla principal hasta conseguir el recálculo definitivo de ROI en ETRS89. Las precisiones relativas obtenidas son del orden de 3 cm en aquellas zonas en las que se dispone de observables GNSS (Comunidades autónomas de Navarra e Islas Baleares en su totalidad, y en mayor o menor medida en Cataluña, Valencia, Murcia, Madrid y Castilla-León), y de 8 cm en planimetría y 14 cm en altimetría en aquellas otras que sólo tienen observables angulares clásicas.

2.4 SISTEMA GEODÉSICO OFICIAL DE PORTUGAL

El organismo encargado de la gestión de la geodesia, cartografía y catastro en Portugal es el Instituto Geográfico Portugués (IGP), equivalente al Instituto Geográfico Nacional en España (IGN), por tanto como autoridad competente establece el sistema geodésico portugués.

Citando textualmente al organismo anterior se establece el sistema geodésico portugués oficial de la siguiente manera:

PT-TM06/ETRS89 - Sistema Europeo de Referencia Terrestre 1989

*“El **ETRS89** es un sistema global de referencia recomendado por EUREF (Marco Europeo de Referencia, una subcomisión de la IAG - Asociación Internacional de Geodesia), establecido a través de técnicas de observación espacial. En el simposio EUREF celebrado en Italia en 1990 aprobó la siguiente resolución: "La Subcomisión de IAG para el Sistema Geodésico de Referencia Europeo (EUREF) recomienda que el sistema sea adoptado por EUREF será coincidente con la notificación de transacciones internacionales en el momento de 1.989,0 y dejar de lado estable placa de Eurasia, siendo designado por el Sistema Europeo de Referencia Terrestre 1989 (Sistema Europeo de Referencia Terrestre - ETRS89)."*

El establecimiento de ETRS89 en Portugal se hizo con base en las campañas internacionales (realizado en 1989, 1995 y 1997), cuyo objetivo es conectar fácilmente a la red a la red de portugués europeo. En los años siguientes, todos de una Red Geodésica y órdenes de segunda del continente se ha observado con GNSS, y su ajuste se realiza mediante la fijación de las coordenadas de los puntos estacionarios en las anteriores campañas internacionales.

La agencia EuroGeographics recomienda el uso de las proyecciones de mapas: Transversal de Mercator, para escalas mayores de 1 / 500 000, conforme de Lambert, con dos de ancho paralela preservado para las escalas de menos de 1 / 500 000

A partir de 2006 con el continente, los parámetros de la Proyección Transversa de Mercator es que los que están en la tabla de abajo lista.

Este sistema sustituirá completamente el utilizado anteriormente, que se consideran obsoletos.”

2.4.1 RNGAP RED DE NIVELACIÓN DE ALTA PRECISIÓN

*“La **Red para la nivelación de alta precisión (RNGAP)** es un sistema que permite a ciertas altitudes estrictamente de referencia, con alta precisión altimétrica desde cualquier lugar.*

El RNGAP se distribuye a lo largo de las principales arterias del país, con una longitud de unos 4000 km. Esta red consta de más de 4500 puntos de referencia, y su sello distintivo ubicado al lado del mareógrafo Cascais, para asegurar el vínculo entre la nivelación dato altímetro y Portugal continental.”

El IGP, a través de su División de Geodesia, es el organismo responsable de los mareógrafos en Cascais y Lagos, en funcionamiento desde 1882 y 1902, respectivamente. Estos mecanismos son indicadores analógicos que aún tienen el nivel del agua del mar en dos períodos consecutivos de siete días, fue posible, con ellos, determinar y mantener la parte continental de referencia del altímetro.

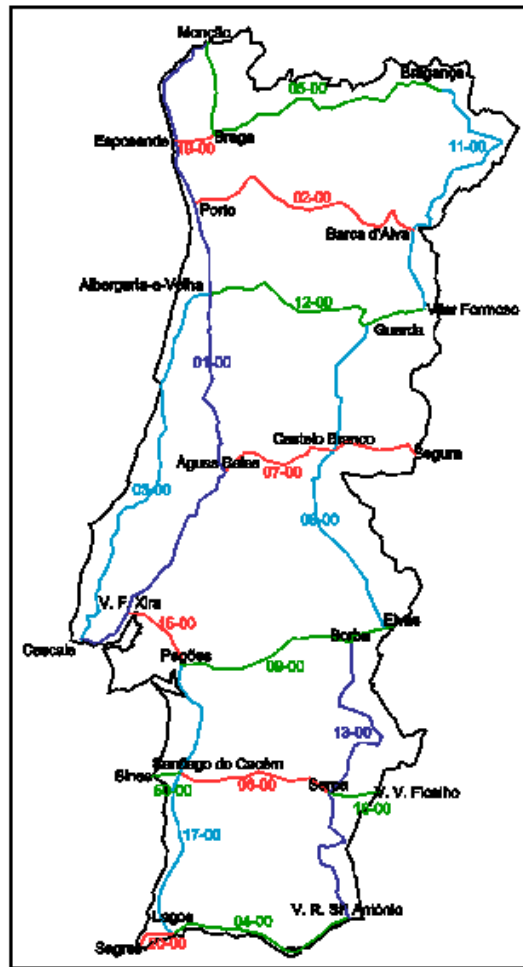


Figura 2.4-1 RGANP-Red nivelación Portugal

2.4.2 RED DE MAREÓGRAFOS

En 2003, bajo un programa de modernización de los equipos se han instalado dos nuevos indicadores acústicos con capacidad de gestión remota a través de ADSL / redes GSM, lo que nos permite recibir los datos "cuando", no sólo en relación con el nivel del mar, pero también otros parámetros locales, la presión y la temperatura del aire temperatura y el agua. Los datos están disponibles gratuitamente en <ftp://www.igeo.pt/Cascais/marégrafo> y <ftp://www.igeo.pt/Lagos/marégrafo> y en los casos de SLEAC VLIZ y, como una contribución de la IGP para el proyecto europeo "del nivel del mar a lo largo de la costa atlántica europea - SLEAC" y el "COI - Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO", respectivamente.

A pesar de las nuevas instalaciones, los indicadores analógicos seguirán funcionando, no sólo porque no hay necesidad de un trabajo de superposición de un período prolongado de tiempo, sino también por el valor que representan en términos de historia y cultura. Es casi el único equipo en condiciones de trabajo, lo que llevó, en el caso de Cascais, el establecimiento de un protocolo entre la Ciudad y el Instituto Portugués Geographic, con miras a su inclusión en el itinerario turístico / centro cultural. Usted puede hacer solicitudes, siempre y cuando previamente programado por el Ayuntamiento o la IGP. Por su propia naturaleza, el edificio donde está instalada la última cerca de la "Ciudadela de Cascais", está clasificado por IPPAR como bienes de interés público (Dec. 67/97 al 31/12).

2.5 GEOIDE Y ELIPSOIDE. SISTEMA DE ALTURAS

La fuerza que actúa sobre un cuerpo en reposo sobre la superficie terrestre es la resultante de la fuerza gravitacional y de la fuerza centrífuga de la rotación de la Tierra.

El potencial de la gravedad W , es la suma de los potenciales de la fuerza gravitacional V y de la centrífuga Φ .

$$W = W(x, y, z) = V + \Phi = k \iiint_v \frac{\rho}{l} dv + \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2) =$$

Donde la integral está extendida a toda la Tierra.

Sabiendo que:

$$\Delta W = \Delta V + \Delta \Phi$$

Y que el laplaciano en el exterior de las masas que generan el potencial es:

$$\Delta V = 0$$

Siendo esta función armónica.

Por lo tanto:

$$\Delta \Phi = \frac{\delta^2 \Phi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \Phi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \Phi}{\delta z^2} = 2\omega^2$$

Esta función no es armónica.

El vector gradiente de W :

$$\vec{g} = \overrightarrow{grad} W = \left(\frac{\delta W}{\delta x}, \frac{\delta W}{\delta y}, \frac{\delta W}{\delta z} \right)$$

De componentes:

$$g_x = \frac{\partial W}{\partial x} = -k \iiint_v \frac{x - \xi}{l^3} \rho dv + \omega^2 x$$

$$g_y = \frac{\partial W}{\partial y} = -k \iiint_v \frac{y - \eta}{l^3} \rho dv + \omega^2 y$$

$$g_z = \frac{\partial W}{\partial z} = -k \iiint_v \frac{z - \zeta}{l^3} \rho dv$$

Donde \vec{g} es el vector gravedad. La dirección de este vector es la línea de la plomada, o la vertical.

A las superficies donde:

$$W(x, y, z) = W_0 = \text{constante}$$

Se les denomina superficies equipotenciales o superficies de nivel.

La diferencia total del potencial gravífico será:

$$dW = \frac{\partial W}{\partial x} dx + \frac{\partial W}{\partial y} dy + \frac{\partial W}{\partial z} dz$$

En notación vectorial, utilizando el producto escalar, se representaría:

$$\overrightarrow{dW} = \overrightarrow{\text{grad } W} \cdot \overrightarrow{dl} = \vec{g} \cdot \overrightarrow{dl}$$

Si el vector dl se toma a lo largo de una superficie de nivel $W = W_0$, entonces el potencial es constante y $dW=0$, por lo que la ecuación queda:

$$\vec{g} \cdot \overrightarrow{dl} = 0$$

Cuando el producto escalar de dos vectores es 0, entonces estos dos vectores son perpendiculares entre sí, por tanto, la ecuación expresa que el vector gravedad es perpendicular a la superficie de nivel que pasa por el mismo punto. Las líneas que cortan normalmente a todas las superficies equipotenciales no son exactamente rectas sino ligeramente curvadas. Son las llamadas líneas de la plomada. Es por esto que se define **EL GEOIDE** como la superficie equipotencial que mejor se ajusta al nivel medio del mar.

Debido a las irregularidades que presenta la superficie física de la Tierra, es necesario hacer una aproximación de la misma a una superficie matemática de referencia. En una primera aproximación la tierra puede considerarse una esfera de 6371 Km, y en una mejor definición como un **ELIPSOIDE DE REVOLUCIÓN**, el cual comparte con la Tierra una masa M , el potencial W_0 , la diferencia entre momentos principales de inercia y la velocidad angular ω .

El elipsoide asociado al datum ETRS89 es el GRS80, cuyo origen es el centro de masas de la Tierra, el eje OZ coincide con la dirección del polo de referencia IERS, coincidente con el Polo Terrestre convencional del BIH (Bureau International de l'Heure) en la época 1984.0. El eje OX es la intersección del meridiano de referencia IERS que coincide con el meridiano de origen del BIH en la época 1984.0 y el plano perpendicular al eje OZ por el origen de coordenadas. El eje OY completa el sistema cartesiano ortogonal orientado en sentido positivo.

Los parámetros principales del elipsoide GRS80 son:

Parámetro	Notación	Valor
Semieje mayor	a	6378137.0 m
Velocidad angula de la Tierra	ω	$7292115 \cdot 10^{11} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
Constante gravitacional geocéntrica	GM	$3986005 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Coefficiente de forma dinámico	J_2	$108263 \cdot 10^{-8}$

Tabla 2.5-1 Parámetros elipsoide GRS80

Y las constantes geométricas y físicas derivadas:

Parámetro	Notación	Valor
Semieje menor	b	6 356752.3141 m
Inversa aplanamiento	1/f	298.2572221008827
Excentricidad lineal	E	521 854.0097 m
Radio polar	c	6399593.6259 m
Primera excentricidad al cuadrado	e^2	0.00669438002290
Segunda excentricidad al cuadrado	e'^2	0.00673949677548
Achatamiento	f	0.00335281068118
Recíproco del achatamiento	f^{-1}	298.257222101
Cuadrante meridiano	Q	10001965.7293 m
Radio medio	R1	6371008.7714 m
Radio de la esfera de la misma superficie	R2	6371007.1810 m
Radio de la esfera del mismo volumen	R3	6 371000.7900 m
Gravedad normal en el Ecuador	γ_e	978032.67715 m Gals
Relación de la aceleración centrífuga con respecto a la gravedad normal en el Ecuador	m'	0.00344978600308

Tabla 2.5-2 Constantes físicas y geométricas elipsoide GRS80

Las diferencias entre geoides y elipsoide pueden verse en la figura siguiente:

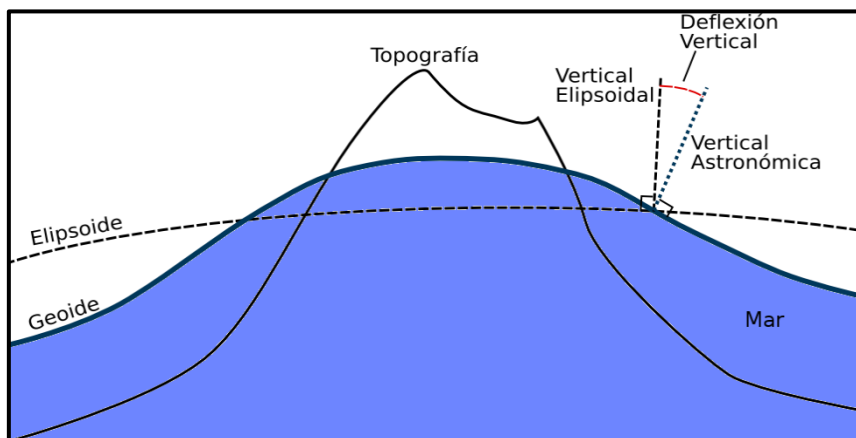


Figura 2.5-1 Esquema elipsoide, geoide y sus verticales

Una vez aclaradas la definición de geoide y elipsoide vamos a exponer una serie de conceptos a cerca de los tipos de alturas.

Las altitudes pueden clasificarse en **Dinámicas, Ortométricas y Normales**. Actualmente, con la llegada del GNSS, hemos de considerar también las **Altitudes Geodésicas** o distancia de un punto al elipsoide a lo largo de la normal a este. Las Altitudes Dinámicas de igual valor definen una superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre, de ahí su nombre, que proviene de su naturaleza física. Las Altitudes Ortométricas se atienen al concepto geométrico de altitud, es decir distancia métrica a una superficie de referencia. Para su determinación es imprescindible conocer el valor medio de la gravedad a lo largo de la línea de la plomada, lo que, al no poderse hacer de forma empírica, requiere necesariamente de un modelo. El tipo de modelo y los valores asociados al mismo definen los diferentes sistemas de altitudes ortométricas: de Helmert, Niethammer, Mader, Rasmayer, etc.

Esa imprescindible dependencia de un modelo de las altitudes ortométricas es lo que llevó a Molodensky a proponer un sistema el sistema de Altitudes Normales, caracterizadas esencialmente por no necesitar de hipótesis en su definición. El problema fundamental de estas altitudes es que no se refieren al geoide, sino a una superficie (no equipotencial) denominada cuasigeoide (también determinable sin hipótesis). En nuestro caso, trabajaremos con las

Altitudes Ortométricas Helmert, para las cuales es necesario medir la gravedad en el terreno y realizar una serie de reducciones.

La referencia para las altitudes ortométricas en cada país o región es el nivel medio del mar realizado por un mareógrafo, asociado a un conjunto de puntos o clavos, que constituyen el datum vertical. La superficie correspondiente al nivel medio del mar (superficie donde el potencial es contante), fue propuesta como referencia para las altitudes por C.F. Gauss en 1828, quien en un principio la llamó figura matemática de la tierra. Posteriormente J.F. Listing en el 1873 le llamó geoide. Esta definición ha resultado ser altamente adecuada y **hoy en día el geoide es la superficie fundamental de la geodesia física.**

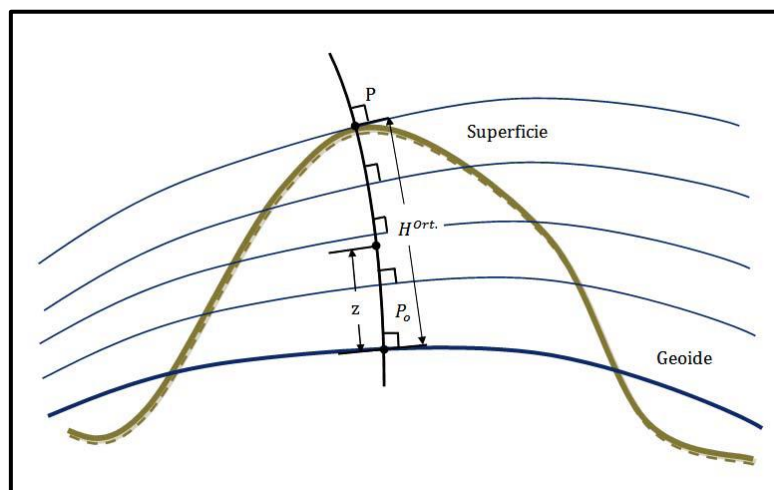


Figura 2.5-2 Alturas sobre superficies equipotenciales

En la figura anterior se presenta la altitud ortométrica de un punto P como la distancia geométrica de ese punto al geoide, medido a lo largo de la línea de la plomada (curva). Su significado es puramente geométrico. Como establece Heiskanen & Moritz podemos expresar la altura ortométrica de la siguiente manera:

$$H^{ort} = \frac{C_p}{g}$$

Donde C_p es el valor de la cota geopotencial en P calculado a partir de los valores de gravedad medidos a lo largo de la línea de nivelación y de los desniveles mediante la expresión:

$$\Delta C_{i,i+1} = \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \Delta n_{i,i+1}$$

y \bar{g} es el valor medio de la gravedad a lo largo de la línea de la plomada:

$$\bar{g} = \frac{1}{H^{ort}} \int_0^{H^{ort}} g(z) dz$$

Para determinar la altitud ortométrica, es necesario pues saber con exactitud el valor medio de la gravedad a lo largo de la línea de la plomada. Ya que esta medida es imposible de realizar, lo que procede hacer es estimar su valor a partir de la gravedad observada en la superficie de la tierra. Para ello es necesario utilizar ciertas aproximaciones como lo son las reducciones de la gravedad de Poincaré y Prey, también conocida como reducción de Prey. Esta reducción ya simplificada está dada conduce a la siguiente expresión:

$$g(z) = g + 0.0848(H - z)$$

Donde g es la gravedad medida en el punto P del terreno. Introduciendo esta expresión en la ecuación que define el valor medio se llega inmediatamente a:

$$\bar{g} = g + 0.0424H$$

Este valor de 0.0424 se obtiene asumiendo una densidad $\rho = 2.67 \frac{g}{cm^2}$ para la corteza terrestre y que entre el punto de profundidad z y el punto P existe una placa plana e infinita de espesor H . Esta aproximación nos da un valor cercano al valor medio de la gravedad que se mediría en la parte superior de la corteza terrestre si esto fuera posible.

Las llamadas altitudes ortométricas Helmert se calculan entonces mediante la siguiente fórmula:

$$H^{Helm} = \frac{C_p}{g + 0.0424 H^{Helm}}$$

Donde sí C_p se mide en unidades geopotenciales (u.g.p.) y g en gales, H resultará en kilómetros.

2.5.1.1 ONDULACIÓN DEL GEOIDE

Para establecer una relación entre los modelos de geoide y las altitudes elipsoidales nos basaremos en el concepto de ondulación del geoide:

$$N = H - h$$

Para llegar a esta expresión, se debe tener en cuenta la proyección de cualquier punto sobre la superficie del elipsoide, utilizando para ello la proyección de Pizzetti y la proyección de Helmert:

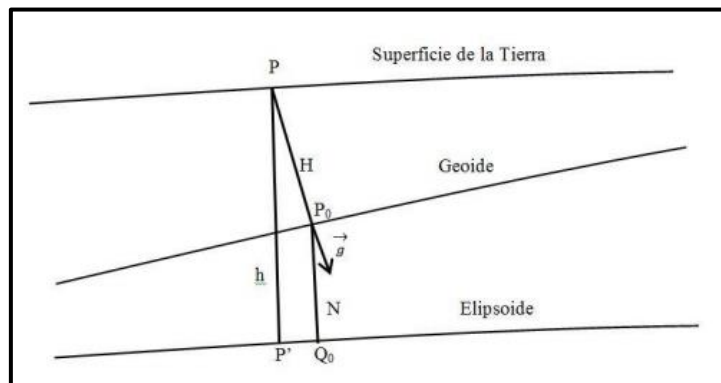


Figura 2.5-3 Representación ondulación geoidal

Mediante la proyección de Pizzetti se proyecta el punto P en el terreno sobre el geoide, P_0 , según la línea de la plomada, a continuación se proyecta P_0 sobre el elipsoide Q_0 , según la normal al elipsoide en P_0 .

$$\overline{PQ_0} = \overline{PP_0} + \overline{P_0Q_0} = H + N$$

A continuación mediante la proyección de Helmert, se proyecta P sobre el elipsoide P' según la normal al elipsoide.

$$\overline{PP'} = h$$

La diferencia entre ambas proyecciones es mínima por lo que N queda reducida a:

$$N=H-h$$

2.6 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DEL GEOIDE

2.6.1 INTRODUCCIÓN

La geodesia, como teoría de la forma y dimensiones de la Tierra, puede parecer una ciencia puramente geométrica. No obstante, en la actualidad, el campo gravífico de la Tierra, que es una cantidad física, está inextricablemente involucrado en la mayoría de las medidas geodésicas, incluso en las puramente geométricas (López Amador, 2002). Existen diferentes técnicas para obtener la ondulación del geode las cuales están en función de las observables. De esta manera podemos hablar de tres métodos comunes:

1. **Método Astrogeodésico:** con este método se puede determinar la ondulación del geode a través de observaciones astronómicas, a partir del cual se puede obtener la desviación a la vertical y por consiguiente la ondulación del geode. Los métodos astrogeodésicos se basan en la ecuación de Helmert:

$$N = N_a - \int_a^b \varepsilon ds$$

siendo N la ondulación del geode o altura de éste sobre el elipsoide. N_a es la ondulación en el punto a. El valor ε es la desviación de la vertical en un punto de la superficie, es el ángulo formado por la normal al elipsoide y la normal al geode. El valor de esta desviación de la vertical depende del elipsoide adoptado como sistema de referencia, valiendo cero en el punto datum, elegido como punto de coincidencia de geode con elipsoide. Se calcula a partir de las dos componentes x , h de la desviación. Estas dos componentes se calculan a partir de la latitud y longitud astronómicas (sobre el geode por obtenerse con teodolitos astronómicos nivelados según la línea de la plomada), y de la latitud y longitud geodésicas (obtenidas por cálculos sobre el elipsoide). El diferencial ds es un arco de cuerda elemental (López Amador, 2002).

2. **Métodos gravimétricos:** se realizan las observaciones utilizando la gravedad. Los métodos gravimétricos se basan en la ecuación de Stokes:

$$N = \frac{R}{4\pi G} \iint \sigma \Delta g S(\psi) d\sigma$$

en esta fórmula, R es un radio medio de la Tierra, G es un valor promedio de la gravedad. El valor Δg es la anomalía de la gravedad, o diferencia entre la gravedad real y la gravedad normal deducida para el potencial del elipsoide de revolución. $S(\psi)$ es la función de Stokes. Y es función de la posición del punto donde se quiere determinar N. La integral de superficie está extendida a toda la tierra, de ahí que sea de difícil aplicación, pues hay zonas de la tierra en las que no se tienen medidas de la gravedad. En la práctica, es mejor calcular diferencias de N. Para ello, en lugar de $\Delta g S(\psi)$ se tiene $(\Delta g_o - \Delta g_m) S(\psi)$, siendo $(\Delta g_o - \Delta g_m)$ la diferencia entre la anomalía observada (Δg_o) y la anomalía obtenida (Δg_m) con un modelo matemático basado en armónicos esféricos. Puede demostrarse que esa diferencia tiende a cero al aumentar la distancia, por lo que ya no es necesario obtener valores de anomalía en toda la tierra sino sólo en el entorno de la estación a determinar (López Amador, 2002).

3. **Métodos de la geodesia espacial:** realizan las observaciones con técnicas GPS. El procedimiento es el siguiente, la observación GPS nos ofrece (realizando la transformación adecuada) coordenadas geodésicas de los puntos observados y altura elipsoidal. Y si adicionalmente, en un determinado número de puntos observados se ha enlazado con nivelación geométrica de precisión, obtenemos la cota ortométrica, y por diferencia, se encuentra, la ondulación del geode.

Conociendo la altitud H de los puntos sobre el geoide o nivel medio del mar mediante una nivelación, la ondulación N viene dada por $N = h - H$. La nivelación tiene que ir apoyada en medidas de gravedad dado que las superficies equipotenciales no son paralelas y la suma de los desniveles a lo largo de un itinerario cerrado no es cero. La variación del potencial entre dos superficies de nivel o equipotenciales separadas una distancia diferencial es igual al producto del gradiente del campo por el diferencial de distancia (López Amador, 2002):

$$dU = -\text{grad } U \cdot ds = \text{gravedad } ds,$$

la integral a lo largo de un itinerario cerrado ó $\int g ds$ es cero por ser conservativo el campo de la gravedad. Combinando medidas de desniveles con valores de gravedad se obtienen diferencias de potencial y estas se convierten a altitudes ortométricas H medidas a lo largo de la plomada, con la fórmula (López Amador, 2002):

$$H = \frac{\left(\int g ds \right)}{\left(g + 0,0424 H \right)}.$$

Este método es también conocido como Posicionamiento por Satélites y depende del conocimiento de las anomalías de las alturas en una cantidad determinada de puntos diseminados uniformemente por todo el territorio de interés, de tal manera que las alturas obtenidas por el posicionamiento por Satélites cuya superficie de referencia es la del Elipsoide puedan ser referidas a la superficie de nivel del campo real de la gravedad. Esta rama de la geodesia se conoce con el nombre de Geodesia Espacial, a veces Dinámica, y con carácter más restringido Geodesia por satélites. Esta manera de resolver las alturas de los puntos no ha alcanzado la precisión mínima requerida para las determinaciones altimétricas de alta precisión de forma generalizada. Su futuro está en la elevación de la precisión en la solución de las alturas elipsoidales con el empleo de los Satélites y la obtención del mapa del Cuasigeoide (Geoide en los mares y océanos), siendo esta última, tarea científica y técnica de primer orden para los geodesias (Palmero y Rozo, 2002).

Las medidas de la astronomía geodésica, de triangulación y de nivelación hacen todas uso esencial de la línea de la plomada, que al ser la dirección del vector gravedad no está menos físicamente definida que su magnitud, esto es, que la gravedad g . Así pues, los métodos astrogeodésicos, que utilizan determinaciones astronómicas de latitud, longitud y acimut, y las operaciones geodésicas de triangulación, medida de bases y trilateración, pueden considerarse propiamente pertenecientes a la geodesia física, tanto como los métodos gravimétricos. Como diferencia general, los métodos astrogeodésicos utilizan la dirección del vector gravedad, empleando técnicas geométricas mientras que los métodos gravimétricos operan con el módulo del vector gravedad, haciendo uso de la teoría del potencial. Una clara demarcación es imposible y hay frecuentes solapamientos (López Amador, 2002).

Para fijar la posición de un punto en el espacio necesitamos tres coordenadas. Se puede utilizar un sistema de coordenadas cartesianas rectangulares. **Sin embargo, en muchos casos es preferible tomar las coordenadas naturales: la latitud geográfica, la longitud geográfica y la altitud sobre el geoide, que se refieren directamente al campo gravitatorio de la Tierra.** La altitud se obtiene por nivelación geométrica, combinada con medidas de la gravedad, mientras que las dos primeras se hallan por medidas astronómicas. En tanto que el geoide pueda identificarse con un elipsoide, el uso de estas coordenadas para cálculos es muy sencillo. Ya que esta identificación es suficiente sólo para resultados de muy baja precisión, la desviación del geoide respecto de un elipsoide debe tenerse en cuenta. El geoide tiene, infortunadamente, propiedades matemáticas muy molestas, primero, es una superficie complicada con discontinuidades en la curvatura. De ahí que, no se recomienda realizar cálculos matemáticos directamente sobre él, como si se puede hacer sobre el elipsoide. Debido a que las desviaciones del geoide con respecto al elipsoide son pequeñas y pueden ser calculadas, es conveniente

añadir pequeñas reducciones a las coordenadas originales, de manera que se determinen valores que se refieran a un elipsoide.

De acuerdo a lo anterior, y teniendo una serie de puntos observados expondremos el *método de aproximación polinómica*, el cual nos determinara la ondulación de cualquier punto respecto a una situación planimétrica. Igualmente, se determinara cual grado de polinomio es el ideal para solucionar este problema planteado.

2.6.2 MÉTODO DE APROXIMACIÓN POLINÓMICA

Un método sencillo propuesto por P. Vanicek y C.L. Ferry en 1975 para el estudio local del geode se fundamenta en el ajuste de un polinomio a los datos disponibles en ondulación del geode y desviación de la vertical, que minimice una cierta funcional (método de mínimos cuadrados). Este método tiene inconvenientes aunque presenta también grandes ventajas debido a su sencillez en el tratamiento de los datos, su rapidez de cálculo y lo más importante es la posibilidad de calcular la ondulación del geode en cualquier punto de la zona tratada ya que la representación es analítica. Entre los inconvenientes se pueden distinguir los siguientes:

- La resolución del sistema de ecuaciones normales puede presentar inconvenientes de mal condicionamiento de la matriz normal o de grado del ajuste.
- Al aumentar el grado el polinomio pueden suceder inestabilidades de tipo numérico.
- La elección del grado del polinomio a ajustar, esto es, la elección del polinomio óptimo.

2.6.2.1 MODELO PARA DATOS HOMOGÉNEOS

Sea una cierta región T en donde se han efectuado observaciones GPS y enlace a puntos de cota ortométrica, y se tiene por tanto determinada la ondulación del geode en una serie de puntos P_k , $k=1, \dots, m$ con pesos a priori w_k . Introduzcamos sobre R_m una métrica por medio del producto escalar:

$$x, y = \sum_{i=1}^m x_i y_i w_i \quad x, y \in R^m$$

Y la norma correspondiente:

$$x^2 = \sum_{i=1}^m x_i^2 w_i \quad x \in R^m,$$

planteado el problema de la siguiente manera, la ondulación del geode se representa a través de un polinomio de grado n en dos variables:

$$N(x, y) = P_n(x, y) = \sum_{i,j=1}^m a_{ij} x^i y^j,$$

de donde las coordenadas (x, y) están referidas a un sistema local definido por:

$$x = R (\varphi - \varphi_0)$$

$$y = R \cos \varphi (\lambda - \lambda_0),$$

en la que (φ_0, λ_0) es el origen de coordenadas que pueden tomarse como el centro de masas de los puntos dato y R es un radio terrestre medio de la zona considerada.

De esta manera, conociendo las coordenadas (x, y) y la ondulación del geoide de un conjunto de puntos podemos obtener los coeficientes del polinomio que nos relaciona la ondulación con la posición planimétrica del punto. Suponiendo que tenemos un polinomio de grado 1:

$$N(x,y) = a_{\infty} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy = \sum_{i,j=1}^k a_{ij} x^i y^j$$

Obteniendo n puntos donde se conoce la ondulación del geoide y las coordenadas (x,y) , podemos escribir el sistema de n ecuaciones, que de forma matricial es:

$$\begin{pmatrix} N_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ N_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1 & y_1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_n & y_n & x_n & y_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{\infty} \\ a_{10} \\ a_{01} \\ a_{11} \end{pmatrix},$$

$$\underline{N} = \underline{A} \underline{x},$$

de la cual \underline{N} es el vector de ondulaciones del geoide observadas, A es la matriz de diseño o matriz de Vandermonde, y \underline{x} como el vector de incógnitas de los coeficientes del polinomio.

En este caso, polinomio de grado 1, tenemos que 4 coeficientes a determinar. Siendo k el grado del polinomio de aproximación, el número de coeficientes (m) del polinomio k será:

$$m = (k + 1)^2,$$

ahora bien, si existen n observaciones, se debe cumplir que $n > (k + 1)^2$, para que se pueda realizar el ajuste por MM. CC.

Así de esta manera, las ecuaciones normales de este sistema serían de la siguiente expresión:

$$N \hat{x} = d,$$

de la cual N es la matriz normal, \hat{x} es el vector de coeficientes incógnitas y d es el vector de cantidades observadas. Las expresiones de N y d se hallan de:

$$N = A^T P A,$$

$$d = A^T P N,$$

de donde P es la matriz de pesos de las observaciones, en este caso se supone a P como la matriz identidad, $P = I$.

la solución de mínimos cuadrados es:

$$\hat{\underline{x}} = (A^T P A)^{-1} A^T P \underline{N} = N^{-1} \underline{d},$$

La matriz de varianzas-covarianzas de las incógnitas viene expresada por la siguiente forma:

$$C_{\hat{\underline{x}}\hat{\underline{x}}} = \hat{\sigma}_o^2 N^{-1},$$

en la que $\hat{\sigma}_o^2$ es la varianza de peso unidad del ajuste dada por la siguiente expresión:

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{\hat{\underline{v}}^T P \hat{\underline{v}}}{m - n},$$

y \hat{P}_n es el polinomio estimado:

$$\hat{P}_n(x, y) = \sum_{i,j=0}^n \hat{a}_{ij} x^i y^j,$$

De donde \hat{a}_{ij} es la estimación de mínimos cuadrados de los coeficientes del polinomio.

La matriz de varianzas-covarianzas de las observaciones viene dada por la siguiente ecuación:

$$C_{ll} = A C_{xx} A^T,$$

y la matriz varianzas-covarianzas de los residuales viene dado por la siguiente expresión:

$$C_{vv} = Q - C_{ll},$$

Con v_i como el residual de la i -ésima observación. Este sería el modelo de aproximación polinómica con datos homogéneos, ondulación del geoide coincida en n puntos a partir de observaciones GPS, que daría como resultado la determinación del polinomio para el conocimiento de la N en cualquier punto conociendo su situación planimétrica (x, y) o igualmente que (φ, λ) .

2.6.2.2 ELECCIÓN DEL GRADO DEL POLINOMIO DE APROXIMACIÓN

Ahora se tratara de determinar el grado óptimo del polinomio de aproximación. Para este propósito se aplicara la hipótesis lineal general. Suponiendo que el polinomio de aproximación tiene grado $(n+1)$, entonces el número de coeficientes a determinar en el ajuste $(n+2)^2$, el número de coeficientes a obtener en el nuevo ajuste entre a elección grado n y grado $n+1$, es $2n+1$. Consideremos el modelo lineal:

$$A \underline{x} - \underline{t} = \underline{v}, E(\underline{v}) = 0, \text{cov}(\underline{v}) = s_o^2 Q,$$

en la que la matriz $(m, (n+1)^2)$ ($m = n^\circ$ de observaciones y $n =$ grado del polinomio) de diseño del ajuste, \underline{x} es el vector $((n+1)^2, 1)$ de coeficientes del polinomio a determinar, \underline{t} es el vector $(m, 1)$ de términos independientes y \underline{v} es el vector $(m, 1)$ de residuos.

La hipótesis H se puede plantear:

$$A \underline{x} - \underline{t} = \underline{v},$$

$$H : (0 ; I_{2n+1}) \underline{x} = 0,$$

Esto es, los coeficientes nuevos al pasar del polinomio de grado n a $n+1$ son cero. La forma más cómoda de contrastar la hipótesis H para este caso en particular, es considerar las siguientes cantidades:

$$\hat{R}_{n+1} = (m - (n+1)^2) \hat{S}_{n+1}^2,$$

$$\hat{R}_n = (m - n^2) \hat{S}_n^2,$$

de donde \hat{S}_{n+1}^2 es la varianza obtenida en el ajuste cuando se considera el polinomio de grado $(n+1)$ y \hat{S}_n^2 es la varianza del ajuste cuando se considera el polinomio de grado n . el estadístico es definido por la siguiente expresión:

$$F(H) = \frac{(\hat{R}_n - \hat{R}_{n+1})}{(2n+1)\hat{S}_{n+1}^2},$$

La cual sigue una distribución F central con $(m - (n+1)^2, 2n+1)$ grados de libertad cuando se verifica la hipótesis H , y si ocurre a un nivel de confianza $(1-\sigma)$, se puede considerar el grado óptimo del polinomio igual a n . en otras palabras, cuanto más grande es el valor del estadístico peor es el resultado con el polinomio de grado n , de ahí que lo que se busca es que $F(H) < F_{teórico}$. Esta hipótesis nos quiere decir que para la elección del grado óptimo del polinomio es que al introducir a_{ij} nuevos (al aumentar el grado del polinomio de n a $n+1$) los valores de estos a_{ij} nuevos sean de valor 0 o habitualmente 0.

2.6.3 DETERMINACIÓN DEL GEOIDE USANDO MODELO GEOPOTENCIALES

En este apartado se hará una presentación del método utilizado para la determinación del geoide usando modelos geopotenciales. Así de esta manera, a finales del siglo pasado, Helmert desarrolló una primera metodología para estimar la ondulación del geoide. Utilizó observaciones astronómicas para la determinación de los componentes de la desviación vertical a través de los procedimientos adecuados, calculados como ondulaciones geodésicas. Este procedimiento fue conocido como método astrogeodésico o nivelación astronómica. El inconveniente de este método es la necesidad de una red razonable de puntos distribuidos sobre una región donde se desea estimar las ondulaciones geoidales. En 1849, George Gabriel Stokes desarrollo una integral que hizo posible una determinación de las alturas geoidales utilizando el conocimiento de las anomalías de la gravedad. Estas deben ser conocidas de forma continua sobre toda la superficie de la tierra. Esta exigencia hizo que se aplicara muy poco esta metodología, puesto que la gravedad solamente era conocida de manera discreta y sobre una pequeña parte de la superficie terrestre; en los océanos, por ejemplo, es considerado imposible el conocimiento de la gravedad.

Hasta 1920 los levantamientos gravimétricos eran realizados con dispositivos que utilizaban péndulo, en pequeña cantidad y en áreas continentales. Una dificultad del método pendular era que exigía operadores especializados y la productividad era muy baja, además de la imposibilidad del levantamiento en áreas oceánicas. Con el desarrollo de los gravímetros de resortes, pequeños, sensibles y de fácil manejo, permitiendo una rápida densificación de las redes gravimétricas en los continentes. Hoy en día en los océanos, un dispositivo tripendular de Vening-Meinesz posibilitó medir aceleraciones de la gravedad de manera rápida. Posteriormente, los modernos gravímetros montados sobre plataformas giroestabilizadas en barcos permitieron determinaciones rápidas y precisas. En la actualidad, una altimetría por medio de radar resuelve el problema de la determinación de la gravedad en los océanos.

Con la llegada de los satélites artificiales y los recursos informáticos, la integral de Stokes gana un nuevo aliento, pues, estudiando las perturbaciones de las orbitas de estos satélites, es posible estimar la componente de la longitud de onda del campo gravitacional y el efecto de la altura geoidal, a través de los modelos geopotenciales. De esta forma, no es indispensable extender la integral a toda la tierra y si alrededor de la zona de cálculo. Para esto es necesario introducir una modificación en la integral. Una evaluación de la integral puede hacerse de dos maneras: por la integración numérica o por la FFT (Transformada de Fourier Rápida).

2.6.3.1 LA INTEGRAL DE STOKES

George Gabriel Stokes presento en 1849, una de las fórmulas más importantes de la geodesia física, ya que hizo posible determinar una separación geoide – elipsoide, es decir, una ondulación del geoide, a través del conocimiento de las anomalías de la gravedad. Ella fue considerada durante mucho tiempo como simplemente teórica, debido a que se necesitaba conocer la gravedad en toda la extensión de la tierra, inclusive en los océanos, que era considerada como imposible. Con el desarrollo tecnológico, principalmente el uso de satélites artificiales para determinar los modelos geopotenciales, una integral no es precisa para toda la extensión de la tierra, pero si para la zona donde se realizaran los cálculos. Una componente de la longitud de onda de la altura geoidal está basada en los modelos geopotenciales.

Una deducción de la formula, Stokes admitió una inexistencia de masas externas en una superficie equipotencial considerada, lo que hace que se deba reducir las mediciones de la gravedad generando una superficie física para el geoide y compensar las masas que son externas al geoide. También se admite una aproximación esférica para la superficie terrestre. Una integral de Stokes tiene la siguiente forma:

$$N = \frac{R}{4\pi\gamma} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \Delta g S(\psi) \sin\psi \, d\psi \, d\alpha,$$

De donde N es la altura geoidal, R es el radio de la tierra, ψ es el valor medio de la gravedad normal a la tierra, Δg es la anomalía de la gravedad, (ψ, α) es la distancia y el acimut esférico entre el punto considerado y el punto donde N es calculado y $S(\psi)$ es la función de Stokes.

Una función $S(\psi)$ puede ser expresado en una expansión de series de polinomios de Legendre de la siguiente forma:

$$S(\psi) = \sum_{n=2}^{\infty} \frac{2n+1}{n-1} P_n(\cos\psi),$$

De donde P_n son los polinomios de Legendre de grado n.

Como se mencionó anteriormente, la integral de Stokes supone la existencia de masas externas en el geoide. Para esto se reducen las medidas de la gravedad, hechas sobre una superficie física, para el geoide se eliminan las masas topográficas. Con estas reducciones, se genera un modelo de la superficie terrestre con características diferentes de la real. Posteriormente, mediante la integral de Stokes se determina una separación entre el elipsoide de referencia y el geoide ficticio, que es un cuerpo resultante de la superficie terrestre modificada. Este geoide ficticio se denomina cogeoides. Para cada método de sustitución de masas topográficas se genera un cogeoides. Esa separación se conoce como efecto indirecto. Lo que se procura es adoptar un método de sustitución de masas topográficas que resultan con el menor efecto indirecto posible.

2.6.4 DETERMINACIÓN DEL GEOIDE POR MÉTODOS GEOMÉTRICOS (GNSS/NIVELACIÓN)⁵

Estos métodos se basan en crear una superficie continua a partir de puntos en los cuales se tenga el valor de la ondulación del geoide directamente (N). Para obtener este valor, se necesita medir la cota ortométrica (H) obtenida por nivelación geométrica y la altura elipsoidal (h), mediante técnicas GNSS, en varios puntos distribuidos por el área elegida. La expresión que relaciona estas alturas despreciando la desviación de la vertical ε y la curvatura de la línea de la plomada, es:

$$N_{\text{gnss}} = h - H \cos \varepsilon \cong h - H$$

Este método suele emplearse en zonas de pequeña extensión, y es muy empleado en obras de ingeniería, con resultados muy satisfactorios. La observación de la gravedad en estos puntos es opcional dependiendo del área sobre el que se va aplicar o los medios que se tengan en cada caso.

Para crear esta superficie continua se pueden emplear diferentes opciones:

1. Las expresiones polinómicas empleadas normalmente, suelen tener pocos grados, ya que no se disponen de muchos puntos en los que se conozca la ondulación directa, suelen ser expresiones del tipo:
 - a. Plano

$$N = aX + bY + c$$

- b. Bilineal

$$N = aX + bY + cXY + d$$

- c. Cuadrática

$$N = aX + bY + cX^2 + dY^2 + e$$

Es importante destacar que el aumento en el orden del polinomio empleado en el ajuste puede crear superficies poco realistas aunque se ajuste mejor.

2. Métodos de interpolación geoestadística o de malla rectangular:
 - a. Krigging.
 - b. Triangulación con interpolación lineal.
 - c. Mínima curvatura.
 - d. Inverso de la distancia...
3. Métodos basados en redes neuronales.

2.6.5 DETERMINACIÓN DEL GEOIDE POR MÉTODOS HÍBRIDOS O COMBINADOS⁶

En este apartado se considera el hecho de relacionar los métodos gravimétricos y los geométricos para la creación de un modelo combinado.

⁵Sierra Moreno, Manuel,(2009) “Asturgeo 09, Un modelo de combinado del geoide para el Principado de Asturias”

⁶ Sierra Moreno, Manuel,(2009) “Asturgeo 09, Un modelo de combinado del geoide para el Principado de Asturias”

Generalmente los geoides gravimétricos poseen una buena precisión relativa y una resolución adecuada para trabajos en diferencial, pero su posición absoluta es pobre. Esto se debe a que no tienen una validez práctica, ya que las ondulaciones N obtenidas se refieren a un elipsoide ideal del que no se conocen sus valores numéricos y que pueden estar afectados de sistematismos.

Por otro lado, los modelos basados en GNSS/Nivelación/gravedad tienen una gran precisión absoluta, referida al nivel medio del mar de algún mareógrafo, en el caso de España al de Alicante. Sin embargo, tienen una densidad bastante pobre al igual que una distribución mala, principalmente por seguir líneas de nivelación, las cuales exigen para su densificación enormes esfuerzos.

Combinando ambos métodos conseguiríamos dar utilidad práctica al modelo gravimétrico, lo que se denomina **“escalado del geode”**, mediante un control externo que aporta las observaciones GNSS/NIVELACIÓN. Con esto el geode resultante no será ni geocéntrico ni equipotencial pero se consigue un buen ajuste al geode real en el área. Este modelo de geode se puede considerar como local, ya que el sistema de referencia para las cotas ortométricas está referido no al geode sino al nivel medio de un mar determinado por un mareógrafo variable para cada país normalmente.

Dentro de los modelos híbridos existen dos modos:

- Aplicación de una **superficie correctora (SUPC)** a las diferencias entre la ondulación directa y la ondulación del modelo gravimétrico para ajustar y hacer mínimas estas diferencias.
- Otro modo, en el cual que se introducen como observaciones en un ajuste de masas del punto, los valores de las anomalías de gravedad, los datos de la ondulación GNSS/nivelación de alturas del cuasigeode aplicando la técnica eliminar-restaurar y reduciendo las observaciones de las largas longitudes de onda de un modelo global.

El método de SUPC se puede expresar de la siguiente forma:

$$N_{gnss} - N_{gravedad} = \text{residuos } (v_i) = \text{SUPC} + \text{residuos } (v_i) = \text{TX} + \text{SR} + \text{residuos } (v_i)$$

Esta superficie correctora está compuesta por dos componentes:

- Un modelo paramétrico o de tendencia, que denominaremos **TX**, que tiene como papel absorber las inconsistencias de los errores de los datos, es decir, de las ondulaciones del geode del modelo del geode ($N_{gravedad}$), de los errores GNSS en la altura elipsoidal (h) y de los errores en la altura ortométrica propios de la nivelación (H).
- Después de aplicar este modelo paramétrico a las ondulaciones del geode gravimétrico ($N_{gravedad} + TX = N_{gravedad} + TX$) podremos relacionarlas ya con las ondulaciones directas (N_{GNSS}), y modelar estas diferencias mediante la creación de una superficie continua o malla que denominaremos **SR**, y que es la segunda componente de la superficie correctora. Para la obtención de esta malla se emplea alguno de los conocidos métodos de interpolación (spline cúbico, krigging, mínima curvatura, triangulación, inverso de la distancia...) o por colocación mínima cuadrática empleando funciones covarianza. Finalmente, nos quedarán unos residuos mínimos que llamaremos, ruido residual de la superficie correctora.

Finalmente, tendremos para resumir el proceso la siguiente expresión:

$$(N_{\text{combinado}}) = N_{\text{gravedad}} + TX + SR + \text{ruido} (v_i)$$

2.6.6 MODELOS GEOIDALES DE CONTRASTE

En este apartado detallaremos los modelos geoidales que emplearemos para el contraste y cálculo de la superficie de referencia altimétrica:

- IBERGEO 95
- EGM96
- EGG97
- IGG2005 (Corchete)
- IBERGEO 08
- EGM2008, y su ajuste a REDNAP a cargo del IGN

Hay que destacar la gran diferencia que existe entre ellos, unos por ser globales y otros por ser regionales.

2.6.6.1 IBERGEO

En 1995 se publica el IBERGEO95, primer geoide gravimétrico de la península, con la aparición de nuevos modelos de geopotencial y nuevos datos de altimetría de satélite se calcula un nuevo geoide llamado IBERGEO08, con igual metodología que 1995, ambos calculados por M. Sevilla en 1995.

El método usado en ambos ha sido el mismo, la integral de Stokes. Después de eliminar una corrección de Helmert, se ha aplicado colocación para obtener una superficie de referencia de altitudes ajustada a puntos GPS/Nivelación. Los resultados se han comparado con los obtenidos en 437 puntos resultando una desviación típica de 13 mm y una precisión relativa de 0.62 ppm. A continuación se detalla una figura del IBERGEO08:

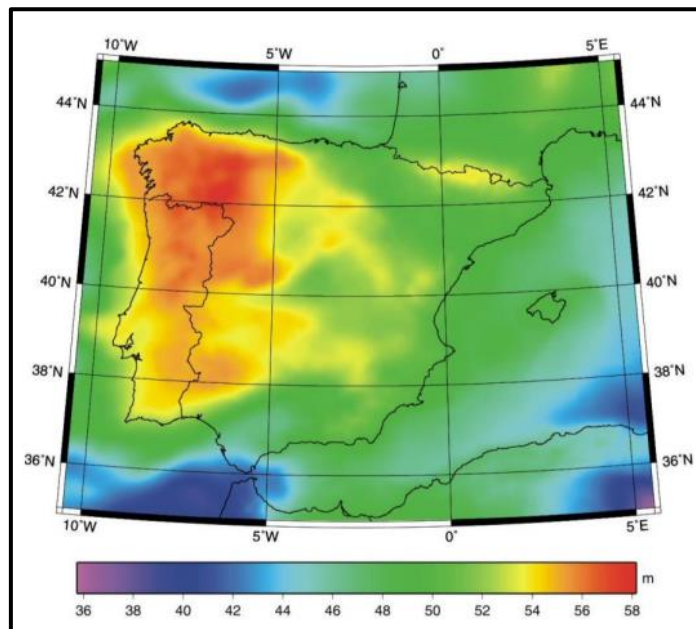


Figura 2.6-1 Representación geoide IBERGEO08

El modelo gravitacional usado ha sido el EIGEN-CG03C completo para el grado y orden 360, con 209752 anomalías de gravedad aire libre, MDT de 200x200m, altimetría por satélite, y datos GPS en los clavos proporcionados por el IGN y el IGP.

2.6.6.2 EGM96

Este modelo fue desarrollado mediante la colaboración de distintos centros de investigación, especialmente el Laboratory for Terrestrial Physics.

Se han empleado para su elaboración datos de gravedad, observaciones SLR, Doppler etc...

Está definido hasta grado 360, es decir se han calculado hasta orden de 131000 coeficientes armónicos.

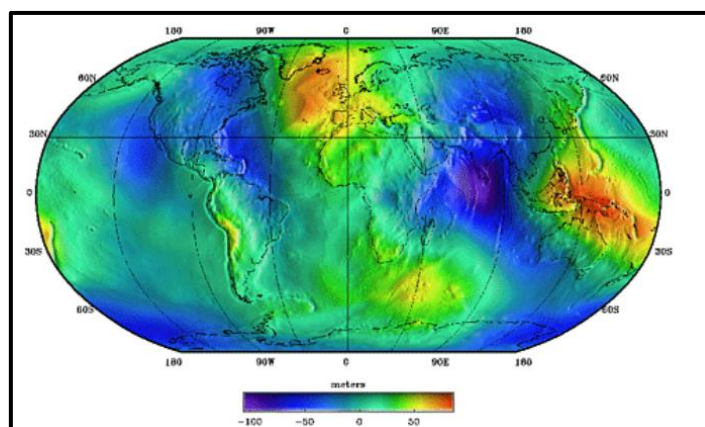


Figura 2.6-2 Representación geoide EGM96

Las calibraciones realizadas sobre el error cometido en la determinación de este geoide/modelo geopotencial proporciona los errores medios cuadráticos siguientes, en áreas continentales 28 cm, en latitudes comprendidas entre 66° y 82°, 21 cm, considerando toda la superficie terrestre 18 cm, en áreas oceánicas 12 cm y en latitudes inferiores a 66° solo 11 cm.

2.6.6.3 EGG97

European Gravimetric Geoid, modelo de cuasigeoide que abarca un área comprendida entre 25°N y 77° N y 35°W y 67.4 °E, con una malla de 1'x1.5' o de 10'x15'.

Los datos empleados para su cálculo han sido:

- Modelo global EGM96 hasta grado 50
- Datos gravimétricos con cobertura de 10 km en todos los países europeos, incluyendo datos de Rusia y de los países del este de Europa.
- Datos gravimétricos en áreas marinas obtenidos de la misión ERS-1.
- Alturas ortométricas obtenidas de un MDT de 7.5''x7.5''.

El método empleado fue el de eliminación-restauración. La precisión relativa se cifra en 0.1-1 ppm, estimándose que en áreas con buena cobertura de datos la precisión oscila entre los ± 1 -5cm desde 10 km a unas pocas centenas de km y ± 5 -20cm para distancias de unos pocos millares de km.

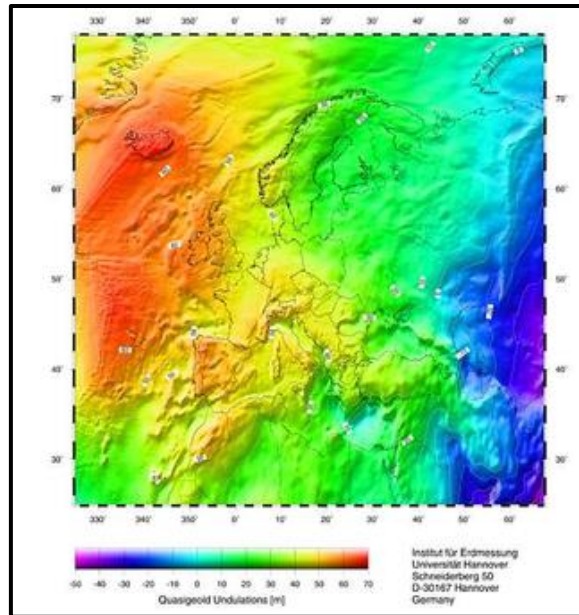


Figura 2.6-3 Representación geoides EGG97

2.6.6.4 IGG 2005, CORCHETE

Geoides gravimétrico obtenido por medio de la integral de Stokes, se ha conseguido un modelo de geoides constituido por una cuadrícula regular de 361x561 puntos distribuidos para la zona de 35° a 44° N y de 10°W a 4°E, con una malla de 1.5'x1.5'. Su desviación típica es de unos 28 cm. Desarrollado por Víctor Corchete de la Universidad de Almería.

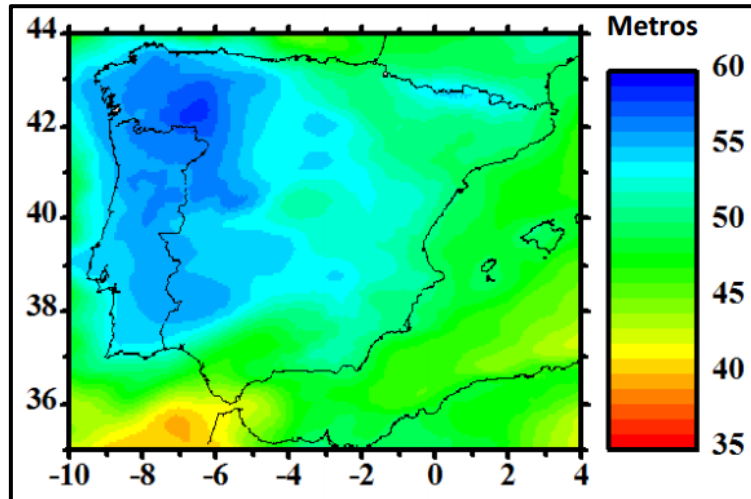


Figura 2.6-4 Representación geoides IGG05

2.6.6.5 EGM08

El Earth Gravitational Model EGM2008 ha sido publicado por la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial-EE.UU. (NGA). Este modelo gravitacional es completo a nivel de armónicos esféricos y para 2159, y contiene coeficientes adicionales que se extienden al grado 2190 y orden 2159.

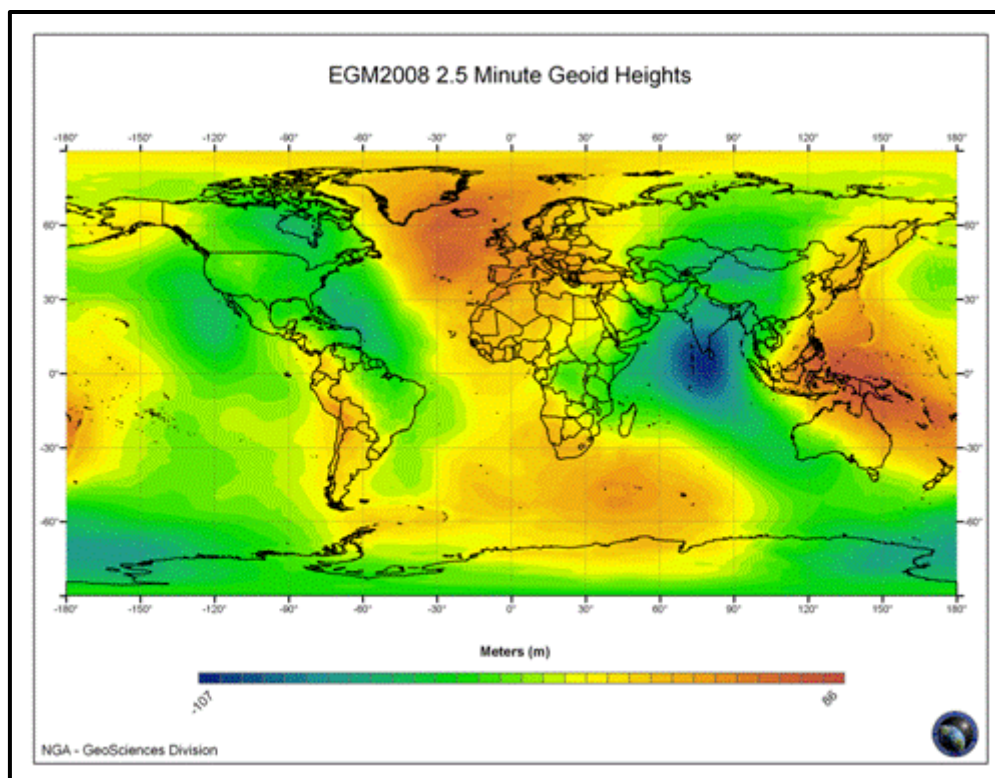


Figura 2.6-5 Modelo EGM08 con malla de 2.5'

2.6.6.6 EGM08-REDNAP

El Centro de Observaciones Geodésicas ha publicado a finales de 2009 el modelo de geoide EGM08-REDNAP, adaptando el modelo gravimétrico mundial Earth Gravitational Model 2008 (EGM08) al marco de referencia vertical dado por la Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP) .

Las fuentes de datos que se han utilizado para la creación de una superficie de corrección a la ondulación gravimétrica han sido señales de REDNAP (con altitud ortométrica) en donde se ha determinado la altitud elipsoidal mediante GNSS (casi 14.000 señales).

Las diferencias entre los valores observados y los calculados por el modelo generaron una superficie de corrección y adaptación a REDNAP del modelo original EGM2008 gravimétrico. Para la generación de la superficie de corrección se eligió el algoritmo de superficie de mínima curvatura.

Se estima una desviación estándar de 3.8 cm y una precisión relativa de 2 ppm.

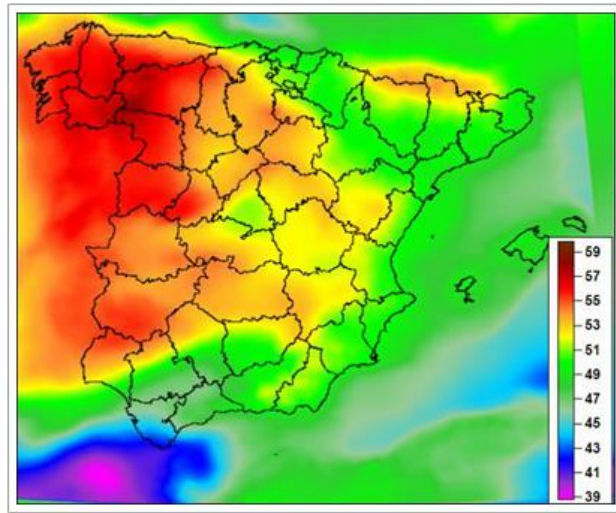


Figura 2.6-6 Representación EGM08-REDNAP

2.7 EL SISTEMA GPS

2.7.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA GPS

El Global Positioning System (GPS) fue concebido para determinar posiciones en tierra, mar aire o en el espacio, partiendo de posiciones conocidas de una constelación de satélites. La señal enviada por el satélite, es continuamente registrada en su propio tiempo de transmisión por el receptor, de tal forma que si el reloj de éste, está sincronizado con el reloj del satélite se podrá calcular el tiempo de transmisión de la señal. Aparte del posicionamiento de puntos, son también objetivos del GPS, la determinación de la posición instantánea y la velocidad de un móvil, así como la coordinación precisa de tiempos.

El GNSS utiliza pseudodistancias, obtenidas de las señales de radio emitidas por los satélites. La pseudodistancia se calcula midiendo el tiempo de viaje de la señal, y multiplicando por su velocidad o por medidas de fase de la señal. En ambos casos, se emplean los relojes u osciladores del satélite y del receptor. Dado que los relojes no están perfectamente sincronizados, en lugar de verdaderas distancias, se obtienen pseudodistancias. Consecuentemente, cada ecuación que relaciona satélite y receptor, contiene cuatro incógnitas, las coordenadas del punto de estación del receptor, y el error de sincronización del reloj. En el sistema GNSS se parte del hecho de que existen al menos cuatro satélites visibles desde cualquier punto y durante las 24 horas del día. Cuando se usan diferencias de fase existe una ambigüedad a la hora de medir la pseudodistancia, que es el número entero de longitudes de onda comprendido en ella, y que será otra incógnita a calcular.

El GPS está dividido en tres segmentos:

- Segmento espacial, conteniendo los satélites emisores de emisores de señales.
- Segmento de control, que gobierna el sistema.
- Segmento usuario, que incluye todos los diferentes tipos de receptores.

2.7.1.1 SECTOR ESPACIAL

Con el sector espacial al completo, el sistema GPS proporciona una cobertura global con un número comprendido entre cuatro y ocho satélites que se pueden observar simultáneamente, con una elevación superior a 15°. Si la elevación se reduce a 10°, ocasionalmente se pueden observar diez satélites, aumentando hasta doce, cuando la altura sobre el horizonte se reduce a 5°. Los satélites están en órbitas casi circulares a una altura de 20200 km y con un período de 11^h 57^m 58.3^s, aproximadamente doce horas sidéreas. En un principio, el número de satélites fue de veinticuatro, en tres planos orbitales inclinados 63° con respecto al ecuador. Más tarde, el número de se redujo a dieciocho, con tres de ellos en cada una de las seis órbitas. Esta nueva constelación fue rediseñada, como consecuencia de que no proporcionaba una cobertura de 24 horas. En el año 1986, se amplió el número de satélites a veintiuno, tres en cada una de las seis órbitas anteriormente indicadas y los tres de repuesto. Esencialmente, estos satélites GPS son la base para los transmisores-receptores, relojes atómicos, computadores y demás equipamiento para la operatividad del sistema. El equipamiento electrónico de cada satélite permite al usuario medir la pseudodistancia al satélite, y éste a su vez emite un mensaje que posibilita al usuario la determinación de la posición de dicho satélite en cualquier instante. Entre otros equipamientos, cada satélite lleva dos paneles solares de 7 m² de superficie, que proporcionan la fuente de alimentación necesaria para la estabilidad, control y ajuste de órbitas de los mismos. Además dispone de un sistema de propulsión para ajustar su órbita y controlar su estabilidad. Por otra parte, los satélites disponen de diversos sistemas de identificación, tales como: número de lanzamiento; código de “ruido pseudoaleatorio” (Pseudo Random Noise PRN), que son códigos rotados entre sí 90° y grupos de secuencias binarios que presentan

características de ruido aleatorio; número de catálogo de la NASA y designación internacional. A fin de evitar confusiones, en el mensaje de navegación.

Otro aspecto interesante es el número de clases o tipos de satélites GPS existentes, que actualmente están agrupados en cinco bloques: Bloque I, Bloque II, Bloque IIA, Bloque IIR y Bloque IIF.

2.7.1.1.1 RELOJES

La fuente de frecuencia, la seguridad del sistema, etc., están controlados por relojes atómicos. Los relojes del Bloque I eran menos fiables que los empleados en la actualidad. Algunos eran de cuarzo, con precisiones de 10^{-10} . Los satélites pertenecientes al Bloque II disponen de cuatro relojes: dos de rubidio y dos de cesio, cuya estabilidad es del orden de 10^{-13} – 10^{-14} s/día. Uno de estos relojes es seleccionado desde la estación maestra de control para dar servicio. En el Bloque II R se tiene pensado utilizar osciladores atómicos de hidrógeno, conocidos como “máseres” de hidrógeno, con precisiones del orden 10^{-14} - 10^{-15} .

La precisión de un oscilador, o mejor dicho, su estabilidad se caracteriza por dos valores: estabilidad en corto período (short term stability) y estabilidad en largo período (long term stability), aunque generalmente sólo se nombra el primero.

La estabilidad en corto período se mide sobre un segundo(a menos que se especifique otro) y representa la dispersión de los valores de frecuencia o anchura de banda. Por ejemplo: si durante un segundo la frecuencia de un oscilador, de 10 Mhz de frecuencia nominal, fluctúa 5 Hz arriba y abajo, la anchura de banda, o dispersión, es de 10 Hz y, por tanto, tendría una estabilidad en corto período de 10^{-6} , ya que 10 Hz es la millonésima parte de la frecuencia nominal.

La estabilidad de largo período se mide sobre un año (salvo que se especifique otro) y representa la deriva del oscilador, es decir: un oscilador de 10 Mhz de frecuencia que al cabo de un año tenga 10,0001 Mhz habrá sufrido un incremento de 100 Hz, que es la cienmilésima parte de la frecuencia nominal, con lo que la estabilidad de largo período será de 10^{-5} .

En los osciladores de hidrógeno, la estabilidad de los mismos es de 10^{-14} - 10^{-15} y se refiere a la de corto período. Es lógico, pues, usar este valor como dato de referencia dado que es el único significativo en un experimento, medida u observación que dure minutos, horas o días. La deriva (long term), que es virtualmente lineal. La deriva (long term), que es virtualmente lineal, puede ser obviada en el período mencionado a causa de su pequeño valor.

El funcionamiento de un reloj atómico se basa en la transición entre niveles de energía de átomos concretos, la cual produce una oscilación de frecuencia muy precisa que se utiliza para controlar por realimentación un oscilador piezoeléctrico de cuarzo, cuya frecuencia estabilizada de esta forma es la que se utiliza.

El término “máser” de hidrógeno también se aplica a los amplificadores de bajo ruido usados en radiotelescopios, y en ciertas partes de sus componentes electrónicos necesita temperaturas tan bajas, que se hace necesario el uso de helio líquido.

El significado de la precisión 10^{-10} en los relojes de cuarzo, y de 10^{-14} de los hidrógeno, representa lo que tarda la luz en recorrer una distancia de 30 milímetros. Para 10^{-10} indica una variación de un segundo en 300 años, mientras que 10^{-14} , equivale a un segundo en tres millones de años.

A partir de la alta estabilidad de estos relojes se produce una frecuencia fundamental denominada de la banda L, cuyo valor es de 10,23 Mhz, y que sirve de fuente para las restantes frecuencias y señales utilizadas en todo el conjunto de la señal radiodifundida.

2.7.1.1.2 PORTADORAS Y CÓDIGOS

El satélite emite sobre dos portadoras L1 y L2 correspondientes a la banda L de radiofrecuencias, que son el resultado de multiplicar, respectivamente, la frecuencia fundamental de 10,23 Mhz por 154 y por 120, lo que da lugar a unos valores de 1575,42 y 1227,60 Mhz para L1 y L2, a los que corresponden unas longitudes de onda $\lambda_1 = 19,0425$ cm y $\lambda_2 = 24,4379$ cm. La banda L abarca desde 1 Ghz a 2Ghz y el hecho de utilizar dos frecuencias permite conocer y eliminar el valor del retardo ionosférico.

Sobre las frecuencias portadoras L1 y L2 se modulan⁷ el código P (Precise o Protected Code) y sobre L1 el código C/A (Course/Aquisition o Clear/Access). Ambos códigos P y C/A están desfasados entre sí 90° para poder separarlos con posterioridad. Básicamente, se trata de grupos de secuencias binarias de información que presentan características de ruido aleatorio, es decir, PRNs, que se incorporan a las portadoras como modulaciones binarias bifásicas, esto es, como cambios de fase, de 0° para representar un cero binario, o de 180°, para representar un 1 binario.

La modulación se efectúa de acuerdo con algoritmos polinómicos característicos para cada satélite, que van incorporados a la memoria de los receptores GPS. Estos códigos sirven para identificar a cada satélite en particular, así como conectar con el mensaje de navegación y permitir calcular el retardo de la señal entre el satélite y el receptor.

El código C/A es un código PRN con una longitud de 1023 bits y 1,023 Mhz de frecuencia nominal, por cuyo motivo se repite cada milisegundo, es decir, mil veces por segundo. Está generado por la combinación de dos códigos intermedios, denominados códigos Gold, cuya longitud de código es también 1023 bits, viniendo expresado por la ecuación:

$$C/A(t) = G_1(t) \cdot G_2(t) + N_i(10T)$$

en la que N_i en períodos enteros, representa el desfase entre $G_1(t)$ y $G_2(t)$, siendo:

$$T = \frac{1}{10,23} \text{ Mhz} \quad 10T = \frac{1}{1,023} \text{ Mhz}$$

⁷ Modular: variar el valor de la amplitud, frecuencia o fase de una onda portadora en función de 1 señal.

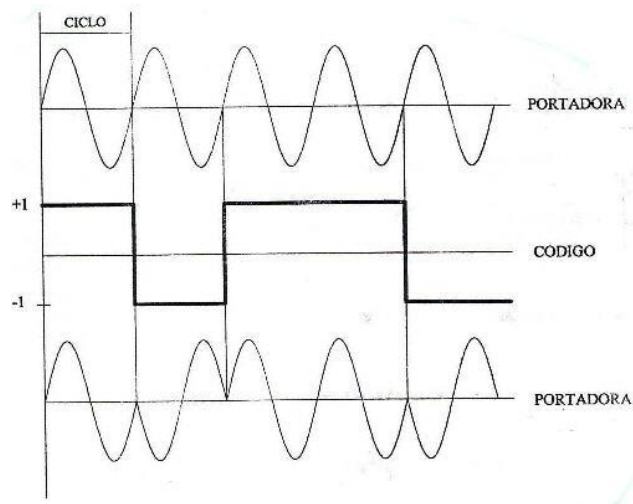


Figura 2.7-1 Esquema frecuencias y código GPS

Existen 1023 valores distintos de N_i por lo que se pueden generar 1023 códigos C/A diferentes. En tal situación, se tendrá entonces 1025 códigos Gold con el mismo período de $10T$, de los que dos son el G_1 y G_2 y los restantes son C/A.

En este sentido, dado que la longitud del código C/A es de 1023 bits, resulta relativamente fácil su captura por cualquier receptor codificado, estando disponible para usos civiles.

Por su parte, el código P es un código PRN largo, que básicamente se trate de una sucesión de números binarios dispuestos en orden aleatorio, cuyo generador está constituido por dos generadores de códigos intermedios, que a su vez están formados por dos generadores básicos de código, de acuerdo con la figura.

Los generadores de código intermedio generan los códigos $X_1(t)$ y $X_2(t+n_i T)$, siendo el período de X_1 igual a 1,5 segundo y longitud de 15345000 bits, y la del código X_2 15345037 bits. Entonces, el código P es generado por:

$$P(t) = X_1(t) \cdot X_2(t + n_i T)$$

donde:

$$0 < n_i < 36 \quad \text{y} \quad T = \frac{1}{10.23} \text{ Mhz}$$

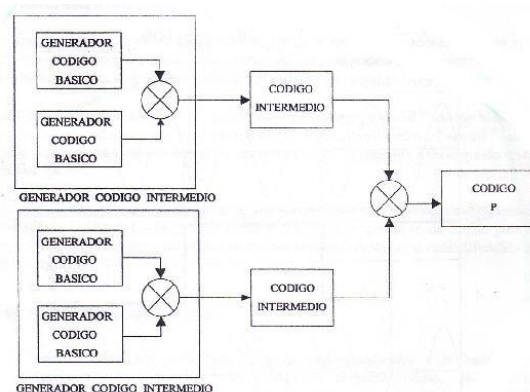


Figura 2.7-2 Generación de códigos GPS

Cada satélite tiene su propio código offset ($n_i T$), que permite distinguir su propio código P, existiendo 37 códigos P diferenciados mediante los valores de n_i comprendidos entre 0 y 36.

El producto de los códigos intermedios proporciona la longitud final del código P, cuyo valor viene dado por:

$$(1.5345 \times 10^7 \text{ bits}) \cdot (1.5345037 \times 10^7 \text{ bits}) = 2.3546959 \times 10^{14} \text{ bits}$$

El primer factor es la longitud correspondiente a $X_1(t)$, mientras que el segundo representa la longitud de $X_2(t)$, con lo cual se puede observar que este último es 37 bits más largo que el primero, circunstancia que se justifica por hecho de permitir que n_i pueda tomar todos los valores de 0 a 36 sin que exista la posibilidad de que algún elemento del código P de un satélite sea igual al del otro satélite.

Sabiendo que la frecuencia-bit del código es de 10,23 Mbits/s, la duración completa del código P será:

$$T = \frac{\text{Duración del código}}{\text{frecuencia - bit}} = \frac{2.3546959 \times 10^{14} \text{ bits}}{10.23 \times 10^6} = 2.3017555 \times 10^7 \text{ s}$$

Generalmente, en la bibliografía existente sobre GPS se suele definir la duración del código P como de 267 días, lo cual no tiene mucha importancia porque el código mencionado se reajusta cada semana, efectuándose la inyección los sábados a medianoche iniciándose el cómputo del código P a partir de ese momento. El código P completo que como se ha dicho tiene una duración aproximada de 267 días (37 semanas), se divide de tal forma que cada satélite tiene asignada una única fracción de una semana del código, la cual no puede solaparse con la asignada a otro satélite, por cuyo motivo sirve para caracterizarlo. Un elemento en la secuencia del código corresponde a un intervalo de unos 100 nanosegundos, lo que equivale a 30 metros de distancia. El período mencionado de 1,5 segundos del código P se conoce con el nombre de Z-count (cuenta Z). Después de 403199 Z-counts, correspondientes a una semana, los generadores se redisponen de nuevo, el código P comienza a correr nuevamente.

La función de Z-count se desarrolla dentro de la palabra HOW del mensaje de navegación. Cada seis segundos la información del mensaje de navegación del satélite contiene una nueva cuenta Z, la cual determina en qué punto se encuentra la transmisión del código P, lo cual que resulta necesario para no tener que trabajar sobre grandes extensiones del código P, puesto que con la frecuencia de asimilación de este código con un receptor codificado, la lectura

de un solo segundo del código podría llevar días, ya que, por ejemplo, para una valor típico de 50 bits/s sería:

$$\frac{10.23 \times 10^6 \text{ bits}}{50 \frac{\text{bits}}{\text{s}}} = 5.115 \times 10^5 \text{ s}$$

Por tanto, los receptores codificados efectúan en primer lugar el tratamiento del código C/A, de longitud de código de solo 1023 bits, y a través de la palabra binaria HOW del mensaje de navegación, puede conocer de forma exacta cuanto ha corrido el código P en su secuencia.

Por otra parte, si el usuario conoce “a priori” las pseudodistancias a un satélite con una precisión de 10–20 km, con una estima aproximada y realizando medidas precisas del satélite GPS, puede conseguir un tratamiento bastante inmediato del código P si necesidad de actuar previamente sobre el código C/A. En la tabla siguiente se expone un cuadro de las frecuencias utilizadas por los componentes de las señales emitidas por los satélites:

Componente	Frecuencia
Frecuencia fundamental	$f_0=10.23$
Portadora L_1	$154 f_0 = 1575.42 \approx 19 \text{ cm}$
Portadora L_2	$120 f_0 = 1227.60 \approx 24.4 \text{ cm}$
Código P	$f_0=10.23$
Código C/A	$f_0 / 10 = 1.023$
Código ω	$f_0 / 20 = 0.5115$
Mensaje de navegación	$f_0 / 204600 = 50 \times 10^{-6}$

Tabla 2.7-1 Componentes señal GPS

El código ω se utiliza para encriptar el código P al código Y, cuando está implementado el anti-spoofing, cuestión que será tratada más adelante en el apartado de disponibilidad.

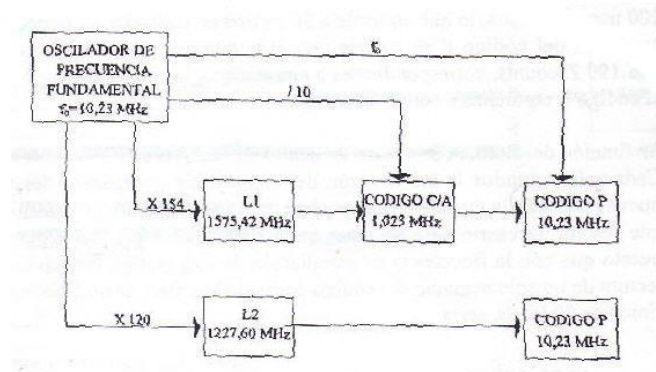


Figura 2.7-3 Frecuencia fundamental GPS y sus derivadas

2.7.1.1.3 MENSAJE DE NAVEGACION

El mensaje de navegación es modulado en ambas portadoras L1 y L2, conteniendo la información necesaria para la determinación de la posición, el estado de fiabilidad de dicha información, las efemérides de los satélites, la medida del tiempo GPS, las correcciones de los satélites y el almanaque. Esencialmente, el mensaje de navegación consta de 1500 bits de información distribuidos en cinco bloques secundarios de 300 bits cada uno, quienes a su vez están formados por diez palabras de 30 bits cada una. La velocidad de transmisión es de 50 bits/s; cada palabra se transmite en 0,6 segundos, cada bloque en 6 segundos y el mensaje es de 30 segundos, según lo que se indica en la tabla siguiente:

	Número de Bits	Tiempo de transmisión
Mensaje de navegación	1500	30 segundos
Bloques (1-5)	300	6 segundos
Palabras (1-10)	30	0.6 segundos

Tabla 2.7-2 Mensaje de navegación GPS

Cada bloque comienza con las palabras TLM (Telemetry message) y HOW (Hand-Over-Word). Estas dos palabras binarias son generalmente generadas por propio satélite, mientras que las ocho palabras restantes de cada bloque están generadas por el segmento de control.

La palabra TLM está constituida por un preámbulo de ocho bits para el modelo de sincronización, catorce bits para el Mensaje Telemétrico, dos bits no informáticos y seis bits de paridad, que hacen un total de 30 bits. El Mensaje Telemétrico informa del estado de la información inyectada, así como de aspectos referentes a la medida del momento de rotación residual y momento de inercia de los satélites. Por lo general, la TLM sólo es empleada por el Segmento de Control para realizar un chequeo de la información inyectada al satélite.

La palabra HOW proporciona la información relativa a la Z-count para ajustar el código P. Contiene 17 bits de información sobre la Z-count, un bit de sincronización, 3 bits de identificación del bloque de mensaje, dos bits no informáticos y seis bits de paridad.

El bloque 1 del Mensaje de navegación es el primer submensaje (Datablock I), que se repite cada 30 segundos y se genera por segmento de control, tiene una duración de seis segundos, una longitud de 30 bits y contiene los parámetros de corrección del reloj del satélite, al objeto de corregir su estado con respecto al receptor. Asimismo, está provisto de la palabra AODC (Age of Data Clock), la cual define la edad de la información del bloque y los coeficientes de un modelo para la corrección del retardo por propagación ionosférica para aquellos receptores de una sola frecuencia. Está integrada en la palabra TGD (Time Group Delay), que no es necesaria para los receptores duales de dos frecuencias L1 y L2, ya que los retardos ionosféricas se corrigen por comparación de tiempos en la llegada de ambas señales. La figura siguiente muestra la estructura del bloque 1 del mensaje de navegación.

El submensaje II está formado por los bloques 2 y 3 y contiene en total 600 bits, con una duración de 12 segundos, repitiéndose cada 30 segundos. También contiene la información relativa a las efemérides de los satélites, es decir, la situación que ocupan en la órbita en función del tiempo. Estas efemérides son calculadas por el segmento de control, inyectándose al satélite cada hora y disponiendo tanto de los parámetros orbitales keplerianos, como sus correspondientes correcciones. Además incluye la palabra AODE (Age of Data Ephemerides Word), lo que permite conocer al usuario el momento de la inyección de los datos de las efemérides, siendo usado como un factor de error. La información de las efemérides solo es válida para unas pocas horas y los valores de los parámetros de las mismas se obtienen mediante ajuste por Mínimos Cuadrados de la órbita predicha, dentro de un intervalo de cuatro a seis horas.

Aunque las órbitas de los satélites son consideradas circulares, las efemérides transmitidas incluyen desviaciones periódicas y no periódicas de las órbitas mencionadas, que son debidas a los campos gravitatorios generados por el Sol, la luna y los planetas. Teniendo en cuenta la irregularidad de la distribución de la masa terrestre, las órbitas tienen una excentricidad generalmente menor que 0,005, con un límite superior de 0,015.

El bloque 4 consta de 300 bits con una duración de seis segundos; está reservado para mensajes alfanuméricos de futuras aplicaciones y se conoce como bloque de mensaje.

El submensaje III está constituido por el bloque 5 del mensaje de navegación, siendo emitido cada 30 segundos. Sin embargo, no se repite cada 30 segundos ya que hay 25 bloques de información pertenecientes a este submensaje que van apareciendo cada 30 segundos. Por ello, se necesitan 12,5 minutos para la recepción completa del este submensaje III, al cabo de los cuales se vuelve a reiniciar la emisión.

Esto es debido a que el bloque 5 contiene en cada grupo de 30 segundos el almanaque de datos de un satélite, incluyendo su estado y las correcciones del reloj, por cuyo motivo en 25 mensajes sucesivos se obtienen los almanaques de los 25 satélites operativos del sistema GPS.

El almanaque da una idea general de cada uno de los satélites, información que incluye las efemérides, las correcciones de los relojes y los valores estimados de los retardos atmosféricos, estando generada por la combinación de los submensajes I y II de cada satélite.

El almanaque se necesita para conocer cuáles serán los satélites visibles en un momento considerado, con el fin de poder seleccionar los más convenientes para obtener una buena geometría, y tiene una validez de semanas (1 mes aproximadamente).

Los equipos de recepción almacenan el almanaque en su memoria y lo actualizan automáticamente según vaya cambiando este.

Tanto efemérides transmitidas de los bloques 2 y 3, como el almanaque del bloque 5, se obtienen a partir de las órbitas predichas, refiriéndose ambos términos a los procesos de cálculo mediante los cuales se calcula, para un determinado intervalo de tiempo, el vector de estado (posición y velocidad) del satélite. De acuerdo con las necesidades de precisión y eficacia pueden utilizarse técnicas de cálculo diferentes, es decir, desde una solución analítica aproximada hasta métodos de integración numérica para precisiones más elevadas.

El término almanaque se emplea aquí para distinguir la órbita aproximada, necesaria para efectuar una planificación de observaciones GPS, de la órbita sumamente precisa determinada por las efemérides, que a su vez resulta necesaria para el tratamiento de las observaciones GPS.

El almanaque también es usado para conocer las horas de ortos y ocasos de los satélites, así como para generar un gráfico del cielo que muestra la trayectoria de los mismos sobre la posición de una determinada estación receptora, lo cual es un modelo de baja precisión, pero que resulta realmente útil y calcula aplicando una simple técnica analítica, que por lo general solo tiene en cuenta el efecto del campo geopotencial sobre el movimiento del satélite. Por tanto, el almanaque así generado puede tener errores de decenas de kilómetros al cabo de unos pocos días, pudiendo llegar a ser de centenares de kilómetros transcurrido un mes de tiempo.

No obstante, si se tiene en cuenta que el satélite tiene una velocidad aproximada de 4 km/s el error orbital después de un mes desde que se efectuó la previsión sería de $1,0368 \times 10^6 \text{ km}$, que resulta equivalente a la variación de un minuto de tiempo sobre la época de orto y ocaso, razón por la cual el almanaque puede ser utilizado para planificaciones incluso con antigüedad de varios meses.

Las efemérides transmitidas son calculadas mediante un proceso que consta de las siguientes etapas:

Con datos provenientes de un seguimiento previo y para un período de varias semanas, para cada satélite se genera una órbita extrapolada para el futuro (predicha).

Los elementos orbitales predichos se utilizan como valores de partida en un programa de filtrado Kalman, con el fin de obtener datos actuales estimados de las posiciones de los satélites y sus velocidades. Al comienzo y final de cada día, los datos adquiridos en el seguimiento desde las estaciones de seguimiento son utilizados para actualizar la posición diaria de la órbita de referencia, en cuyo momento se calculan los valores de los vectores de estado para el final del día.

A partir de los anteriores vectores de estado actualizados se extrapolan de nuevo las órbitas para las dos próximas semanas.

La información sobre la órbita que se transmite en el mensaje de navegación se basa en una curva ajustada para estas largas efemérides extrapolada. La curva se ajusta para intervalos de cuatro a seis horas de datos de efemérides.

Acto seguido, estos cortos arcos ajustados se transforman desde coordenadas cartesianas a elementos pseudokeplerianos, los cuales se inyectan al satélite y los almacena en su memoria. Cada hora se inyectan elementos nuevos que remplazan a los anteriores. Como la inyección de datos se realiza diariamente, las efemérides predichas para el segundo día y sucesivos no son transmitidas, a no ser que resulte imposible la inyección. Los datos de seguimiento obtenidos diariamente se utilizan junto con las órbitas de referencia para predecir

las efemérides de los días siguientes, por lo que es fácil suponer que la precisión de las efemérides sufrirá una degradación en función del tiempo transcurrido desde la última inyección y de la antigüedad de las órbitas de referencia.

2.7.1.1.4 DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA

Ya se ha mencionado que los códigos de acceso al sistema GPS eran el C/A, disponible para los usuarios en general, y el código P reservado para los usuarios militares y usuarios autorizados. Pues bien, originalmente se esperaba que el posicionamiento por pseudodistancias a través del código C/A fuese de precisiones de 400 metros. Sin embargo resultó una sorpresa comprobar que las precisiones obtenidas realmente eran del orden de 15-40 metros en tiempo real, así como fracciones de metros por segundo de velocidad, lo cual suponía en la práctica que con el posicionamiento estándar se obtenía la fiabilidad del posicionamiento de precisión.

Dado que no se deseaban usuarios civiles no autorizados utilizando un sistema de posicionamiento con precisiones mejores de 100 metros, se adoptó la decisión de degradar la precisión obtenida con el código C/A, a lo que se convino denominar Selective Availability (S.A.), que puede ser traducido como “disponibilidad selectiva”.

En la actualidad la disponibilidad selectiva no tiene efecto ya que ha sido desactivada en el mes de mayo del 2000 por decisión del presidente de los EE.UU.

2.7.1.2 SECTOR DE CONTROL

El sector de control es el encargado de controlar y corregir las órbitas de los satélites del sector espacial, así como las de sus relojes u osciladores. La información obtenida de este seguimiento es enviada a una denominada “Estación espacial”, en la que se calculan las órbitas futuras de los satélites como función del tiempo. Los cálculos realizados y las correcciones de los relojes de los satélites están introducidos en el mensaje de navegación.

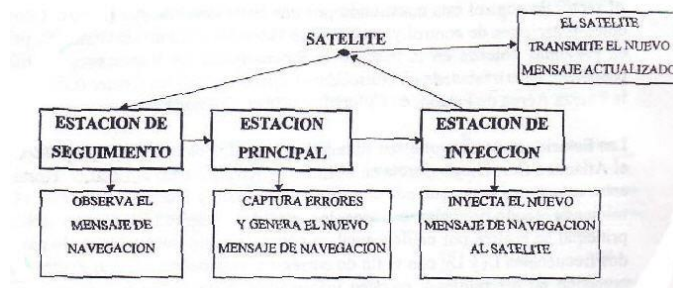


Figura 2.7-4 Esquema flujo sector de control

El sector de control está constituido por una Estación principal (Master Control Station) y cinco Estaciones de control y seguimiento (Monitor Station). La Estación principal estuvo en principio ubicada en la base de la Fuerza Aérea de Vandenberg (California), siendo posteriormente trasladada al Considedated Space Operations Center (CSOC), en la base de la Fuerza Aérea Falcon, en Colorado Springs, Colorado.

Las estaciones de control están situadas en Hawaii, Colorado Springs, Isla de Ascensión en el Atlántico Sur, Diego García en Índico y Kwajalein en el Pacífico Norte. Cada una de estas estaciones está equipada con un reloj de cesio y receptores que están continuamente midiendo pseudodistancias a todos los satélites visibles. El control desde la Estación principal se realiza por cable y reciben continuamente los mensajes de navegación en las frecuencias L1 y L2, con el fin de corregir el retardo ionosférico. Asimismo, registran la precisión de los relojes y recogen información meteorológica, que envían a la Estación principal para corregir el retardo

troposférico. Todos los satélites con una altura superior a 5° sobre el horizonte de una estación son rastreados por esta.

Una vez calculadas por la Estación principal las efemérides, los estados de los relojes y demás información, se transmiten de nuevo a los satélites a través de tres estaciones inyectoras situadas en Ascensión, Diego García y Kwajalein, información que es almacenada en la memoria de los satélites para su posterior radiodifusión.

Por lo dicho hasta aquí, las efemérides radiodifundidas corresponden a las observaciones realizadas desde estas cinco estaciones y por extrapolación son las normalmente utilizadas en cualquier otro sitio.

La precisión de estas efemérides permite la determinación de la posición de un satélite con error menor de un metro en sentido radial, 7 metros a lo largo de la trayectoria y 3 metros en sentido transversal.

Es posible usar efemérides calculadas “a posteriori”, que se denominan efemérides precisas, obtenidas de forma muy exacta por observación de satélites desde puntos de situación conocida, con coordenadas determinadas generalmente por sistemas VLBI o SLR (Very Long Baseline Interferometry o Satellite Laser Ranging), lo que permite obtener precisiones mejores de 0,1 ppm en lo referente a las efemérides, cuyo límite actual para las radiodifundidas es de 3 o 4 ppm.

2.7.1.3 SECTOR USUARIO

El sector del usuario está constituido por todos los equipos empleados, permanentes u ocasionales, para la recepción de las señales emitidas por los satélites y empleados para el posicionamiento, ya sea estático o cinemático, navegación o para la determinación del tiempo con precisión.

Básicamente, el equipo está fundamentalmente formado por el receptor y la antena.

En general, se conoce como receptor GPS u equipo constituido por una antena con preamplificador, para captar las señales emitidas por los satélites, y un receptor que permite seguir, registrar, controlar, almacenar y visualizar los datos, cálculos, presentación de resultados y todas aquellas otras funciones necesarias para una buena posición de los satélites.

Hay receptores que llevan incorporado un procesador-calculador, así como el soporte magnético necesario para el almacenamiento de los datos. Otros, sin embargo, solo registran los datos y después resulta necesario volcarlos a un PC para su posterior tratamiento. No obstante, todos los receptores llevan un oscilador de cuarzo muy estable, del orden de 10^{-9} , equivalente al tiempo que tardaría la luz en recorrer una distancia de 300 mm, cuya misión es generar una frecuencia fundamental de la que derivan todas las demás que son necesarias para el proceso de medición.

