versión
3.5

GESTOR DE MEDICIONES

VERSIONES:

<PROFESIONAL>
<ESTÁNDAR>
<BÁSICA>
<PRO+GML INSPIRE>

Manual de Ejercicios

> Sistema angular centesimal y formato de coordenadas XYZ

CC BY NC ND

TOPOEDU
EL PODER DEL
CÁLCULO TOPOGRÁFICO

Windows 10 Compatible
Windows 8 Compatible
Compatible with Windows 7
CERTIFIED FOR Windows Vista
Designed for Microsoft Windows XP

Toda la familia GESTOR DE MEDICIONES

© 2021-2023 Copyright Eduardo Renard Julián
Todos los derechos reservados
Descarga este manual en: **www.topoedu.es/manuales.html**

Versión revisada 2023

CC BY NC ND

¡Bienvenido!

Puedes incrementar tu profesionalidad frente a la competencia

¿Te imaginas compensar poligonales o redes con 1 sencillo clic? Da igual el método que selecciones. Podrás hacerlo por Mínimos Cuadrados, o por otros métodos disponibles. También generar automáticamente reportes técnicos, con 1 sólo clic, y exportarlos fácilmente a Microsoft Word ®. Qué mejor manera de justificar tus trabajos que hacerlo técnicamente. Esto ya lo hacen docentes, autónomos, pequeñas, medianas y grandes empresas a lo largo de todo el mundo. ¡Ya somos más de 1000 Gestores de Mediciones!

Eduardo Renard, director de desarrollo de **Gestor de Mediciones**

Hola, mi nombre es Eduardo Renard y soy el director de desarrollo I+D+I del programa de topografía y geodesia **Gestor de Mediciones**. Lo primero, quiero darte las gracias por tu interés en este software (yo diría "en esta filosofía").

Ver mi perfil en LinkedIn

¿Estás actualizado para los nuevos retos?

Cada vez se estandarizan más lo métodos de cálculo y la justificación de estos. Ya no basta con dar coordenadas a las posiciones. ¿Realizas redes topográficas aparte de poligonales? ¿Qué precisiones tienen tus bases? ¿Qué precisión tienen los puntos radiados? ¿Qué características técnicas tiene el equipo utilizado? ¿Transformas coordenadas? ¿Qué precisión tienen una vez transformadas?

Si te cuesta responder estas cuestiones, entonces eres firme candidato para convertirte en un usuario de **Gestor de Mediciones**

Introducción

El **Manual de Usuario** (descargable en `www.topoedu.es/manuales.html`) es un documento que describe detalladamente el entorno del programa, así como sus comandos. Su contenido reproduce el funcionamiento de cada comando, cómo usarlos, dónde se ubican y por qué se muestran distribuidos y clasificados por pestañas. La lectura de ese manual le ayudará a conocer, de forma amena y sencilla, el entorno del programa y a desenvolverse cómodamente con él. Este manual incluye recomendaciones técnicas y roza casi un texto de referencia de métodos topográficos.

Gestor de Mediciones (en adelante GeMe), es un software que ha sido diseñado para lograr de un programa sencillo pero riguroso. Por este motivo, aunque se recomienda la lectura del **Manual de Usuario** ésta no resulta obligada para comenzar a utilizar el programa.

GeMe es un programa profesional y este atributo se justifica a través de sus mecanismos de gestión de datos y de la metodología matemática en la resolución de métodos. Con este programa podrá realizar las siguientes tareas (versión Profesional):

- Conexión y descarga de datos desde equipos topográficos.
- Importación de múltiples formatos; GSI, XML, JOB, SDR, RAW, DAT, TXT, CSV…
- Compensar y ajustar redes topográficas por mínimos cuadrados.
- Compensar poligonales por el método de tránsito, el método de Nathaniel Bowditch y el método de mínimos cuadrados. También estimar poligonales colgadas.
- Calcular intersecciones inversas, por Tienstra y mínimos cuadrados.
- Calcular intersecciones directas, por intersección angular y mínimos cuadrados.
- Calcular cuadriláteros triangulados por mínimos cuadrados.
- Obtener posiciones destacadas.
- Calcular bisecciones inversas, por trigonometría y mínimos cuadrados.
- Aplicar transformaciones coordenadas bidimensionales y tridimensionales por Cramer o mínimos cuadrados.
- Convertir coordenadas y datums mediante parámetros de transformación o a través de rejillas NTv2 mediante interpolación bilineal.
- Planificar trabajos a través de las Redes Geodésicas de distintos países.
- Almacenar y enviar datos a otros usuarios a través de la nube de GeMe (almacenamiento en la red).
- Realizar conversiones entre UTM y planas.
- Generar reportes técnicos exportables a Microsoft Word® y PDF.
- Y un largo etc., que descubrirá en este manual.