Los receptores se pueden clasificar atendiendo a varios criterios: según la señal que reciben y procesan, proceso de medición, modo de funcionamiento, etc. Un ejemplo de clasificación podría ser el siguiente:

- Receptores no codificados
- Receptores codificados

Los receptores no codificados no reconocen los códigos P y C/A, por lo que efectúan un tratamiento de la seña recibida, considerada como fuente de ruido, utilizando los procedimientos de cuadratura de la señal e interferometría. Son aparatos de gran precisión en el posicionamiento

estático relativo porque van equipados con receptores de doble frecuencia L1 y L2. Sus principales inconvenientes estriban en que no son cinemáticos; necesitan efemérides muy precisas, porque no descodifican el mensaje de navegación, y no proporcionan el posicionamiento instantáneo.

Por su parte, los receptores codificados utilizan todos los datos emitidos por los satélites y, generalmente, están equipados con receptores de las frecuencias L1 y L2. Para el proceso de los datos pueden emplear la técnica de cuenta Doppler integrada, medida de pseudodistancias y medida de la fase de la portadora. Asimismo, pueden ser empleados en modo estático, cinemático, navegación, posicionamiento absoluto, relativo, etc.

Como se ha dicho anteriormente, si se atiende a la estructura física según la cual los receptores siguen a los satélites, se puede establecer otro tipo de clasificación de los mismos de acuerdo con el tipo y modalidad de los canales de recepción. Se define como canal de recepción GPS a todos los elementos necesarios para el seguimiento de un satélite y la recepción de una de las frecuencias portadoras. En consecuencia de ello, puede haber receptores de canal tipo cuadratura y de canal tipo correlación.

El receptor de canal tipo cuadratura básicamente consiste en un detector o demodulador cuadrático que multiplica por sí misma la señal recibida, obteniendo un segundo armónico de la portadora que no contiene la modulación del código, puesto que si:

$$y = A \cos(\omega t)$$

$$y^2 = A^2 \frac{(1 + \cos 2\omega t)}{2}$$

Como A es la secuencia de valores $+1$ y -1 que representan el código, A^2 es siempre $+1$, con lo que desaparece de la ecuación:

$$y^2 = \frac{(1 + \cos 2\omega t)}{2}$$

en cuyo caso y^2 , que representa la señal resultante, es, al menos teóricamente, la portadora pura con una frecuencia doble de la original. Utilizando este proceso queda borrado todo el mensaje de navegación, por lo cual no se conoce el almanaque ni los códigos, circunstancia que hace imposible el posicionamiento previo por pseudodistancias y, además, necesita el conocimiento de efemérides precisas de precisión, las cuales las suministra el fabricante mediante contrato y que, como se sabe, se reciben con tres o cuatro días de retraso, lo que crea una gran dependencia del fabricante.

En cuanto a los receptores de canal tipo correlación se refiere, cabe señalar que en éstos el canal utiliza un circuito de retardo para mantener la alineación (correlación) entre el código C/A que se recibe y el que se genera internamente el receptor.

En este caso hacen falta dos circuitos fundamentales: uno, que seguirá a los códigos y permitirá medir pseudodistancias al satélite y disponer de la portadora original limpia de modulación; y otro, que seguirá a esta portadora y posibilitará observar cómo aumentan o disminuyen sobre ella los ciclos y las fracciones de los mismo entre el satélite y el receptor, con lo que se podrá medir las variaciones de distancia en función del tiempo, técnica que se conoce como medida de fase.

Finalmente, si la clasificación de los receptores se efectúa atendiendo al procedimiento utilizado para el seguimiento de los satélites, entonces se puede disponer de receptores multicanales o canal conmutado.

Los receptores multicanales disponen de un número variable de canales independientes, uno para cada satélite, que miden de forma simultánea, lo que proporciona un registro de los datos muy limpio. Los canales pueden ser del mismo tipo, por ejemplo, todos de cuadratura, o de tipos diferentes.

Sin embargo, los receptores de canal conmutado son equipos de recepción provistos de un solo canal, o de pocos canales, para seguir a todas las señales. Para el caso de un solo canal, los receptores únicamente pueden recibir una señal de cada vez, pero va saltando de forma muy rápida de una a otra tomando “muestras” a velocidad mayor que a la que se suceden los cambios de señales, lo cual hace posible reconstruir cada señal individualmente porque se conoce “a priori” su estructura.

Estos receptores tienen mayor simplicidad en el hardware y mayor complejidad en el firmware, o programación interna permanente. Como el conmutador es un circuito multiplexor, los receptores de este sistema se denominan “receptores multiplexares”, a cuyo tipo pertenecen precisamente los pequeños receptores de mano utilizados en el posicionamiento absoluto.

La antena tiene como función convertir una corriente eléctrica en radiación electromagnética y viceversa. La que llevan incorporada los satélites efectúa la primera función, mientras que la de los receptores se ocupa de cumplir la segunda utilidad.

Las antenas de los receptores pueden ser de varios tipos: de dipolo, dipolo curvado, cónico-espiral, helicoidal, plano, etc. En cualquier caso, el punto que se posiciona no se corresponde con el centro físico de la antena, sino con el radioeléctrico, que por lo general no son coincidentes, lo que da lugar a un error residual por excentricidad que puede tomar el valor de varios milímetros y que recibe la denominación de “antena phase center ambiguity”. Debido a ello, para el posicionamiento relativo de precisión se recomienda orientar siempre en la misma dirección, con el objeto de evitar dicho error, para lo cual las antenas van provistas de una señal de referencia en su carcasa exterior.

2.7.2 SISTEMAS DE REFERENCIA

2.7.2.1 INTRODUCCIÓN

En la ecuación de observación del sistema GPS:

$$\rho = \left\| \bar{\rho}^s - \bar{\rho}_R \right\|$$

donde

ρ : Distancia del receptor al satélite

$\bar{\rho}^s$: Vector de posición del satélite

$\bar{\rho}_R$: Vector de posición del receptor

los vectores $\bar{\rho}_R$ y $\bar{\rho}^s$ tienen que ser expresados en un sistema único de coordenadas. Si se utiliza un sistema cartesiano tridimensional es necesario definir la posición del origen y la orientación de sus tres ejes.

Para el método GPS es apropiado utilizar un sistema ecuatorial de coordenadas cartesianas. En la figura siguiente se pueden ver un sistema de referencia terrestre \bar{X}_i y un

sistema de referencia espacial fijo \overline{X}_i^0 . El vector $\overline{\omega}_E$ de giro de la Tierra se utiliza como eje \overline{X}_3 en los dos sistemas.

El eje \overline{X}_1^0 para el sistema espacial fijo pasa por el punto vernal, definido por la intersección del plano ecuatorial y el de la eclíptica, mientras que \overline{X}_1 para el sistema terrestre está definido por la línea de intersección del plano ecuatorial con el plano definido por el meridiano de Greenwich. El ángulo Θ_0 que forman \overline{X}_1^0 y \overline{X}_1 es el tiempo sidéreo en Greenwich. El eje \overline{X}_2 normal a ambos ejes, completa el sistema de ejes cartesianos.

Este sistema geocéntrico adoptado, en el cual el eje \overline{X}_3 es coincidente con $\overline{\omega}_E$ de giro de la Tierra, presenta unas oscilaciones debido a las aceleraciones que se producen al girar la Tierra alrededor del Sol. Las ecuaciones diferenciales que describen esta oscilación de $\overline{\omega}_E$ son:

$$\overline{M} = \frac{d\overline{N}}{dt}$$

$$\overline{M} = \frac{d\overline{N}}{dt} + \overline{\omega}_E \times \overline{N}$$

donde:

\overline{M} : Vector de par

\overline{N} : Vector momento angular de la Tierra

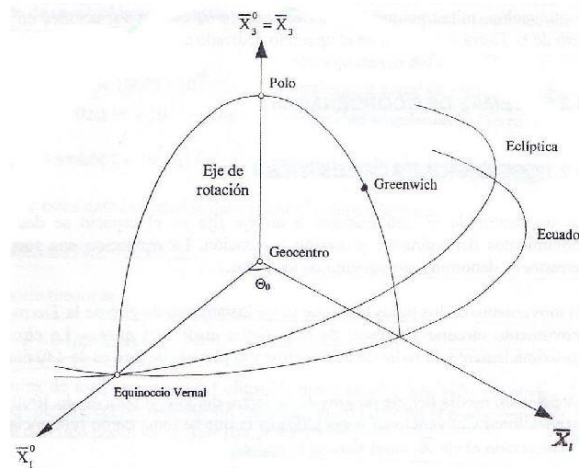


Figura 2.7-5 Triedro sistema GPS

El vector \overline{M} se debe fundamentalmente a las fuerzas atractivas del Sol y la Luna sobre la Tierra. El vector $\overline{\omega}_E$ se relaciona con el vector \overline{N} por medio del tensor de inercia \overline{C} según:

$$\overline{N} = \overline{C} \cdot \overline{\omega}_E$$

A su vez, $\overline{\omega}_E$ se puede descomponer en:

$$\overline{\omega}_E = \omega_E \cdot \overline{\omega}$$

donde:

$$\omega_E = \|\overline{\omega}_E\|$$

$\overline{\omega}$ = vector unitario en
dirección de $\overline{\omega}_E$

Las oscilaciones de $\overline{\omega}$ son responsables de la variación del eje \overline{X}_3 y se consideran a continuación, mientras que las oscilaciones de $\overline{\omega}_E$ causan variaciones en la velocidad de giro de la Tierra y se tratan en el apartado dedicado a sistemas de tiempos.

2.7.2.2 OSCILACIONES DE LOS EJES

La oscilación de $\overline{\omega}$ con respecto a un eje fijo en el espacio se descompone en los movimientos denominados precesión y nutación. La oscilación con respecto al sistema terrestre se denomina movimiento de los polos.

El movimiento de los polos hace que el eje instantáneo de giro de la Tierra ($\overline{\omega}$) describa un movimiento circular alrededor de la posición media del mismo. La circunferencia tiene aproximadamente un radio de 6 metros y el periodo de giro es de 430 días.

La posición media del eje de giro de la Tierra durante el periodo de 1900 a 1905 (Origen Internacional Convencional o eje CIO) es la que se toma como referencia para definir en esa dirección el eje \overline{X}_3 en el sistema terrestre.

2.7.2.2.1 SISTEMA CELESTE CONVENCIONAL

Para definir este sistema, se toma por convenio \overline{X}_3^0 coincidente con el eje de giro de la Tierra en la época J₂₀₀₀. El eje \overline{X}_1^0 pasa por el punto vernal. Como el sistema se define convencionalmente y su materialización no coincide con el sistema teórico, se denomina sistema celeste de referencia CRF (Celestial Reference Frame). Un ejemplo de este sistema es el establecido por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) y que recibe el nombre de ICRF. Este sistema se ha definido cinemáticamente tomando como referencia unos 500 objetos de fuera de la galaxia, tales como cuásar y núcleos de galaxias.

2.7.2.2.2 SISTEMA TERRESTRE CONVENCIONAL

En este sistema se toma por convenio el eje \overline{X}_3 coincidente con el eje de rotación de la tierra definido por el CIO. El eje \overline{X}_1 se toma sobre la intersección del plano del meridiano medio de Greenwich y el plano ecuatorial.

Este sistema se denomina terrestre TRF (Terrestrial Reference Frame) y se define por un conjunto de estaciones terrestres de control que sirven como puntos de referencia. La mayor parte de estas estaciones de control están equipadas con equipos SLR o VLBI.

A partir del año 1987, en GPS se ha utilizado el WGS-84 (World Geodetic System) como sistemas de referencia. Este sistema geocéntrico fue definido a partir de las coordenadas

de más de 1500 puntos situados en toda la Tierra. Asociado con el sistema WGS-84 existe un elipsoide de revolución geocéntrico y equipotencial definido por los parámetros:

$a = 6378137$ m semieje mayor del elipsoide

$\bar{C}_{2,0} = -484,16685 \cdot 10^{-6}$ coeficiente zonal de segundo grado

$\omega_E = 7292115 \cdot 10^{-11}$ rad/s velocidad angular de la Tierra

$\mu = 3986005 \cdot 10^8 \cdot \text{m}^3/\text{s}^2$ constante de gravitación universal

A partir de estos datos se pueden determinar el achatamiento:

$$f = \frac{1}{298.2572236}$$

y el semieje menor b:

$b = 6356752.314$ m

Los valores de los parámetros del elipsoide antes citados han sido adoptados del sistema geodésico de referencia GRS-80, sin embargo, en el GRS-80 el coeficiente zonal $J_2 = -\sqrt{5}C_{2,0}$ fue definido por el valor $J_2 = 108263 \cdot 10^{-8}$.

Otro ejemplo de sistema terrestre, comentado en apartados anteriores, es el establecido por el Servicio Internacional de Giro de la Tierra, IERS (Internacional Earth Rotation Service), que se denomina ITRF. Se ha definido a partir de más de 180 estaciones terrestres, en las que el efecto del movimiento de las placas tectónicas ha sido tenido en cuenta. El ITRF es regularmente actualizado, la última revisión data del año 1997 y se denomina ITRF-97.

Si se comparan el sistema WGS-84 y los ITRF se aprecian diferencias notables. El WGS-84 fue establecido mediante observaciones Doppler a los satélites TRANSIT, mientras que los ITRF en observaciones SLR y VLBI. La exactitud de las estaciones de referencia WGS-84 se estima en uno o dos metros y las ITRF tienen precisión centimétrica. Los parámetros que definen el WGS-84 también difieren de los ITRF, siendo para la constante de gravitación terrestre $d\mu = \mu_{WGS} - \mu_{ITRF} = 0.582 \cdot 10^8 \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2}$, de donde resulta una diferencia medible en la órbita de los satélites. Basándose en estos datos el organismo americano "Defense Mapping Agency" (DMA) ha propuesto reemplazar el valor de μ en el WGS-84 por el valor estándar de la IERS, mejorando además las coordenadas de las estaciones de control.

La transformación entre los diferentes sistemas terrestres se realiza a través de transformaciones en el espacio tridimensional, que se definen como transformaciones conformes de siete parámetros (Helmert 3D), y se expresan:

$$X_{WGS} = c + \mu R X_{ITRF}$$

El vector c , es el vector traslación entre los dos sistemas de coordenadas, μ es el factor de escala y R es la matriz de giro que define tres giros sucesivos α_i alrededor de los tres ejes coordenados.

La DMA ha publicado los parámetros que relacionan el sistema WGS-84 con diferentes datums en todo el mundo.

2.7.2.2.3 TRANSFORMACIONES

La transformación entre el sistema celestial convencional (CRF) y el sistema terrestre convencional (TRF) se puede realizar mediante giros.

Para un vector cualquiera \overline{X} , la transformación se expresa:

$$\overline{X}_{TRF} = R^M R^S R^N R^P \overline{X}_{CRF}$$

donde

R^M : Matriz de giro para el movimiento del polo.

R^S : Matriz de giro para el tiempo sidéreo.

R^N : Matriz de giro para la nutación.

R^P : Matriz de giro para la precesión.

El sistema inercial convencional definido en época estándar J_{2000} , se transforma en el sistema instantáneo o verdadero en la época de observación aplicando la corrección debida a la nutación y a la precesión. El eje \overline{X}_3^0 del sistema instantáneo representa la posición libre del eje definido por el momento angular de giro de la Tierra, que pasa por el punto denominado Polo Celeste de Efemérides (CEP). Finalmente, este eje que pasa por el CEP es girado para pasar al CIO por medio de la matriz R^M .

Las matrices de rotación antes referidas están formadas a partir de las matrices $R_i(\alpha)$ de giro positivo α del sistema de coordenadas alrededor del eje \overline{X}_i .

2.7.2.2.3.1 PRECESIÓN

La posición del equinoccio vernal medio en la época estándar t_0 se señala como E_0 y la posición en la época t de observación como E . La matriz de precesión R^P se compone de las matrices de giro siguientes:

$$R^P = R_3(-Z)R_2(\theta)R_3(-\xi)$$

donde Z , θ , ξ son los parámetros de la precesión que se pueden obtener a partir de almanaques astronómicos. Si se utilizan los datos del Almanaque Náutico Oficial se tiene:

$$Z = 2306.2181''T + 1.09468''T^2 + 0.018293''T^3$$

$$\theta = 2004.31091''T - 0.42665''T^2 - 0.041833''T^3$$

$$\xi = 2306.2181''T + 0.30188''T^2 + 0.017998''T^3$$

en las cuales T representa el tiempo transcurrido, expresado en centurias Julianas de 365.25 días solares medios, entre la época estándar $J_{2000.0}$ y la época de observación.

La matriz R^P se puede expresar:

$$R^P = \begin{pmatrix} \cos Z \cos \theta \cos \xi - \operatorname{sen} Z \operatorname{sen} \xi & -\cos Z \cos \theta \operatorname{sen} \xi - \operatorname{sen} Z \cos \xi & -\cos Z \operatorname{sen} \theta \\ \operatorname{sen} Z \cos \theta \cos \xi + \cos Z \operatorname{sen} \xi & -\operatorname{sen} Z \cos \theta \operatorname{sen} \xi + \cos Z \cos \xi & -\operatorname{sen} Z \operatorname{sen} \theta \\ \operatorname{sen} \theta \cos \xi & -\operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} \xi & \cos \theta \end{pmatrix}$$

En la figura siguiente se observa el efecto de la precesión:

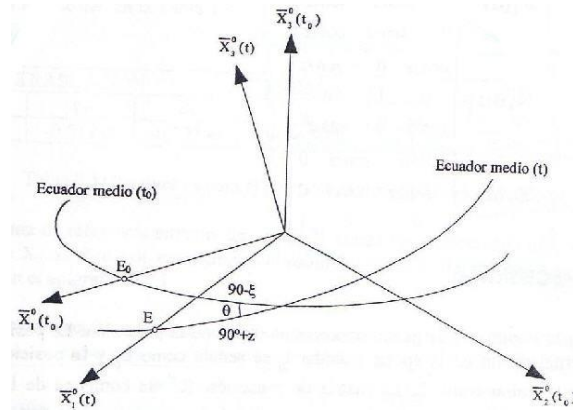


Figura 2.7-6 Representación efecto precesión

2.7.2.2.3.2 NUTACION

El equinoccio vernal medio en la época de observación se ha designado como E y el equinoccio vernal verdadero como E_v. La matriz de nutación R^N se compone de tres matrices elementales:

$$R^N = R_1 \{-(\varepsilon + \Delta\varepsilon)\} \cdot R_3 \{-\Delta\psi\} \cdot R_1 \{\varepsilon\}$$

donde ε es la oblicuidad media de la eclíptica, $\Delta\varepsilon$ la oblicuidad y $\Delta\psi$ la nutación en longitud.

La matriz R^N se expresa:

$$R^N = \begin{pmatrix} 1 & -\Delta\psi \cos \varepsilon & -\Delta\psi \operatorname{sen} \varepsilon \\ \Delta\psi \cos \varepsilon & 1 & -\Delta\varepsilon \\ \Delta\psi \operatorname{sen} \varepsilon & \Delta\varepsilon & 1 \end{pmatrix}$$

Para determinar $\varepsilon, \Delta\varepsilon, \Delta\psi$, en el Almanaque Náutico Oficial se obtiene:

$$\varepsilon = 23^\circ 26' 21.448'' - 46.815'' T - 0.00059'' T^2 + 0.001813'' T^3$$

$$\Delta\varepsilon = \sum_{i=1}^{64} b_i \cos\left(\sum_{j=1}^5 e_j E_j\right) = 9.2'' \cos \Omega_m + \dots$$

$$\Delta\psi = \sum_{i=1}^{106} a_i \cos\left(\sum_{j=1}^5 e_j E_j\right) = -17.2'' \operatorname{sen} \Omega_m + \dots$$

donde a_i, b_i y e_j vienen tabulados en el citado almanaque. Los cinco argumentos fundamentales E_j , describen el movimiento medio del sistema Sol-Tierra-Luna. El valor Ω_m

representa la longitud media del nodo ascendente de la luna. En la figura siguiente se observa el efecto de la nutación:

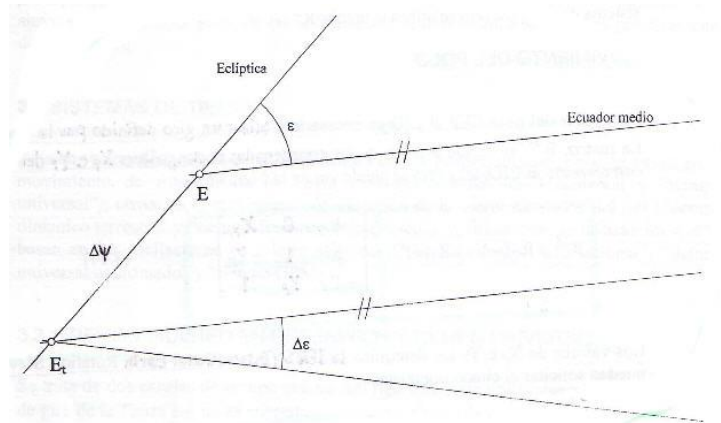


Figura 2.7-7 Representación efecto nutación

2.7.2.2.3.3 TIEMPO SIDEREO

La matriz de giro para el tiempo sidéreo R^S se expresa $R^S = R_3(\Theta_0)$, donde Θ_0 es el tiempo sidéreo aparente en Greenwich.

El sistema WGS-84 se define por un movimiento angular uniforme ω_E y consecuentemente en lugar del tiempo sidéreo aparente se debe usar tiempo sidéreo medio. Para pasar de un sistema de tiempo a otro se utiliza la matriz R^S .

2.7.2.2.3.4 MOVIMIENTO DEL POLO

Para pasar del polo CEP al CIO es necesario realizar un giro definido por la matriz R^M . La matriz R^M se define a partir de las coordenadas rectangulares X_p e Y_p del polo CEP con respecto al CIO.

$$R^M = R_2(-X_p) \cdot R_1(-Y_p) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & X_p \\ 0 & 1 & -Y_p \\ -X_p & Y_p & 1 \end{pmatrix}$$

Los valores de X_p e Y_p los determina la IERS y se pueden solicitar al citado organismo.

Las matrices R^S y R^M suelen utilizarse conjuntamente como una matriz R^R de rotación de la Tierra.

$$R^R = R^M R^S$$

En el caso del GPS, el sistema de coordenadas fijo en el espacio ya está referido al CEP. De aquí que para la transformación al sistema terrestre solo deba utilizarse la matriz R^R , aunque la mayor parte de las aplicaciones, el movimiento del polo es prácticamente despreciable.

2.7.2.3 SISTEMAS DE TIEMPOS

Existen varios sistemas de escalas de tiempo que se pueden utilizar. Unos se basan en el movimiento de rotación de la Tierra (tiempo sidéreo en Greenwich y tiempo universal); otros, en el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol (tiempo dinámico terrestre y

tiempo dinámico baricéntrico); y, finalmente, se utilizan los que se basan en las oscilaciones de los relojes atómicos (tiempo atómico internacional, tiempo universal coordinado y tiempo GPS)

2.7.2.3.1 TIEMPO SIDEREAL EN GREENWICH Y TIEMPO UNIVERSAL

Se trata de dos escalas de tiempo que no son rigurosamente uniformes ya que la velocidad de giro de la Tierra ω_E no es constante.

El “tiempo sidéreo” en Greenwich (Θ_0) mide el número de horas, minutos y segundos sidéreos transcurridos desde que el equinoccio medio pasa por el meridiano de Greenwich.

El “tiempo universal” (TU) mide el número de horas, minutos y segundos medios desde que el Sol medio pasa por el antimeridiano de Greenwich.

2.7.2.3.2 TIEMPOS DINÁMICOS

El “tiempo dinámico baricéntrico” (TDB) es un sistema inercial de escala de tiempo, en el sentido newtoniano, y la variable del tiempo en las ecuaciones del movimiento.

El “tiempo dinámico terrestre” (TDT) es un sistema cuasi-inercial que se le denomina “tiempo de efemérides” (TE) y sirve para la integración de las ecuaciones diferenciales que rigen el movimiento orbital de los satélites alrededor de la Tierra.

2.7.2.3.3 TIEMPOS ATÓMICOS

La escala de “tiempo universal coordinado” (TUC) es un sistema de compromiso. La unidad del sistema es el segundo atómico, pero se procura que está muy próximo al TU, para lo cual cada cierto tiempo se modifica la escala en un segundo.

El “tiempo GPS” tiene una diferencia constante de 19 segundos con el “tiempo atómico internacional” (TAI) y fue coincidente con el TUC en la época 6.0 de Enero de 1980 (época estándar).

2.7.3 ORBITAS DE LOS SATÉLITES

2.7.3.1 INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones del GPS dependen fundamentalmente del conocimiento de las órbitas descritas por los satélites. En posicionamiento relativo, los errores en la determinación de las órbitas de los satélites, provocan errores absolutos en la determinación de las líneas base, pero los errores relativos se compensan.

Los parámetros orbitales son transmitidos por los satélites como una parte del mensaje por ellos radiado, o puede ser obtenido a partir de varias fuentes algunos días después de la observación. La activación de la disponibilidad selectiva provoca errores en la determinación de las órbitas que oscilan entre 50 y 100 metros. Dado que algunos usuarios civiles necesitan efemérides precisas, en este apartado se trata de determinar las órbitas teóricas, así como el cálculo de las efemérides.

2.7.3.2 DESCRIPCIÓN DE LA ÓRBITA

2.7.3.2.1 MOVIMIENTO KEPLERIANO

2.7.3.2.1.1 PARÁMETROS ORBITALES

Sean dos masas puntuales m_1 y m_2 separadas una distancia r . Considerando por el momento, únicamente una fuerza atractiva entre las dos masas y aplicando principios de la mecánica newtoniana, el movimiento de la masa m_1 con respecto a la masa m_2 viene descrito por la ecuación diferencial de segundo orden:

$$\ddot{\underline{r}} + \frac{G(m_1 + m_2)}{r^3} \underline{r} = \underline{0}$$

donde:

\underline{r} vector posición relativa con $\|\underline{r}\| = r$

$\ddot{\underline{r}} = \frac{d^2 \underline{r}}{dt^2}$ vector aceleración relativa

G constante de gravitación universal

siendo t el parámetro tiempo en un sistema inercial, materializado en el sistema de tiempo GPS.

En el caso del movimiento de un satélite artificial alrededor de la Tierra, en primera aproximación, podemos considerarlos ambos como masas puntuales, y además despreciar la masa del satélite.

El producto de G y la masa de la Tierra M_E se denota por μ , y es uno de los parámetros que definen el sistema WGS-84:

$$\mu = GM_E = 3986005 \times 10^8 \frac{m^3}{s^2}$$

Para la definición de la posición de un satélite orbitando alrededor de la Tierra son precisos seis parámetros, que corresponden a las seis constantes de integración que se obtienen al resolver la ecuación diferencial vectorial de segundo orden. Esta órbita se corresponde con una elipse, y los parámetros que definen el movimiento kepleriano vienen dados por:

Ω : Ascensión recta del nodo ascendente

ω : Argumento del perigeo

i : Inclinación del plano orbital

a : Semieje menor de la órbita elíptica

e : Excentricidad de la elipse

T_0 : Época de paso por el perigeo

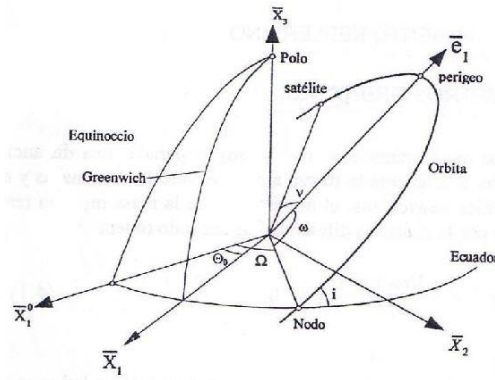


Figura 2.7-8 Representación esfera celeste GPS

El punto de mayor aproximación del satélite al centro de masas de la Tierra es el perigeo, y el más alejado el apogeo. La intersección entre plano ecuatorial y el plano orbital determina la línea de los nodos, donde el nodo ascendente viene dado por el cruce del satélite en la dirección del Polo Norte, estando definido el nodo descendente por el cruce en dirección del Polo Sur.

La velocidad angular media del satélite n , viene dada por la tercera ley de Kepler:

$$n = \frac{2\pi}{P} = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$$

donde P es el período de revolución del satélite alrededor de la Tierra.

Para las órbitas de los satélites GPS, el semieje mayor toma el valor aproximado $a = 26560$ km, que sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene un período orbital, P , de aproximadamente 12 horas sidéreas.

La posición instantánea del satélite en su órbita viene dada por una cantidad angular conocida como anomalía, denominada así por razones históricas. Las anomalías comúnmente usadas son las siguientes:

$M(t)$ Anomalía media

$E(t)$ Anomalía excéntrica

$v(t)$ Anomalía verdadera

La anomalía media $M(t)$ es una abstracción matemática, mientras que la anomalía excéntrica $E(t)$ y la anomalía verdadera $v(t)$ se pueden representar geoméricamente. Las fórmulas que relacionan estas tres anomalías son las siguientes:

$$M(t) = n(t - T_0)$$

$$E(t) = M(t) + e \operatorname{sen} E(t)$$

$$v(t) = 2 \operatorname{arctg} \left[\sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E(t)}{2} \right]$$

donde e es la excentricidad de la órbita del satélite. La primera ecuación es una definición, y la anomalía media, $M(t)$, puede ser usada como un parámetro, en lugar de T_0 , para

definir el movimiento orbital del satélite. La segunda expresión es conocida como fórmula de Kepler, y por último la tercera ecuación se obtiene a partir de relaciones puramente geométricas, como se mostrará en siguiente epígrafe.

La ecuación dos debe resolverse por métodos iterativos, debiendo tenerse en cuenta que “ $e \text{ sen}E(t)$ ” no es un ángulo, sino un arco medido en radianes, y que por lo tanto, habrá que transformar a grados sexagesimales:

$$\frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{x}{e \text{ sen}E(t)}$$

con lo que la fórmula anterior queda:

$$E(t) = M(t) + 57.29577951 e \text{ sen}E(t)$$

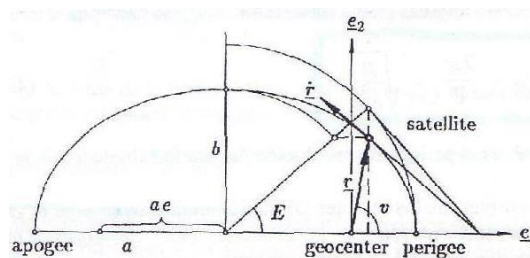


Figura 2.7-9 Apogeo y perigeo

El sistema de coordenadas e_1, e_2 que definen la órbita plana, se muestra en la figura anterior. El vector de posición r y el vector velocidad $r' = dr/dt$ del satélite pueden ser expresados en función de la excentricidad y de la anomalía verdadera

Si los dos términos de la ecuación anterior los elevamos al cuadrado y dividimos por dos tendremos a derecha un término que da la energía cinética y a la izquierda un término que da la energía potencial, siendo “ a ” por definición una constante. Esta ecuación podemos considerarla como ley de conservación de la energía Tierra-satélite. La transformación de r y r' en el sistema ecuatorial \underline{X}_i^0 se lleva a cabo por medio de la matriz de giro \underline{R} resultando los vectores que representamos por $\underline{\rho}$ y $\underline{\rho}'$. Los vectores expresados en el sistema orbital deben ser considerados como vectores tridimensionales para la transformación, con lo cual los ejes e_1 y e_2 deben ser suplementados por un nuevo eje e_3 , ortogonal a ambos. La componente e_3 de los vectores \underline{r} y \underline{r}' será cero.

La transformación vendrá definida por:

$$\underline{\rho} = \underline{R} \underline{r}$$

$$\underline{\rho}' = \underline{R} \underline{r}'$$

donde la matriz \underline{R} está compuesta de tres matrices de rotación sucesivas

donde los vectores columna de esta matriz ortonormal, son los ejes del sistema de coordenadas orbital, representados en sistema ecuatorial \underline{X}_i^0 . Para la transformación al sistema fijo \underline{X}_i , se debe hacer una rotación adicional de ángulo θ_0 , tiempo sidéreo de Greenwich, y la matriz de giro vendrá por:

$$\underline{R} = \underline{R}_3(\theta_0) \underline{R}_3(-\Omega) \underline{R}_1(-i) \underline{R}_3(-\omega) = [e_1, e_2, e_3]$$

El producto $\underline{R}_3(\theta_0) \underline{R}_3(-\Omega)$ puede ser expresado por una matriz simple $\underline{R}_3(-l)$ donde $l = \Omega - \theta_0$ y la ecuación anterior puede ser escrita de la siguiente forma:

$$\underline{R}' = \underline{R}_3(-l) \underline{R}_1(-i) \underline{R}_3(-\omega)$$

Además del sistema orbital fijo, e_i , otro sistema ortogonal, e_i^* , puede ser definido, partiendo de los vectores posición y velocidad del satélite:

$$e_1^* = \frac{\rho}{\|\rho\|} \quad e_3^* = \frac{\rho \wedge \rho'}{\|\rho \wedge \rho'\|} \quad e_2^* = e_3^* \wedge e_1^*$$

los vectores de la base e_i^* se corresponden con los vectores columna de una matriz de rotación modificada \underline{R}^* reemplazando el parámetro ω por $(\omega+v)$.

2.7.4 SEÑALES EMITIDAS POR LOS SATÉLITES

2.7.4.1 ESTRUCTURA DE LA SEÑAL

2.7.4.1.1 FUNDAMENTOS FÍSICOS

Los estudios geodésicos con satélites están basados en los datos transmitidos por los satélites a los usuarios por medio de ondas electromagnéticas.

Una constante fundamental es la velocidad de la luz en el vacío, que viene dada por:

$$c = 299792458 \text{ m/s}$$

Los parámetros de la tabla anterior vienen relacionados por la siguiente ecuación:

$$f = 2\pi \frac{I}{P} = \frac{c}{\lambda}$$

La frecuencia instantánea expresada en ciclos·s⁻¹, es decir hertzios, viene también definida como la derivada de la fase con respecto al tiempo:

$$f = \frac{d\varphi}{dt}$$

y la fase se obtiene por integración de la frecuencia entre las épocas t_0 y t :

$$\varphi = \int_{t_0}^t f dt$$

Suponiendo una frecuencia constante, que $\varphi(t_0) = 0$ y siendo t_p el tiempo necesario para propagarse la señal a través de la distancia ρ desde el emisor hasta el receptor, la ecuación de la fase de las ondas electromagnéticas observadas desde el receptor será:

$$\varphi = f(t - t_\rho) = f(t - \frac{\rho}{c})$$

En el caso que el emisor o el receptor estén en movimiento, la frecuencia de la señal recibida se verá afectada por lo que se conoce como efecto Doppler. Esto significa que la frecuencia f_r de la señal recibida por el receptor, difiere de la frecuencia de la señal emitida f_e en un término Δf el cual, aparte de los efectos relativistas, es proporcional a la velocidad radial

$v = \frac{d\rho}{dt} = \rho'$ del emisor con respecto al receptor:

$$\Delta f = f_r - f_e = -\frac{1}{c} v_\rho f_e$$

Aplicando la ecuación anterior se puede comprobar que los satélites GPS orbitan con una velocidad de aproximadamente 3.9 km s^{-1} . Suponiendo que la frecuencia de la onda emitida es de $f_e = 1.5 \text{ GHz}$, el cambio de frecuencia debido al efecto Doppler es de $\Delta f = 4.5 \cdot 10^3 \text{ Hz}$, que se corresponde con una variación en la medida de distancia de 90 cm.

2.7.4.1.2 COMPONENTES DE LA SEÑAL

2.7.4.1.2.1 GENERALIDADES

Los osciladores de los que están dotados los satélites generan una frecuencia fundamental f_0 con una estabilidad del orden de 10^{-13} ciclos al día para los satélites del bloque II. Las dos portadoras de la señal en la banda L, L1 y L2, se generan al multiplicar por un número entero la frecuencia f_0 . Estas portadoras se modulan por medio de códigos, que consisten en una secuencia con dos estados +1 y -1, correspondientes a los valores binarios 1 y 0.

La frecuencia fundamental f_0 se reduce intencionalmente con 0.005 Hz para compensar los efectos relativistas.

Se utilizan dos códigos para las lecturas del reloj del satélite, ambos caracterizados por una secuencia de ruido pseudoaleatorio (PRN). La adquisición grosera (course/acquisition) o de acceso total (clear/access) tiene la frecuencia $f_0/10$ y se repite cada milisegundo. La precisión (código P) tiene la frecuencia f_0 y se repite aproximadamente cada 266.4 días. El código W se usa para sustituir el código P por el código Y cuando se implementa el A-S.

Tanto la portadora L1 como la L2 se modulan por medio del código P (más precisamente el código Y). El código C/A se aplica a la portadora L1 desfasado 90° con respecto al código P. Llamando $L_i(t) = a_i \cos(f_i t)$ a la portadora no modulada y por P(t), C/A(t) y D(t) al código P, al código C/A y al mensaje de navegación respectivamente.

El mensaje de navegación contiene información acerca del satélite, de su órbita y estado del mismo, así como varias correcciones de datos. El total del mensaje consta de 1500 bits, y está dividido en cinco partes. Cada una de las partes de que consta el mensaje se transmite en 6 segundos y contiene 10 palabras con 30 bits cada una. El tiempo de transmisión por palabra es de 0.6 segundos.

2.7.4.1.3 PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL

La señal emitida por el satélite contiene tres componentes (L1,C/A,D) ,(L1,P,D) ,y (L2,P,D). La meta de los receptores GPS es recuperar los componentes de la señal, reconstruyendo la onda portadora y separando los códigos para la lectura del reloj del satélite y el mensaje de navegación.

Los receptores únicamente contienen elementos para la recepción y para el procesamiento de la señal.

2.7.4.1.3.1 DISEÑO DE LOS RECEPTORES

Una antena omnidireccional recibe las señales de todos los satélites visibles, y después de preamplificarlas, transmite las señales a la sección de radio frecuencia. Es importante resaltar que las señales son resistentes a las interferencias ya que los códigos PRN son únicos para cada satélite y tienen una correlación cruzada muy baja. La antena puede estar diseñada para captar solo la portadora de L1 o para L1 y L2. Un criterio importante en el diseño de las antenas es la sensibilidad del centro de la fase. El centro electrónico debe estar muy próximo a su centro geométrico y también debe ser insensible a la rotación y la inclinación. Además de la antena deberá tener un dispositivo que filtre las señales con poca elevación y las reflejadas.

El microprocesador controla todo el sistema, el dispositivo de control proporciona una comunicación interactiva con el receptor mediante un teclado y una pantalla que muestra los mensajes y otras informaciones.

El dispositivo de almacenamiento se necesita para almacenar los observables y los mensajes de navegación de modo que puedan estar disponibles para su procesamiento posterior.

Muchos receptores tienen una fuente de energía interna tal como una batería recargable, pero disponen siempre de conexión para baterías externas u otras fuentes de energía.

La sección de radiofrecuencia (RF) es el corazón del receptor. Después de que la señal llega a la antena, la discriminación de las señales se realiza aquí, empleando normalmente el código C/A, las cuales son únicas para cada satélite. Un segundo método usado para discriminar entre los satélites es el monitoreo del desplazamiento Doppler, el cual es generalmente diferente para cada satélite.

La sección RF procesa las señales empleando canales separados. Los receptores antiguos utilizaban técnicas analógicas mientras que los actuales utilizan el procesamiento digital de las señales. Las unidades monofrecuencia procesan solo la señal de L1, mientras que los bifrecuencia procesan L1 y L2. Los datos obtenidos con los receptores duales permiten combinaciones de las señales en las que los efectos ionosféricos pueden ser eliminados.

Una característica importante de la sección RF es el número de canales, y consecuentemente el número de satélites que pueden medir simultáneamente. Los receptores antiguos usan un número limitado de canales físicos y los canales medidos se alternan rápida y secuencialmente (20 milisegundos) en un mismo canal. Hoy en día la mayor parte de los receptores asignan un satélite a cada uno de los canales físicos en donde los satélites miden. Los receptores multicanal son más exactos y menos sensibles a la pérdida de seguimiento de la señal pero pueden tener interferencias entre los canales. Sin embargo con los receptores modernos estas interferencias pueden prácticamente eliminarse mediante una calibración adecuada. Los receptores híbridos utilizan una combinación de las dos técnicas.

Los elementos básicos de la sección de RF son: osciladores que se utilizan para generar una frecuencia de referencia, multiplicadores para obtener frecuencias altas, filtros para eliminar las frecuencias no deseadas y mezcladores. Los mezcladores toman dos oscilaciones y_1 y y_2 con diferentes amplitudes a_1 , a_2 y diferentes frecuencias f_1 , f_2 y los multiplican matemáticamente. De forma simplificada esto da:

$$Y = y_1 y_2 = a_1 \cos(f_1 t) a_2 \cos(f_2 t)$$

$$Y = \frac{a_1 a_2}{2} [\cos((f_1 - f_2)t) + \cos((f_1 + f_2)t)]$$

Y resulta una oscilación que contiene una parte de baja frecuencia y otra de alta. Después de aplicar un filtro de paso bajo, la parte de alta frecuencia se elimina. La restante señal de baja frecuencia se procesa. La diferencia $f_1 - f_2$ entre las frecuencias se denomina frecuencia intermedia y es más fácilmente medida que las señales de alta frecuencia.

2.7.4.1.3.2 TÉCNICAS DE PROCESADO

Las medidas actuales de las pseudodistancias se realizan mediante circuitos de seguimiento. Debido al movimiento de los satélites, las señales recibidas sufren desplazamientos Doppler, lo cual implica que los circuitos de seguimiento deben ser sintonizables en un rango de frecuencias. Las distancias de código se determinan en bucle de bloqueo del retraso (DLL) usando técnicas de la señal recibida y efectuar algún filtrado, se obtiene la onda portadora (desplazada por el efecto Doppler). Esta portadora se lleva al bucle de bloqueo del retraso (DLL) donde la señal se compara con una réplica de la portadora (generada en el receptor) para dar un desplazamiento (fraccionario) de las fases entre las dos señales.

La técnica de correlación de código proporciona todas las componentes de la señal del satélite: la lectura del reloj del satélite, el mensaje de navegación y la portadora sin modular. El inconveniente es que el procedimiento requiere el conocimiento de un código PRN. La técnica de correlación se lleva a cabo en varias etapas, primero se genera una portadora de referencia en el receptor el cual está entonces modulado bifásicamente con una réplica del código PRN. En una segunda etapa la señal de referencia resultante se compara con la recibida del satélite, las señales se desplazan con respecto al tiempo hasta que coinciden de un modo óptimo (utilizando correlación matemática). Para detectar la máxima correlación de modo más exacto, se utilizan dos correladores (primario y secundario) con un chip espaciado. La exactitud se incrementa si el espacio entre los correladores se reduce. La técnica de correlado de espaciado estrecho es el estándar en los receptores de código C/A de altas prestaciones. El desplazamiento del tiempo resultante de la correlación corresponde al tiempo de viaje de la señal desde la antena del satélite hasta el centro de fase de la antena del receptor donde se han despreciado los retrasos de los relojes. Después de quitar el código PRN, la señal recibida todavía contiene el mensaje de navegación el cual puede eliminarse mediante un filtro de paso alto. El resultado final es la portadora con el desplazamiento Doppler, sobre la cual se puede realizar una medida de la fase. Dado que se requiere conocer el código PRN, la técnica de correlación de código generalmente solo se aplica al código C/A siendo reconstruida solamente la portadora L1.

Si se dispone del código Y, se pueden reconstruir ambas portadoras con la técnica de correlación de código. Normalmente el código C/A se usa para bloquear la señal y para inicializar el seguimiento de la misma. Esto se lleva a cabo en un tiempo muy corto ya que este código se repite cada milisegundo, y se calcula fácilmente. Un resultado de la correlación del código C/A es el mensaje de navegación decodificado el cual contiene el parámetro HOW en cada submensaje, que dice al receptor donde iniciar la búsqueda del código Y para marcar la señal.

Sin el conocimiento del código Y, es necesario utilizar técnicas de decodificado o cuasidecodificado para la reconstrucción de la onda portadora no modulada donde se puede medir la portadora base. La mayor parte de los receptores utilizan una técnica híbrida. La portadora L1 se reconstruye mediante correlación de código usando el código C/A, y se aplica una técnica de decodificado para reconstruir la portadora L2. Estas técnicas se describen a continuación ya que son esenciales cuando está activada la A-S.

2.7.4.1.3.2.1 *TECNICA DE CUADRATURA*

Esta técnica de decodificado se debe a Counselman (1981). El procedimiento se basa en la autocorrelación de la señal recibida, de modo que la misma se mezcal (multiplica) consigo misma, y así todas las modulaciones de eliminan. Esto sucede a causa de que el desplazamiento de 180° de la fase durante la modulación es equivalente a un cambio de signo de la señal. El resultado es la portadora no-modulada con frecuencia doble y longitud de onda a la mitad. En general es más difícil resolver las ambigüedades de las señales cuadradas con longitudes de onda mitad.

Esta técnica tiene la ventaja de ser independiente de los códigos PRN. La parte negativa de la técnica de cuadratura es que la información del reloj del satélite y de la órbita de los satélites se pierde en el proceso. Adicionalmente la relación señal/ruido se reduce substancialmente al aplicar esta técnica. Por ejemplo si se compara con la técnica de correlación de código se reduce en 30 dB.

2.7.4.1.3.2.2 *TECNICA DE CORRELACION CRUZADA*

Esta técnica de debe a MacDoran (1985) y se basa en el hecho de que el código desconocido Y es idéntico en ambas portadoras lo que permite la correlación cruzada de las señales L1 y L2. Debido a la propagación dependiente de la frecuencia de las ondas electromagnéticas a través de la ionosfera, el código Y en L2 es ligeramente más lento que en L1. El desplazamiento de tiempo necesario para superponer la señal L1 con la L2 en el receptor es una medida de la diferencia del tiempo de viaje de las dos señales. El retraso de la señal L2 es variable y precisa ser ajustado apropiadamente para obtener la máxima correlación entre L1 y L2. Los observables resultantes del proceso de correlación son la diferencia de pseudodistancias entre las dos portadoras, es decir:

$$R_{L2,Y} - R_{L1,Y}$$

y una diferencia de fases:

$$\phi_{L2} - \phi_{L1}$$

obtenida de la pulsación de la frecuencia portadora.

El resultado de la correlación cruzada puede usarse para determinar la pseudodistancia de código L2 y de fase mediante:

$$R_{L2} = R_{L1,C/A} + (R_{L2,Y} - R_{L1,Y})$$

$$\phi_{L2} = \phi_{L1,C/A} + (\phi_{L2,Y} - \phi_{L1,Y})$$

Donde los subíndices L1,C/A indican que esta pseudodistancia de código y de fase ha sido obtenida mediante el código C/A sobre la señal L1.

Dado que la potencial de la señal L1 es el doble que la de L2, la correlación cruzada de L1 y L2 conduce a una mejora de 3 dB sobre la cuadratura de la señal L2. Sin embargo si se compara con la técnica de correlación de código se produce una degradación de 27 dB.

2.7.4.1.3.2.3 *TÉCNICA DE CORRELACIÓN DE CÓDIGO MAS CUADRATURA*

Esta mejora de la técnica de cuadratura fue patentada por Keegan (1990), el método se denomina también de cuadratura con ayuda de código e implica la correlación del código Y

recibido sobre la señal L2 con una réplica del código P generada en el receptor. Esta correlación es posible ya que el código Y se origina como suma del código P y el código encriptado W. Dado que la diferencia del código W es unas 20 veces menor que la frecuencia del código Y, siempre existe una porción del código Y que es idéntica a una porción del código P original. De este modo la réplica del código P se desplaza para superponerla con la porción no alterada del código P del código Y del satélite. Después de la correlación se aplica un filtro de paso bajo para estrechar el ancho de banda y a continuación la señal se multiplica por sí misma para separarla del código. Esta técnica proporciona las pseudodistancias de código y, a causa de la cuadratura, la fase de la portadora de longitud de onda mitad.

La correlación con el código P proporciona una mejor inmunidad frente a las interferencias y una mejora en la eliminación de las recepciones múltiples. La cuadratura de esta señal de correlación de código es 20 veces más potente (13 dB) que la cuadratura directa de la señal de código Y, a causa de que la relación señal/ruido es inversamente proporcional a su ancho de banda. En efecto se produce una degradación de 17 dB en la relación señal/ruido si se compara con la técnica de correlación de código.

2.7.4.1.3.2.4 TÉCNICA Z-TRACKING

La técnica más reciente de cuasi-decodificación se denomina Z-tracking y ha sido referida por Ashjaee y Lorenz (1992). En la actualidad esta técnica ofrece las mejores prestaciones en presencia de A-S.

El código Y sobre ambas señales L1 y L2 se correlacionan separadamente con una réplica del código P generada en el receptor. Dado que la correlación se hace separadamente para L1 y L2 se obtiene el código W de cada frecuencia. Ashjaee explica el procedimiento de la siguiente forma: “Las portadoras de cada frecuencia también contienen el código fundamental encriptado. Utilizando una integración suficiente de la señal, la señal encriptada se estima para cada frecuencia y se añade a las otras frecuencias. Esta estimación se utiliza para eliminar el código encriptado de cada señal”.

Esta integración se lleva a cabo mediante un filtro de paso bajo donde el ancho de banda puede reducirse al del código encriptado W. No se necesita conocer el código W porque solo se usa para conseguir sincronización. Al eliminar el código encriptado conduce a las mismas señales que se tendrían si no hubiese A-S. Así se obtienen las pseudodistancias de código y las fases de las portadoras completas de L1 y L2. Obsérvese que las pseudodistancias de código Y son precisamente los mismo observables que se obtienen de la correlación de código con el código P.

Comparando con la técnica de correlación de código más cuadratura, la relación señal/ruido se mejora n 3dB, sin embargo comparada con la técnica de correlación de código empeora en 14 dB.

Las cuatro técnicas descritas para recuperar la portadora L2 en presencia de A-S sufren una degradación substancial de la relación de la relación señal/ruido, con la excepción de las técnicas no decodificadas o cuasi no decodificadas que recuperan la información de la señal GPS también como las técnicas de correlación de código. Por otra parte, las señales débiles son más sensibles a los efectos ionosféricas y a la interferencia de señales que pueden incluso provocar una pérdida del seguimiento de la señal.

2.7.5 OBSERVABLES

2.7.5.1 ADQUISICIÓN DE DATOS

En concepto las observaciones GPS son distancias las cuales son deducidas de medidas de tiempo o diferencias de fase, basadas en una comparación entre la señal recibida del satélite y la generada por el receptor.

La pseudodistancia es una medida de la distancia entre el satélite y la antena receptora, referida a las épocas de emisión y recepción de los códigos.

Se usan dos relojes uno en el satélite y otro en el receptor. Debido a las desviaciones existentes entre los relojes del satélite y el receptor con respecto al tiempo GPS, la medida de distancias sufre un cierto error, por eso se llaman pseudodistancias. El concepto de pseudodistancia es aplicable tanto al código P como al código C/A.

2.7.5.1.1 PSEUDODISTANCIAS

Llamemos t^S a la lectura del reloj del satélite en el momento de la emisión y t_R la lectura del reloj del receptor en el momento de recepción de la señal, conocidas como tiempos nominales. Análogamente, las desviaciones de los relojes con respecto al sistema de tiempo GPS serán denominadas δ^S y δ_R respectivamente, y los tiempos reales en el sistema de tiempo GPS vendrán dados por:

$$\begin{aligned} t_R(GPS) &= t_R + \delta_R \\ t^S(GPS) &= t^S + \delta^S \end{aligned}$$

Las lecturas del reloj del satélite son transmitidas por medio del código PRN. La diferencia entre las lecturas de los relojes es equivalente al tiempo Δt , necesario para alinear las dos señales, la procedente del satélite y la generada en el receptor en el proceso de correlación de códigos:

$$\Delta t = t_R - t^S = [t_R(GPS) - \delta_R] - [t^S(GPS) - \delta^S] = \Delta t(GPS) + \Delta\delta$$

donde

$$\Delta t(GPS) = t_R(GPS) - t^S(GPS) \text{ y } \Delta\delta = \delta^S - \delta_R$$

Las desviaciones δ^S del reloj del satélite pueden modelarse por una polinomial, siendo sus coeficientes transmitidos en el mensaje de navegación. El intervalo Δt multiplicado por la velocidad de la luz c , da la pseudodistancia R en la época t_R :

$$R = c\Delta t = c\Delta t(GPS) + c\Delta\delta = \rho + c\Delta\delta$$

Una forma más general para expresar la pseudodistancia entre el satélite p , el receptor k , en la época t_k de recepción de la señal en el receptor, vendría dada por la siguiente expresión, cuyos términos vienen expresados en metros:

$$\begin{aligned} R_k^p(t_R) &= (t_R(GPS) - t^S(GPS))c - (\delta^S - \delta_R)c + \\ &I_{k,p}^p(t_R) + T_k^p(t_R) + d_{k,p}(t_R) + d_p^p(t_R) + d_{k,p}^p(t_R) + \varepsilon_p \end{aligned}$$

dado que el camino de la señal no es únicamente el vacío, sino que debe atravesar la ionosfera y la troposfera, la propagación de los códigos sufre un retraso que debe ser tenido en cuenta, siendo la distancia medida más larga que la geométrica. Por lo tanto, los valores de $I_{k,p}^p(t_R)$ y $T_k^p(t_R)$ son siempre positivos, y dependen de las cambiantes condiciones existentes a lo largo del recorrido de la señal. Por otra parte, la corrección ionosférica es una función de la frecuencia de la portadora, mientras que la corrección troposférica no depende de dicha frecuencia. Las notaciones $d_{k,p}(t_R)$ y $d_P^p(t_R)$ representan los retrasos en los códigos generados por el hardware tanto del satélite como del receptor, y en la práctica puede suponerse que son independientes del tiempo y estables. El símbolo $d_{k,p}^p(t_R)$ expresa la posibilidad de recibir señales por múltiples caminos y el término ε_p expresa la posible existencia de ruidos aleatorios. También deben ser tenidos en cuenta, para el reloj del satélite los posibles efectos de la relatividad. El subíndice P indica todos los términos cuyo valor depende de la pseudodistancia. Se observa, que por ejemplo, el término que identifica el efecto troposférico, carece de tal índice.

Con el único fin de simplificar las expresiones, en lo que sigue solo se tendrá en cuenta los efectos ionosféricos, troposféricos, los retrasos en los códigos generados por el hardware tanto del satélite como del receptor y el efecto multicamino cuando sean verdaderamente relevantes, omitiéndose en caso contrario.

El código C/A se repite cada milisegundo lo que se corresponde con una distancia aproximada de 300 km. Dado que la distancia de los satélites a la Tierra es del orden de los 20000 km habrá una ambigüedad en el cálculo de las pseudodistancias calculadas con este código. Esta ambigüedad puede ser fácilmente resuelta durante la adquisición inicial de datos introduciendo las coordenadas aproximadas del receptor, que pueden ser de una precisión de hasta 100 km.

La distancia ρ se calcula partiendo del tiempo verdadero de viaje de la señal. En otras palabras, ρ es la distancia entre la posición del satélite en la época $t^S(\text{GPS})$ y la posición de la antena del receptor en la época $t_R(\text{GPS})$. Como ρ es una función de dos épocas diferentes, con frecuencia se desarrolla en serie de Taylor, por ejemplo, con respecto al momento de recepción de la señal por el receptor:

$$\rho = \rho(t^S, t_R) = \rho((t_R - \Delta t), t_R) = \rho(t_R, t_R) + \rho'(t_R, t_R) \Delta t$$

donde ρ' es la derivada de ρ con respecto al tiempo, es decir, la velocidad radial del satélite con respecto a la antena receptora. Todas épocas en la ecuación 6.3 se expresan en sistema de tiempo GPS.

La distancia geométrica entre el satélite p y el receptor k, $\rho_k^p(t_R, t_R)$ es necesario en ambos métodos, tanto si se utilizan pseudodistancias como diferencias de fase. Las coordenadas exactas del receptor se calculan iterativamente conociendo las efemérides del satélite y la posición aproximada del receptor. Un método comienza el proceso de iteraciones partiendo del tiempo de recepción nominal y el otro comienza partiendo del tiempo de emisión nominal, calculando a partir del conocimiento de la pseudodistancia.

Para el primer método, en primera aproximación, las iteraciones comienzan partiendo de un valor aproximado para el tiempo de viaje de la señal, τ_k^p . La posición del satélite se calcula para la época $(t_R - \tau_k^p)$, calculándose de esta forma la distancia satélite-receptor, la cual se usa nuevamente para recalcular el tiempo de viaje de la señal dividiendo por la velocidad de

la luz. Si la diferencia entre la primera y la segunda aproximación de τ_k^p es mayor que un cierto valor se repite la iteración tomando una nueva posición del satélite y calculando una nueva distancia. Normalmente con un par de iteraciones es suficiente.

En el segundo método, el cual requiere el conocimiento de la pseudodistancia, el tiempo de emisión nominal se obtiene a partir de la ecuación:

$$t^S = t_R - \frac{R_K^P(t_R)}{c}$$

Este cálculo no está afectado por los errores de los relojes del satélite, y del receptor aunque si son tenidos en cuenta los efectos ionosférico y troposférico, los retrasos en los códigos generados por el hardware, así como el efecto multicamino, aunque se puede decir que en este contexto, estos efectos son despreciables. Disponiendo del tiempo de emisión nominal, la posición del satélite se interpola partiendo de las efemérides para cada instante, obteniéndose (u^P, v^P, w^P) . Para el cálculo de la distancia entre el satélite y el receptor se requiere que sea tenida en cuenta la velocidad de rotación de la Tierra durante el tiempo de viaje de la señal. El proceso comienza partiendo del momento de emisión de la señal, y dando una primera estimación para el tiempo de viaje de la misma. Seguidamente, se procede a dar una rotación a la Tierra por una cantidad equivalente a esta primera estimación del tiempo de viaje de la señal, modificándose así las coordenadas del receptor. Para estas nuevas coordenadas se recalcula la distancia satélite/receptor, que dividida por la velocidad de la luz da una mejor estimación del tiempo de viaje de la señal, que permite dar una nueva rotación a la Tierra, partiendo de esta mejor estimación del tiempo de viaje de la señal. El proceso continuará hasta que converjan o la distancia o el tiempo de viaje de la señal. Finalmente el segundo sumando de la ecuación (6.3) $\rho_K^P(t_R, t_R) \Delta t$, se puede obtener a partir de variaciones en la distancia con respecto al tiempo.

2.7.5.1.2 PSEUDODISTANCIAS DE FASE

El observable de fase es la diferencia entre la fase de la portadora recibida del satélite y la fase de la onda generada por el oscilador interno del receptor. Estas medidas se registran en intervalos iguales del reloj del receptor, denominados épocas.

Llamando $\varphi^S(t)$ la fase de la portadora recibida y reconstruida con frecuencia f^S y $\varphi_R(t)$ la fase de la portadora de referencia generada en el receptor con frecuencia f_R . El parámetro t es la época en el sistema de tiempo GPS, respecto a una época inicial $t_0 = 0$.

Suponiendo la frecuencia constante, la fase inicial $\varphi(t_0) = 0$ y si se tiene en cuenta el tiempo que la señal necesita para propagarse a través de la distancia ρ desde el emisor hasta el receptor, se obtiene la ecuación de la fase de la onda electromagnética emitida por el satélite y observada en el receptor:

$$\varphi = f \left(t - \frac{\rho}{c} \right)$$

Teniendo en cuenta lo anterior podremos formular las ecuaciones de la onda emitida por el satélite, observada en el receptor y de la onda generada en el receptor:

$$\varphi^S(t) = f^S t - f^S \frac{\rho}{c} - \varphi_0^S$$

$$\varphi_R(t) = f_R t - \varphi_{0R}$$

siendo, φ_0^S y φ_{0R} las fases iniciales ocasionadas por los errores de los relojes:

$$\varphi_0^S = f^S \delta^S$$

$$\varphi_{0R} = f_R \delta_R$$

siendo, δ^S y δ_R las desviaciones de los relojes del satélite y receptor respectivamente.

La diferencia entre ambas fases vendrá dada por:

$$\varphi_R^S(t) = \varphi^S(t) - \varphi_R(t) = -f^S \frac{\rho}{c} - f^S \delta^S + f_R \delta_R + (f^S - f_R)t$$

Despreciando las desviaciones de las frecuencias f^S y f_R de la nominal f , se puede escribir:

$$\varphi_R^S(t) = -f \frac{\rho}{c} - f \Delta\delta$$

siendo:

$$\Delta\delta = \delta^S - \delta_R$$

Si la presunción de una frecuencia estable es incorrecta y los osciladores son inestables, su conducta debe ser modelada, por ejemplo, por funciones polinómicas, conociéndose así el estado inicial y la tendencia. En la práctica los errores residuales son eliminados por diferenciación de medidas.

Suponiendo un instante inicial t_0 , la diferencia entre la fase de la onda emitida por el satélite y recibida en el receptor y la fase de la onda generada en el receptor vendrá dada por:

$$\varphi_R^S(t_0) = \Delta\varphi_R^S \Big|_{t_0} + N$$

siendo N el número entero de ciclos en el momento t_0 entre el satélite y el receptor y la fracción $\Delta\varphi_R^S \Big|_{t_0}$ una fracción de ciclo en el momento t_0 . Si no hay pérdida del satélite entre el momento t_0 y un momento t posterior, entonces $\Delta\varphi_R^S \Big|_{t_0}$ representará una fracción de ciclo más un número entero de ciclos, debido a la variación de la posición del satélite desde el momento t_0 hasta t , permaneciendo N constante y conociéndose como ambigüedad, $\varphi_R^S(t)$ debe ser una magnitud negativa debido a que la señal recibida del satélite siempre estará retrasada con respecto a la generada en el receptor, y precisamente, es este retraso lo que se intenta medir. Según esto:

$$\varphi_R^S(t) = \Delta\varphi_R^S \Big|_{t_0}^t + N$$

siendo $\Delta\varphi_R^S|_0^t$ medible en todo momento, y permaneciendo N como una incógnita. Por lo anteriormente dicho, $\Delta\varphi_R^S|_0^t$ será también una magnitud negativa, pudiendo escribir:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi_R^S|_0^t &= -\Phi \\ \varphi_R^S(t) &= -\Phi + N\end{aligned}$$

y por tanto:

$$\begin{aligned}-f\frac{\rho}{c} - f\Delta\delta &= -\Phi + N \\ \Phi &= f\frac{\rho}{c} + f\Delta\delta + N\end{aligned}$$

y teniendo en cuenta que $f\lambda = c$, siendo c la velocidad de la luz, se obtiene la ecuación fundamental:

$$\Phi = \frac{\rho}{\lambda} + \frac{\Delta\delta c}{\lambda} + N$$

La fase de la onda portadora puede ser medida con una precisión mayor que 0.01 ciclos, lo que corresponde a una precisión de milímetros.

2.7.5.1.3 DESVIACIONES Y RUIDO

Tanto las pseudodistancias como las diferencias de fase se ven afectadas por errores sistemáticos o desviaciones y por ruidos aleatorios. Las fuentes de error se clasifican en tres grupos, errores relacionados con el satélite, con el medio de propagación y con el receptor

Algunos de los errores sistemáticos pueden modelarse o incluso llegar a eliminarse con una adecuada combinación de las observaciones. Diferencias entre receptores eliminan desviaciones específicas de los satélites y diferencias entre satélites eliminan desviaciones específicas de los receptores. Así, diferencias entre pseudodistancias, eliminan errores sistemáticos producidos en los satélites y en los receptores. Con respecto a la refracción, esto solamente es cierto en el caso de líneas base cortas, viéndose en este caso afectadas por igual las distancias medidas desde el satélite a ambos extremos de la línea base. La refracción ionosférica, puede ser eliminada con la utilización de dos frecuencias.

Las reflexiones de la señal son las que provocan la llegada al receptor de la misma por múltiples caminos. La interferencia entre la señal directa y la reflejada suele aparecer como ruido. Este efecto se reduce considerablemente seleccionando lugares para estacionar libres de obstáculos y con un apropiado diseño de la antena.

2.7.5.2 COMBINACIONES DE DATOS

Las observaciones GPS se obtienen a partir de la información codificada o de la onda portadora del mensaje radiado por el satélite. Sabiendo que el código P se modula en ambas portadoras, mientras que el código C/A es modulado únicamente en L1, se pueden medir en cada época, las diferencias codificadas, R_{L1} y R_{L2} , las fases de las portadoras, Φ_{L1} y Φ_{L2} , y sus correspondientes cambios en la fase, debidos al efecto Doppler. Las observaciones obtenidas a

partir de la portadora L1 pueden venir dadas desde dos caminos diferentes, según se utilices el código C/A o el código P.

El objetivo de este apartado es mostrar cómo se realizan combinaciones lineales de frecuencias y como se suavizan distancias codificadas a partir de portadoras de fase.

2.7.5.2.1 COMBINACIONES LINEALES DE FASE

Una combinación lineal de dos fases φ_1 y φ_2 , viene dada por :

$$\varphi = n_1\varphi_1 + n_2\varphi_2$$

donde n_1 y n_2 son dos escalares cualesquiera. Dado que las fases y las frecuencias están relacionadas por:

$$\varphi = ft$$

sustituyendo se puede escribir:

$$f = n_1f_1 + n_2f_2$$

y la longitud de onda de esta combinación lineal vendrá dada por:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

En el caso de satélites GPS, la combinación lineal de las fases de las portadoras L1 y L2, para el caso más simple en el que $n_1 = n_2 = 1$, es decir la suma de ambas, viene dada por:

$$\Phi_{L1+L2} = \Phi_{L1} + \Phi_{L2}$$

La diferencia de ambas vendrá dada por:

$$\Phi_{L1-L2} = \Phi_{L1} - \Phi_{L2}$$

Sus longitudes de onda serán:

$$\lambda_{L1+L2} = \frac{300 \cdot 10^6 \text{ m/s}}{(1575.42 + 1227.60) \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 10.7 \text{ cm}$$

$$\lambda_{L1-L2} = \frac{300 \cdot 10^6 \text{ m/s}}{(1575.42 - 1227.60) \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 86.2 \text{ cm}$$

La combinación lineal suma es conocida como banda estrecha (narrow lane) y la diferencia como banda ancha (wide lane). Ambas son empleadas para la resolución de ambigüedades.

Una combinación lineal ligeramente más complicada es la conocida como L3:

$$\Phi_{L3} = \Phi_{L1} - \frac{f_{L2}}{f_{L1}} \Phi_{L2}$$

que se usa para reducir los efectos ionosféricas.

Asumiendo un cierto nivel de ruido para las medidas de fase, se puede demostrar que el nivel de ruido aumenta para las combinaciones lineales vistas anteriormente. Aplicando la ley de propagación de errores y asumiendo el mismo nivel de ruido para ambas portadoras, el nivel de ruido de la suma o la diferencia será el de la portadora simple multiplicada por el factor $\sqrt{2}$, aunque por supuesto para el cálculo correcto de este factor deben tenerse en cuenta los diferentes niveles de ruido.

2.7.5.3 EFECTOS ATMOSFÉRICOS

2.7.5.3.1 VELOCIDAD DE FASE Y DE GRUPO

Considerando una simple onda electromagnética propagándose en el espacio con una longitud de onda λ y una frecuencia f . La velocidad de esta onda es conocida como velocidad de fase:

$$v_{ph} = \lambda f$$

Para el caso de satélites GPS, las portadoras L1 y L2 se propagan con esta velocidad.

En el caso de un grupo de ondas con frecuencias ligeramente diferentes, la propagación de la energía resultante viene dada por la velocidad de grupo:

$$v_{gr} = -\frac{df}{d\lambda} \lambda^2$$

que es la que tiene que ser considerada en el caso de medidas de código con GPS.

Diferenciando la ecuación anterior se puede obtener una relación entre la velocidad de fase y la velocidad del grupo:

$$dv_{ph} = fd\lambda + \lambda df$$

que puede ser reorganizada de la forma:

$$\frac{df}{d\lambda} = \frac{1}{\lambda} \frac{dv_{ph}}{d\lambda} - \frac{f}{\lambda}$$

y sustituyendo en las expresiones anteriores se obtiene finalmente la ecuación de Rayleigh:

$$v_{gr} = v_{ph} - \lambda \frac{dv_{ph}}{d\lambda}$$

Se debe tener en cuenta que la dispersión de la onda simple ya viene implícitamente contemplada en la anterior expresión, viniendo dada como incrementos o de longitud de onda o de frecuencia. La media de las velocidades de fase y de grupo son iguales y se corresponde con la velocidad de la luz en el vacío.

La propagación de una onda en un medio depende de su índice de refracción n . Generalmente la velocidad de propagación viene dada por:

$$v = \frac{c}{n}$$

Aplicando esta expresión tanto a la velocidad de fase como a la velocidad de grupo:

$$v_{ph} = \frac{c}{n_{ph}}$$

$$v_{gr} = \frac{c}{n_{gr}}$$

Diferenciando con respecto a λ la velocidad de fase:

$$\frac{dv_{ph}}{d\lambda} = -\frac{c}{n_{ph}^2} \frac{dn_{ph}}{d\lambda}$$

y sustituyendo las tres últimas ecuaciones:

$$\frac{1}{n_{gr}} = \frac{1}{n_{ph}} \left(1 + \frac{\lambda}{n_{ph}} \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \right)$$

que invertida se convierte en:

$$n_{gr} = n_{ph} \left(1 - \frac{\lambda}{n_{ph}} \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \right)$$

habiendo aplicado la aproximación $(1 + \varepsilon)^{-1} = 1 - \varepsilon$; por lo tanto:

$$n_{gr} = n_{ph} - \lambda \frac{dn_{ph}}{d\lambda}$$

que se conoce como ecuación de Rayleigh modificada. Se llega a una fórmula ligeramente modificada si diferenciamos la relación $c = \lambda f$ con respecto a λ y f :

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = -\frac{df}{f}$$

que sustituyendo:

$$n_{gr} = n_{ph} + f \frac{dn_{ph}}{df}$$

2.7.5.3.2 REFRACCION IONOSFÉRICA

La ionosfera, que se extiende en capas alrededor de la Tierra desde los 50 km a los 1000 km, es un dispositivo para la señal de radio emitida por los satélites GPS.

El índice de refracción cuando se trata de fase se aproxima por medio de un desarrollo en serie calculado por Seeber (1993):

$$n_{ph} = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \dots$$

Los coeficientes c_2, c_3, \dots no dependen de la frecuencia, pero si dependen de la cantidad de electrones por metro cúbico, N_e (densidad de electrones), a lo largo de la trayectoria de propagación de la onda. Empleando solo el desarrollo hasta el término de orden dos:

$$n_{ph} = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \dots$$

que diferenciando:

$$dn_{ph} = -2 \frac{c_2}{f^3} df$$

y sustituyendo estas dos últimas expresiones en:

$$n_{gr} = 1 - \frac{c_2}{f^2}$$

De las fórmulas anteriores se deduce que los índices de refracción para la fase y para el grupo se desvían de la unidad con signo opuesto. Seeber estimó un valor para $c_2 = -40.30 N_e$ [Hz²]. Dado que la densidad N_e siempre es positiva, se cumplen las relaciones:

$$n_{gr} > n_{ph}$$

$$v_{gr} < v_{ph}$$

Como consecuencia de las diferentes velocidades un grupo de ondas se retrasa y una única onda se adelanta, respecto a la velocidad del vacío, al entrar en un medio como la ionosfera. En otras palabras, en la ionosfera, los códigos GPS se retrasan y las portadoras se adelantan; lo que lleva a que las pseudodistancias medidas con códigos sean demasiado grandes y las medidas con fase demasiado pequeñas, con respecto a la distancia geométrica medida entre el satélite y el receptor. Pero en ambos casos la diferencia es la misma.

De acuerdo con el principio de Fermat, la distancia medida s se define como:

$$s = \int n ds$$

donde la integral está extendida a todo el camino recorrido por la señal. La distancia geométrica entre el receptor y el satélite medida en línea recta, s_0 , puede obtenerse haciendo $n=1$:

$$s_0 = \int ds_0$$

A la diferencia Δ^{Iono} entre la distancia medida y la distancia geométrica se la conoce como refracción ionosférica y viene dada por:

$$\Delta^{Iono} = \int n ds - \int ds_0$$

que para el caso de una única fase de índice de refracción, n_{ph} , puede escribirse como:

$$\Delta_{ph}^{Iono} = \int \left(1 + \frac{c_2}{f^2} \right) ds - \int ds_0$$

y para el caso de un grupo de ondas con un índice de refracción, n_{gr} :

$$\Delta_{gr}^{Iono} = \int \left(1 - \frac{c_2}{f^2} \right) ds - \int ds_0$$

Si suponemos que la integración del primer término de estas dos formulas se lleva a cabo a lo largo de la línea recta entre el satélite y el receptor, entonces $ds=ds_0$, y las fórmulas anteriores quedarán de la forma:

$$\Delta_{ph}^{Iono} = \int \frac{c_2}{f^2} ds_0$$

$$\Delta_{gr}^{Iono} = - \int \frac{c_2}{f^2} ds_0$$

que se puede escribir como:

$$\Delta_{ph}^{Iono} = - \frac{40.3}{f^2} \int N_e ds_0$$

$$\Delta_{gr}^{Iono} = - \frac{40.3}{f^2} \int N_e ds_0$$

y llamando TEC al contenido total de electrones a lo largo del camino recorrido por la señal:

$$TEC = \int N_e ds_0$$

que sustituyendo:

$$\Delta_{ph}^{Iono} = - \frac{40.3}{f^2} TEC$$

$$\Delta_{gr}^{Iono} = - \frac{40.3}{f^2} TEC$$

que tienen la dimensión de una longitud. Normalmente el TEC se mide en 10^{16} electrones/m².

La integral $\int N_e ds_0$ será el número total de electrones en una columna de 1 m² de sección extendida desde el satélite hasta el receptor.

El contenido de electrones a lo largo de la vertical a la Tierra en la columna que atraviesa la ionosfera está modelizado, y se le conoce como VTEC, está relacionado con el TEC según:

$$VTEC = TEC \cos z'$$

siendo z' el ángulo cenital del satélite, las fórmulas quedan de la forma:

$$\Delta_{ph}^{Iono} = -\frac{1}{\cos z'} \frac{40.3}{f^2} TEC$$

$$\Delta_{gr}^{Iono} = -\frac{1}{\cos z'} \frac{40.3}{f^2} TEC$$

La conclusión final que se obtiene es que debido a la influencia de la ionosfera la pseudodistancia de código aumenta en Δ_{gr}^{Iono} debido a la menor velocidad que tiene el grupo de ondas de frecuencias similares que forman el código al atravesar la ionosfera y la pseudodistancia de fase disminuye en Δ_{ph}^{Iono} ya que en este caso el efecto es el contrario, y la velocidad de la portadora aumenta al atravesar la ionosfera.

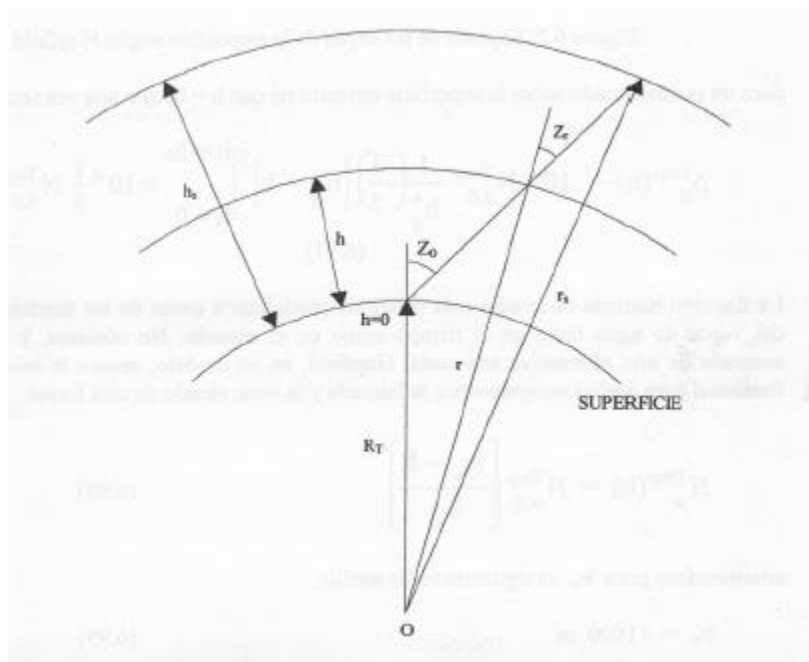


Figura 2.7-10 refracción ionosférica

De la figura anterior se obtiene la relación:

$$\text{sen} z' = \frac{R_T}{R_T + h_m} \text{sen} z$$

donde R_E es el radio medio de la Tierra, h_m es la altura media a partir de la cual se encuentra la ionosfera. El ángulo z se calcula conociendo la posición del satélite y conociendo las coordenadas aproximadas del receptor. Para h_m el valor aproximado es de unos 400 km, aunque sería recomendable el uso de un algoritmo de cálculo de la altura de ionosfera para cada punto. De todas formas la altura influye únicamente en el caso de satélites poco elevados.

Como se observa en el cambio en la medida de la distancia ocasionado por la ionosfera puede ser calculado conociendo el TEC, el cual es bastante complicado de calcular debido a que depende de múltiples factores como son la actividad de las manchas solares, de variaciones estacionales y diarias, del punto de observación, así como de la altura y azimut del satélite. Teniendo en cuenta todos estos efectos el cálculo de la pseudodistancia puede tener un error que varía entre 0.15 y 50m.

2.7.5.3.3 REFRACCIÓN TROPOSFÉRICA

El efecto de la atmósfera neutral (no ionizada) es conocido como refracción troposférica, debiendo entenderse que se extiende no únicamente a la troposfera sino también a la estratosfera donde también se da el fenómeno de la refracción.

La atmósfera neutra es un medio no dispersivo con respecto a las ondas de radio cuya frecuencia sea inferior a 15 Ghz, y su propagación en este medio es independiente de la frecuencia, con lo que la eliminación de la refracción troposférica no es posible usando el método de las dos frecuencias.

El retraso troposférico a lo largo del camino seguido por la señal viene dado por:

$$\Delta^{Trop} = \int (n - 1) ds$$

Introduciendo de nuevo una aproximación dado que la integración se llevará a cabo a lo largo de la línea recta que une emisor y receptor, y no a lo largo del verdadero camino seguido por la señal. Normalmente en lugar del índice de refracción n se usa el índice $N^{Trop} = 10^{-6} \int N^{Trop} ds$, con lo que la ecuación anterior queda de la forma:

$$\Delta^{Trop} = 10^{-6} \int N^{Trop} ds$$

Hopfield (1969) mostró la posibilidad de separar N^{Trop} en dos componentes, uno para la fracción seca y otro correspondiente al vapor de agua:

$$N^{Trop} = N_d^{Trop} + N_w^{Trop}$$

siendo las variaciones de la distancia por ambos motivos:

$$\Delta^{Trop} = 10^{-6} \int N_d^{Trop} ds$$

$$\Delta^{Trop} = 10^{-6} \int N_w^{Trop} ds$$

y la variación total:

$$\Delta^{Trop} = \Delta_d^{Trop} + \Delta_w^{Trop} = 10^{-6} \int N_d^{Trop} ds + 10^{-6} \int N_w^{Trop} ds$$

y según Janes (1989), únicamente un 10% del efecto total es debido al vapor de agua. En la práctica los modelos que tienen en cuenta la refracción se introducen en la expresión anterior y la integración se lleva a cabo por métodos numéricos o analíticos después de haber llevado a cabo un desarrollo en serie. Un modelo de refractividad muy conocido sobre la superficie de la Tierra es el de Essen y Froome (1915), cuya componente seca viene dada por:

$$N_{d,0}^{Trop} = \bar{c}_1 \frac{p}{T} \qquad \bar{c}_1 = 77.64 \text{Kmb}^{-1}$$

donde p es la presión atmosférica en milibares (mb) y T es la temperatura en grados kelvin (K). La componente húmeda viene dada por:

$$N_{w,0}^{Trop} = \bar{c}_2 \frac{e}{T} + \bar{c}_3 \frac{e}{T^2}$$

$$\bar{c}_2 = -12.96 \text{Kmb}^{-1}$$

$$\bar{c}_3 = 3.718 \cdot 10^{-5} \text{Kmb}^{-1}$$

donde e es la presión parcial del vapor de agua expresada en milibares y T es la temperatura en grados kelvin. Puede verse que estos coeficientes no tienen relación alguna con los que se determinaron para el caso de la ionosfera.

Los valores de \bar{c}_1 , \bar{c}_2 y \bar{c}_3 se determinan empíricamente y no pueden ser determinados para una determinada situación, aunque pueden ser mejorados utilizando datos meteorológicos en el lugar de la observación. En los siguientes apartados se presentan varios modelos donde se tienen en cuenta datos meteorológicos de superficie.

2.7.5.3.3.1.1 MODELO DE HOPFIELD

Utilizando datos reales sobre la envoltura de la Tierra, Hopfield (1969) encontró una representación empírica de la fracción seca de la refractividad en función de la altura h sobre la superficie:

$$N_d^{Trop}(h) = N_{d,0}^{Trop} \left[\frac{h_d - h}{h_d} \right]^4$$

cumpléndose según Janes (1989) la siguiente ley:

$$h_d = 40136 + 148.72(T - 273.16)(m)$$

sustituyendo, se obtiene el retraso que sufre la señal debido a la fracción seca de la troposfera:

$$\Delta_d^{Trop}(h) = 10^{-6} N_{d,0}^{Trop} \int \left[\frac{h_d - h}{h_d} \right]^4 ds$$

Esta integral puede resolverse si el retraso se calcula a lo largo de la dirección vertical, rechazándose la curvatura del camino seguido por la señal, con lo que la integral quedará en la forma:

$$\Delta_d^{Trop}(h) = 10^{-6} N_{d,0}^{Trop} \frac{1}{h_d^4} \int_{h=0}^{h_d} [h_d - h]^4 dh$$

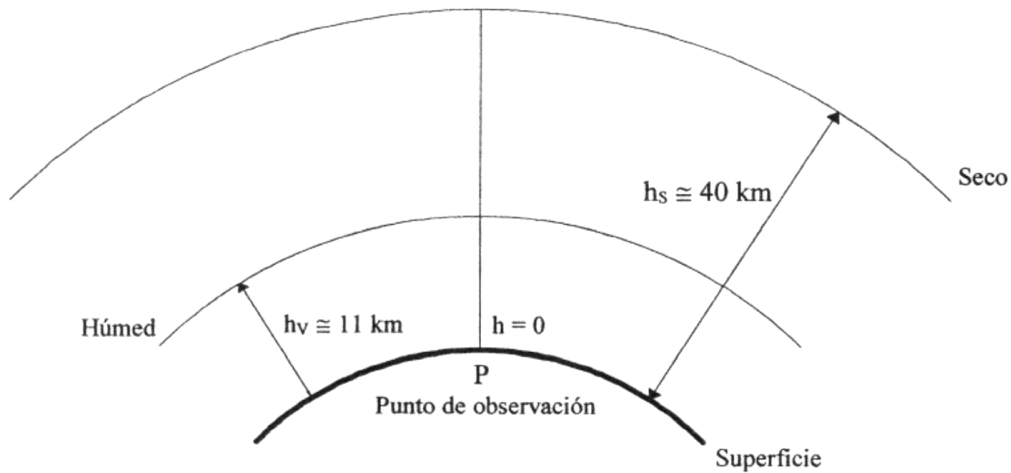


Figura 2.7-11 modelo de Hopfield

para un punto situado sobre la superficie terrestre tal que $h = 0$, que una vez resuelta:

$$\Delta_d^{Trop}(h) = 10^{-6} N_{d,0}^{Trop} \frac{1}{h_d^4} \left(-\frac{1}{5} \right) [h_d - h]^5 \Big|_{h=0}^{h=h_d} = 10^{-6} N_{d,0}^{Trop} h_d$$

La fracción húmeda es mucho más difícil de modelizar a causa de las fuertes variaciones del vapor de agua tanto en el tiempo como en el espacio. No obstante, y debido a la ausencia de una alternativa adecuada, Hopfield, en su modelo, asume la misma relación funcional para ambas componentes, la húmeda y la seca, siendo de esta forma:

$$N_w^{Trop}(h) = N_{w,0}^{Trop} \left[\frac{h_w - h}{h_w} \right]^4$$

admitiéndose para h_w el siguiente valor medio:

$$h_w = 11000 \text{ m}$$

aunque han sido propuestos otros valores, tales como $h_w = 12000 \text{ m}$, propuesto por Fell (1980). No se pueden dar valores únicos para h_w y h_d a causa de su fuerte dependencia del lugar y de la temperatura. Las alturas efectivas de la troposfera vienen dadas por los siguientes límites:

$$40 \text{ Km} \leq h_d \leq 45 \text{ Km}$$

$$10 \text{ Km} \leq h_w \leq 13 \text{ Km}$$

La integración es análoga a la anterior, obteniéndose el siguiente resultado:

$$\Delta^{Trop}(h) = 10^{-6} \frac{1}{5} N_{w,0}^{Trop} h_w$$

El retraso de la señal debido al efecto troposférico, para un punto sobre la superficie de la Tierra y un ángulo cenital de la señal de cero grados, vendrá dado por:

$$\Delta^{Trop}(h) = 10^{-6} \frac{1}{5} \left[N_{W,0}^{Trop} h_d + N_{W,0}^{Trop} h_w \right]$$

Este modelo no será válido para un ángulo cenital cualquiera de la señal, debiendo entonces aplicarse un factor de oblicuidad, que no será otro que la proyección del retraso en el caso de un ángulo cenital cero de la señal sobre la dirección verdadera de la señal, es decir

$$\frac{1}{\cos z}$$

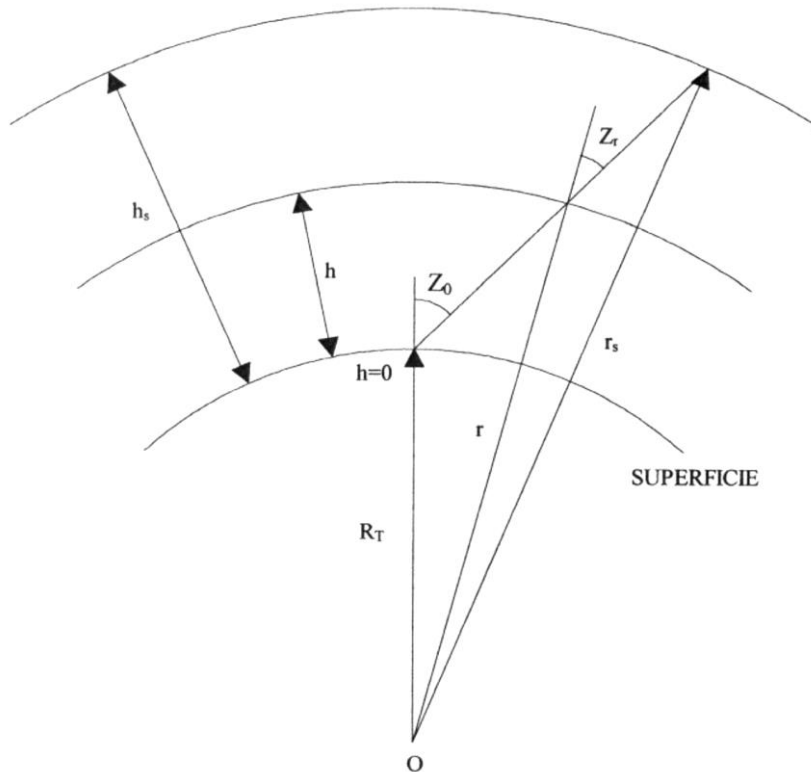


Figura 2.7-12 refracción troposférica

Una pequeña variación del modelo de Hopfield, fue la calculada por Seeber (1993), en la que se tiene en cuenta el ángulo de elevación E (expresado en grados) del satélite sobre el lugar de observación. La fórmula es la siguiente:

$$\Delta^{Trop}(E) = 10^{-6} \frac{1}{5} \left[\frac{N_{d,0}^{Trop} h_d}{\text{sen} \sqrt{E^2 + 6.25}} + \frac{N_{W,0}^{Trop} h_w}{\text{sen} \sqrt{E^2 + 6.25}} \right]$$

que puede ser escrito como:

$$\Delta^{Trop}(E) = \Delta_d^{Trop}(E) + \Delta_w^{Trop}(E)$$

donde:

$$\Delta_d^{Trop}(E) = \frac{10^{-6} N_{d,0}^{Trop} h_d}{\text{sen} \sqrt{E^2 + 6.25}}$$

$$\Delta_W^{Trop}(E) = \frac{10^{-6} N_{d,0}^{Trop} h_W}{\text{sen}\sqrt{E^2 + 6.25}}$$

y sustituyendo en las expresiones anteriores:

$$\Delta_d^{Trop}(E) = \frac{10^{-6} 77.64 \frac{P}{T}}{\text{sen}\sqrt{E^2 + 6.25}} [40136 + 148.72(T - 273.16)]$$

$$\Delta_d^{Trop}(E) = \frac{10^{-6} - 12.96T + 3.718 \cdot 10^5}{\text{sen}\sqrt{E^2 + 6.25}} \frac{e}{T^2} 11000$$

midiendo p, T, e, en el lugar de observación, y calculando el ángulo de elevación E, se obtiene el retraso troposférico total expresado en metros.

2.7.5.4 VARIACION DEL CENTRO DE FASE DE LA ANTENA

El centro de fase de la antena es el punto al cual se refiere la señal de radio medida y que generalmente no coincide con el centro geométrico de la antena. Este desplazamiento depende de la elevación, el acimut y la intensidad de la señal del satélite y además es diferente para L1 y L2. Se distinguen dos efectos: el desplazamiento y la variación del centro de fase de la antena. La precisión de una antena debe basarse en la variación del centro de fase de la antena y no en su desplazamiento. Un desplazamiento constante se puede determinar y tenerse en cuenta.

El verdadero centro de fase de la antena puede ser diferente del centro indicado por el fabricante. Este desplazamiento puede deberse a una imperfecta producción en serie de las antenas. Una investigación para determinar estos desplazamientos fue llevada a cabo por Sims (1985) y se basó en un test de medidas realizadas en laboratorio girando las antenas.

El centro de fase de la antena varía con respecto a las señales que llegan de los satélites. Esta variación es sistemática y puede determinarse mediante test de pruebas. Sims (1985) encontró variaciones de 1 a 2 cm. Sin embargo es difícil modelar la variación del centro de fase ya que es diferente para cada tipo de antena. Geiger (1988) muestra las diferentes características de las antenas cónicas en espiral, microstrip, dipolos y hélices. Como consecuencia se propone el cálculo directo del efecto de la antena sobre las medidas de distancia con respecto al acimut y a la elevación. En Schupler y Clark (1991) se dan funciones simples para un modelado apropiado del efecto, basadas en test de laboratorio.

2.7.5.5 MULTIPATH

El efecto multipath está bien descrito por su propio nombre: la señal emitida por el satélite llega al receptor por varias trayectorias. Principalmente se debe a las superficies reflectantes próximas al receptor. Aunque también existen efectos secundarios debidos a las reflexiones en el propio satélite durante el proceso de emisión.

En la figura se ve que la señal llega al receptor por tres caminos diferentes, uno directo y dos indirectos, con lo que la diferencia de fase medida es proporcional a las longitudes seguidas por la señal.

No existe un modelo general que evalúe el efecto de multipath debido a las diferentes situaciones que se pueden dar. No obstante, su efecto se puede estimar a través de la combinación de los códigos en L1 y L2 y las medidas de fase.

El principio de lo anterior se fundamenta en el hecho de que la influencia de los efectos de la troposfera, el error de los relojes y los efectos relativistas en las medidas de fase y códigos son la misma cantidad. Esto no es cierto para la refracción ionosférica y el efecto multipath cuyo efecto depende de la frecuencia. Tomando pseudodistancias de código y de fases de la portadora libres de efecto ionosférico y formando las correspondientes diferencias, todos los efectos anteriormente mencionados, salvo el multipath se anulan. Los residuos, aparte del nivel de ruido, reflejan el efecto multipath.

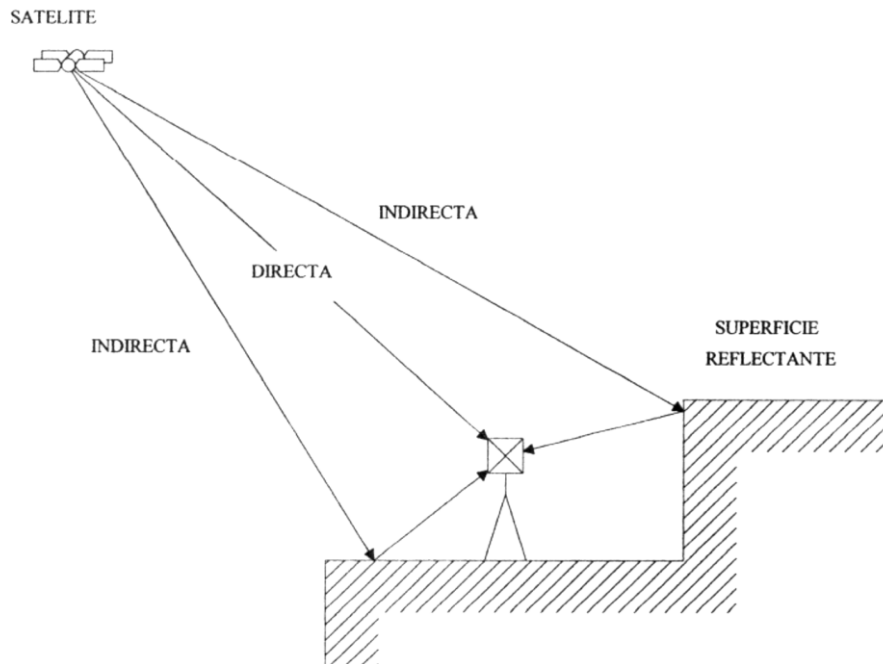


Figura 2.7-13 efecto multipath

La recomendación es, por tanto, colocar la antena sobre superficies poco reflectantes.

La eliminación del efecto mencionado es posible utilizando antenas GPS que polaricen la señal de forma circular hacia la derecha, ya que las superficies reflectantes las polarizan hacia la izquierda.

También se puede, reducir su efecto mediante la utilización de planos de tierra de antenas que absorban a las radiofrecuencias. Este plano horizontal reduce las interferencias de las señales de los satélites cuando la elevación de los mismos es pequeña, como es el caso cuando ocurre el fenómeno de multipath.

Desde el punto de vista geométrico es evidente que la señales recibidas desde satélites con una elevación pequeña son más propicias para producir el efecto multipath que las señales proveniente de satélites con elevación grande. Es de destacar que las medidas de pseudodistancias de código están más afectadas por este fenómeno que las medidas de fase.

Comparando mediciones realizadas en épocas aisladas, el efecto multipath para pseudodistancias puede tomar valores de 10-20 m. Bajo ciertas condiciones y en proximidades de construcciones, el error resultante puede alcanzar los 100 metros.

Los errores debidos al efecto multipath pueden agruparse, en lo que a pseudodistancias se refiere, en tres grupos:

- Errores que provienen de una determinada área (es el caso de que la señal pasa por una zona con materiales metálicos) y que puede causar un error en las pseudodistancias de alrededor de 10 m.
- Errores debidos a reflexiones especulares sobre objetos bien definidos o sobre superficies reflectoras que se encuentran en las proximidades de la antena. Puede alcanzar valores entre 2 y 6 m.
- Errores debidos a fluctuaciones de muy baja frecuencia, generalmente asociadas con la reflexión de las señales sobre la superficie del agua, que pueden producir errores de 10m.

En casos extremos de este fenómeno pueden producirse pérdidas de ciclos.

El efecto multipath se puede estimar en la medida de fase. Según la ilustración anterior, las señales que llegan al centro de la antena de forma directa e indirecta se pueden representar a través de las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \text{señal directa} &\rightarrow a \cos \varphi \\ \text{señal indirecta} &\rightarrow \beta \cos(\varphi + \Delta\varphi) \end{aligned}$$

donde:

a = Amplitud de la señal directa.

φ = Fase de la señal directa.

β = Factor reductor de la amplitud en la señal indirecta debido a las reflexiones sobre una superficie.

$\Delta\varphi$ = Retraso de la fase de la señal indirecta, función de la configuración geométrica.

La superposición de las señales se representa:

$$a \cos \varphi + \beta a \cos(\varphi + \Delta\varphi)$$

Desarrollando:

$$a \cos \varphi + \beta a \cos \varphi \cos \Delta\varphi - \beta a \sin \varphi \sin \Delta\varphi$$

Operando:

$$a \cos \varphi (1 + \beta \cos \Delta\varphi) - a \sin \varphi (\beta \sin \Delta\varphi)$$

La expresión anterior se puede poner de la forma:

$$\beta_M a \cos(\varphi + \Delta\varphi_M)$$

Donde el subíndice M indica el efecto multipath. Desarrollando la ecuación se obtiene:

$$\beta_M = a \cos \varphi \cos \Delta \varphi_M = \beta \operatorname{sen} \Delta \varphi_M = (\beta_M \cos \Delta \varphi_M) a \cos \Delta \varphi_M = (\beta \cos \Delta \varphi + 1)$$

Teniendo en cuenta los coeficientes para $a \cos \varphi$ y $a \operatorname{sen} \varphi$ de las expresiones anteriores obtenemos las relaciones:

$$\begin{aligned} \beta_M \operatorname{sen} \Delta \varphi_M &= \beta \operatorname{sen} \Delta \varphi \\ \beta_M \cos \Delta \varphi_M &= (\beta \cos \Delta \varphi + 1) \end{aligned}$$

Esta expresión representa las dos ecuaciones para las dos cantidades deseadas. Elevando las ecuaciones al cuadrado y sumándolas, obtenemos la expresión explícita para β_M , decir:

$$\beta_M = \sqrt{1 + \beta^2 + 2\beta \cos \Delta \varphi}$$

La expresión explícita de $\Delta \varphi_M$ se obtiene dividiendo las dos ecuaciones dadas, es decir que:

$$\operatorname{tg} \Delta \varphi_M = \frac{\beta \operatorname{sen} \Delta \varphi}{1 + \beta \cos \Delta \varphi}$$

El factor β puede variar entre 0 y 1. Tomando el valor de $\beta = 0$ (no hay reflexión y por tanto tampoco efecto multipath) se obtiene $\beta_M = 1$ y $\Delta \varphi_M = 0$. Esto nos indica que la señal resultante que llega a la antena es la misma que la señal directa. La mayor reflexión posible está definida para el valor. $\beta = 1$ Sustituyendo de nuevo se obtiene:

$$\beta_M = \sqrt{2(1 + \cos \Delta \varphi)} = 2 \cos \frac{\Delta \varphi}{2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_M = \frac{\operatorname{sen} \Delta \varphi}{1 + \cos \Delta \varphi} = \operatorname{tg} \frac{\Delta \varphi}{2}$$

Con lo que la expresión anterior:

$$\Delta \varphi_M = \frac{\Delta \varphi}{2}$$

El desplazamiento de la fase $\Delta \varphi$ puede expresarse como una función del incremento de la trayectoria ΔS . En el caso de un reflector horizontal (el terreno):

$$\Delta \varphi = \frac{1}{\lambda} \Delta S = \frac{2h}{\lambda} \operatorname{sen} E$$

donde la fase se expresa en ciclos, el parámetro h indica la altura de la antena y E es el ángulo de elevación del satélite.

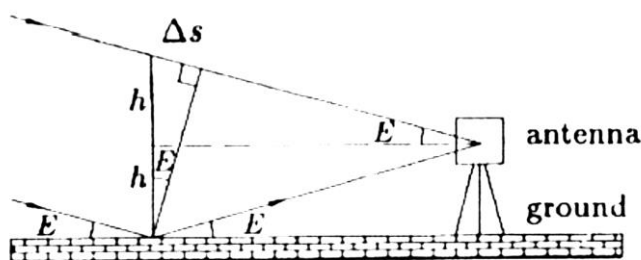


Figura 2.7-14 esquema angular efecto multipath

El efecto del multipath es periódico ya que E varía con el tiempo. La frecuencia del multipath es:

$$f = \frac{d(\Delta\varphi)}{dt} = \frac{2h}{\lambda} \cos E \frac{dE}{dt}$$

Sustituyendo E por el valor de 45° y $dE/dt = 0,07$ mrad/s se llega a la siguiente aproximación para la portadora L1:

$$f = 0.521 \cdot 10^{-3} h$$

donde la frecuencia se obtiene en Hz si h se expresa en metros, de modo que para una altura de antena de 2 metros se obtiene un periodo de aproximadamente 16 minutos para el error de multipath.

El efecto multipath sobre las medidas de fase, en posicionamiento relativo y en líneas bases cortas, debería, en general, no superar el valor de 1 cm (suponiendo una buena geometría y un intervalo de observación razonablemente largo). Pero aún en estos casos un simple cambio en la altura del receptor puede incrementar el mencionado efecto y por tanto estropear los resultados.

Li y otros (1993) proponen la detección y reducción del multipath en campo espectral. Los datos medidos son transformados por Transformaciones Rápidas de Fourier al campo espectral. La detección y reducción del multipath se lleva a cabo a través de filtros. Después se obtienen los datos filtrados a través de la inversa de las Transformaciones Rápidas de Fourier.

En la práctica el efecto multipath no representa un gran problema. El sentido común y el conocimiento del sistema por parte del observador le proporcionarán los datos suficientes para elegir el emplazamiento de la antena del receptor GPS.

Aquellos lugares en los que en sus proximidades existan vallas metálicas o edificios (estructuras) metálicas deben evitarse como lugares de emplazamiento. En caso de existencia de vallas metálicas que no se puedan evitar, deberemos elevar la antena por encima de las mismas. Cuando se trabaja en modo estático, donde los tiempos de observación pueden ser largos, los períodos intermitentes del fenómeno multipath (multicamino) no representan ningún problema. Si se trabaja en estático rápido puede existir mayor contaminación de la señal debido al mencionado efecto, en cuyo caso es conveniente prolongar el tiempo de observación. Estas situaciones ocurren, por ejemplo, cuando el receptor se instala en medio de una autopista y están pasando continuamente grandes camiones.

2.7.6 MODELOS MATEMÁTICOS PARA POSICIONAMIENTO

2.7.6.1 POSICIONAMIENTO RELATIVO

El objetivo del posicionamiento relativo es determinar las coordenadas de un punto desconocido con respecto a un punto conocido, el cual, para muchas aplicaciones es estacionario. En otras palabras, el posicionamiento relativo se refiere a la determinación del vector que une dos puntos, llamado a menudo baselínea. Sea A el punto conocido, tomado como referencia, B el desconocido, a calcular y b_{AB} el vector baselínea que une ambos.

Si X_A y X_B son los vectores posición de A y B, tendremos:

$$X_B = X_A + b_{AB}$$

y las componentes del vector baselínea son:

$$b_{AB} = \begin{pmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

Suponiendo simultaneidad de las observaciones en los dos puntos A y B, desde los satélites j y k, podemos formar combinaciones lineales a base de simples diferencias, dobles diferencias y triples diferencias. La mayor parte del software existente usa alguna de estas tres técnicas mencionadas.

2.7.6.1.1 DIFERENCIAS DE FASE

2.7.6.1.1.1 SIMPLES DIFERENCIAS

Dos puntos y un satélite están implicados. Sean los puntos A Y B, y el satélite j. Las ecuaciones de la diferencia de fase para los dos puntos son las siguientes:

$$\begin{aligned} \phi_A^j(t) - f^j \delta^j(t) &= \rho_A^j / \lambda - f^j \delta_A(t) + N_A^j \\ \phi_B^j(t) - f^j \delta^j(t) &= \rho_B^j / \lambda - f^j \delta_B(t) + N_B^j \end{aligned}$$

y la diferencia entre las dos ecuaciones es:

Los valores de los coeficientes son los mismos para ambos puntos, lo que significa que la matriz de ajuste va a tener columnas linealmente dependientes.

Utilizando notaciones abreviadas:

$$\begin{aligned} N_{AB}^j &= N_B^j - N_A^j \\ \delta_{AB}(t) &= \delta_B(t) - \delta_A(t) \\ \phi_{AB}^j(t) &= \phi_B^j(t) - \phi_A^j(t) \\ \rho_{AB}^j(t) &= \rho_B^j(t) - \rho_A^j(t) \end{aligned}$$

y sustituyendo:

$$\phi_{AB}^j(t) = \rho_{AB}^j(t) / \lambda + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}(t)$$

que es la forma final de la ecuación en simples diferencias, donde vemos que ha desaparecido el término de desviación del reloj del satélite.

2.7.6.1.1.2 DOBLES DIFERENCIAS

Sean dos puntos A, B, y dos satélites j, k implicados, se pueden formar dos simples diferencias de acuerdo con la ecuación anterior:

$$\phi_{AB}^j(t) = \rho_{AB}^j(t) / \lambda + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}(t)$$

$$\phi_{AB}^k(t) = \rho_{AB}^k(t) / \lambda + N_{AB}^k - f^k \delta_{AB}(t)$$

Formamos una diferencia doble por diferencia de las simples. Asumiendo frecuencias iguales $f^j = f^k$ para las señales de los satélites, el resultado es:

$$\phi_{AB}^k(t) - \phi_{AB}^j(t) = [\rho_{AB}^k(t) - \rho_{AB}^j(t)] / \lambda + (N_{AB}^k - N_{AB}^j)$$

Utilizando notación abreviada:

$$\phi_{AB}^{jk}(t) = \rho_{AB}^{jk}(t) / \lambda + N_{AB}^{jk}$$

El efecto cancelador de las desviaciones de los relojes de los receptores es la causa por la que las dobles diferencias son utilizadas. Esta cancelación resulta de la asunción de observaciones simultáneas y frecuencias iguales de las señales de los satélites y de los receptores.

En la ecuación anterior se utiliza la notación abreviada:

$$\phi_{AB}^{jk}(t) = \phi_B^k(t) - \phi_B^j(t) - \phi_A^k(t) + \phi_A^j(t)$$

$$\rho_{AB}^{jk}(t) = \rho_B^k(t) - \rho_B^j(t) - \rho_A^k(t) + \rho_A^j(t)$$

$$N_{AB}^{jk} = N_B^k - N_B^j - N_A^k + N_A^j$$

2.7.6.1.1.3 TRIPLES DIFERENCIAS

Con objeto de eliminar la ambigüedad, y teniendo en cuenta que es independiente del tiempo, se utilizan diferencias entre dos épocas diferentes t_1 y t_2 :

$$\phi_{AB}^{jk}(t_1) = \rho_{AB}^{jk}(t_1) / \lambda + N_{AB}^{jk}$$

$$\phi_{AB}^{jk}(t_2) = \rho_{AB}^{jk}(t_2) / \lambda + N_{AB}^{jk}$$

$$\phi_{AB}^{jk}(t_2) - \phi_{AB}^{jk}(t_1) = [\rho_{AB}^{jk}(t_2) - \rho_{AB}^{jk}(t_1)] / \lambda$$

que podemos escribir de forma simplificada:

$$\phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \rho_{AB}^{jk}(t_{12}) / \lambda$$

debemos tener en cuenta, que tanto $\phi_{AB}^{jk}(t_{12})$, como $\rho_{AB}^{jk}(t_{12})$, están compuestos de ocho términos cada uno:

$$\begin{aligned}\rho_{AB}^{jk}(t_{12}) &= \rho_B^k(t_2) - \rho_B^j(t_2) - \rho_A^k(t_2) + \rho_A^j(t_2) - \rho_B^k(t_1) + \rho_A^k(t_1) - \rho_A^j(t_1) \\ \phi_{AB}^{jk}(t_{12}) &= \phi_B^k(t_2) - \phi_B^j(t_2) - \phi_A^k(t_2) + \phi_A^j(t_2) - \phi_B^k(t_1) + \phi_A^k(t_1) - \phi_A^j(t_1)\end{aligned}$$

La principal ventaja de las triples diferencias es la cancelación de la ambigüedad.

2.7.6.1.2 CORRELACIÓN ENTRE COMBINACIONES DE FASE

En general hay dos tipos de correlaciones, las físicas y las matemáticas. Correlación física existe siempre que estemos hablando del mismo satélite emisor. Pero usualmente la correlación física no se tiene en cuenta y tiene más interés la correlación matemática, introducida por las diferencias.

Se asume que los errores de medida de fase siguen una ley normal de media cero y varianza σ^2 . Las medidas de fase son linealmente independientes o incorreladas. Introduciendo un vector Φ que contenga las fases, entonces tendremos:

$$cov(\Phi) = \sigma^2 I$$

que es la matriz de covarianzas de las fases, donde I es la matriz unidad, cuya dimensión será el resultado de multiplicar el número de satélites por el número de receptores y por el número de épocas.

2.7.6.1.2.1 SIMPLES DIFERENCIAS

Considerando dos puntos A y B, un satélite j , en una época t :

$$\phi_{AB}^j(t) = \phi_B^j(t) - \phi_A^j(t)$$

que es la simple diferencia correspondiente. Formando una segunda simple diferencia, para los dos mismos puntos, otro satélite k , y la misma época:

$$\phi_{AB}^k(t) = \phi_B^k(t) - \phi_A^k(t)$$

Estas dos simples diferencias, podemos expresadas del siguiente modo:

$$SD = C\Phi$$

donde:

$$SD = \begin{pmatrix} \phi_{AB}^j(t) \\ \phi_{AB}^k(t) \end{pmatrix} \quad \Phi = \begin{pmatrix} \phi_A^j(t) \\ \phi_B^j(t) \\ \phi_A^k(t) \\ \phi_B^k(t) \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

Aplicando la ley de propagación de covarianzas:

$$\begin{aligned} \text{cov}(SD) &= C \text{cov}(\Phi) C^t \\ \text{cov}(SD) &= C \sigma^2 I C^t = \sigma^2 C C^t \\ C C^t &= 2 \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = 2I \end{aligned}$$

que sustituyendo tenemos:

$$\text{cov}(SD) = 2\sigma^2 I$$

Esto demuestra que las diferencias simples están incorreladas. Si consideramos más de una época, la matriz de covarianzas tendrá la dimensión del número de simples diferencias consideradas.

2.7.6.1.2.2 DOBLES DIFERENCIAS

Sean tres satélites, j, k, l, considerando j como satélite de referencia. Dos puntos A y B, y una época t. Formando las dobles diferencias:

$$\begin{aligned} \phi_{AB}^{jk}(t) &= \phi_{AB}^k(t) - \phi_{AB}^j(t) \\ \phi_{AB}^{jl}(t) &= \phi_{AB}^l(t) - \phi_{AB}^j(t) \end{aligned}$$

escribiendo estas dos ecuaciones en forma vectorial:

$$DD = C SD$$

donde

$$DD = \begin{pmatrix} \phi_{AB}^{jk}(t) \\ \phi_{AB}^{jl}(t) \end{pmatrix} \quad SD = \begin{pmatrix} \phi_{AB}^j(t) \\ \phi_{AB}^k(t) \\ \phi_{AB}^l(t) \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

La matriz de covarianzas viene dada por:

$$\text{cov}(D) = C \text{cov}(SD) C^t$$

y sustituyendo $\text{cov}(SD)$, por el valor antes calculado:

$$\text{cov}(DD) = 2\sigma^2 C C^t$$

o, explícitamente, utilizando la matriz C obtenida anteriormente:

$$\text{cov}(DD) = 2\sigma^2 \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$$

Lo que muestra que las dobles diferencias están correlacionadas.

La matriz de pesos, $P(t)$ se obtiene de la inversa de la matriz de covarianzas:

donde se han utilizado dos dobles diferencias en una época t .

Si n_{DD} es el número de dobles diferencias en la época t , la matriz de correlación será de dimensión $n_{DD} \times n_{DD}$, y viene dada por:

$$P(t) = \frac{1}{2\sigma^2} \frac{1}{n_{DD} + 1} \begin{bmatrix} n_{DD} & -1 & \dots & -1 \\ -1 & n_{DD} & \dots & -1 \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ -1 & -1 & \dots & n_{DD} \end{bmatrix}$$

Para el caso de cuatro dobles diferencias la matriz anterior se escribe:

$$P(t) = \frac{1}{2\sigma^2} \frac{1}{5} \begin{bmatrix} 4 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 4 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 4 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 4 \end{bmatrix}$$

Hasta el momento sólo se ha considerado una época. Para las épocas t_1, t_2, t_3 , la matriz de correlación se convierte en una matriz diagonal de bloques:

$$P(t) = \frac{1}{2\sigma^2} \frac{1}{5} \begin{bmatrix} P(t_1) & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & P(t_2) & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & P(t_3) & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

donde cada elemento de la matriz es así mismo una matriz. Las matrices $P(t_i)$ no tienen por qué tener la misma dimensión, dado que su dimensión dependerá del número de dobles diferencias que existan en cada época.

2.7.6.1.2.3 TRIPLES DIFERENCIAS

Las ecuaciones de triples diferencias son ligeramente más complicadas porque se deben tener en cuenta varias cosas. La covarianza de una única triple diferencia se calcula aplicando la ley de propagación de covarianzas a la siguiente relación:

$$\phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \phi_{AB}^k(t_2) - \phi_{AB}^j(t_2) - \phi_{AB}^k(t_1) + \phi_{AB}^j(t_1)$$

Formamos ahora dos triples diferencias, con las mismas épocas, pero añadiendo un satélite más, el l:

$$\begin{aligned}\phi_{AB}^{jk}(t_{12}) &= \phi_{AB}^k(t_2) - \phi_{AB}^j(t_2) - \phi_{AB}^k(t_1) + \phi_{AB}^j(t_1) \\ \phi_{AB}^{jl}(t_{12}) &= \phi_{AB}^l(t_2) - \phi_{AB}^j(t_2) - \phi_{AB}^l(t_1) + \phi_{AB}^j(t_1)\end{aligned}$$

Sean:

$$TD = \begin{pmatrix} \Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) \\ \Phi_{AB}^{jl}(t_{12}) \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad SD = \begin{pmatrix} \Phi_{AB}^j(t_1) \\ \Phi_{AB}^k(t_1) \\ \Phi_{AB}^l(t_1) \\ \Phi_{AB}^j(t_2) \\ \Phi_{AB}^k(t_2) \\ \Phi_{AB}^l(t_2) \end{pmatrix}$$

$$TD = C SD$$

y la matriz de covarianzas para el caso de triples diferencias:

$$\begin{aligned}cov(TD) &= 2\sigma^2 CC^t \\ cov(TD) &= 2\sigma^2 \begin{pmatrix} 4 & 2 \\ 2 & 4 \end{pmatrix}\end{aligned}$$

Puede observarse que, por ejemplo, la triple diferencia $TD^{jk}(t_{12})$ está compuesta por dos simples diferencias (con los signos de acuerdo con la siguiente tabla) para los satélites j y k en la época t_1 y de dos simples diferencias para los mismos satélites pero en la época t_2 . Del mismo modo, esto mismo sucede para la otra triple diferencia $TD^{jl}(t_{12})$. Así los coeficientes de la siguiente tabla son los mismos que los de la matriz C . Finalmente, el producto $C C^t$ que aparece en la ecuación anterior. Todas las combinaciones de los productos de dos filas (una fila representa una triple diferencia) deben ser tenidos en cuenta. El producto *fila1 x fila1* produce el elemento de la primera fila, primera columna de $C C^t$ el producto *fila1 x fila2* produce el elemento de la primera fila, segunda columna de $C C^t$ etc.

Época	t_1	t_2
Satélite	j k l	j k l
$TD^{jk}(t_{12})$	1 -1 0	-1 1 0
$TD^{jl}(t_{12})$	1 0 -1	-1 0 1

Tabla 2.7-3 Relación épocas-satélites y triples diferencias

La siguiente tabla muestra la correlación del segundo grupo de triples diferencias si se toman las épocas adyacentes t_1 , t_2 y t_3 .

Se consideran dos casos, como puede verse en la tabla anterior en que un intercambio de los satélites para una triple diferencia causa un cambio del signo de los elementos de fuera de la diagonal de la matriz $C C^t$. Por otra parte la correlación de $TD^{jk}(t_{12})$ y $TD^{jl}(t_{12})$ produce valores + 1 fuera de la diagonal. Basándose en una tabla tal como la tabla anterior cada caso se puede hacer manualmente con facilidad.

2.7.6.1.3 POSICIONAMIENTO ESTÁTICO RELATIVO

En la medición estática de una baselínea entre los puntos A y B, los dos receptores deben permanecer inmóviles durante toda la sesión de observación. En lo que sigue se investigan las simples, dobles y triples diferencias con respecto al número de ecuaciones de observación e incógnitas. Se supone que en los dos sitios de observación A y B se pueden observar los mismos satélites en las mismas épocas. El problema práctico del seguimiento de las señales de los satélites no se considera aquí. El número de épocas de observación se designa por n_j y el número de satélites por n_t .

La expresión de las fases dada por la ecuación ,siguiente donde el error del reloj del satélite se supone conocido, no se incluye aquí, debido a que no existe conexión (no hay incógnitas comunes) entre los puntos A y B. Los dos conjuntos de datos se tratarían por separado, lo que equivaldría al posicionamiento absoluto.

$$\begin{aligned} \phi_i^j(t) - f^j \delta_i^j(t) &= \rho_i^j / \lambda - f^j \delta_i^j(t) + N_i^j \\ n_j n_t &\geq 3 + n_j + n_t \end{aligned}$$

Se puede obtener una ecuación de simples diferencias para cada satélite y para cada época. El número de medidas es entonces $n_j n_t$ el número de incógnitas lo escribimos debajo del término correspondiente de la ecuación de simples diferencias.

$$\begin{aligned} \phi_{AB}^j(t) &= \rho_{AB}^j(t) / \lambda + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}^j(t) \\ n_j n_t &\geq 3 + n_j + n_t \end{aligned}$$

de lo anterior se obtiene la relación:

$$n_t \geq \frac{n_j + 3}{n_j - 1}$$

Esta última ecuación es equivalente a la deducida anteriormente, que expresan, teóricamente, los requerimientos mínimos para obtener una solución. Un solo satélite no proporciona una solución ya que el denominador de la ecuación anterior se hace cero. Con dos satélites, se obtiene $n_t \geq 5$ y para el caso normal de cuatro satélites $n_t \geq 7/3$ ó $n_t \geq 3$.

Para el caso de utilizar las expresiones de dobles diferencias, la relación entre las medidas y las incógnitas se obtienen de modo similar. En el caso de dobles diferencias se necesitan como mínimo dos satélites. Para n_t satélites se obtienen $n_j - 1$ dobles diferencias en cada época, de modo que el número total de dobles diferencias es $(n_j - 1)n_t$. El número de incógnitas lo escribimos debajo del término correspondiente de la ecuación de dobles diferencias:

$$\Phi_{AB}^{jk} = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t) + N_{AB}^{jk}$$

$$(n_j - 1)n_j \geq 3 + (n_j - 1)$$

de donde se obtiene la relación:

$$n_i \geq \frac{n_j + 2}{n_j - 1}$$

En este caso el número mínimo de satélites $n_j = 2$ a conduce a $n_i \geq 4$, en el supuesto de cuatro satélites, se requiere un mínimo de dos épocas. Para evitar la formación de ecuaciones de dobles diferencias linealmente dependientes, se utiliza un satélite de referencia junto con las medidas de los demás satélites. Por ejemplo si las medidas se hacen con los satélites 6, 9, 11 y 12, y el satélite 6 se utiliza como referencia, en cada época se forman las siguientes dobles diferencias: (9-6), (11-6) Y (12-6). Otras dobles diferencias serían combinaciones lineales de ésta y por tanto linealmente dependientes. Por ejemplo la doble diferencia (11-9) se puede formar restando (11-6) y (9-6).

Para el modelo de triples diferencias las incógnitas solamente son las tres coordenadas del punto. Para una triple diferencia se necesitan dos épocas. Consecuentemente en el caso de n_i épocas, se pueden formar $n_i - 1$ combinaciones de épocas linealmente independientes, de este modo tenemos:

$$\phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t_{12})$$

$$(n_j - 1)(n_i - 1) \geq 3$$

obteniéndose de la última expresión:

$$n_i \geq \frac{n_j + 2}{n_j - 1}$$

En la que se puede observar que para el número mínimo de satélites $n_j = 2$, $n_i \geq 4$ Para el caso de $n_j = 4$ satélites, se requieren $n_i \geq 2$ épocas.

2.7.7 PROCESADO DE DATOS

2.7.7.1 PREPROCESADO DE LOS DATOS

2.7.7.1.1 MANEJO DE LOS DATOS

Los observables, el mensaje de navegación y otra información adicional se almacena generalmente en un fichero en formato binario que depende del receptor empleado. La descarga de los datos almacenados en el receptor se realiza previamente al procesamiento de los mismos.

La mayor parte de los fabricantes de GPS han diseñado un sistema para el manejo de los datos, y cada uno de ellos funciona de forma algo diferente, en las sesiones siguientes se describe un esquema de proceso general y los principios básicos usados.

2.7.7.1.1.1 GESTIÓN DE LOS DATOS

Durante un trabajo GPS multisesión y multibaselínea, una gran cantidad de datos (en el orden del Gigabyte) pueden ser utilizados.

Para archivar y procesar estos datos en un tiempo razonable se debe utilizar una estructura de datos apropiada. Además de diferentes conceptos, un método basado en las posiciones de los puntos y las diferentes sesiones se describía continuación.

La cabecera de cada fichero de una sesión debe contener el identificador de la sesión y la lista de los sitios ocupados, a continuación se incluyen los bloques de datos, el primero de ellos debe contener los mensajes de navegación para todos los satélites medidos en la sesión. Para cada punto, se debe utilizar un bloque adicional para almacenarlos siguientes datos:

- Datos y observaciones (fases de la portadora, distancias de código, datos meteorológicos).
- Resultados intermedios (posiciones de navegación, mensajes de diagnóstico).
- Información suplementaria (descripción del punto, receptor, observador).

2.7.7.1.1.2 INTERCAMBIO DE DATOS

El intercambio de los datos es necesario cuando se utilizan receptores diferentes en un trabajo o se utilizan datos que han sido medidos con un equipo diferente al que nosotros utilizamos.

El formato RINEX (Receiver Independent Exchange) fue definido por Gurtner (1989). El formato consiste en tres tipos de ficheros ASCII:

- El fichero de datos de observación.
- El fichero de datos meteorológicos.
- El fichero del mensaje de navegación.

Los registros de cada fichero tienen longitud variable con un máximo de 80 caracteres por línea. Cada fichero se compone de una sesión de cabecera y otra de datos. La sección de cabecera contiene la información genérica del fichero y la sección de datos los datos propiamente dichos. Los ficheros de datos de observación y meteorológicos debe ser creados en cada sitio de observación, mientras que los de los mensajes de navegación son independientes del sitio.

En la actualidad el formato RINEX es el más utilizado, y como consecuencia los fabricantes de equipos suelen proporcionar el software adecuado para realizar la conversión del formato binario de sus receptores al RINEX.

El nombre de los ficheros RINEX es de la forma "ssssddf.yy", donde los cuatro primeros caracteres son el identificador del sitio (ssss), los tres siguientes indican el día del año (ddd) y el octavo carácter es el indicador de la sesión (t). Los dos primeros caracteres de la extensión representan las dos últimas cifras del año (yy) y el tipo de fichero se representa por el último carácter (t). El designador del satélite es de la forma "snn", donde el primer carácter es el identificador del sistema de satélites (s) y los dos restantes (nn) es el número de satélite (el número PRN). De este modo el formato RINEX permite la combinación de observaciones de diferentes tipos de constelaciones de satélites.

2.7.7.2 RESOLUCIÓN DE AMBIGÜEDADES

2.7.7.2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Las ambigüedades son inherentes con las medidas de fase y dependen del satélite y el receptor. No dependen del tiempo, siempre que la medición del satélite se mantenga sin interrupción. En el modelo para la fase:

$$\phi = \frac{1}{\lambda} \rho + f\Delta\delta + N - \frac{1}{\lambda} \Delta^{iono}$$

la ambigüedad se representa por N. Tan pronto como la ambigüedad se determina como un valor entero, se dice que la ambigüedad está resuelta o fijada. En general fijando las ambigüedades se aumenta la precisión de la solución de la base línea, pero algunas veces soluciones con ambigüedades fijadas (valores enteros) y ambigüedades reales pueden coincidir dentro del intervalo de pocos milímetros.

La utilización de dobles diferencias en lugar de simples diferencias en el procesado de las fases de la portadora es importante, la razón es que en el caso de simples diferencias es necesario tener en cuenta un parámetro desconocido adicional para el error del reloj del receptor lo que complica la separación del error del reloj y las ambigüedades enteras. En el caso de dobles diferencias los términos del error del reloj han sido eliminados y la determinación aislada de las ambigüedades es posible.

En orden a utilizar la alta precisión de los observables de la fase de la portadora deben resolverse las ambigüedades como un valor entero correcto, ya que un ciclo de la portadora que L1 puede ocasionar un error de 19 cm. Es preciso señalar que no siempre posible resolver las ambigüedades como enteros, una de las razones en la longitud de la base línea. Cuando se consideran base líneas cortas de menos de 20 km, el modelo para dobles diferencias de fase puede simplificarse y escribirse:

$$\phi_{AB}^{jk}(t) = \rho_{AB}^{jk}(t) + \lambda N_{AB}^{jk} + ruido$$

ya que los efectos de la ionosfera, troposfera y otros efectos menores pueden despreciarse, de modo que ningún error residual significativo de estos términos afecte a los parámetros incógnitas, es decir las coordenadas de la estación y las ambigüedades, y no tendrá el efecto de degradar la exactitud en posición o el carácter entero de las ambigüedades. Así en aplicaciones que requieran mediciones a gran distancia de la estación de referencia será necesario instalar varias estaciones de referencia intermedias para conseguir la resolución entera de las ambigüedades.

Otro aspecto importante en la resolución de ambigüedades es la geometría de los satélites que puede tenerse en cuenta desde dos puntos de vista. Primero el número de satélites medidos en cada instante, en general conduce una mano a un mejor valor de la dilución de precisión (GDOP). El segundo punto con respecto a la geometría es el tiempo necesario para resolver las ambigüedades, la información contenida en la fase de la portadora es una función del tiempo, el cual está directamente con correlacionado con el movimiento del satélite. Este último punto puede ilustrarse a través del siguiente ejemplo. Supongamos dos conjuntos de datos, el primero de ellos consiste en las observaciones realizadas cada 15 segundos durante 1 hora, es decir 240 medidas por satélite. El segundo conjunto de datos consiste en las observaciones realizadas cada 1 segundo durante 4 minutos, es decir también tiene 240 medidas por satélite. Aunque el número de medidas es el mismo, la información contenida no lo es. El primer conjunto de datos tiene una probabilidad alta de resolver unas ambigüedades correctas ya

que el tiempo transcurrido es alto. El tiempo es un componente crítico la resolución de ambigüedades e incluso con buena disposición geométrica de los satélites.

El multipath es también un factor crítico en la resolución de ambigüedades, y cómo el multipath depende de la estación, puede ser importante incluso para baselíneas cortas. Como en el caso de los errores atmosféricos y los orbitales para las baselíneas largas el multipath tiene el efecto de contaminar las coordenadas de la estación y las ambigüedades.

La resolución de ambigüedades implica dos etapas, la primera es la generación de una serie de combinaciones de potenciales ambigüedades enteras que serán consideradas por el algoritmo. Una combinación es el conjunto de una ambigüedad entera por cada doble diferencia de pares de satélites. Para determinar estas combinaciones es necesario definir un espacio de búsqueda. El espacio de búsqueda es el volumen (n-dimensional) de incertidumbre el cual rodea a las coordenadas aproximadas de la localización de la antena. Ya que el espacio de búsqueda muestra que ambigüedades enteras deben ser consideradas, es necesario seleccionarlo de una forma conservadora ya que debe contener las coordenadas verdaderas de la posición de la antena. En el caso del posicionamiento estático, este espacio de búsqueda puede ser definido partir de la resolución de las ambigüedades reales, mientras que en el posicionamiento cinemático se realiza a partir de las soluciones de pseudodistancias de código.

Un aspecto importante en esta primera etapa de la resolución de las ambigüedades es que el tamaño del espacio de búsqueda afecta a la eficiencia, es decir a la velocidad de cálculo del proceso. Un espacio de búsqueda grande proporciona un número alto de combinaciones de potenciales ambigüedades enteras, lo que incrementa el esfuerzo de cálculo necesario. Esto es muy importante en las aplicaciones cinemáticas donde se debe obtener una solución en tiempo real, siendo necesario ajustar el tamaño del espacio de búsqueda para que el tiempo de cálculo no sea excesivo.

La segunda etapa en el proceso de resolución de las ambigüedades es la identificación de la combinación de ambigüedades enteras correcta. El criterio usado en varias técnicas de resolución de ambigüedades es la selección de la combinación de enteros que minimizan la suma de los cuadrados de los residuos (SSR) en el sentido de mínimos cuadrados. El razonamiento para la elección de esta solución proviene de que la combinación que mejorase ajuste a los datos será la solución correcta.

Aunque el criterio anterior basado en el análisis de los residuos es bastante directo, es necesario tener en cuenta algunas cuestiones con respecto a las dificultades potenciales de este método. La primera es que la teoría de mínimos cuadrado se supone que los residuos deben estar normalmente distribuidos, y en muchos casos esto no es cierto debido a los errores sistemáticos tales como multipath, la órbita y la atmósfera. Esta es la razón por la que la resolución de ambigüedades falla en las baselíneas largas, sin embargo si existe un multipath muy fuerte puede incluso fallar en baselíneas cortas.

Una segunda cuestión es la necesidad de disponer de una significación estadística cuando se eligen unas ambigüedades enteras. Esto significa que la combinación de ambigüedades enteras que mejor se ajusta a las medidas podría no ser significativamente mejor que otras combinaciones.

Los efectos sistemáticos remanentes mencionados anteriormente juegan un papel aquí también junto con el tiempo, la resolución de ambigüedades es más difícil en intervalos de tiempo cortos.

2.7.7.2.2 MÉTODOS BÁSICOS

2.7.7.2.2.1 RESOLUCIÓN DE AMBIGÜEDADES CON DATOS DE FASE DE UNA FRECUENCIA

Cuando sólo se dispone de medidas de una frecuencia (L1 ó L2), las mismas se modelan de acuerdo con la ecuación anterior, que después de ser linealizada se puede procesar. Dependiendo del modelo elegido un número determinado de incógnitas (coordenadas del punto, parámetros del reloj) además de N se estiman en un ajuste común. En esta aproximación geométrica, los errores no modelados afectan a todos los parámetros estimados el ajuste, de modo que el carácter entero de las ambigüedades se pierde y se estiman como valores reales. Para fijar las ambigüedades como valores enteros se puede hacer un ajuste secuencial, de modo que después del ajuste inicial la ambigüedad con un valor calculado cercano a uno entero y con un error estándar mínimo se determina como la más posible. En una segunda fase se repite el ajuste con el valor de la ambigüedad fijo (una incógnita menos) para fijar los valores de otras ambigüedades y así sucesivamente. Cuando se utilizan dobles diferencias en baselíneas cortas este procedimiento da buenos resultados. El factor crítico es la refracción ionosférica que precisa ser modelada para obtener una solución correcta de todas las ambigüedades.

2.7.7.2.2.2 RESOLUCIÓN DE AMBIGÜEDADES CON DATOS DE DOS FRECUENCIAS

La resolución ambigüedades cambia significativamente cuando se utilizan datos de fase de dos frecuencias, ya que existen varias ventajas a causa de la posibilidad de formar varias combinaciones lineales con los datos. Se han propuesto técnicas de banda ancha y banda estrecha.

De acuerdo con lo visto, denominando ϕ_{L_1} y ϕ_{L_2} a los datos de fase de las frecuencias L1 y L2, la señal de banda ancha se construye:

$$\phi_w = \phi_{L_1} - \phi_{L_2}$$

La frecuencia de esta señal $f_w = 347,82\text{MHz}$ y su correspondiente longitud de onda $\lambda_w = 86,2\text{ cm}$ que tiene un incremento significativo, comparada con la de las ondas originales cuyas longitudes de onda son 19,0 y 24,4 cm. Esta longitud de onda mayor λ_w proporciona un incremento del espaciado de las ambigüedades. Esta es la clave para la resolución de las ambigüedades enteras. Para mostrar el principio si consideramos los modelos de las fases de las portadoras L1 y L2:

$$\begin{aligned}\Phi_{L_1} &= \frac{I}{\lambda_{L_1}} \rho + f_{L_1} \Delta\delta + N_{L_1} - \frac{I}{\lambda_{L_1}} \Delta^{iono}(L_1) \\ \Phi_{L_2} &= \frac{I}{\lambda_{L_2}} \rho + f_{L_2} \Delta\delta + N_{L_2} - \frac{I}{\lambda_{L_2}} \Delta^{iono}(L_2)\end{aligned}$$

Sustituyendo λ por la frecuencia f ($\lambda = c/f$) y sustituyendo $\Delta^{iono}(f) = A/f^2$, las ecuaciones anteriores se escriben:

$$\Phi_{L_1} = \frac{f_{L_1}}{c} \rho + f_{L_1} \Delta\delta + N_{L_1} - \frac{A}{cf_{L_1}}$$

$$\Phi_{L_2} = \frac{f_{L_2}}{c} \rho + f_{L_2} \Delta\delta + N_{L_2} - \frac{A}{cf_{L_2}}$$

Restando las ecuaciones anteriores:

$$\Phi_{\omega} = \frac{f_{\omega}}{c} \rho + f_{\omega} \Delta\delta + N_{\omega} - \frac{A}{c} \left(\frac{1}{f_{L_1}} - \frac{1}{f_{L_2}} \right)$$

dónde: $\Phi_{\omega} = \Phi_{L_1} - \Phi_{L_2}$; $f_{\omega} = f_{L_1} - f_{L_2}$; $N_{\omega} = N_{L_1} - N_{L_2}$

El ajuste basado en el modelo de banda ancha utiliza ambigüedades N_{ω} banda ancha que se resuelven más fácilmente que las de las portadoras básicas. Para calcular las ambigüedades de las fases medidas (por ejemplo L1) se divide la primera ecuación por f_{L_1} y por f_{ω} y restando ambas ecuaciones nos queda:

$$\frac{1}{f_{L_1}} \Phi_{L_1} - \frac{1}{f_{\omega}} = \frac{N_{L_1}}{f_{L_1}} - \frac{N_{\omega}}{f_{\omega}} - \frac{A}{cf_{L_1}} \left(\frac{1}{f_{L_1}} - \frac{1}{f_{L_2}} \right)$$

lo que nos permite despejar la ambigüedad:

$$N_{L_1} = \Phi_{L_1} - (\Phi_{\omega} - N_{\omega}) \frac{f_{L_1}}{f_{\omega}} + \frac{A}{cf_{L_1}} - \frac{A}{cf_{\omega}} \left(1 - \frac{f_{L_1}}{f_{L_2}} \right)$$

Los términos que representan la influencia ionosférica puede agruparse como:

$$\frac{A}{c} \frac{f_{\omega} f_{L_2} - f_{L_1} f_{L_2} + f_{L_1}^2}{f_{L_1} f_{\omega} f_{L_2}} = \frac{A}{c} \frac{f_{\omega} f_{L_2} + f_{L_1} (f_{L_1} - f_{L_2}^2)}{f_{L_1} f_{\omega} f_{L_2}} = \frac{A}{c} \frac{f_{L_2} + f_{L_1}}{f_{L_1} f_{L_2}}$$

La expresión para el cálculo de N_{L_1} puede entonces escribirse:

$$N_{L_1} = \Phi_{L_1} - (\Phi_{\omega} - N_{\omega}) \frac{f_{L_1}}{f_{\omega}} + \frac{A}{c} \frac{f_{L_2} + f_{L_1}}{f_{L_1} f_{L_2}}$$

de modo análogo se puede calcular N_{L_2} , reemplazando L1 por L2 y viceversa en la ecuación anterior, donde se puede observar que no están presentes la distancia ρ y los errores de reloj $\Delta\delta$, sin embargo están implícitamente contenidos en N_{ω} .

El término que representa el efecto ionosférico aunque se conserva en las ecuaciones, se elimina en la baselíneas cortas con refracción ionosférica similar en ambos extremos (usando dobles diferencias). Para las baselíneas largas con condiciones ionosféricas irregulares, el término ionosférico puede ocasionar problemas. Aparte de esta combinación de banda ancha se

consideran otras combinaciones tales como la combinación libre de efecto ionosférico Φ_{LC} . La desventaja de esta combinación es que la ambigüedad no es un número entero. Esto plantea una especie de círculo vicioso: las ambigüedades no pueden ser resueltas donde la ionosfera es irregular, por otra parte si el efecto ionosférico se elimina con el uso de Φ_{LC} se destruye el carácter entero de las ambigüedades.

2.7.7.2.2.3 RESOLUCIÓN DE AMBIGÜIDADES COMBINANDO DATOS DE FASES DE DOS FRECUENCIAS Y DATOS DE CÓDIGO

El mayor inconveniente que tiene la utilización de las medidas de banda ancha es la influencia de la ionosfera que se incrementa con la longitud de la base línea. Este problema puede eliminarse utilizando una combinación de datos de fase y de código. Si consideramos los modelos de las fases de las portadoras y los códigos:

$$\Phi_{L_1} = \frac{\rho}{c} f_{L_1} - \frac{A}{cf_{L_1}} + N_{L_1} + f_{L_1} \Delta\delta$$

$$\Phi_{L_2} = \frac{\rho}{c} f_{L_2} - \frac{A}{cf_{L_2}} + N_{L_2} + f_{L_2} \Delta\delta$$

$$R_{L_1} = \frac{\rho}{c} f_{L_1} + \frac{A}{cf_{L_1}} + f_{L_1} \Delta\delta$$

$$R_{L_2} = \frac{\rho}{c} f_{L_2} + \frac{A}{cf_{L_2}} + f_{L_2} \Delta\delta$$

donde ambas están expresadas en ciclos de la correspondiente portadora. Se dispone de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas para cada época, las incógnitas son $(\rho/c + \Delta\delta)$, A y las ambigüedades N_{L_1} y N_{L_2} , de modo que las incógnitas pueden expresarse explícitamente en función de las cantidades medidas sin más invertir el sistema anterior.

Las ambigüedades N_{L_1} y N_{L_2} se pueden calcular haciendo uso de, $N_\omega = N_{L_1} - N_{L_2}$ formando las diferencias entre las respectivas medidas de fase y código:

$$\Phi_{L_1} - R_{L_1} = -\frac{2A}{cf_{L_1}} + N_{L_1}$$

$$\Phi_{L_2} - R_{L_2} = -\frac{2A}{cf_{L_2}} + N_{L_2}$$

la distancia geométrica y los errores de los relojes se eliminan. Restando ambas ecuaciones:

$$\Phi_\omega - R_{L_1} + R_{L_2} = \frac{2A}{c} \left(\frac{1}{f_{L_2}} - \frac{1}{f_{L_1}} \right) + N_\omega = \frac{2Af_{L_1} - f_{L_2}}{cf_{L_1}f_{L_2}} + N_\omega$$

Dividiendo las ecuaciones de códigos por f_{L_1} y f_{L_2} respectivamente:

$$\frac{R_{L_1}}{f_{L_1}} = \frac{\rho}{c} + \frac{A}{cf_{L_1}^2} + \Delta\delta$$

$$\frac{R_{L_2}}{f_{L_2}} = \frac{\rho}{c} + \frac{A}{cf_{L_2}^2} + \Delta\delta$$

restando las dos ecuaciones:

$$\frac{R_{L_1}}{f_{L_1}} - \frac{R_{L_2}}{f_{L_2}} = \frac{A}{c} \left(\frac{1}{f_{L_1}^2} - \frac{1}{f_{L_2}^2} \right)$$

operando en estas expresiones se obtiene:

$$\frac{f_{L_2} R_{L_1} - f_{L_1} R_{L_2}}{f_{L_2} f_{L_1}} = \frac{A}{c} \frac{f_{L_2}^2 - f_{L_1}^2}{f_{L_2}^2 f_{L_1}^2} = \frac{A}{c} \frac{(f_{L_2} - f_{L_1})(f_{L_2} + f_{L_1})}{f_{L_2} f_{L_1} f_{L_2} f_{L_1}}$$

$$\frac{f_{L_2} R_{L_1} - f_{L_1} R_{L_2}}{f_{L_2} f_{L_1}} = -\frac{A}{c} \frac{f_{L_1} - f_{L_2}}{f_{L_1} f_{L_2}}$$

que puede sustituirse por (9.24) para eliminar el valor del efecto ionosférico A:

$$\Phi_\omega - R_{L_1} + R_{L_2} = -2 \frac{f_{L_2} R_{L_1} - f_{L_1} R_{L_2}}{f_{L_1} + f_{L_2}} + N_\omega$$

en la que despejando N_ω :

$$N_\omega = \Phi_\omega + \frac{I}{f_{L_1} + f_{L_2}} \left[(-R_{L_1} + R_{L_2})(f_{L_1} + f_{L_2}) + 2f_{L_2} R_{L_1} - 2f_{L_1} R_{L_2} \right]$$

$$= \Phi_\omega + \frac{I}{f_{L_1} + f_{L_2}} \left[-R_{L_1} f_{L_1} + R_{L_2} f_{L_2} + f_{L_2} R_{L_1} - f_{L_1} R_{L_2} \right]$$

$$= \Phi_\omega + \frac{f_{L_1} - f_{L_2}}{f_{L_1} + f_{L_2}} \left[R_{L_1} + R_{L_2} \right]$$

Esta ecuación tan sencilla permite calcular la ambigüedad de banda ancha N_ω para cada época y en cada punto. Además es independiente de la longitud de la baselínea y de los efectos ionosféricos. Aunque todos los efectos sistemáticos se eliminan en la expresión anterior, el efecto multipath permanece y afecta a las medidas de fase y de código de forma diferente. El multipath suele ser el responsable exclusivo de la variación de N_ω en varios ciclos de una época a otra. Estas variaciones pueden eliminarse efectuando medidas en un periodo largo.

Una vez calculadas las ambigüedades N_ω , utilizando la ecuación anterior se puede calcular N_{L_1} , pero es preciso conocer el valor del efecto ionosférico. Para evitar esto se puede utilizar el procedimiento siguiente que utiliza las ecuaciones de las medidas de fase:

$$\Phi_{L_1} = \frac{f_{L_1}}{c} + f_{L_1} \Delta\delta + N_{L_1} - \frac{A}{cf_{L_1}}$$

$$\Phi_{L_2} = \frac{f_{L_2}}{c} + f_{L_2} \Delta\delta + N_{L_2} - \frac{A}{cf_{L_2}}$$

multiplicando la primera por f_{L_1} la segunda por f_{L_2} y restándolas:

$$f_{L_2} \Phi_{L_2} - f_{L_1} \Phi_{L_1} = \frac{\rho}{c} (f_{L_2}^2 - f_{L_1}^2) + \Delta\delta (f_{L_2}^2 - f_{L_1}^2) + f_{L_2} N_{L_2} - f_{L_1} N_{L_1}$$

sustituyendo $N_{L_2} = N_{L_1} - N_\omega$ y $f_\omega = f_{L_1} - f_{L_2}$ se obtiene:

$$f_{L_2} \Phi_{L_2} - f_{L_1} \Phi_{L_1} = \frac{\rho}{c} (f_{L_2}^2 - f_{L_1}^2) + \Delta\delta (f_{L_2}^2 - f_{L_1}^2) - f_{L_2} N_\omega + N_{L_1} (f_{L_2} - f_{L_1})$$

$$N_{L_1} = \frac{f_{L_1}}{f_\omega} \Phi_{L_1} - \frac{f_{L_1}}{f_\omega} (\Phi_{L_2} + N_\omega) - \left(\frac{\rho}{c} + \Delta\delta \right) (f_{L_2} + f_{L_1})$$

que es una ecuación para la determinación de N_{L_1} libre de efecto ionosférico.

Si se combinan los términos que contienen a $(N_{L_1} \text{ y } N_\omega)$ en un sólo termino, se destruye el carácter entero del mismo. Este carácter entero puede conservarse si se calcula N_ω y N_{L_1} mediante las fórmulas anteriores.

Este procedimiento descrito no es único y diferentes autores utilizan procedimientos de cálculo de ambigüedades basados en la utilización de medidas de código y de fase. Esta técnica es también apropiada para la resolución instantánea de ambigüedades en aplicaciones cinemáticas.

La resolución ambigüedades combinando datos de doble frecuencia de código con bajo nivel de ruido y datos de fase, es posible casi en cualquier circunstancia y con unas pocas épocas de medición. Datos de código de alta calidad se pueden obtener con muchos de los receptores actuales.

Si existe al menos un satélite redundante (cinco) se puede aplicar la técnica de mínimos cuadrados. Loomis (1989) utiliza la información del satélite redundante en el vector de estado y utiliza la técnica del filtro de Kalman. El número de estados se relaciona con el número de satélites y varía de ocho a doce para cuatro a ocho satélites visibles. Se necesitan tres cuentas de estado para la posición, una para el reloj del receptor, y las restantes para las ambigüedades enteras.

Cuando se comparan varios métodos es importante tener en cuenta el número de épocas de medición necesarias para alcanzar la solución. Hatch (1990) menciona que con una sola época puede ser suficiente para baselíneas cortas si siete o más satélites pueden ser medidos. Este último requisito es la restricción más importante del método. Loomis sin embargo considera que se debe disponer de un tiempo suficientemente largo para la solución de las ambigüedades, aunque se pueda utilizar con receptores de una frecuencia.

2.7.7.3 AJUSTE DE MODELOS MATEMÁTICOS

2.7.7.3.1 LINEALIZACIÓN

De todos los modelos matemáticos para posicionamiento vistos hasta ahora el único término que contiene incógnitas en forma no lineal es ρ , que viene dada por la fórmula:

$$\rho_i^j(t) = \left[(X^j(t) - X_i)^2 + (Y^j(t) - Y_i)^2 + (Z^j(t) - Z_i)^2 \right]^{1/2} \equiv f(X_i, Y_i, Z_i)$$

cuyas incógnitas son las coordenadas X_i, Y_i, Z_i en forma no lineal. Si suponemos conocido un valor X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0} , aproximado para las incógnitas, podremos calcular una distancia aproximada:

$$\rho_i^j(t) = \left[(X^j(t) - X_{i0})^2 + (Y^j(t) - Y_{i0})^2 + (Z^j(t) - Z_{i0})^2 \right]^{1/2} \equiv f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0})$$

Disponiendo de valores aproximados podremos expresar las incógnitas del siguiente modo:

$$X_i = X_{i0} + \Delta X_i$$

$$Y_i = Y_{i0} + \Delta Y_i$$

$$Z_i = Z_{i0} + \Delta Z_i$$

donde $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$ son ahora las incógnitas. La ventaja de estos, es que la función $f(X_i, Y_i, Z_i)$ puede ser reemplazada por:

$$f(X_{i0} + \Delta X_i, Y_{i0} + \Delta Y_i, Z_{i0} + \Delta Z_i)$$

que admite un desarrollo en serie de Taylor, con respecto al punto aproximado:

$$\begin{aligned} f(X_i, Y_i, Z_i) &= f(X_{i0} + \Delta X_i, Y_{i0} + \Delta Y_i, Z_{i0} + \Delta Z_i) = \\ &= f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0}) + \left[\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0}) / \partial X_{i0} \right] \Delta X_{i0} + \\ &\quad + \left[\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0}) / \partial Y_{i0} \right] \Delta Y_{i0} + \\ &\quad + \left[\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0}) / \partial Z_{i0} \right] \Delta Z_{i0} + \dots \end{aligned}$$

despreciamos todos los términos, a partir del último lineal. Las derivadas parciales se calculan del siguiente modo:

$$\begin{aligned} \left[\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0}) / \partial X_{i0} \right] &= (X^j(t) - X_{i0}) / \rho_{i0}^j(t) \\ \left[\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0}) / \partial Y_{i0} \right] &= (Y^j(t) - Y_{i0}) / \rho_{i0}^j(t) \\ \left[\partial f(X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0}) / \partial Z_{i0} \right] &= (Z^j(t) - Z_{i0}) / \rho_{i0}^j(t) \end{aligned}$$

que serían las componentes de un vector unitario, desde el punto aproximado, hasta el satélite. Y concluiremos escribiendo:

$$\begin{aligned} \rho_i^j(t) = & \rho_i^j(t) - \left[(X^j(t) - X_{i0}) / \rho_{i0}^j(t) \right] \Delta X_i - \left[(Y^j(t) - Y_{i0}) / \rho_{i0}^j(t) \right] \Delta Y_i \\ & - \left[(Z^j(t) - Z_{i0}) / \rho_{i0}^j(t) \right] \Delta Z_i \end{aligned}$$

y esta ecuación es lineal con respecto a las incógnitas $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$

2.7.7.3.2 MODELO PARA EL POSICIONAMIENTO RELATIVO

En posicionamiento relativo la técnica utilizada es la medida de fases de la portadora. Para su tratamiento teórico se ha escogido el modelo de dobles diferencias de fase.

Teníamos que la medida de fase para dos puntos A y B es:

$$\begin{aligned} \Phi_A^S(t) - f^j \delta^j(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_A^j(t) + N_A^j - f^j \delta_A(t) \\ \Phi_B^S(t) - f^j \delta^j(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_B^j(t) + N_B^j - f^j \delta_B(t) \end{aligned}$$

La diferencia de las dos ecuaciones anteriores es:

$$\Phi_B^S(t) - \Phi_A^S(t) = \frac{1}{\lambda} [\rho_B^j(t) - \rho_A^j(t)] + N_B^j - N_A^j - f^j [\delta_B(t) - \delta_A(t)]$$

que es la ecuación de las simples diferencias ya vista. Ahora bien, llamando:

$$\begin{aligned} N_{AB}^j &= N_B^j - N_A^j \\ \delta_{AB}(t) &= \delta_B(t) - \delta_A(t) \\ \phi_{AB}^j(t) &= \phi_B^j(t) - \phi_A^j(t) \\ \rho_{AB}^j(t) &= \rho_B^j(t) - \rho_A^j(t) \end{aligned}$$

y sustituyendo en la ecuación anterior:

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}(t)$$

Esta ecuación la tomamos como la ecuación final de las simples diferencias:

$$\begin{aligned} \Phi_{AB}^j(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}(t) \\ \Phi_{AB}^k(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k - f^k \delta_{AB}(t) \end{aligned}$$

Restando ambas:

$$\Phi_{AB}^k(t) - \Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} [\rho_{AB}^k(t) - \rho_{AB}^j(t)] + N_{AB}^k - N_{AB}^j$$

Procediendo de forma análoga a la seguida con las simples diferencias, para los satélites j, k , tendremos que la expresión anterior la podemos escribir de la forma:

$$\Phi_{AB}^{jk}(t) = \frac{I}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t) + N_{AB}^{jk}$$

Cuya caracterización de términos es:

$$\begin{aligned} \Phi_{AB}^{jk}(t) &= \Phi_B^k(t) - \Phi_B^j(t) - \Phi_A^k(t) + \Phi_A^j(t) \\ \rho_{AB}^{jk}(t) &= \rho_B^k(t) - \rho_B^j(t) - \rho_A^k(t) + \rho_A^j(t) \\ N_{AB}^{jk} &= N_B^k - N_B^j - N_A^k + N_A^j \end{aligned}$$

Multiplicando la ecuación por λ , se tiene:

$$\lambda \Phi_{AB}^{jk}(t) = \rho_{AB}^{jk}(t) + \lambda N_{AB}^{jk}$$

cada uno de los términos de ρ_{AB}^{jk} se linealiza según lo expresado anteriormente con lo que, para el caso que nos ocupa, quedará:

$$\begin{aligned} \rho_{AB}^{jk} &= \rho_{B0}^k - \frac{X^k(t) - X_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} \Delta X_B - \frac{Y^k(t) - Y_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} \Delta Y_B \\ &\quad - \frac{Z^k(t) - Z_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} \Delta Z_B + \frac{X^j(t) - X_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)} \Delta X_B - \frac{Y^j(t) - Y_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)} \Delta Y_B \\ &\quad - \frac{Z^j(t) - Z_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)} \Delta Z_B - \frac{X^k(t) - X_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} \Delta X_A - \frac{Y^k(t) - Y_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} \Delta Y_A \\ &\quad - \frac{Z^k(t) - Z_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} \Delta Z_A + \frac{X^j(t) - X_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \Delta X_A - \frac{Y^j(t) - Y_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \Delta Y_A \\ &\quad - \frac{Z^j(t) - Z_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \Delta Z_A \end{aligned}$$

Dada la farragosidad de las expresiones y a fin de obtener la ecuación linealizada $l = Ax$ se introducen las siguientes abreviaciones:

$$\begin{aligned} a_{XA}^{jk}(t) &= \frac{X^k(t) - X_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} - \frac{X^j(t) - X_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \\ a_{YA}^{jk}(t) &= \frac{Y^k(t) - Y_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} - \frac{Y^j(t) - Y_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \\ a_{ZA}^{jk}(t) &= \frac{Z^k(t) - Z_{A0}}{\rho_{A0}^k(t)} - \frac{Z^j(t) - Z_{A0}}{\rho_{A0}^j(t)} \end{aligned}$$

$$a_{XB}^{jk}(t) = \frac{X^k(t) - X_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} - \frac{X^j(t) - X_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)}$$

$$a_{YB}^{jk}(t) = \frac{Y^k(t) - Y_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} - \frac{Y^j(t) - Y_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)}$$

$$a_{ZB}^{jk}(t) = \frac{Z^k(t) - Z_{B0}}{\rho_{B0}^k(t)} - \frac{Z^j(t) - Z_{B0}}{\rho_{B0}^j(t)}$$

$$y: l_{AB}^{jk} = \lambda \Phi_{AB}^{jk}(t) - \rho_{B0}^k(t) + \rho_{B0}^j(t) + \rho_{A0}^k(t) - \rho_{A0}^j(t)$$

De acuerdo con lo anterior la ecuación linealizada es de la forma:

$$l_{AB}^{jk} = a_{XA}^{jk}(t) \Delta X_A + a_{YA}^{jk}(t) \Delta Y_A + a_{ZA}^{jk}(t) \Delta Z_A +$$

$$a_{XB}^{jk}(t) \Delta X_B + a_{YB}^{jk}(t) \Delta Y_B + a_{ZB}^{jk}(t) \Delta Z_B + \lambda N_{AB}^{jk}$$

Si suponemos conocido uno de los puntos, por ejemplo el A (es condición necesaria para el posicionamiento relativo), tenemos que:

$$\Delta X_A = \Delta Y_A = \Delta Z_A = 0$$

Con lo que la expresión anterior queda:

$$l_{AB}^{jk} = a_{XA}^{jk}(t) \Delta X_A + a_{YA}^{jk}(t) \Delta Y_A + a_{ZA}^{jk}(t) \Delta Z_A + \lambda N_{AB}^{jk}$$

Como en los casos anteriores, si ahora suponemos cuatro satélites 1, 2, 3, 4, en dos épocas (t_1) y (t_2), observados por dos receptores situados en A y B, las matrices vectoriales del sistema quedarán:

$$l = \begin{pmatrix} l_{AB}^{12}(t_1) \\ l_{AB}^{13}(t_1) \\ l_{AB}^{14}(t_1) \\ l_{AB}^{12}(t_2) \\ l_{AB}^{13}(t_2) \\ l_{AB}^{14}(t_2) \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} \Delta X_B \\ \Delta Y_B \\ \Delta Z_B \\ N_{AB}^{12} \\ N_{AB}^{13} \\ N_{AB}^{14} \end{pmatrix}$$

2.7.8 TRANSFORMACIÓN DE LOS RESULTADOS GNSS

2.7.8.1 INTRODUCCIÓN

El sistema de referencia oficial para el GNSS es el sistema geodésico mundial de 1984 (WGS-84). Cuando se utiliza GNSS las coordenadas de los puntos del terreno se obtienen en este mismo sistema de referencia.

El topógrafo, en general, no necesita las coordenadas de los puntos referidas a este sistema global, prefiere disponer de los resultados en un sistema de coordenadas local de coordenadas geodésicas, coordenadas planas o como vectores combinados con otros datos de

topografía clásica. Dado que el sistema WGS-84 es un sistema geocéntrico y los sistemas locales generalmente no lo son, se requieren ciertas transformaciones. Las siguientes secciones tratan de las transformaciones más frecuentemente utilizadas.

2.7.8.2 TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS

2.7.8.2.1 COORDENADAS CARTESIANAS Y COORDENADAS ELIPSOIDALES

Designando a las coordenadas cartesianas globales de un punto en el espacio por X, Y, Z y suponiendo un elipsoide de revolución con el mismo origen que el sistema de coordenadas cartesiano, el punto también puede ser expresado mediante las coordenadas elipsoidales φ, λ, h , de acuerdo con la siguiente figura. La relación entre las coordenadas cartesianas y las elipsoidales viene dada por:

$$X = (N + h) \cos \varphi \cdot \cos \lambda$$

$$Y = (N + h) \cos \varphi \cdot \sin \lambda$$

$$Z = \left(\frac{b^2}{a^2} N + h \right) \cdot \sin \varphi$$

Donde N es el radio de curvatura principal y se obtiene mediante:

$$N = \frac{a}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}}$$

y a, b son los semiejes del elipsoide. Recordemos que las coordenadas cartesianas del WGS-84 se denominan coordenadas ECEF y que los orígenes del sistema de coordenadas ECEF y el elipsoide WGS-84 son idénticos.

Las formulas anteriores transforman las coordenadas elipsoidales φ, λ, h en coordenadas cartesianas X, Y, Z . Para aplicaciones GNSS, la transformación inversa es más importante ya que las coordenadas cartesianas se obtienen directamente y las elipsoidales es preciso calculadas a partir de estas. Por esto, la pregunta es cómo calcular las coordenadas elipsoidales φ, λ, h a partir de las cartesianas X, Y, Z . Normalmente este problema se resuelve iterativamente hasta que la solución converge.

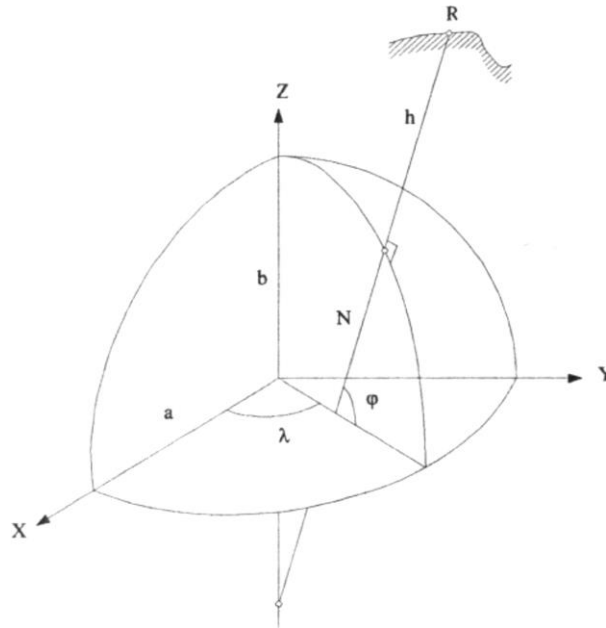


Figura 2.7-15 Coordenadas geocéntricas y topocéntricas

De X e Y se puede calcular el radio de paralelo:

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2} = (N + h) \cos \varphi$$

que reordenándola permite despejar la altura elipsoidal:

$$h = \frac{p}{\cos \varphi} - N$$

teniendo en cuenta la excentricidad al cuadrado:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad \frac{b^2}{a^2} = 1 - e^2$$

expresión que si se sustituye en la ecuación de Z anterior resulta:

$$Z = (N + h - e^2 N) \operatorname{sen} \varphi$$

que también se puede escribir:

$$Z = (N + h) \left(1 - e^2 \frac{N}{N + h} \right) \operatorname{sen} \varphi$$

dividiendo esta expresión por la anterior:

$$\frac{Z}{p} = \left(1 - e^2 \frac{N}{N + h} \right) \tan \varphi \quad \tan \varphi = \left(1 - e^2 \frac{N}{N + h} \right)^{-1}$$

para la longitud λ , la ecuación:

$$\tan \lambda = \frac{Y}{X}$$

se obtiene dividiendo la primera y la segunda ecuación. La longitud λ , puede determinarse directamente de la ecuación anterior. La altura h y la latitud φ se determinan a partir de las primeras ecuaciones. El problema es que ambas ecuaciones dependen de la latitud y de la altura. Se puede obtener una solución siguiendo el procedimiento iterativo siguiente:

- Se calcula $P = \sqrt{X^2 + Y^2}$
- Se calcula un valor aproximado de $\varphi_{(0)}$ con: $\tan \varphi_{(0)} = \frac{Z}{P}(1 - e^2)^{-1}$
- Se calcula un valor aproximado de $N_{(0)}$ con: $N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi_{(0)} + b^2 \sin^2 \varphi_{(0)}}$
- Se calcula la altura elipsoidal con $h = \frac{P}{\cos \varphi_{(0)}} - N_{(0)}$
- Se calcula un valor mejor para la latitud con: $\tan \varphi = \frac{Z}{P} \left(1 - e^2 \frac{N_{(0)}}{N_{(0)} + h} \right)^{-1}$
- Se comprueba si es necesaria otra iteración, si $\varphi = \varphi_{(0)}$, entonces la iteración no es precisa, de otro modo se pone $\varphi_{(0)} = \varphi$ y se continúa en el paso 3.

Se pueden utilizar otros métodos de cálculo no iterativos, el que se expone a continuación es uno de ellos:

$$\varphi = \arctan \frac{Z + e^2 b \sin^3 \theta}{P - e^2 a \cos^3 \theta}$$

$$\lambda = \arctan \frac{Y}{X}$$

$$h = \frac{P}{\cos \varphi} - N$$

donde $\theta = \arctan \frac{Za}{pb}$ es una cantidad auxiliar y $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$ la segunda excentricidad al cuadrado.

2.7.8.2.2 COORDENADAS GLOBALES Y COORDENADAS HORIZONTALES LOCALES

Las coordenadas globales son idénticas a las coordenadas cartesianas tridimensionales del epígrafe anterior, sin embargo en lugar de utilizar los componentes X , Y , Z , se prefiere la notación vectorial \underline{X} . Así los vectores \underline{X}_i y \underline{X}_j representan dos puntos en la superficie del terreno P_i y P_j . Definiendo el vector entre estos dos puntos con $\underline{X}_{ij} = \underline{X}_j - \underline{X}_i$ en el sistema de coordenadas globales, en el sistema horizontal local referido al plano tangente en P_i se define por \underline{x}_{ij} .

Los n_i, e_i, u_i del sistema de coordenadas local en P_i se corresponden con las direcciones norte, este y vertical y se relacionan con el sistema global mediante:

$$n_i = \begin{bmatrix} -\text{sen}\varphi_i \cdot \cos \lambda_i \\ -\text{sen}\varphi_i \cdot \text{sen}\lambda_i \\ \cos \varphi_i \end{bmatrix}$$

$$e_i = \begin{bmatrix} -\text{sen}\lambda_i \\ \cos \lambda_i \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$u_i = \begin{bmatrix} \cos \varphi_i \cdot \cos \lambda_i \\ \cos \varphi_i \cdot \text{sen}\lambda_i \\ \text{sen}\varphi_i \end{bmatrix}$$

Donde los vectores n_i, e_i definen el plano tangente en p_i de acuerdo con la figura siguiente .

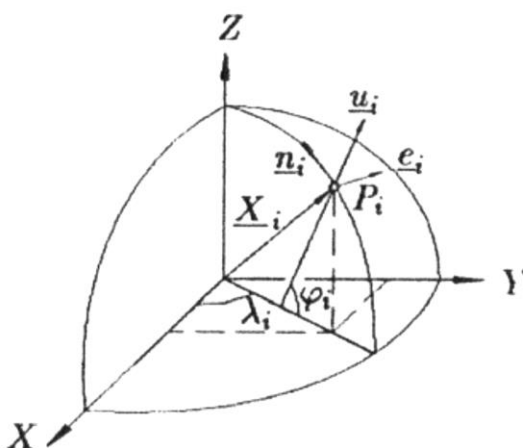


Figura 2.7-16 Coordenadas geodésicas y horizontales locales

El tercer eje de este sistema local, el vector u_i es ortogonal al plano tangente y está dirigido hacia el cenit de P_i . La dirección de este eje no coincide con la normal al elipsoide.

El sistema de coordenadas local se refiere a la vertical física (línea de plomada) en P_i de modo más preciso a la tangente en P_i a la línea, ligeramente curvada, de la plomada, si las coordenadas elipsoidales φ, λ se reemplazan por la latitud y longitud astronómica. Ahora introducimos las componentes n_{ii}, e_{ii}, u_{ii} del vector \underline{x}_{ij} en el sistema local. Estas coordenadas se denominan generalmente coordenadas ENU.

En la figura siguiente se obtienen las componentes del vector \underline{x}_{ij} en los ejes que definen el sistema de coordenadas locales n_{ij}, e_{ij}, u_{ij} . Analíticamente esto se lleva a cabo calculando el producto escalar:

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} n_{ij} \\ e_{ij} \\ u_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_{ij} \cdot X_{ij} \\ e_{ij} \cdot X_{ij} \\ u_{ij} \cdot X_{ij} \end{bmatrix}$$

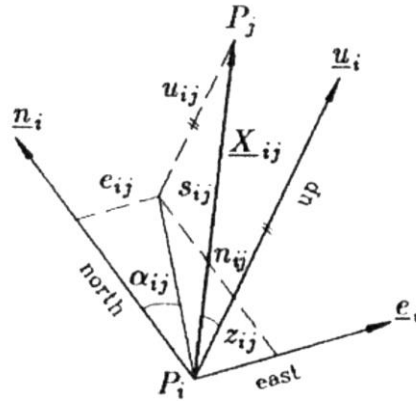


Figura 2.7-17 Coordenadas horizontales locales

expresando los vectores n_i, e_i, u_i del sistema local como columnas en una matriz D_i :

$$D_i = \begin{pmatrix} -\text{sen}\varphi_i \cos \lambda_i & -\text{sen}\lambda_i & \cos \varphi_i \cos \lambda_i \\ -\text{sen}\varphi_i \text{sen}\lambda_i & \cos \lambda_i & \cos \varphi_i \text{sen}\lambda_i \\ \cos \varphi_i & 0 & \text{sen}\varphi_i \end{pmatrix}$$

la primera expresión se puede escribir:

$$x_{ij} = D_i^t X_{ij}$$

las componentes de x_{ij} también se pueden expresar en función de la distancia espacial s_{ij} , el acimut α_{ij} y el ángulo cenital z_{ij} que se supone corregido por refracción. Las relaciones que existen son:

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} n_{ij} \\ e_{ij} \\ u_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{ij} \text{sen} z_{ij} \cos \alpha_{ij} \\ s_{ij} \text{sen} z_{ij} \text{sen} \alpha_{ij} \\ s_{ij} \cos z_{ij} \end{bmatrix}$$

Si en la ecuación anterior despejamos los valores de s_{ij}, α_{ij} y z_{ij} :

$$s_{ij} = \sqrt{n_{ij}^2 + e_{ij}^2 + u_{ij}}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{ij} = \frac{e_{ij}}{n_{ij}}$$

$$\cos Z_{ij} = \frac{u_{ij}}{\sqrt{n_{ij}^2 + e_{ij}^2 + u_{ij}}}$$

sí en estas expresiones sustituimos los valores s_{ij}, α_{ij} y z_{ij} por los de la ecuación anterior, las cantidades medidas pueden expresarse mediante los componentes del vector X_{ij} en el sistema global.

2.7.8.3 TRANSFORMACIONES DEL DATUM

Las transformaciones de coordenadas de la sección anterior tratan del paso de un tipo de coordenadas a otro tipo de coordenadas en un mismo punto. Las coordenadas globales X, Y, Z , han sido transformadas en coordenadas elipsoidales φ, λ, h y a su vez en coordenadas locales horizontales n_i, e_i, u_i . Además eligiendo un sistema de proyección adecuado (UTM) las coordenadas referidas a la superficie de elipsoide φ, λ , pueden transformarse en coordenadas planas x, y . Finalmente la altura elipsoidal ha sido transformada en altura ortométrica o en altura del geode.

Un datum geodésico define las relaciones entre un sistema cartesiano tridimensional global y uno local, es decir una transformación del datum transforme un sistema de coordenadas de un cierto tipo en otro sistema de coordenadas del mismo tipo. Esta es una de las primeras preguntas que se hace cuando se combinan datos GNSS con datos de topografía clásica, es decir la transformación de coordenadas geocéntricas WGS-84 a coordenadas locales. Como se ha mencionado antes, el sistema terrestre usa un elipsoide ajustado localmente, como es el caso del elipsoide de Clarke o del elipsoide GRS-80 en E.E.U.U. y del elipsoide de Bessel en muchas partes de Europa. El elipsoide local se asocia a un sistema de coordenadas cartesianas no-geocéntrico, donde el origen coincide con el centro del elipsoide. Coordenadas planas tales como las UTM se obtienen proyectando el elipsoide local en el plano.

En el contexto de las transformaciones del datum, el concepto de punto fiducial GNSS debe ser mencionado, aunque fue primeramente utilizado para mejora de las órbitas de los satélites en el pasado, Ashkenazi (1990). Los puntos fiduciales son lugares cuya posición se conoce con mucha precisión a través de métodos (independientes del GNSS) VLBI o SLR. El concepto de punto fiducial es bastante simple: durante una campaña GNSS en al menos tres puntos fiduciales del área de la campaña se sitúan receptores GNSS (además de los puntos a determinar).

Esto permite la transformación de coordenadas GNSS al sistema de los puntos fiduciales mediante una transformación de semejanza tridimensional. Es preciso tener en cuenta que la geometría de los puntos fiduciales con respecto al resto de los puntos tiene un fuerte efecto sobre la precisión de las medidas GNSS en la zona.

2.7.8.3.1 TRANSFORMACIÓN TRIDIMENSIONAL

Consideremos dos sistemas de coordenadas cartesianas tridimensionales. Y sea un punto cuyo vector de posición en cada uno de ellos viene dado por X y X_T . La transformación entre los dos sistemas puede formularse de la siguiente forma:

$$X_T = c + \mu R X$$

la cual se denomina transformación de Helmert, donde c es un vector que implica una traslación, μ un factor de escala y R es una matriz de giro.

Se utiliza un único factor de escala, pero podrían utilizarse tres, uno para cada eje. La matriz de giro es una matriz ortogonal la cual está compuesta de tres matrices de giro sucesivas:

$$R = R_3 \{ \alpha_3 \} R_2 \{ \alpha_2 \} R_1 \{ \alpha_1 \}$$

La matriz R se puede escribir en forma desarrollada:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \alpha_2 & \cos \alpha_1 \sin \alpha_3 + \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \sin \alpha_3 & \sin \alpha_1 \sin \alpha_3 - \cos \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos \alpha_3 \\ -\cos \alpha_2 & \cos \alpha_1 \cos \alpha_3 - \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \sin \alpha_3 & \sin \alpha_1 \cos \alpha_3 + \cos \alpha_1 \sin \alpha_2 \sin \alpha_3 \\ \sin \alpha_2 & -\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 & \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \end{bmatrix}$$

En el caso de que se conociesen los parámetros de transformación un punto del sistema X podría ser transformado en uno del sistema X_T y viceversa.

Si los parámetros de transformación son desconocidos, podrán ser determinados si se dispone de puntos idénticos expresados en ambos sistemas. Como de cada punto común obtenemos tres ecuaciones, dos puntos comunes, y un componente adicional común (por ejemplo la altura), sería suficiente para resolver los siete parámetros desconocidos. En la práctica existen más puntos comunes, por lo que hay un exceso de información, y por lo tanto, se debe recurrir a un proceso de ajuste por mínimos cuadrados.

En el caso de una transformación entre el WGS-84 y un sistema local, podemos hacer:

$$\mu = 1 + d\mu$$

Por otra parte, los ángulos de rotación son muy pequeños y pueden ser considerados como cantidades diferenciales, que sustituyendo en R , teniendo en cuenta que $\cos(d\alpha) = 1$, $\sin(d\alpha) = d\alpha$ y despreciando los diferenciales de segundo orden:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & d\alpha_3 & -d\alpha_2 \\ -d\alpha_3 & 1 & d\alpha_1 \\ d\alpha_2 & -d\alpha_1 & 1 \end{pmatrix} = I + dR$$

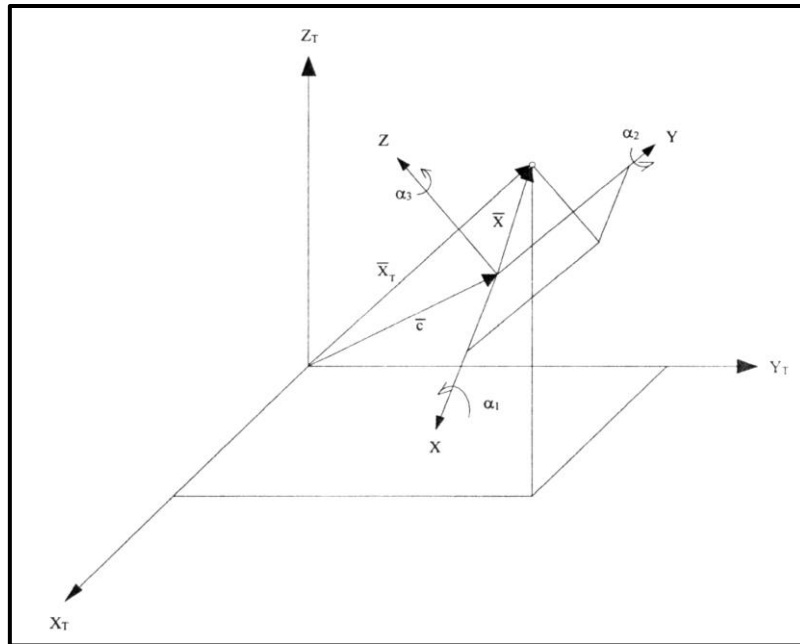


Figura 2.7-18 Transformación tridimensional 7P

donde I es la matriz unidad y dR es una matriz de rotación diferencial.

La aproximación $(R)_0 = I$, es válida.

Finalmente el vector traslación puede ponerse en la forma:

$$c = (c)_0 + dc$$

y sustituyendo estas aproximaciones en la forma inicial obtendremos:

$$(c)_0 = X_T - X$$

Sustituyendo todas estas ecuaciones en la ecuación inicial, obtendremos la transformación para un punto, que puede ser escrita de la siguiente forma:

$$X_{Ti} - X_i - (c)_0 = A_i dp$$

la parte izquierda de la ecuación es conocida y puede ser considerada como una observación. A_i es una matriz de diseño y el vector dp contiene los parámetros desconocidos, y vienen dados por:

$$A_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_i & 0 & -Z_i & Y_i \\ 0 & 1 & 0 & Y_i & Z_i & 0 & -X_i \\ 0 & 0 & 1 & Z_i & -Y_i & X_i & 0 \end{pmatrix}$$

$$dp = (dc_1 \ dc_2 \ dc_3 \ d\mu \ d\alpha_1 \ d\alpha_2 \ d\alpha_3)$$

Para el caso de n puntos comunes la matriz de diseño A vendrá dada por:

$$A = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_n \end{pmatrix}$$

En el caso de tres puntos comunes la matriz de diseño vendrá dada por:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_i & 0 & -Z_i & Y_i \\ 0 & 1 & 0 & Y_i & Z_i & X_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_i & -Y_i & X_i & 0 \\ 1 & 0 & 0 & X_2 & 0 & -Z_2 & Y_2 \\ 0 & 1 & 0 & Y_2 & Z_2 & 0 & -X_2 \\ 0 & 0 & 1 & Z_2 & -Y_2 & X_2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & X_3 & 0 & -Z_3 & Y_3 \\ 0 & 1 & 0 & Y_3 & Z_3 & 0 & -X_3 \\ 0 & 0 & 1 & Z_3 & -Y_3 & X_3 & 0 \end{pmatrix}$$

que da lugar a un sistema que en el caso general tendrá más ecuaciones que incógnitas y por lo tanto será redundante. A través de un ajuste por el método de los mínimos cuadrados obtenemos los parámetros del vector dp . Una vez obtenidos los siete parámetros de la transformación de Helmert, podemos utilizar la fórmula para transformar otros puntos que no sean los comunes.

La ventaja de esta transformación tridimensional es que no se necesita información previa para la transformación semejante de siete parámetros. La desventaja es que para los puntos comunes se requiere el conocimiento de sus alturas elipsoidales (y además ondulaciones o altura del geode). Sin embargo como recoge Schmitt (1991), los efectos de las alturas incorrectas en los puntos comunes es prácticamente despreciable sobre las coordenadas planas (x,y) . Por ejemplo las alturas incorrectas en una zona de 20x20 km pueden causar una inclinación de cerca de 5 metros en el espacio, sin embargo el efecto sobre las coordenadas planas solo es de aproximadamente 1 mm. En áreas extensas el problema de la altura puede resolverse adoptando alturas elipsoidales aproximadas para los puntos comunes y llevar a cabo una transformación afín en lugar de la transformación de semejanza, como recoge Schodlbauer (1989).

2.8 FUNDAMENTO TEÓRICO DEL DISEÑO DE LA RED

Antes de proceder a la fase de observación y cálculo de la red, es preciso diseñar con sumo cuidado la posición de los vértices que la conforman. Una primera aproximación a la hora de elegir los vértices más idóneos para ser incluidos en la red, es la consulta de la cartografía existente de la zona. Es recomendable consultar cartografía de varias escalas y también examinar fotogramas aéreos, éstos últimos dándonos una idea del tipo de vegetación de la zona, y las posibilidades de intervisibilidad de los vértices. Tanto los mapas como los fotogramas

utilizados deberán ser actuales. Actualmente con aplicaciones WMS resulta más sencillo hacer estas consultas.

La necesidad en algunos casos de dotar de coordenadas oficiales a la red, implica la necesidad de disponer de al menos un vértice geodésico en ETRS89 en la zona, o un punto perteneciente a una red calculada en ETRS89; el cual deberá ser de orden A,B o C en función de la finalidad de la red.

2.8.1 OBSERVACIONES CON GNSS

2.8.1.1 GENERALIDADES

El diseño de una red GNSS plantea una serie de cuestiones prácticas las cuales son tan importantes como los aspectos teóricos del GNSS. La elección del equipo, la técnica de observación y la organización del trabajo son muy importantes. En este apartado se va a tratar esta última cuestión. Los levantamientos GNSS difieren fundamentalmente de los tradicionales ya que son parcialmente independientes del tiempo atmosférico y no se necesita intervisibilidad entre los puntos. A causa de estas diferencias, los levantamientos GNSS requieren una planificación, ejecución y técnicas de procesado diferentes.

La planificación óptima de un levantamiento GNSS debe considerar varios parámetros tales como el lugar, la configuración de los satélites, el número y el tipo de receptores a utilizar y los aspectos económicos. Al contrario que en el diseño de redes de triangulación y trilateración en los que se emplea mucho tiempo para conseguir geometrías óptimas, la geometría y la longitud de las líneas no serán críticas en las redes GNSS. La fase de planificación debe incluir también consideraciones en cuanto al procesado de los datos, como pueden ser la posibilidad de resolver las lineasbase individualmente o de modo conjunto “multipoint”.

2.8.1.2 PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJO PREVIOS

2.8.1.2.1 SELECCIÓN DE PUNTOS

La primera etapa en la planificación de un trabajo GNSS consiste en ver en conjunto la zona de trabajo, para ello lo idóneo es usar aplicaciones como GoogleEarth o similares; viendo donde están los puntos a observar, analizando distancias y se si puede posibles interferencias GNSS. La utilización de coordenadas de puntos de control cuya precisión no sea conocida puede crear problemas, siendo a veces mejor elegir puntos de la red geodésica oficial aunque esto suponga utilizar puntos a mayor distancia.

En la planificación de un trabajo GNSS se plantean tres consideraciones a la hora de elegir un punto:

- Que no existan obstrucciones en el horizonte por encima de los 15° de elevación, que provoquen pérdidas en la recepción de la señal.
- Que no existan superficies reflectantes en los alrededores de la antena, para que no se provoquen “multipath”.
- Que no existan instalaciones eléctricas cercanas que puedan provocar distorsiones en las medidas.

Los requerimientos anteriores son muy importantes, sin embargo la proximidad de las vías de comunicación es fundamental para incrementar la producción. Las características deseables para los puntos GNSS son: situación en terrenos públicos, horizonte libre para determinar el acimut y espacio para aparcar los vehículos durante la medición.

El enlace completo de una red GNSS con el datum nacional requiere la ocupación de tres o más puntos de control. Un enlace planimétrico razonable consiste en la medida de puntos de control de la red geodésica nacional en cualquier parte del área del proyecto. El enlace altimétrico requiere más consideraciones ya que al menos es necesario medir tres puntos de la red de nivelación nacional situados en los bordes del área del proyecto.

2.8.1.2.2 VENTANA DE OBSERVACIÓN

La segunda etapa de la planificación previa consiste en determinar las horas del día en que la configuración geométrica de los satélites sea óptima y dividir en sesiones de observación.

La ventana óptima de disponibilidad de satélites es el periodo de tiempo en que un número máximo de satélites puede ser observado simultáneamente, las ventanas de disponibilidad de los satélites se desplazan unos cuatro minutos cada día, debido a la diferencia entre Tiempo Sidéreo y el Tiempo Universal. Las ventanas óptimas se determinan a partir de los gráficos o tablas acimut-elevación de los satélites para un punto del terreno que se calculan con el software de que dispone cada equipo.

El cálculo del acimut y de la elevación se basa en la proyección del vector unitario ρ que va desde el observador hacia el satélite, sobre los ejes ortogonales de las coordenadas locales, de acuerdo con la figura:

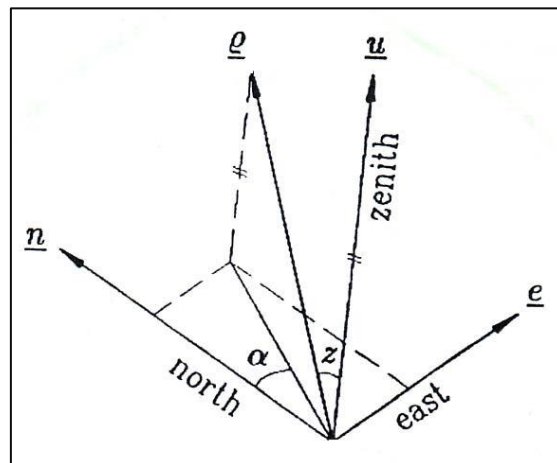


Figura 2.8-1 Representación cartesiana ejes ventana observación

El vector unitario ρ se define por:

$$\rho = \frac{\underline{\rho}^S - \underline{\rho}_R}{\|\underline{\rho}^S - \underline{\rho}_R\|}$$

Donde ρ^S es el vector de posición del satélite y ρ_R el vector de posición del observador.

Los dos vectores están expresados en coordenadas geocéntricas y el valor de ρ_R se necesita solo de forma aproximada.

Si φ y λ son la latitud y la longitud del lugar de observación, los ejes n , e y u el sistema local representan el Norte, Este y la vertical respectivamente, siendo las relaciones entre ellos:

$$\underline{n} = \begin{bmatrix} -\text{sen}\varphi \cos \lambda \\ -\text{sen}\varphi \text{sen}\lambda \\ \cos \varphi \end{bmatrix} = \frac{\delta \underline{u}}{\delta \varphi}$$

$$\underline{e} = \begin{bmatrix} -\text{sen}\lambda \\ \cos \lambda \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\delta \underline{u}}{\delta \lambda}$$

$$\underline{u} = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \lambda \\ \cos \varphi \text{sen}\lambda \\ \text{sen}\varphi \end{bmatrix}$$

Para calcular los valores de α y z se emplean los productos escalares:

$$\underline{\rho} \cdot \underline{n} = \text{senz} \cos \alpha$$

$$\underline{\rho} \cdot \underline{e} = \text{senz} \text{sen}\alpha$$

$$\underline{\rho} \cdot \underline{u} = \cos z$$

Teniendo en cuenta que $\underline{\rho} = \text{senz} \cos \alpha \underline{n} + \text{senz} \text{sen}\alpha \underline{e} + \cos z \underline{u}$

Aparte de ser visibles las órbitas de los satélites deben estar bien distribuidas geoméricamente con un satélite en cada cuadrante geográfico. En las mediciones estáticas, aunque la geometría de los satélites no sea buena y se pierda algún satélite si el tiempo de observación es suficientemente largo los resultados pueden ser satisfactorios. El método más seguro para seleccionar periodos de recubrimiento adecuado, es realizar un test de observación sobre líneasbase conocidas mediante el período completo de observación. Posteriormente este período se divide en porciones más pequeñas y se comprueban los resultados obtenidos con el procesado de estas observaciones. Este método permite testar el período de observación total y los parciales.

Una medida de la geometría de los satélites es el GDOP, normalmente los valores de éste que están por debajo de cinco se consideran buenos y por encima excesivos. El GDOP refleja solo la geometría instantánea de un punto solo, de modo que para medidas de líneasbase serán más adecuados factores acumulados durante el tiempo de la sesión.

Otro aspecto importante de la selección de las ventanas es el que se refiera a la refracción ionosférica, ya que las observaciones durante la noche pueden ser más adecuadas debido a que el efecto ionosférico tiene menos variaciones en este período. No obstante por razones operativas suele preferirse trabajar de día.

2.8.1.2.3 SESIONES

El período de tiempo elegido para una observación se denomina sesión. Un buen instante para comenzar la primera sesión de una medición estática es cuando cuatro o más satélites son visibles por encima de los 15 o 20 grados de elevación y el último de esa sesión cuando los cuatro satélites están por debajo de esa elevación.

Los factores que determinan la duración de una observación son los siguientes:

- La longitud de la líneabase.
- El número de satélites visibles.

- La geometría relativa de los satélites y el cambio de la misma.
- La relación señal/ruido de la señal recibida del satélite.

En general para reducir la duración de una observación se requiere el número máximo de satélites y buena geometría. La duración de una observación puede reducirse en el caso de líneas base cortas.

La razón de la necesidad de sesiones largas es debida a las ambigüedades, ya que aunque se midan con precisión los milímetros, centímetros y decímetros no sucede así con los metros, por que estos se calculan con el número entero de ciclos de las señales.

Para referenciar cada sesión en un datum común, al menos un punto de la red debe ser ocupado durante todo el proyecto, o las diferentes sesiones deben contener al menos un punto reocupado. La reocupación de más de un punto aumenta la precisión y la fiabilidad de la red.

2.8.1.2.4 RECONOCIMIENTO EN CAMPO

Una vez que los puntos GNSS han sido distribuidos en un mapa y se dispone de las indicaciones para llegar a los puntos de control existentes, se puede comenzar el reconocimiento de campo. Es conveniente asignar a cada punto un identificador único, que puede ser un número, aunque también se les puede asignar nombres completos. El observador debe visitar cada uno de los sitios para comprobar si cumplen las características que se han descrito anteriormente, esto es una indicación, ya que a veces la distancia entre todos ellos no lo hace posible.

En primer lugar, los levantamientos GNSS estáticos necesitan una vista sin obstrucciones del cielo por encima de los 15 o 20 grados y un entorno exento de elementos reflectivos. Un fácil acceso de los puntos es deseable para acortar los tiempos de desplazamiento entre sesiones, esto implica en ocasiones el uso de vehículos 4x4. Los levantamientos en puntos que tienen muchas obstrucciones requieren la realización de un dibujo en proyección estereográfica que muestre la altura y el acimut de las obstrucciones por encima de los 20°. Este dibujo se compara con el de visibilidad de los satélites viendo cómo afecta a éstos. El problema de las obstrucciones se resuelve de dos formas, la primera colocando un mástil que haga que la antena obtenga una visibilidad por encima de los 20°, y la segunda eligiendo una hora para la observación en la que las condiciones del ámbito permita ver un número suficiente de satélites.

Los datos usados para procesar una línea base consisten en las observaciones comunes entre los dos puntos que une, de modo que el test de obstrucciones debe hacerse en ambos extremos de la línea.

Aparte de las obstrucciones, también es necesario tener en cuenta el problema del “multipath”, que se agrava cuando la antena se sitúa cerca de una valla o estructura metálica, ya que la señal del satélite se refleja y altera las señales directas provocando errores en la fase.

Cuando el punto reúne las condiciones debe ser marcado para posteriormente construir la señal adecuada. El personal encargado de realizar el reconocimiento debe preparar un plano de localización del punto en una escala adecuada y dar una descripción que permita llegar al punto desde algún lugar fácilmente identificable. Una vez implantada la señal es necesario realizar un croquis de detalle del lugar donde se ha implantado, donde se referencia todos los elementos necesarios y además incluir fotografías de la señal y su entorno.

2.8.1.2.5 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

Cada grupo de trabajo está formado por un número de personas, vehículos y equipo de medición, al que se asignan los sitios a medir durante una sesión determinada.

El número mínimo de sesiones n en un trabajo que implica la medición de s puntos y usando r receptores viene dado por:

$$n = \frac{s - o}{r - o}$$

donde o representa en número de puntos de solape entre las sesiones. La ecuación anterior solo tiene sentido si $o \geq 1$ y $r > o$. En el caso de un número real n debe ser redondeado al entero superior. Otra aproximación para el diseño es si cada punto de la red se ocupa m veces, en este caso el número mínimo de sesiones se calcula:

$$n = \frac{ms}{r}$$

el número S_r de veces que se ocupan los puntos con respecto al solapamiento mínimo $o = 1$ es igual:

$$S_r = nr - [s + (n - 1)]$$

La organización del trabajo depende del tipo de red: radial o cerrada.

Los levantamientos de redes radiales se realizan situando un receptor en un punto fijo, y se miden líneas desde él hasta los receptores colocados en otras situaciones. No existen concordancias geométricas en la planificación de este tipo de levantamiento, excepto que puntos próximos podrían estar conectados por observaciones directas.

Los levantamientos en red cerrada se utilizan con los métodos estáticos donde la precisión es un factor primordial y requieren que las observaciones sean realizadas de una forma sistemática y utilizando figuras geométricas cerradas que permiten la determinación de cierres planimétricos y altimétricos. Los principios básicos que se aplican a redes de control son, modo reducido, los expuestos a continuación:

- La red consiste en una serie de bucles cerrados y otras figuras geométricas.
- El enlace con el datum horizontal debe hacerse con al menos tres puntos de control que se deben medir directamente.
- El enlace con el datum vertical debe hacerse con al menos cuatro puntos de control y si es posible realizar nivelaciones geométricas.

2.9 OBSERVACIONES GPS

2.9.1 MEDICIONES DE CÓDIGO Y DE FASE DE LA PORTADORA

Normalmente los observable GPS son las pseudodistancias obtenidas a partir del código o de la fase de la portadora. En las medidas de código la exactitud es de un metro aproximadamente, sin embargo la de las pseudodistancias calculadas con medidas de la fase de portadora es de unos pocos milímetros. La exactitud de la medida de código se puede mejorar mediante técnicas tales como el suavizado. No obstante esta menor precisión, las medidas de código no presentan ambigüedades, lo que las hace inmunes frente a las pérdidas de ciclos (medidas discontinuas) en los lugares con obstrucciones.

2.9.2 PROCESADO EN TIEMPO REAL Y POSTPROCESO

Si se trabaja en la modalidad de GPS en tiempo real, la posición debe estar disponible en el campo en el instante de medición. Los resultados se denominan instantáneos, si se utilizan las observaciones de una sola época para calcular la posición y el tiempo de procesado es muy pequeño (menos de un segundo). Esta es la forma en que se utiliza el GPS para posicionamiento preciso de barcos, coches, aviones, etc. Utilizando pseudodistancias de código. Una definición diferente de “tiempo real” es la que implica utilizar más de una época de observación. La medida en postproceso se refiere a cuando los datos son almacenados y procesados posteriormente a la medición. Normalmente los datos no se procesan en campo y se combinan medidas de varios receptores.

2.9.3 POSICIONAMIENTO ABSOLUTO Y RELATIVO

En el posicionamiento absoluto se determinan las coordenadas de un punto usando un receptor que mide pseudodistancias a cuatro o más satélites. Una técnica de posicionamiento absoluto más precisa es la denominada GPS diferencial (DGPS). El posicionamiento relativo es posible con dos receptores situados en puntos diferentes, se utilizan las medidas (de código o fase) realizadas con los mismos satélites y en el mismo instante, las medidas de los dos receptores se combinan directamente (en contraste con el posicionamiento diferencial) lo que mejora mucho la precisión obtenida. Normalmente las coordenadas de uno de los receptores son conocidas y la posición del otro se determina relativamente a la del punto conocido, es decir se determina el vector denominado línea base que une los dos puntos. En general el receptor situado en el punto conocido se mantiene fijo durante la medición, en el pasado el término “relativo” fue usado para las observaciones de fase de la portadora mientras que el “diferencial” se utilizaba para las observaciones de código, también el posicionamiento absoluto estaba asociado con la navegación y el relativo a los levantamientos topográfico o geodésicos.

2.9.4 MEDICIONES ESTÁTICAS

Medidas en estático implican observaciones en un punto fijo, mientras que cinemáticas implican movimiento. Una pérdida en el seguimiento de la señal en el modo estático no es tan crítica como si ocurre cuando realizamos medidas cinemáticas. Para diferenciar los términos cinemático y dinámico se puede considerar el siguiente ejemplo: Si queremos modelar el movimiento de un vehículo en un sistema de coordenadas tridimensionales, se requiere conocer las fuerzas que causan su movimiento, o medir el movimiento del vehículo, en un sistema de coordenadas tridimensional. El primer tipo de modelado se denominaría dinámico, el segundo tipo cinemático. El modelado de la órbita de los satélites GPS es un procedimiento dinámico, tan pronto como la posición de los satélites es conocida, el posicionamiento de un vehículo en movimiento se trata como procedimiento cinemático.

Los términos estático y cinemático deben ser considerados en el contexto del posicionamiento absoluto o en el del relativo.

Posicionamiento absoluto estático: Se utiliza si la posición de los puntos se necesita con exactitud moderada, sin SA una exactitud de alrededor de 5 metros o mejor se puede alcanzar después de una observación de tiempo corto.

Posicionamiento relativo estático: Si se utilizan las medidas de fase de las portadoras es la técnica más exacta para el posicionamiento y se denomina método de observación estático. El principio es la determinación del vector que une los dos receptores estacionarios, este vector se denomina línea base o simplemente línea a causa de su similitud con las líneas base de las triangulaciones. De acuerdo con esta terminología el proceso puede ser línea base simple o multipunto, obviamente la solución multipunto concierne a más de dos puntos o vértices. En mediciones estáticas se pueden alcanzar precisiones de 1 a 0.1 ppm que equivalen a una exactitud milimétrica en líneas base de varios kilómetros.

2.9.5 TÉCNICAS DE OBSERVACIÓN

2.9.5.1 POSICIONAMIENTO RELATIVO ESTÁTICO

Este método es el más utilizado ya que el requerimiento básico es que los puntos de estacionamiento estén relativamente libres de objetos que limiten la zona visible del cielo. Convencionalmente las mediciones estáticas requieren períodos de observación cuya longitud depende de la longitud de la línea base a medir, el número de satélites visible, la disposición geométrica de los mismos y el método utilizado. La exactitud depende de la longitud de la línea base y permite obtener unos errores que van de 1 a 0.1 ppm. El posicionamiento relativo estático incluye las técnicas denominadas estáticas rápidas basadas en la resolución rápida de ambigüedades. Estas técnicas generalmente usan las medidas de código y fase de la portadora y combinaciones de ambas frecuencias, de modo que se necesita emplear receptores de dos frecuencias (L1 y L2) y una buena configuración geométrica de los satélites. Por debajo de los 20 km la exactitud de las líneas base alcanza el nivel subcentimétrico. En la tabla siguiente se dan valores estándar de la duración de observaciones estáticas de menos de 20 km, que están basadas en que se disponga de cuatro satélites, buena geometría y condiciones atmosféricas normales. Si se dispone de un satélite más, cinco en total, la duración se puede reducir en un 20%. Los valores reseñados son algo conservadores, sin embargo así se asegura la resolución correcta de las ambigüedades y de este modo una alta precisión.

RECEPTOR	ESTÁTICO CONVENC.	ESTÁTICO RÁPIDO
L1	30 min + 3 min/km	20 min.+ 2min/km
L1+L2	20 min + 2 min/km	10 min + 1 min/km

Tabla 2.9-1 Tiempo aproximados para observaciones estáticas

2.9.6 EQUIPO DE CAMPO

El equipo de campo incluye los receptores y los dispositivos auxiliares tales como sensores meteorológicos, trípodes, jalones y otros equipos. Los receptores geodésicos que permiten medir líneas base con gran precisión; son los que se van a considerar a continuación.

En las líneas base de hasta 10 km, los receptores de una sola frecuencia proporcionan casi las mismas prestaciones que las de doble frecuencia, ya que la refracción ionosférica prácticamente se anula por diferencias de medidas de la fase de la portadora en los extremos de la línea base. Durante los períodos de actividad solar moderada se han medido líneas de hasta 100 km con bastante precisión, usando receptores de una frecuencia en observaciones de varias horas. Las variaciones ionosféricas tienen generalmente una distribución temporal que se repite y se pueden eliminar con períodos de observación largos. La longitud de las líneas base debe ser

reducida en períodos de alta actividad de las radiaciones solares. Esta actividad tiene un ciclo con un período de unos 11 años. Los receptores de doble frecuencia compensan y virtualmente eliminan la refracción ionosférica utilizando combinaciones de las fases de las portadoras libres de efecto ionosférico.

Los receptores de código Y permiten la reconstrucción de ambas portadoras mediante la técnica de correlación de código, de modo que se obtiene la máxima intensidad de la señal permitiendo así la obtención de los mejores resultados. Desafortunadamente el DOD no ha eliminado hasta la fecha la AS (anti-spoofing), lo que permitiría a los usuarios no autorizados la utilización de las medidas de código P que resuelven mucho más rápido las lineasbase. Una razón por la que los receptores de código P proporcionan una mejor resolución de las pseudodistancias de código es que están mucho menos afectadas por el "multipath". Otra que las medidas de código P permiten una reconstrucción de ambas portadoras mediante técnicas cuasi-decodificadas. Las medidas de alta precisión de L1 y L2 pueden combinarse para producir una señal de banda ancha con una longitud de onda de unos 86 cm. La ambigüedad entera de esta señal combinada se resuelve de modo mucho más fácil que la de 19 cm de la portadora básica. El desarrollo actual de la técnica de construcción de los receptores proporciona la posibilidad de procesar correcciones DGPS. La mayor parte de los constructores de equipos ofrecen receptores RTK. En ambos casos se necesita disponer de sistemas de transmisión de los datos.

Un aspecto importante en el diseño de los receptores es la velocidad de muestreo de los datos, ya que una alta velocidad produce un gran volumen de datos y se requiere una gran capacidad de almacenamiento. La velocidad alta es necesaria para reparar la pérdida de ciclos en mediciones estáticas. Por otra parte el uso de receptores con número de canales alto (10 o 12) es adecuado ya que los satélites adicionales proporcionan información redundante.

Si se emplean diferentes receptores en un trabajo, de modo simultáneo, se pueden producir problemas debido a incompatibilidades (diferente número de canales, diferentes técnicas de procesamiento de la señal). La señal de tiempo del receptor en las observaciones tiene una importancia crítica. La interpolación de medidas a una época de referencia común propuesta por Gurtner (1989) puede proporcionar dificultades por las diferencias en la señal de tiempo cuando la disponibilidad selectiva está operativa. La mejor solución es utilizar receptores compatibles.

El centro de fase de la antena debe ser estable y repetitivo. Las antenas microstrip, hasta la fecha, son la solución más económica y que proporciona resultados mejores. Cuando se usan diferentes tipos de antenas el centro de fase de cada una debe ser calibrado, teniendo en cuenta que depende de la frecuencia y por lo tanto es diferente para L1 y L2. Si se mezclan antenas durante un trabajo pueden ocasionarse problemas, especialmente con las alturas.

Hoy en día se fabrican receptores de doble frecuencia que soportan la humedad, ligeros de peso (menos de 1 kg), pequeños (menos de 1000 cm³) y de bajo consumo (menos de 5 W) que pueden seguir las señales de todos los satélites "visibles", hasta 220 canales y con un coste mucho menor que los que se utilizaban inicialmente. Las nuevas tecnologías permitirán construir receptores más pequeños y un precio más bajo.

Los equipos utilizados para la observación de los datos necesarios para la realización de la tesis han sido de varios fabricantes, los cuales se exponen en los sucesivos párrafos:

2.9.6.1 RECEPTOR GNSS TRIMBLE

<p>ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO</p> <p>Mediciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tecnología Trimble R-Track • Chip GNSS Avanzado Trimble Maxwell 6 para Levantamientos Personalizados con 72 canales • Correlator múltiple de alta precisión para mediciones de pseudorange GNSS • Datos de medición de pseudorange sin filtrar ni afinar para obtener una correlación de dominios de baja duración, baja cantidad de errores multitrayecto y bajo nivel de ruido, con una alta respuesta dinámica • Mediciones de fase de portadora GNSS con muy bajo nivel de ruido y una precisión de <1 mm en un ancho de banda de 1 Hz • Relaciones de señal a ruido informadas en dB-Hz • Probada tecnología de rastreo de baja elevación Trimble • Señales de satélite rastreadas en simultáneo: <ul style="list-style-type: none"> – GPS: L1C/A, L2E, L2E (método Trimble para rastrear L2P) – GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A (sólo GLONASS M), L2P – SBAS: L1C/A 		<p>• Golpes y vibraciones Las pruebas confirman que cumple los siguiente estándares ambientales:</p> <p>• Golpes Apagado: Diseñado para resistir una caída desde un jalón de 2 m (6,6 pies) sobre superficies duras. Encendido: De diente de sierra hasta 40 G, 10 mseg</p> <p>• Vibraciones MIL-STD-810F, FIG.514.5C-1</p>
<p>Posicionamiento GPS diferencial de código¹</p> <p>Horizontal 0,25 m + 1 ppm RMS</p> <p>Vertical 0,50 m + 1 ppm RMS</p> <p>Precisión de posicionamiento diferencial WAAS² por lo general, menos de 5 m 3DRMS</p>		<p>Aspectos eléctricos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alimentación de 11 V CC a 28 V CC de entrada de potencia externa con protección contra sobretensión en Puerto 1 (Lemo de 7 pines) • Batería de ión-litio recargable y removible de 7,4 V y 2,4 Ah en el compartimento interno para batería. El consumo de energía es 3,2 W, en modo móvil RTK con radio interna. Duración de funcionamiento con batería interna: <ul style="list-style-type: none"> – Opción de sólo recepción de 450 MHz 5,8 horas³ – Opción de recepción/transmisión de 450 MHz 3,7 horas³ – GSM/GPRS 4,1 horas³ • Certificación Clase B Parte 15, 22, 24 Certificación FCC, 850/1900 MHz. Módulo GSM/GPRS Clase 10. Aprobación de Marca CE y aprobación de C-tick
<p>Levantamientos GNSS Static y FastStatic¹</p> <p>Horizontal 3 mm + 0,1 ppm RMS</p> <p>Vertical 3,5 mm + 0,4 ppm RMS</p>		<p>Comunicaciones y almacenamiento de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Serial de 3 cables (Lemo de 7 pines) en Puerto 1. Serial RS-232 completo en el Puerto 2 (Dsub de 9 pines) • Opción de receptor/transmisor de 450 MHz completamente integrado y sellado: <ul style="list-style-type: none"> – Potencia de transmisión: 0,5 W – Alcance⁴: 3–5 km por lo general / 10 km óptimo • Opción de GSM/GPRS interno completamente integrado y sellado⁷ • Puerto de comunicaciones de 2,4 GHz completamente integrado y sellado (Bluetooth[®])⁹ • Soporte de teléfono móvil externo para módems GSM/GPRS/CDPD para operaciones de RTK y VRS • Almacenamiento de datos en memoria interna de 11 MB: 302 horas de observables brutos, basado en grabación cada 15 segundos desde un promedio de 6 satélites • Posicionamiento de 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz y 10 Hz • Entrada y salida CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1 • 16 salidas NMEA, salidas GSOE, RT17 y RT27. Soporta BINEX y portadora suavizada
<p>Levantamientos cinemáticos¹</p> <p>Horizontal 10 mm + 1 ppm RMS</p> <p>Vertical 20 mm + 1 ppm RMS</p> <p>Tiempo de inicialización⁵ por lo general, menos de 25 segundos</p> <p>Fiabilidad de la inicialización⁴ por lo general, más de un 99,9%</p>		<p>Hardware</p> <p>Características físicas</p> <p>Dimensiones (Ancho x Alto) 19 cm x 10,9 cm (7,5 pulg x 4,3 pulg), incluidos los conectores</p> <p>Peso 1,34 kg (2,95 lb) con batería interna, radio interna, antena UHF estándar.</p> <p>Móvil RTK completo de menos de 3,70 kg (8,16 lb) incluidas baterías, jalón, controlador y soporte</p> <p>Temperatura⁵</p> <p>Funcionamiento -40 °C a +65 °C (-40 °F a +149 °F)</p> <p>Almacenamiento -40 °C a +75 °C (-40 °F a +167 °F)</p> <p>Humedad 100%, con condensación</p> <p>Impermeabilidad al agua y polvo Protección contra ingreso de polvo según norma IP67, con protección contra inmersión temporal a una profundidad de 1 m (3,28 pies)</p>
<p><small>© 2006-2011, Trimble Navigation Limited. Reservados todos los derechos. Trimble, el logo del globo terráqueo y el Triángulo y TSC2 son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited, registradas en los Estados Unidos y en otros países. Integrated Surveying, Maxwell, R-Track y Trimble Survey Controller son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited. La marca con la palabra Bluetooth y los logos son propiedad de Bluetooth SIG, Inc. y todo uso de dicha marca por parte de Trimble Navigation Limited se hace bajo licencia. Todas las otras marcas son propiedad de sus respectivos titulares. NP 022543-2 206-E (11/11)</small></p>		<p><small>1 La precisión y la fiabilidad pueden estar sujetas a errores debido a multitrayecto, obstrucciones geométricas de satélites y condiciones atmosféricas. Siempre siga las prácticas de levantamiento recomendadas.</small></p> <p><small>2 Depende del rendimiento del sistema WAAS/EGNOS.</small></p> <p><small>3 Puede resultar afectado por las condiciones atmosféricas, multitrayecto de señal, obstrucciones y geometría de satélites.</small></p> <p><small>4 Puede resultar afectado por las condiciones atmosféricas, multitrayecto de señal y geometría de satélites. La fiabilidad de la inicialización se monitorea constantemente para asegurar la más alta calidad.</small></p> <p><small>5 Normalmente, el receptor operará a -40 °C y las baterías en temas se miden a -20 °C.</small></p> <p><small>6 Varía según el terreno y las condiciones de operación.</small></p> <p><small>7 Varía según la temperatura.</small></p> <p><small>8 Varía según la temperatura y la velocidad de transmisión de datos inalámbricos.</small></p> <p><small>9 Las aprobaciones de tipo Bluetooth son específicas según el país. Comuníquese con su Socio Autorizado de Distribución de Trimble local para obtener más información.</small></p> <p><small>Los especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.</small></p>

Figura 2.9-1 Especificaciones técnicas receptor Trimble R6

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

Mediciones

- Tecnología Trimble R-Track
- Chip GNSS topográfico personalizado Trimble Maxwell 6 con 220 canales
- Correlador múltiple de alta precisión para medidas de pseudodistancia de GNSS
- Sin filtrado, datos de medidas de pseudodistancia sin suavizado, para lograr un bajo ruido, pocos errores por trayectoria múltiple, una correlación de dominio de bajo tiempo y una respuesta de alta dinámica
- Medidas de fase portadora GNSS de muy bajo ruido con una precisión <1 mm en un ancho de banda de 1 Hz
- Las razones de señal-ruido se señalan en dB-Hz
- Probada tecnología de rastreo de baja elevación de Trimble
- Las señales de satélites se rastrean simultáneamente:
 - GPS: L1C/A, L2C, L2E (Método de Trimble para el rastreo de L2P), L5
 - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A (GLONASS M solamente), L2P
 - SBAS: L1C/A, L5
 - Galileo GIOVE-A y GIOVE-B

Posicionamiento GPS de código diferencial¹

Horizontal 0,25 m + 1 ppm RMS
 Vertical 0,50 m + 1 ppm RMS
 Precisión de posicionamiento
 WAAS diferencial² Por lo general <5 m 3DRMS

Levantamientos GPS estáticos y FastStatic (estáticos rápidos)¹

Horizontal 3 mm + 0,1 ppm RMS
 Vertical 3,5 mm + 0,4 ppm RMS

Levantamientos cinemáticos¹

Horizontal 10 mm + 1 ppm RMS
 Vertical 20 mm + 1 ppm RMS
 Tiempo de inicialización³ Típico <10 segundos
 Fiabilidad en la inicialización⁴ Típico >99,9%

HARDWARE

Físicas

Dimensiones (Ancho x Alto) 19 cm x 11,2 cm
 (7,5 pulg x 4,4 pulg), incluyendo los conectores

Peso 1,34 kg (2,95 lb) con la batería interna, radio interna, antena UHF estándar. Móvil RTK completo de 3,70 kg (8,16 lb) incluyendo las baterías, el jalón, el controlador y el soporte

Temperatura⁵

De funcionamiento -40 °C a +65 °C (-40 °F a +149 °F)
 De almacenamiento -40 °C a +75 °C (-40 °F a +167 °F)

Humedad 100%, con condensación

Impermeable/resistente al polvo Cumple con el estándar IP67 de resistencia al polvo; protección frente a inmersiones temporales de 1 m (3,28 pies)

© 2005–2008, Trimble Navigation Limited. Reservados todos los derechos. Trimble y el logo del Globo Terrestre y el Triángulo son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited, registradas en los Estados Unidos y en otros países. Access, Integrated Surveying, Maxwell, R-Track, Signal Prediction, Trimble Survey Controller, VRS y Web UI son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited. La marca con la palabra Bluetooth y los logos son propiedad de Bluetooth SIG, Inc. y todo uso de dichas marcas por parte de Trimble Navigation Limited es bajo licencia. Todas las marcas son propiedad de sus respectivos titulares. Nº 022542-0794E (1/08)

Golpes y vibraciones Ha sido probado y cumple con los siguientes estándares medio ambientales:
 Golpes Apagado: ha sido diseñado para resistir caídas de hasta 2 m (6,6 pies) sobre hormigón.
 Encendido: de diente de sierra hasta 40 G, 10 msec
 Vibraciones Cumple con el estándar MIL-STD-810F, FIG. 514.5C-1

Eléctricas

- Entrada de alimentación externa de 11 a 28 V CC con protección contra sobretensión en el puerto 1 (Lemo de 7 pines)
- Batería de litio-ion recargable, extraíble de 7,4 V, 2,4 Ah en un compartimento interno para batería. El consumo de alimentación es de 3,2 W, en el modo móvil RTK con radio interna. Tiempos de funcionamiento con la batería interna:
 - De 450 MHz con capacidad de recepción solamente 5,8 horas⁷
 - De 450 MHz con capacidad de recepción/transmisión 3,7 horas⁸
 - GSM/GPRS 4,1 horas⁷
- Certificación Clase B Parte 15, 22, 24 de la certificación FCC, 850/1900 MHz. Clase 10 con módulo GSM/GPRS. Con aprobación de marca de tipo CE y marca (tic) C

Comunicaciones y almacenamiento de datos

- Serie de 3 cables (Lemo de 7 pines) en el puerto 1. Serie RS-232 completo en el puerto 2 (Dsub de 9 pines)
- Opción de radio receptora/transmisora de 450 MHz, totalmente integrada y sellada:
 - Potencia de transmisión: 0,5 W
 - Rango⁹: por lo general de 3–5 km / 10 km óptimo
- Opción GSM/GPRS totalmente integrada y sellada⁷
- Puerto de comunicaciones totalmente integrado y sellado de 2,4 GHz (Bluetooth[®])⁹
- Soporte para teléfono celular externo para los módems GSM/GPRS/CDPD para operaciones RTK y VRS
- Almacenamiento de datos en 57 MB de memoria interna: 40,7 días de observables brutos (aprox. 1,4 MB / día), en función del registro de datos de 14 satélites en intervalos de 15 segundos
- Posicionamiento a 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz y 20 Hz
- Entrada y salida CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1
- 16 salidas NMEA, salidas GSOF, RT17 y RT27. Compatible con fase portadora suavizada y BINEX

¹ La precisión y fiabilidad están sujetas a anomalías tales como la trayectoria múltiple, obstrucciones, la geometría de los satélites y las condiciones atmosféricas. Siempre cumple con las prácticas topográficas recomendadas.

² Depende del funcionamiento del sistema WAAS/EGNOS.

³ Puede verse afectado por las condiciones atmosféricas, las señales de trayectoria múltiple, las obstrucciones y la geometría de los satélites.

⁴ Puede verse afectado por las condiciones atmosféricas, las señales de trayectoria múltiple y la geometría de los satélites. La fiabilidad de inicialización se controla continuamente a fin de asegurar la más alta calidad.

⁵ Normalmente, el receptor funciona hasta -40 °C, la capacidad normal de las baterías internas está fijada en -20 °C.

⁶ Varía con el terreno y las condiciones operativas.

⁷ Varía con la temperatura.

⁸ Varía con la temperatura y la tasa de datos inalámbricos.

⁹ Las aprobaciones del tipo de tecnología Bluetooth son específicas según el país. Contacte con el representante u oficina local de Trimble para obtener más información.

Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.




Figura 2.9-2 Especificaciones técnicas receptor Trimble R8

2.9.6.2 RECEPTOR GNSS TOPCON

Características Ambientales	
Temperatura de funcionamiento	-30 a +55 °C
Temperatura de almacenamiento	-20 a +35 °C
Humedad	95 %
Características Físicas	
Carcasa	Fabricado de aluminio
Dimensiones	158,5 x 113 x 173 mm
Peso	1,65 kg
Color	Gris Topcon
Comunicaciones	
Puertos serie	2 puertos (Puerto A y D), 7 pins ODU
Puerto serie-GPS	Puerto A/D, Velocidades: 460800, 230400, 115200(predeterminado), 57600, 38400, 19200, 9600,4800, 2400, 1200, 600, 300, Control de flujo: RTS/CTS!, Longitud: 7, 8(predeterminado), Bits de parada: 1 (predeterminado), 2, Paridad: Ninguna (predeterminado)
Bluetooth	Versión 1.1
USB	Versión 1.1
Conectores	
Puerto externo de corriente	1 puerto, 5 pins ODU
Conector externo de antena Radio	Conector TNC
Conector de antena GPS/GNSS	Conector BNC
Energía	
Batería interna	2 baterías de Litio-Ion, 4000 mAh, 7,4V
Capacidad de la batería	<14 horas (10h. Tx)
Alimentación externa	1 puerto
Tensión de entrada	6 a 28 V DC, 2 carga mínima
Potencia Consumida	4,2 W
Cargador de batería	Adaptador AC
Memoria	
Memoria interna	Tarjeta Compact flash
Capacidad	Hasta 1024 MB (opcional)
Tiempo de registro	Hasta 53 horas
Precisiones	
Estático	3 mm + 0,5 ppm horizontal, 5 mm +0,5 ppm vertical
RTK/Cinemático	10 mm + 1 ppm horizontal, 15 mm + 1 ppm vertical
Seguimiento	
Tracking	Sistema Co-Op Tracking Topcon
Señales	GPS/GLONASS L1/L2 C/A y Código P y Portadora WAAS/EGNOS
Canales	40
1ª Posición en frío	<60 segundos
1ª Posición en caliente	<10 segundos
Readquisición	<1 segundos
Teclas y LED's	
Teclas	3: apagado/encendido, función, reset
LED's	4: satélites, estado registro de datos, batería, estatus del modem

Figura 2.9-3 Especificaciones técnicas receptor Topcon HiperPro

2.9.6.3 RECEPTOR GNSS GEOMAX

Rendimiento del equipo	
Tecnología GeoMax Q-Lock	
Tecnología Bluetooth® GNSS sin cables integrada en el bastón	
Capaz de trabajar con redes GNSS	
Actualización de la posición cada 5Hz	
52 canales	
Aplicaciones incluidas/funciones	
Replanteo, Taquimétrico, COGO, Línea de referencia, Calibración, Sistemas coords., dxf Importar/Exportar	
Precisión Cinemáticos	
Horizontal	± 10 mm + 1 ppm
Vertical	± 20 mm + 1 ppm
Tiempo de inicialización	típicamente 15 segundos
Fiabilidad de la inicialización	típicamente >99.9 %
Precisión estáticos y rápido estáticos	
Horizontal	± 5 mm + 1 ppm
Vertical	± 10 mm + 1 ppm
Precisión código diferencial	
Horizontal/Vertical	típicamente ± 0.25 m
Controlador	
Pantalla	Retroiluminada en color VGA pantalla táctil. Visible de día
Sistema operativo	Windows® CE
Almacenamiento	Tarjeta de memoria Compact Flash 2 Gb
	Sobre 16,000 horas datos L1+L2 en intervalos de 15 seg
Comunicaciones	
Radio modem	Módulo de radio UHF con integración total
	Puertos de comunicación Bluetooth®
	Potencia de transmisión 0.5 W, 1W
	Radio opcional para la referencia de 10 W
Soporte para teléfono movil	GSM, GPRS, CDMA modems/teléfonos mediante puerto de comunicaciones Bluetooth®
Condiciones ambientales	
Antena / Controlador	
Temperaturas en Trabajo / Almacenamiento	- 30 °C ~ + 65 °C / - 40 °C ~ + 80 °C
Protección contra el polvo y el agua	IP54
Humedad	hasta el 100%
Alimentación	
baterías de Li-Ion internas	Li-Ion 2.2Ah 7.4V
	ZGP800A antena sobre 5 horas (modo RTK)
	ZGP800C controlador sobre 8 horas (modo RTK)
Entrada de corriente externa	10.5 to 28 V DC
Peso	
rover RTK completo (incl. controlador, baterías, bastón y soporte)	3.07 kg

Figura 2.9-4 Especificaciones técnicas receptor Geomax

CAPITULO-3 OBSERVACIÓN, CÁLCULO Y AJUSTE DE COORDENADAS ELIPSOIDALES PRECISAS SOBRE LA RED DE NIVELACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo vamos a exponer el proceso de toma de datos en campo, así como su posterior procesado en oficina. En este apartado se explicará la forma de obtener altas precisiones con tiempos relativamente cortos de observación (alrededor de 3 horas), y líneasbase de aproximadamente 70 km. Se detallará la planificación minuciosa de oficina, las maratónicas jornadas de campo, y los arduos cálculos de oficina.

3.2 OBSERVACIÓN GNSS

3.2.1 PLANIFICACIÓN

Debido a las precisiones requeridas, el método de observación GNSS usado ha sido el estático relativo con medidas de fase. Cualquier campaña GNSS mediante esta técnica necesita de, al menos, dos receptores, de todas maneras la posibilidad de usar tres o incluso más facilitó el trabajo de campo; aunque por otra parte necesitó mucha mayor planificación. Se ha decidido abordar el trabajo, abaratando en lo máximo posible los costes del mismo, para ello se ha tratado de emplear al menos tres equipos por jornada (todas ellas en sábados debido a restricciones de disponibilidad de los propios equipos), usando algún día 11 equipos midiendo a la vez; a mayores de las estaciones de referencia.

La configuración inicial primera para iniciar la planificación se presenta en la siguiente figura, procedente del archivo *kmz* del ftp del IGN, añadiendo las bases activas disponibles:



Figura 3.2-1 Redes puntos fiduciales en Galicia

En ella podemos ver las líneas de nivelación REDNAP, en verde, la red REGENTE (rojo) y en color azul, amarillo y verde, las redes Smartnet, GALNET e Itacyl respectivamente. El primer problema se nos plantea con la elección de los puntos fijos para dotar a los clavos de nivelación de cota elipsoidal; se plantean en este sentido una serie de problemas:

- Emplear como puntos fiduciales los vértices REGENTE, red pasiva.
- Emplear las bases de las redes activas, algunas de ellas muy lejanas como las del ITACYL, otras poco densificadas Smartnet, ERGNSS y otras en fase de iniciación GALNET.
- Los observables de los receptores de todas las redes son GPS y/o GNSS, es decir, algunos de ellos aún no disponen de tecnología GLONASS.

Para dar solución a lo anterior, se decide usar GALNET y ERGNSS (donde se pueda) como red de orden cero, debido fundamentalmente a la mayor cobertura del territorio de la comunidad, y usar las demás redes como apoyo en caso de caída de datos de la primera. A fin de contrastar datos, y por si durante la observación alguna antena de las redes activas no operase, en cada jornada se observa también un vértice REGENTE, sumando al final 19 vértices, pudiendo así comprobar también la red REGENTE.

Se decide también emplear solo datos GPS, por dos razones:

1. Algunos de los equipos que se van a usar en campo solo disponen de observables GPS.
2. Las observaciones con equipos GLONASS proporcionan a veces sesgos en las mediciones, Richard Ong et al. (2010).

A continuación se hizo un análisis de las líneas de nivelación disponibles en la zona noroeste de la Península Ibérica, las cuales detallamos a continuación:

1. Línea 405: desde Ribadeo (nodo 99) hasta Salas en Asturias (nodo 98).
2. Línea 406: desde Lugo (nodo 100) hasta Ribadeo (nodo 99).
3. Línea 10407: desde Carracedelo en León (nodo 101) hasta Lugo (nodo 100).
4. Línea 408: desde Bembibre en León (107) hasta Carracedelo en León (nodo 101).
5. Línea 410: desde A Gudiña (nodo 103) hasta Carracedelo en León (nodo 101).
6. Línea 411: desde Benavente (nodo 104) hasta A Gudiña (nodo 103).
7. Línea 542: desde Verín (nodo 106) hasta A Gudiña (nodo 103).
8. Línea 543: desde Verín (nodo 106) hasta frontera Portuguesa (nodo 125).
9. Línea 544: desde Ourense (nodo 127) hasta Verín (nodo 126).
10. Línea 545: desde Ourense (nodo 127) hasta Porriño (nodo 129).
11. Línea 546: desde Porriño (nodo 129) hasta frontera Portuguesa (nodo 128).
12. Línea 547: desde Porriño (nodo 129) hasta Santiago de Compostela (nodo 130).
13. Línea 548: desde Portomarín (nodo 131) hasta Santiago de Compostela (nodo 130).
14. Línea 549: desde Portomarín (nodo 131) hasta Ourense (nodo 127).
15. Línea 550: desde Lugo (nodo 100) hasta Portomarín (nodo 131).
16. Línea 581: desde Betanzos (nodo 132) hasta Santiago de Compostela (nodo 131).
17. Línea 582: desde Lugo (nodo 100) hasta Betanzos (nodo 132).
18. Línea 583: desde Ribadeo (nodo 99) hasta Betanzos (nodo 132).
19. Línea 801: desde Baralla (nodo 212) hasta Cangas del Narcea (nodo 213).
20. Línea 10407: desde Carracedelo en León (nodo 101) hasta Barralla (nodo 212).
21. Línea 20407: desde Baralla (nodo 212) hasta Lugo (nodo 100).
22. Ramal 1583: desde Foz (583056) hasta el puerto de Foz (1583003).
23. Ramal 5583: desde Fene (583196) hasta Mugaros (5583027).

24. Ramal 06853: desde Ferrol (4583013) hasta el puerto de Ferrol (6583026).



Figura 3.2-2 REDNAP en Galicia

Lo que hace un total de 21 líneas y 3 ramales; sumando un conjunto de aproximadamente 1400 clavos de nivelación, es decir, puntos con cota ortométrica de alta precisión para comparar con cota elipsoidal GNSS, pero con menor precisión, en torno a 0.100 metros en el 81 % de las señales y peor en las demás⁸. Como se desprende de las líneas anteriores esta precisión no nos permite alcanzar el objetivo final al ser la cota elipsoidal de precisión deficiente.

Por tanto se decide observar una cantidad suficiente de puntos de la REDNAP que cubra el territorio de la comunidad de Galicia, que tengan la precisión suficiente para contrastar los modelos geoidales de manera fidedigna, es por esto que se decide hacer una observación de un clavo REDNAP cada aproximadamente 10 km, con lo que se obtienen al final 112 puntos. Cabe destacar también que haciendo una observación de las fotografías de las reseñas de los clavos, observarlos todos sería imposible debido a sombras GPS; además de ser éste un trabajo innecesario ya que lo que se pretende es saber la tendencia de los modelos geoidales.

⁸ Véase Artículo “La precisión de REDNAP” en MappingInteractivo, marzo2010, Centro de Observaciones Geodésicas

Los puntos de control medidos fueron:

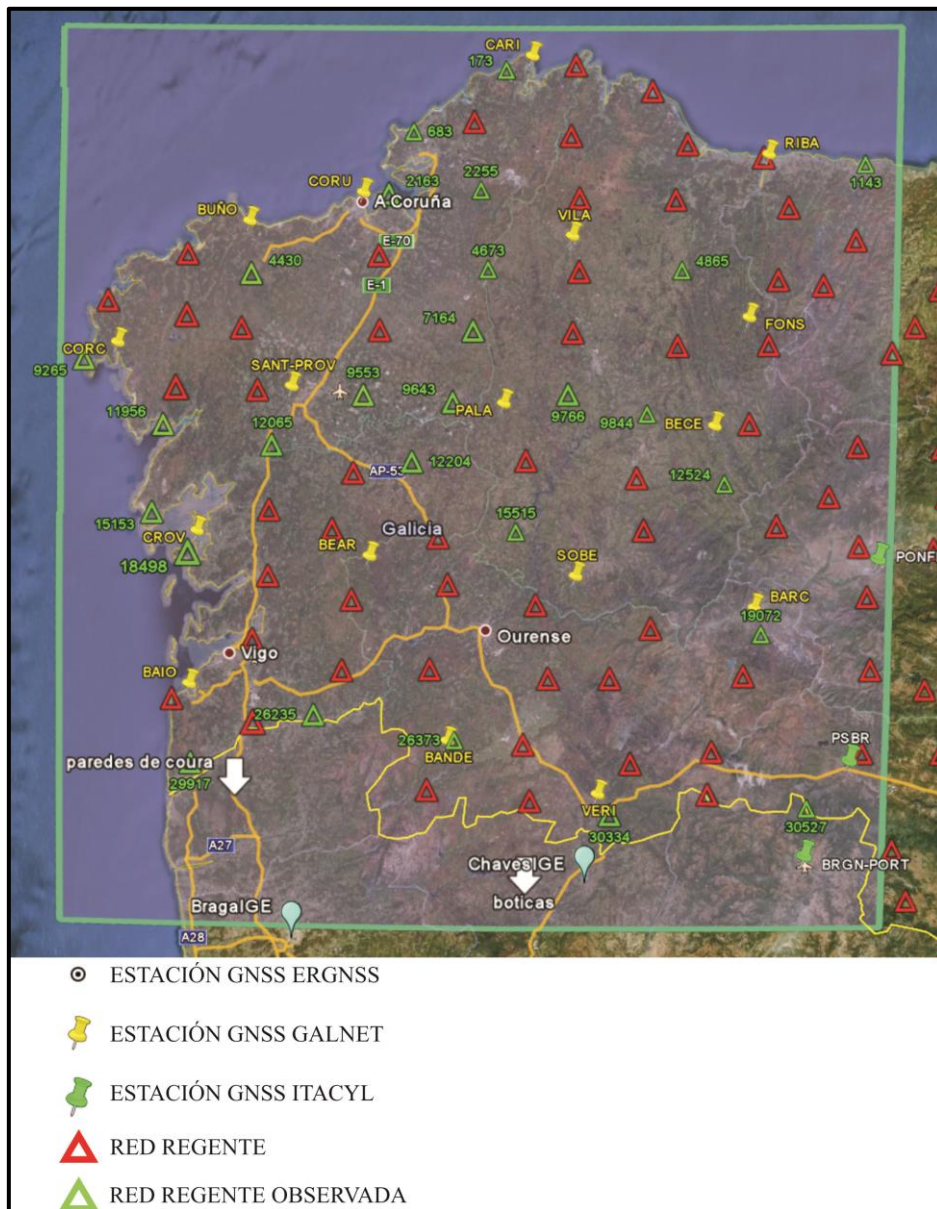


Figura 3.2-3 Esquema puntos controles disponibles y medidos

3.2.1.1 TIEMPO DE OBSERVACIÓN

Este es un aspecto que condicionó en gran parte los trabajos, la elección del tiempo de observación; como se ha comentado en el apartado anterior, los puntos fiduciales serían las bases de GALNET y ERGNSS; en ese sentido haciendo un análisis de distancias de puntos de nivelación a estas bases observamos que ninguno de ellos está a más de 50 km de dos puntos de control, lo que motiva que el tiempo mínimo de observación sea de:

$$20 \text{ min} + 2 \text{ min/km} = 120 \text{ min} = 2 \text{ h}$$

Este dato, en la mayoría de los casos va a ser de 3 h debido a la movilidad de un punto a otro. Las épocas de observación serán de mínimo 15 seg, a fin de evitar gran cantidad de información y garantizar por otro la resolución de ambigüedades.

3.2.2 ERRORES DE OBSERVACIÓN. SOLUCIONES

El ingente volumen de mediciones y observaciones de la tesis, y la implantación de los clavos en vías de comunicación fuertemente transitadas, hace necesario, un análisis de los problemas que se pueden plantear durante la observación GPS, no así en oficina. Es por ello preciso adoptar un sistema de trabajo fluido y sistematizado, no modificable, a fin de minimizar posibles errores y eliminar inconvenientes a la hora de hacer las correspondientes mediciones, a saber:

1. Punto con horizonte deficiente.
2. Error en la medida de la altura de la antena.
3. Error por elección de tipo de antena.
4. Estabilidad del equipo de observación durante toda la observación.

La estrategia a seguir para evitar cualquier imprevisto y subsanarlo si se produce es:

1. La elección de un punto de nivelación con horizonte libre, motiva la elección en oficina, de otro como sustituto por si este no fuese válido por alguna razón.
2. Se desecha la elección de trípode para eliminar el error de medida de antena, para ello se usan ÚNICAMENTE, jalones perfectamente medibles. En los vértices geodésicos se usan basada para estacionamiento.
3. El tipo de antena, la hora de inicio y finalización, la lectura de antena y el número de punto se anotan SIEMPRE tanto al inicio como al final de la observación estática.
4. La estabilidad del equipo sobre la cabeza semiesférica de los clavos de nivelación, se garantizará con un bípode o dos según las necesidades, además de emplear cintas de goma para darle rigidez si así fuese requerido.



Figura 3.2-4 Estacionamientos sobre REDNAP

3.2.3 ESTRATEGIA DE OBSERVACIÓN

La estrategia de observación empleada ha sido la de *distribución-observación*, es decir, distribuir los equipos en sus determinados puntos e ir iniciando la grabación de las 3h de datos sucesivamente, hasta distribuir todos los equipos, una vez terminado el primero se van recogiendo los demás y se repite la operación hasta el final de la jornada.

Las jornadas de observación se exponen a continuación:

JORNADA	FECHA	LINEAS	PUNTOS MEDIDOS	INICIO	FIN
01	01-05-10	581	6	8:30	19:05
02	08-05-10	581	6	9:40	19:35
03	15-05-10	547	7	8:50	19:18
04	29-05-10	547	8	9:38	19:35
05	05-06-10	548	7	9:16	18:15
06	19-06-10	550-548-582	7	9:54	18:56
07	26-06-10	582-583	6	10:20	19:30
08	17-07-10	549	6	9:05	18:57
09	24-07-10	583-5584	7	9:53	19:36
10	31-07-10	20407	3	9:16	13:26
10b	07-08-10	10407	8	9:05	19:10
11	21-08-10	583	9	9:30	20:42
12	28-08-10	406	8	9:00	19:19
13	04-09-10	583-405	7	9:26	19:10
14	11-09-10	410	7	9:19	18:47
15	18-09-10	6583	3	15:28	22:08
16	11-10-10	411	4	12:10	17:32
17	16-10-10	544-543-542-411	8	9:32	20:22
18	23-10-10	545-544	8	9:33	20:51
19	06-11-10	545-547-546	11	8:40	22:14
		Media	7	9:48	19:19
					9:31

Tabla 3.2-1 Puntos ocupados y duración diaria

Lo que hace un total de 20 días de observación, 9,5 horas de media midiendo, 136 puntos medidos con una media de 7 puntos por día.

Los estadillos tipo de medición de campo digitales se presentan en la siguiente tabla:

	Fecha	Base	Altura	Tipo Antena	Hora Inicio	Hora Final	Observaciones	
1	01/05/2010	581176	1.995	GEOMAX	8:30	12:20		
		9553	0.155	ZEPHYR	9:05	12:20	APICE MUESCA H PILAR 1.195	
		581142	1.990	R6-78	9:15	13:15	BASE SOPORTE ANTENA	
		CAMBIO DE ZONA DE TRABAJO						
		581105	1.995	GEOMAX	14:20	16:15	CAIDA ANTENA	
		581157	1.357	ZEPHYR	14:27	19:05	BASE SOPORTE ANTENA	
		581071	1.985	R6-78	15:00	18:30	CAMBIO BATERIA-BASE SOPORTE	
		581106	1.995	GEOMAX	16:45	17:00	CAIDA ANTENA	
		581107	1.995	GEOMAX	17:23	19:05	BASE ANTENA	
2	08/05/2010	581036	1.995	GEOMAX	9:40	14:48	BASE ANTENA	
		581054	1.985	R6-78	10:10	14:25	BASE ANTENA	
		4430	0.250	ZEPHYR	10:50	13:53	APICE MUESCA H PILAR 1.190	
		CAMBIO DE ZONA DE TRABAJO						
		581003	1.985	ZEPHYR 5700	16:13	20:30	APICE MUESCA H PILAR 1.160	
		581016	1.985	R6-78	16:53	20:12	BASE SOPORTE ANTENA	
		2163	0.225	GEOMAX	18:35	19:35	BASE ANTENA	
3	15/05/2010	547123	1.995	GEOMAX	8:50	NO GRABA	BASE ANTENA	
		547112	1.985	R6-78	9:21	14:37		
		12065	0.255	ZEPHYR 5700	10:10	14:00	APICE MUESCA H PILAR 1.188	
		547123	1.995	GEOMAX	11:50	14:50	BASE ANTENA	
		CAMBIO DE ZONA DE TRABAJO						
		548104	1.985	R6-78	15:20	20:15	BASE ANTENA	
		548087	1.985	ZEPHYR 5700	15:50	19:55	BASE ANTENA	
				547095	2.010	GEOMAX	16:18	19:18

Se ha tratado también a fin de evitar correcciones del software de cada equipo, medir la altura de la antena a diferentes referencias, es decir, en la medida de lo posible siempre se ha medido la altura a la base de la antena (ARP), *antenna reference point*:

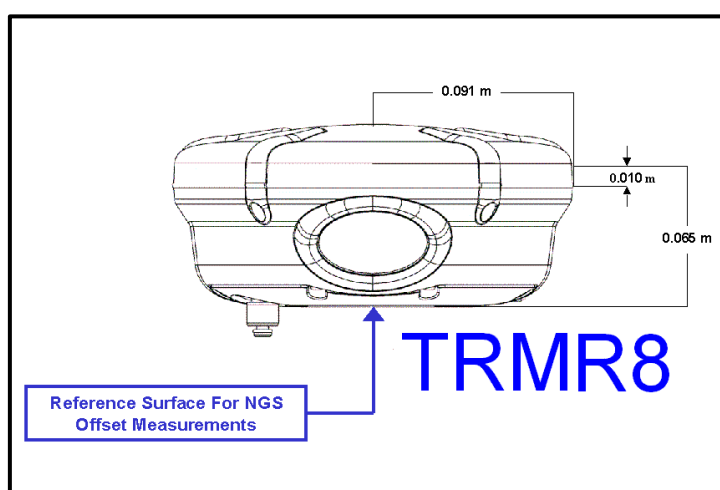


Figura 3.2-5 Esquema ARP equipo GNSS

Así se garantizan, como veremos, que las correcciones PCVs se aplican de forma homogénea.

Una vez realizadas las observaciones se almacenan todas por día, con la siguiente estructura:

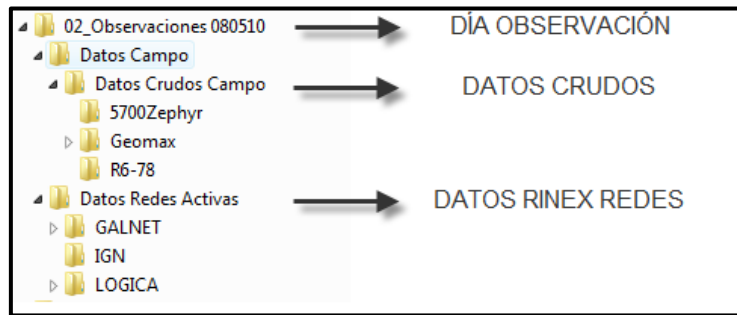


Figura 3.2-6 Organización datos en pc

La configuración de los puntos medidos se detalla en la siguiente figura:



Figura 3.2-7 Esquema de todos los puntos observados

3.3 PROCESADO DE DATOS

Las distancias de las líneasbase, y el gran número de ellas hace necesario emplear un software ágil, para ello, debido a que el departamento no dispone de software de procesamiento científico, ello nos lleva a emplear un software comercial, el distribuidor para Galicia de Leica, Lógica-Equipamientos Integrales, nos cede durante la tesis una licencia completa de su software de procesamiento LGO v7.1 de forma gratuita.

3.3.1 PREPROCESADO. IMPORTACIÓN Y DEPURACIÓN DE DATOS

El software de procesado admite únicamente datos crudos en formato nativo de Leica y Geomax, tanto los archivos Trimble como Topcon deben ser transformados a RINEX mediante sus conversores propios. Se plantean aquí un problema, con TRIMBLE si no escogemos la versión más antigua:

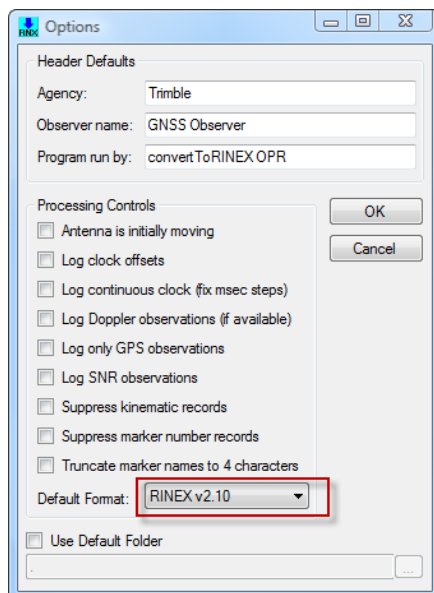


Figura 3.3-1 Opciones de transformación rinex

el archivo sufre correcciones al ARP, que si no tuviésemos el estadillo de campo, podríamos pasar por alto.

Una vez importados los datos y previo a procesar, lo importante es introducir los parámetros de calibraciones de las antenas, de la siguiente dirección web:

<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>

donde podemos seleccionar los parámetros según el tipo de antena:

Figura 3.3-2 Página de la NOAA para correcciones de antena

y según el ángulo de incidencia:

TRMR8	NONE	Integrated	receiver/antenna	- COPIED	NGS (3)	02/12/05
0.8	1.1	74.8				
0.0	1.4	2.5	3.1	3.3	3.3	3.1
2.7	2.9	3.2	3.7	4.2	5.2	6.6
0.1	-2.2	77.3				
0.0	-1.0	-1.1	-0.7	0.0	0.8	1.4
2.0	1.7	1.4	1.0	0.7	0.5	0.9
RMS	MM	RMS	- 3	MEASUREMENTS	- COPIED:TRM_R8	NONE
.5	.4	.2				
.0	.2	.3	.4	.4	.4	.4
.3	.4	.4	.4	.4	.3	.2
.4	.4	.6				
.0	.1	.2	.3	.4	.4	.4
.4	.4	.4	.4	.5	.5	.7

Figura 3.3-3 Correcciones de antena

No siendo posible introducir parámetros mediante un archivo ANTEX en la versión usada, se hará de forma manual en el LGO:

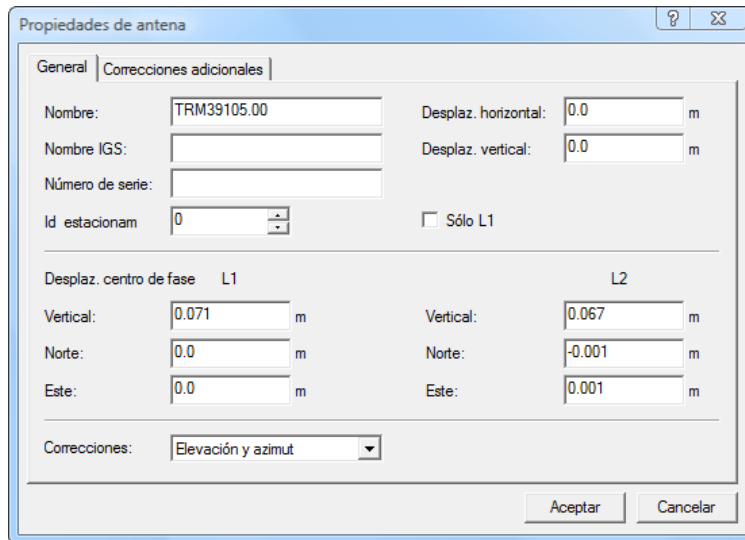


Figura 3.3-4 Parámetros de antena en LGO

en el apartado de antenas.

Una vez preparados y unificadas las observaciones de campo, importaremos las efemérides precisas, directamente desde LGO:

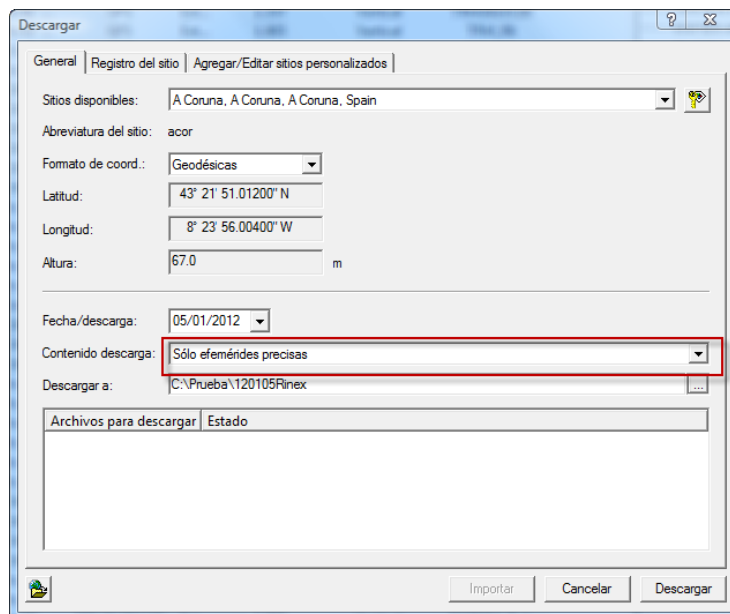


Figura 3.3-5 Importación de efemérides precisas

pasando a estar incluidas en el histórico de efemérides, las cuales serán empleadas para el procesamiento:

Fecha	Tipo GNSS	Número de satélites	Satélites	Agencia	Fecha de importaci...
01/05/2010	GPS/GLONASS	50	G02, G03, G04, G05, G06...	ESOC	26/04/2011 01:03:05
01/05/2010	GPS	31	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	26/04/2011 01:03:05
08/05/2010	GPS	31	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	26/04/2011 01:03:16
15/05/2010	GPS	31	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	26/04/2011 01:03:57
29/05/2010	GPS/GLONASS	50	G02, G03, G04, G05, G06...	ESOC	28/04/2011 01:15:39
29/05/2010	GPS	31	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	28/04/2011 01:15:39
05/06/2010	GPS/GLONASS	49	G02, G03, G04, G05, G06...	ESOC	28/04/2011 01:15:49
05/06/2010	GPS	31	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	28/04/2011 01:15:49
19/06/2010	GPS/GLONASS	51	G02, G03, G04, G05, G06...	ESOC	26/05/2011 23:10:38
19/06/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	26/05/2011 23:10:38
26/06/2010	GPS/GLONASS	51	G02, G03, G04, G05, G06...	ESOC	01/05/2011 18:36:38
26/06/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	01/05/2011 18:36:38
17/07/2010	GPS/GLONASS	51	G02, G03, G04, G05, G06...	ESOC	01/05/2011 20:36:22
17/07/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	01/05/2011 20:36:22
24/07/2010	GPS/GLONASS	51	G02, G03, G04, G05, G06...	ESOC	01/05/2011 18:36:56
24/07/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	01/05/2011 18:36:56
31/07/2010	GPS/GLONASS	51	G02, G03, G04, G05, G06...	ESOC	01/05/2011 21:44:28
31/07/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	01/05/2011 21:44:28
05/08/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	06/12/2011 18:18:51
07/08/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	01/05/2011 23:44:29
21/08/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	01/05/2011 23:56:01
28/08/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	02/05/2011 00:33:18
04/09/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	16/06/2011 00:10:22
11/09/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	02/05/2011 01:05:42
18/09/2010	GPS/GLONASS	50	G02, G03, G04, G05, G06...	ESOC	09/05/2011 23:55:37
18/09/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	09/05/2011 23:55:37
11/10/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	25/05/2011 22:32:09
16/10/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	25/05/2011 00:46:08
23/10/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	31/05/2011 23:45:05
06/11/2010	GPS	32	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	08/06/2011 23:36:02
05/08/2011	GPS	31	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	06/12/2011 18:21:15
05/01/2012	GPS	31	G01, G02, G03, G04, G05...	IGS	04/05/2012 17:59:40

Figura 3.3-6 Histórico de efemérides precisas

Según todo lo anterior los posicionamientos resultantes son los siguientes:

POSIC	INIC OBS	FIN OBS	DURACIÓN	MEDICIÓN	H ANTENA	TIPO ANTENA
CORC	01/05/2010 0:59	02/05/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
BUNO	01/05/2010 0:59	02/05/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
SANT	01/05/2010 0:59	02/05/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
ACOR	01/05/2010 0:59	02/05/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	3.046	LEIATS04 LEIS
ERLC	01/05/2010 0:59	02/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	LEIATS04GG LEIS
CORU	01/05/2010 0:59	02/05/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
581176	01/05/2010 7:33	01/05/2010 11:23	3h 49' 59"	Estático	1.990	ZGP800A Pole
9553	01/05/2010 8:06	01/05/2010 11:22	3h 15' 45"	Estático	0.116	TRM39105.00
581142	01/05/2010 8:15	01/05/2010 12:13	3h 58' 45"	Estático	1.990	TRM_R6
581105	01/05/2010 13:18	01/05/2010 15:15	1h 57' 20"	Estático	1.990	ZGP800A Pole
581117	01/05/2010 13:27	01/05/2010 18:08	4h 41' 15"	Estático	1.357	TRM39105.00
581071	01/05/2010 14:00	01/05/2010 15:43	1h 43' 30"	Estático	1.985	TRM_R6
581071	01/05/2010 15:48	01/05/2010 17:33	1h 45' 45"	Estático	1.985	TRM_R6
581105	01/05/2010 16:25	01/05/2010 18:08	1h 43' 09"	Estático	1.990	ZGP800A Pole
ERLC	08/05/2010 0:59	09/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	LEIATS04GG LEIS
BUNO	08/05/2010 0:59	09/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
CORC	08/05/2010 0:59	09/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
SANT	08/05/2010 0:59	09/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
CORU	08/05/2010 0:59	09/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
ACOR	08/05/2010 0:59	09/05/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	3.046	LEIATS04 LEIS
580136	08/05/2010 8:31	08/05/2010 13:44	5h 13' 29"	Estático	1.995	ZGP800A Pole
581054	08/05/2010 9:07	08/05/2010 13:21	4h 13' 45"	Estático	1.985	TRM_R6
4430	08/05/2010 9:52	08/05/2010 12:53	3h 01' 15"	Estático	0.211	TRM39105.00
581003	08/05/2010 15:13	08/05/2010 19:31	4h 18' 45"	Estático	1.985	TRM39105.00
581016	08/05/2010 15:53	08/05/2010 19:12	3h 18' 30"	Estático	1.985	TRM_R6
2163	08/05/2010 17:36	08/05/2010 18:37	1h 00' 14"	Estático	0.225	ZGP800A Pole
SANT	15/05/2010 0:59	16/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
GROV	15/05/2010 0:59	16/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
ERSA	15/05/2010 0:59	16/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	LEIATS04GG LEIS
547112	15/05/2010 8:22	15/05/2010 13:37	5h 14' 45"	Estático	1.985	TRM_R6
12065	15/05/2010 9:10	15/05/2010 12:58	3h 48' 30"	Estático	0.216	TRM39105.00
547123	15/05/2010 10:45	15/05/2010 13:53	3h 08' 02"	Estático	1.995	ZGP800A Pole
548104	15/05/2010 14:21	15/05/2010 19:11	4h 50' 00"	Estático	1.985	TRM_R6
548087	15/05/2010 14:41	15/05/2010 18:55	4h 14' 15"	Estático	1.985	TRM39105.00
547095	15/05/2010 15:23	15/05/2010 18:21	2h 58' 49"	Estático	2.010	ZGP800A Pole
GROV	29/05/2010 0:59	30/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH

VIGO	29/05/2010 0:59	30/05/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	0.000	TRM29659 TCWD
BEAR	29/05/2010 0:59	30/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
SANT	29/05/2010 0:59	30/05/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
22547005	29/05/2010 8:23	29/05/2010 11:22	2h 58' 47"	Estático	2.005	ZGP800A Pole
547081_anulado	29/05/2010 8:37	29/05/2010 12:12	3h 35' 00"	Estático	1.990	TRM39105.00
22547017	29/05/2010 8:56	29/05/2010 12:04	3h 07' 21"	Estático	1.990	ZGP800A Pole
547066	29/05/2010 10:13	29/05/2010 14:20	4h 07' 15"	Estático	1.045	TRM_R6
547057	29/05/2010 13:08	29/05/2010 16:13	3h 05' 00"	Estático	2.005	ZGP800A Pole
18498	29/05/2010 14:15	29/05/2010 18:38	4h 23' 00"	Estático	0.118	TRM39105.00
547029	29/05/2010 15:25	29/05/2010 18:25	3h 00' 00"	Estático	1.985	TRM_R6
547034	29/05/2010 16:39	29/05/2010 18:35	1h 56' 20"	Estático	2.000	ZGP800A Pole
SANT	05/06/2010 0:59	06/06/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
PALA	05/06/2010 0:59	06/06/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
BEAR	05/06/2010 0:59	06/06/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
SOBE	05/06/2010 0:59	06/06/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
548074	05/06/2010 8:20	05/06/2010 12:20	4h 00' 00"	Estático	1.985	TRM39105.00
548054	05/06/2010 8:29	05/06/2010 12:25	3h 55' 45"	Estático	1.985	TRM_R6
12204	05/06/2010 9:04	05/06/2010 12:09	3h 04' 36"	Estático	0.220	ZGP800A Pole
548037	05/06/2010 12:47	05/06/2010 16:58	4h 11' 00"	Estático	1.985	TRM_R6
548025	05/06/2010 13:17	05/06/2010 17:11	3h 54' 13"	Estático	1.050	ZGP800A Pole
131	05/06/2010 13:34	05/06/2010 17:07	3h 32' 30"	Estático	1.985	TRM39105.00
548076	19/06/2010 8:53	19/06/2010 12:00	3h 06' 30"	Estático	1.970	TRM39105.00
550022	19/06/2010 8:54	19/06/2010 12:40	3h 46' 05"	Estático	1.985	DESCONOCIDO
550009	19/06/2010 9:21	19/06/2010 13:05	3h 43' 40"	Estático	1.985	DESCONOCIDO
9766	19/06/2010 9:43	19/06/2010 12:53	3h 09' 30"	Estático	0.092	TRM39105.00
582012	19/06/2010 13:48	19/06/2010 17:36	3h 47' 35"	Estático	1.985	DESCONOCIDO
582035	19/06/2010 14:24	19/06/2010 17:21	2h 56' 55"	Estático	1.045	DESCONOCIDO
582056	19/06/2010 14:48	19/06/2010 17:56	3h 08' 10"	Estático	1.975	TRM39105.00
SANT	26/06/2010 0:59	27/06/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
ACOR	26/06/2010 0:59	27/06/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	3.046	LEIAT504 LEIS
ERLC	26/06/2010 0:59	27/06/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	LEIAT504GG LEIS
CORU	26/06/2010 0:59	27/06/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
VILA	26/06/2010 0:59	27/06/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
PALA	26/06/2010 0:59	27/06/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
CARI	26/06/2010 0:59	27/06/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
582082_coreg cot	26/06/2010 9:21	26/06/2010 14:12	4h 51' 45"	Estático	2.935	TRM_R6
582069	26/06/2010 9:39	26/06/2010 14:02	4h 23' 00"	Estático	1.985	TRM_R6
4673	26/06/2010 10:24	26/06/2010 13:40	3h 16' 15"	Estático	0.116	TRM39105.00
582104	26/06/2010 14:39	26/06/2010 19:09	4h 29' 45"	Estático	1.985	TRM_R6
582124	26/06/2010 15:02	26/06/2010 18:51	3h 49' 00"	Estático	1.985	TRM_R6
583245	26/06/2010 15:31	26/06/2010 18:30	2h 59' 45"	Estático	2.005	TRM39105.00
BEAR	17/07/2010 0:59	18/07/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
SOBE	17/07/2010 0:59	18/07/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
PALA	17/07/2010 0:59	18/07/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
BAND	17/07/2010 0:59	18/07/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
549027	17/07/2010 8:06	17/07/2010 13:05	4h 58' 15"	Estático	1.985	TRM_R6
549012	17/07/2010 8:46	17/07/2010 13:16	4h 30' 00"	Estático	1.015	TRM_R6
15515	17/07/2010 9:21	17/07/2010 12:21	3h 00' 30"	Estático	0.116	TRM39105.00
549049	17/07/2010 12:51	17/07/2010 17:20	4h 29' 45"	Estático	1.985	TRM39105.00
549065	17/07/2010 13:53	17/07/2010 17:37	3h 44' 15"	Estático	1.985	TRM_R6
549089	17/07/2010 14:22	17/07/2010 17:57	3h 35' 00"	Estático	2.000	TRM_R6
ACOR	24/07/2010 0:59	25/07/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	3.046	LEIAT504 LEIS
ERLC	24/07/2010 0:59	25/07/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	LEIAT504GG LEIS
CORU	24/07/2010 0:59	25/07/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
VILA	24/07/2010 0:59	25/07/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
CARI	24/07/2010 0:59	25/07/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
583170	24/07/2010 8:53	24/07/2010 13:18	4h 24' 45"	Estático	2.005	TRM39105.00
583157	24/07/2010 9:40	24/07/2010 13:02	3h 22' 15"	Estático	1.985	TRM_R6
745	24/07/2010 10:01	24/07/2010 12:40	2h 38' 15"	Estático	0.120	TRM_R6

583201	24/07/2010 13:57	24/07/2010 18:46	4h 49' 30"	Estático	1.985	TRM_R6
583226	24/07/2010 14:40	24/07/2010 19:06	4h 26' 00"	Estático	1.985	TRM_R6
5583004	24/07/2010 15:34	24/07/2010 18:36	3h 01' 30"	Estático	2.000	TRM39105.00
VILA	31/07/2010 0:59	01/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
PALA	31/07/2010 0:59	01/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
BECE	31/07/2010 0:59	01/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
FONS	31/07/2010 0:59	01/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
406013	31/07/2010 8:17	31/07/2010 12:52	4h 35' 15"	Estático	1.985	TRM_R6
20407158	31/07/2010 8:53	31/07/2010 12:37	3h 44' 00"	Estático	1.985	TRM_R6
20407143	31/07/2010 9:26	31/07/2010 12:25	2h 59' 45"	Estático	2.002	TRM39105.00
BECE	07/08/2010 0:59	08/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
BARC	07/08/2010 0:59	08/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
SOBE	07/08/2010 0:59	08/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
ponf	07/08/2010 0:59	08/08/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	0.000	TPSPG_A1 NONE
212	07/08/2010 8:07	07/08/2010 12:20	4h 12' 30"	Estático	1.046	TRM39105.00
10407097	07/08/2010 8:37	07/08/2010 12:39	4h 01' 30"	Estático	1.975	TRM_R6
10407073	07/08/2010 9:19	07/08/2010 12:56	3h 37' 00"	Estático	1.985	TRM_R6
12522	07/08/2010 10:28	07/08/2010 11:39	1h 11' 30"	Estático	0.128	TRM39105.00
10407026	07/08/2010 13:45	07/08/2010 16:52	3h 06' 45"	Estático	1.985	TRM_R6
10407005	07/08/2010 14:10	07/08/2010 18:58	4h 47' 45"	Estático	1.046	TRM39105.00
101	07/08/2010 14:29	07/08/2010 17:51	3h 22' 45"	Estático	1.975	TRM_R6
10407049	07/08/2010 15:10	07/08/2010 18:10	3h 00' 15"	Estático	1.995	TRM39105.00
RIBA	21/08/2010 0:59	22/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
EROX	21/08/2010 0:59	22/08/2010 0:59	23h 59' 55"	Estático	0.000	AX1202 GG
CARI	21/08/2010 0:59	22/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
173	21/08/2010 8:34	21/08/2010 13:12	4h 38' 00"	Estático	0.093	ZGP800A
583136	21/08/2010 9:34	21/08/2010 13:50	4h 15' 30"	Estático	1.985	TRM39105.00
583112	21/08/2010 10:17	21/08/2010 14:17	4h 00' 15"	Estático	1.985	TRM_R6
583097	21/08/2010 10:43	21/08/2010 14:43	4h 00' 45"	Estático	1.045	TRM_R6
583078	21/08/2010 11:20	21/08/2010 15:04	3h 44' 00"	Estático	1.045	TRM39105.00
583067	21/08/2010 15:39	21/08/2010 20:18	4h 38' 45"	Estático	1.985	TRM_R6
1583001	21/08/2010 16:10	21/08/2010 20:02	3h 51' 45"	Estático	1.045	TRM_R6
583050	21/08/2010 16:41	21/08/2010 19:47	3h 06' 15"	Estático	2.000	TRM39105.00
583049	21/08/2010 17:05	21/08/2010 19:42	2h 36' 45"	Estático	1.985	TRM39105.00
RIBA	28/08/2010 0:59	29/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
VILA	28/08/2010 0:59	29/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
FONS	28/08/2010 0:59	29/08/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
406031	28/08/2010 8:01	28/08/2010 13:01	5h 00' 15"	Estático	1.985	TRM39105.00
406020	28/08/2010 8:28	28/08/2010 13:15	4h 46' 45"	Estático	1.985	TRM_R6
406041	28/08/2010 8:56	28/08/2010 13:34	4h 38' 15"	Estático	1.043	TRM_R6
4865	28/08/2010 10:05	28/08/2010 12:36	2h 31' 15"	Estático	0.117	TRM39105.00
406064	28/08/2010 14:06	28/08/2010 17:32	3h 26' 00"	Estático	1.043	TRM39105.00
406076	28/08/2010 14:31	28/08/2010 19:00	4h 28' 30"	Estático	1.985	TRM_R6
406091	28/08/2010 14:52	28/08/2010 18:47	3h 54' 30"	Estático	1.985	TRM_R6
99	28/08/2010 15:18	28/08/2010 18:19	3h 00' 45"	Estático	1.046	TRM39105.00
RIBA	04/09/2010 0:59	05/09/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
ERVU	04/09/2010 0:59	05/09/2010 0:59	23h 59' 55"	Estático	0.000	LEIAT503 LEIC
ERMF	04/09/2010 0:59	05/09/2010 0:59	23h 59' 55"	Estático	0.000	LEIAT502 NONE
VILA	04/09/2010 0:59	05/09/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
583037	04/09/2010 8:23	04/09/2010 12:26	4h 02' 45"	Estático	1.985	TRM39105.00
583020	04/09/2010 8:50	04/09/2010 12:50	4h 00' 00"	Estático	1.985	TRM_R6
405013	04/09/2010 9:56	04/09/2010 13:06	3h 10' 30"	Estático	1.045	TRM_R6
405025	04/09/2010 11:46	04/09/2010 16:26	4h 39' 47"	Estático	1.998	TRM_R6
405037	04/09/2010 13:43	04/09/2010 18:37	4h 54' 15"	Estático	1.985	TRM39105.00
405062	04/09/2010 14:25	04/09/2010 17:31	3h 06' 15"	Estático	1.985	TRM_R6
1143	04/09/2010 15:11	04/09/2010 18:10	2h 59' 15"	Estático	0.086	TRM_R6
BARC	11/09/2010 0:59	12/09/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
VERI	11/09/2010 0:59	12/09/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
SOBE	11/09/2010 0:59	12/09/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH

ponf	11/09/2010 2:59	11/09/2010 3:59	59' 59"	Estático	0.000	TPSPG_A1 NONE
ponf	11/09/2010 3:59	11/09/2010 10:59	6h 59' 59"	Estático	0.000	TPSPG_A1 NONE
410008	11/09/2010 8:19	11/09/2010 11:43	3h 24' 00"	Estático	1.985	TRM39105.00
410028	11/09/2010 8:51	11/09/2010 12:08	3h 16' 45"	Estático	1.044	TRM_R6
410044	11/09/2010 9:19	11/09/2010 12:21	3h 02' 15"	Estático	1.042	TRM_R6
ponf	11/09/2010 10:59	11/09/2010 22:59	11h 59' 59"	Estático	0.000	TPSPG_A1 NONE
410063	11/09/2010 13:04	11/09/2010 17:47	4h 42' 45"	Estático	1.044	TRM39105.00
410083	11/09/2010 13:30	11/09/2010 17:32	4h 01' 45"	Estático	1.985	TRM_R6
410112	11/09/2010 14:07	11/09/2010 17:12	3h 04' 15"	Estático	1.044	TRM_R6
19072	11/09/2010 15:00	11/09/2010 16:04	1h 04' 15"	Estático	0.121	TRM39105.00
CARI	18/09/2010 0:59	19/09/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
ACOR	18/09/2010 0:59	19/09/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	3.046	LEIAT504 LEIS
CORU	18/09/2010 0:59	19/09/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
ERLC	18/09/2010 0:59	19/09/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	LEIAT504GG LEIS
683	18/09/2010 14:28	18/09/2010 20:29	6h 01' 09"	Estático	0.128	ZGP800A Pole
6583003	18/09/2010 16:33	18/09/2010 20:50	4h 17' 30"	Estático	1.045	TRM39105.00
6583019	18/09/2010 17:24	18/09/2010 21:08	3h 43' 45"	Estático	1.983	TRM_R6
VERI	11/10/2010 0:59	12/10/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
BARC	11/10/2010 0:59	12/10/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
PSBR	11/10/2010 0:59	12/10/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	0.000	AX1202 GG
30527	11/10/2010 11:09	11/10/2010 17:48	6h 39' 28"	Estático	0.130	ZGP800A Pole
411027	11/10/2010 12:18	11/10/2010 17:01	4h 43' 00"	Estático	1.850	TRM39105.00
411122	11/10/2010 12:50	11/10/2010 16:47	3h 57' 15"	Estático	1.984	TRM_R6
411141	11/10/2010 13:23	11/10/2010 16:32	3h 09' 00"	Estático	1.044	TRM_R6
VERI	16/10/2010 0:59	17/10/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
BARC	16/10/2010 0:59	17/10/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
BAND	16/10/2010 0:59	17/10/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
PSBR	16/10/2010 0:59	17/10/2010 0:59	23h 59' 30"	Estático	0.000	AX1202 GG
544096	16/10/2010 8:32	16/10/2010 13:39	5h 06' 45"	Estático	1.984	TRM39105.00
543010	16/10/2010 9:02	16/10/2010 13:55	4h 52' 15"	Estático	1.983	TRM_R6
543012	16/10/2010 9:52	16/10/2010 14:01	4h 08' 45"	Estático	1.044	TRM_R6
30334	16/10/2010 10:44	16/10/2010 17:03	6h 18' 24"	Estático	0.130	ZGP800A Pole
542004	16/10/2010 12:00	16/10/2010 18:05	6h 04' 30"	Estático	1.018	TRM39105.00
542026	16/10/2010 14:40	16/10/2010 19:22	4h 42' 30"	Estático	1.983	TRM39105.00
542050	16/10/2010 15:05	16/10/2010 19:07	4h 02' 30"	Estático	1.984	TRM_R6
411156	16/10/2010 15:37	16/10/2010 18:51	3h 14' 00"	Estático	1.044	TRM_R6
BAND	23/10/2010 0:59	24/10/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
BARC	23/10/2010 0:59	24/10/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
VERI	23/10/2010 0:59	24/10/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
SOBE	23/10/2010 0:59	24/10/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
545003	23/10/2010 8:33	23/10/2010 12:41	4h 07' 45"	Estático	1.982	TRM_R6
544020	23/10/2010 9:09	23/10/2010 13:11	4h 02' 30"	Estático	1.984	TRM_R6
544034	23/10/2010 9:39	23/10/2010 18:53	9h 13' 45"	Estático	1.042	TRM39105.00
26373	23/10/2010 10:42	23/10/2010 18:10	7h 27' 39"	Estático	0.125	ZGP800A Pole
544052	23/10/2010 12:07	23/10/2010 16:14	4h 07' 15"	Estático	1.044	TRM39105.00
544068	23/10/2010 14:08	23/10/2010 18:31	4h 23' 45"	Estático	1.983	TRM_R6
544078	23/10/2010 14:49	23/10/2010 19:24	4h 35' 15"	Estático	1.982	TRM_R6
544032	23/10/2010 16:50	23/10/2010 19:51	3h 01' 45"	Estático	1.044	TRM39105.00
SOBE	06/11/2010 0:59	07/11/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
ERPO	06/11/2010 0:59	07/11/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	LEIAX1202GG
BAIO	06/11/2010 0:59	07/11/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
GROV	06/11/2010 0:59	07/11/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
BEAR	06/11/2010 0:59	07/11/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
BAND	06/11/2010 0:59	07/11/2010 0:59	23h 59' 59"	Estático	0.000	TPSCR.G3 TPSH
VIGO	06/11/2010 1:00	07/11/2010 0:59	23h 59' 00"	Estático	0.000	TRM29659 TCWD
545022	06/11/2010 8:40	06/11/2010 14:22	5h 41' 45"	Estático	1.984	TRM_R6
545039	06/11/2010 9:22	06/11/2010 14:35	5h 12' 30"	Estático	1.045	TRM_R6
545069	06/11/2010 10:00	06/11/2010 14:12	4h 11' 30"	Estático	1.042	TRM39105.00
545101	06/11/2010 10:41	06/11/2010 12:08	1h 26' 15"	Estático	1.032	TRM39105.00

26235	06/11/2010 11:36	06/11/2010 16:42	5h 06' 20"	Estático	0.130	ZGP800A Pole
110-Portugal	06/11/2010 12:23	06/11/2010 16:20	3h 57' 00"	Estático	0.201	TPSHIPER_LITE
545101	06/11/2010 13:09	06/11/2010 17:38	4h 29' 15"	Estático	1.032	TRM39105.00
545131	06/11/2010 15:24	06/11/2010 20:21	4h 57' 20"	Estático	1.984	TRM_R6
547003	06/11/2010 15:46	06/11/2010 20:34	4h 48' 20"	Estático	1.043	TRM_R6
547010	06/11/2010 18:32	06/11/2010 22:14	3h 41' 45"	Estático	1.032	TRM39105.00
546003	06/11/2010 19:07	06/11/2010 21:32	2h 24' 45"	Estático	1.063	TPSHIPER_LITE
546014	06/11/2010 19:47	06/11/2010 21:48	2h 00' 43"	Estático	1.047	ZGP800A Pole

Tabla 3.3-1 Ocupaciones GPS, duración y tipo de antena

El diferente sombreado para las celdas indica diferente jornada de observación GPS.

3.3.2 PROCESADO DE LÍNEASBASE

El procesado se hace por día desde dos puntos fiduciales, dotando de coordenadas al clavo de dobles coordenadas:

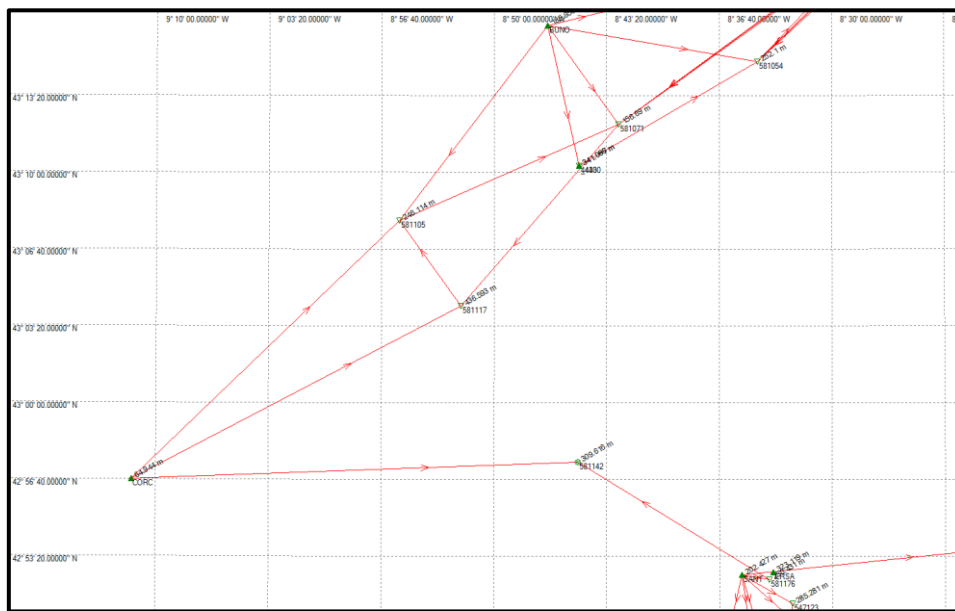


Figura 3.3-7 Gráfico de cálculo de líneas base

Se calculan todas la líneasbase posibles, de forma automática con el siguiente criterio:

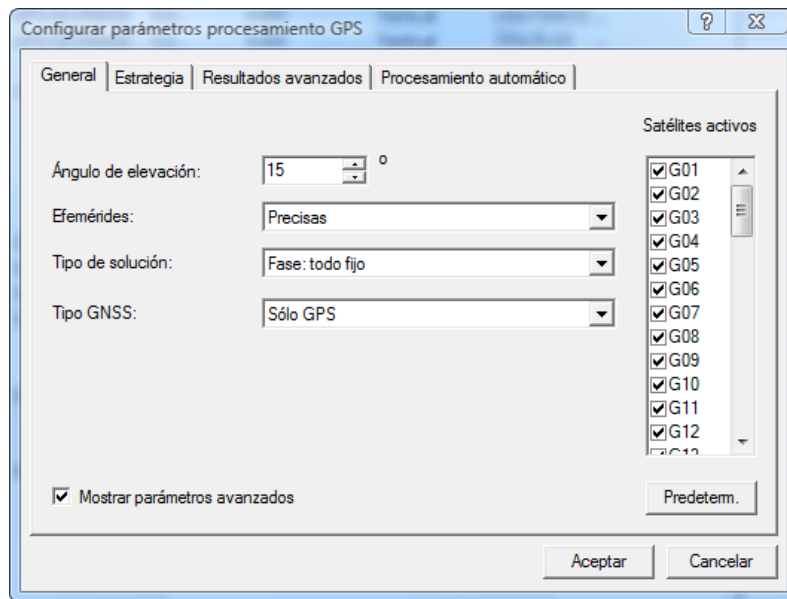


Figura 3.3-8 Parámetros procesado I

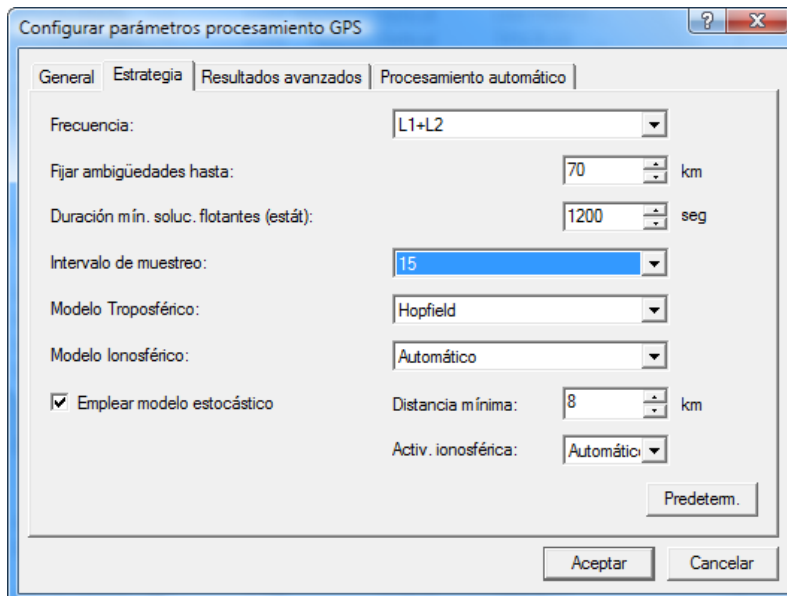


Figura 3.3-9 Parámetros procesado II

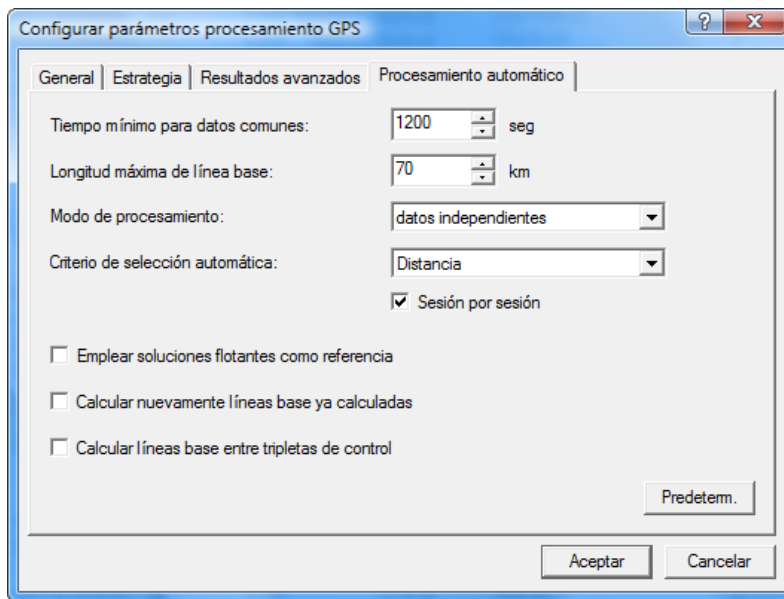


Figura 3.3-10 Parámetros procesado III

En esta fase se termina el uso del programa LGO, con la exportación de los archivos de línea base en formato ascii:

Id Referen...	Id Móvil	Guardado	Estado ambi...	Tipo GNSS	Inicio	Durac...	Tipo	Tipo d...	Frecue...	dX	dY	dZ	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.	Distancia ge...	Desv. Est. dist. ge...	Alt. Ant. Ref.	Alt. Ant. Móvil
VIGO	BEAR	Si	si	GPS	29/05/2010 00:59:45	23h 5...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-14335...	46652.548	24100...	0.000	0.000	0.000	54431.512	0.000	0.000	2.005
SANT	22547...	Si	si	GPS	29/05/2010 08:23:30	2h 27...	Estático	Fase t...	S/Iono...	19534...	-11073.2...	-22877...	0.001	0.001	0.001	32056.060	0.000	0.000	2.005
BEAR	22547...	Si	si	GPS	29/05/2010 08:23:45	2h 27...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-14574...	-31673.0...	9693.669	0.001	0.001	0.002	36187.826	0.000	0.000	2.005
GROV	22547...	Si	si	GPS	29/05/2010 08:23:45	2h 27...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-5036.2...	15560.046	8022.583	0.001	0.001	0.002	18216.482	0.000	0.000	2.005
VIGO	22547...	Si	si	GPS	29/05/2010 08:23:45	2h 27...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-28910...	14979.537	33793...	0.001	0.002	0.002	46927.586	0.001	0.000	2.005
SANT	22547...	Si	si	GPS	29/05/2010 08:57:00	3h 07...	Estático	Fase t...	S/Iono...	18119...	-17774.1...	-22500...	0.001	0.001	0.001	33919.327	0.000	0.000	1.990
22547005	22547...	Si	no	GPS	29/05/2010 08:57:00	1h 53...	Estático	Flotante	L1 + L2	-1414.9...	-6701.806	377.110	0.001	0.000	0.001	6859.926	0.001	2.005	1.990
BEAR	22547...	Si	si	GPS	29/05/2010 08:57:15	3h 07...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-15989...	-38374.8...	10070...	0.001	0.002	0.002	42775.087	0.001	0.000	1.990
GROV	22547...	Si	si	GPS	29/05/2010 08:57:15	3h 07...	Estático	Fase t...	L1 + L2	-6451.2...	8858.230	8399.695	0.000	0.001	0.001	13807.285	0.000	0.000	1.990
VIGO	22547...	Si	si	GPS	29/05/2010 08:57:15	3h 07...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-30325...	8277.718	34170...	0.001	0.002	0.002	46430.384	0.001	0.000	1.990
SANT	547066	Si	si	GPS	29/05/2010 10:13:30	4h 07...	Estático	Fase t...	S/Iono...	24135...	-7661.613	-27205...	0.000	0.001	0.001	37166.802	0.000	0.000	1.045
547066	22547...	Si	si	GPS	29/05/2010 10:13:30	37 15"	Estático	Fase t...	L1 + L2	-4600.8...	-3410.679	4327.900	0.000	0.001	0.001	7178.516	0.000	1.045	2.005
547066	22547...	Si	si	GPS	29/05/2010 10:13:30	1h 50"	Estático	Fase t...	L1 + L2	-6015.8...	-10112.5...	4704.994	0.000	0.001	0.001	12672.420	0.000	1.045	1.990
BEAR	547066	Si	si	GPS	29/05/2010 10:13:45	4h 07...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-9973.5...	-28262.3...	5365.767	0.000	0.001	0.001	30447.023	0.000	0.000	1.045
GROV	547066	Si	si	GPS	29/05/2010 10:13:45	4h 07...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-435.348	18970.735	3694.700	0.001	0.001	0.001	19332.075	0.000	0.000	1.045
VIGO	547066	Si	si	GPS	29/05/2010 10:13:45	4h 07...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-24309...	18390.229	29465...	0.000	0.001	0.001	42395.490	0.000	0.000	1.045
BEAR	547057	Si	si	GPS	29/05/2010 13:08:15	3h 04...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-6268.2...	-29126.1...	1366.971	0.001	0.001	0.001	29824.299	0.000	0.000	2.005
GROV	547057	Si	si	GPS	29/05/2010 13:08:15	3h 04...	Estático	Fase t...	S/Iono...	3269.965	18106.953	-304.089	0.001	0.001	0.002	18402.361	0.000	0.000	2.005
SANT	547057	Si	si	GPS	29/05/2010 13:08:15	3h 04...	Estático	Fase t...	S/Iono...	27840...	-8525.395	-31204...	0.000	0.001	0.001	42679.174	0.000	0.000	2.005
VIGO	547057	Si	si	GPS	29/05/2010 13:08:15	3h 04...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-20603...	17526.446	25467...	0.001	0.001	0.001	37151.993	0.000	0.000	2.005
547057	547066	Si	si	GPS	29/05/2010 13:08:15	1h 12...	Estático	Fase t...	L1 + L2	-3705.3...	963.780	3998.789	0.000	0.001	0.001	5519.586	0.000	2.005	1.045
SANT	018498	Si	si	GPS	29/05/2010 14:15:00	4h 23...	Estático	Fase t...	S/Iono...	26502...	-28300.2...	-33052...	0.000	0.000	0.000	50949.259	0.000	0.000	0.118
547057	018498	Si	si	GPS	29/05/2010 14:15:30	1h 57...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-1338.2...	-19774.8...	-1849.1...	0.001	0.001	0.001	19906.133	0.000	2.005	0.118
547066	018498	Si	si	GPS	29/05/2010 14:15:30	05 15"	Estático	Fase t...	S/Iono...	2367.061	-20638.6...	-5847.9...	0.002	0.003	0.004	21581.333	0.001	1.045	0.118
BEAR	018498	Si	si	GPS	29/05/2010 14:15:45	4h 22...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-7606.4...	-4890.9...	-482.160	0.000	0.001	0.001	49491.318	0.000	0.000	0.118
GROV	018498	Si	si	GPS	29/05/2010 14:15:45	4h 22...	Estático	Fase t...	L1 + L2	1931.692	-1667.878	-2153.2...	0.000	0.000	0.000	3339.102	0.000	0.000	0.118
VIGO	018498	Si	si	GPS	29/05/2010 14:15:45	4h 22...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-21942...	-2248.380	23618...	0.000	0.001	0.001	32315.980	0.000	0.000	0.118
SANT	547029	Si	si	GPS	29/05/2010 15:25:30	3h 00...	Estático	Fase t...	S/Iono...	38955...	-7806.995	-43342...	0.001	0.001	0.001	58796.623	0.001	0.000	1.985
547057	547029	Si	si	GPS	29/05/2010 15:25:30	47 00"	Estático	Fase t...	S/Iono...	11114...	718.421	-12137...	0.002	0.002	0.002	16473.659	0.001	2.005	1.985
547029	018498	Si	si	GPS	29/05/2010 15:25:30	3h 00...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-12493...	-20495.2...	10288...	0.001	0.001	0.001	26094.230	0.000	0.000	0.118
BEAR	547029	Si	si	GPS	29/05/2010 15:25:45	2h 59...	Estático	Fase t...	S/Iono...	4846.630	-28407.6...	-10770...	0.001	0.001	0.002	30765.203	0.001	0.000	1.985
GROV	547029	Si	si	GPS	29/05/2010 15:25:45	2h 59...	Estático	Fase t...	S/Iono...	14384...	18825.352	-12441...	0.001	0.002	0.002	26760.358	0.001	0.000	1.985
VIGO	547029	Si	si	GPS	29/05/2010 15:25:45	2h 59...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-9489.9...	18244.852	13329...	0.001	0.001	0.001	24506.892	0.001	0.000	1.985
BEAR	547034	Si	si	GPS	29/05/2010 16:39:45	1h 56...	Estático	Fase t...	S/Iono...	2495.464	-30002.2...	-8405.1...	0.001	0.001	0.001	31257.096	0.000	0.000	2.000
GROV	547034	Si	si	GPS	29/05/2010 16:39:45	1h 56...	Estático	Fase t...	S/Iono...	12033...	17230.840	-10076...	0.001	0.001	0.002	23307.503	0.001	0.000	2.000
SANT	547034	Si	si	GPS	29/05/2010 16:39:45	1h 56...	Estático	Fase t...	S/Iono...	36604...	-9401.508	-40976...	0.001	0.001	0.001	55743.649	0.000	0.000	2.000
VIGO	547034	Si	si	GPS	29/05/2010 16:39:45	1h 56...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-11840...	16650.339	15695...	0.001	0.001	0.001	25763.512	0.001	0.000	2.000
547029	547034	Si	si	GPS	29/05/2010 16:39:45	1h 45...	Estático	Fase t...	L1 + L2	-2351.1...	-1594.514	2365.705	0.000	0.001	0.001	3636.892	0.000	1.985	2.000
547034	018498	Si	si	GPS	29/05/2010 16:39:45	1h 56...	Estático	Fase t...	S/Iono...	-10101...	-18898.7...	7922.946	0.001	0.001	0.001	22846.970	0.000	2.000	0.118

Figura 3.3-11 ascii de líneasbase calculado

Se han procesado los clavos y vértices desde al menos tres puntos fiduciales, para evitar sistematismos, y controlar posibles errores.

3.4 AJUSTE DE LA RED, SOFTWARE GPSRED

Para el cálculo y ajuste de la red se va a usar un programa propio desarrollado por el tutor de la tesis, compilado en lenguaje fortran llamado “*GPSRED*”, a continuación describimos el funcionamiento, de forma somera:

3.4.1 INTRODUCCIÓN A LA APLICACIÓN GPSRED.

GPSRED es una aplicación informática destinada a la obtención de coordenadas en distintos sistemas de referencia, como son ED-50 o WGS-84(ETRS89), a partir de coordenadas conocidas de una serie de vértices y de observaciones GPS. Esta aplicación consta de un grupo de programas que básicamente realizan dos funciones:

1. Una correcta reducción de la ondulación del geoide, con una transformación de los vectores GPS medidos. Para ello, la aplicación *GPSRED* cuenta con un modelo de geoide que se introduce previamente.
2. El cálculo de coordenadas a partir de los puntos conocidos y los vectores transformados, realizando un ajuste minimocuadrático de las observaciones GPS.

La aplicación *GPSRED* está formada por un conjunto de programas auxiliares, a los que se les llama mediante pantallas de presentación y menús desplegables. Un dato muy importante que hay que resaltar es que esta aplicación trabaja a partir de las líneasbase obtenidas con los distintos software que incorporan las diferentes firmas comerciales de GPS. Es decir, antes de utilizar esta aplicación es necesario haber procesado las observaciones GPS y haber obtenido líneas base. Para la perfecta realización de un cálculo es conveniente trabajar bajo subdirectorios, de forma tal que se incluyan en ellos todos los vectores o líneasbase calculadas con antelación por medio de software de procesado. Una vez creado el directorio de trabajo, nos situamos sobre el mismo y llamamos a la aplicación, tecleando:

C:\.....\ > *GPSRED*

Automáticamente se mostrará una pantalla de presentación de SIGEO, S.L., propietaria del software, de la cual se pasará a la siguiente pantalla sin más que pulsar *INTRO*. De esta forma pasamos la pantalla de introducción de datos generales, en la que se nos solicitan una serie de datos, necesarios para la correcta realización de los cálculos, así como la cabecera que aparecerá en todos los listados de la compensación, como se muestra a continuación:

INTRODUCCION DE DATOS GENERALES	
EMPRESA	: SIGED, S.L.
TITULO DEL TRABAJO:	RED GPS DE ROBLEDO DE CHAVELA
HUSO	: 30
Tipo de Impresora	: 0 -----> (1=Matricial, 0=Láser)
ERROR MEDIO CUADRÁTICO DE LAS OBSERVACIONES:	
Distancias GPS	: 0.01 metros, 5 ppm
Acimutes GPS	: 0.01 metros, 5 segundos cc
CORRECCION GEOIDE: (N/S) S
ELIPSOIDE:	(1-> WGS84,0-> ED50) 0
<ESC> - Salir	

Figura 3.4-1 Imagen Inicio *GPSRED*

Como se puede observar en este ejemplo, se han introducido unos valores de errores medios cuadráticos para las distancias y los acimutes GPS. Con estos valores se ponderan las

observaciones en el ajuste por mínimos cuadrados. Como se observa, la aplicación presenta la posibilidad de trabajar en los sistemas WGS-84 o ED-50, así como la posibilidad de trabajar introduciendo modelo de Geoide o trabajar sin el mismo. Una vez introducidos estos valores de ponderación y de datos de cabeceras, la aplicación pasa directamente a la pantalla principal, la cual se muestra a continuación:

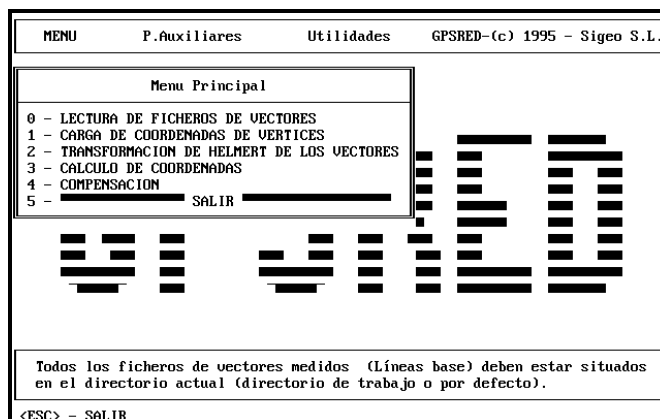


Figura 3.4-2 Menú principal GPSRED

Como se puede observar en esta pantalla inicial, se presentan tres grandes apartados que corresponden con tres submenús desplegables:

1. MENÚ PRINCIPAL.
2. PROGRAMAS AUXILIARES.
3. UTILIDADES.

3.4.2 MENÚ PRINCIPAL

Este menú incorpora todas las opciones de cálculo y ajuste disponibles en la aplicación, siguiéndose para ello una presentación acorde al orden lógico seguido en un cálculo normal de un trabajo observado mediante instrumental GPS en estático relativo, siendo los pasos lógicos a seguir:

- Lectura de las líneas base.
- Introducción de las coordenadas de los puntos fijos.
- Transformación Helmert 3D entre los sistemas WGS84 a ED-50, si fuese necesario.
- Cálculo de las coordenadas aproximadas de los puntos (Sin ajustar).
- Compensación planimétrica y altimétrica de la red GPS.

3.4.2.1 LECTURA DE FICHEROS DE VECTORES

GPSRED genera la posibilidad de trabajar con distintos formatos de líneas base, es decir, permite trabajar conjuntamente con las observaciones realizadas y procesadas procedentes de distintos fabricantes de tecnología GPS.

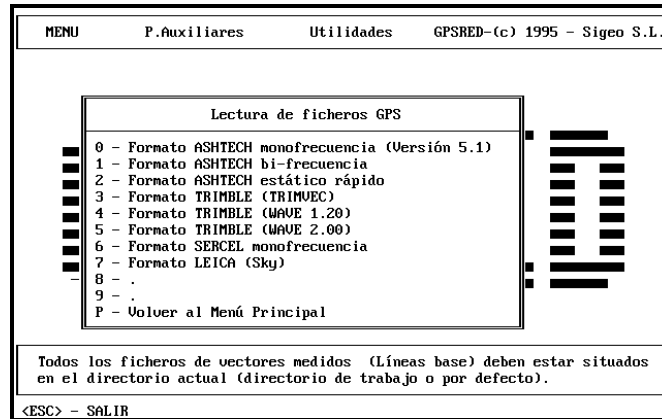


Figura 3.4-3 Lectura Ficheros GPS

Como se muestra en esta pantalla, por defecto se incorporan 8 modelos distintos de líneas base, procedentes de diferentes tipos de receptores. Una vez seleccionado el formato de entrada de las líneas base, la aplicación busca las mismas en el directorio de trabajo, y extrae de ellas el valor de las líneas base, creando una serie de ficheros intermedios en formato ASCII, los cuales se citan a continuación

- **ZONACAL.OBS**, donde se incluyen los valores de las líneas base.
- **ZONACAL.AUS**, donde se incluye una relación de los vértices observados que entran en cálculo.

Para el uso conjunto de diferentes modelos de línea base bastará con leer primero un tipo de línea base, seleccionando el formato adecuado, con lo que la aplicación generará el fichero **ZONACAL.OBS** con el valor de los vectores. Una vez realizado este proceso se podrá volver a elegir otro tipo de formato de línea base. En ese momento, GPSRED avisará de la existencia de un fichero de vectores anterior, presentando tres opciones:

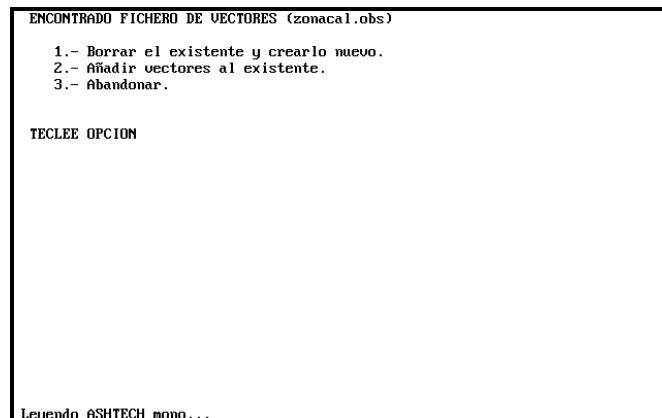


Figura 3.4-4 Importación ficheros GPS

- Sobrescribir, con lo que se crearía un fichero nuevo.
- Trabajar sobre el anterior, con lo que se añadirían los nuevos valores de las líneas base a los obtenidos con anterioridad.
- Salir de la aplicación sin realizar ninguna modificación.

Una vez generado este fichero de vectores, *GPSRED* trabajará con el fichero **ZONACAL.OBS** como si fueran las observaciones de campo y realizará los cálculos y los ajustes por mínimos cuadrados a partir de él.

Así pues, en el caso de desear corregir o editar los valores de las líneas base, bastaría con editar este fichero con cualquier editor de texto, si se realiza desde fuera de la aplicación, o con el editor de texto seleccionado para la aplicación, en el apartado de utilidades.

3.4.2.2 IMPORTACIÓN DE COORDENADAS DE VÉRTICES

Una vez leídos los valores observados de las líneas existentes entre los distintos vértices, se hace imprescindible cargar las coordenadas de aquellos vértices que se conozcan, con el fin de realizar los cálculos oportunos. Eligiendo la opción de carga de coordenadas de vértices, se presentan dos opciones para la entrada de datos, una en coordenadas geográficas (φ , λ , H) o (φ , λ , h) y otra en formato (X,Y,Z)_{U.T.M.}.

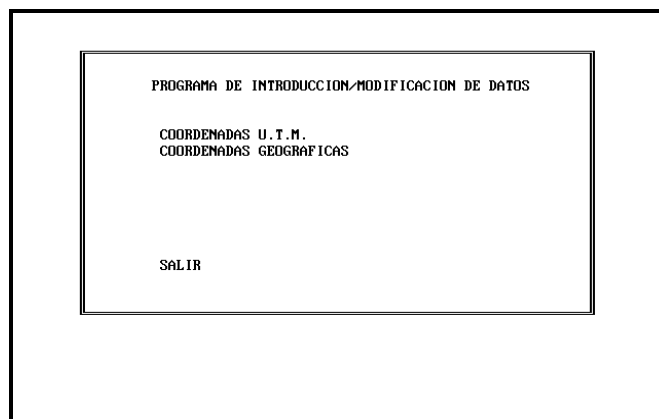


Figura 3.4-5 Importación coordenadas puntos de control

Puesto que las opciones son las mismas para ambas posibilidades, y debido a la sencillez de la aplicación, creemos oportuno no extender esta explicación más de lo estrictamente necesario, basando pues la explicación a la opción de UTM. Así pues, seleccionando la opción de introducción de coordenadas en formato X,Y,Z en UTM, presentándose la posibilidad de trabajar con el fichero **COOR.DAT** o trabajar con otro fichero de coordenadas en el caso de tener éstas con anterioridad introducidas en un fichero ASCII.

Eligiendo la opción 1 para trabajar con el fichero de coordenadas **COOR.DAT**, se nos mostrará el menú que nos permite modificar, añadir, borrar o listar las coordenadas. Gracias a esto se genera una base de datos con estas coordenadas, realizando un enlace simultáneo entre la base de datos y el fichero de coordenadas de forma que las modificaciones que realicemos en la base de datos, serán practicadas en el fichero de coordenadas **COOR.DAT** y viceversa. Es decir, puesto que este fichero de coordenadas se genera en formato ASCII, la aplicación presenta la posibilidad de modificarlo en todo momento desde un editor de textos cualquiera y siempre que se elija la opción de *cargar coordenadas* la aplicación actualizará la base de datos con el fichero **COOR.DAT**, y del mismo modo, siempre que se salga de esta opción, la base de datos actualizará el mencionado fichero.

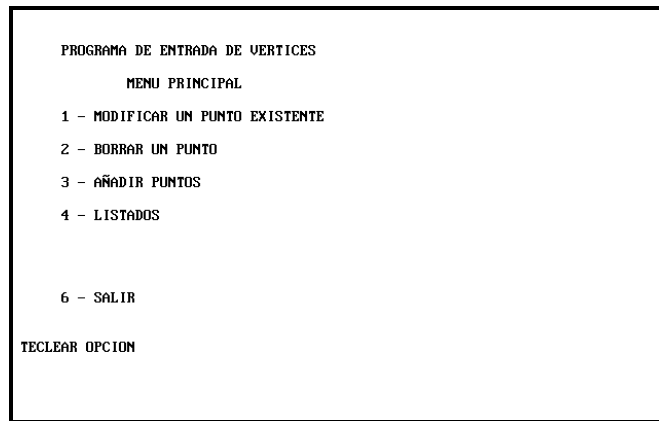


Figura 3.4-6 Entrada de puntos de control

Como ya se ha señalado con anterioridad, la opción permite varias posibilidades de tratamiento de los datos. A continuación realizaremos una breve descripción de algunas de éstas ya que debido a su sencillez, creemos innecesario extenderse y complicar este manual de referencia.

1. Modificar un punto ya existente.

Como su nombre indica, esta opción permite realizar modificaciones sobre las coordenadas de los vértices que ya han sido introducidos con anterioridad, introduciendo simplemente el número de punto que deseamos modificar.

2. Borrar un punto.

La aplicación también nos permite borrar cualquier punto que se haya introducido con anterioridad, pidiendo siempre una confirmación antes de borrarlo.

3. Añadir Puntos.

Esta opción permite al usuario, bien introducir las coordenadas por primera vez o bien añadir coordenadas nuevas a nuestro fichero de puntos.

4. Listados.

La opción de listados nos genera a su vez varias opciones para el listado por pantalla o impresora de las coordenadas de los vértices.

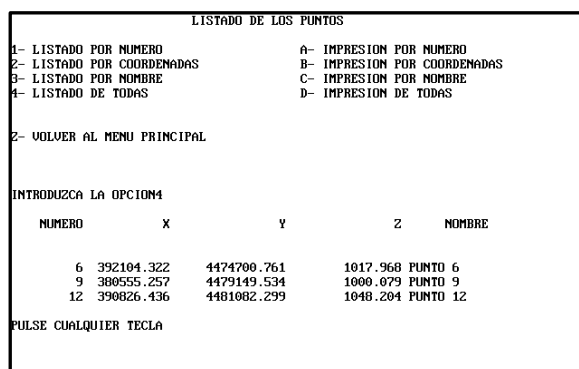


Figura 3.4-7 Listado de Puntos

Como se observa, nos permite realizar una serie de operaciones básicas de listados, y que, por su claridad, creemos que no es necesaria su explicación.

3.4.2.3 TRANSFORMACIÓN HELMERT

Para poder utilizar esta opción se presenta la necesidad de tener mediadas por lo menos tres líneas base entre vértices de coordenadas conocidas, con el fin de poder calcular los siete parámetros de transformación entre ambos sistemas. Como se explicó con anterioridad en la introducción, GPSRED en esta fase transforma las coordenadas UTM a geográficas (φ, λ) , de los vértices geodésicos introducidos como puntos fijos en la fase anterior. Seguidamente determina la **ondulación del geode** N de los puntos en cuestión, mediante interpolación polinómica en una carta propia del geode válida para la Península, Islas Baleares e Islas Canarias respecto del sistema geodésico ED-50, determinándose la altitud sobre el elipsoide h , con lo que se obtienen así las coordenadas (φ, λ, h) de los vértices de la red geodésica. El siguiente paso consiste en transformar las coordenadas geodésicas (φ, λ, h) a coordenadas cartesianas (X, Y, Z) en el sistema geodésico local ED-50 y determina las diferencias de coordenadas cartesianas en el sistema ED-50.

$$(DX, DY, DZ)^{ED-50}$$

Con estos datos, la aplicación identifica los vértices geodésicos por su número de punto en el fichero de líneas base GPS, y obtiene los valores de los incrementos obtenidos con GPS.

$$(DX, DY, DZ)^{GPS}$$

Gracias a estos valores de incrementos en ambos sistemas, $(DX, DY, DZ)^{ED-50}$ y $(DX, DY, DZ)^{GPS}$, determina los parámetros de rotación y de escala de la transformación Helmert tridimensional que relaciona ambos sistemas de referencia.

Con el fin de mejorar la calidad de los resultados, se ha incorporado la técnica de mínimos cuadrados para la determinación de los parámetros óptimos de transformación, y se realiza el w-test de Baarda sobre los residuos tipificados para la detección de errores groseros.

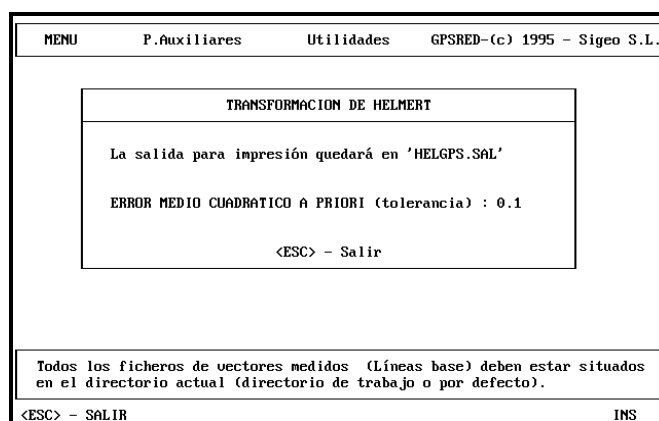


Figura 3.4-8 Transformación de Helmert

Como se observa, para la realización de esta transformación Helmert, se solicita como dato de entrada el error medio cuadrático a priori con el fin de realizar las ponderaciones oportunas en el ajuste por mínimos cuadrados.

Dado que la Red Geodésica Española, en muchos casos, se encuentra con grandes errores en las coordenadas de los vértices, sobre todo en altimetría, se recomienda que se utilice la transformación Helmert con precaución, estudiando sus resultados detenidamente. A modo de

consejo práctico se recomienda que de existir la más mínima sospecha de que la altimetría de la red geodésica no es buena, no se aplique esta opción y se pase al cálculo de coordenadas sin Helmert Previo. Se ha encontrado en muchas ocasiones vértices geodésicos con grandes errores en cota, esto produce que, al realizar la transformación Helmert 3D, estos errores en cota se traduzcan en fuertes giros pero que no producen grandes residuos, por lo que el test de Baarda no los detecta. Es por ello, que para aplicar correctamente esta aplicación, conviene conocer ciertos datos de interés respecto a los resultados que se obtienen en el Helmert para nuestras longitudes, aunque si bien es cierto que lo que se va a explicar a continuación no es del todo exacto y se ha de entender con las precauciones debidas.

1. Si el Helmert produce un giro considerables en Y, se puede interpretar como que existe un error en la altimetría de la Red Geodésica.
2. Si el Helmert produce giros considerables en X y Z homogéneos y del mismo sentido, se podría traducir como problemas en la planimetría de la Red Geodésica.
3. Si el Helmert produce giros considerables en X y Z homogéneos y de distinto signo, se podría traducir como problemas en la altimetría de la Red Geodésica.
4. Finalmente, si los valores de los giros son grandes y no se ajustan a los supuestos anteriores, puede significar que se produce un cúmulo de errores distintos.

La aplicación genera en esta opción un fichero de salida en formato ASCII, editable desde cualquier editor de textos, denominado HELGPS.SAL:

3.4.2.4 CÁLCULO DE COORDENADAS

Para el cálculo de coordenadas se plantean dos posibilidades:

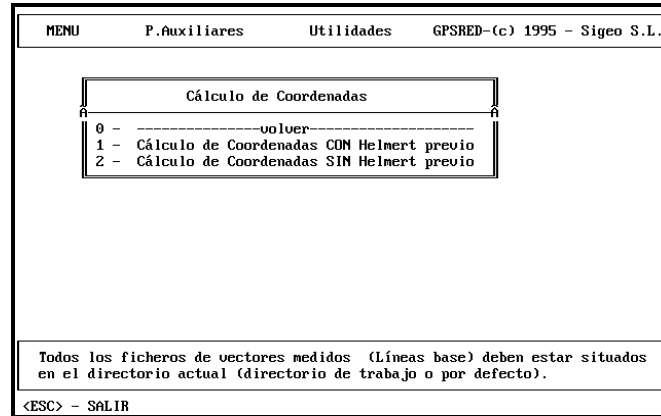


Figura 3.4-9 Opciones cálculo de coordenadas

- **Cálculo de coordenadas con Helmert previo**, es decir, habiendo observado al menos las líneas base entre tres vértices geodésicos, se aplicarían los parámetros de transformación obtenidos al resto de las observaciones.
- **Cálculo de coordenadas sin Helmert previo**. El uso de esta opción es aconsejable cuando no se confía en la bondad de las coordenadas de la Red Geodésica, sobre la que nos vamos a apoyar. Es decir, si existen dudas sobre la precisión relativa entre los vértices geodésicos que nos sirven de puntos fijos (sobre todo en altimetría) es aconsejable no realizar la transformación Helmert de la fase 3 y pasar directamente al cálculo de coordenadas sin Helmert Previo. Con esta opción, la aplicación transforma las coordenadas de los vértices fijos, primero a elipsódicas y luego a geocéntricas. Realizado este paso, se realiza en función de los valores de los vectores GPS el cálculo de las

coordenadas de los puntos. Estas se obtienen pués, con cotas geocéntricas, que en un paso posterior transforma a elipsólicas y luego a geométricas, obteniéndose así las coordenadas de los vértices que configuran nuestro trabajo. Estas coordenadas estarán ligeramente giradas unos segundos, ya que no se ha transformado del sistema WGS84 a ED-50. Sin embargo estos giros se eliminarán en la fase de compensación sin más que elegir la opción de introducir como incógnitas la orientación y la escala.

Cualquiera de las dos opciones que utilicemos generará un fichero de salida en ASCII, llamado CALGPS.SAL, editable desde cualquier editor de textos, que muestra el cálculo de coordenadas cartesianas.

3.4.2.5 COMPENSACIÓN

La fase de compensación se realiza por el método de mínimos cuadrados, para lo cual se sigue internamente una serie de pasos.

1. Conversión de ΔX , ΔY , ΔZ en acimut GPS, distancia GPS y desniveles.
2. Separación, ponderación de altimetría y planimetría.
3. Compensación de las observaciones Planimétricas y Altimétricas.

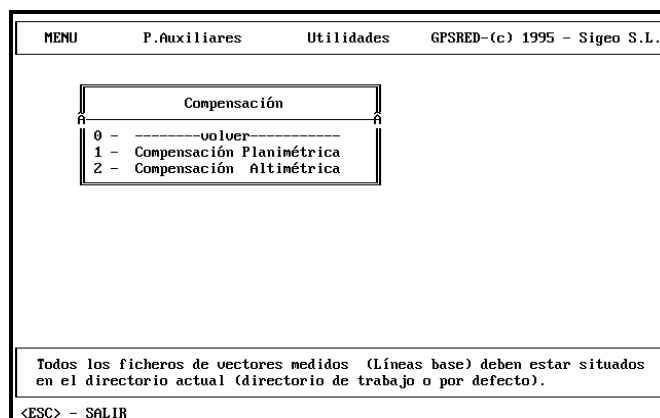


Figura 3.4-10 Ventana de compensación

3.4.2.5.1 COMPENSACIÓN PLANIMÉTRICA

Esta compensación se realiza sobre la superficie del elipsoide de revolución (Puede ser el Elipsoide Internacional o el elipsoide WGS84), por el método de variación de coordenadas y técnicas de estimación de parámetros por mínimos cuadrados.

Las principales características de este programa son:

- El programa está preparado para procesar redes con un máximo de 400 vértices y 2000 observaciones en aritmética de doble precisión.
- Las observaciones GPS son reducidas al sistema de referencia utilizado para los cálculos.
- La resolución del problema inverso de la geodesia, es decir, la determinación de la distancia y el acimut sobre el elipsoide, entre dos puntos de coordenadas conocidas, se realiza por el procedimiento de Sodano, válido para líneas geodésicas de cualquier longitud. Esto se consigue gracias a que se trabaja sobre el elipsoide de revolución lo que elimina los grandes problemas que plantea la proyección UTM, como son las variaciones de los coeficientes de

anamorfosis, convergencia de meridianos, y sobre todo, el cambio de huso dentro de una misma zona de trabajo.

- Esta aplicación permite añadir incógnitas sistemáticas en el ajuste, como factores de escala y constantes de orientación.
- La inversión de la matriz normal se realiza por el método de Cholesky, estando limitado para un máximo de 600 incógnitas. El ancho de banda de la matriz normal se ha limitado a 80.000 elementos.
- En el proceso de estimación por mínimos cuadrados del vector de parámetros incógnita, se determinan las coordenadas compensadas así como los residuos sin ponderar y ponderados, junto con la estimación del error medio cuadrático de peso unidad.
- Se determina la matriz de varianzas-covarianzas de los parámetros incógnita, así como los errores medios cuadráticos y elipses de error absolutas de las incógnitas en coordenadas, y los errores medios cuadráticos de las observaciones ajustadas, determinándose los residuos tipificados.
- Se completa la aplicación con el estudio de la fiabilidad de la red, según el método de Delf de Baarda, determinándose los parámetros de redundancia local y global, fiabilidad interna y externa y cotas de error detectables por el W-Test para cada observación.
- Se determinan las elipses de error relativas de las observaciones, que permiten analizar la precisión local (relativa) de la red.
- La detección de errores groseros en las observaciones se hace analizando los residuos tipificados por el W-Test de Baarda, con un nivel de significación del 0,1%, lo que garantiza un perfecto control de la calidad final de nuestro trabajo.
- Se realiza el test global de varianza de peso unidad para contrastar la hipótesis de calidad definida a priori por los pesos (errores medios cuadráticos) supuestos a las observaciones.

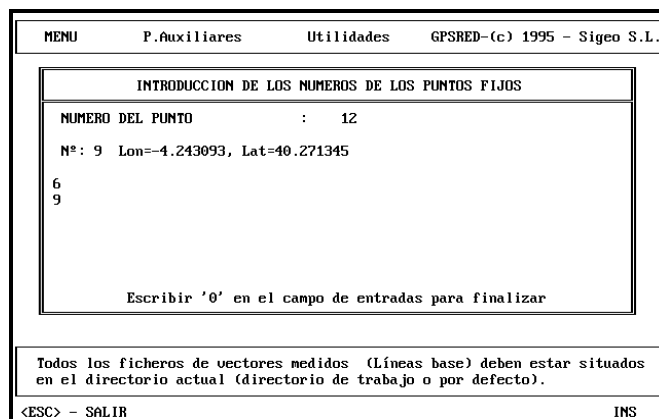


Figura 3.4-11 Introducción de puntos fijos planimétricos

Una vez seleccionados la opción de compensación planimétrica, la aplicación muestra una pantalla para la introducción de los vértices que deseamos que actúen como fijos en la fase de compensación.

Seguidamente GPSRED pasará a otra pantalla de entrada de datos:

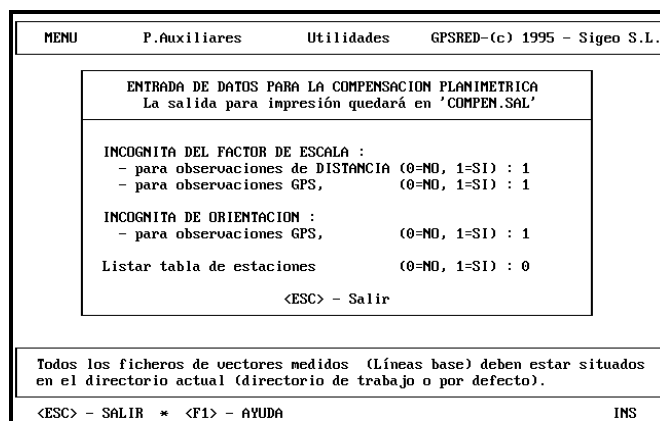


Figura 3.4-12 Entrada de datos para compensación

Como se observa, se presentan diferentes posibilidades para la introducción de incógnitas. Hemos de destacar que el apartado de observaciones de distancia se utiliza solo para cuando se han introducido distancias como observaciones adicionales. También se presenta la posibilidad de listar la tabla de acimutes y distancias compensadas, tanto en el elipsoide de nivel como en el plano UTM. El programa crea un fichero de salida en formato ASCII, llamado **COMPEN.SAL**, el cual es editable e imprimible con cualquier editor de texto. En ese listado se muestran los errores de las observaciones, los errores medios cuadráticos a priori y a posteriori (en segundos y metros para las observaciones angulares y en partes por millón y metros para las observaciones de distancia), el error medio cuadrático del residuo, residuo tipificado y los parámetros de fiabilidad (redundancia) para cada observación, siendo:

- QB = parámetro de redundancia
- SB = cota de error detectable por el W-test en segundos para las observaciones angulares y metros para las distancias.

$0 < QB < 0,8$	Buena redundancia
$0,8 < QB < 0,9$	Insuficiente redundancia
$0,9 < QB < 1$	Mala redundancia
$QB = 1$	Redundancia nula

Figura 3.4-13 Parámetros de redundancia

Por último, se presenta la redundancia media de la red, así como las elipses de error relativas entre los puntos observados, que definen la precisión relativa de la red. Las observaciones cuyo residuo tipificado supere en valor absoluto **3,29** (w-test), se señalizan como observaciones rechazables con una confianza del **99,9%**. De forma opcional se pueden presentar los acimutes y distancias ajustados entre los puntos observados, determinándose la distancia, el acimut directo y recíproco en la superficie de referencia y en el plano UTM.

3.4.2.5.2 COMPENSACIÓN ALTIMÉTRICA

La compensación rigurosa de redes altimétricas se realiza por el método de variación de coordenadas y técnicas de mínimos cuadrados. La ponderación de las observaciones se realiza inversamente proporcional a la distancia de las visuales, y en función del error kilométrico que introduce el usuario. Este programa está preparado para el tratamiento de redes con un máximo de 400 puntos y hasta 2000 observaciones.

Las características de este programa son básicamente las mismas que el programa COMGPS, con el que se realiza la compensación planimétrica, en cuanto a estimación de parámetros por mínimos cuadrados y determinación de parámetros de fiabilidad, así como el control de la calidad por el W-Test de Baarda.

En un principio, la aplicación solicita los puntos que deseamos permanezcan como fijos en la compensación altimétrica.

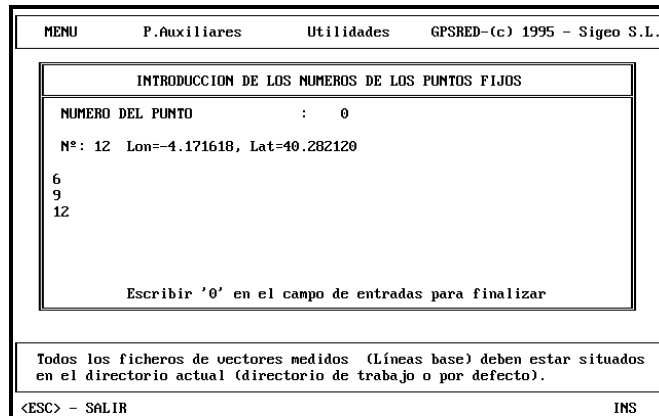


Figura 3.4-14 Introducción de puntos de control altimétrico

Una vez introducidos las estaciones fijas, GPSRED solicita al usuario la introducción de datos de interés para la ponderación de las observaciones.

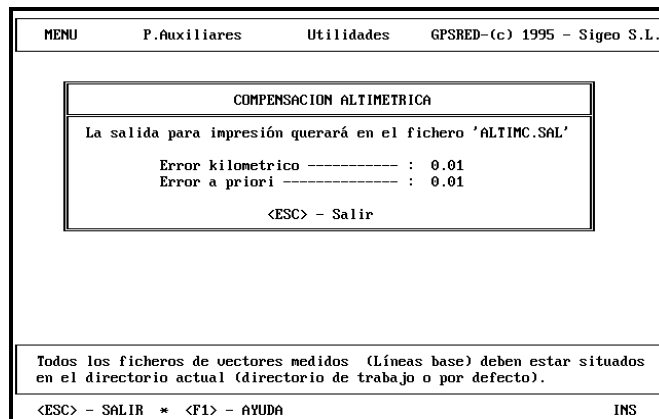


Figura 3.4-15 Cuadro diálogo compensación altimétrica

Esta aplicación genera un fichero de salida, en formato ASCII, llamado **ALTIMC.SAL**. Una vez finalizado el cálculo, con la compensación por mínimos cuadrados, la aplicación genera dos ficheros de salida con las coordenadas compensadas, uno en UTM llamado **COMPEN.UTM** y otro en geográficas llamado **COMPEN.GEO**. A continuación se muestran los listados impresos de estos dos ficheros:

COMPEN.UTM					
	X	Y	H		
6	392104.322	4474700.761	1017.968	PUNTO	6
9	380555.257	4479149.534	1000.079	PUNTO	9
12	390826.437	4481082.300	1048.204	PUNTO	12
5	383468.438	4476602.543	812.485		
3	384534.075	4479182.863	715.202		
10	383454.351	4481448.012	856.076		
1	394142.161	4476123.434	743.250		

COMPEN.GEO					
	λ	φ	H		
6	-4.16180276	40.24548880	1017.968	PUNTO	6
9	-4.24309319	40.27134491	1000.079	PUNTO	9
12	-4.17161833	40.28212010	1048.202	PUNTO	12
5	-4.22256076	40.25523578	812.484		
3	-4.21420822	40.27165536	715.201		
10	-4.22294066	40.28294527	856.076		
1	-4.14524339	40.25419591	743.249		

Figura 3.4-16 Cuadro de coordenadas finales

3.4.3 PROGRAMAS AUXILIARES

Esta opción abarca tres importantes aplicaciones, consistentes en una transformación de coordenadas de los sistemas WGS84 a ED-50 y viceversa, así como una utilidad para el cierre de triángulos espaciales y por último la opción de generar ficheros DXF de la red.



Figura 3.4-17 Programas Auxiliares

3.4.3.1 CONVERSIÓN DE COORDENADAS

Esta opción permite convertir ficheros de coordenadas entre los sistemas WGS84 y ED-50. Para ello presenta dos posibilidades:

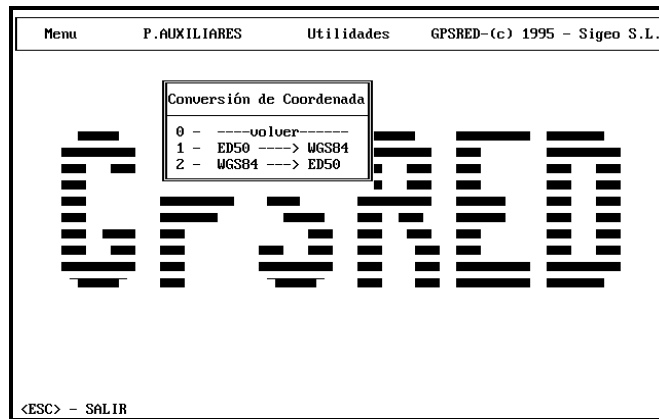


Figura 3.4-18 Conversación de coordenadas

3.4.3.1.1 CONVERSIÓN DE COORD. DE ED-50 A WGS84 Y VICEVERSA

Dentro de la aplicación GPSRED se presenta la opción de la transformación de coordenadas entre los sistemas ED-50 y WGS-84, ya que resulta frecuente para ciertas aplicaciones con receptores GPS, partir de coordenadas de vértices en el sistema WGS-84, y como es sabido, de la Red Geodésica Nacional solo se dispone de coordenadas en el sistema oficial ED-50. Para ello, los datos de entrada son coordenadas en formato XYZ en el sistema UTM, mientras que los datos de salida son coordenadas geográficas en el sistema WGS84. De esta forma, la aplicación solicita el nombre del fichero de entrada que queremos transformar, así como el fichero de salida sobre el que queremos las coordenadas transformadas. Al igual que en el apartado anterior, la aplicación GPSRED presenta la opción de la transformación de coordenadas entre los sistemas WGS-84 y ED-50, ya que es muy usual, cuando se trabaja con GPS, encontrarnos datos referidos al sistema WGS-84 que nos interesa utilizar dentro de nuestro sistema oficial ED-50. De esta forma, los datos de entrada a la aplicación son coordenadas en geográficas WGS84, mientras que los datos de salida son en formato X, Y, Z en UTM. Para ello, al igual que en el apartado anterior, la aplicación solicita el nombre del fichero de entrada que queremos transformar, así como el fichero de salida sobre el que queremos las coordenadas transformadas.

3.4.3.1.2 CIERRE DE TRIÁNGULOS

Es habitual, cuando se trabaja con GPS, trabajar con un mínimo de tres receptores simultáneamente. Cuando esto ocurre, de la observación GPS obtenemos tres vectores que determinan un triángulo. De la misma forma, cuatro receptores observando simultáneamente generarían 6 líneas base y cerrarían 4 triángulos. Es evidente que, a modo de comprobación inicial antes de entrar en cálculo, sería conveniente realizar una comprobación inicial de la bondad del trabajo observando los cierres de triángulos. Para facilitar este proceso, GPSRED incorpora en la aplicación esta opción, solicitando al usuario la introducción de la tolerancia de cierre.

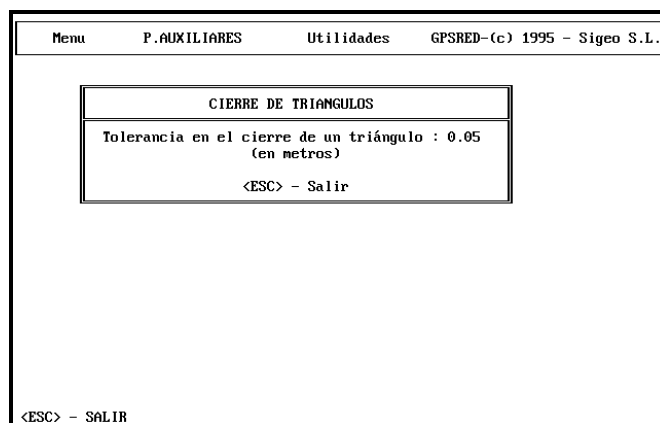


Figura 3.4-19 Cierre de Triángulos

La aplicación genera un fichero de salida en formato ASCII, llamado **GPSCIER.SAL** editable desde cualquier editor de textos.

3.4.3.1.3 DIBUJO

Este apartado de la aplicación genera un fichero en formato DXF, con el dibujo de los puntos de la red y de las observaciones GPS que existen entre los mismos.

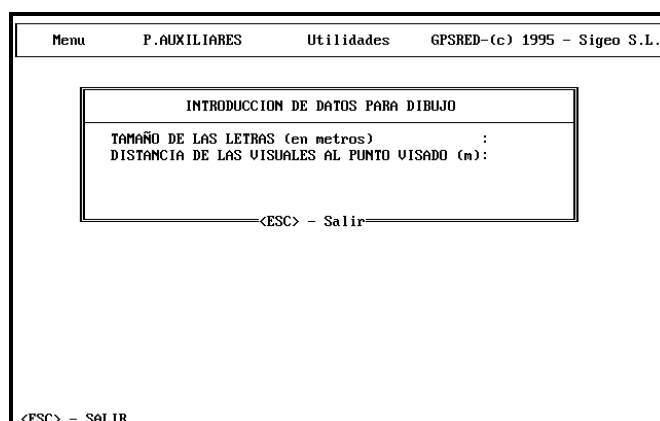


Figura 3.4-20 Representación gráfica de la Red

Para la generación de este fichero llamado AUX2.DXF, la aplicación solicita el tamaño de las letras en metros, es decir, en función de la escala a la que deseamos el dibujo, los nombres y números de los puntos tendrán una dimensión real en metros, y esta es la que solicita la aplicación. Así mismo, se hace referencia de la distancia de las visuales al punto visado. Este apartado se refiere a la distancia a la que queremos que se corten las visuales que llegan a un punto, de forma que si se marca el valor como 0 (CERO), todas las visuales llegarán al centro del punto, mientras que si se dé introduce el valor 1, las mismas se cortarán a 1 metro del punto. Esta opción es normal para cuando el número de visuales es muy grande y no deseamos saturar el dibujo.

3.4.4 UTILIDADES

Este apartado realiza operaciones básicas propias del MSDOS, sistema operativo para el que está diseñado. Como se observa, destacan aplicaciones básicas como son, salir al dos, borrar, renombrar ficheros, o dibujar.

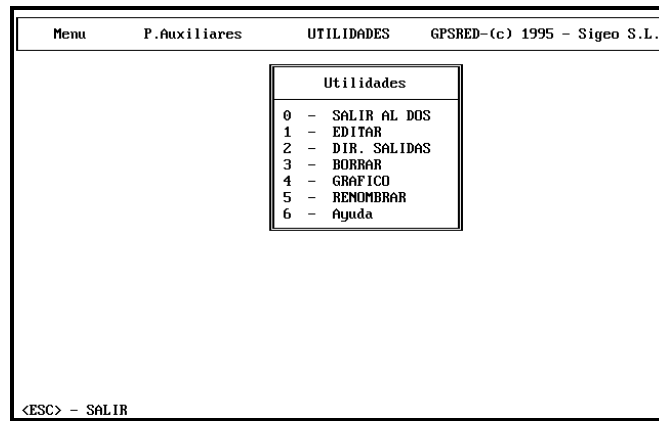


Figura 3.4-21 Utilidades MS-DOS

En el último apartado se detallan los resultados obtenidos.

CAPITULO-4 CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1 DATOS INICIALES

Para exponer los resultados vamos a seguir la misma estructura que en el apartado de explicación del programa GPSRED. En primer lugar creamos el archivo de puntos fiduciales de las diferentes redes, en este caso **COORDAT**:

1000	548701.341	4801455.361	66.918	ACOR
1001	512708.219	4663048.052	67.088	BAIO
1002	585130.257	4653965.265	831.658	BAND
1003	665838.531	4697886.492	397.870	BARC
1004	559249.651	4702472.128	709.994	BEAR
1005	650494.055	4746464.987	661.990	BECE
1006	517799.243	4791152.933	185.956	BUNO
1007	591288.729	4843377.604	82.624	CARI
1008	484463.998	4754687.466	64.944	CARC
1009	548388.951	4801685.999	77.009	CORU
1010	546664.044	4800203.957	118.872	ERLC
1011	617701.131	4763484.873	527.722	ERLX
1012	592508.630	4836968.916	91.497	EROX
1013	529599.492	4697301.367	103.386	ERPO
1014	536056.527	4747271.800	323.119	ERSA
1015	657235.438	4776991.309	1017.073	FONS
1016	511130.041	4705075.638	74.977	GROV
1017	592239.972	4747368.654	614.071	PALA
1018	695552.466	4658161.563	992.052	PSBR
1019	658706.012	4822275.772	66.553	RIBA
1020	533581.144	4747050.641	202.427	SANT
1021	616186.394	4702100.970	465.197	SOBE
1022	627629.254	4643126.779	441.685	VERI
1023	515436.301	4670220.255	87.790	VIGO
1024	606845.081	4794882.890	537.506	VILA
1025	698539.317	4713803.614	639.860	PONF

Tabla 4.1-1 Puntos Fiduciales

La tabla 4.1-1 muestra los puntos que se emplearán con fijos, en formato N° punto, E, N, h elipsoidal; el datum empleado será ETRS89, proyección UTM huso 29 N. A los puntos de control se les da un número de orden debido a exigencias propias del software.

Los datos que se necesitan a continuación provienen del procesado GPS del LGO, son las líneasbase calculadas, presentamos a continuación parte del archivo:

1010	581176	34565.784	-16516.135	-38929.558
1000	581176	35144.211	-18670.796	-39793.617
1006	581176	32794.991	13000.178	-32487.294
1008	581176	13471.459	49825.609	-5775.795
1009	581176	35340.613	-18385.583	-39969.917
1020	581176	597.729	2114.426	-226.471
1000	9553	36381.969	-158.816	-37805.085
1006	9553	34032.749	31512.158	-30498.764
1009	9553	36578.371	126.397	-37981.385
1010	9553	35803.541	1995.845	-36941.028
1020	9553	1835.482	20626.404	1762.052
9553	581176	-1237.758	-18511.980	-1988.53
1010	581142	25939.955	-30773.499	-31978.613
9553	581142	-9863.581	-32769.345	4962.419
581142	581176	8625.823	14257.364	-6950.95
1000	581142	26518.380	-32928.161	-32842.673
1006	581142	24169.160	-1257.185	-25536.352
1008	581142	4845.634	35568.245	1175.152
1009	581142	26714.783	-32642.947	-33018.971
1020	581142	-8028.101	-12142.940	6724.469
1010	581105	10611.962	-42921.920	-17853.408
1000	581105	11190.393	-45076.583	-18717.465
1006	581105	8841.169	-13405.602	-11411.147
1008	581105	-10482.360	23419.827	15300.366
1009	581105	11386.794	-44791.369	-18893.765
1020	581105	-23356.079	-24291.355	20849.686
1000	581117	16721.737	-40908.360	-23589.538
1006	581117	14372.517	-9237.382	-16283.216
1008	581117	-4951.007	27588.049	10428.298

Tabla 4.1-2 Cálculo de líneasbase

El formato del mismo es estación-visado y los incrementos tridimensionales (DX, DY, DZ)^{GPS}. Con estos datos se crean los archivos ZONACAL.OBS y ZONACAL.AUS para poder a posteriori hacer la compensación y ajuste. Las líneasbase de partida son se ven en la figura 4.1-1:

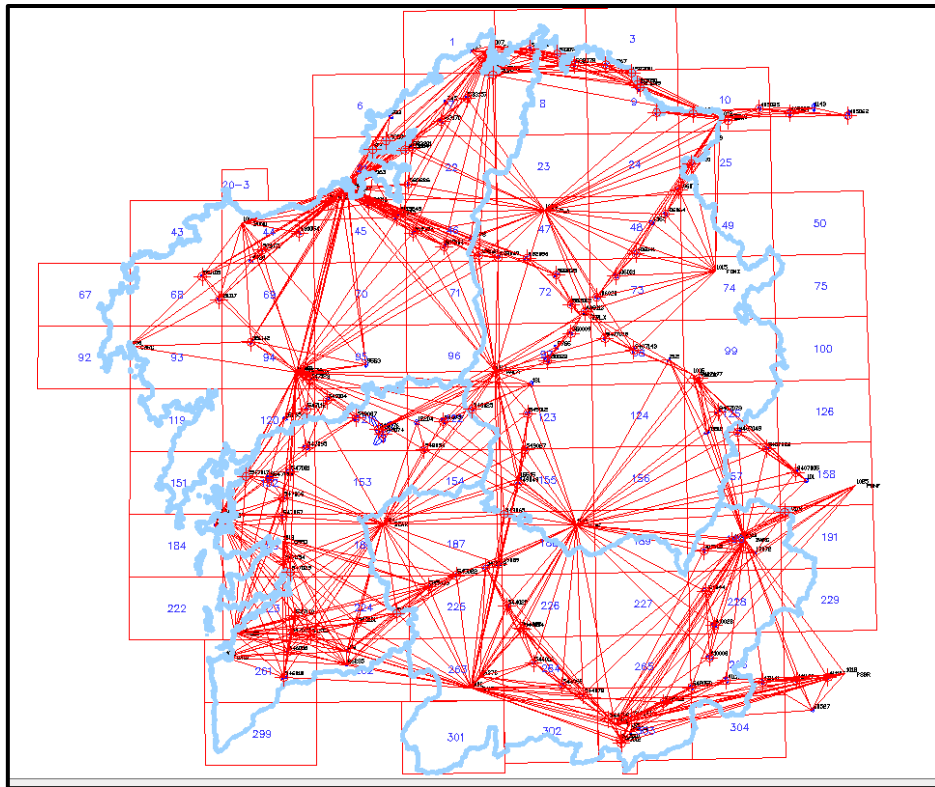


Figura 4.1-1 Líneasbase de partida

Como se puede observar, con los datos REDNAP disponibles se ha realizado una cobertura homogénea de la comunidad de Galicia.

4.2 RESULTADOS

En este apartado se expondrán los resultados obtenidos en la compensación y ajuste, tanto planimétrica como altimétricamente, siendo esta última la más importante para nuestra finalidad; en cualquier caso y dado que cada día también se ha observado un vértice perteneciente a la red REGENTE, también se expone una comparativa acerca de lo calculado en esta tesis y los datos oficiales aportados por el IGN.

4.2.1 PLANIMETRÍA

En esta fase se puede arrancar la subrutina COMPRED de GPSRED; los datos de partida son, junto con los puntos de control y las líneasbase:

- excentricidad = .006694380194
- semieje mayor = 6378137.0 metros
- parámetros del w-test de Baarda de detección de errores groseros
 - nivel de significación del w-test: 0.001
 - potencia del w-test: 0.800
 - numero critico detección de errores groseros: 3.290

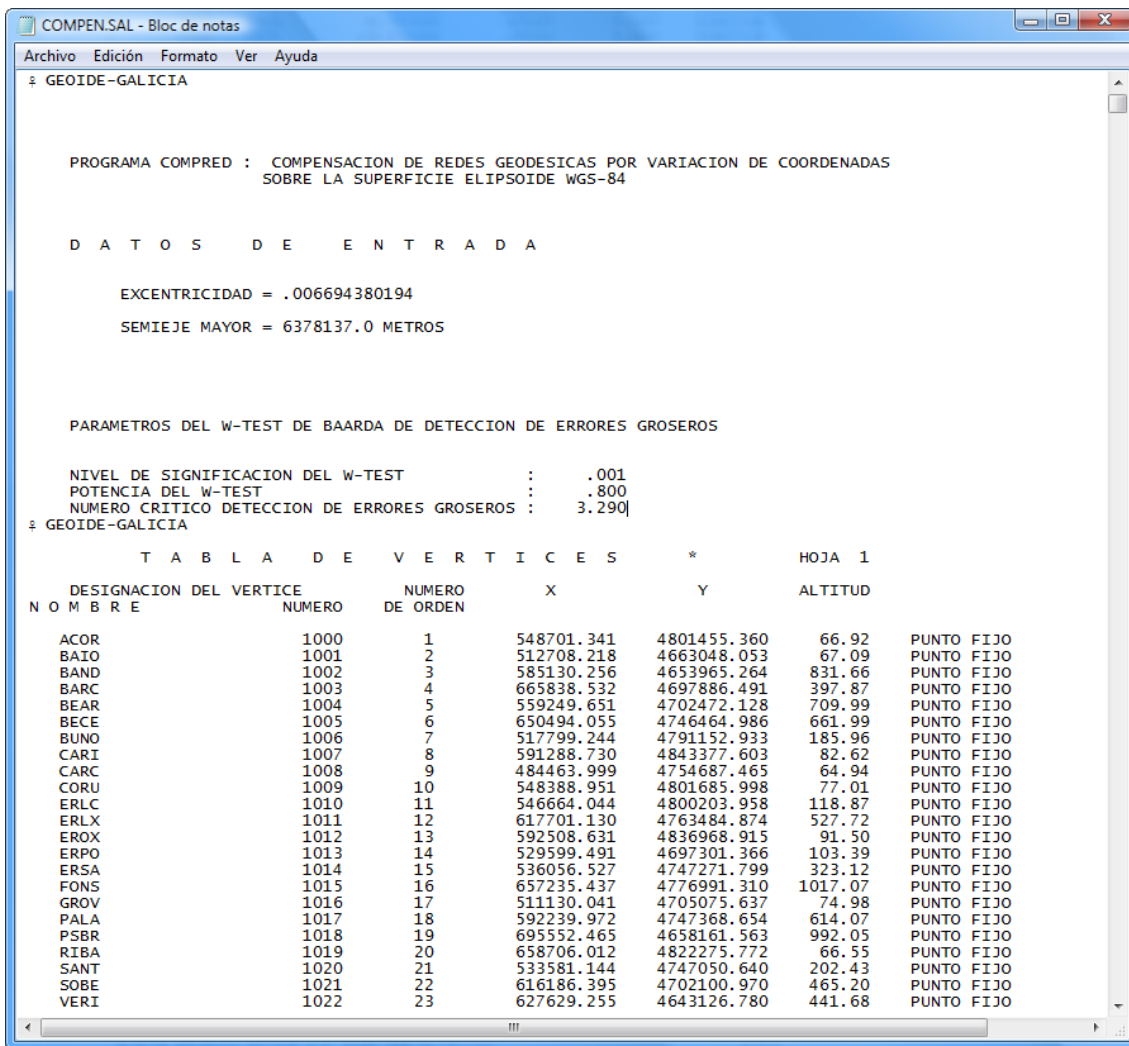


Figura 4.2-1 Fichero de compensación, datos de entrada de la compensación

La red presenta los siguientes parámetros:

- NUMERO DE PUNTOS FIJOS 26
- NUMERO DE PUNTOS APROXIMADOS 136
- NUMERO TOTAL DE PUNTOS 162

- NUMERO DE DIRECCIONES OBSERVADAS 0
- NUMERO DE DISTANCIAS OBSERVADAS 0
- NUMERO DE ACIMUTES GEODESICOS 0
- NUMERO DE ACIMUTES ASTRONOMICOS 0
- NUMERO TOTAL DE OBSERVACIONES 1561
- NUMERO DE DISTANCIAS GPS 779
- NUMERO DE ACIMUTES GPS 779

- NUMERO DE INCOGNITAS EN COORDENADAS 270

- NUMERO DE INCOGNITAS DE ORIENTACION 0
- NUMERO TOTAL DE INCOGNITAS 272
- NUMERO PARAMETROS SISTEMATICOS 2
- GRADOS DE LIBERTAD DEL AJUSTE 1286

VERTICE	CORRECCIONES			COORDENADAS COMPENSADAS		
NUMERO	NOMBRE	X	Y	DESPLZ	X	Y
745		.001	-.001	.001	577782.415	4826785.539
583157		-.000	-.003	.003	584002.315	4827951.459
583226		-.001	-.002	.002	566704.161	4802677.517
583201		-.003	-.002	.004	567772.334	4813359.390
5583004		-.003	-.005	.006	565746.677	4812733.424
410044		-.001	-.005	.005	654427.182	4682578.502
410028		-.001	.006	.006	656901.576	4672455.272
410008		-.004	.001	.004	655491.132	4663020.899
580136		-.001	-.001	.001	543227.060	4797472.555
581054		-.001	.002	.003	534657.927	4788313.259
4430		-.003	.004	.005	520341.174	4779883.220
581016		-.002	-.000	.002	555135.740	4796875.867
581003		-.001	-.001	.001	563185.533	4793029.928
2163		.001	-.003	.003	556104.319	4805030.651
2547005		-.003	-.005	.006	525704.773	4715991.080
547066		-.004	.000	.004	529791.378	4710093.036
2547017		-.001	-.001	.002	518866.921	4716504.821
547057		-.003	.000	.003	529517.551	4704583.336
18498		-.001	.001	.002	509785.212	4702024.209

Figura 4.2-2 Fichero de compensación, resultados de la compensación

En la figura 4.2-2 se muestra el detalle de los resultados de las compensaciones, con las coordenadas aproximadas, la corrección y las coordenadas compensadas.

Los parámetros de error son:

- ERROR MEDIO CUADRATICO A PRIORI 1.00
- ERROR MEDIO CUADRATICO ESTIMADO 0.29
- VARIANZA ESTIMADA DEL AJUSTE 0.08
- MEDIA DE RESIDUOS PONDERADOS -0.0022

Los errores medios estimados en el ajuste

- ERROR MEDIO DE UNA ACIMUT GPS(SEG.) 0.2
- ERROR DE UNA ACIMUT GPS/KM (METROS) 0.000
- ERROR DE UNA DISTANCIA /KM (METROS) 0.000

- ERROR DE UNA DIRECCION PARTES MILLON 0.3
- ERROR DE UNA DISTANCIA PARTES MILLON 0.2

ERROR DE UNA DISTANCIA PARTES MILLON .2
 GEOIDE-GALICIA

TABLA DE ELIPSES DE ERROR ABSOLUTAS * HOJA 1

NUMERO VERTICE	E.M.C. X	E.M.C. Y	PARAMETROS DE LA SEMIEJE MENOR	ELIPSE DE ERROR SEMIEJE MAYOR	ORIENTACION	
1000	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1001	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1002	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1003	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1004	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1005	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1006	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1007	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1008	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1009	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1010	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1011	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1012	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1013	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1014	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1015	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1016	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1017	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1018	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1019	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1020	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1021	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1022	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1023	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1024	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
1025	.0000	.0000	.0000	.0000	.00	PUNTO FIJO
581071	.0034	.0033	.0032	.0035	311.56	
581105	.0044	.0047	.0033	.0055	319.97	
545101	.0031	.0039	.0031	.0039	356.34	
581117	.0052	.0047	.0041	.0057	306.20	
545069	.0040	.0051	.0038	.0052	343.39	
545039	.0043	.0054	.0041	.0055	341.20	
26235	.0038	.0040	.0037	.0041	32.70	
545022	.0047	.0064	.0044	.0066	341.89	
102	.0036	.0041	.0035	.0042	12.95	
547003	.0030	.0038	.0030	.0038	359.18	
545131	.0030	.0040	.0030	.0040	5.37	
546003	.0037	.0040	.0037	.0040	340.72	
547010	.0039	.0038	.0038	.0039	309.47	
582082	.0047	.0053	.0047	.0053	1.73	
4673	.0048	.0056	.0047	.0057	19.77	
582069	.0048	.0055	.0048	.0055	358.90	
581176	.0031	.0028	.0028	.0031	274.76	
581142	.0055	.0066	.0049	.0070	30.26	
9553	.0056	.0083	.0056	.0083	1.55	
582124	.0048	.0063	.0039	.0069	28.80	
582104	.0052	.0075	.0044	.0080	23.87	
583245	.0045	.0064	.0036	.0069	26.12	

Figura 4.2-3 Fichero de compensación, elipses de error estándar absolutas

Al final de la tabla de elipse de error absolutas, tenemos que el:

- ERROR ABSOLUTO MEDIO EN X (METROS): 0.005
- ERROR ABSOLUTO MEDIO EN Y (METROS): 0.006

El factor de escala para distancias GPS es:

- ESCALA -0.0230 ppm
- E.M.C. 0.0180

La desorientación para acimutes GPS

- DESORIENTACIÓN 0.0269 seg
- E.M.C. 0.0114

Al final de esta tabla, observamos que la fiabilidad media de la red es 0.174. Lo cual indica que es una fiabilidad aceptable.

4.2.2 ALTIMETRÍA

Una vez realizada la compensación planimétrica, procedemos a realizar la compensación altimétrica, los datos de partida son los mismos que para planimetría más el modelo geoidal elegido en cada caso, según comentado en capítulos anteriores

```

PROGRAMA ALTIM2 DE COMPENSACION DE REDES DE NIVELACION TRIGONOMETRICA POR VARIACION DE COORDENADAS

ERROR KILOMETRICO : .005

ERROR A PRIORI : .005

PARAMETROS DEL W-TEST DE BAARDA

NIVEL DE SIGNIFICACION DEL W-TEST : .001
POTENCIA DEL W-TEST : .800
NUMERO CRITICO DETECCION DE ERRORES GROSEROS : 3.290

T A B L A D E V E R T I C E S *** H O J A 1
DESIGNACION DEL VERTICE NUMERO DE ORDEN X Y ALTITUD
N O M B R E
ACOR 1 1000 548701.341 4801455.360 66.918 PUNTO FIJO
BAIO 2 1001 512708.218 4663048.053 67.088 PUNTO FIJO
BAND 3 1002 585130.256 4653965.264 831.658 PUNTO FIJO
BARC 4 1003 665838.532 4697886.491 397.870 PUNTO FIJO
BEAR 5 1004 559249.651 4702472.128 709.994 PUNTO FIJO
BECE 6 1005 650494.055 4746464.986 661.990 PUNTO FIJO
BUNO 7 1006 517799.244 4791152.933 185.956 PUNTO FIJO
CARI 8 1007 591288.730 4843377.603 82.624 PUNTO FIJO
CARC 9 1008 484463.999 4754687.465 64.944 PUNTO FIJO
CORU 10 1009 548388.951 4801685.997 77.009 PUNTO FIJO
ERLC 11 1010 546664.044 4800203.958 118.872 PUNTO FIJO
ERLX 12 1011 617701.131 4763484.874 527.722 PUNTO FIJO
EROX 13 1012 592508.631 4836968.915 91.497 PUNTO FIJO
ERPO 14 1013 529599.491 4697301.366 103.386 PUNTO FIJO
ERSA 15 1014 536056.527 4747271.799 323.119 PUNTO FIJO
FONS 16 1015 657235.437 4776991.310 1017.073 PUNTO FIJO

```

Figura 4.2-4 Fichero de compensación altimétrica, datos de entrada

Como se puede observar en la figura 24, el ajuste inicia con unos datos básicos para el cálculo, como son el e_k de 0.005 metros por km y los parámetros del w-test de Baarda.

Al final de la tabla de observaciones, vemos los parámetros de la red:

- NUMERO TOTAL DE VÉRTICES = 160
- NUMERO DE PUNTOS FIJOS = 26
- NUMERO TOTAL DE RELACIONES DE OBSERVACIÓN = 724
- ELEMENTOS DE LA MATRIZ NORMAL 524

A continuación se muestra la relación completa de todos los residuos de las observaciones (figura 4.2-5), sin ponderar y ponderados, así como la raíz del peso a priori:

T A B L A D E R E S I D U O S * HOJA 1					
NUMERO DE OBSERVACION	PUNTO DE ESTACION	PUNTO VISADO	RESIDUO	RAZA PESO A PRIORI	RESIDUO PONDERADO
1	1010	581176	.0057	23.837	.1368
2	1000	581176	.0154	23.524	.3632
3	1006	581176	.0042	25.236	.1070
4	1008	581176	.0056	24.371	.1374
5	1009	581176	.0074	23.496	.1748
6	1020	581176	-.0028	80.449	-.2222
7	1000	9553	.0162	24.262	.3928
8	1006	9553	.0036	23.668	.0850
9	1009	9553	.0082	24.209	.1983
10	1010	9553	.0044	24.465	.1074
11	1020	9553	-.0116	35.981	-.4177
12	9553	581176	.0006	37.599	.0243
13	1010	581142	.0015	24.481	.0362
14	9553	581142	.0036	29.069	.1043
15	581142	581176	-.0034	38.102	-.1311
16	1000	581142	.0092	24.048	.2207
17	1006	581142	-.0036	28.854	-.1045
18	1008	581142	.0056	28.601	.1595
19	1009	581142	.0032	24.042	.0764
20	1020	581142	-.0110	39.966	-.4405
21	1010	581105	-.0032	25.300	-.0822
22	1000	581105	.0109	24.764	.2687
23	1006	581105	-.0074	36.776	-.2739
24	1008	581105	.0060	30.933	.1841
25	1009	581105	.0021	24.796	.0509
26	1020	581105	.0026	27.416	.0700
27	1000	581117	.0105	24.760	.2590
28	1006	581117	-.0018	34.142	-.0627
29	1008	581117	.0156	30.920	.4812
30	1009	581117	.0032	24.778	.0784
31	1010	581117	-.0021	25.288	-.0541
32	1020	581117	.0004	30.340	.0110
33	581105	581117	-.0127	51.157	-.6491
34	1010	581071	-.0036	31.447	-.1121
35	581071	581105	-.0056	37.147	-.2074
36	581071	581117	.0033	37.081	.1234
37	1000	581071	.0084	30.405	.2565
38	1006	581071	.0053	48.453	.2585
39	1008	581071	.0098	25.140	.2473
40	1009	581071	-.0003	30.453	-.0081
41	1020	581071	-.0043	28.057	-.1196
42	1010	581071	-.0168	31.447	-.5272
43	581071	581117	.0119	37.081	.4423
44	1000	581071	-.0055	30.405	-.1661
45	1006	581071	.0056	48.453	.2731
46	1008	581071	.0032	25.140	.0813
47	1009	581071	-.0128	30.453	-.3887
48	1020	581071	-.0124	28.057	-.3469
49	1010	581105	-.0089	25.300	-.2264
50	581071	581105	-.0158	37.147	-.5863

Figura 4.2-5 Fichero de compensación altimétrica, tabla de residuos

Y posteriormente aparecen los parámetros de error del ajuste:

- ERROR MEDIO CUADRÁTICO A PRIORI 1.00
- ERROR MEDIO CUADRÁTICO ESTIMADO 0.63
- MEDIA DE RESIDUOS PONDERADOS 0.01
- ERROR KILOMÉTRICO MEDIO 0.002

Al final de la tabla aparece el error cuadrático medio que fue de **0.007**. Por último se muestra la tabla de errores a priori y a posteriori, así como el error medio cuadrático de los residuos, residuo tipificado y los parámetros de redundancia de la compensación altimétrica:

ALTIMC.SAL - Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

ERROR CUADRATICO MEDIO = .007

§

TABLA DE ERRORES Y REDUNDANCIAS DE LAS OBSERVACIONES * HOJA 1

N. OBS	NPE	NPV	DESNIVEL COMPENSADO	E.M.C. PRIORI	E.M.C. POSTERIORI	RESIDUO TIPIFICADO	E.M.C. RESIDUO	FIABILIDAD QB	SB
1	1010	581176	131.562	.042	.006	.140	.041	.049	.033
2	1000	581176	183.516	.043	.006	.372	.041	.048	.033
3	1006	581176	64.478	.040	.006	.110	.039	.055	.033
4	1008	581176	185.490	.041	.006	.141	.040	.052	.033
5	1009	581176	173.425	.043	.006	.179	.042	.048	.033
6	1020	581176	48.007	.012	.006	-.336	.008	.562	.048
7	1000	9553	440.823	.041	.008	.415	.039	.106	.049
8	1006	9553	321.785	.042	.008	.090	.040	.100	.049
9	1009	9553	430.732	.041	.008	.210	.039	.105	.049
10	1010	9553	388.869	.041	.008	.114	.039	.107	.049
11	1020	9553	305.314	.028	.008	-.477	.024	.232	.053
12	9553	581176	-257.307	.027	.009	.029	.022	.309	.061
13	1010	581142	190.740	.041	.008	.038	.039	.086	.043
14	9553	581142	-198.129	.034	.010	.119	.030	.230	.065
15	581142	581176	-59.178	.026	.009	-.154	.022	.277	.056
16	1000	581142	242.694	.042	.008	.231	.040	.083	.043
17	1006	581142	123.656	.035	.008	-.111	.033	.120	.044
18	1008	581142	244.668	.035	.008	.170	.033	.118	.044
19	1009	581142	232.603	.042	.008	.080	.040	.083	.043
20	1020	581142	107.185	.025	.008	-.502	.022	.230	.047
21	1010	581105	127.226	.040	.005	-.084	.039	.043	.029
22	1000	581105	179.180	.040	.005	.274	.040	.041	.029
23	1006	581105	60.142	.027	.005	-.287	.026	.091	.030
24	1008	581105	181.154	.032	.005	.190	.031	.064	.029
25	1009	581105	169.089	.040	.005	.052	.039	.041	.029
26	1020	581105	43.671	.036	.005	.072	.036	.050	.029
27	1000	581117	369.658	.040	.006	.267	.039	.057	.034

Figura 4.2-6 Compensación altimétrica, tabla de errores y redundancia de observaciones

La fiabilidad media de la red es de 0.185.

Por último mostramos en este apartado los cierres de triángulos en la siguiente figura antes de pasar al capítulo de resultados:

GEOIDE-GALICIA					
Station 1	Station 2	X	Y	Z	
547003	547010	-3276.840	1931.950	3983.953	
547010	545131	4320.335	3962.426	-4145.486	
1001	546006	1790.310	18368.882	1155.550	
1002	546006	-15712.426	-52219.066	7759.531	
1004	546006	20444.168	-31730.855	-28273.920	
1013	546006	21928.131	-1929.445	-24186.844	
1016	546006	29982.331	15502.196	-29944.995	
546006	547003	-3390.009	1348.502	3944.122	
546006	545131	-2346.517	7242.880	3782.585	
546006	547010	-6666.846	3280.453	7928.075	
1023	546006	6108.536	14921.692	-4173.740	
1001	546014	6566.026	16542.376	-4395.706	
1002	546014	-10936.705	-54045.572	2208.282	
1004	546014	25219.884	-33557.361	-33825.174	
1013	546014	26703.849	-3755.952	-29738.099	
1016	546014	34758.046	13675.690	-35496.249	
546018	546006	-4775.721	1826.501	5551.251	
546018	547003	-8165.726	3175.001	9495.376	
546018	545131	-7122.232	9069.377	9333.838	
546018	547010	-11442.538	5106.957	13479.345	
1023	546014	10884.252	13095.185	-9724.998	

TRIANGULO					
Station 1	Station 2	X	Y	Z	
1010	581176	1006	-.003	.003	-.003
1010	581176	1009	.001	.002	.003
1010	581176	1020	-.019	.001	-.012
1010	581176	9553	.001	.000	.000
1010	581176	581142	.006	.000	.005
1000	581176	1006	-.006	.005	-.006
1000	581176	1009	-.004	.007	.009
1000	581176	1020	-.017	.003	-.013
1000	581176	9553	.000	.000	-.002
1000	581176	581142	.008	.001	.006
1006	581176	1009	.006	-.004	.007
1006	581176	9553	.000	.000	.000
1006	581176	581142	.008	-.001	.008
1008	581176	581142	-.002	.000	.003
1009	581176	1020	-.016	.000	-.012
1009	581176	9553	.000	.000	-.002
1009	581176	581142	.007	.000	.004

Figura 4.2-7 Resultados ajuste, cierre triángulos GPS

4.3 RESULTADOS ETRS89, COTA ELIPSOIDAL

Visibles en la tesis completa.No procede temporalmente su muestra.

CAPITULO-5 CONCLUSIONES Y REVISIONES FUTURAS

Una vez explicadas todas fases vamos a recordar de nuevo los objetivos principales que se buscaban alcanzar en esta tesis doctoral:

1. Comprobación de la fiabilidad de la red cero que se usará para el cálculo de las alturas elipsoidales de los claves de la REDNAP, analizando los resultados obtenidos.
2. Observación, cálculo y ajuste de cota elipsoidal en una cantidad representativa de clavos a fin de poder estudiar la ondulación calculada.
3. Contrastar la diferencia con la proporcionada por los diferentes modelos geoidales gravimétricos disponibles. A continuación vamos a explicar cada uno de los objetivos alcanzados

5.1 COMPROBACIÓN DE LA RED DE ORDEN CERO

La red sobre la cual se asientan todas las observaciones es la red ERGNSS, GALNET y SmarNET Galicia, de esta última de desecha ya en la fase de procesado la estación ERSA, debido a errores de aproximadamente 15 cm en los resultados previos de los procesados con LGO. Debido a que tanto ERGNSS como GALNET han sido legitimadas por el IGN, y según el apartado 2.2.1 si las consideramos puntos de control como así ha sido y observamos las diferencias con REGENTE, obtenemos las siguientes diferencias por vértice:

	173	0.015	0.047	0.010
	683	0.007	0.020	0.014
	745	0.007	0.029	0.005
	1143	0.003	0.013	0.001
	2163	0.007	0.021	-0.010
	4430	0.004	0.028	0.003
	4673	-0.001	0.026	0.031
	4865	-0.001	0.030	0.018
	9553	0.006	0.023	0.016
	9766	-0.001	0.012	0.034
	12065	0.001	0.029	0.033
	12204	0.000	0.027	0.000
	15515	0.001	0.010	0.011
	18498	-0.004	0.012	-0.015
	19072	-0.002	0.024	0.057
	26235	-0.003	0.015	-0.006
	26373	0.010	0.007	0.014
	30334	0.004	0.027	-0.003
	30527	-0.009	0.014	0.010
Media		0.002	0.022	0.012
Desv Típica		0.006	0.010	0.018

Tabla 5.1-1 Diferencias entre vértices

La tabla 5.1-1 por tanto indica dos aspectos fundamentales de REGENTE en Galicia:

- La red tiene una precisión mayor a la indicada sobre todo en planimetría, es decir mayor precisión de 5 cm.
- La red presenta, a priori, un sesgo de 2 cm en componente N, esto puede ser debido a cambios entre el marco de referencia de ERGNSS-GALNET y REGENTE ya que todas pertenecen al mismo sistema ETRS89. En su artículo

“Análisis de las transformaciones IGS05<->ITRF05<-> ETRS89” (Zurutuza et al. 2008) ya indican las posibles sesgos en las transformaciones de marcos de referencia.

- El vértice 683, perteneciente a IBERIA95 también presenta el mismo sesgo teniendo a priori mayor precisión. (Rodríguez Pujol et al. 1999)

La muestra aunque representa solamente el 22% de los REGENTE (19 de 83) presentes en la comunidad es lo suficientemente representativa al cubrir la mayoría del territorio, como vemos en la figura 5.1-1

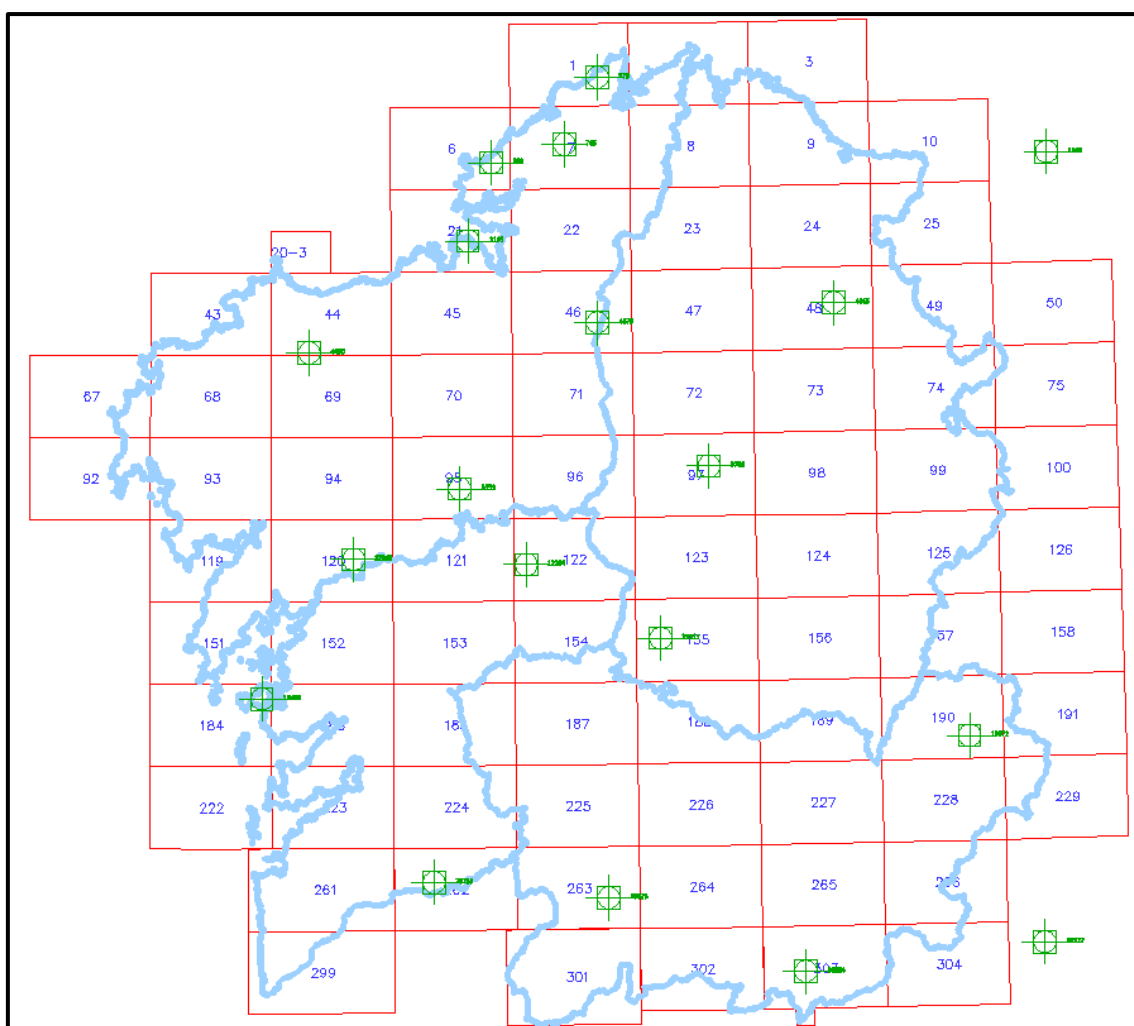


Figura 5.1-1 Distribución de los vértices REGENTE Observados

En lo relativo a las comprobaciones transfronterizas, se ha medido un vértice en Portugal arrojando los siguientes resultados:

IGP				OBSERVACIÓN TESIS			
SÃO NOMÉDIO	8 24 46.8032 O	42 08 04.9528 N	750.200	SÃO NOMÉDIO	8 24 46.8022 O	42 08 04.9544 N	750.238
0.031	0.049	-0.038					

Tabla 5.1-2 Diferencias vértice IGP

Las cotas de nivelación no han sido proporcionadas, por tanto no se han podido contrastar.

5.2 PRECISIÓN DE LAS COTAS ELIPSOIDALES OBTENIDAS

Uno de los apartados fundamentales de toda la tesis es éste, los clavos que finalmente han sido medidos son los siguientes:

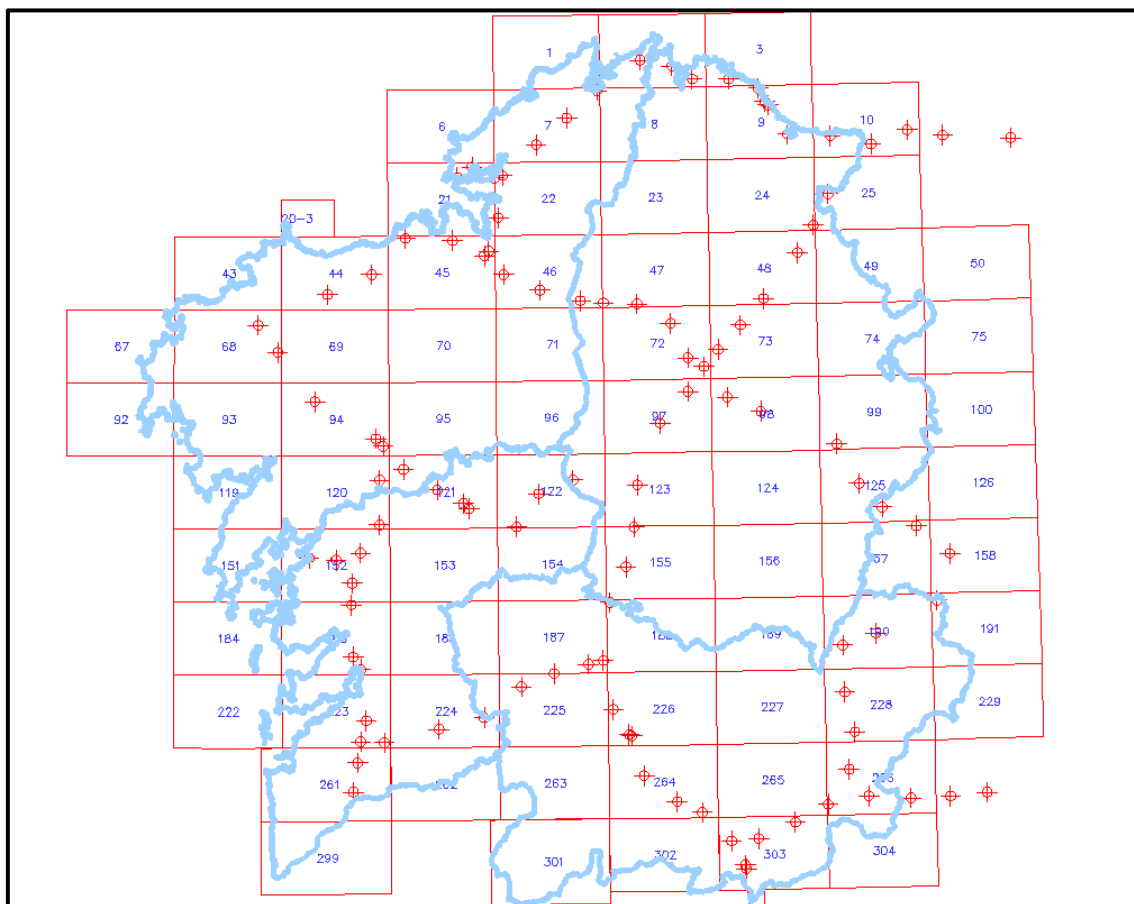


Figura 5.2-1 Distribución observación REDNAP

Como ya constatábamos en la fase de anteproyecto, una planificación óptima puede arrojar unos resultados adecuados. En la siguiente tabla vemos el histograma de EMC en z:

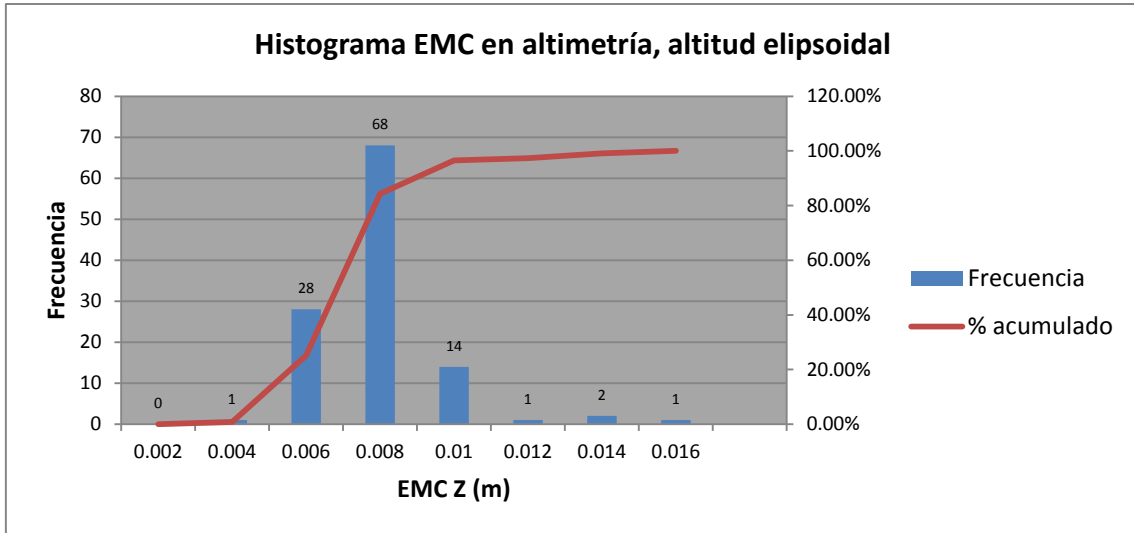


Figura 5.2-2 Histograma EMC altimetría

Como ya se ha visto, y detallado en el apartado 4.2.2, el EMC final resulta **0.007 m**, valor muy superior a la precisión en la cota elipsoidal actual de los clavos.

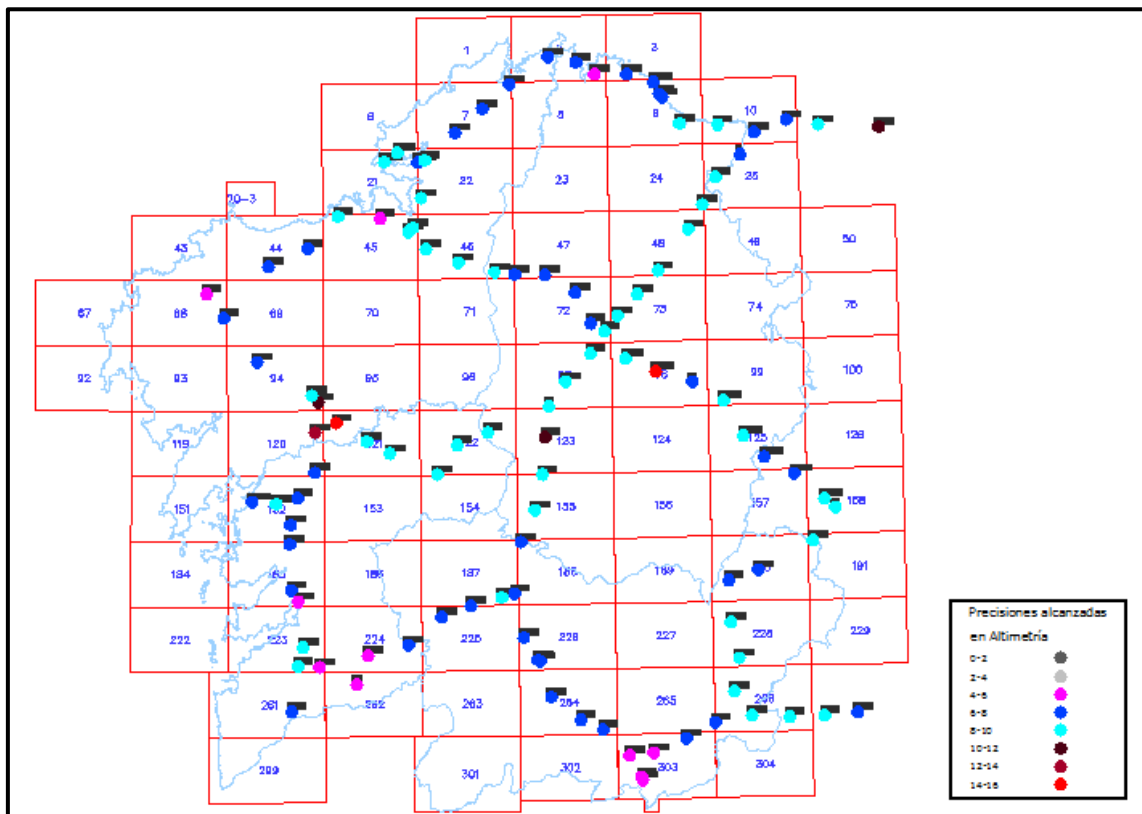


Figura 5.2-3 Mapa precisiones altimetría

En lo relativo a la planimetría, el histograma queda de la siguiente manera:

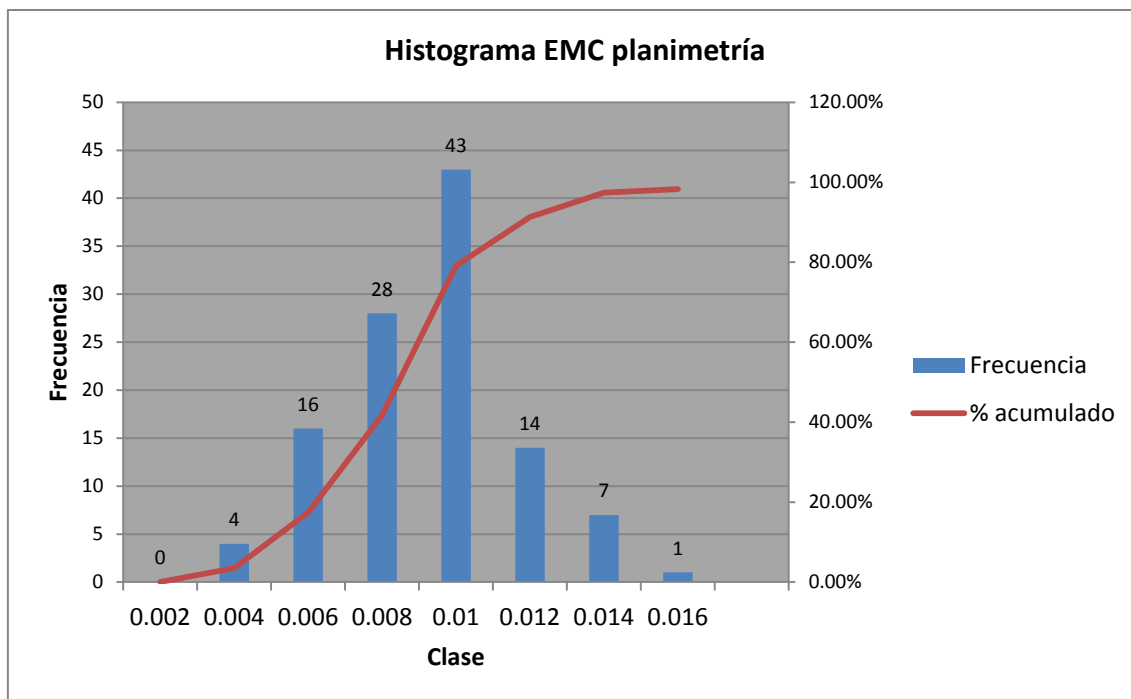


Figura 5.2-4 Histograma EMC planimetría

Por tanto según 4.2.1, y legitimado por todo lo anterior:

- ERROR ABSOLUTO MEDIO EN X (METROS): 0.005
- ERROR ABSOLUTO MEDIO EN Y (METROS): 0.006

Podemos afirmar por tanto que el 91% de todos los clavos han arrojado precesiones mejores de 12 mm en planimetría y que el 97% de los clavos han sido observados y ajustados con precisiones mejores de 12 mm.

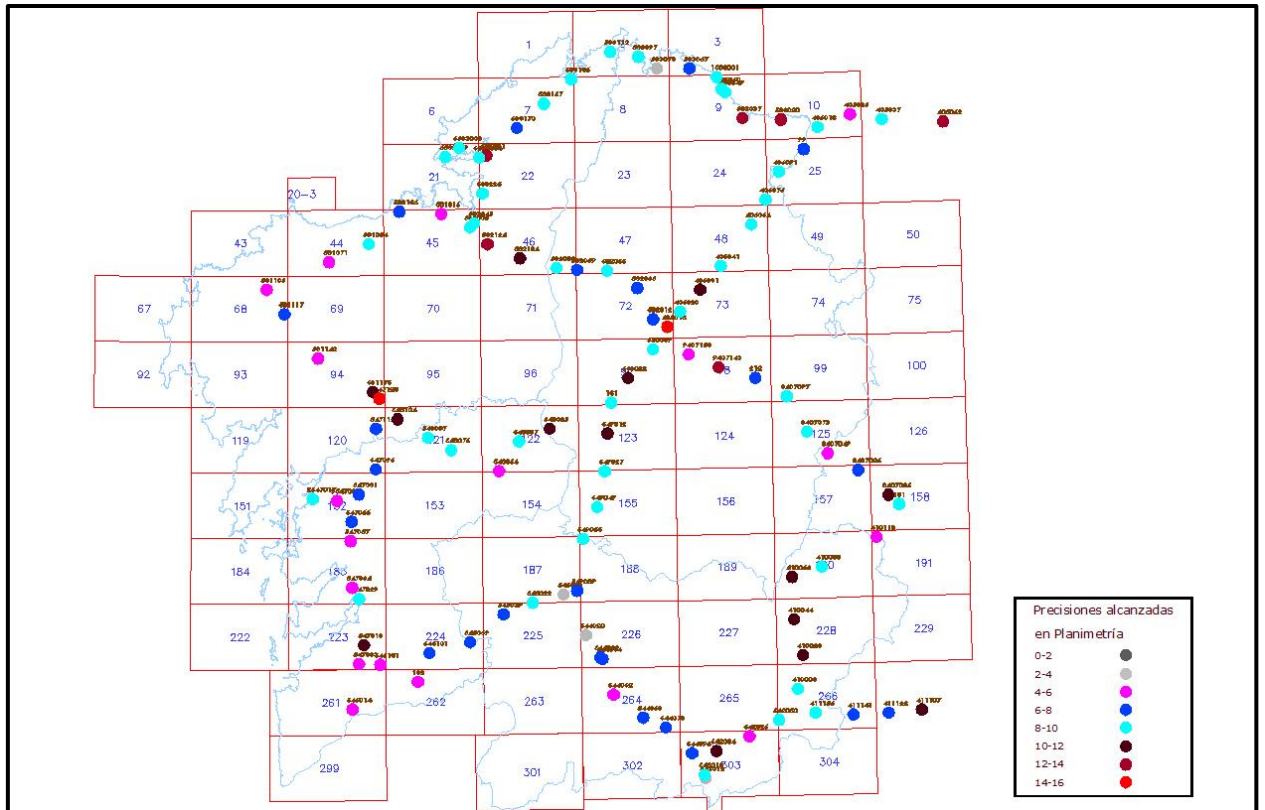


Figura 5.2-5 Mapa de precisiones planimetría

Por lo tanto podemos establecer que la cota de las ondulaciones calculadas por nosotros está en el orden subcentimétrico.

Se establece por tanto que la precisión de las ondulaciones calculada en la tesis es:

$$\sigma_{Ngeo} = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_H^2} = \pm 0.007 \text{ m}$$

Donde:

- σ_{Ngeo} es la desviación de las ondulaciones del modelo.
- σ_h^2 es la desviación de las alturas elipsoidales.
- σ_H^2 es la desviación de las alturas ortométricas.

5.3 CONTRASTE DE GEOIDES GRAVIMÉTRICOS

Para la realización del contraste de modelos se necesitan tanto la altura ortométrica de los clavos como la elipsoidal; la elipsoidal se ha calculado en 4.3.2 con la precisión final detallada en el punto anterior, y la ortométrica se tomará la oficial del IGN de la REDNAP.

Para poder hacer el contraste se han generado los siguientes archivos:

- GNI-GPS: ondulaciones calculadas directamente de nuestro cálculo, a partir de los clavos de nivelación y nuestras alturas.
- NIV-INT: ondulaciones del modelo de contraste interpoladas en las ubicaciones de nuestros puntos. La interpolación es lineal.
- NIV-ESC: ondulaciones del modelo nuestro pero escalado, es decir corrigiendo la diferencia de cota que puede presentarse.

- DIFDIF1: diferencias directas entre nuestras ondulaciones y las del modelo de contraste.
- DIFDIF2: diferencias directas entre nuestras ondulaciones y las del modelo de contraste escalado.

No se muestran los resultados en esta versión reducida de la tesis

En la siguiente tabla indicamos las diferencias:

	DIF-DIRECTAS					DIF-MODELO ESCALADO		
	MEDIA	DESV TÍPICA	MEDIA, VAL ABSOLUTOS	MAX	MIN	MEDIA	DESV TÍPICA	MEDIA, VAL ABSOLUTOS
IBER95	-0.058	0.467	0.376	0.844	-1.061	0.041	0.464	0.369
EGM96	-0.357	0.291	0.394	0.339	-0.954	0.035	0.282	0.221
EGG97	-0.406	0.146	0.406	-0.152	-0.696	0.035	0.117	0.098
CORCHETE	-0.370	0.322	0.373	0.107	-1.319	0.030	0.313	0.223
EGM08	-0.559	0.131	0.559	0.464	-0.758	0.023	0.050	0.043
EGM08REDNAP						-0.013	0.042	0.035

Tabla 5.3-1 Contraste de modelos geoidales

La corrección que se hace para el escalado es lineal:

$$(N_{\text{gravedad } TX} = N_{\text{gravedad}} + TX)$$

Se hace en función de la media de los valores absolutos y corrigiendo a posteriori la nueva ondulación.

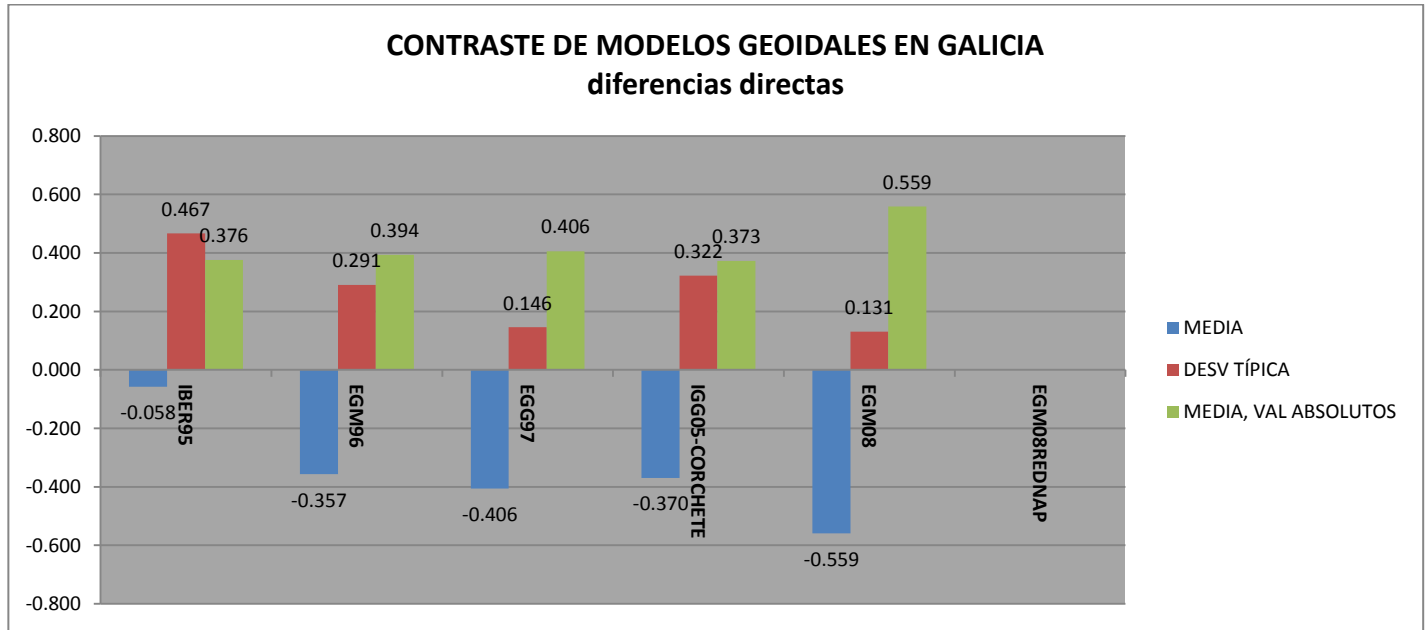


Figura 5.3-1 Gráfico de contraste de modelos geoidales, diferencias directas

Como vemos en el gráfico 5.3-1 los modelos que mejores resultados son los más recientes, fruto probablemente de su mayor precisión, al tener mayor número de orden en el cálculo de los armónicos esféricos.

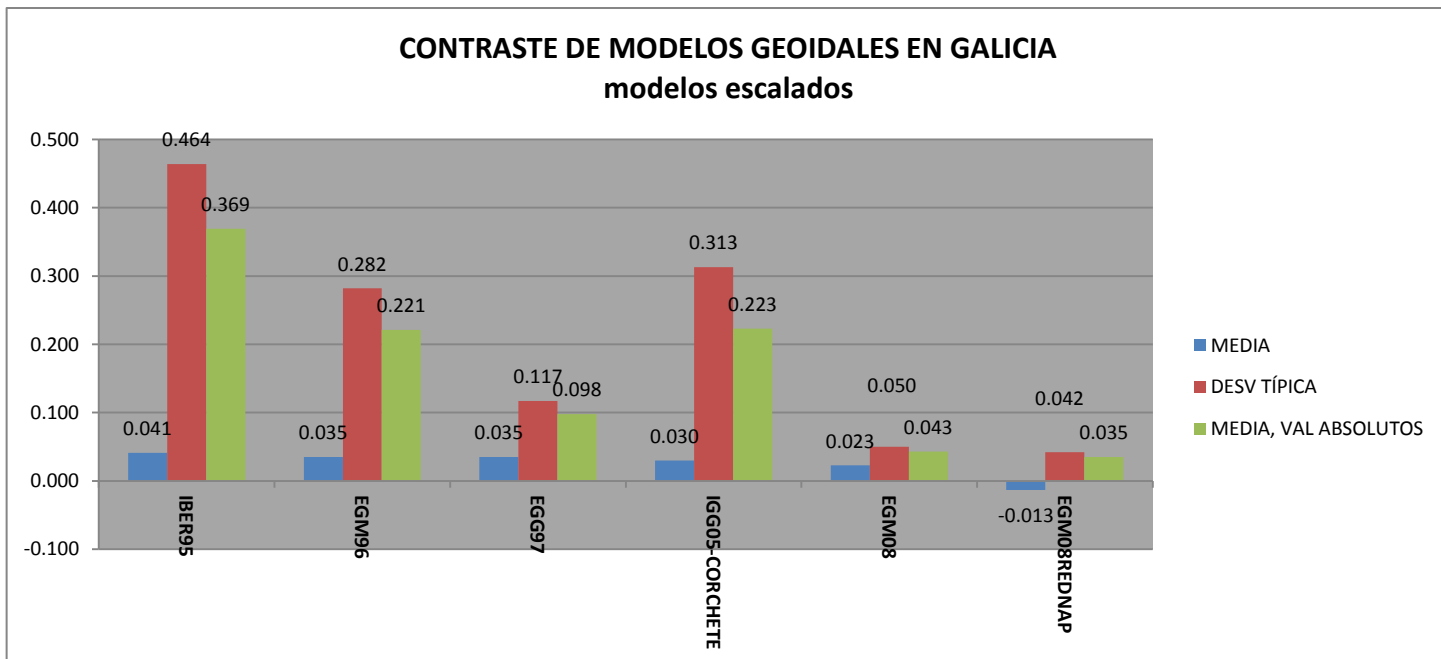


Figura 5.3-2 Gráfico de contraste de modelos geoidales, diferencias modelos escalados

Según el gráfico 5.3-2, la mejora con el modelo EGM08, es sustancial aumentando la precisión a valores por debajo de 0.050 m, lo cual también se trasmite a la superficie de corrección escalada del IGN, aunque llama la atención el cambio de signo de la media de uno al otro.

5.4 REVISIONES FUTURAS RECOMENDADAS

En esta Tesis Doctoral se han tratado una serie de aspectos relacionados con la geodesia satelital, sea por medio de gravimetría de satélite o a través de GNSS. El amplio campo de trabajo abarcado ha servido para establecer una base fundamental para desarrollar nuevos contrastes con futuros modelos que puedan aparecer.

En ese sentido, podemos marcar como futuras líneas de trabajos, una serie de aspectos que sería necesario acometer, o por organismos gubernamentales; o como en este caso por universidad ajenas, a priori a la comunidad gallega:

- En las fases iniciales de planificación y observación se han encontrado numerosos obstáculos para hacer observaciones GNSS oficializadas, debido a la gran cantidad de redes activas GNSS, presentes en la comunidad de Galicia. Todas ellas se caracterizan por una buena precisión (salvo casos contados), pero el marco de referencia en algunos casos, o no está claro, o no está perfectamente detallado. El actual auge de las mediciones RTK en VRS puede hacer posible, a medio plazo, conseguir mayor densidad de alturas elipsoidales en las líneas de nivelación. Estas nuevas alturas elipsoidales, tomando una serie de cuidados, y con un marco único, puede llegar a tener precisiones por debajo de 1.5 cm a día de hoy inalcanzables, tal y como están planteadas las redes activas de Galicia.
- En de suma importancia en la sociedad actual globalizada, acometer un proyecto conjunto con la zona transfronteriza con Portugal, que puede ser aprovechado ya para futuros chequeos de Sistema Europeo de Referencia Altimétrico **EVRS, (European Vertical Reference System)**.
- Contraste y posterior uso, si el contraste fuese adecuado, del nuevo modelo geoidal de la E.S.A., de la misión G.O.C.E. Esta documentación apareció en la etapa final de redacción de la Tesis por lo que se incluirá una vez entregada la misma como trabajo postdoctoral para usos particulares. La información se relacionada con los datos GOCE se puede encontrar en : <https://earth.esa.int/web/guest/earth-topics/solid-earth/Geoid>


Por tanto y esperando que los cálculos sirvan de referencia altimétrica para los trabajos de la comunidad, se pretende ofrecer el producto al IET para que sirva de base a toda la futura cartografía generada en un futuro.

CAPITULO-6 ANEXO DE RESEÑAS EMPLEADAS

Se presenta en los siguientes apartados, un anexo con las reseñas empleadas

6.1 RESEÑAS ERGNSS

Se detalla a continuación las reseñas empleadas:



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE FOMENTO
IGN INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Centro de Observaciones Geodésicas
Subdirección de Astronomía, Geodesia y Geofísica

RED DE ESTACIONES PERMANENTES - ERGNSS

SITUACIÓN

Código estación: ACOR
Nombre estación: A Coruña
Localización: Puerto de A Coruña. Edificio del mareógrafo
Construcción: Hexaedro de hormigón armado, torre metálica de 3 m. altura. Marca de coordenadas en base
Código IERS: 13434M001
Fecha instalación: 6 / 03 / 1998

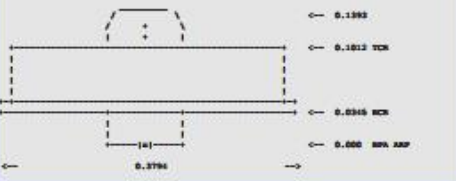
COORDENADAS ETRS89

Cartesianas (X, Y, Z)	Geográficas (φ, λ, h)	U.T.M. (x, y, huso)
4594489.890	43° 21' 51.77081" N	548701.341
-678368.010	8° 23' 56.16749" W	4801455.361
4357065.904	66.918 (elipsoidal)	29


INSTRUMENTACIÓN

Receptor: LEICA GRX1200PRO
Fecha de instalación: 18 / 03 / 2007
Antena: LEIATS04 LEIS
Fecha de instalación: 18 / 03 / 2007
Altura antena: 3.046 (BPA)

Esquema antena




← 0.1393
← 0.1613 TCM
← 0.8346 BCM
← 0.000 BPA ARP
← 0.3794 →




INFORMACIÓN ADICIONAL

- ▶ Estación perteneciente a la red EUREF Permanent Network (EPN) <http://www.epncb.oma.be>
- ▶ Datos horarios a 1, 5, 15 y 30 segundos y diarios a 30 segundos <ftp://ftp.geodesia.ign.es>
- ▶ Emisión de correcciones diferenciales DGPS y RTK RTCM 2.3 (mensajes 1, 3, 18, 19, 22, 23, 24.) RTCM3.1 (1004, 1006, 1008, 1019) a través del caster. <http://ergnss-ip.ign.es>
- ▶ E-mail de contacto: buzon-geodesia@fomento.es
- ▶ Última actualización: 04 / 06 / 2009

MAPA DE SITUACIÓN



FOTOS





Centro de Observaciones Geodésicas
Subdirección de Astronomía, Geodesia y Geofísica

RED DE ESTACIONES PERMANENTES - ERGNSS

SITUACIÓN

Código estación: VIGO
Nombre estación: Vigo
Localización: Instituto Español de Oceanografía Cabo Estay - Canido 36200 - Vigo - Pontevedra
Construcción: Bloque de hormigón armado de 0.5 m de altura. Marca de coordenadas en bloque en placa metálica.
Código IERS: 13450M001
Fecha instalación: 12 / 09 / 2001



COORDENADAS ETRS89

Cartesianas (X, Y, Z)	Geográficas (φ, λ, h)	U.T.M. (x, y, huso)
4677481.077	42° 11' 2.31839" N	515436.301
-725205.068	8° 48' 47.05753" W	4670220.255
4260827.192	67.790 (elipsoidal)	29

INSTRUMENTACIÓN

Receptor: TRIMBLE NETRS
Fecha de instalación: 23 / 03 / 2007
Antena: TRM29659.00 TCWD
Fecha de instalación: 12 / 09 / 2001
Altura antena: 0.000 (BPA)

Esquema antena



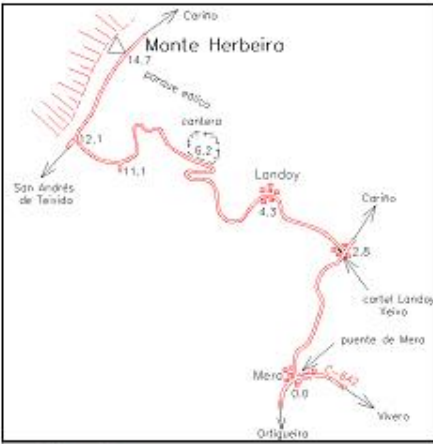
INFORMACIÓN ADICIONAL

- ▶ Estación perteneciente a la red EUREF Permanent Network (EPN) <http://www.epncb.oma.be>
- ▶ Datos horarios a 1, 5, 15 y 30 segundos y diarios a 30 segundos <ftp://ftp.geodesia.ign.es>
- ▶ Emisión de correcciones diferenciales DGPS y RTK RTCM 2.3 (mensajes 1, 2, 3, 18, 19, 22, 23, 24, y 59) a través del caster. <http://ergnss-ip.ign.es>
- ▶ E-mail de contacto: buzon-geodesia@fomento.es
- ▶ Última actualización: 04 / 06 / 2009



6.2 RESEÑAS VÉRTICES GEODÉSICOS

Se muestran a continuación las reseñas de los vértices empleados:

	<p style="margin: 0;">Centro de Observaciones Geodésicas Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica</p>												
<p>Reseña Vértice Geodésico 13-mar-2010</p>													
<p>Número.....: 173 Nombre.....: Monte Herbeira Municipio...: Ortigueira Provincia...: A Coruña Fecha de Construcción.....: 20 de noviembre de 1981 Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro. Último cuerpo.....: 0,20 m de alto, 1,00 m de ancho. Total cuerpos.....: 1 de 0,20 m de alto.</p>													
<p style="text-align: center;">Coordenadas Geográficas:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Sistema de Ref.: ED 50</td> <td style="width: 50%; text-align: right;">ETRS89</td> </tr> <tr> <td>Longitud.....: - 7° 56' 25,97130"</td> <td style="text-align: right;">- 7° 56' 31,45938"</td> </tr> <tr> <td>Latitud.....: 43° 43' 34,55250"</td> <td style="text-align: right;">43° 43' 30,55895"</td> </tr> <tr> <td>Altitud.....: 664,121 m (CF)</td> <td style="text-align: right;">664,121 m (CF)</td> </tr> <tr> <td>Compensación.: 01 de junio de 1984</td> <td style="text-align: right;">28 de noviembre de 2004</td> </tr> </table>	Sistema de Ref.: ED 50	ETRS89	Longitud.....: - 7° 56' 25,97130"	- 7° 56' 31,45938"	Latitud.....: 43° 43' 34,55250"	43° 43' 30,55895"	Altitud.....: 664,121 m (CF)	664,121 m (CF)	Compensación.: 01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004			
Sistema de Ref.: ED 50	ETRS89												
Longitud.....: - 7° 56' 25,97130"	- 7° 56' 31,45938"												
Latitud.....: 43° 43' 34,55250"	43° 43' 30,55895"												
Altitud.....: 664,121 m (CF)	664,121 m (CF)												
Compensación.: 01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004												
<p style="text-align: center;">Coordenadas UTM. Huso 29 :</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Sistema de Ref.: ED 50</td> <td style="width: 50%; text-align: right;">ETRS89</td> </tr> <tr> <td>X.....: 585334,370 m</td> <td style="text-align: right;">585209,217 m</td> </tr> <tr> <td>Y.....: 4842103,990 m</td> <td style="text-align: right;">4841890,953 m</td> </tr> <tr> <td>Factor escala....: 0,999689559</td> <td style="text-align: right;">0,999689304</td> </tr> <tr> <td>Convergencia...: 0° 43' 56,46766"</td> <td style="text-align: right;">0° 43' 52,62000"</td> </tr> <tr> <td>Altitud sobre el nivel medio del mar: 608,857 m. (BP)</td> <td></td> </tr> </table>	Sistema de Ref.: ED 50	ETRS89	X.....: 585334,370 m	585209,217 m	Y.....: 4842103,990 m	4841890,953 m	Factor escala....: 0,999689559	0,999689304	Convergencia...: 0° 43' 56,46766"	0° 43' 52,62000"	Altitud sobre el nivel medio del mar: 608,857 m. (BP)		
Sistema de Ref.: ED 50	ETRS89												
X.....: 585334,370 m	585209,217 m												
Y.....: 4842103,990 m	4841890,953 m												
Factor escala....: 0,999689559	0,999689304												
Convergencia...: 0° 43' 56,46766"	0° 43' 52,62000"												
Altitud sobre el nivel medio del mar: 608,857 m. (BP)													
<p style="text-align: center;">Situación:</p> <p>Situado en la cima del monte Herbeira, convertido en parque edílico, en terreno de pastos encima de unas rocas, y a unos 200 m. al N. de la garita Herbeira.</p>													
<p style="text-align: center;">Acceso:</p> <p>Desde el puente de Mera, en Mera, se toma la carretera a Cariño y a 2.8Km tomamos a la izquierda hacia Landoy y Xeixo; a los 4,3 Km pasamos por Landoy, a los 6.2 Km por una cantera, a los 11.1 Km dejamos un desvío a la izquierda y a los 12.1 Km tomamos a la derecha por una carretera que discurre por el este del acantilado y junto al parque edílico; a los 14.7 Km llegamos a la señal que se encuentra a la izda. de la carretera a unos 50 m. teniendo que saltar una pequeña alambrada. El acceso es para turismo en cualquier época del año.</p>													
<p style="text-align: center;">Horizonte GPS:</p> <p>Despejado</p>	<p style="text-align: center;">Observaciones:</p> <p>REGENTE. Vértice observado con GPS.</p>												
<p>CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.</p> <p style="text-align: right;">Informe del estado del Vértice: http://ftp.geodesia.jccm.es/vertices/173/173.html</p>													



Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña Vértice Geodésico

13-mar-2010

Número.....: **683**
 Nombre.....: **Lagoa**
 Municipio...: **Ferrol**
 Provincia...: **A Coruña**
 Fecha de Construcción.....: 06 de mayo de 1973
 Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,47 m de diámetro.
 Último cuerpo.....: 0,50 m de alto, 3,32 m de ancho.
 Total cuerpos.....: 1 de 0,50 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 8° 14' 20,07680"	- 8° 14' 25,61973"
Latitud.....:	43° 33' 19,91540"	43° 33' 15,87055"
Altitud.....:		364,459 m (CF)
Compensación.:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	561476,300 m	561350,242 m
Y.....:	4822877,700 m	4822664,117 m
Factor escala.....:	0,999646483	0,999646296
Convergencia.....:	0° 31' 28,02302"	0° 31' 24,16000"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 309,024 m. (BP)

Situación:

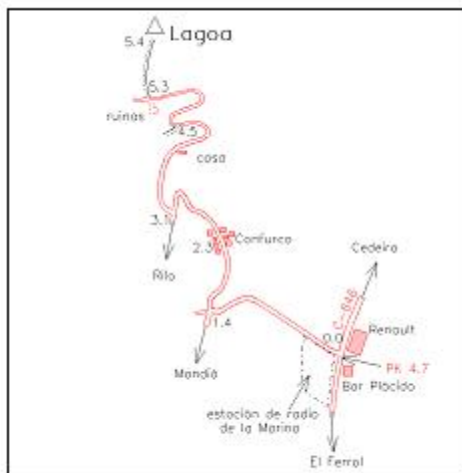
En el punto más alto del monte Lagoa, en la línea de término entre Ferrol y Narón, junto a un aljibe y unas ruinas a unos 150m más abajo.

Acceso:

Desde El Ferrol, por la carretera AC-116 a Cedeira, hasta el PK 3,5 donde se gira a la izquierda hacia Mandiá. Esta carretera sale frente al bar Plácido y un taller de Renault, y va pegada a la cerca de la estación de radio de La Marina. A los 1400 m. se bifurca y se toma a la derecha por la que va a Confurco. Pasada esta aldea, se sigue hasta los 3100 m, y después de pasar una curva muy cerrada a la izquierda, se sigue por la derecha hasta la cima a la que se llega a los 5300 m. El camino es apto para turismo en cualquier época del año.

Horizonte GPS:

Despejado.



Observaciones:

EUREF 89.
 IBERIA 95.
 REGENTE.
 Vértice observado con GPS.

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.

Informe del estado del Vértice: <http://icgito.geodesia.jcm.es/vrtices/inf683.pdf>

Reseña Vértice Geodésico

8-jun-2013

Número.....: 745
Nombre.....: Monte Agudo
Municipios: Valdoviño
Provincias: A Coruña
Fecha de Construcción.....: 16 de noviembre de 1981
Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
Último cuerpo.....: 0,20 m de alto, 1,00 m de ancho.
Total cuerpos.....: 1 de 0,20 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 8° 02' 05,6963"	- 8° 02' 11,20011"
Latitud.....:	43° 35' 27,9519"	43° 35' 23,93026"
Alt. Elipsoidal...:		430,615 m (CF)
Compensación...:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	577907,97 m	577782,407 m
Y.....:	4826998,80 m	4826785,511 m
Factor escala...:	0,999674652	0,999674417
Convergencia...:	0° 39' 56"	0° 39' 52"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 374,788 m. (BP)

Situación:

En el punto más alto del monte Coto Agudo, de formación rocosa junto y al Sur de una caseta de observación de incendios de la Consejería de Medio Ambiente.

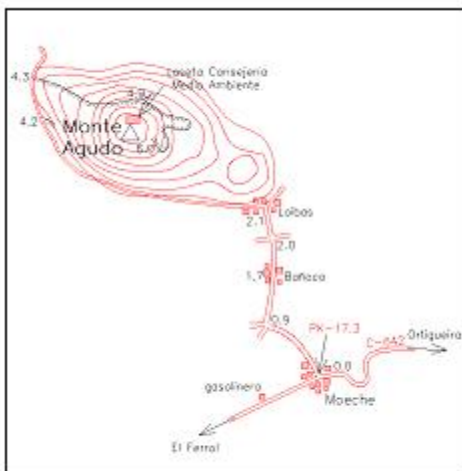
Acceso:

Desde el PK-17.300 de la carretera C-642 de El Ferrol a Ortigueira, en Moeche, y 500m después de haber pasado una gasolinera, se toma una carretera que lleva a Balloca y Loibas; en esta localidad giramos a la izquierda por el lado Sur del monte recorriendo 2.2 km., tomamos entonces a la derecha por una pista entre eucaliptos que a los 1.7 km nos lleva a unos 50m del vértice al que se sube andando. Es accesible con turismo, con alguna dificultad por la pendiente.

Horizonte GPS:

En la dirección Norte, y en un arco de unos 13°, sobresale la caseta 17° respecto al pilar.

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.



Observaciones:

REGENTE.
Vértice observado con GPS.

Informe del estado del Vértice: <http://itg.geodesia.jm.es/vrtices/infvrtice.asp>



Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña Vértice Geodésico

5-jun-2010

Número.....: **1143**
 Nombre.....: **Sienra**
 Municipio...: **Navia**
 Provincia...: **Asturias**
 Fecha de Construcción.....: **04 de agosto de 1996**
 Pilar con centrado forzado...: **1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.**
 Último cuerpo.....: **1,00 m de alto, 1,00 m de ancho.**
 Total cuerpos.....: **1 de 1,00 m de alto.**

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 6° 41' 34,13580"	- 6° 41' 39,43645"
Latitud.....:	43° 33' 25,96690"	43° 33' 22,02477"
Altitud.....:		124,876 m (CF)
Compensación.:	01 de febrero de 1988	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	686357,770 m	686233,626 m
Y.....:	4825369,260 m	4825156,570 m
Factor escala.....:	1,000027168	1,000028632
Convergencia.....:	1° 35' 25,03522"	1° 35' 21,26000"

Altitud sobre el nivel medio del mar: **70,458 m. (BP)**

Situación:

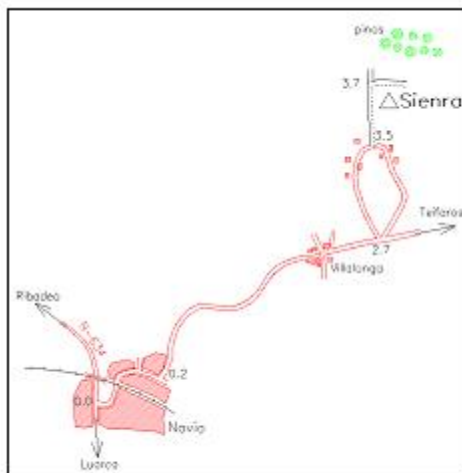
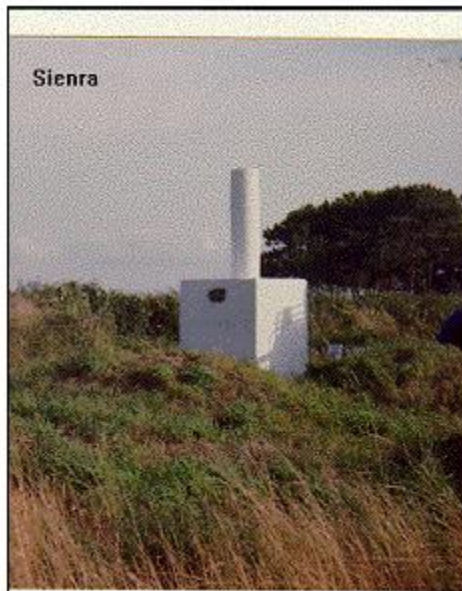
En un pequeño montículo al Norte de Teifaros y Villalonga, junto a un camino en un prado.

Acceso:

Desde Navia, en la N-634 dirección a Ribadeo, y antes de pasar la ría y el F.E.V.E. se toma dirección a Olga (indicado), pasando ésta misma carretera por Villalonga. Una vez rebasado éste último, y a los 2,7 Km desde Navia se toma a la izquierda por una carretera que hace bucle, a los 3.5 Km llegamos a unas casas, estando la señal 200 m. más al Norte, antes de unos pinos.

Horizonte GPS:

Despejado



Observaciones:

REGENTE.
 Colocado el centrado en la campaña de Regente del 2000
 Vértice observado con GPS.

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.

Informe del estado del Vértice: sitiu.geodesia.jccm.es/vrtices/informegc.pdf

Reseña Vértice Geodésico

8-jun-2013

Número.....: 2163
Nombre.....: Lorbé
Municipios: Oleiros
Provincias: A Coruña
Fecha de Construcción.....: 08 de marzo de 1982
Pilar con centrado forzado...: 1,14 m de alto, 0,30 m de diámetro.
Último cuerpo.....: 0,20 m de alto, 1,00 m de ancho.
Total cuerpos.....: 1 de 0,20 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 8° 18' 20,4231"	- 8° 18' 25,95146"
Latitud.....:	43° 23' 49,8847"	43° 23' 45,79892"
Alt. Elipsoidal...:		176,042 m (CF)
Compensación...:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	556230,21 m	556104,313 m
Y.....:	4805244,82 m	4805030,630 m
Factor escala...:	0,999638890	0,999638719
Convergencia...:	0° 28' 37"	0° 28' 34"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 120,391 m. (BP)

Situación:

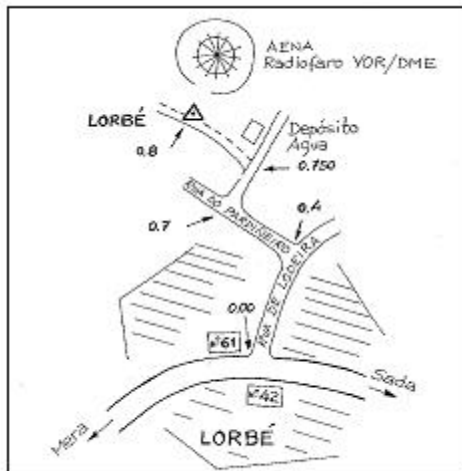
A unos 20 m. al S. del radiofaro VOR/DME de navegación aérea.

Acceso:

Desde la parte más alta de la carretera que comunica Lorbé con Mera y Sada, se toma al norte por la Rúa de Lodeira, a los 0.4 se gira a la izquierda por la rúa do Pardiñeiro y a los 0.7 a la derecha por la que conduce al depósito de agua, que enseguida dá vista al vértice. Recorrido apto para cualquier vehículo.

Horizonte GPS:

Despejado



Observaciones:

REGENTE.
 No dejar el vehículo a menos de 50 m. de la baliza, por afectar lo metálico a su funcionamiento.
 Vértice observado con GPS.

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.

Informe del estado del Vértice: ic@itg.geodesia.jcn.es / itg@itg.geodesia.jcn.es



Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña Vértice Geodésico

13-mar-2010

Número.....: **4430**
 Nombre.....: **O Cotón**
 Municipio.....: **Coristanco**
 Provincia.....: **A Coruña**
 Fecha de Construcción.....: **08 de octubre de 1981**
 Pilar con centrado forzado.....: **1,18 m de alto, 0,30 m de diámetro.**
 Último cuerpo.....: **0,50 m de alto, 1,00 m de ancho.**
 Total cuerpos.....: **1 de 0,50 m de alto.**

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 8° 44' 53,55380"	- 8° 44' 59,07780"
Latitud.....:	43° 10' 21,30780"	43° 10' 17,17087"
Altitud.....:		341,096 m (CF)
Compensación.:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	520466,450 m	520341,170 m
Y.....:	4780097,510 m	4779883,191 m
Factor escala.....:	0,999605152	0,999605090
Convergencia.....:	0° 10' 20,19104"	0° 10' 16,40000"
Altitud sobre el nivel medio del mar:		284,830 m. (BP)

Situación:

En lo más alto de un cabezo redondeado, en terreno de eucaliptos.

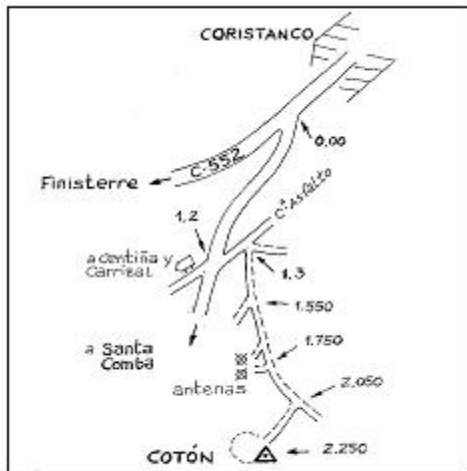
Acceso:

Desde Coristanco por la C-552 hacia Finisterre, a 1 km sale a la izquierda la carretera a Santa Comba. Por ésta, se recorren 1.2 km y se toma a la izquierda por un camino asfaltado (frente al desvío de Centiña y Carrizal). A los 1.3 se toma a derecha por un camino, a los 1.750 se dejan a derecha unas antenas. A los 2.050 se toma un carril a la derecha y se llega a la señal a los 2.250 m. En seco llega un coche, pero el último tramo lo hace mejor un T.T.

Horizonte GPS:

Despejado

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.



Observaciones:

REGENTE.
 Vértice observado con GPS.

Informe del estado del Vértice: <http://itb.geodesia.jccm.es/vrtices/inf@G.pdf>

Reseña Vértice Geodésico

8-jun-2013

Número.....: **4673**
 Nombre.....: **Buño**
 Municipios: Aranga
 Provincias: A Coruña
 Fecha de Construcción.....: 02 de diciembre de 1981
 Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
 Último cuerpo.....: 2,50 m de alto, 1,00 m de ancho.
 Total cuerpos.....: 1 de 2,50 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 7° 56' 55,9761"	- 7° 57' 01,41927"
Latitud.....:	43° 13' 45,1306"	43° 13' 41,04884"
Alt. Elipsoidal...:		790,986 m (CF)
Compensación...:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	585359,97 m	585234,837 m
Y.....:	4786890,74 m	4786876,734 m
Factor escala...:	0,999689624	0,999689368
Convergencia...:	0° 43' 12"	0° 43' 08"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 733,802 m. (BP)

Situación:

Situado en la parte más alta del cerro "Buño", en terreno de tojo y pinos, propiedad de ICONA, y a unos 20 m. al N. de un cortafuegos que sale de una pista y cruza todo el cerro de E. a O.

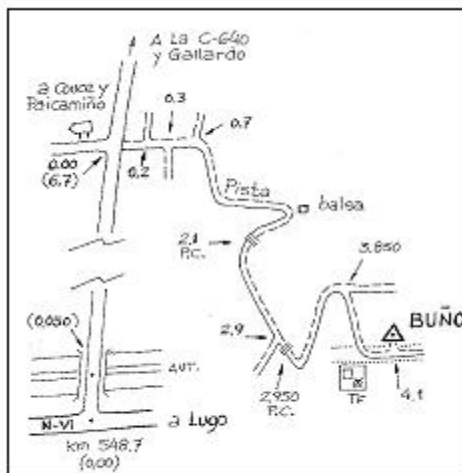
Acceso:

Desde el kilómetro 548,7 de la N-VI, se toma hacia el N. por la carretera local de Cambás. Recorridos 6,7 km., a la altura del desvío indicado a Couce y Paicamiño, se coge a la derecha por una pista forestal. Desde este punto y siguiendo el croquis, se llega al vértice después de un recorrido total de 4,1 km. El recorrido es apto para cualquier vehículo.

Horizonte GPS:

Despejado

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.



Observaciones:

REGENTE.
Vértice observado con GPS.

Informe del estado del Vértice: <http://itg.geodesia.jccm.es/vrtices/infBG.pdf>



Reseña Vértice Geodésico

8-jun-2013

Número.....: **4865**
 Nombre.....: **Gueimonde**
 Municipios: **Pastoriza, A**
 Provincias: **Lugo**
 Fecha de Construcción.....: 01 de octubre de 1982
 Pilar con centrado forzado...: 1,18 m de alto, 0,30 m de diámetro.
 Último cuerpo.....: 1,00 m de alto, 1,00 m de ancho.
 Total cuerpos.....: 1 de 1,00 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 7° 17' 36,0650"	- 7° 17' 41,41828"
Latitud.....:	43° 15' 43,8492"	43° 15' 39,82018"
Alt. Elipsoidal...:		691,606 m (CF)
Compensación...:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	638520,86 m	638396,326 m
Y.....:	4791430,88 m	4791217,419 m
Factor escala...:	0,999836021	0,999835615
Convergencia...:	1° 10' 11"	1° 10' 08"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 634,544 m. (BP)

Situación:

Situado en la cima del Alto de Regueiriña, al S.E. del pueblo de Pastoriza.

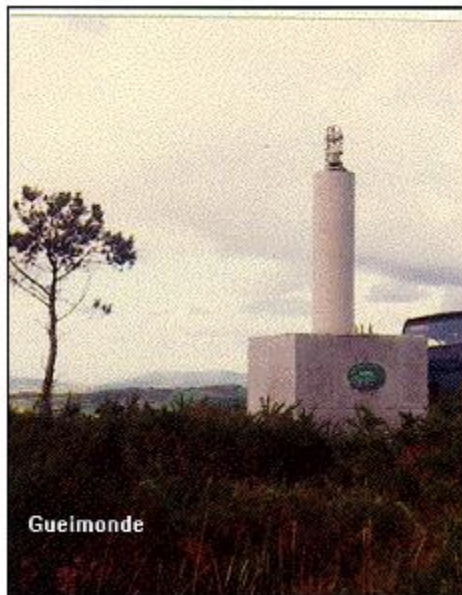
Acceso:

Desde Meira por la carretera N-640 hacia Pontenova, en el km 56.450 se toma a la izquierda el desvío a Piñeiro. Desde este punto, a los 1.25 km se pasa por Piñeiro, a los 1.950 (cruce) se toma a la derecha, a los 2.5 se deja un desvío a la izquierda (aldea de O Castro) y 2 desvíos a la derecha. A los 3.3 se deja desvío a derecha, a los 3.550 se coge desvío a la derecha y a los 4.350 se deja el asfalto, y se coge una pista a la izquierda (se croquiza otro acceso hasta este mismo punto). A los 4.550 se coge a la derecha una trocha que conduce al vértice en 300 m. El recorrido descrito es por asfalto excepto los últimos 500 m. El alternativo es más corto y sencillo por pistas. Accede cualquier vehículo (con firme seco).

Horizonte GPS:

Despejado

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.



Gueimonde



Observaciones:

REGENTE.
Vértice observado con GPS.

Informe del estado del Vértice: sitiu.geodesia.jm.es/vertices/inf65.pdf

Reseña Vértice Geodésico

13-mar-2010

Número.....: **9553**
 Nombre.....: **As Minas**
 Municipio.....: **Pino, O**
 Provincia.....: **A Coruña**
 Fecha de Construcción.....: **07 de noviembre de 1981**
 Pilar con centrado forzado.....: **1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.**
 Último cuerpo.....: **1,50 m de alto, 1,00 m de ancho.**
 Total cuerpos.....: **1 de 1,50 m de alto.**

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 8° 20' 03,45330"	- 8° 20' 08,89487"
Latitud.....:	42° 53' 44,01520"	42° 53' 39,86315"
Altitud.....:		507,726 m (CF)
Compensación.....:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	554355,110 m	554230,215 m
Y.....:	4749517,320 m	4749302,871 m
Factor escala.....:	0,999636343	0,999636179
Convergencia.....:	0° 27' 11,28312"	0° 27' 07,54000"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 450,333 m. (BP)

Situación:

En lo más alto del Monte Das Minas, conocido también como Coto de Picón, en terreno de monte bajo.

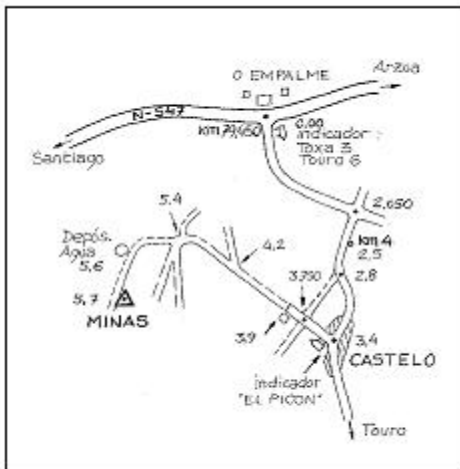
Acceso:

Desde O Empalme en el km. 79.45 de la N-547, se toma hacia el S. la carretera a Toxa. A los 2.05 se toma a la derecha la que va a Touro. A los 3.4 km., en la aldea de Castelo, se toma a la derecha una pista asfaltada con indicador "El Picón". A los 3.9 se acaba el asfalto, a los 4.2 se deja pista a la derecha y a los 5.4 se sale a la derecha por un camino que sube. A los 5.6 se pasa junto a un depósito de agua y a los 5.7 está la señal. El recorrido es apto para cualquier vehículo con el suelo seco.

Horizonte GPS:

Despejado

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.



Observaciones:

REGENTE.
Vértice observado con GPS.

Informe del estado del Vértice: <http://itg.geodesia.jcm.es/vrtices/inf9553.pdf>



Reseña Vértice Geodésico

8-jun-2013

Número.....: 9766
 Nombre.....: O Picato
 Municipios: Lugo
 Provincias: Lugo
 Fecha de Construcción.....: 03 de julio de 1983
 Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
 Último cuerpo.....: 1,00 m de alto, 1,00 m de ancho.
 Total cuerpos.....: 1 de 1,00 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 7° 38' 48,3084"	- 7° 38' 53,67367"
Latitud.....:	42° 56' 09,4702"	42° 56' 05,36657"
Alt. Elipsoidal...:		840,693 m (CF)
Compensación...:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	610421,29 m	610296,650 m
Y.....:	4754677,61 m	4754463,505 m
Factor escala...:	0,999749987	0,999749660
Convergencia...:	0° 55' 19"	0° 55' 15"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 783,296 m. (BP)

Situación:

En la cima del monte Picato, donde existe un observatorio forestal y varias antenas, en terreno de monte bajo.

Acceso:

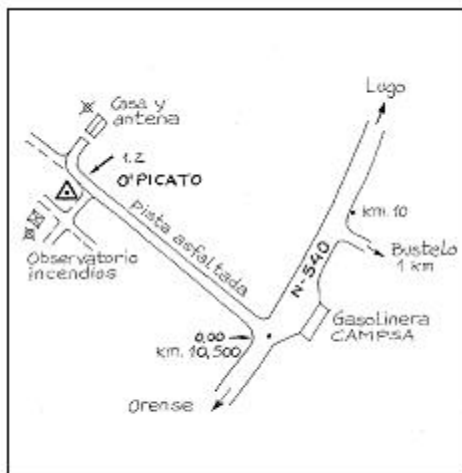
Desde Lugo hacia Orense por la N-540, hasta el km. 10.5. En este punto, frente a una gasolinera Campsa, sale a la derecha una pista asfaltada que conduce a la señal en 1.2 km.
 El recorrido es apto para cualquier vehículo.

Horizonte GPS:

Despejado con antenas



O Picato



Observaciones:

REGENTE.
 Anteriormente denominado Picato. Nombre actual según escrito (02/06/96) del Servicio Regional de Galicia.
 Vértice observado con GPS.

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.

Informe del estado del Vértice: sitiu.geodesia.jm.es/imagenes/inf@G.pdf

Reseña Vértice Geodésico

8-jun-2013

Número.....: **12065**
 Nombre.....: **Meda**
 Municipios: **Padrón**
 Provincias: **A Coruña**
 Fecha de Construcción.....: 01 de septiembre de 1981
 Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
 Último cuerpo.....: 0,50 m de alto, 1,00 m de ancho.
 Total cuerpos.....: 1 de 0,50 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 8° 37' 40,6442"	- 8° 37' 46,10946"
Latitud.....:	42° 45' 14,7938"	42° 45' 10,60443"
Alt. Elipsoidal...:		503,781 m (CF)
Compensación...:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	530446,69 m	530321,628 m
Y.....:	4733661,66 m	4733446,984 m
Factor escala...:	0,999611404	0,999611311
Convergencia...:	0° 15' 09"	0° 15' 06"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 447,151 m. (BP)

Situación:

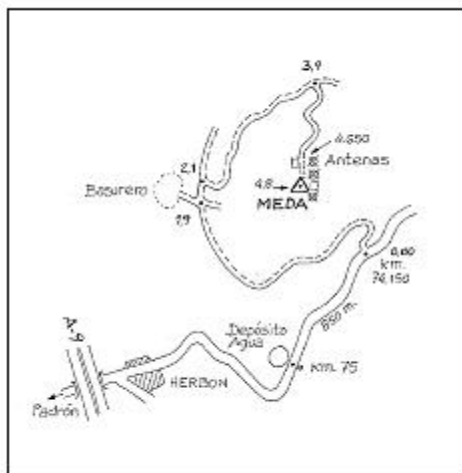
Situado en lo alto del monte Meda, a unos 3 Km. al N.E. de Padrón. La señal queda a unos metros de una caseta abandonada de guardabosques de ICONA y una antena de T.V.

Acceso:

Desde Padrón hacia el E., se sigue la carretera que pasa por Herbón y que va paralela al río Ulla. En el Km. 75, se deja a la izquierda un depósito de agua y en el km. 74.150, se coge a la izquierda un camino. Desde este punto, a los 1.9 km. se atraviesa un camino que a la izquierda va a un basurero. A los 2.1 se coge otro camino a la derecha. A los 3.9, se gira a la derecha por un camino asfaltado, a los 4.65 se llega a las primeras antenas y a los 4.8 se llega junto a la señal. El trazado es apto para cualquier vehículo, pero el firme está estropeado, por lo que se recomienda usar vehículo T.T.

Horizonte GPS:

Aceptable con varias antenas



Observaciones:

REGENTE.
 Tiene clavo de nivelación secundario.
 Vértice observado con GPS.

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.

Informe del estado del Vértice: sitiu.geodesia.jm.es/visor/verVerc.php



Reseña Vértice Geodésico

8-jun-2013

Número.....: **12204**
 Nombre.....: **O Carrio**
 Municipios: Lalin; Vila de Cruces
 Provincias: Pontevedra
 Fecha de Construcción.....: 12 de mayo de 1982
 Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
 Último cuerpo.....: 0,30 m de alto, 1,00 m de ancho.
 Total cuerpos.....: 2 de 0,60 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 8° 09' 09,8472"	- 8° 09' 15,25432"
Latitud.....:	42° 44' 28,0153"	42° 44' 23,84831"
Alt. Elipsoidal...:		884,216 m (CF)
Compensación.:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	569351,76 m	569226,924 m
Y.....:	4732499,64 m	4732284,992 m
Factor escala...:	0,999659167	0,999658958
Convergencia...:	0° 34' 30"	0° 34' 26"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 826,783 m. (BP)

Situación:

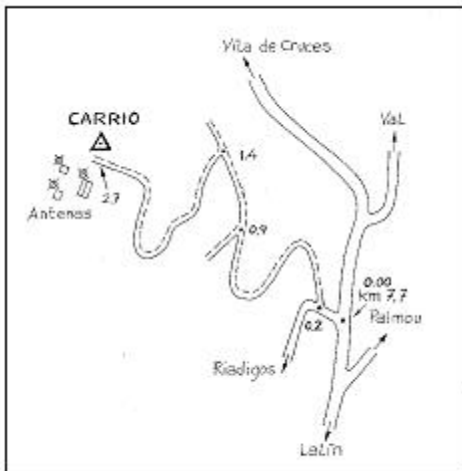
Situado en la parte más alta del monte Carrio, en terreno de monte bajo con muchas rocas, junto a una antena metálica y una caseta de Telefónica.

Acceso:

Desde Lalin por la carretera a Vila de Cruces, en el km 7.7, sale a la izquierda una carretera que vá a Riadigos. Desde aquí, a los 0.2 km. se coge un camino a la derecha, a los 0.9 se deja un camino a la izquierda, a los 1.4 se deja un camino a la derecha y a los 2.7 se llega a la señal. El trazado es apto para cualquier vehículo pero el firme está bastante irregular. Mejor usar un T.T.

Horizonte GPS:

Despejado, con antenas.



Observaciones:

REGENTE.
Vértice observado con GPS.

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.

Informe del estado del Vértice: sitiu.geodesia.jm.es/vrtices/infBG.pdf

Reseña Vértice Geodésico

8-jun-2013

Número.....: **15515**
 Nombre.....: **San Sebastián**
 Municipios: **Chantada**
 Provincias: **Lugo**
 Fecha de Construcción.....: **09 de julio de 1982**
 Pilar con centrado forzado...: **1,19 m de alto, 0,30 m de diámetro.**
 Último cuerpo.....: **0,25 m de alto, 1,00 m de ancho.**
 Total cuerpos.....: **1 de 0,25 m de alto.**

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 7° 47' 12,5953"	- 7° 47' 17,94926"
Latitud.....:	42° 35' 19,2561"	42° 35' 15,09445"
Alt. Elipsoidal...:		798,421 m (CF)
Compensación...:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	599545,54 m	599420,788 m
Y.....:	4715937,90 m	4715723,406 m
Factor escala...:	0,999721906	0,999721610
Convergencia...:	0° 49' 16"	0° 49' 12"

Altitud sobre el nivel medio del mar: **740,999 m. (BP)**

Situación:

Situado en el Alto de San Sebastián, emplazado al Sur-Suroeste de Chantada.

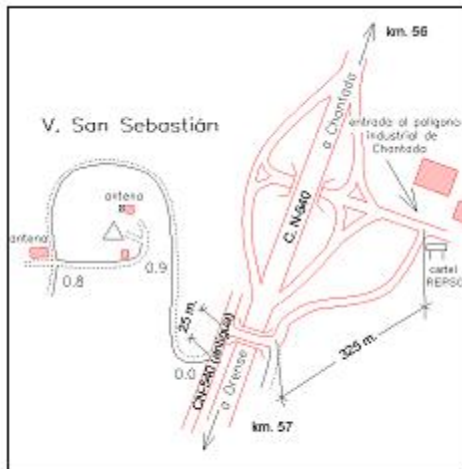
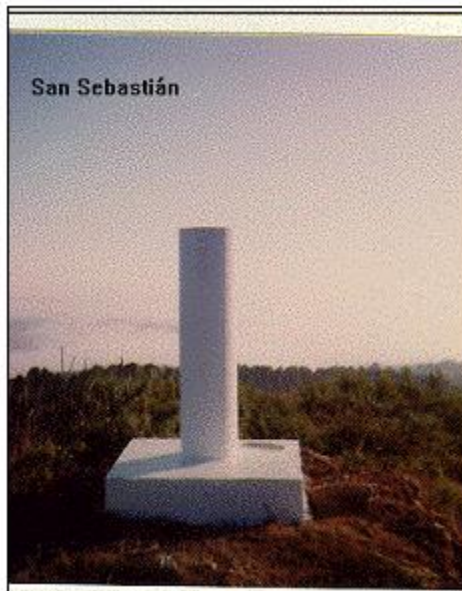
Acceso:

Desde Chantada por la carretera N-540 hacia Orense tomamos pasado el km. 56 la salida al polígono industrial de Chantada; a la entrada del polígono tomamos una carretera a la dcha. que en 350 m. cruza por un paso superior la N-540 y nos sitúa en la N-540 antigua; giramos a la izqda. e inmediatamente después cogemos un camino a la dcha. (apto para turismos) que en 800 m. nos conduce a un cruce junto a una caseta y repetidor de Telefónica, giramos a la izqda. y 100 m. más adelante llegamos a un chozo utilizado por el retén de los vigilantes forestales, rodeándolo por la dcha. llegamos al vértice que se encuentra en lo más alto del cerro y a unos 20 metros del chozo.

Horizonte GPS:

Despejado

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.



Observaciones:

REGENTE.
Vértice observado con GPS.

Informe del estado del Vértice: <http://sitiu.geodesia.jun.es/v/ver/ver15515.html>



Reseña Vértice Geodésico

8-jun-2013

Número.....: **18498**
 Nombre.....: **Loureiro**
 Municipios: Grove, O
 Provincias: Pontevedra
 Fecha de Construcción.....: 01 de junio de 1982
 Pilar con centrado forzado.: 1,19 m de alto, 0,30 m de diámetro.
 Último cuerpo.....: 0,20 m de alto, 1,00 m de ancho.
 Total cuerpos.....: 1 de 0,20 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 8° 52' 46,0013"	- 8° 52' 51,47520"
Latitud.....:	42° 28' 18,0339"	42° 28' 13,79619"
Alt. Elipsoidal...:		217,954 m (CF)
Compensación.:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	509910,48 m	509785,215 m
Y.....:	4702239,04 m	4702024,196 m
Factor escala...:	0,999601208	0,999601178
Convergencia...:	0° 04' 53"	0° 04' 49"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 161,712 m. (BP)

Situación:

Sobre una gran roca, a unos 30 m. al norte del Centro de interpretación del Monte Xiradella.

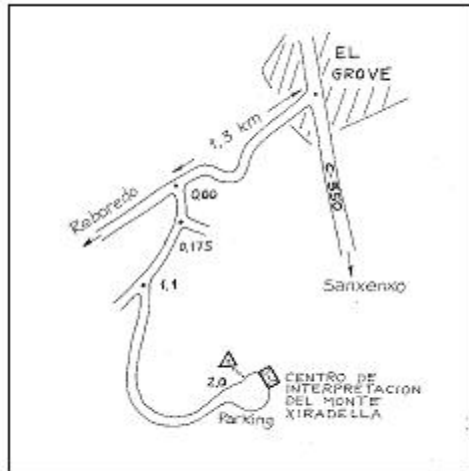
Acceso:

Desde la C-550 en el casco de O GROVE, se coge la carretera que en dirección S.O. vá a Reboredo. En el P.K. 1.3 sale a la izquierda una carretera indicada al CENTRO DE INTERPRETACION DEL MONTE XIRADELLA. El trayecto es de 2 km. aptos para cualquier vehículo.

Julio - 2011: Se ha construido un nuevo parking junto a un Área Recreativa a unos 250 m. antes de llegar al Centro de Interpretación. Desde el parking hasta el Centro el acceso está prohibido para vehículos aunque no hay ninguna barrera que impida el paso.

Horizonte GPS:

Despejado



Observaciones:

REGENTE.
Vértice observado con GPS.

Estado: 19 de julio de 2011
 Pilar: Deteriorado Base: Deteriorada

Informe del estado del Vértice: itg.geodesia.jrc.es/itg/ver/ver66.pdf

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.

Reseña Vértice Geodésico

13-mar-2010

Número.....: 19072
 Nombre.....: Lomenzón
 Municipio.: Carballeda de Valdeorras
 Provincia.: Orense
 Fecha de Construcción.....: 10 de agosto de 1982
 Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
 Último cuerpo.....: 0,50 m de alto, 1,00 m de ancho.
 Total cuerpos.....: 1 de 0,50 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 6° 56' 46,20100"	- 6° 56' 51,43473"
Latitud.....:	42° 22' 47,86560"	42° 22' 43,71329"
Altitud.....:		1260,233 m (CF)
Compensación.:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	669089,050 m	668964,710 m
Y.....:	4694091,310 m	4693876,597 m
Factor escala.....:	0,999951762	0,999951272
Convergencia...:	1° 23' 04,92447"	1° 23' 01,28000"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 1201,859 m. (BP)

Situación:

Situado en el extremo N.E. de la loma de Los Lomenzones, en terreno de monte bajo, próxima a terrenos de labor.

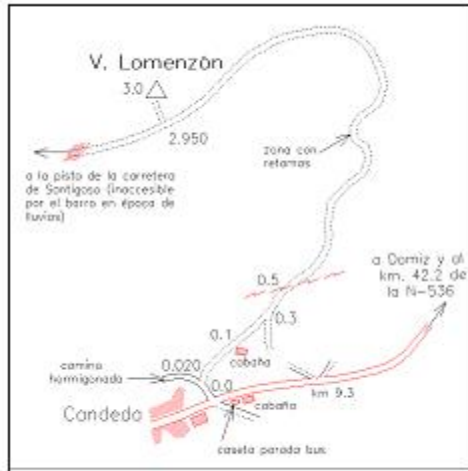
Acceso:

Desde Sobradelo por la carretera N-536 en dirección a El Barco, en el km. 42.2 aprox. se toma la carretera a la izquierda a Dormiz y Candeda, a los 10 km. justo a la entrada de Candeda se toma un camino que sale a la derecha frente a una caseta-parada de autobús. El camino es apto sólo para vehículo T.T. desde el principio, estrecho y con varios tramos muy cerrados por las retamas; continuamos por él 2.950 m. hasta llegar al vértice que queda 50 m. a la derecha..

Horizonte GPS:

Despejado

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.



Observaciones:

REGENTE.
Vértice observado con GPS.

Informe del estado del Vértice: info.geodesia@un.es / info@igcn.es



Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña Vértice Geodésico

13-mar-2010

Número.....: **26235**
 Nombre.....: **San Xoán**
 Municipio...: **Neves, As**
 Provincia...: **Pontevedra**
 Fecha de Construcción.....: **21 de junio de 1982**
 Pilar con centrado forzado...: **1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.**
 Último cuerpo.....: **0,50 m de alto, 1,00 m de ancho.**
 Total cuerpos.....: **1 de 0,50 m de alto.**

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 8° 24' 43,83960"	- 8° 24' 49,22310"
Latitud.....:	42° 05' 55,84200"	42° 05' 51,57200"
Altitud.....:		381,988 m (CF)
Compensación.:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	548608,950 m	548483,971 m
Y.....:	4861000,850 m	4860785,584 m
Factor escala.....:	0,999629071	0,999628924
Convergencia.....:	0° 23' 38,72632"	0° 23' 35,08000"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 325,264 m. (BP)

Situación:

Situado en la parte más alta del monte San Juan, en terreno de monte bajo.

Acceso:

Desde As Neves por el centro urbano de la población cogemos la carretera hacia Pontearreas, y a los 300 mts. aproximadamente de la iglesia de As Neves tomamos una carretera que sale a la derecha indicada a "San Nomedio" y "Rias Baixas-Ruta do viño". Se pasa junto al campo de fútbol y al depósito de agua, a los 1,1 km. dejamos a la derecha un desvío al vertedero, a los 1,5 km. dejamos la carretera y entramos a la dcha. por un camino (apto para T.T.) que en 200 m. nos conduce al vértice.

Horizonte GPS:

Despejado



San Xoán [San Xoán]



Observaciones:

REGENTE.
 Vértice observado con GPS.

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.

Informe del estado del Vértice: <http://itb.geodesia.jm.es/vrtices/infbv02.pdf>

Reseña Vértice Geodésico

8-jun-2013

Número.....: 26373
Nombre.....: Fonsanta
Municipios: Bande
Provincias: Orense
Fecha de Construcción.....: 17 de junio de 1982
Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
Último cuerpo.....: 1,00 m de alto, 1,00 m de ancho.
Total cuerpos.....: 1 de 1,00 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 7° 56' 16,0827"	- 7° 56' 21,41826"
Latitud.....:	42° 03' 52,6596"	42° 03' 48,41834"
Alt. Elipsoidal...:		1145,929 m (CF)
Compensación...:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	587884,29 m	587759,273 m
Y.....:	4657580,21 m	4657365,259 m
Factor escala...:	0,999695029	0,999694766
Convergencia...:	0° 42' 42"	0° 42' 38"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 1088,363 m. (BP)

Situación:

Situado en lo más alto del cerro Fuensanta, que está de terreno de pasto. La señal está encima de una gran roca y a pocos metros al E. hay una caseta y una antena de radio.

Acceso:

Desde Celanova, por la carretera N-540 hacia Bande y Portugal, al llegar al km. 36,250 se entra a la izqda. por una pista forestal; a los 400 mts. cruzamos un cortafuegos; a los 800 m. dejamos un camino a la izqda., en el 1,2 km. cruzamos otro cortafuegos y en el km. 1,3 dejamos a la izqda. la pista principal que continua a un repetidor y continuamos por el camino de la dcha. (desde aquí conviene T.T.); 600 m. más adelante pasamos por una vaguada entubada y en el km 3,150 tomamos a la izqda. por un cortafuegos que en 250 m. conduce junto al vértice. Se llega al vértice con vehículo de turismo, aunque es preferible T.T.

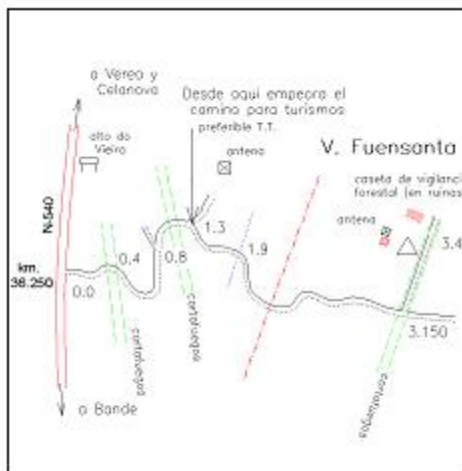
Horizonte GPS:

Posible sombra de antena de radio.

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.



Fuensanta



Observaciones:

REGENTE.
Vértice observado con GPS.

Informe del estado del Vértice: <http://itb.geodesia.jm.es/vrtices/infBG.cdf>



Reseña Vértice Geodésico

8-jun-2013

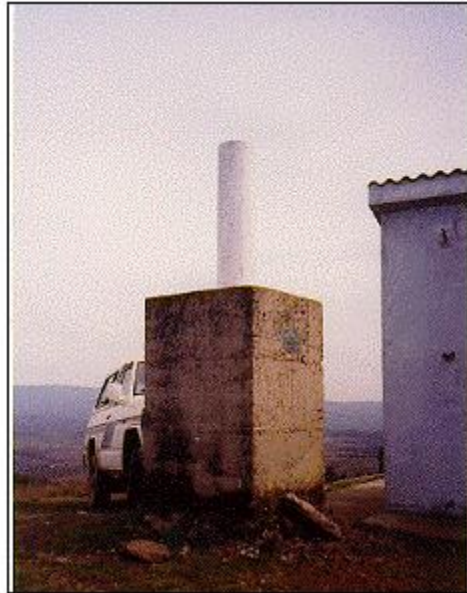
Número.....: 30334
 Nombre.....: Monte Maior
 Municipios: Verín
 Provincias: Orense
 Fecha de Construcción.....: 26 de julio de 1982
 Pilar con centrado forzado.: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
 Último cuerpo.....: 1,50 m de alto, 1,00 m de ancho.
 Total cuerpos.....: 1 de 1,50 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 7° 24' 18,9964"	- 7° 24' 24,24591"
Latitud.....:	41° 54' 33,5607"	41° 54' 29,32472"
Alt. Elipsoidal...:		829,958 m (CF)
Compensación.:	01 de junio de 1984	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	632266,44 m	632141,880 m
Y.....:	4641020,22 m	4640805,194 m
Factor escala...:	0,999815257	0,999814868
Convergencia...:	1° 03' 55"	1° 03' 52"
Altitud sobre el nivel medio del mar:		772,468 m. (BP)



Situación:
 Situado en la parte más alta del Monte Mayor, junto a la línea de término de Verín con Vilardevós, la señal está entre dos chozas de ICONA.

Acceso:
 Desde Vilardevós por la carretera a Verín, durante 1 km., nos desviamos luego a la izqda. por la que va a Vilar de Cervos recorriendo ésta 5,5 km.; se entra a la derecha por una pista que se sigue 1 km., giramos a la dcha. en un cruce y 1.050 mts. más adelante salimos a otra pista que cogemos a la dcha. hasta los 2,6 km. que dejamos esta última pista y tomamos otra a la derecha que nos conduce en 1.200 mts. a lo alto del monte en el que se encuentra el vértice junto a una caseta de vigilancia forestal. Se accede con vehículo de turismo; los últimos 100 mts. con algo de dificultad.

Horizonte GPS:
 Despejado



Observaciones:
 REGENTE.
 Vértice observado con GPS.
 Informe del estado del Vértice: <http://ftp.geodesia.jcn.es/vrtices/inf/30334.pdf>

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.

Reseña Vértice Geodésico

5-jun-2010

Número.....: 30527
Nombre.....: Meda
Municipio...: Pedralba de la Pradería
Provincia...: Zamora
Fecha de Construcción.....:
Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,40 m de diámetro.
Último cuerpo.....: 1,35 m de alto, 1,20 m de ancho.
Total cuerpos.....: 1 de 1,35 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 6° 45' 21,06110"	- 6° 45' 26,24136"
Latitud.....:	41° 57' 30,34310"	41° 57' 26,14780"
Altitud.....:		1399,491 m (CF)
Compensación...:	03 de marzo de 1994	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 29 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	685989,680 m	685865,315 m
Y.....:	4647678,800 m	4647463,927 m
Factor escala....:	1,000025642	1,000025105
Convergencia....:	1° 30' 03,05270"	1° 29' 59,46000"
Altitud sobre el nivel medio del mar:		1340,989 m. (BP)

Situación:

A unos 700 m. al S. del pico más alto de la zona conocido por Peña del Castillo de Meda. La señal es portuguesa y está entre los mojones 391 y 392 de frontera, a unos 3 km. al O. de Calabor.

Acceso:

Desde Calabor por la carretera C-622 hacia Braganca (Portugal) a los 2,5 km. se cruza la frontera y 1,7 km. después se pasa por Portelo, se sigue hasta los 2,1 km. torciendo a la derecha por la carretera a Montezinho; a los 3,8 km. de tomar esta carretera, la dejamos y entramos a la dcha. por una pista que cruza la carretera, a los 600 m. dejamos esta pista y cogemos un camino (para vehículos T.T.) que sale a la dcha., continuando por él 2,5 km. Dejamos el vehículo en el camino y a pié hacia la dcha. en dirección Este se sube al vértice en 12 minutos andando.

Horizonte GPS:

Despejado

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.




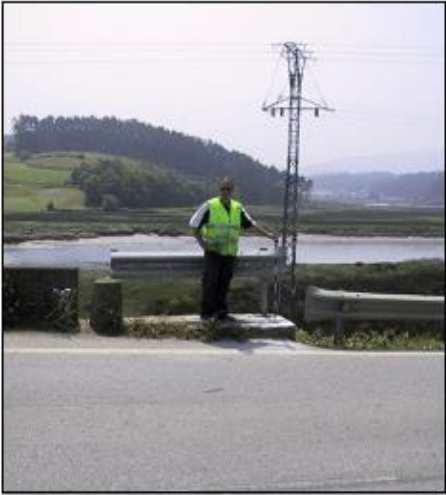
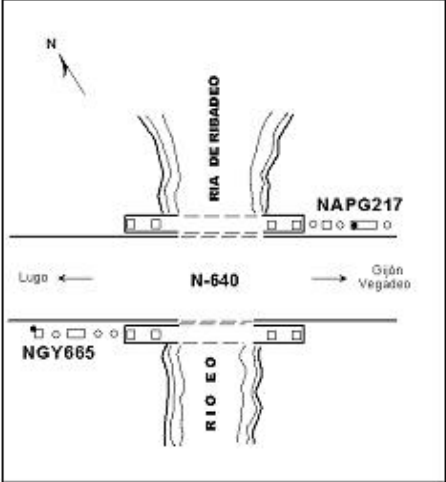
Observaciones:

REGENTE.
Vértice observado con GPS.

Informe del estado del Vértice: <http://icg.igeo.usc.es/vrtices/inf%20v%20.pdf>

6.3 RESEÑAS REDNAP

Se detalla a continuación las reseñas empleadas:

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 8-jun-2013</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 99 Nombre: NGY665* (Porto de Abaixo) Línea o Ramal: Puntos Nodales</p> <p>Municipio: Ribadeo Provincia: Lugo Hoja MTN50: 25 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 21 de junio de 2004 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: Posterior: Agrupada con: 405001 - NAPG217.</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 10,9247 m. Geopotencial: 10,71168 u.g.p. Gravedad en superficie: 980499,93 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas REGCAN95:</p> <p>Longitud: - 7° 03' 26,29" Latitud: 43° 28' 20,76" Altitud elipsoidal: 65 m. Precisión: ± 1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado en la Carretera Nacional 640 en el puente sobre la Ría de Ribadeo en su estribo N, margen S según reseña gráfica.</p>	
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inicio Línea N° 405 (Porto de Abaixo - La Espina). - Fin Línea N° 406 (Lugo - Porto de Abaixo). - Inicio Línea N° 583 (Porto de Abaixo - Betanzos). <p><small>Informe del estado de la Señal en: http://w3.geodesia.jccm.es/inf/staciones/inf/99.pdf</small></p>	

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 101
Nombre: NGY369* (Cruce N-120)
Línea o Ramal: Puntos Nodales

Municipio: Carracedelo
Provincia: León
Hoja MTN50: 158
Señal: Principal **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de junio de 2004
Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 460,1524 m.
Geopotencial: 451,07229 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980247,72 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 6° 45' 30,30"
Latitud: 42° 33' 59,77"
Altitud elipsoidal: 517 m.
Precisión: ± 1 m.

Reseña:

Clavo metálico con la inscripción NGY 369 incrustado aproximadamente en el Km. 399,750 de la margen Sur de la Carretera N-VI, sobre la zapata Sur de un cartel señalizador de Tráfico, de lado a lado de la carretera, que indica la N-120, según croquis.

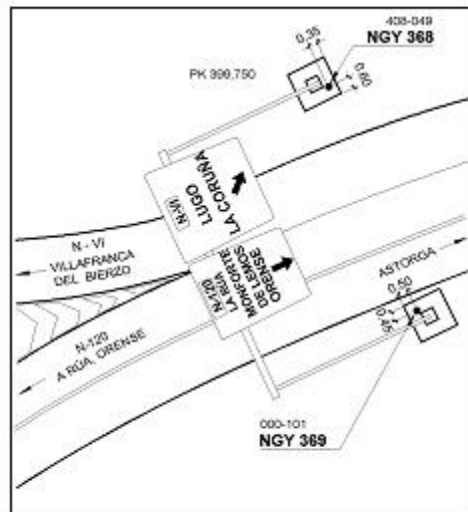
Observaciones:

- Inicio Línea Nº 407 (Cruce N-120 - Lugo).
- Fin Línea Nº 408 (San Román de Bembibre - Cruce N-120).
- Fin Línea Nº 410 (La Gudiña - Cruce N-120).

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jcn.es/ediciones/indicPV.pdf>

Enlaces:

Anterior:
Posterior:
Agrupada con: 408049 - NGY 368.





Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 102
 Nombre: **NAPH 171* (S. Román Bemibre)**
 Línea o Ramal: **Puntos Nodales**

Municipio: Bemibre
 Provincia: León
 Hoja MTN50: 159
 Señal: Principal En posición: Vertical
 Señalizada: 01 de julio de 1988
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior:
 Posterior:
 Agrupada con: 409140 - NGU 138.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 622,8197 m.
 Geopotencial: 610,51767 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980221,49 mgals. Observada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 6° 26' 15,73"
 Latitud: 42° 37' 22,86"
 Altitud elipsoidal: 680 m.
 Precisión: ± 1 m.

Reseña:

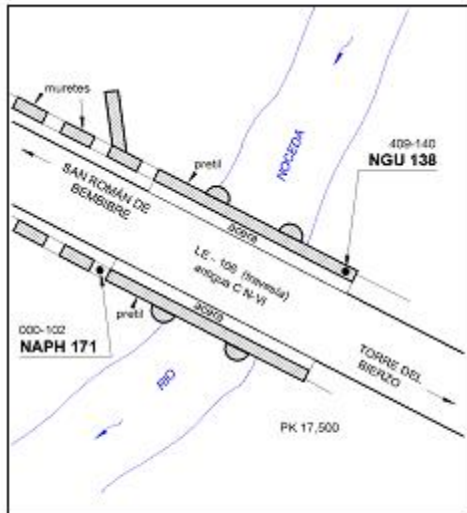
Clavo metálico con la inscripción NAPH 171 incrustado aproximadamente en el Km. 17,550 de la margen Sur de la Carretera LE-106 (antigua N-VI), en la población de SAN ROMÁN DE BEMBIBRE, sobre la imposta Sur del puente sobre el RÍO NOCEDA al final del extremo Oeste del perfil, según croquis.



Observaciones:

- Inicio Línea Nº 408 (San Román de Bemibre - Cruce N-120).
 - Fin Línea Nº 404 (La Espina - San Román Bemibre).
 - Fin Línea Nº 409 (León - San Román de Bemibre).
- Es la señal NAPH 171 de la línea Astorga-Lugo del año 1963. Es la señal NAPH 171; folio nº 118 de la antigua línea 230, Astorga-Villafraanca del Bierzo, de 1988.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/infocn.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 131
Nombre: NGZ 85* (Rio)
Línea o Ramal: Puntos Nodales

Municipio: Portomarín
Provincia: Lugo
Hoja MTN50: 97
Señal: Principal **En posición:** Vertical
Señalizada: 27 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior:
Posterior:
Agrupada con: 548001 - NGZ 86.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 657,7963 m.
Geopotencial: 644,85285 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980295,08 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 44' 24,85"
Latitud: 42° 50' 19,58"
Altitud elipsoidal: 714 m.
Precisión: ± 1 m.

Reseña:

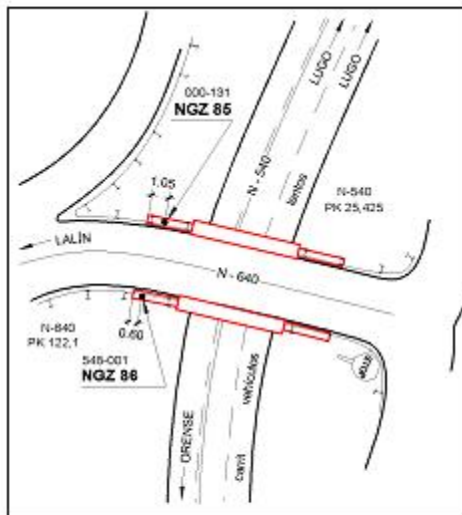
Clavo metálico cuya cabeza tiene la inscripción NGZ 85 incrustado aproximadamente en el Km. 122,100 de la margen Norte de la Carretera N-640, en un paso elevado sobre la N-540 (km. 25,425). A 1.05 metros del extremo Oeste del estribo NO del paso elevado, en el comienzo de la N-640, por detrás de la bionda, según croquis.



Observaciones:

- Inicio Línea Nº 548 (Rio - Santiago).
- Inicio Línea Nº 549 (Rio - Orense).
- Fin Línea Nº 550 (Lugo - Rio).

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jcn.es/ediciones/inf-cv.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 212
 Nombre: **SSK469,0* (Baralla)**
 Línea o Ramal: **Puntos Nodales**

Municipio: Baralla
 Provincia: Lugo
 Hoja MTN50: 98
 Señal: Secundaria En posición: Vertical
 Señalizada: 01 de junio de 2004
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior:
 Posterior:
 Agrupada con: 801150 + SPK 469,1.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 520,4131 m.
 Geopotencial: 510,17627 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980307,3 mgals. Calculada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 14' 32,868"
 Latitud: 42° 53' 43,015"
 Altitud elipsoidal: 576,90 m.
 Precisión: ± 0,05 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 469,030 de la margen W de la Carretera N-VI. Sobre un muro de contención de hormigón, de 1,25 m. de ancho, unos 0,20 m. mas alto que el nivel de la calzada y a 0,95 m. del extremo N del muro.

Observaciones:

Señal Nº 00407124 de la antigua Línea 407.
 Es la señal SSK 479,0; folio nº 205 de la línea 206, Villafranca del Bierzo (cruce) - Lugo, de 1984.
 • Fin Línea Nº 10407 (Cruce N-120 - Baralla) tramo 1 antigua 407.
 • Inicio Línea Nº 20407 (Baralla - Lugo) tramo 2 antigua 407.
 • Inicio Línea Nº 801 (Baralla - Tebogo).

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/infocsv.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 405013
Nombre: NGY669
Línea o Ramal: 405. Porto de Abaixo - La Espina

Municipio: Castropol
Provincia: Asturias
Hoja MTN50: 10
Señal: Principal **En posición:** Vertical
Señalizada: 22 de junio de 2004
Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 24,5625 m.
Geopotencial: 24,08377 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980507,97 mgals. *Calculada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 00' 28,1"
Latitud: 43° 31' 40,9"
Altitud elipsoidal:
Precisión: Coordenadas orientativas

Reseña:

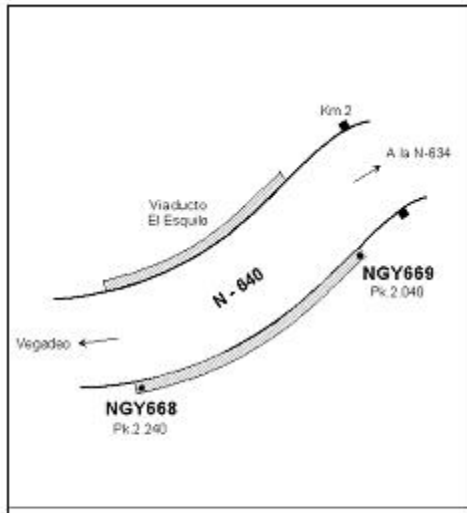
Clavo metálico semiestérico incrustado aproximadamente en el Km. 2.040 de la margen S de la Carretera Nacional N -640, a unos 200 m de la anterior. Incrustado vertical en estribo del Viaducto El Esquilo.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/infocvni.pdf>

Enlaces:

Anterior: 405012 - NGY668
Posterior: 405016 - SSK547.700
Agrupada con: 405012 - NGY668.





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **405025**
Nombre: **SSK540.000**
Línea o Ramal: **405. Porto de Abaixo - La Espina**

Municipio: **Tapia de Casariego**
Provincia: **Asturias**
Hoja MTN50: **10**
Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
Señalizada: **23 de junio de 2004**
Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **53,0957 m.**
Geopotencial: **52,061 u.g.p.**
Gravedad en superficie: **980510,29 mgals.** *Observada*
Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 6° 53' 33,645"**
Latitud: **43° 33' 29,317"**
Altitud elipsoidal: **106,5 m.**
Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

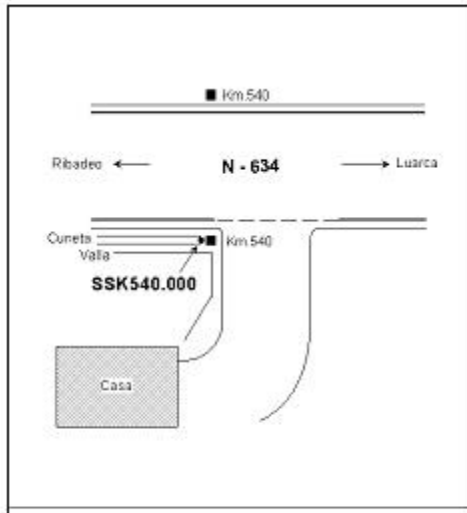
Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 540.000 de la margen S de la Carretera Nacional N -634, a unos 700 m de la anterior. Incrustado vertical en cuneta de hormigón junto al hito del Km 540.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>

Enlaces:

Anterior: **405024 - NAPG200**
Posterior: **405026 - SSK539.000**
Agrupada con:



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 405037
Nombre: SSK530.000
Línea o Ramal: 405. Porto de Abaixo - La Espina

Municipio: Coaña
Provincia: Asturias
Hoja MTN50: 11
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 24 de junio de 2004
Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 110,7060 m.
Geopotencial: 108,54709 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980493,72 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 6° 46' 56,376"
Latitud: 43° 32' 38,266"
Altitud elipsoidal: 164,1 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

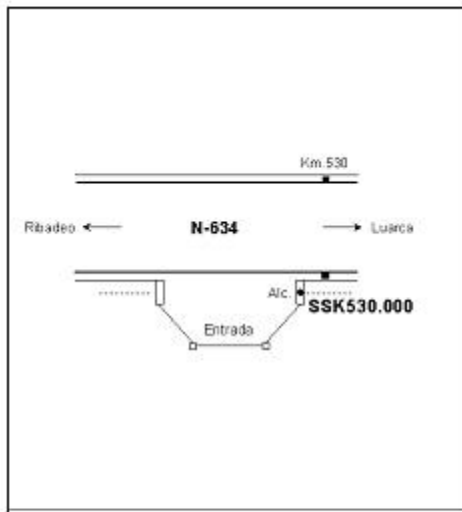
Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 530.000 de la margen S de la Carretera Nacional N-634, a unos 1.100 m de la anterior. Incrustado vertical en alcantarilla.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jcn.es/ediciones/indicRN.pdf>

Enlaces:

Anterior: 405036 - NGY675
Posterior: 405038 - SSK528.950
Agrupada con:





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **405062**
Nombre: **SSK509.000**
Línea o Ramal: **405. Porto de Abaixo - La Espina**

Municipio: **Valdés**
Provincia: **Asturias**
Hoja MTN50: **11**
Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
Señalizada: **28 de junio de 2004**
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **405061 - Ngy683**
Posterior: **405063 - SSK508.015**
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **109,9716 m.**
Geopotencial: **107,82622 u.g.p.**
Gravedad en superficie: **980486,96 mgals.** Observada
Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

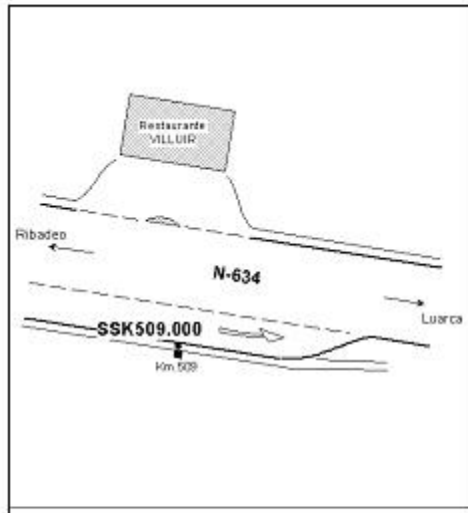
Longitud: **- 6° 34' 09,574"**
Latitud: **43° 32' 00,668"**
Altitud elipsoidal: **163,3 m.**
Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 509.000 de la margen S de la Carretera Nacional N-634, a unos 1.000 m de la anterior. Incrustado vertical en cuneta de hormigón.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 406013
Nombre: SSK 90,1
Línea o Ramal: 406. Lugo - Porto de Abaixo

Municipio: Lugo
Provincia: Lugo
Hoja MTN50: 72
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de junio de 2004
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 406012 - SSK 91,3
Posterior: 406014 - SSK 89,3
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 434,8199 m.
Geopotencial: 426,28209 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980346,3 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 32' 32,145"
Latitud: 43° 01' 42,895"
Altitud elipsoidal: 490,9 m.
Precisión: ± 0,1 m.

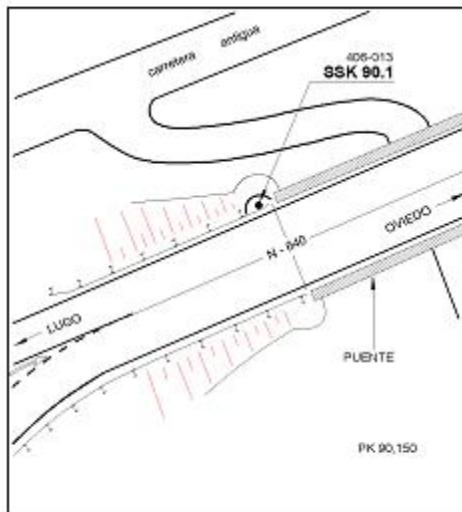
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 90,150 de la margen Norte de la Carretera N-640, sobre el estribo NO de un puente, por detrás de la bionda, según croquis.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/infocsv.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **406020**
 Nombre: **SSK 84,3**
 Línea o Ramal: **406. Lugo - Porto de Abaixo**

Municipio: Lugo
 Provincia: Lugo
 Hoja MTN50: 73

Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: 01 de junio de 2004
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **406019 - SSK 85,3**
 Posterior: **406021 - NGY 381**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 513,7294 m.
 Geopotencial: 503,63804 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980334,8 mgals. *Observada*
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

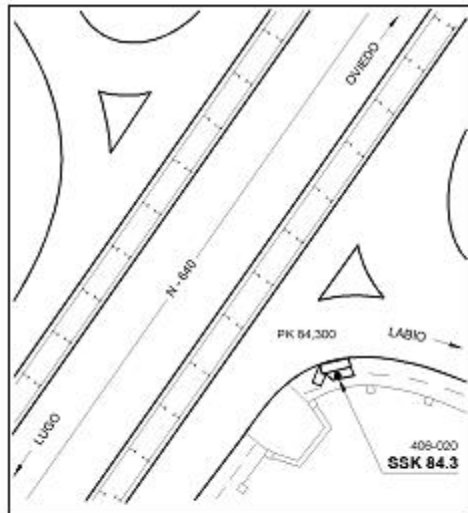
Longitud: - 7° 29' 49,839"
 Latitud: 43° 03' 59,858"
 Altitud elipsoidal: 569,8 m.
 Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 84,300 de la margen Este de la Carretera N-640, en el desvío a Labio, sobre la cara superior de una alcantarilla, por detrás de la imposta, según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 406031
Nombre: SSK 75,3
Línea o Ramal: 406. Lugo - Porto de Abaixo

Municipio: Castro de Rei
Provincia: Lugo
Hoja MTN50: 73
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de junio de 2004
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 406029 - NGY 383
Posterior: 406032 - SSK 74,2
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 480,2383 m.
Geopotencial: 470,81714 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980361,94 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 25' 36,279"
Latitud: 43° 07' 18,299"
Altitud elipsoidal: 536,3 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 75,350 de la margen Este de la Carretera N-640, sobre el centro de la cara superior de la imposta de una pequeña alcantarilla, en el paso de cuneta de un camino; en el extremo Norte del paso de cuneta, según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/infocv.html>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **406041**
 Nombre: **NGY 387**
 Línea o Ramal: **406. Lugo - Porto de Abaixo**
 Municipio: Pol
 Provincia: Lugo
 Hoja MTN50: 48
 Señal: Principal En posición: Vertical
 Señalizada: 01 de junio de 2004
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 406040 - SSK 67,1
 Posterior: 406042 - NGY 388
 Agrupada con: 406042 - NGY 388.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 493,8342 m.
 Geopotencial: 484,15122 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980371,26 mgals. Observada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 21' 11,363"
 Latitud: 43° 10' 50,527"
 Altitud elipsoidal: 549,9 m.
 Precisión: ± 0,1 m.

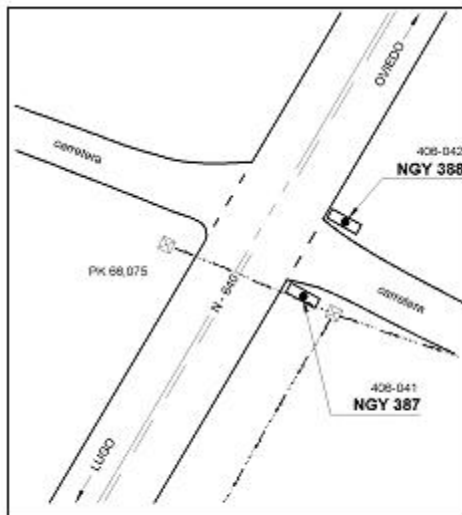
Reseña:

Clavo metálico con la inscripción NGY 387 incrustado aproximadamente en el Km. 66,075 de la margen Este de la Carretera N-640, sobre la cara superior del muro de una pequeña alcantarilla en el paso de cuneta de la carretera a Lixuás, en el extremo Sur del paso de cuneta, según croquis.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 406064
Nombre: SSK 47,6
Línea o Ramal: 406. Lugo - Porto de Abaixo

Municipio: Riotorto
Provincia: Lugo
Hoja MTN50: 48
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de junio de 2004
Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 333,8011 m.
Geopotencial: 327,26884 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980416,53 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 14' 40,284"
Latitud: 43° 17' 03,354"
Altitud elipsoidal: 389,6 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

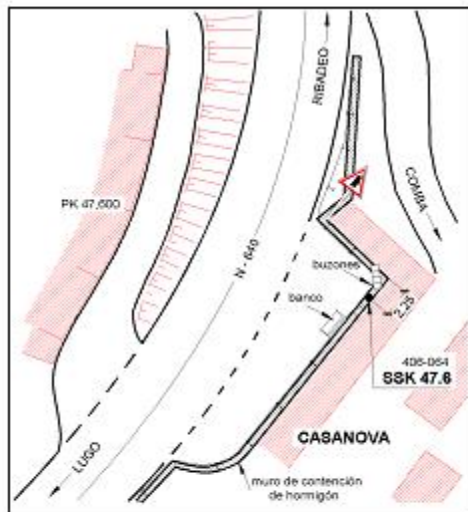
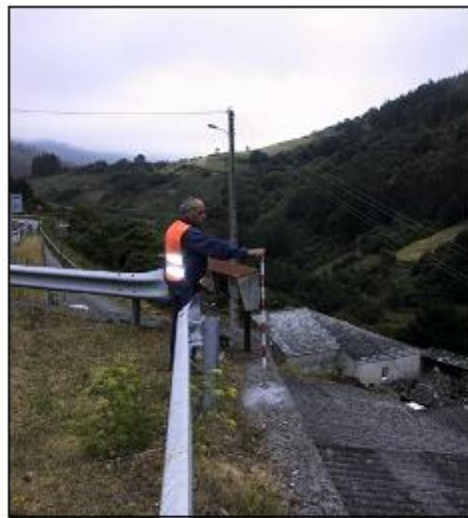
Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 47,600 de la margen Este de la Carretera N-640, sobre la cara superior de un muro de contención de hormigón, entre Casanova y la carretera, junto a los buzones para el servicio de Correos, acotado según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicivn.pdf>

Enlaces:

Anterior: 406063 - SSK 48,5
Posterior: 406065 - SSK 46,5
Agrupada con:





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **406076**
 Nombre: **SSK 37,4**
 Línea o Ramal: **406. Lugo - Porto de Abaixo**

Municipio: **Pontenova, A**
 Provincia: **Lugo**
 Hoja MTN50: **24**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de junio de 2004**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **406075 - SSK 38,2**
 Posterior: **406077 - SSK 36,4**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **78,2693 m.**
 Geopotencial: **76,74124 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980473,28 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

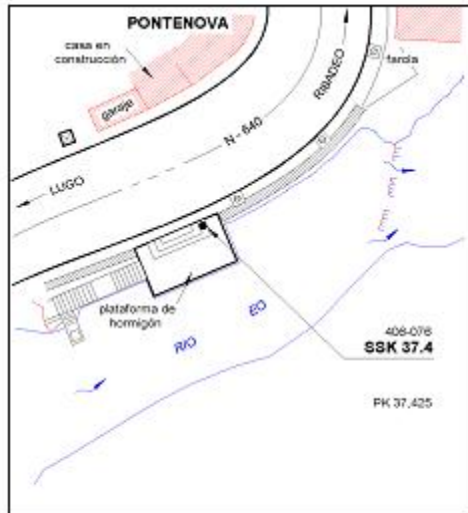
Longitud: **- 7° 11' 36,98"**
 Latitud: **43° 20' 47,72"**
 Altitud elipsoidal: **134 m.**
 Precisión: **± 1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 37,425 de la margen Este de la Carretera N-640, sobre el 3er. escalón de escalera de acceso a plataforma de hormigón, que es ZONA HABILITADA PARA BAÑOS, en el río Eo, a 0,25 metros del muro de contención del que sobresale la plataforma, según cróquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 406091
Nombre: NGY 405
Línea o Ramal: 406. Lugo - Porto de Abaixo

Municipio: San Tirso de Abres
Provincia: Asturias
Hoja MTN50: 25
Señal: Principal **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de junio de 2004
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 406090 - NGY 404
Posterior: 406092 - SSK 24,0
Agrupada con: 406090 - NGY 404.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 32,0670 m.
Geopotencial: 31,44149 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980491,17 mgals. *Calculada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

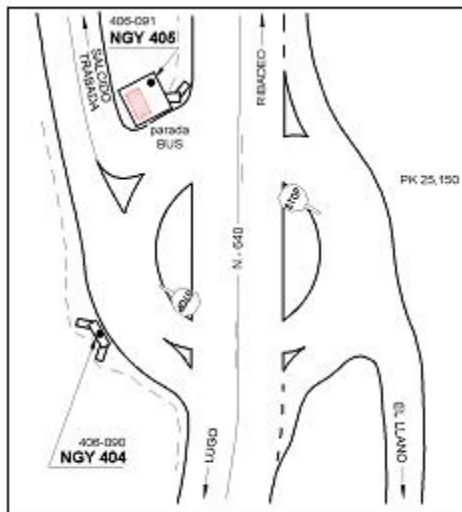
Longitud: - 7° 08' 43,0"
Latitud: 43° 24' 59,7"
Altitud elipsoidal:
Precisión: Coordenadas orientativas

Reseña:

Clavo metálico con la inscripción NGY 405 incrustado aproximadamente en el Km. 25+150 de la margen Oeste de la Carretera N-640, sobre la esquina NE de la solera de hormigón de la parada BUS, en el desvío a Salcido y Trabada; según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicivn.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **410008**
Nombre: **NGY 409**
Línea o Ramal: **410. La Gudiña - Cruce N-120**

Municipio: **Viana do Bolo**
Provincia: **Orense**
Hoja MTN50: **266**
Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
Señalizada: **01 de julio de 2004**
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **410007 - NGY 408**
Posterior: **410009 - SSK 7,0**
Agrupada con: **410007 - NGY 408.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **863,8130 m.**
Geopotencial: **846,68527 u.g.p.**
Gravedad en superficie: **980135,3 mgals.** *Observada*
Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

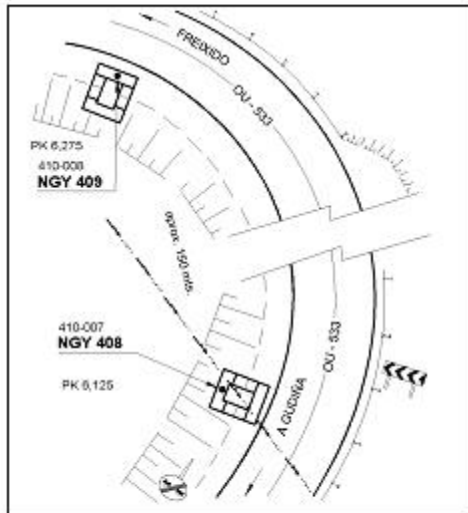
Longitud: **- 7° 07' 10,056"**
Latitud: **42° 06' 13,959"**
Altitud elipsoidal: **921,0 m.**
Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Clavo metálico con la inscripción **NGY 409** incrustado aproximadamente en el Km. 6,275 de la margen Oeste de la Carretera OU-533, sobre el centro de la imposta de una arqueta-alcantarilla; según croquis.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 410028
Nombre: SSK 21,1
Línea o Ramal: 410. La Gudiña - Cruce N-120

Municipio: Viana do Bolo
Provincia: Orense
Hoja MTNS0: 228
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de julio de 2004
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 410027 - SSK 20,2
Posterior: 410029 - SSK 21,9
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 772,3995 m.
Geopotencial: 757,09934 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980158,7 mgals. **Observada**
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

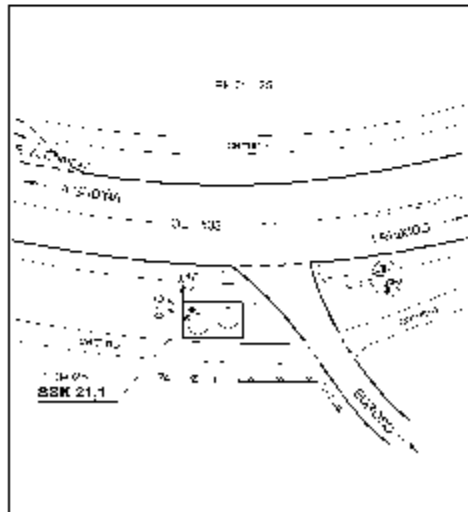
Longitud: - 7° 05' 59,541"
Latitud: 42° 11' 18,672"
Altitud elipsoidal: 829,5 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 21,125 de la margen Sur de la Carretera OU-533, sobre esquina NO en solera de hormigón de registro de Abastecimiento de Agua, según se indica en el croquis.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **410044**
Nombre: **SSK 34,2**
Línea o Ramal: **410. La Gudiña - Cruce N-120**

Municipio: **Bolo, O**
Provincia: **Orense**
Hoja MTN50: **228**
Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
Señalizada: **01 de julio de 2004**
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **410043 - NGY 413**
Posterior: **410045 - SSK 35,3**
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **756,1350 m.**
Geopotencial: **741,15937 u.g.p.**
Gravedad en superficie: **980162,46 mgals.** *Observada*
Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

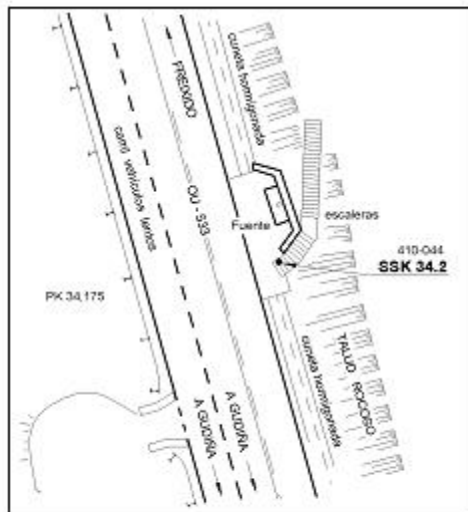
Longitud: **- 7° 07' 37,664"**
Latitud: **42° 16' 48,486"**
Altitud elipsoidal: **813,1 m.**
Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 34,175 de la margen Este de la Carretera OU-533, sobre el 2º escalón de la escalera junto al muro de una fuente, a 0.15 metros del extremo Norte del escalón, según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jcn.es/edificios/410044.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **410063**
 Nombre: **NGR 414**
 Línea o Ramal: **410. La Gudiña - Cruce N-120**

 Municipio: **Petín**
 Provincia: **Orense**
 Hoja MTN50: **190**
 Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de agosto de 1983**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **410060 - SSK 20,6**
 Posterior: **410064 - NGR 415**
 Agrupada con: **410064 - NGR 415.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **299,3127 m.**
 Geopotencial: **293,40877 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980262,26 mgals.** Observada
 Cálculo: **01 de mayo de 2006**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 7° 07' 48,997"**
 Latitud: **42° 23' 15,098"**
 Altitud elipsoidal: **356,0 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

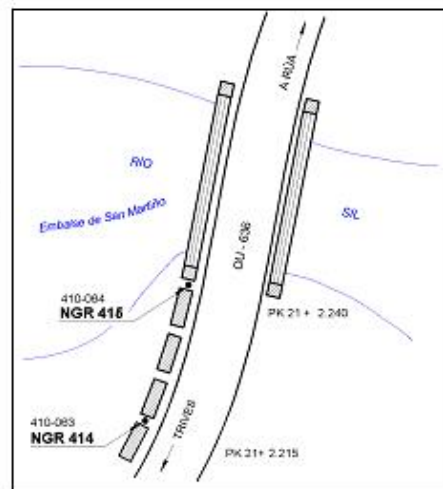
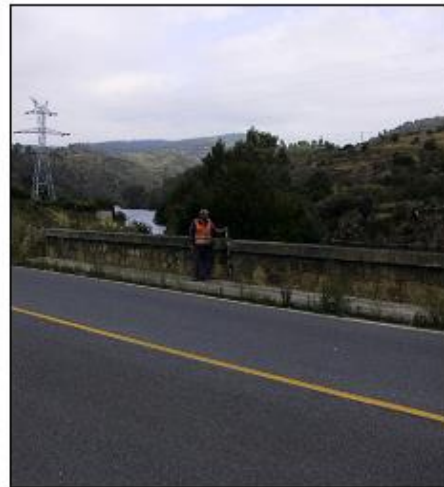
Reseña:

Clavo metálico con la inscripción NGR 414 incrustado aproximadamente en el Km. 21+2.215 (no hay hilos kilométricos) de la margen Oeste de la Carretera OU-636, sobre la imposta del muro a la entrada del puente sobre el río SIL (embalse de San Martiño), en el 1er. hueco del pretil discontinuo, según se indica en el croquis.

Observaciones:

• Es la señal NGR 414; folio nº 192 de la línea 197 (516), Orense - Villafranca del Bierzo, de 1983.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.in.es/visitacion/fo50.asp>





Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **410083**
Nombre: **NGR 428**
Línea o Ramal: **410. La Gudiña - Cruce N-120**

Municipio: Vilamartin de Valdeorras
Provincia: Orense
Hoja MTN50: 190
Señal: Principal En posición: Vertical
Señalizada: 01 de agosto de 1983
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 410082 - NGR 427
Posterior: 410084 - SSK 457,3
Agrupada con: 410082 - NGR 427.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 318,4536 m.
Geopotencial: 312,17698 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980276,83 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 01' 40,31"
Latitud: 42° 24' 45,36"
Altitud elipsoidal: 375 m.
Precisión: ± 1 m.

Reseña:

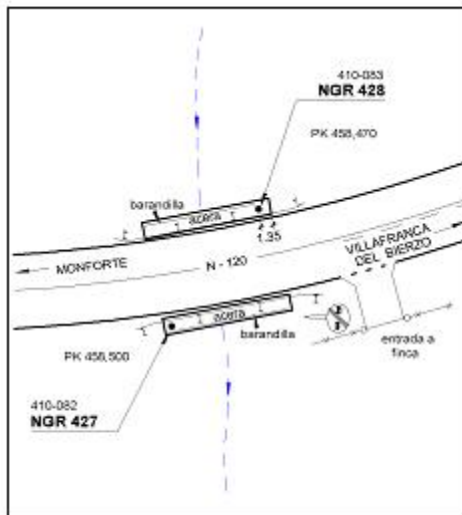
Clavo metálico con la inscripción NGR 428 incrustado aproximadamente en el Km. 458,470 de la margen Norte de la Carretera N-120, sobre el hormigón y al final de la acera de un puente sobre el arroyo de San Julián, a unos 32 metros de la señal NGR 427, según croquis.



Observaciones:

- Es la señal NGR 428; folio nº 223 de la línea 197 (516), Orense - Villafranca del Bierzo, de 1983.

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 410112
Nombre: NGR 443
Línea o Ramal: 410. La Gudiña - Cruce N-120

Municipio: Rubiá
Provincia: Orense
Hoja MTN50: 191
Señal: Principal **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de agosto de 1983
Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 520,0067 m.
Geopotencial: 509,74332 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980240,98 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 6° 50' 17,659"
Latitud: 42° 29' 04,174"
Altitud elipsoidal: 576,9 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico con la inscripción NGR 443 incrustado aproximadamente en el Km. 438,350 de la margen Este de la Carretera N-120, sobre lo alto de un muro de contención, a 46,80 metros de la boca de entrada al 2º túnel (Túnel del Estrecho); a 2.20 metros de la esquina NE de dicho muro, según croquis.

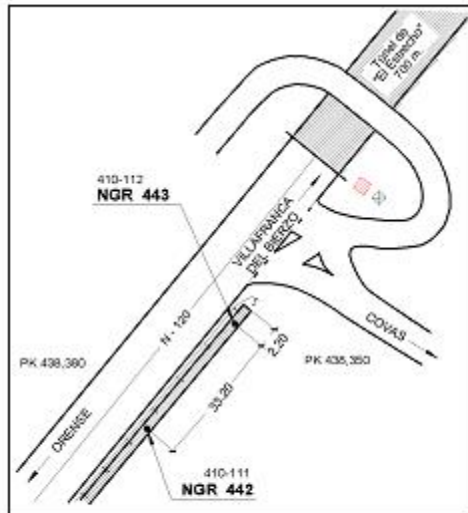
Observaciones:

• Es la señal NGR 443; folio nº 256 de la línea 197 (516), Orense - Villafranca del Bierzo, de 1983.

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jcn.es/ediciones/infocsv.asp>

Enlaces:

Anterior: 410111 - NGR 442
Posterior: 410113 - SSK 437.6
Agrupada con: 410111 - NGR 442.





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **411107**
 Nombre: **NGX982**
 Línea o Ramal: **411. Benavente - La Gudiña**

Municipio: **Cobrerros**
 Provincia: **Zamora**
 Hoja MTN50: **267**
 Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **31 de mayo de 2004**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **411106 - SSK 89,0**
 Posterior: **411108 - NGX 983**
 Agrupada con: **411108 - NGX 983.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **921,6971 m.**
 Geopotencial: **903,40575 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980115,64 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 6° 41' 56,442"**
 Latitud: **42° 02' 36,877"**
 Altitud elipsoidal: **979,2 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

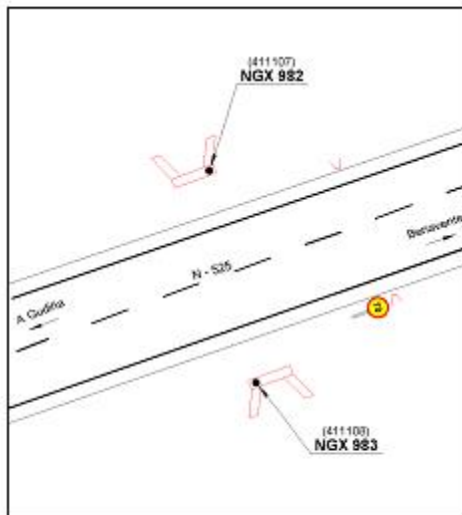
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 89,910 de la margen N de la Carretera N - 525 , sobre el extremo E de la imposta de una alcantarilla.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 411122
Nombre: SSK 100,4
Línea o Ramal: 411. Benavente - La Gudiña

Municipio: Lubián
Provincia: Zamora
Hoja MTN50: 267
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de junio de 2004
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 411121 - SSK 99,5
Posterior: 411123 - SSK 101,0
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 1279,1630 m.
Geopotencial: 1253,70328 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980042,35 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

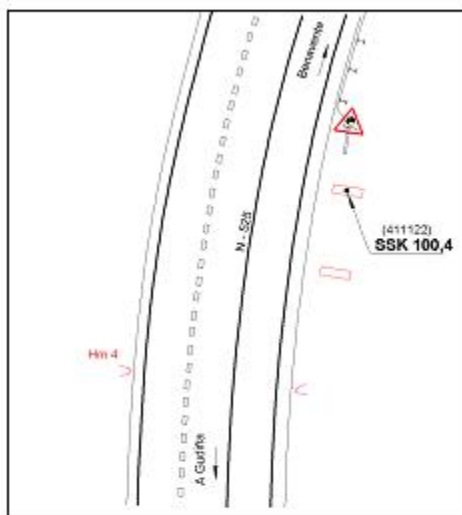
Longitud: - 6° 48' 41,767"
Latitud: 42° 02' 14,244"
Altitud elipsoidal: 1336,9 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 100,385 de la margen E de la Carretera N - 525, sobre el centro de la imposta N del paso de cuneta de una entrada.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/icc-031.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **411141**
 Nombre: **SS A52**
 Línea o Ramal: **411. Benavente - La Gudiña**

Municipio: **Lubián**
 Provincia: **Zamora**
 Hoja MTN50: **266**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **23 de junio de 2004**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **411140 - SSK 10,6**
 Posterior: **411142 - SSK 112,0**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **1026,0970 m.**
 Geopotencial: **1005,7171 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980094,95 mgals.** Observada
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 6° 55' 56,173"**
 Latitud: **42° 02' 07,644"**
 Altitud elipsoidal: **1083,6 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

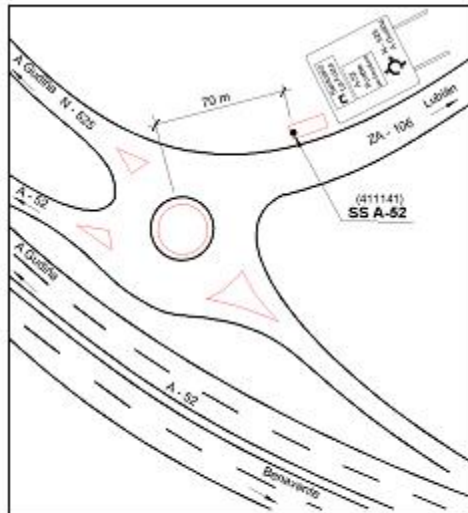
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado en el tramo de carretera que une la Carretera ZA - 106 con la autovía A-52 y la carretera N - 525, unos 70 metros antes de llegar a la rotonda de bifurcación, sobre zapata de hormigón y junto a un cartel que anuncia el desvío, a unos 900 metros de la señal anterior.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/edificios/teic/EN.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 411156
Nombre: SSK 123,8
Línea o Ramal: 411. Benavente - La Gudiña

Municipio: Mezquita, A
Provincia: Orense
Hoja MTN50: 266
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 24 de junio de 2004
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 411155 - SSK 122,7
Posterior: 411157 - NGX998
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 1032,9739 m.
Geopotencial: 1012,46158 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980098,65 mgals. *Calculada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 03' 39,131"
Latitud: 42° 02' 30,919"
Altitud elipsoidal: 1090,2 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 123,810 de la margen N de la Carretera N - 525, sobre roca nativa unos 6 metros al O de final de bionda.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jcn.es/ediciones/infocv.html>



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **542004**
 Nombre: **NGY 799**
 Línea o Ramal: **542. Verin - La Gudiña**

Municipio: Verin
 Provincia: Orense
 Hoja MTN50: 303

Señal: Principal En posición: Vertical
 Señalizada: 09 de junio de 2005
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 542003 - SSK164,400
 Posterior: 542005 - NGY 800
 Agrupada con: 542005 - NGY 800.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 510,1431 m.
 Geopotencial: 500,051 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980195,52 mgals. Observada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

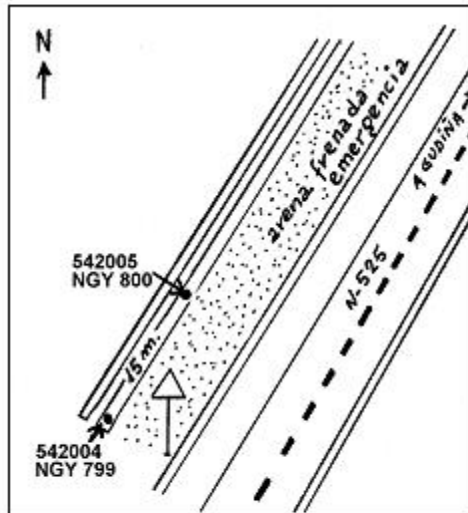
Longitud: - 7° 23' 59,348"
 Latitud: 41° 57' 00,117"
 Altitud elipsoidal: 566,6 m.
 Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado sobre el extremo del muro de contención de la pista de frenada de emergencia, aproximadamente en el Km163,500 de la carretera N-525, a la izquierda en dirección a La Gudiña.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/indicRN.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 542026
Nombre: NGY 801
Línea o Ramal: 542. Verín - La Gudiña

Municipio: Riós
Provincia: Orense
Hoja MTN50: 303
Señal: Principal **En posición:** Vertical
Señalizada: 10 de junio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 542025 - SSK150,200
Posterior: 542027 - NGY 802
Agrupada con: 542027 - NGY 802.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 883,0340 m.
Geopotencial: 865,52282 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980131,88 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

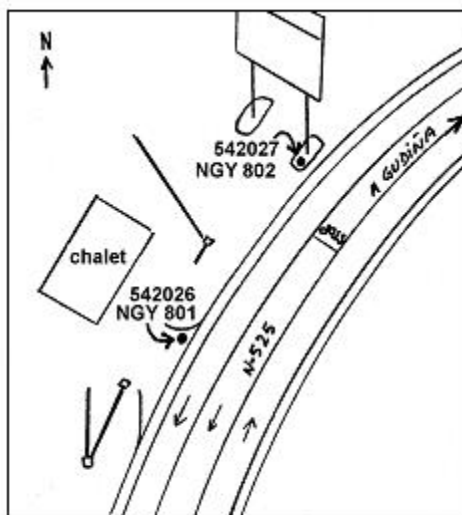
Longitud: - 7° 17' 12,696"
Latitud: 41° 59' 09,424"
Altitud elipsoidal: 939,8 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado sobre solera del paso de cuneta que da paso a un chalet, aproximadamente en el Km149,450 de la carretera N-525, a la izquierda en dirección a La Gudiña.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jcn.es/ediciones/infocv1.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **542050**
 Nombre: **SSK137,700**
 Línea o Ramal: **542. Verin - La Gudiña**

Municipio: **Gudiña, A**
 Provincia: **Orense**
 Hoja MTN50: **266**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de enero de 1984**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **542049 - SSK138,400**
 Posterior: **542051 - NAPE 677**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **904,3900 m.**
 Geopotencial: **886,45025 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980125,34 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 7° 11' 09,119"**
 Latitud: **42° 01' 31,200"**
 Altitud elipsoidal: **961,4 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

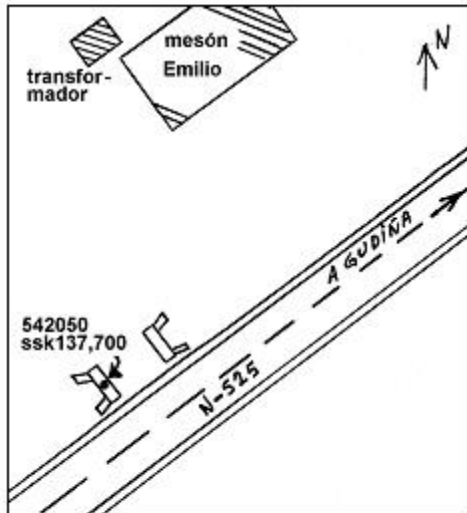
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado sobre centro de alcantarilla paso de cuneta que da paso al Mesón Emilio, aproximadamente en el km137,700 de la carretera N-525, a la izquierda en dirección a La Gudiña.



Observaciones:

Es el mismo clavo SSK439,0 colocado en 1984.



Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jcn.es/ediciones/indic01.pdf>

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 543010
Nombre: NGP 908
Línea o Ramal: 543. Verin - Feces

Municipio: Verin
Provincia: Orense
Hoja MTN50: 303
Señal: Principal **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de enero de 1984
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 543009 - SSK5,010
Posterior: 543011 - NGP 909
Agrupada con: 543011 - NGP 909.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 376,0074 m.
Geopotencial: 368,5753 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980218,13 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 26' 30,696"
Latitud: 41° 53' 24,782"
Altitud elipsoidal: 432,2 m.
Precisión: ± 0,1 m.

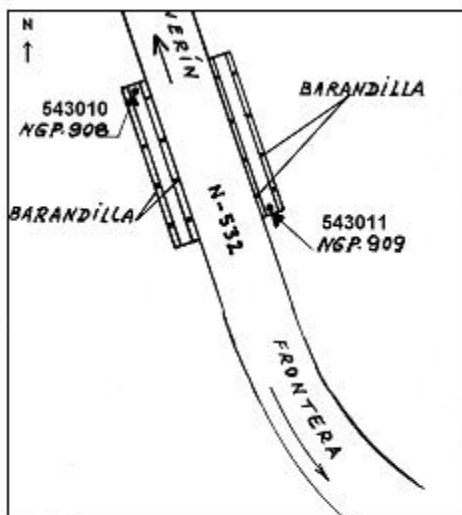
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado sobre la acera del estribo oeste del puente, aproximadamente en el Km5,600 de la carretera N-532, a la derecha en dirección a Portugal.

Observaciones:

Es el mismo clavo NGP 908 colocado en 1984.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jcn.es/ediciones/indic908.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 543012
Nombre: SSK6,600
Línea o Ramal: 543. Verin - Feces

Municipio: Verin
Provincia: Orense
Hoja MTN50: 303
Señal: Secundaria En posición: Vertical
Señalizada: 07 de junio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 543011 - NGP 909
Posterior: 543014 - NGP 910
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 379,9300 m.
Geopotencial: 372,42009 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980217,32 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 26' 19,279"
Latitud: 41° 52' 52,043"
Altitud elipsoidal: 436,1 m.
Precisión: ± 0,1 m.

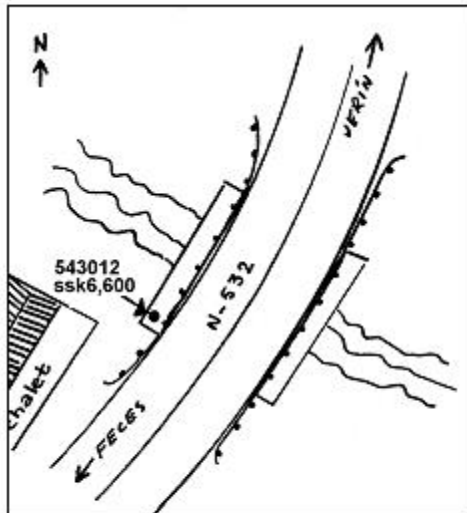
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado sobre el extremo del puente, aproximadamente en el Km6,600 de la carretera N-532, a la derecha en dirección a Portugal.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/edificios/infocv1.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **544020**
 Nombre: **SSK 224,8**
 Línea o Ramal: **544. Orense - Verín**

Municipio: **Taboadela**
 Provincia: **Orense**
 Hoja MTN50: **226**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de julio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **544019 - NGS 214**
 Posterior: **544021 - SSK 224,0**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **341,8119 m.**
 Geopotencial: **335,0702 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980262,16 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 7° 50' 18,164"**
 Latitud: **42° 14' 58,938"**
 Altitud elipsoidal: **397,7 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 224,8 de la margen SE de la Carretera N-525. Está situado sobre el extremo Oeste de un paso de cuneta a camino asfaltado. Dista unos 1.200 m. de la señal número 544019.

Observaciones:

Del km. 224 al km. 225 hay 1.200 metros.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicBN.pdf>





Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **544032**
 Nombre: **NGS 222**
 Línea o Ramal: **544. Orense - Verín**

Municipio: **Allariz**
 Provincia: **Orense**
 Hoja MTN50: **226**
 Señal: **Principal** En posición: **Horizontal**
 Señalizada: **01 de octubre de 1984**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **544031 - NGS 221**
 Posterior: **544033 - SSK 215,7@**
 Agrupada con: **544031 - NGS 221.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **441,5995 m.**
 Geopotencial: **432,88074 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980237,76 mgals.** *Calculada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 7° 47' 31,0"**
 Latitud: **42° 11' 33,0"**
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: **Coordenadas orientativas**

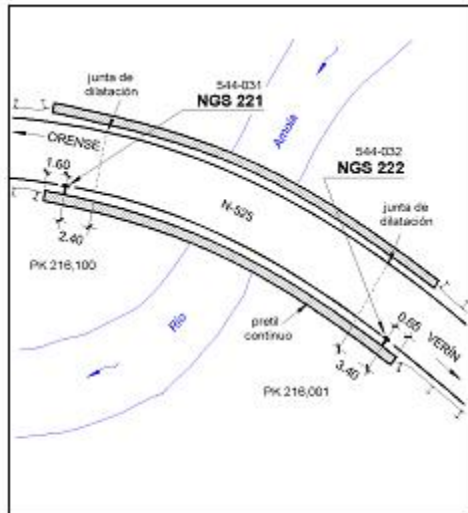
Reseña:

Clavo metálico cuya cabeza tiene grabada la inscripción NGS 222 incrustado aproximadamente en el Km. 216,001 de la margen SO de la Carretera N-525. Está situado a 0,65 metros del extremo SO del pretil continuo sobre el río Arnoia, acotado según croquis. Dista unos 100 m. de la señal número 544031.



Observaciones:

Es la señal NGS 222, folio 51, recuperada de la antigua Línea 210 (Orense-Verín), señalizada en 1984.



Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/edc/EN.pdf>

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **544034**
 Nombre: **SSK 215,1**
 Línea o Ramal: **544. Orense - Verín**

Municipio: **Allariz**
 Provincia: **Orense**
 Hoja MTN50: **226**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de julio de 2005**
 Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **473,7648 m.**
 Geopotencial: **464,4063 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980226,41 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 7° 46' 56,810"**
 Latitud: **42° 11' 18,837"**
 Altitud elipsoidal: **529,8 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

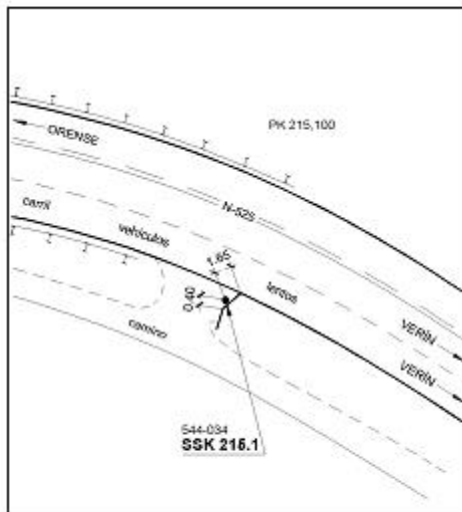
Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 215,100 de la margen Sur de la Carretera N-525. Está situado sobre el extremo Este de la solera de hormigón de un paso sobre cuneta, acotado según croquis. Dista unos 650 m. de la señal número 544033.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>

Enlaces:

Anterior: **544033 - SSK 215,7@**
 Posterior: **544035 - SSK 214,0**
 Agrupada con:





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **544052**
 Nombre: **NGS 235**
 Línea o Ramal: **544. Orense - Verín**

Municipio: **Sandiás**
 Provincia: **Orense**
 Hoja MTN50: **264**

Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de octubre de 1984**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **544051 - NGS 234**
 Posterior: **544053 - SSK 201,6**
 Agrupada con: **544051 - NGS 234.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **617,6534 m.**
 Geopotencial: **605,43068 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980184,86 mgals.** *Calculada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 7° 44' 50,0"**
 Latitud: **42° 05' 54,0"**
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: **Coordenadas orientativas**

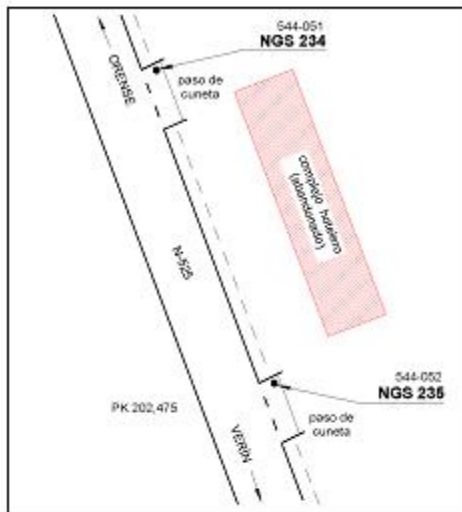
Reseña:

Clavo metálico cuya cabeza tiene grabada la inscripción NGS 235 incrustado aproximadamente en el Km. 202,475 de la margen Este de la Carretera N-525. Está situado sobre la solera hormigonada que da acceso a un edificio de dos plantas (complejo hostelero sin concluir). Es la solera más al Sur. Dista unos 100 m. de la señal número 544051.



Observaciones:

Es la señal NGS 235, folio 82, recuperada de la antigua Línea 210 (Orense-Verín), señalizada en 1984.



Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jcn.es/edificios/edificios.html>

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **544068**
 Nombre: **SSK 190,6**
 Línea o Ramal: **544. Orense - Verín**

Municipio: **Trasmiras**
 Provincia: **Orense**
 Hoja MTN50: **264**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de julio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **544067 - NGS 245**
 Posterior: **544069 - NGS 246**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **645,5205 m.**
 Geopotencial: **632,73992 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980173,71 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

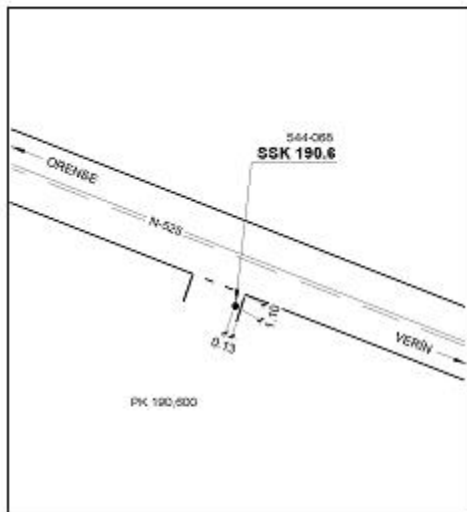
Longitud: **- 7° 38' 48,800"**
 Latitud: **42° 02' 14,730"**
 Altitud elipsoidal: **701,9 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 190,800 de la margen Sur de la Carretera N-525. Está situado sobre el extremo Este de un paso de cuneta de hormigón a tierra de labor, a 1.10 metros del borde de la calzada, según croquis. Distancia unos 1.150 m. de la señal número 544067.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicRN.pdf>





Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **544078**
Nombre: **SSK 183,4**
Línea o Ramal: **544. Orense - Verín**

Municipio: **Cualedro**
Provincia: **Orense**
Hoja MTN50: **264**
Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
Señalizada: **01 de julio de 2005**
Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **756,2152 m.**
Geopotencial: **741,23065 u.g.p.**
Gravedad en superficie: **980152,71 mgals.** *Observada*
Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 7° 34' 14,524"**
Latitud: **42° 00' 43,511"**
Altitud elipsoidal: **812,7 m.**
Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 183,375 de la margen Norte de la Carretera N-525. Está situado sobre el extremo Oeste de la solera de hormigón que es paso de cuneta a un camino (abandonado), según croquis. Distancia unos 1.050 m. de la señal número 544077.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/inf-cv.pdf>

Enlaces:

Anterior: **544077 - NGS 251**
Posterior: **544079 - SSK 182,7**
Agrupada con:



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 544096
Nombre: SSK 171,5
Línea o Ramal: 544. Orense - Verín

Municipio: Monterrei
Provincia: Orense
Hoja MTN50: 303
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de octubre de 1984
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 544095 - SSK 172,2
Posterior: 544102 - SSK 170,8
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 391,7829 m.
Geopotencial: 384,03906 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980217,72 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 28' 58,801"
Latitud: 41° 56' 44,384"
Altitud elipsoidal: 448,1 m.
Precisión: ± 0,1 m.

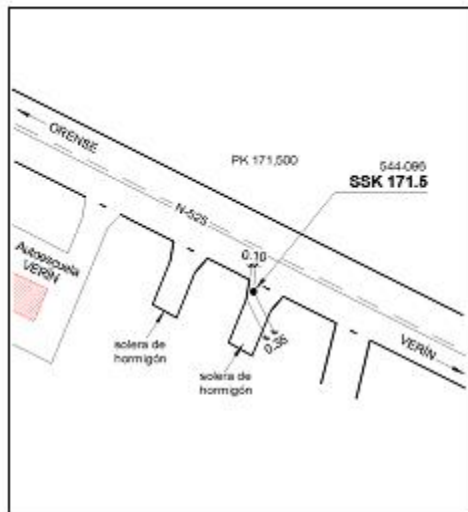
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 171,500 de la margen Sur de la Carretera N-525. Está situado sobre la solera de hormigón del segundo paso de cuneta que da acceso a una viña a partir del acceso a las instalaciones de la autoescuela Verín, según croquis. Dista unos 725 m. de la señal número 544095.

Observaciones:

Es la señal SSK 472.2, folio 140, recuperada de la antigua Línea 210 (Orense-Verín), señalizada en 1984.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicRN.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 545003
 Nombre: SSK574
 Línea o Ramal: 545. Orense - Porriño
 Municipio: Ourense
 Provincia: Orense
 Hoja MTN50: 187
 Señal: Secundaria En posición: Vertical
 Señalizada: 14 de junio de 2005
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 545002 - SSK573
 Posterior: 545004 - SSK574,900
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 100,8709 m.
 Geopotencial: 98,8866 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980323,99 mgals. Observada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 54' 45,374"
 Latitud: 42° 21' 12,147"
 Altitud elipsoidal: 156,6 m.
 Precisión: ± 0,1 m.

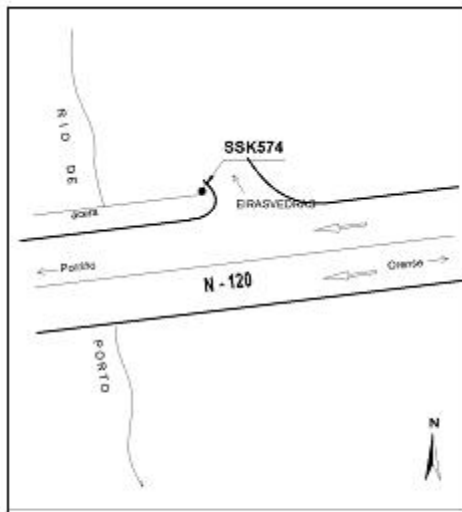
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 574 de la margen N de la Carretera N-120, en una solera de hormigón al E del desvío a Eirasvedras, según croquis.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 545022
Nombre: SSK584,800
Línea o Ramal: 545. Orense - Porriño

Municipio: Cenlle
Provincia: Orense
Hoja MTN50: 225
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 15 de junio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 545021 - NAPE-187
Posterior: 545023 - NGR-940
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 111,4285 m.
Geopotencial: 109,23708 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980328,58 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 01' 06,892"
Latitud: 42° 19' 59,150"
Altitud elipsoidal: 167,2 m.
Precisión: ± 0,1 m.

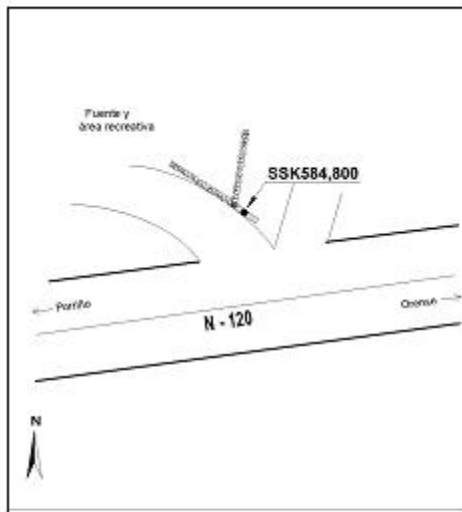
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 584,800 de la margen N de la Carretera N-120, sobre una losa de piedra en una zona recreativa, según croquis.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicv1.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 545039
 Nombre: **NGR-944**
 Línea o Ramal: 545. Orense - Porriño

 Municipio: Ribadavia
 Provincia: Orense
 Hoja MTN50: 225
 Señal: Principal En posición: Vertical
 Señalizada: 01 de septiembre de 1984
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 545038 - SSK593,960
 Posterior: 545040 - NGR-945
 Agrupada con: 545040 - NGR-945.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 115,7206 m.
 Geopotencial: 113,44434 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980324,8 mgals. Observada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 07' 09,0"
 Latitud: 42° 18' 15,0"
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: Coordenadas orientativas

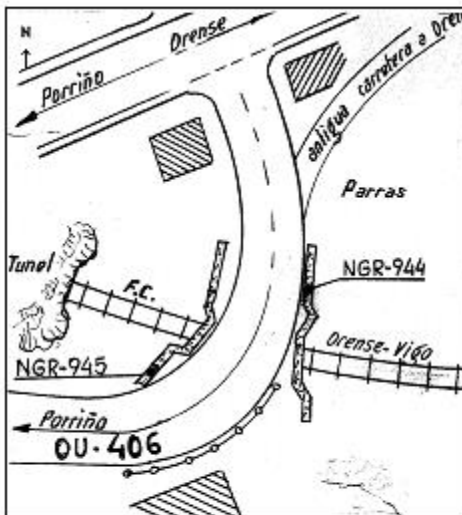
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 595 de la margen E de la Carretera N-120a, que pasa por el centro de la población de Ribadavia, sobre el pretil del puente que pasa sobre el ferrocarril.

Observaciones:

Es la misma NGR-944 de la antigua línea 199, folio 71.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/infocsv.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 545069
Nombre: NGZ302
Línea o Ramal: 545. Orense - Porriño

Municipio: Cañiza, A
Provincia: Pontevedra
Hoja MTN50: 224
Señal: Principal **En posición:** Vertical
Señalizada: 20 de junio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 545068 - SSK-577,5
Posterior: 545070 - SSK-578,2
Agrupada con: 545070 - SSK-578,2.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 630,5168 m.
Geopotencial: 618,06878 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980230,67 mgals. *Calculada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 13' 59,1"
Latitud: 42° 14' 05,9"
Altitud elipsoidal:
Precisión: Coordenadas orientativas

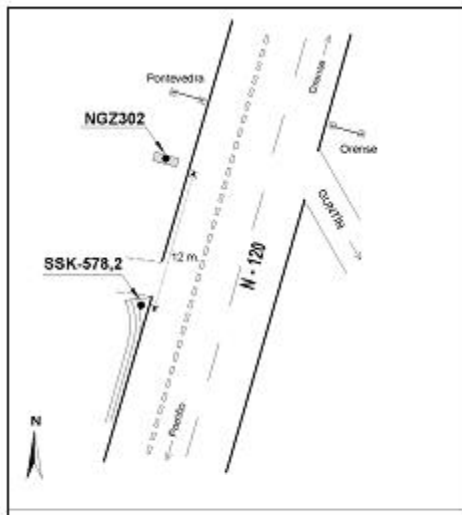
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 609,980 de la margen W de la Carretera N-120, en un antiguo soporte de cartel próximo al límite de provincia.

Observaciones:

Es la misma SSK-578,2 de la antigua línea 199, folio 118.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/1414/01.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 545101
 Nombre: NGR-988
 Línea o Ramal: 545. Orense - Porriño
 Municipio: Covelo
 Provincia: Pontevedra
 Hoja MTN50: 224
 Señal: Principal En posición: Vertical
 Señalizada: 01 de septiembre de 1984
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 545100 - NGR-987
 Posterior: 545102 - SSK-598,7
 Agrupada con: 545100 - NGR-987.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 490,2610 m.
 Geopotencial: 480,59597 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980265,1 mgals. Observada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 22' 25,357"
 Latitud: 42° 12' 29,812"
 Altitud elipsoidal: 548,1 m.
 Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

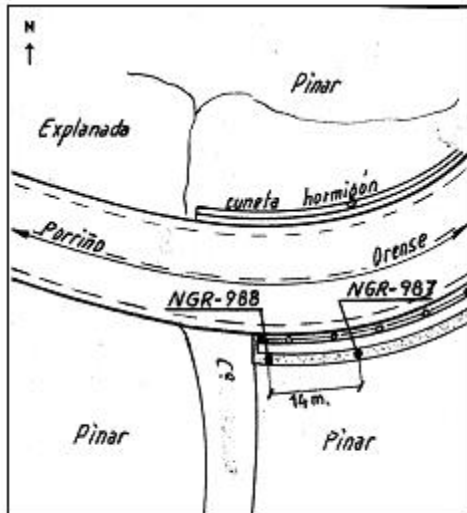
Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 629,514 de la margen S de la Carretera N-120, en el final de un muro de la cuneta hormigonada, en bajada.



Observaciones:

Es la misma NGR-988 de la antigua línea 199, folio 173.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 545131
Nombre: SSK-616
Línea o Ramal: 545. Orense - Porriño

Municipio: Pontesareas
Provincia: Pontevedra
Hoja MTN50: 223
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de septiembre de 1984
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 545130 - SSK-615,3
Posterior: 545133 - SSK648,750
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 47,7909 m.
Geopotencial: 46,85196 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980350,54 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 32' 27,56"
Latitud: 42° 10' 44,76"
Altitud elipsoidal: 103 m.
Precisión: ± 1 m.

Reseña:

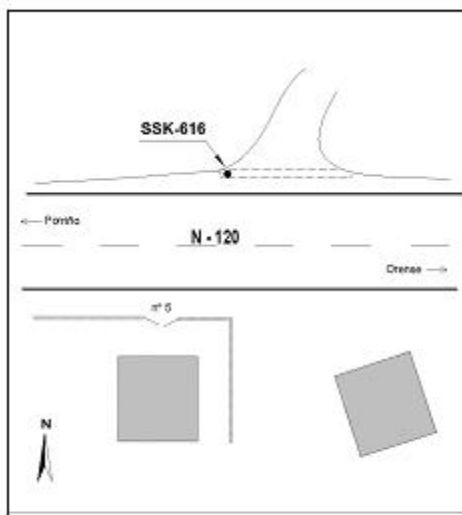
Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 647,800 de la margen N de la Carretera N-120, en el extremo W de un paso de cuneta.



Observaciones:

Es la misma SSK-616 de la antigua línea 199, folio 223.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jcn.es/ediciones/indiciv.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

8-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **546003**
 Nombre: **SSK159,650**
 Línea o Ramal: **546. Porriño - Tui**

Municipio: **Porriño, O**
 Provincia: **Pontevedra**
 Hoja MTN50: **261**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **27 de junio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **546002 - NG2305**
 Posterior: **546004 - SSK19,500**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **30,4640 m.**
 Geopotencial: **29,86563 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980355,95 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

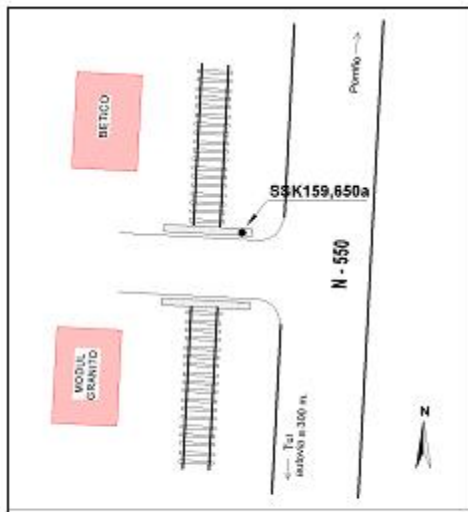
Longitud: **- 8° 37' 24,253"**
 Latitud: **42° 07' 59,900"**
 Altitud elipsoidal: **85,8 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 159,850 de la margen W de la Carretera N-550, en el extremo SW del pretil de hormigón de un puente sobre el ferrocarril.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 546014
Nombre: NGZ308
Línea o Ramal: 546. Porriño - Tui

Municipio: Tui
Provincia: Pontevedra
Hoja MTN50: 261
Señal: Principal **En posición:** Vertical
Señalizada: 28 de junio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 546013 - NGS-199
Posterior: 546015 - NAPD-11
Agrupada con: 546013 - NGS-199.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 15,4767 m.
Geopotencial: 15,17266 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980356,63 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

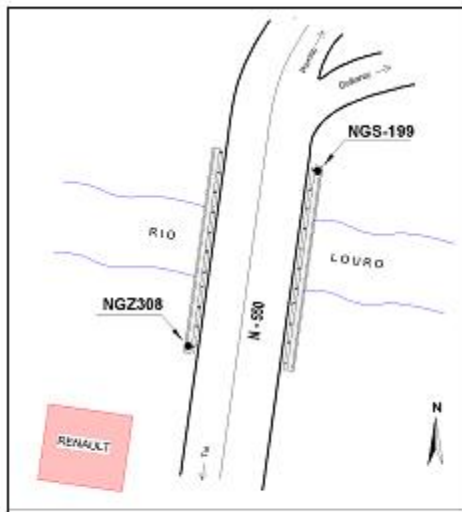
Longitud: - 8° 38' 11,74"
Latitud: 42° 03' 57,86"
Altitud elipsoidal: 70 m.
Precisión: ± 1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 167,850 de la margen W de la Carretera N-550, en el extremo SW del puente sobre el río Louro.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jcn.es/ediciones/indic-01.pdf>





Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña de Señal de Nivelación

30-jun-2008

Situación Geográfica:

Número: **547003**
 Nombre: **SSK154,400**
 Línea o Ramal: **547. Porriño - Santiago**

Municipio: **Porriño, O**
 Provincia: **Pontevedra**
 Hoja MTN50: **223**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **30 de junio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **547001 - NAPD-566**
 Posterior: **547004 - NG2309**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **43,10474 m.**
 Geopotencial: **42,25805 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980355,67 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

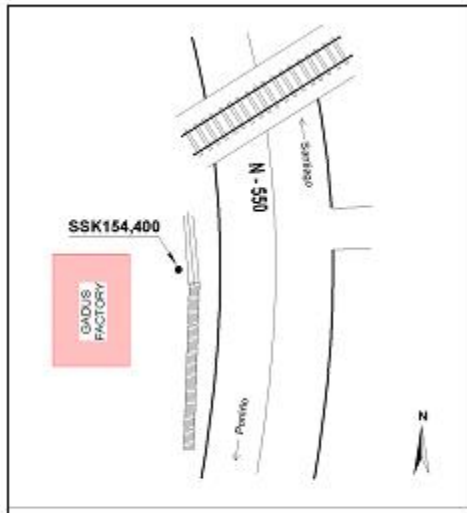
Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 8° 36' 48,30550"**
 Latitud: **42° 10' 51,96414"**
 Altitud elipsoidal: **98.52444 m.**
 Precisión: **Observado GPS estático rápido**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 154,400 de la margen W de la Carretera N-550, en el borde de cuneta del aparcamiento de Gadus Factory, al S del puente de ferrocarril que atraviesa la carretera.

Observaciones:



Reseña de Señal de Nivelación

30-jun-2008

Situación Geográfica:

Número: **547010**
 Nombre: **NGZ311**
 Línea o Ramal: **547. Porriño - Santiago**

Municipio: **Mos**
 Provincia: **Pontevedra**
 Hoja MTN50: **223**
 Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **30 de junio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **547009 - SSK149,600**
 Posterior: **547011 - NGZ312**
 Agrupada con: **547011 - NGZ312.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **105,29841 m.**
 Geopotencial: **103,22969 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980349,29 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

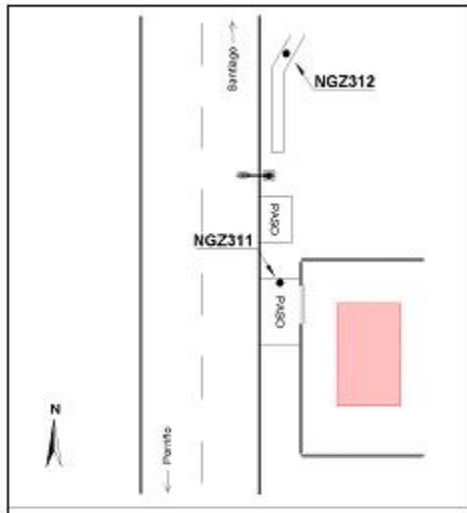
Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 8° 35' 46,41116"**
 Latitud: **42° 13' 44,43798"**
 Altitud elipsoidal: **160.6638 m.**
 Precisión: **Observado GPS estático rápido**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 148,800 de la margen E de la Carretera N-550, sobre el borde N de un paso de cuneta.

Observaciones:





Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña de Señal de Nivelación

30-jun-2008

Situación Geográfica:

Número: **547029**
 Nombre: **NGZ317**
 Línea o Ramal: **547. Porriño - Santiago**

Municipio: **Vilaboa**
 Provincia: **Pontevedra**
 Hoja MTN50: **185**
 Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **04 de julio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **547028 - SSK133,996**
 Posterior: **547030 - NGZ318**
 Agrupada con: **547030 - NGZ318.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **10,85904 m.**
 Geopotencial: **10,64596 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980376,79 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

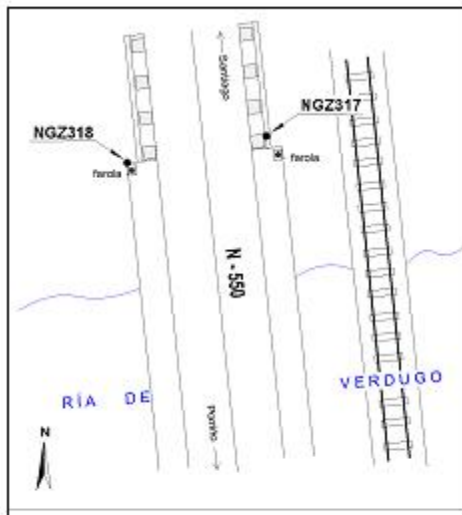
Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 8° 36' 42,89362"**
 Latitud: **42° 20' 46,69477"**
 Altitud elipsoidal: **66.21582 m.**
 Precisión: **Observado GPS estático rápido**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 133,050 de la margen E de la Carretera N-550, en el extremo NE del puente sobre la Ría de Verdugo.

Observaciones:



Reseña de Señal de Nivelación

30-jun-2008

Situación Geográfica:

Número: 547034
Nombre: SSK129
Línea o Ramal: 547. Porriño - Santiago

Municipio: Vilaboa
Provincia: Pontevedra
Hoja MTN50: 185
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 04 de julio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 547033 - SSK130,150
Posterior: 547035 - NG2319
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 63,87418 m.
Geopotencial: 62,62049 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980369,73 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

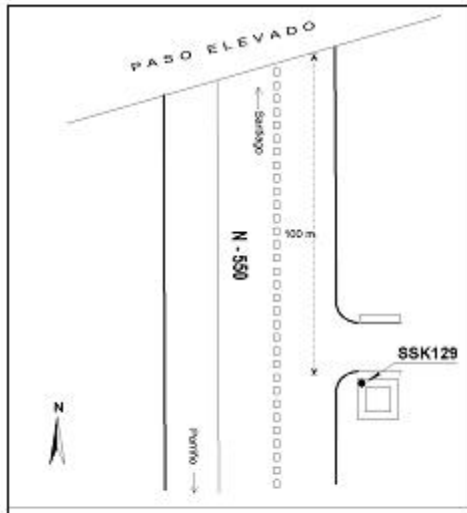
Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 38' 07,18083"
Latitud: 42° 22' 28,88921"
Altitud elipsoidal: 119,2063 m.
Precisión: Observado GPS estático rápido

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 129 de la margen E de la Carretera N-550, en la esquina NW de una alcantarilla al S de una entrada, y 100 mts al S de un puente.

Observaciones:





Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña de Señal de Nivelación

30-jun-2008

Situación Geográfica:

Número: **547057**
 Nombre: **SSK111,300**
 Línea o Ramal: **547. Porriño - Santiago**

Municipio: **Pontevedra**
 Provincia: **Pontevedra**
 Hoja MTN50: **185**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **06 de julio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **547056 - SSK112,250**
 Posterior: **547058 - SSK110,500**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **165,65897 m.**
 Geopotencial: **162,40392 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980355,66 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

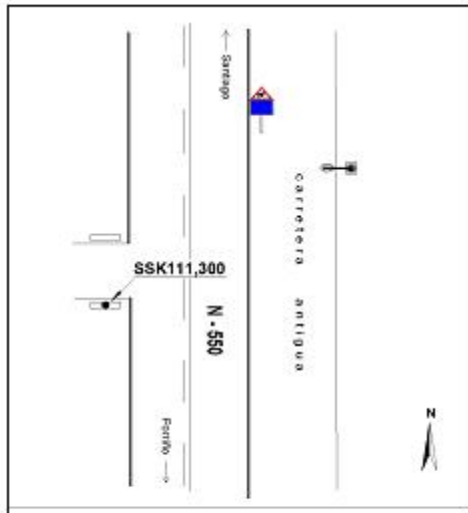
Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 8° 38' 28,79613"**
 Latitud: **42° 29' 34,98714"**
 Altitud elipsoidal: **220.883 m.**
 Precisión: **Coordenadas Gráficas del MTN**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 111,300 de la margen W de la Carretera N-550, en el centro de una alcantarilla al S de un camino.

Observaciones:



Reseña de Señal de Nivelación

30-jun-2008

Situación Geográfica:

Número: 547066
Nombre: SSK105,400
Línea o Ramal: 547. Porriño - Santiago

Municipio: Barro
Provincia: Pontevedra
Hoja MTN50: 152
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 06 de julio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 547065 - SSK106,300
Posterior: 547067 - SSK104,450
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 72,42491 m.
Geopotencial: 71,00393 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980376,89 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

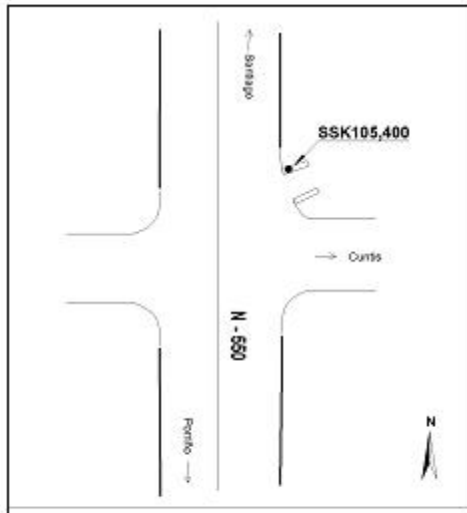
Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 38' 13,84681"
Latitud: 42° 32' 33,55683"
Altitud elipsoidal: 127.7376 m.
Precisión: Observado GPS estático rápido

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 105,400 de la margen E de la Carretera N-550, en el extremo W de una alcantilla al N de un camino y al N del desvío a Curtis.

Observaciones:





Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña de Señal de Nivelación

30-jun-2008

Situación Geográfica:

Número: **547081**
 Nombre: **NGS-166**
 Línea o Ramal: **547. Porriño - Santiago**

Municipio: **Caldas de Reis**
 Provincia: **Pontevedra**
 Hoja MTN50: **152**
 Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de noviembre de 1984**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **547080 - SSK222,400**
 Posterior: **547082 - NGS-167**
 Agrupada con: **547082 - NGS-167.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **134,40967 m.**
 Geopotencial: **131,77338 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980380,45 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

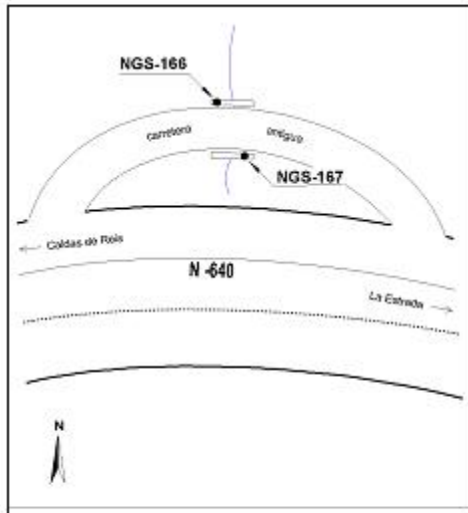
Longitud: **- 8° 36' 41,00000"**
 Latitud: **42° 36' 40,00000"**
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: **Coordenadas Gráficas del MTN**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 221,500 de la margen N de la Carretera N-640, en el extremo NW de la acera del pontón antiguo sobre el reguero de los Caballeros en un tramo de carretera antigua.

Observaciones:

Es la misma NGS-166 de la antigua línea 205, folio 174.



Reseña de Señal de Nivelación

30-jun-2008

Situación Geográfica:

Número: 547095
Nombre: SSK211,600
Línea o Ramal: 547. Porriño - Santiago

Municipio: Cuntis
Provincia: Pontevedra
Hoja MTN50: 120
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 08 de julio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 547094 - SSK212,300
Posterior: 547096 - NGS-176
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 205,79863 m.
Geopotencial: 201,76188 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980376,24 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

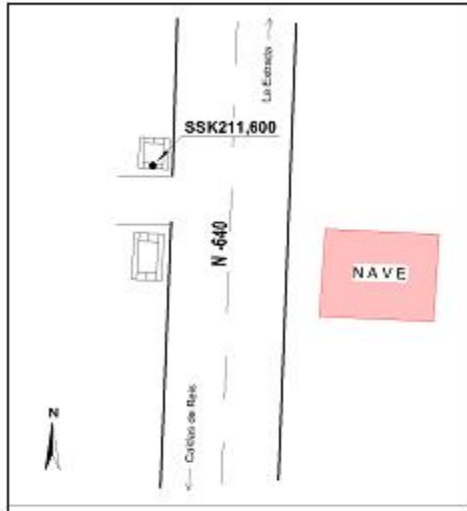
Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 33' 10,02281"
Latitud: 42° 40' 31,81481"
Altitud elipsoidal: 261.3848 m.
Precisión: Observado GPS estático rápido

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 211,600 de la margen W de la Carretera N-640, en el lado S de una alcantarilla al N de un camino.

Observaciones:





Centro de Observaciones Geodésicas
Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña de Señal de Nivelación

30-jun-2008

Situación Geográfica:

Número: **547112**
Nombre: **SSK9,600**
Línea o Ramal: **547. Porriño - Santiago**

Municipio: **Teo**
Provincia: **A Coruña**
Hoja MTN50: **120**
Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
Señalizada: **11 de julio de 2005**
Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **66,08433 m.**
Geopotencial: **64,79047 u.g.p.**
Gravedad en superficie: **980418,28 mgals.** *Observada*
Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 8° 33' 04,61177"**
Latitud: **42° 46' 39,65068"**
Altitud elipsoidal: **121.668 m.**
Precisión: **Observado GPS estático rápido**

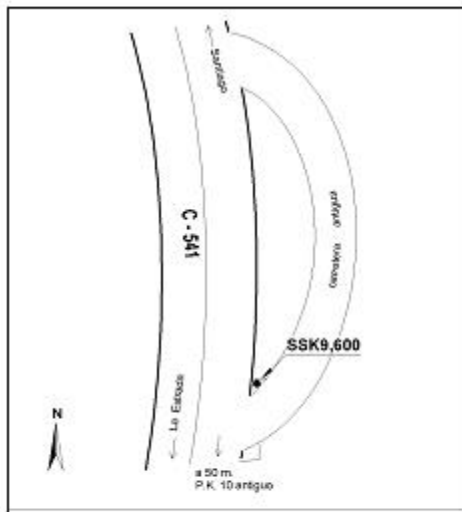
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km.9,600 de la margen E de la Carretera C-541, en una alcantarilla al S de un tramo de carretera antigua.

Observaciones:

Enlaces:

Anterior: **547111 - SSK10,800**
Posterior: **547113 - SSK8,700**
Agrupada con:



Reseña de Señal de Nivelación

30-jun-2008

Situación Geográfica:

Número: **547123**
 Nombre: **SSK0,600**
 Línea o Ramal: **547. Porriño - Santiago**

Municipio: **Santiago de Compostela**
 Provincia: **A Coruña**
 Hoja MTN50: **94**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **12 de julio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **547122 - SSK-1,3**
 Posterior: **130 - NGZ27B* (Santiago)**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **229,54405 m.**
 Geopotencial: **225,04752 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980401,27 mgals.** *Calculada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

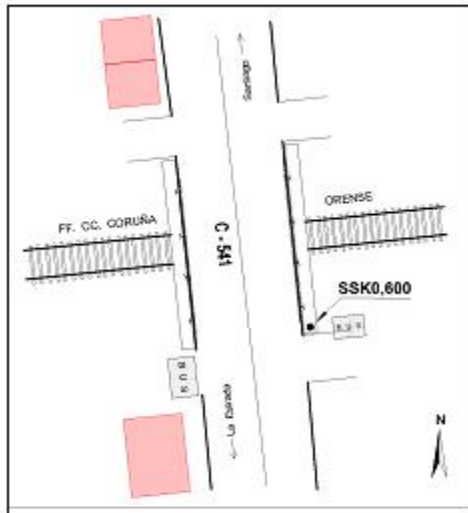
Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 8° 32' 23,04949"**
 Latitud: **42° 51' 23,32382"**
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: **Coordenadas Gráficas del MTN**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km.0,600 de la margen E de la Carretera C-541, en el extremo S de un puente sobre el ferrocarril Coruña - Orense.

Observaciones:





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **548025**
 Nombre: **SSK143,075**
 Línea o Ramal: **548. Río - Santiago**

Municipio: **Antas de Ulla**
 Provincia: **Lugo**
 Hoja MTN50: **122**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **03 de junio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **548024 - SSK142,050**
 Posterior: **548026 - NGZ281**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **622,5952 m.**
 Geopotencial: **610,33689 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980284,47 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

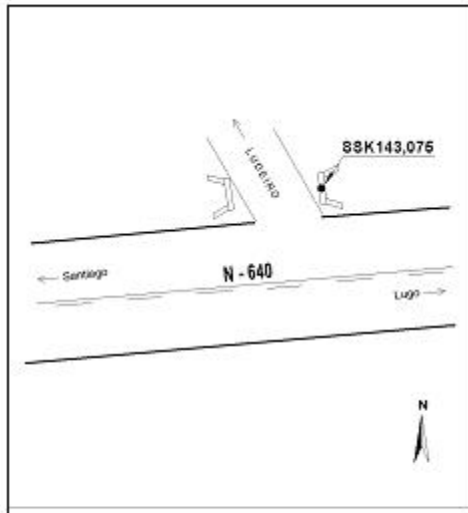
Longitud: **- 7° 57' 13,065"**
 Latitud: **42° 46' 26,813"**
 Altitud elipsoidal: **678,9 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 143,075 de la margen N de la Carretera N-640, en el centro de una alcantarilla al E de un camino que conduce a Ludeiro.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **548037**
 Nombre: **SSK153,400**
 Línea o Ramal: **548. Río - Santiago**

Municipio: **Lalín**
 Provincia: **Pontevedra**
 Hoja MTN50: **122**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **06 de junio de 2005**
 Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **452,2973 m.**
 Geopotencial: **443,40231 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980314,56 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 8° 03' 33,99"**
 Latitud: **42° 44' 36,19"**
 Altitud elipsoidal: **509 m.**
 Precisión: **± 1 m.**

Reseña:

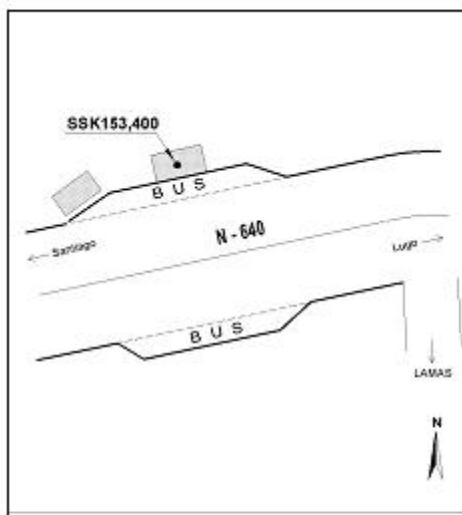
Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 153,400 de la margen N de la Carretera N-640, en el centro de una plataforma de hormigón de una parada de autobús abandonada.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jcn.es/ediciones/infocv.html>

Enlaces:

Anterior: **548036 - SSK152,400**
 Posterior: **548038 - NGZ285**
 Agrupada con:





Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **548054**
Nombre: **SSK292,100**
Línea o Ramal: **548. Río - Santiago**

Municipio: **Lalín**
Provincia: **Pontevedra**
Hoja MTN50: **122**
Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
Señalizada: **07 de junio de 2005**
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **548053 - SSMADERAS**
Posterior: **548055 - SSK293**
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **504,4482 m.**
Geopotencial: **494,52208 u.g.p.**
Gravedad en superficie: **980301,42 mgals.** *Observada*
Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

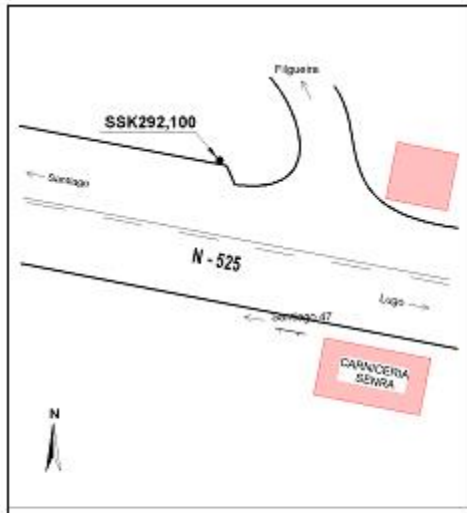
Longitud: **- 8° 07' 44,301"**
Latitud: **42° 40' 07,280"**
Altitud elipsoidal: **560,7 m.**
Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 292,100 de la margen N de la Carretera N-525, en bordillo de acera, al W del desvío a Figueira.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 548076
Nombre: SSK-609
Línea o Ramal: 548. Río - Santiago

Municipio: Silleda
Provincia: Pontevedra
Hoja MTN50: 121
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 08 de junio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 548075 - SSK307,200
Posterior: 548077 - NG2293
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 326,2437 m.
Geopotencial: 319,8374 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980349,48 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 17' 34,055"
Latitud: 42° 43' 22,093"
Altitud elipsoidal: 382,3 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

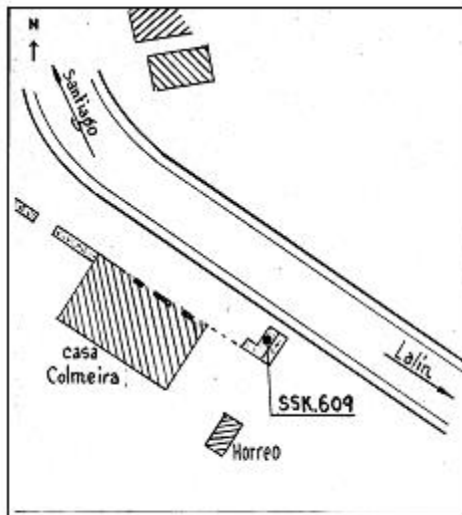
Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 308,350 de la margen S de la Carretera N-525, sobre una losa de granito a la entrada al patio, a la izquierda de una casa abandonada.



Observaciones:

Es la misma SSK-609 de la antigua línea 192, folio 69.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jcn.es/ediciones/infocsv.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación 1-jun-2013

Situación Geográfica:
Número: 548087
Nombre: SSK316,800
Línea o Ramal: 548. Río - Santiago

Municipio: Estrada, A
Provincia: Pontevedra
Hoja MTN50: 121
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 09 de junio de 2005
Nivelada:

Enlaces:
Anterior: 548086 - SSK-616,5
Posterior: 548088 - SSK317,800
Agrupada con:

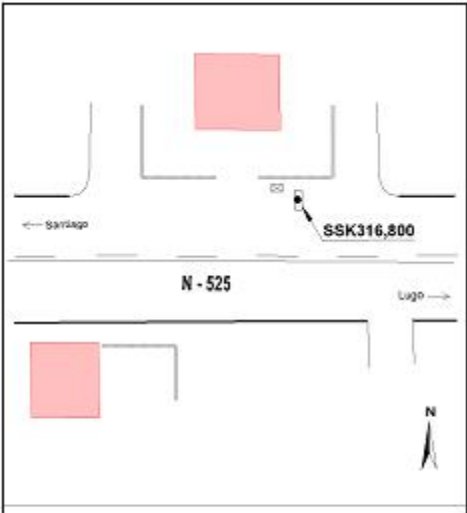
Datos Geodésicos:
Altitud ortométrica: 298,3259 m.
Geopotencial: 292,47258 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980366,92 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:
Longitud: - 8° 22' 21,829"
Latitud: 42° 45' 16,102"
Altitud elipsoidal: 354,2 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:
 Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 316,800 de la margen N de la Carretera N-525, en la imposta de una alcantarilla frente a una casa.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **548104**
 Nombre: **SSK329,175**
 Línea o Ramal: **548. Río - Santiago**

Municipio: **Boqueixón**
 Provincia: **A Coruña**
 Hoja MTN50: **121**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **10 de junio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **548103 - SSK328,100**
 Posterior: **548105 - NGR-537**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **209,6057 m.**
 Geopotencial: **205,49884 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980397,69 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

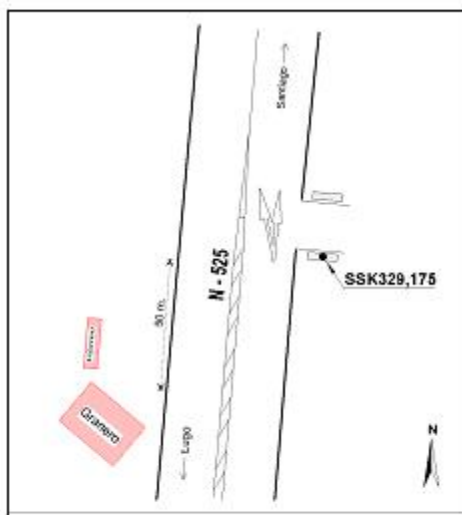
Longitud: **- 8° 28' 37,37"**
 Latitud: **42° 48' 07,18"**
 Altitud elipsoidal: **265 m.**
 Precisión: **± 1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 329,175 de la margen E de la Carretera N-525, en el lado S de una alcantarilla-paso de cuneta, al S de un camino.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **549012**
 Nombre: **NGZ 83**
 Línea o Ramal: **549. Río - Orense**

Municipio: **Taboada**
 Provincia: **Lugo**
 Hoja MTN50: **123**

Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de junio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **549011 - NGZ 82**
 Posterior: **549013 - SSK 36,3**
 Agrupada con: **549011 - NGZ 82.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **629,9640 m.**
 Geopotencial: **617,56195 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980286,36 mgals.** *Calculada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

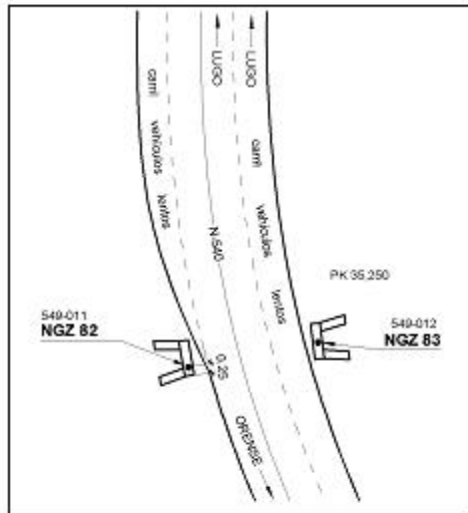
Longitud: **- 7° 45' 16,0"**
 Latitud: **42° 45' 38,0"**
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: **Coordenadas orientativas**

Reseña:

Clavo metálico cuya cabeza tiene la inscripción NGZ 83 incrustado aproximadamente en el Km. 35,250 de la margen Este de la Carretera N-540. Está situado sobre el centro de la cara superior de una alcantarilla con aletas, según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 549027
Nombre: SSK 46,3
Línea o Ramal: 549. Río - Orense

Municipio: Taboada
Provincia: Lugo
Hoja MTN50: 155
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de julio de 1984
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 549026 - NGZ 632
Posterior: 549028 - SSK 47,3
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 514,2704 m.
Geopotencial: 504,14548 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980290,27 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 45' 58,088"
Latitud: 42° 39' 54,014"
Altitud elipsoidal: 570,6 m.
Precisión: ± 0,1 m.

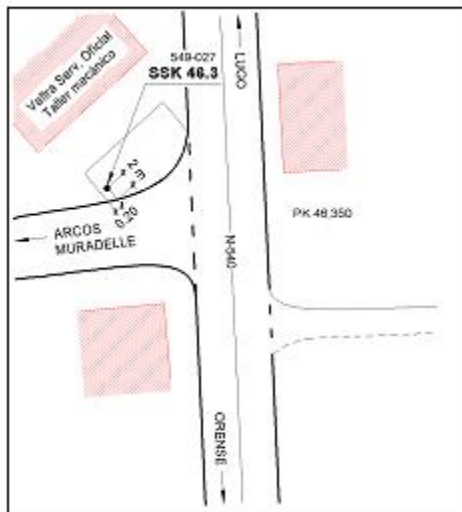
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 46,350 de la margen Oeste de la Carretera N-540. Dista unos 1.150 m. de la señal número 549026. Está situado sobre un paso de cuneta de hormigón de acceso a taller mecánico, en el cruce a Arcos y Muradelle, según croquis.

Observaciones:

Es la señal SSK 50.0, folio 104, recuperada de la antigua Línea 200 (Lugo-Portomarin-Cambeo), señalizada en 1984.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicRN.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **549049**
 Nombre: **SSK 58,6**
 Línea o Ramal: **549. Río - Orense**

Municipio: **Chantada**
 Provincia: **Lugo**
 Hoja MTN50: **155**

Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de junio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **549048 - NGS 50**
 Posterior: **549050 - SSK 59,6**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **680,9756 m.**
 Geopotencial: **667,54312 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980245,76 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

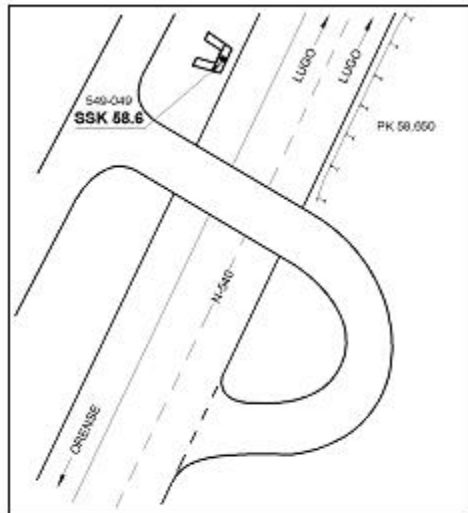
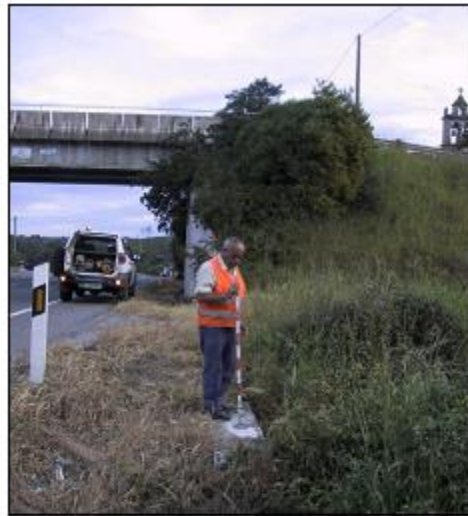
Longitud: **- 7° 47' 36,933"**
 Latitud: **42° 34' 27,836"**
 Altitud elipsoidal: **737,2 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 58,650 de la margen Oeste de la Carretera N-540. Dista unos 900 m. de la señal número 549048. Está situado sobre el centro de la cara superior de la imposta de una alcantarilla con aletas, según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w0.geodesia.jccm.es/ediciones/indic01.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 549065
Nombre: SSK 69,0
Línea o Ramal: 549. Río - Orense

Municipio: Vilamarín
Provincia: Orense
Hoja MTN50: 188
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de junio de 2005
Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 668,0185 m.
Geopotencial: 654,83443 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980235,62 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 50' 37,370"
Latitud: 42° 29' 38,766"
Altitud elipsoidal: 724,1 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

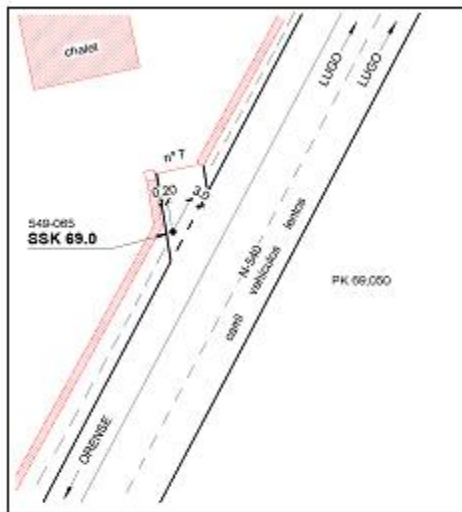
Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 69,050 de la margen Oeste de la Carretera N-540. Dista unos 1.000 m. de la señal número 549064. Está situado sobre un paso de cuneta de hormigón en la entrada a una parcela con chalet, acotado según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>

Enlaces:

Anterior: 549064 - SSK 68,0
Posterior: 549066 - SSK 69,9
Agrupada con:





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **549089**
 Nombre: **NGR 603**
 Línea o Ramal: **549. Río - Orense**

Municipio: **Ourense**
 Provincia: **Orense**
 Hoja MTN50: **187**
 Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de agosto de 1983**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **549088 - SSK 241,6**
 Posterior: **549090 - SSK 240,0**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **170,7093 m.**
 Geopotencial: **167,3489 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980307,63 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 7° 52' 00,805"**
 Latitud: **42° 21' 42,841"**
 Altitud elipsoidal: **226,5 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

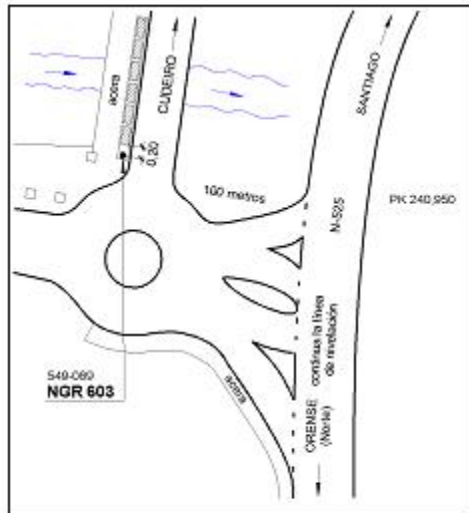
Reseña:

Clavo metálico cuya cabeza tiene la inscripción NGR 603 incrustado aproximadamente en el Km. 240,950 de la margen Oeste de la Carretera N-525 a unos 100 metros de dicha carretera, sobre la imposta de un pontón existente en la carretera a Cudeiro. Dista unos 800 m. de la señal número 549088.

Observaciones:

Es la señal NGR 603, folio 89, recuperada de la antigua Línea 196 (Lalín-Orense), señalizada en 1983.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indic/NV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **550009**
 Nombre: **NGZ 71**
 Línea o Ramal: **550. Lugo - Rio**

Municipio: **Lugo**
 Provincia: **Lugo**
 Hoja MTN50: **97**
 Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de junio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **550008 - NGZ 70**
 Posterior: **550010 - SSK 5,7**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **498,9159 m.**
 Geopotencial: **489,10747 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980319,44 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

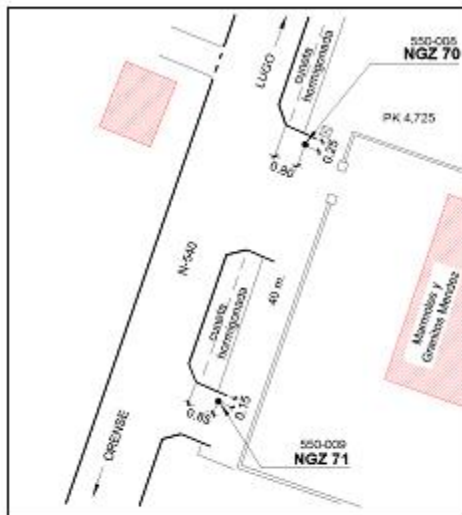
Longitud: **- 7° 35' 35,868"**
 Latitud: **42° 58' 19,959"**
 Altitud elipsoidal: **555,0 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Clavo metálico cuya cabeza tiene la inscripción NGZ 71 incrustado aproximadamente en el Km. 4,765 de la margen Este de la Carretera N-540. Dista unos 40 m. de la señal número 550008. Está situado en el extremo Norte de la solera de hormigón del paso sobre la cuneta situado más al Sur para el acceso a la nave industrial "Marmoles y granitos Mendez", acotado según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/infocvni.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **550022**
Nombre: **SSK 15,6**
Línea o Ramal: **550. Lugo - Rio**

Municipio: **Guntín**
Provincia: **Lugo**
Hoja MTN50: **97**
Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
Señalizada: **02 de junio de 2005**
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **550021 - NGZ 75**
Posterior: **550023 - SSK 16,5**
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **545,3342 m.**
Geopotencial: **534,61189 u.g.p.**
Gravedad en superficie: **980314,96 mgals.** *Observada*
Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 7° 40' 53,25"**
Latitud: **42° 54' 02,58"**
Altitud elipsoidal: **601 m.**
Precisión: **± 1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 15,600 de la margen SE de la Carretera N-540. Dista unos 1.300 m. de la señal número 550021. Está situado sobre el extremo Oeste de un paso de cuneta sobre camino, acotado según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/infocsv.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 581003
Nombre: SSK-584,4
Línea o Ramal: 581. Betanzos - Santiago

Municipio: Betanzos
Provincia: A Coruña
Hoja MTN50: 45
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de noviembre de 1984
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 581002 - SSK-584
Posterior: 581004 - NGR-853
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 57,2183 m.
Geopotencial: 56,10118 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980473,97 mgals. *Calculada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 13' 21,3"
Latitud: 43° 17' 14,3"
Altitud elipsoidal:
Precisión: Coordenadas orientativas

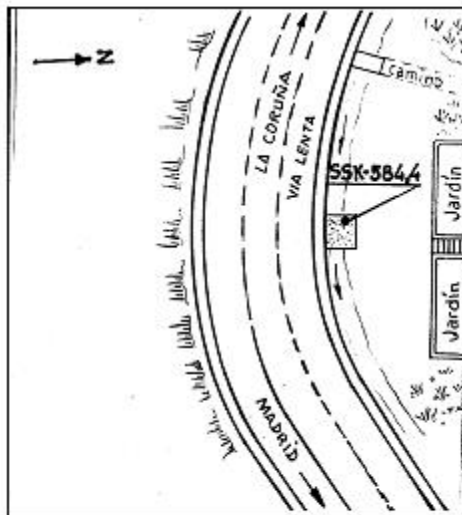
Reseña:

Clavo metálico semiestérico incrustado aproximadamente en el Km. 584,4 de la margen N de la Carretera N-VI a, sobre losa de hormigón de paso de cuneta que accede a un chalet, en su extremo NO.

Observaciones:

Es la misma SSK-584,4 de la antigua línea 191, folio 9.

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jcn.es/ediciones/indicPV.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **581016**
 Nombre: **NGZ243**
 Línea o Ramal: **581. Betanzos - Santiago**

Municipio: **Oleiros**
 Provincia: **A Coruña**
 Hoja MTN50: **45**
 Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **18 de mayo de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **581014 - SSK582,900**
 Posterior: **581017 - NGZ244**
 Agrupada con: **581017 - NGZ244.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **64,7002 m.**
 Geopotencial: **63,43703 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980473,87 mgals.** *Observada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 8° 19' 11,960"**
 Latitud: **43° 19' 21,728"**
 Altitud elipsoidal: **119,4 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

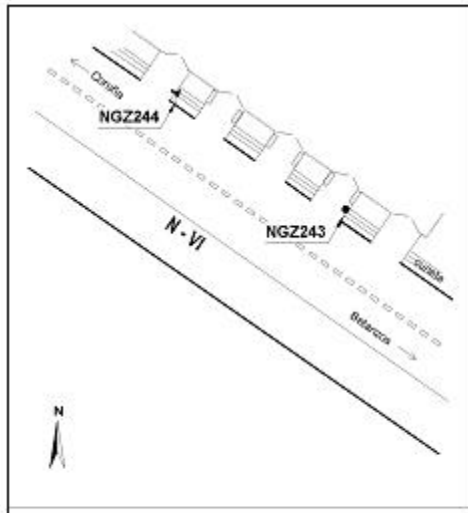
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 585,050 de la margen N de la Carretera N-VI a, en el lado E de un paso de cuneta de entrada a finca.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://w3.geodesia.jccm.es/ediciones/indicPV.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

21-mar-2009

Situación Geográfica:

Número: 581036
Nombre: SSK5,040
Línea o Ramal: 581. Betanzos - Santiago

Municipio: Arteixo
Provincia: A Coruña
Hoja MTN50: 45
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 19 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 581035 - NG2249
Posterior: 581037 - SSK5,975
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 122,1636 m.
Geopotencial: 119,77652 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980454,47 mgals. *Observada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

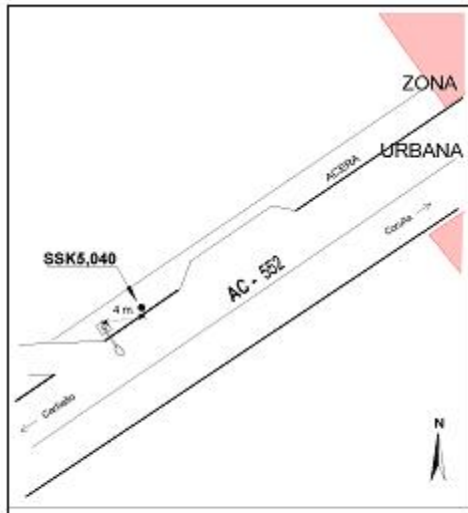
Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 28' 00,51281"
Latitud: 43° 19' 43,87448"
Altitud elipsoidal: 176.6234 m.
Precisión: Observado GPS estático rápido

Reseña:

Clavo metálico semiestérico incrustado aproximadamente en el Km. 5,040 de la margen N de la Carretera AC-552, en el borde de la acera de hormigón, unos 4 m al este de una farola.

Observaciones:





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 581054
 Nombre: SSK20,050
 Línea o Ramal: 581. Betanzos - Santiago

 Municipio: Laracha, A
 Provincia: A Coruña
 Hoja MTN50: 44
 Señal: Secundaria En posición: Vertical
 Señalizada: 20 de mayo de 2005
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 581053 - NGZ254
 Posterior: 581055 - NGZ255
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 197,2422 m.
 Geopotencial: 193,38773 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980450,07 mgals. Observada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 34' 23,094"
 Latitud: 43° 14' 48,566"
 Altitud elipsoidal: 252,2 m.
 Precisión: ± 0,1 m.

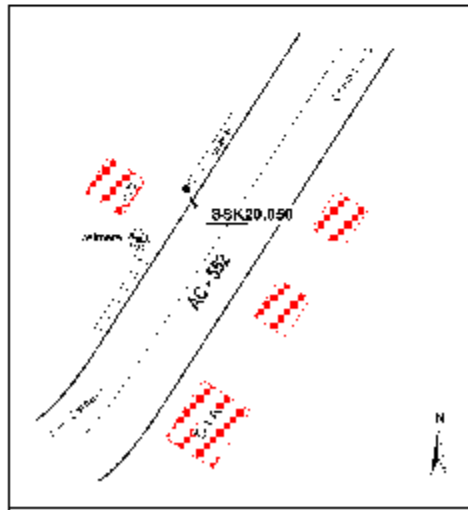
Reseña:

Ciavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 20,050 de la margen W de la Carretera C-552, en el extremo N de una alcantarilla-paso de cuneta de la casa nº 28.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 581071
Nombre: SSK33,750
Línea o Ramal: 581. Betanzos - Santiago

Municipio: Carballo
Provincia: A Coruña
Hoja MTN50: 44
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 23 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 581070 - SSCEPSA
Posterior: 581072 - SSK34,850
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 101,7667 m.
Geopotencial: 99,78038 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980477,37 mgals. **Observada**
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

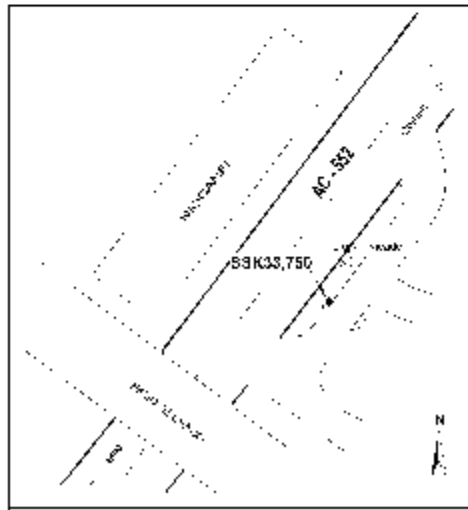
Longitud: - 8° 42' 38,207"
Latitud: 43° 12' 04,858"
Altitud elipsoidal: 156,7 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 33,750 de la margen S de la Carretera C-552, sobre la imposta de una alcantarilla al N de la vía de servicio.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/datos/estado/02N.pdf



Reseña de Señal de Nivelación 1-jun-2013

Situación Geográfica:
Número: 581105
Nombre: SSK57,700
Línea o Ramal: 581. Betanzos - Santiago

Municipio: Zas
Provincia: A Coruña
Hoja MTNS0: 68
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 25 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:
Anterior: 581104 - SSK58,600
Posterior: 581106 - SSK-56.8
Agrupada con:

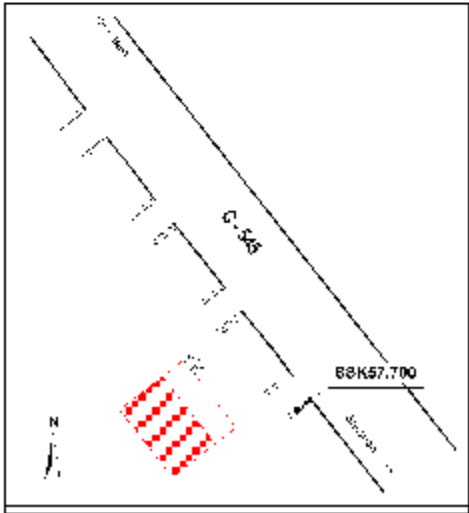
Datos Geodésicos:
Altitud ortométrica: 191,1799 m.
Geopotencial: 187,44349 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980447,97 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:
Longitud: - 8° 55' 36,79"
Latitud: 43° 07' 53,65"
Altitud elipsoidal: 246 m.
Precisión: ± 1 m.

Reseña:
 Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 57,700 de la margen W de la Carretera C-545, en el centro de una alcantarilla, al S de una entrada a finca.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: [ftp://ftp.geodesia.ign.es/datos/estado/inf02N.pdf](http://ftp.geodesia.ign.es/datos/estado/inf02N.pdf)



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 581117
Nombre: SSK46,800
Línea o Ramal: 581. Betanzos - Santiago

Municipio: Santa Comba
Provincia: A Coruña
Hoja MTN50: 68
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 26 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 581116 - SSK47,800
Posterior: 581118 - SSK45,700
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 381,3533 m.
Geopotencial: 373,88134 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980390,68 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

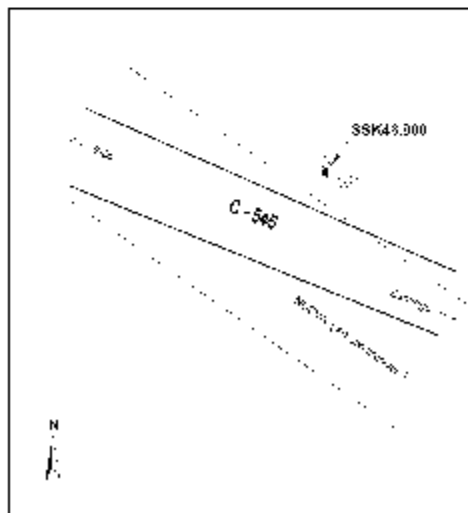
Longitud: - 8° 51' 56,861"
Latitud: 43° 04' 11,658"
Altitud elipsoidal: 436,6 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 46,800 de la margen N de la Carretera C-545, sobre la imposta de una alcantarilla de nueva construcción en la carretera nueva en construcción.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: <http://ftp.geodesia.ign.es/datos/estado/02N.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación 1-jun-2013

Situación Geográfica:
Número: 581142
Nombre: SSK6
Línea o Ramal: 581. Betanzos - Santiago

Municipio: Baña, A
Provincia: A Coruña
Hoja MTN50: 94
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 27 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:
Anterior: 581141 - NGR-152
Posterior: 581143 - SSK5,100
Agrupada con:

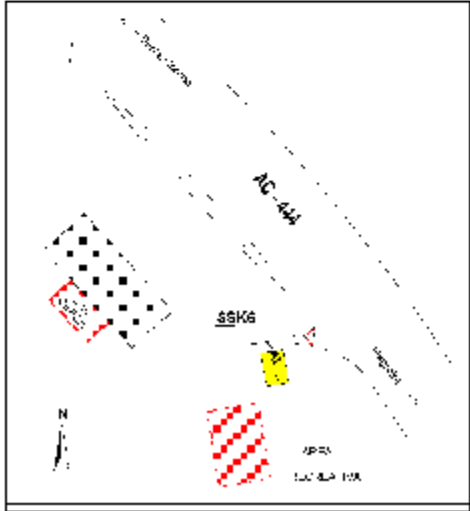
Datos Geodésicos:
Altitud ortométrica: 254,1655 m.
Geopotencial: 249,18739 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980403,3 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:
Longitud: - 8° 45' 02,40"
Latitud: 42° 57' 25,44"
Altitud elipsoidal: 310 m.
Precisión: ± 1 m.

Reseña:
 Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 6 de la margen W de la Carretera AC-444, en el borde N de un registro rectangular de hormigón al S de una estación de servicio.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 581176
Nombre: SSPUENTE
Línea o Ramal: 581. Betanzos - Santiago

Municipio: Santiago de Compostela
Provincia: A Coruña
Hoja MTN50: 94
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de junio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 581174 - NGR-569
Posterior: 581177 - SS
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 194,7553 m.
Geopotencial: 190,94102 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980406,72 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

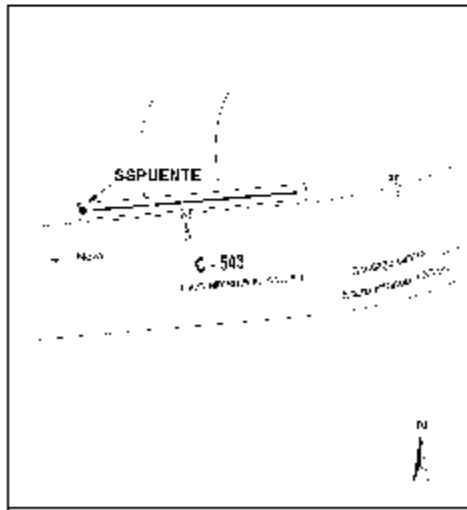
Longitud: - 8° 33' 43,76"
Latitud: 42° 52' 19,67"
Altitud elipsoidal: 250 m.
Precisión: ± 1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km.1 de la margen N de la Carretera C-543, en el extremo W de un puente de nueva construcción, en una zona que actualmente está en obras. Dista 1100 m del anterior.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info/2N.pdf





Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **582012**
 Nombre: **SSK 507,2**
 Línea o Ramal: **582. Lugo - Betanzos**

Municipio: Lugo
 Provincia: Lugo
 Hoja MTNS0: 72
 Señal: Secundaria En posición: Vertical
 Señalizada: 01 de octubre de 1984
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **582011 - SSK 506,3**
 Posterior: **582013 - SSK 507,7**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 483,8031 m.
 Geopotencial: 474,30229 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980341,7 mgals. Observada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -7° 35' 27,239"
 Latitud: 43° 02' 55,664"
 Altitud elipsoidal: 539,9 m.
 Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

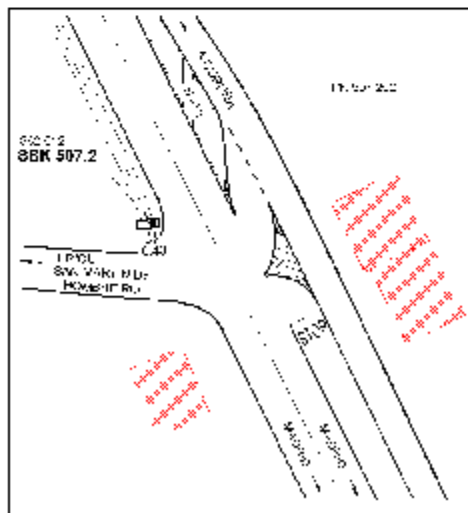
Ciavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 507,250 de la margen SO de la Carretera N-VI. Está situado sobre la imposta de hormigón de una alcantarilla, al final de una cuneta hormigonada, según croquis. Distancia unos 950 m. de la señal número 582011.



Observaciones:

Es la señal SSK 516,2, folio 21, recuperada de la antigua Línea 202 (Lugo-Rabade), señalizada en 1984.

Informe del estado de la Señal en: fo.geodesia.ign.es/estados/fo02N.pdf



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 582035
Nombre: NGR 792
Línea o Ramal: 582. Lugo - Betanzos

Municipio: Begonte
Provincia: Lugo
Hoja MTN50: 72
Señal: Principal **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de octubre de 1984
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 582034 - NGR 791
Posterior: 582036 - SSK 518,5
Agrupada con: 582034 - NGR 791.

Datos Geodésicos:

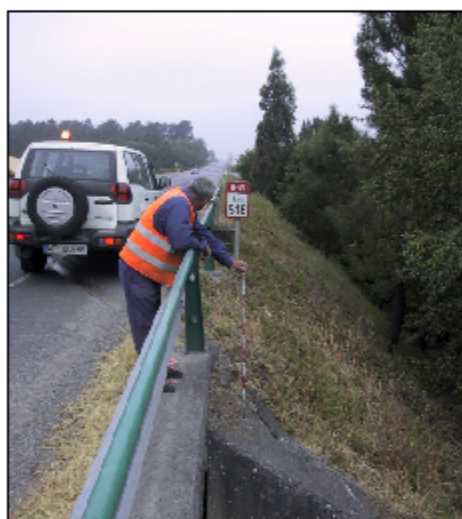
Altitud ortométrica: 417,1505 m.
Geopotencial: 408,97011 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980372,25 mgals. *Calculada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 38' 38,0"
Latitud: 43° 07' 41,0"
Altitud elipsoidal:
Precisión: Coordenadas orientativas

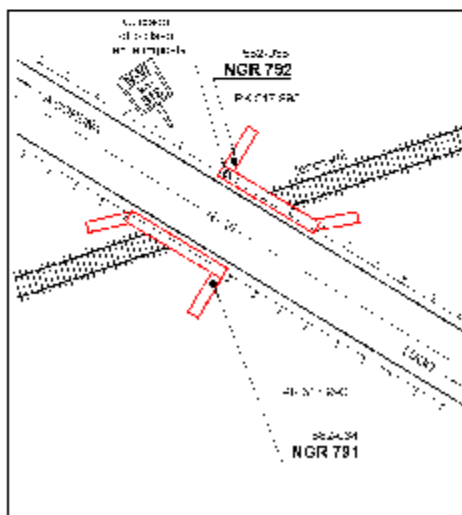
Reseña:

Clavo metálico cuya cabeza tiene grabada la inscripción NGR 792 incrustado aproximadamente en el Km. 517,995 de la margen Norte de la Carretera N-VI. Está situado sobre el arranque de la aleta NE del puente de la N-VI, sobre el FF.CC., a 0,20 metros más bajo que el nivel de la carretera, según croquis.



Observaciones:

Es la señal NGR 792, folio 12, recuperada de la antigua Línea 208 (Rabade-Betanzos), señalizada en 1984.



Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info/02N.pdf



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 582035
 Nombre: NGR 792
 Línea o Ramal: 582. Lugo - Betanzos

Municipio: Begonte
 Provincia: Lugo
 Hoja MTN50: 72
 Señal: Principal En posición: Vertical
 Señalizada: 01 de octubre de 1984
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 582034 - NGR 791
 Posterior: 582036 - SSK 518,5
 Agrupada con: 582034 - NGR 791.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 417,1505 m.
 Geopotencial: 408,97011 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980372,25 mgals. Calculada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -7° 38' 38,0"
 Latitud: 43° 07' 41,0"
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: Coordenadas orientativas

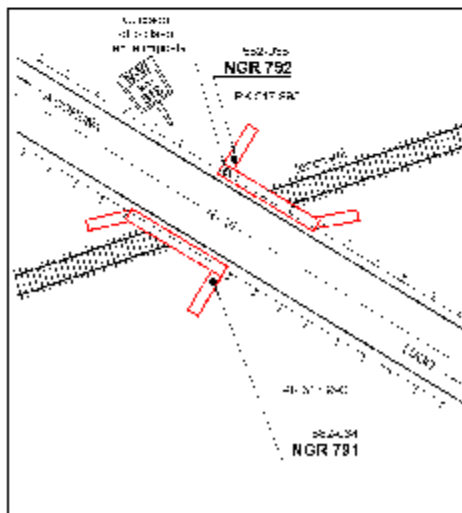
Reseña:

Ciavo metálico cuya cabeza tiene grabada la inscripción NGR 792 incrustado aproximadamente en el Km. 517,995 de la margen Norte de la Carretera N-VI. Está situado sobre el arranque de la aleta NE del puente de la N-VI, sobre el FF.CC., a 0,20 metros más bajo que el nivel de la carretera, según croquis.

Observaciones:

Es la señal NGR 792, folio 12, recuperada de la antigua Línea 208 (Rabade-Betanzos), señalizada en 1984.

Informe del estado de la Señal en: [ftp://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf](http://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf)





GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO



INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Área de Geodesia

Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **582056**
 Nombre: **SSK 528,0**
 Línea o Ramal: **582. Lugo - Betanzos**

Municipio: **Begonte**
 Provincia: **Lugo**
 Hoja MTNS0: **47**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de octubre de 1984**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **582055 - SSK 527,4**
 Posterior: **582057 - SSK 528,6**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **407,5681 m.**
 Geopotencial: **399,58051 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980384,58 mgals.** *Calculada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 7° 44' 49,3"**
 Latitud: **43° 10' 23,9"**
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: **Coordenadas orientativas**

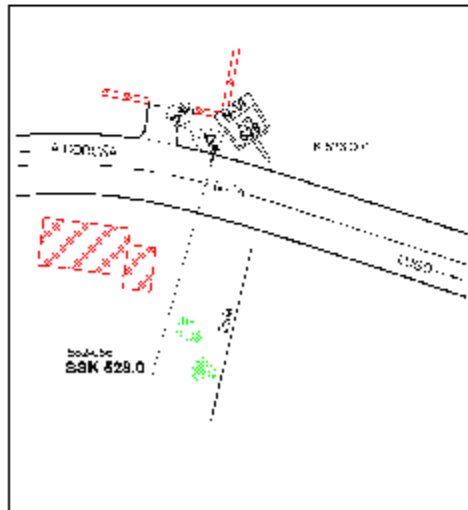
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 528,001 de la margen Norte de la Carretera N-VI. Está situado sobre base de hormigón cuadrangular de 0,80 m X 0,80 m sustentación del hito kilométrico antiguo 537. Dista unos 600 m. de la señal número 582055.

Observaciones:

Es la señal SSK 537, folio 38, recuperada de la antigua Línea 208 (Rabade-Betanzos), señalizada en 1984.

Informe del estado de la Señal en: [ftp://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info/2N.pdf](http://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info/2N.pdf)





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación 1-jun-2013

Situación Geográfica:
Número: 582069
Nombre: SSK 537,2
Línea o Ramal: 582. Lugo - Betanzos

Municipio: Guitiriz
Provincia: Lugo
Hoja MTNS0: 47
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de octubre de 1984
Nivelada:

Enlaces:
Anterior: 582068 - SSK 536,1
Posterior: 582070 - SSK 538,4
Agrupada con:

Datos Geodésicos:
Altitud ortométrica: 497,1999 m.
Geopotencial: 487,44723 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980363,75 mgals. **Observada**
Cálculo: 01 de mayo de 2008

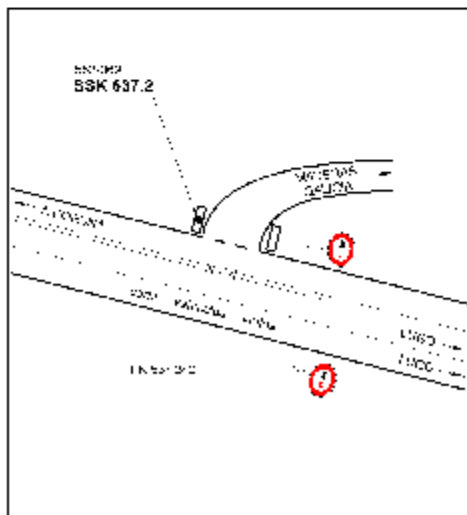
Coordenadas Geográficas ETRS89:
Longitud: - 7° 51' 07,47"
Latitud: 43° 10' 36,68"
Altitud elipsoidal: 553 m.
Precisión: ± 1 m.

Reseña:
 Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 537,240 de la margen Norte de la Carretera N-VI. Está situado sobre el centro de la imposta Oeste de un paso sobre cuneta a almacén de madera, según croquis. Dista unos 1.200 m. de la señal número 582068.



Observaciones:
 Es la señal SSK 546,2, folio 58, recuperada de la antigua Línea 208 (Rabade-Betanzos), señalizada en 1984.

 Informe del estado de la Señal en: [ftp://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info/2N.pdf](http://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info/2N.pdf)



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 582082
Nombre: SSK 543,2
Línea o Ramal: 582. Lugo - Betanzos

Municipio: Gultiriz
Provincia: Lugo
Hoja MTN50: 46
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de octubre de 1984
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 582081 - SSK 542,5
Posterior: 582083 - NGR 815
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 450,1697 m.
Geopotencial: 441,34327 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980374,09 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 55' 24,060"
Latitud: 43° 10' 56,253"
Altitud elipsoidal: 506,2 m.
Precisión: ± 0,1 m.

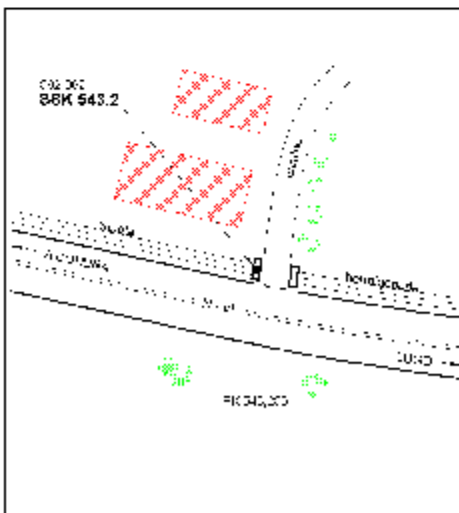
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 543,250 de la margen Norte de la Carretera N-VI. Está situado sobre el centro de la imposta Oeste de un paso de cuneta, según croquis. Distancia unos 725 m. de la señal número 582081.



Observaciones:

Es la señal SSK 552,2, folio 77, recuperada de la antigua Línea 208 (Rabade-Betanzos), señalizada en 1984.



Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **582104**
 Nombre: **SSK 555,1**
 Línea o Ramal: **582. Lugo - Betanzos**

Municipio: **Aranga**
 Provincia: **A Coruña**
 Hoja MTNS0: **46**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de octubre de 1984**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **582103 - SSK 554,0**
 Posterior: **582105 - SSK 556,1**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **514,7183 m.**
 Geopotencial: **504,62654 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980371,79 mgals.** Observada
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 8° 02' 55,56"**
 Latitud: **43° 12' 27,90"**
 Altitud elipsoidal: **570 m.**
 Precisión: **± 1 m.**

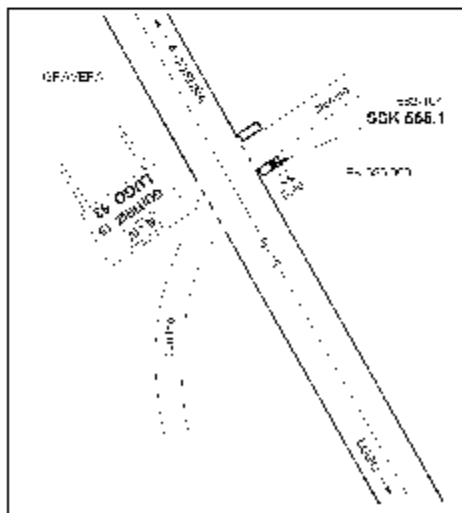
Reseña:

Ciavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 555,060 de la margen Este de la Carretera N-VI. Está situado sobre el extremo Norte de imposta Este de hormigón de paso sobre cuneta a camino de tierra, según croquis. Dista unos 1.075 m. de la señal número 582103.



Observaciones:

Es la señal SSK 564, folio 106, recuperada de la antigua Línea 208 (Rabade-Betanzos), señalizada en 1984.



Informe del estado de la Señal en: fo.geodesia.ign.es/estados/info2N.pdf

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 582124
Nombre: SSK 567,2
Línea o Ramal: 582. Lugo - Betanzos

Municipio: Colros
Provincia: A Coruña
Hoja MTNS0: 46
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de junio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 582123 - SSK 566,4
Posterior: 582125 - NGR 834
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 230,6762 m.
Geopotencial: 226,16558 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980436,15 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

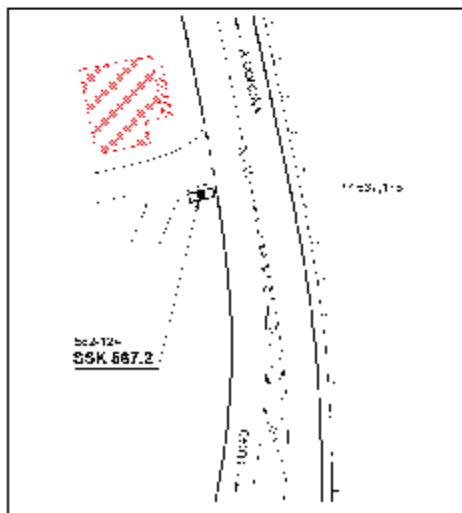
Longitud: - 8° 09' 40,255"
Latitud: 43° 14' 39,254"
Altitud elipsoidal: 286,1 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 567,175 de la margen Oeste de la Carretera N-VI. Está situado en la imposta del extremo Sur de un paso de cuneta de un camino asfaltado. Distancia unos 775 m. de la señal número 582123.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: <http://info.geodesia.ign.es/estadosde/señal/02N.pdf>



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación 1-jun-2013

Situación Geográfica:
Número: 583020
Nombre: SSK 560,9
Línea o Ramal: 583. Porto de Abalxo - Betanzos

Municipio: Ribadeo
Provincia: Lugo
Hoja MTNS0: 10
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 18 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:
Anterior: 583019 - SSK 560,0
Posterior: 583021 - NGZ 14
Agrupada con:

Datos Geodésicos:
Altitud ortométrica: 25,3272 m.
Geopotencial: 24,8338 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980516,74 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

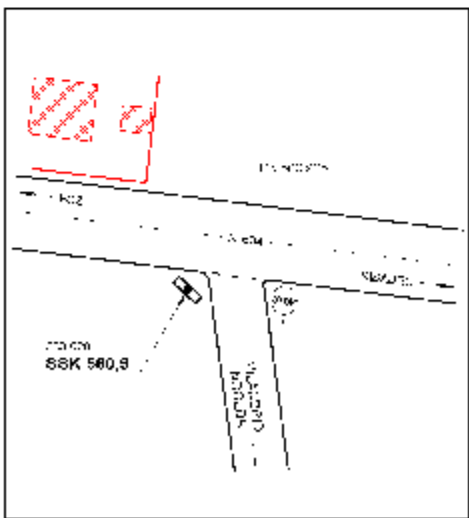
Coordenadas Geográficas ETRS89:
Longitud: - 7° 08' 03,839"
Latitud: 43° 32' 56,324"
Altitud elipsoidal: 79,1 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:
 Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 560,925 de la margen Sur de la Carretera N-634. Dista unos 900 m. de la señal número 583019. Esta situado en el centro de la cara superior del muro de una pequeña alcantarilla, en el cruce con la carretera a Vilandri y Noceda, según croquis.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://ftp.geodesia.ign.es/datos/informacion/>



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 583037
Nombre: SSK 30,0
Línea o Ramal: 583. Porto de Abaixo - Belanzos

Municipio: Foz
Provincia: Lugo
Hoja MTNS0: 9
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 19 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 583036 - SSK 29,2
Posterior: 583038 - SSK 30,9
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 31,2149 m.
Geopotencial: 30,60667 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980514,41 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

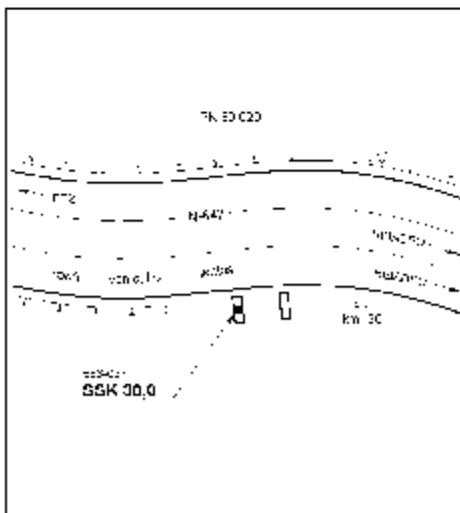
Longitud: - 7° 16' 04,508"
Latitud: 43° 33' 17,031"
Altitud elipsoidal: 85,1 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 30,020 de la margen Sur de la Carretera N-642. Dista unos 820 m. de la señal número 583036. Está situado sobre la cara superior del muro de una pequeña alcantarilla, en el extremo Oeste de un paso de cuneta, según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/estadodeseñales/info2N.pdf





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación 1-jun-2013

Situación Geográfica:
Número: 583049
Nombre: SSK 39,9
Línea o Ramal: 583. Porto de Abalxo - Betanzos

Municipio: Foz
Provincia: Lugo
Hoja MTN50: 9
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 20 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:
Anterior: 583048 - SSK 39,0
Posterior: 583050 - SSK 41,1
Agrupada con:

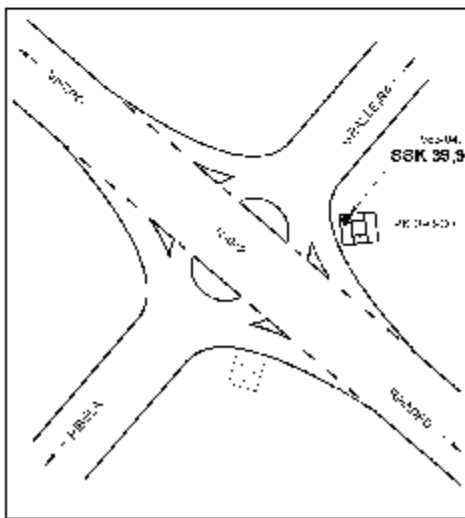
Datos Geodésicos:
Altitud ortométrica: 27,3546 m.
Geopotencial: 26,82167 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980517,95 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:
Longitud: - 7° 19' 37,268"
Latitud: 43° 37' 18,823"
Altitud elipsoidal: 80,8 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:
 Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 39,900 de la margen NE de la Carretera N-642. Dista unos 900 m. de la señal número 583048. Está situado sobre la esquina NO de una arqueta-alcantarilla en el desvío a Graiteira, según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 583050
Nombre: SSK 41,1
Línea o Ramal: 583. Porto de Abalxo - Betanzos

Municipio: Foz
Provincia: Lugo
Hoja MTNS0: 9
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 20 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 583049 - SSK 39,9
Posterior: 583051 - SSK 42,1
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 36,6042 m.
Geopotencial: 35,89106 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980515,85 mgals. **Observada**
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

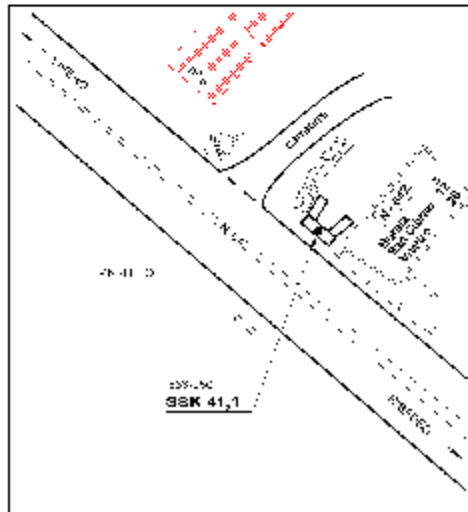
Longitud: - 7° 20' 15,034"
Latitud: 43° 37' 47,289"
Altitud elipsoidal: 90,0 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 41,100 de la margen NE de la Carretera N-642. Dista unos 1.200 m. de la señal número 583049. Está situado sobre el centro de la cara superior de una alcantarilla con aletas, junto a la salida de Cangas de Foz, según croquis.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **583067**
 Nombre: **NGZ 29**
 Línea o Ramal: **583. Porto de Abalxo - Betanzos**

Municipio: **Cervo**
 Provincia: **Lugo**
 Hoja MTN50: **3**
 Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **23 de mayo de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **583066 - NGZ 28**
 Posterior: **583068 - SSK 54,3**
 Agrupada con: **583066 - NGZ 28.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **49,0915 m.**
 Geopotencial: **48,13559 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980525,09 mgals.** Observada
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

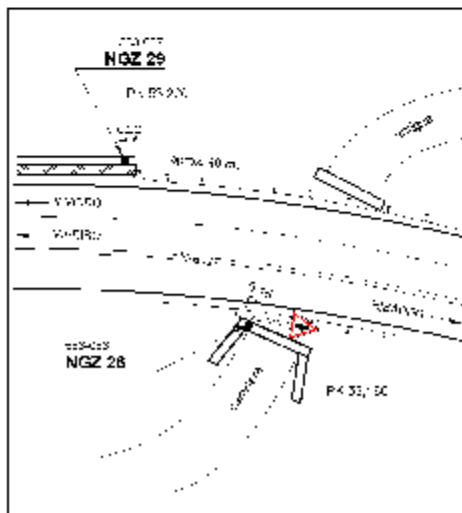
Longitud: **- 7° 27' 00,723"**
 Latitud: **43° 40' 59,221"**
 Altitud elipsoidal: **102,4 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Ciavo metálico cuya cabeza tiene la inscripción NGZ 29 Incrustado aproximadamente en el Km. 53,220 de la margen Norte de la Carretera N-642. Dista unos 40 m. de la señal número 583066. Está situado sobre el estribo NE de un viaducto; a 0,20 metros del extremo y por detrás del muro de protección de hormigón, según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: [ftp://ftp.geodesia.ign.es/datos/informacion.pdf](http://ftp.geodesia.ign.es/datos/informacion.pdf)



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 583078
Nombre: NGZ 32
Línea o Ramal: 583. Porto de Abalxo - Belanzos

Municipio: Viveiro
Provincia: Lugo
Hoja MTNS0: 2
Señal: Principal **En posición:** Vertical
Señalizada: 24 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 583077 - SSK 91,7
Posterior: 583079 - NGZ 33
Agrupada con: 583079 - NGZ 33.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 120,4791 m.
Geopotencial: 118,13263 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980520,84 mgals. *Calculada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

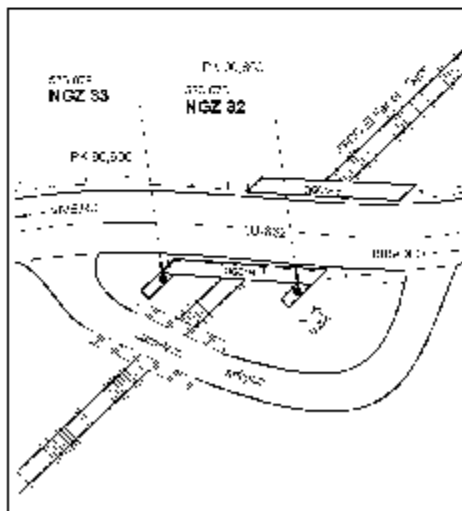
Longitud: - 7° 33' 52,0"
Latitud: 43° 41' 05,0"
Altitud elipsoidal:
Precisión: Coordenadas orientativas

Reseña:

Clavo metálico cuya cabeza tiene la inscripción NGZ 32 incrustado aproximadamente en el Km. 90,900 de la margen Sur de la Carretera LU-862. Dista unos 850 m. de la señal número 583077. Está situado sobre el estribo SE de un puente sobre el F.C. de vía estrecha de El Ferrol a Gijón, a 0,82 metros del extremo Sur del muro, por detrás de la barandilla, según croquis.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/datos/estado/Info2N.pdf



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 583097
 Nombre: NGZ 41
 Línea o Ramal: 583. Porto de Abalxo - Betanzos
 Municipio: Vicedo, O
 Provincia: Lugo
 Hoja MTNS0: 2
 Señal: Principal En posición: Vertical
 Señalizada: 25 de mayo de 2005
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 583096 - NGZ 40
 Posterior: 583098 - SSK 76,7
 Agrupada con: 583096 - NGZ 40.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 32,4210 m.
 Geopotencial: 31,79061 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980654,02 mgals. Calculada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

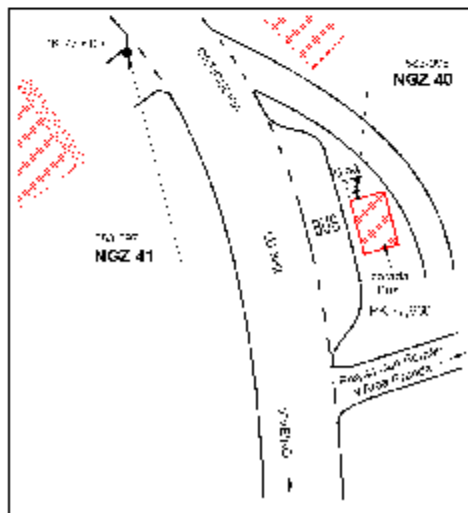
Longitud: - 7° 37' 37,0"
 Latitud: 43° 42' 53,0"
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: Coordenadas orientativas

Reseña:

Ciavo metálico cuya cabeza tiene la inscripción NGZ 41 incrustado aproximadamente en el Km. 77,600 de la margen Oeste de la Carretera LU-862. Dista unos 60 m. de la señal nº 583096. Está situado sobre la solera de hormigón del paso de cuneta a un chalet en construcción, a 0,25 metros del quiebro que forma a la entrada, según croquis.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: [ftp://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf](http://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf)

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 583112
Nombre: SSK 65,6
Línea o Ramal: 583. Porto de Abaixo - Betanzos

Municipio: Ortigueira
Provincia: A Coruña
Hoja MTN50: 2
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 27 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 583111 - SSK 66,5
Posterior: 583113 - NGZ 46
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 115,2047 m.
Geopotencial: 112,96421 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980547,62 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

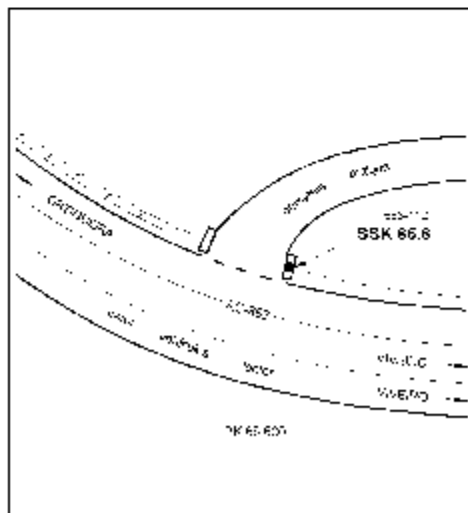
Longitud: - 7° 43' 34,572"
Latitud: 43° 43' 44,206"
Altitud elipsoidal: 169,0 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 65,600 de la margen Norte de la Carretera AC-862. Distará unos 950 m. de la señal número 583111. Está situado en el centro del extremo Oeste de un paso de cuneta de un tramo de la carretera antigua, según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://info.geodesia.ign.es/estados/estado2N.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación 1-jun-2013

Situación Geográfica:
Número: 583136
Nombre: SSK 47,0
Línea o Ramal: 583. Porto de Abalxo - Betanzos

Municipio: Ortigueira
Provincia: A Coruña
Hoja MTNS0: 7
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 30 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:
Anterior: 583135 - SSK 48,0
Posterior: 583137 - SSK 46,0
Agrupada con:

Datos Geodésicos:
Altitud ortométrica: 7,4848 m.
Geopotencial: 7,33929 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980563,67 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

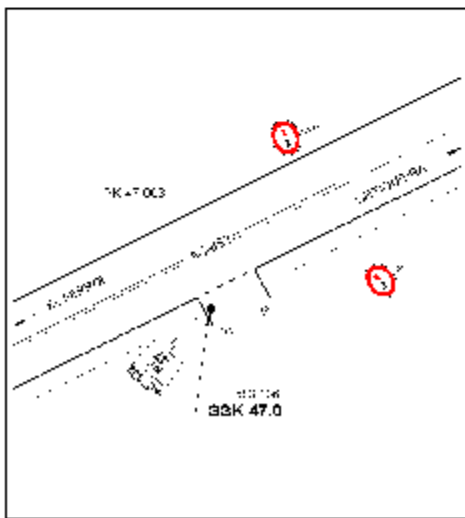
Coordenadas Geográficas ETRS89:
Longitud: - 7° 51' 47,762"
Latitud: 43° 39' 40,840"
Altitud elipsoidal: 61,9 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:
 Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 47,003 de la margen Sur de la Carretera AC-862. Distancia unos 1000 m. de la señal número 583135. Está situado sobre una solera de hormigón en el paso de cuneta a una parcela donde se almacena el material de una cantera de granito, en la vertical del eje de la cuneta, según croquis.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: [ftp://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf](http://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf)



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 583157
Nombre: SSK 30,7
Línea o Ramal: 583. Porto de Abalxo - Betanzos

Municipio: Cerdido
Provincia: A Coruña
Hoja MTN50: 7
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 31 de mayo de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 583156 - SSK 31,7
Posterior: 583158 - SSK 29,7
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 251,3560 m.
Geopotencial: 246,45993 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980510,58 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

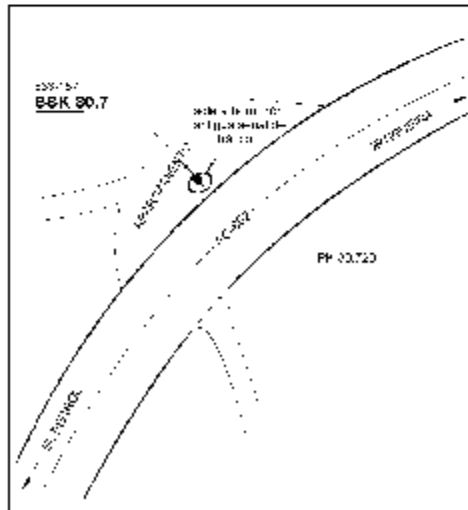
Longitud: - 7° 57' 33,209"
Latitud: 43° 35' 59,286"
Altitud elipsoidal: 306,1 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 30,720 de la margen NO de la Carretera AC-862. Dista unos 1000 m. de la señal número 583156. Está situado sobre la zapata de hormigón de una antigua señal de tráfico, en una plataforma de la carretera utilizada como aparcamiento, según croquis.



Observaciones:



Informe del estado de la Señal en: <http://info.geodesia.ign.es/estadodelasignales/info2N.pdf>



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **583170**
 Nombre: **SSK 19,3**
 Línea o Ramal: **583. Porto de Abalxo - Betanzos**

Municipio: **San Sadurniño**
 Provincia: **A Coruña**
 Hoja MTNS0: **7**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de junio de 2005**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **583169 - NGZ 62**
 Posterior: **583171 - SSK 18,5**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **123,3077 m.**
 Geopotencial: **120,9058 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980516,04 mgals.** Observada
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

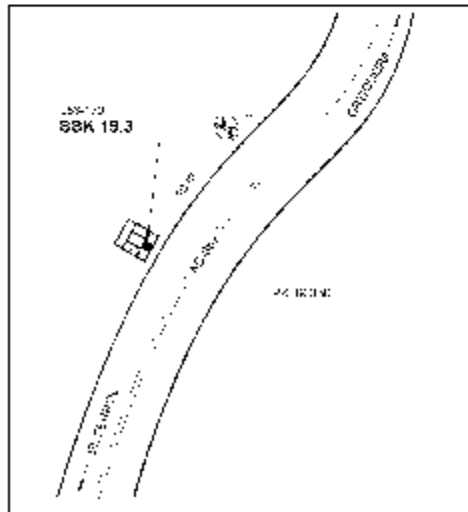
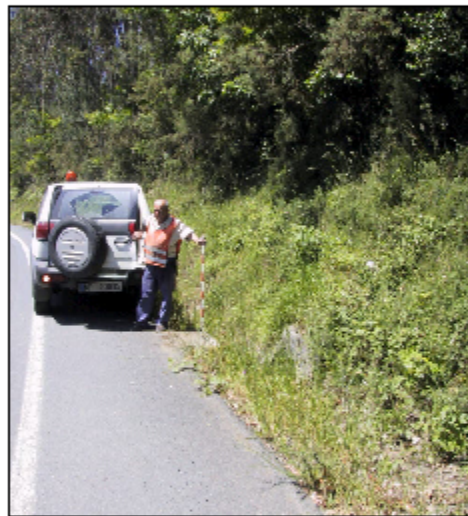
Longitud: **- 8° 03' 19,526"**
 Latitud: **43° 32' 21,758"**
 Altitud elipsoidal: **178,1 m.**
 Precisión: **± 0,1 m.**

Reseña:

Ciavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 19,350 de la margen Oeste de la Carretera AC-862. Dista unos 950 m. de la señal número 583169. Está situado sobre el centro de la cara superior de la imposta de una arqueta-alcantarilla, según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info/02N.pdf



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 583201
Nombre: SSK 29,7
Línea o Ramal: 583. Porto de Abalxo - Betanzos

Municipio: Fene
Provincia: A Coruña
Hoja MTNS0: 22
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de noviembre de 1984
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 583200 - NGR 893
Posterior: 583202 - SSK 26,6
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 45,6011 m.
Geopotencial: 44,71239 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980509,54 mgals. **Observada**
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 09' 43,591"
Latitud: 43° 28' 12,285"
Altitud elipsoidal: 100,3 m.
Precisión: ± 0,1 m.

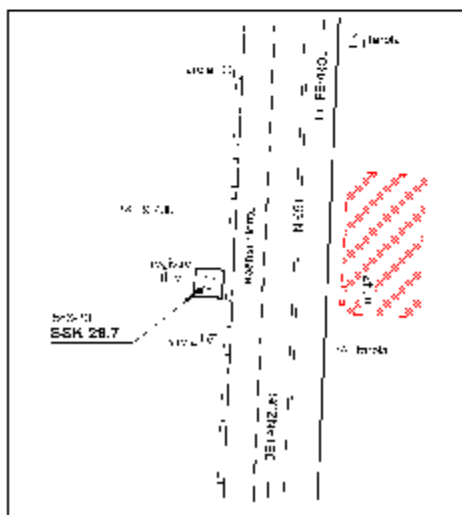
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 29,700 de la margen Oeste de la Carretera N-651. Dista unos 350 m. de la señal número 583200. Está situado sobre la esquina SO de una base de hormigón cuadrangular de 1.30 x 1.30 de registro de la Compañía Telefónica, al mismo nivel que la carretera, a la salida de la población de Fene, según croquis.

Observaciones:

Es la señal SSK-613.8, folio 91, recuperada de la antigua Línea 207 (Betanzos-Fene-Foz), señalizada en 1984.

Informe del estado de la Señal en: <http://www.geodesia.ign.es/estados/señal/02N.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: **583226**
 Nombre: **SSK 14,7**
 Línea o Ramal: **583. Porto de Abalxo - Betanzos**

Municipio: **Pontevedra**
 Provincia: **A Coruña**
 Hoja MTN50: **22**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de noviembre de 1984**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **583225 - SSK 15,7**
 Posterior: **583227 - SSK 13,5**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **103,1945 m.**
 Geopotencial: **101,18043 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980478,41 mgals.** Observada
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 8° 10' 35,77"**
 Latitud: **43° 22' 26,34"**
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: **± 1 m.**

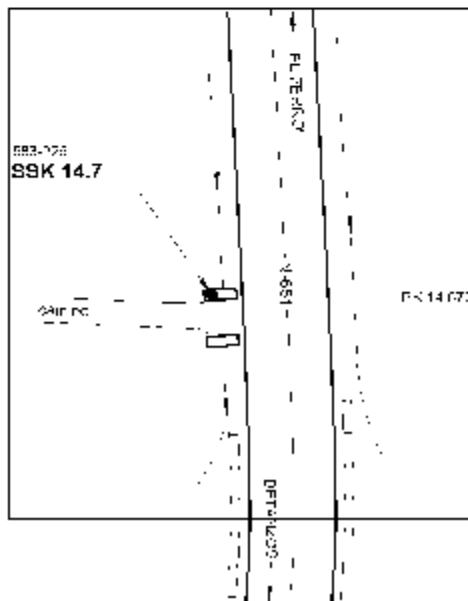
Reseña:

Ciavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 14,675 de la margen Oeste de la Carretera N-651. Dista unos 1.050 m. de la señal número 583225. Está situado sobre el extremo Oeste de la imposta Norte de un paso sobre cuneta, al mismo nivel que la carretera, según croquis.

Observaciones:

Es la señal SSK-598.3, folio 50, recuperada de la antigua Línea 207 (Betanzos-Fene-Foz), señalizada en 1984.

Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/datos/estado/inf02N.pdf



Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 583245
Nombre: SSK 3,0
Línea o Ramal: 583. Porto de Abalxo - Betanzos

Municipio: Betanzos
Provincia: A Coruña
Hoja MTNS0: 45
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de noviembre de 1984
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 583244 - NGR 867
Posterior: 583246 - SSK 2,1
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 44,7050 m.
Geopotencial: 43,83226 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980476,56 mgals. *Calculada*
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 12' 31,2"
Latitud: 43° 17' 42,4"
Altitud elipsoidal:
Precisión: Coordenadas orientativas

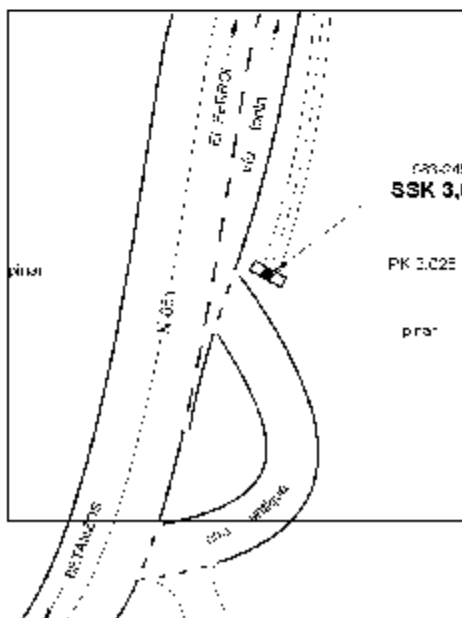
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 3,025 de la margen Este de la Carretera N-651. Distará unos 300 m. de la señal número 583244. Está situado sobre el centro de la imposta norte de alcantarilla, paso de cuneta de hormigón, a unos 9 metros del arcén Este de la carretera, según croquis.

Observaciones:

Es la señal SSK-586.1, folio 14, recuperada de la antigua Línea 207 (Betanzos-Fene-Foz), señalizada en 1984.

Informe del estado de la Señal en: <http://info.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf>





Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-jun-2013

Situación Geográfica:

Número: 1583001
Nombre: SS PUERTO
Línea o Ramal: 1583. Ramal Nº 1583 al Mareógrafo de Burela

Municipio: Burela
Provincia: Lugo
Hoja MTN50: 9
Señal: Secundaria En posición: Vertical
Señalizada: 01 de junio de 2005
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 583056 - SSBURELA2B
Posterior: 1583002 - NGZ 10
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 3,7543 m.
Geopotencial: 3,68122 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980526,29 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

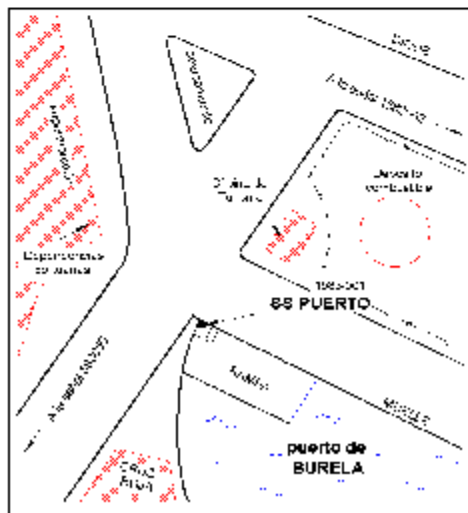
Longitud: - 7° 21' 21,70"
Latitud: 43° 39' 38,16"
Altitud elipsoidal: 57 m.
Precisión: ± 1 m.

Reseña:

Ciavo metálico semiesférico incrustado a la entrada al PUERTO de BURELA. Dista unos 450 m. de la señal número 583056. Está situado sobre la huella del 1er. escalón de bajada a una rampa para botar barcas al agua en el muelle del puerto de Burela, junto al muro del muelle, según croquis.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info/01N.pdf>



Reseña de Señal de Nivelación

28-nov-2009

Situación Geográfica:

Número: 2547017
Nombre: Geopunt Mareógrafo
Línea o Ramal: 2547. Ramal Nº 2547 al Mareógrafo de Vilagarcía de Arousa.
Municipio: Vilagarcía de Arousa
Provincia: Pontevedra
Hoja MTN50: 152
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada:
Nivelada: 29 de agosto de 2009

Enlaces:

Anterior: 2547016 - NGU36
Posterior: 2547018 - NGAB-Mareógrafo
Agrupada con: 2547018 - NGAB-Mareógrafo.

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 3,3180 m.
Geopotencial: 3,25301 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980403,78 mgals. *Calculada*
Cálculo:

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 46' 12,0"
Latitud: 42° 36' 02,7"
Altitud elipsoidal:
Precisión: Coordenadas orientativas

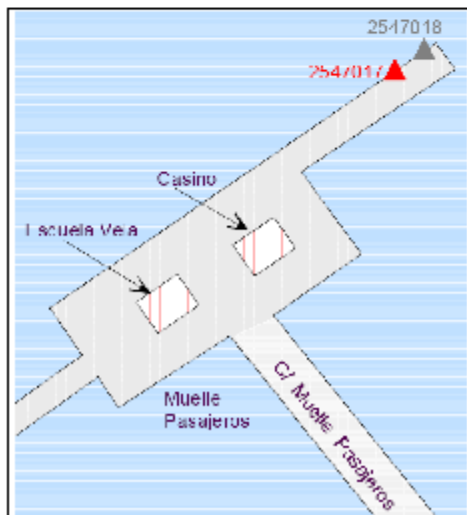
Reseña:

Sobre base del nuevo Mareógrafo situado al Norte del muelle de Pasajeros de Vilagarcía. Es un clavo "Geopunt" del cual se desconoce la propiedad del mismo.



Observaciones:

Señalización realizada por Etyca S.A.





Servicio de Programas Geodésicos
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

20-oct-2012

Situación Geográfica:

Número: **5583004**
 Nombre: **SSK2,225**
 Línea o Ramal: **5583. Ramal Nº 5583 al Castillo de la Palma**
 Municipio: Fene
 Provincia: A Coruña
 Hoja MTN50: 22
 Señal: Secundaria En posición: Vertical
 Señalizada: 02 de noviembre de 2007
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 5583003 - SSK1,650
 Posterior: 5583005 - SSK2,785
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 42,6420 m.
 Geopotencial: 41,81101 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980511,28 mgals. Observada
 Cálculo:

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 11' 14,0"
 Latitud: 43° 27' 52,6"
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: Coordenadas orientativas

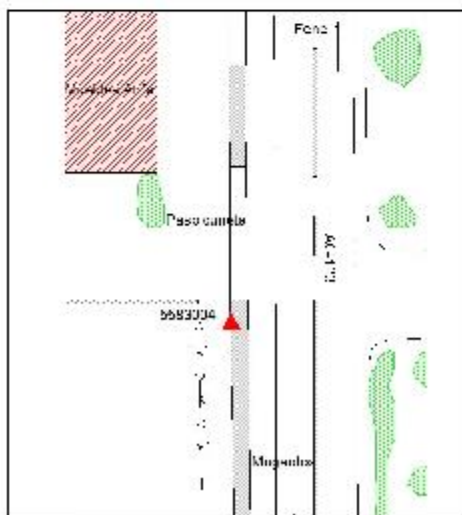
Reseña:

Clavo metálico semiesférico a la altura del Pk. 2+225 de la AC-133, a la derecha, dirección Mugardos, sobre borde canalón en la entrada a nave de Muebles-Decoración ANFA.



Observaciones:

Señalización realizada por Etyca s.a.



Informe del estado de la Señal en: <http://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf>

Reseña de Señal de Nivelación

20-oct-2012

Situación Geográfica:

Número: 6583003
Nombre: SSK1,800
Línea o Ramal: 6583. Ramal Nº 6583 al Puerto Exterior del Ferrol

Municipio: Ferrol
Provincia: A Coruña
Hoja MTN50: 21
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de septiembre de 2006
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 6583002 - SSCIS
Posterior: 6583004 - SSP.M.Deportes
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 3,5248 m.
Geopotencial: 3,45613 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980516,18 mgals. **Observada**
Cálculo:

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 15' 25,8"
Latitud: 43° 29' 23,2"
Altitud elipsoidal:
Precisión: Coordenadas orientativas

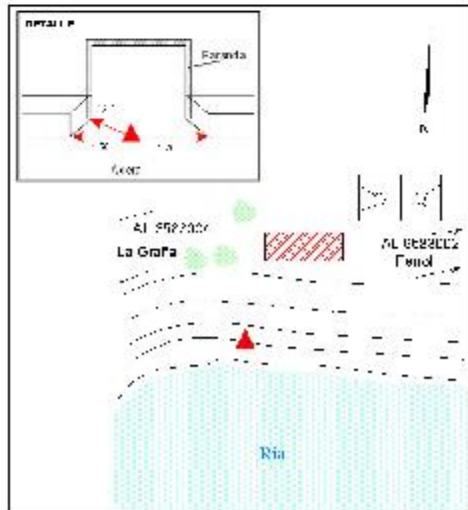
Reseña:

Señal situada sobre pequeño pontón de desagüe del paseo marítimo, en la ensenada Da Cabaña, donde se junta con la carretera que va a La Graña, sobre el PK 1+800 y pasado el polideportivo Da Cabaña.



Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info2N.pdf>





Servicio de Programas Geodésicos
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

20-oct-2012

Situación Geográfica:

Número: 6583019
Nombre: SSRocaErmita
Línea o Ramal: 6583. Ramal Nº 6583 al Puerto Exterior del Ferrol

Municipio: Ferrol
Provincia: A Coruña
Hoja MTN50: 21
Señal: Secundaria En posición: Vertical
Señalizada: 01 de septiembre de 2006
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 6583018 - NGX807
Posterior: 6583020 - SSRoca
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 30,8988 m.
Geopotencial: 30,29639 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980501,57 mgals. Calculada
Cálculo:

Coordenadas Geográficas ETRS89:

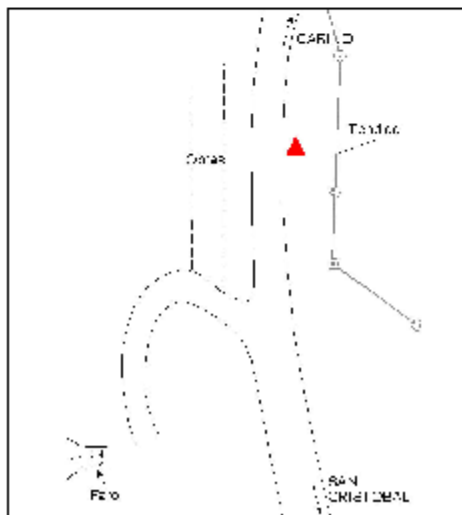
Longitud: - 8° 18' 15,2"
Latitud: 43° 28' 00,3"
Altitud elipsoidal:
Precisión: Coordenadas orientativas

Reseña:

Señal situada sobre roca a la derecha de la carretera, desde la Ermita San Cristóbal hacia Cariflo y a unos 600 metros.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: [ftp://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/infot2N.pdf](http://ftp.geodesia.ign.es/usuarios/infot2N.pdf)



Reseña de Señal de Nivelación

21-nov-2009

Situación Geográfica:

Número: 10407005
 Nombre: SSK 403,9
 Línea o Ramal: 10407. Cruce N-120 - Baralla (Tramo 1 antigua 407)
 Municipio: Villafranca del Bierzo
 Provincia: León
 Hoja MTNS0: 158
 Señal: Secundaria En posición: Vertical
 Señalizada: 01 de junio de 2004
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 10407004 - SSK 403,0
 Posterior: 10407006 - NGR 455
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 497,3464 m.
 Geopotencial: 487,5289 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980239,23 mgals. Observada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

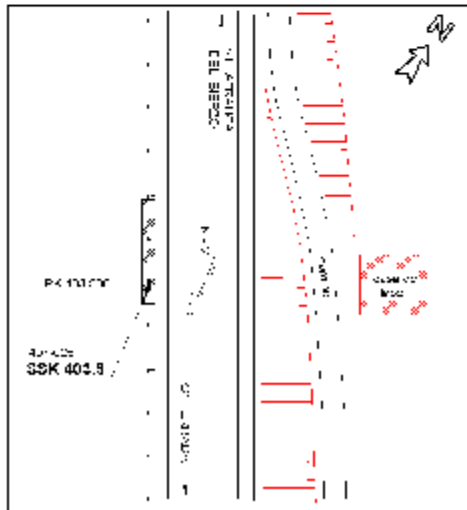
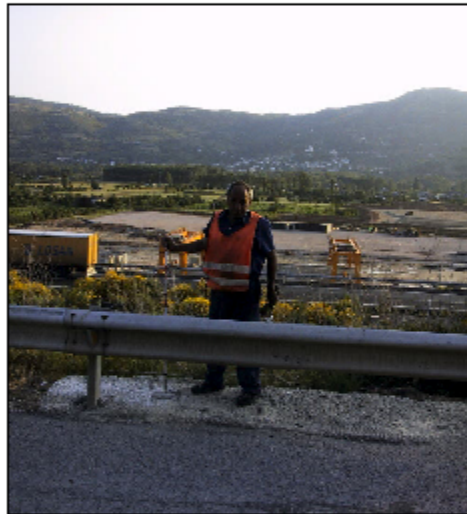
Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 6° 47' 38,3659"
 Latitud: 42° 35' 25,5854"
 Altitud elipsoidal: 553,9353 m.
 Precisión: Aproximada ± 0,1 m.

Reseña:

Ciavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 403,900 de la margen Oeste de la Carretera N-VI, sobre la cara superior de un muro de contención de hormigón, a ras de la calzada; a 0,85 metros del extremo Sur del muro, por detrás de la blonda, según croquis.

Observaciones:





Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña de Señal de Nivelación

21-nov-2009

Situación Geográfica:

Número: **10407026**
 Nombre: **NGR 658**
 Línea o Ramal: **10407. Cruce N-120 - Baralla (Tramo 1 antigua 407)**
 Municipio: **Trabadelo**
 Provincia: **León**
 Hoja MTN50: **157**
 Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de junio de 1984**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **10407025 - NGR 657**
 Posterior: **10407027 - SSK 416,9**
 Agrupada con: **10407025 - NGR 657.**

Datos Geodésicos:

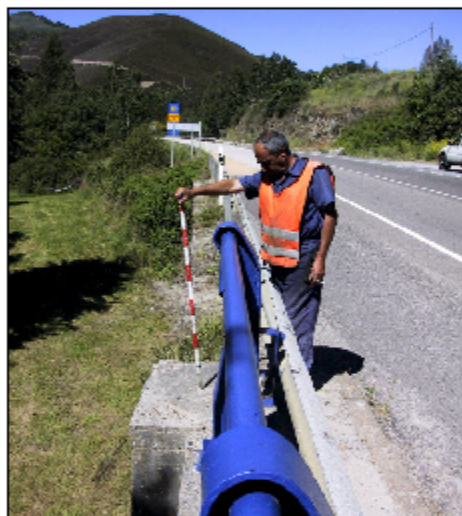
Altitud ortométrica: **577,2877 m.**
 Geopotencial: **565,88612 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980225,33 mgals.** Observada
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 6° 53' 43,3585"**
 Latitud: **42° 39' 19,2772"**
 Altitud elipsoidal: **634,0593 m.**
 Precisión: **Aproximada ± 0,1 m.**

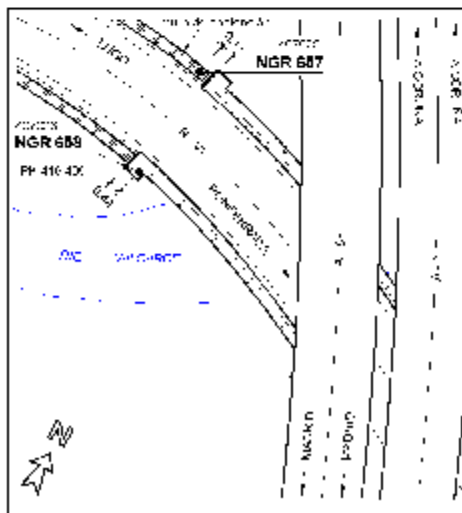
Reseña:

Ciavo metálico con la inscripción NGR 658 incrustado aproximadamente en el Km. 416,400 de la margen Sur de la Carretera N-VI, sobre el estribo SO del puente sobre el RÍO VALCARCE, según croquis.



Observaciones:

- Es la señal NGR 658; folio nº 51 de la línea 206, Villafranca del Bierzo (cruce) - Lugo, de 1984.



Reseña de Señal de Nivelación

21-nov-2009

Situación Geográfica:

Número: **10407049**
 Nombre: **SSK 434,0**
 Línea o Ramal: **10407. Cruce N-120 - Baralla (Tramo 1 antigua 407)**
 Municipio: **Vega de Valcarlos**
 Provincia: **León**
 Hoja MTN50: **125**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de junio de 2004**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **10407048 - SSK 433,0**
 Posterior: **10407050 - SSK 429,6**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **921,7910 m.**
 Geopotencial: **903,5616 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980184,88 mgals.** Observada
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

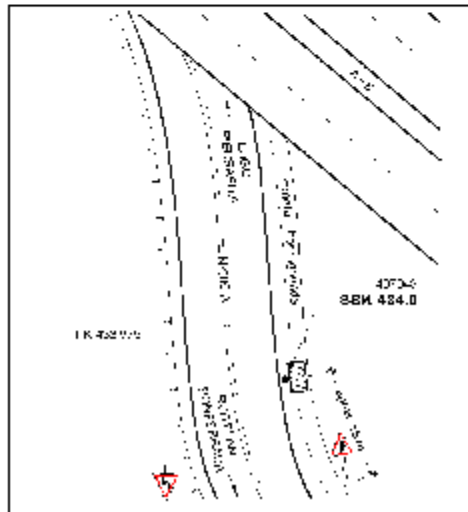
Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 6° 59' 57,197"**
 Latitud: **42° 41' 59,531"**
 Altitud elipsoidal: **978,7157 m.**
 Precisión: **Aproximada ± 1 m.**

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 433,975 de la margen Este de la Carretera N-006 A, sobre el muro Oeste de una alcantarilla protegida con rejilla, en medio de la cuneta hormigonada, según croquis.

Observaciones:





Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña de Señal de Nivelación

21-nov-2009

Situación Geográfica:

Número: **10407073**
 Nombre: **NGR 704**
 Línea o Ramal: **10407. Cruce N-120 - Baralla (Tramo 1 antigua 407)**
 Municipio: **Nogais, As**
 Provincia: **Lugo**
 Hoja MTN50: **125**
 Señal: **Principal** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de junio de 1984**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **10407072 - NGR 703**
 Posterior: **10407074 - SSK 440,6**
 Agrupada con: **10407072 - NGR 703.**

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **825,3419 m.**
 Geopotencial: **809,04266 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980216,56 mgals.** *Calculada*
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: **- 7° 04' 25,3"**
 Latitud: **42° 45' 27,5"**
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: **Coordenadas orientativas**

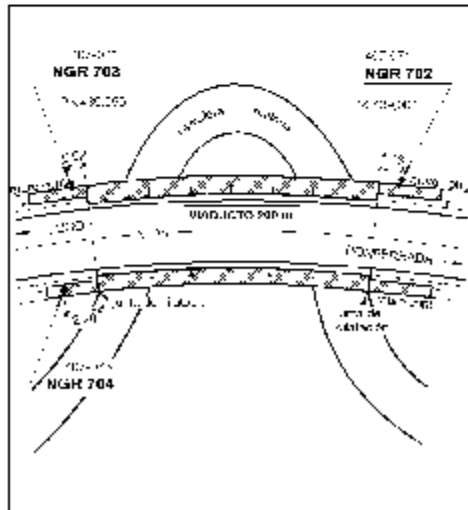
Reseña:

Ciavo metálico con la inscripción NGR 704 incrustado aproximadamente en el Km. 439,250 de la margen Sur de la Carretera N-VI, sobre el muro de contención que arranca del extremo O del viaducto, a la misma cota de la calzada, acotado según croquis.



Observaciones:

- Es la señal NGR704; folio nº 122 de la línea 206, Villafranca del Bierzo (cruce) - Lugo, de 1984.



Reseña de Señal de Nivelación

20-oct-2012

Situación Geográfica:

Número: 10407097
Nombre: SSK 455,3
Línea o Ramal: 10407. Cruce N-120 - Baralla (Tramo 1 antigua 407)
Municipio: Becerreá
Provincia: Lugo
Hoja MTN50: 99
Señal: Secundaria **En posición:** Vertical
Señalizada: 01 de junio de 2004
Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 10407096 - SSK 454,5
Posterior: 10407098 - SSK 455,8
Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 566,8522 m.
Geopotencial: 555,69293 u.g.p.
Gravedad en superficie: 980289,6 mgals. **Observada**
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 7° 08' 06,062"
Latitud: 42° 50' 46,931"
Altitud elipsoidal: 623,6 m.
Precisión: ± 0,1 m.

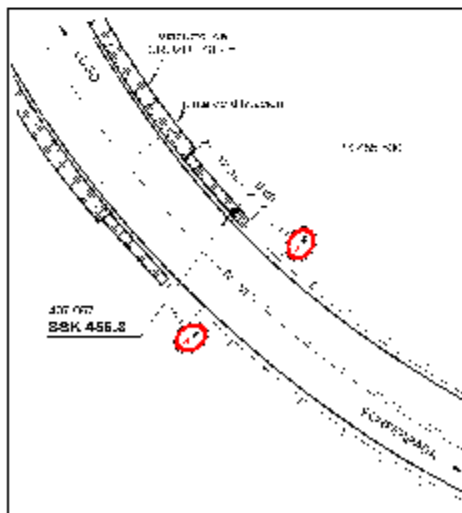
Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 455+275 de la margen NE de la Carretera N-VI, sobre la cara superior de un muro de contención en el arranque del estribo SE del viaducto de Cruzul, según croquis.

Observaciones:

Dista aprox. 525 metros de la señal anterior.

Informe del estado de la Señal en: ftp.geodesia.ign.es/usuarios/info/2N.pdf





Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña de Señal de Nivelación

21-nov-2009

Situación Geográfica:

Número: **20407143**
 Nombre: **SSK 481,7**
 Línea o Ramal: **20407. Baralla - Lugo (Tramo 2 antigua 407)**

Municipio: **Láncara**
 Provincia: **Lugo**
 Hoja MTNS0: **98**
 Señal: **Secundaria** En posición: **Vertical**
 Señalizada: **01 de junio de 1984**
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: **20407142 - NGR 739**
 Posterior: **20407144 - SSK 482,3**
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: **498,4561 m.**
 Geopotencial: **488,65184 u.g.p.**
 Gravedad en superficie: **980309,65 mgals.** Observada
 Cálculo: **01 de mayo de 2008**

Coordenadas Geográficas ETRS89:

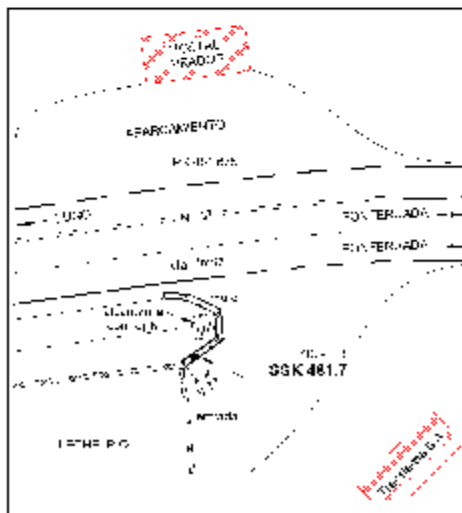
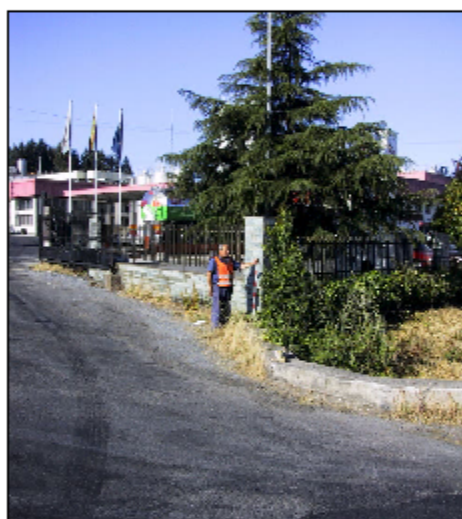
Longitud: **- 7° 22' 03,7373"**
 Latitud: **42° 55' 26,5067"**
 Altitud elipsoidal: **554,6969 m.**
 Precisión: **Aproximada ± 0,1 m.**

Reseña:

Ciavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 481,675 de la margen Sur de la Carretera N-VI, sobre muro de contención de encañadre alcantarillado, 0.30 metros más alto que el nivel de la calzada, acotado según croquis.

Observaciones:

- Es la señal SSK 491,7; folio nº 234 de la línea 206, Vilafranca del Bierzo (cruce) - Lugo, de 1984.



Reseña de Señal de Nivelación

21-nov-2009

Situación Geográfica:

Número: 20407158
 Nombre: SSK 491,2
 Línea o Ramal: 20407. Baralla - Lugo (Tramo 2 antigua 407)
 Municipio: Corgo, O
 Provincia: Lugo
 Hoja MTN50: 98
 Señal: Secundaria En posición: Vertical
 Señalizada: 01 de junio de 2004
 Nivelada:

Enlaces:

Anterior: 20407157 - SSK 490,2
 Posterior: 20407159 - NGR 744
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 453,4041 m.
 Geopotencial: 444,4942 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980329,73 mgals. Observada
 Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

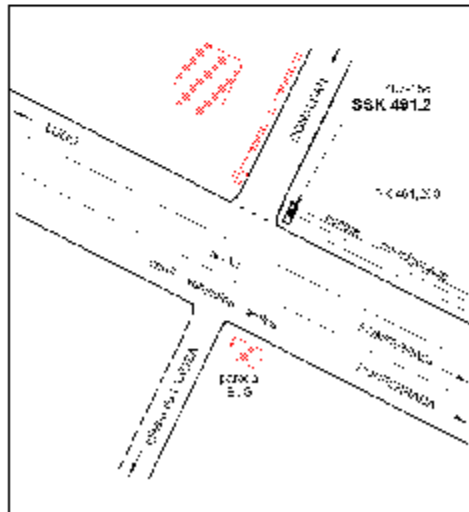
Longitud: - 7° 28' 16,4714"
 Latitud: 42° 57' 27,7004"
 Altitud elipsoidal: 509,4959 m.
 Precisión: Aproximada ± 0,1 m.

Reseña:

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 491,200 de la margen Norte de la Carretera N-VI, sobre la cara superior de la imposta de una alcantarilla, en el extremo Este del paso de cuneta de la carretera a Donalban, según croquis.



Observaciones:





Reseña de Señal de Nivelación

6-oct-2012

Situación Geográfica:

Número: 22547005
 Nombre: SSCruceN640-PO305
 Línea o Ramal: 22547. Ramal N° 22547 al Mareógrafo de Vilagarcía de Arousa.
 Municipio: Caldas de Rels
 Provincia: Pontevedra
 Hoja MTN50: 152
 Señal: Secundaria En posición: Vertical
 Señalizada: 24 de agosto de 2009
 Nivelada: 26 de agosto de 2009

Enlaces:

Anterior: 22547004 - SSK228,335
 Posterior: 22547006 - SSK0,765
 Agrupada con:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 28,8458 m.
 Geopotencial: 28,28032 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 980396,05 mgals. Observada
 Cálculo:

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 8° 41' 12,1"
 Latitud: 42° 35' 45,3"
 Altitud elipsoidal:
 Precisión: Coordenadas orientativas

Reseña:

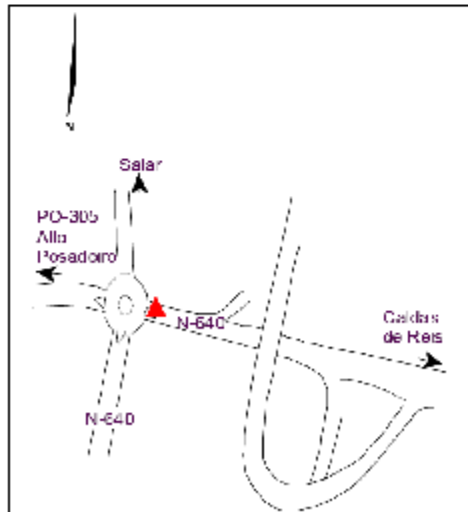
Sobre isleta triangular de rotonda en el cruce de la N-640 con la PO-305 y el desvío hacia Salar.



Observaciones:

Señalización realizada por Etyca S.A.

Informe del estado de la Señal en: [ftp://ftp.geodesia.ign.es/datos/estado/02N.pdf](http://ftp.geodesia.ign.es/datos/estado/02N.pdf)



BIBLIOGRAFÍA

- **Bilich Andria, Mader Gerald (2010)** *National Geodetic Survey Absolute Antenna Calibration*
- **Blanco Díaz, Modesto (1997)** *Cálculo de coordenadas de las estaciones de la red GNSS de Castilla y León*
- **B.O.E. 2007** *Real Decreto 1071/2007*
- **Centro de Observaciones Geodésicas (2009)** *El nuevo modelo de geoide para España EGM08-REDNAP*
- **Centro de Observaciones Geodésicas (2009)** *Cálculo en el sistema de referencia geodésico etrs89 de la red de estaciones permanentes GNSS GALNET DE GALICIA (CARTOGALICIA S.L) por el centro de análisis del Instituto Geográfico Nacional*
- **Chueca Pazos, Manuel (1997)** *Diseño de redes y control de deformaciones*
- **Chueca Pazos, Manuel, Hernández, José, Berné Valero José Luis (1997)** *Teoría de Errores e Instrumentación*
- **Chueca Pazos, Manuel, Hernández, José, Berné Valero José Luis (1997)** *Métodos Topográficos*
- **Chueca Pazos, Manuel, Hernández, José, Berné Valero José Luis (1997)** *Redes Topográficas y Locales. Microgeodesia.*
- **Corchete, V., Chourak, M., Khattach, D. (2005):** *The high resolution gravimetric geoid of Iberia.* IGG2005. Geophysical Journal International
- **Fotopoulos, G., C. Kotsakis and M.G. Sideris (1999):** *A new Canadian geoid model in support of levelling by GPS*
- **Fotopoulos, G., W.E. Featherstone and M.G. Sideris (2002):** *Fitting a gravimetric geoid model to the Australian Height Datum via GPS data.* Third Meeting of the International Gravity and Geoid Commission, Thessaloniki, Greece
- **Fotopoulos, G (2003),** *An analysis on the optimal combination of geoid, orthometric and ellipsoidal height data*
- **González.-Matesanz, J., 2007.** *Aportaciones al estudio de los modelos de distorsión para el cambio de datum entre ED50 y ETRS89,* Universidad de Alcalá, España.
- **González.-Matesanz, J. and Dalda, A., 2002.** *Estrategias para la transición de datum ED50-ETRS89,* III Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica (en CD), Valencia
- **Hofmann-Wellehof, Lichttenegger, Wasle (2008)** *“GNSS Global Navigation Satellite Systems”*
- **Ihde, J. (1995):** *Geoid Determination by GPS and Levelling.* International Association of Geodesy.
- **Martín Furones, Ángel, Capilla Romá, Raquel (2009)** *Determinación del modelo de geoide gravimétrico de alta precisión y resolución de la comunidad valenciana*
- **Martínez Toro, Eladio E. - Bethencourt, Abelardo (2011)** *Dotación de altitudes ortométricas a una línea de nivelación vertical de alta precisión*
- **Martínez Toro, Eladio E. - Bethencourt, Abelardo (2012)** *comparación de la precisión de los modelos geopotenciales globales egm08 y egm96 en la zona del caribe*
- **Nikolaos K. Pavlis, Simon A. Holmes, Steve C. Kenyon, and John K. Factor (2008)** *An Earth Gravitational Model to Degree 2160:EGM2008*
- **Sánchez Sobrino, José Antonio (2002)** *Determinación del Geoide de Canarias mediante GPS y Nivelación*
- **Sevilla, M. J. (2006):** *IBERGEO_2006*
- *Constratación de geoides locales con regionales en el este de la Península Ibérica*
- **Sierra Moreno, Manuel ,(2009)** *“Asturgeo 09, Un modelo de combinado del geoide para el Principado de Asturias”*
- **Richard Ong,(2009)** *“Reliability of Combined GPS/GLONASS Ambiguity Resolution”*
- **Rodríguez Jordana, Juan** *“Ajuste de observaciones”*

- **Rodríguez Pujol, Enrique, Caturla Sanchez de Neira, José Luis (1999)** *Iberia95, Red Peninsular de Orden Cero*
- **Weikko A. Heiskanen, Helmut Moritz (1985)** “*Geodesia Física*”
- **Zakatov P.S. (1997)**, *Curso de Geodesia Superior*

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no habría podido llevarse a cabo sin mis familiares, a ninguno de ellos puedo olvidar por ayudarme en las maratónicas jornadas de mediciones de campo, lo cual jamás podré compensar en su justa medida.

A mi difunto abuelo Ismael, por la fuerza que desde algún lugar del universo me daba día a día, para que esta travesía llegase a buen puerto.

A D. Enrique Blanco de Lógica por el software de procesado.

A D. Marcos López y D. Antonio Barreira de Cartogalicia, por su inestimable ayuda y cesión de datos y equipos.

A D. Carlos Mosquera de Global Suministros Topográficos, por la cesión de equipos.

A los compañeros de Constructora San José por la paciencia en aguantar mis *clases* de geodesia y topografía los lunes post-mediciones.

Al IGN por el gran trabajo realizado en España en general y en Galicia en particular.

Y por último a mi tutor Dr. D Alfonso Núñez-García del Pozo por sus sabios comentarios, ayuda y cesión de software de ajuste.

A todos ellos GRACIAS.