GeMe es un software para todos. Desde autodidactas, que buscan un programa sencillo de utilizar. Pasando por estudiantes de topografía que necesitan un software de cálculo potente y que muestre todos los resultados del proceso resolutivo. También es un programa capaz de

dar respuesta al más exigente de los topógrafos; por ejemplo, personal altamente cualificado de empresas e instituciones, así como docentes de universidad y politécnicos. Con este programa podrá calcular y controlar la incertidumbre posicional de bases y puntos y realizar análisis sobre la bondad del ajuste gracias al Test Chi^2.

Además, el programa cuenta con los siguientes aspectos:

- Base de datos con las características técnicas de más de 350 instrumentos topográficos. Esta base de datos es totalmente ampliable por el usuario. Estos datos son utilizados en los ajustes por mínimos cuadrados y otros métodos.
- Eliminación de errores atmosféricos y por curvatura y refracción. Inserción de errores de centrado de equipo y jalón, así como de altura de instrumento y prisma.
- Cálculo de métodos topográficos en UTM o planas.
- Control de iteraciones en resolución por mínimos cuadrados (por número de iteraciones, por valor mínimo de corrección, por variación de la varianza de referencia).
- Visualización de todo el desarrollo matemático del método, y las soluciones obtenidas.
- Control total de las incertidumbres posicionales (desviaciones estándar) en las coordenadas (XYZ o NEZ), tanto en bases topográficas como puntos radiados. Propagación de errores mediante la Ley de Propagación de Varianzas.

Nota adicional importante

Este manual se presenta en 2 versiones diferentes. Una con ejercicios resueltos en el sistema centesimal, y formato de coordenadas XYZ. Y otro con resoluciones detalladas en el sistema sexagesimal (grados, minutos y segundos), y formato de coordenadas NEZ.

Cada versión del manual se acompaña de los ficheros correspondientes para la resolución, los cuales se encuentran debidamente expresados en el formato angular y de coordenadas adecuado.

En todos los ejercicios, se presupone que se parte de la configuración inicial del programa.

Descarga los ficheros de los ejercicios a través del siguiente enlace:

www.topoedu.es/manuales/Ejemplos_CenteXYZ.zip

Índice

Capítulo 1. Ajustes de redes

Ejemplo 1. Ajuste de una red topográfica 11

Ejemplo 2. Ajuste de una red considerando las condiciones de contorno, y prueba de *Test* χ^2. 14

Capítulo 2. Compensación de poligonales

Ejemplo 1. Ajuste de poligonal encuadrada 20

Ejemplo 2. Ajuste de poligonal cerrada. Caso 1 23

Ejemplo 3. Ajuste de poligonal cerrada. Caso 2 25

Ejemplo 4. Ajuste de poligonal en UTM 27

Ejemplo 5. Ajuste de poligonal aplicando corrección atmosférica y por curvatura y refracción 29

Ejemplo 6. Ajuste de poligonal mediante mínimos cuadrados 32

Ejemplo 7. Ajuste de poligonal cuyas observaciones fueron observadas aplicando Bessel y series. 38

Capítulo 3. Ajuste de cuadriláteros triangulados

Ejemplo 1. Ajuste de un cuadrilátero triangulado. 43

Capítulo 4. Intersección directa

Ejemplo 1. Cálculo de una intersección directa 47

Ejemplo 2. Cálculo de una intersección directa. Mínimos cuadrados 49

Ejemplo 3. Cálculo de una intersección directa. Resolución múltiple 51

Ejemplo 4. Cálculo de una intersección directa. Resolución en planas y UTM 56

Capítulo 5. Intersección inversa

Ejemplo 1. Cálculo de una intersección inversa. Método Tienstra 61

Ejemplo 2. Cálculo de una intersección inversa. Mínimos cuadrados 63

Ejemplo 3. Cálculo de una intersección inversa múltiple 65

Capítulo 6. Bisección inversa

Ejemplo 1. Cálculo de una bisección inversa. Resolución trigonométrica 71

Ejemplo 2. Cálculo de una bisección inversa. Mínimos cuadrados 73

Ejemplo 3. Cálculo de una bisección inversa. UTM 77

Ejemplo 4. Cálculo de bisección inversa múltiple 79

Capítulo 7. Radiación y taquimetría

Ejemplo 1. Cálculo de radiación 85

Ejemplo 2. Cálculo de radiación. Resolución en UTM. 89

Ejemplo 3. Gestionar un taquimétrico 91

Capítulo 8. Estimación de poligonal colgada

Ejemplo 1. Estimación de una poligonal colgada 105

Capítulo 9. Transformaciones

Ejemplo 1. Transformación 2D conforme (4P). Regla de Cramer y mínimos cuadrados 109

Ejemplo 2. Transformación 2D afín. Ejemplo de cálculo en fotogrametría 114

Ejemplo 3. Transformación 2D proyectiva 117

Ejemplo 4. Transformación 3D conforme 120

Ejemplo 5. Transformación de ficheros 123

Capítulo 10. Calculadora geodésica, Conversión Planas-UTM y Explorador de redes geodésicas

Ejemplo 1. Conversión: UTM y Geográficas. Mismo datum 129

Ejemplo 2. Conversión entre UTM. Uso de NTv2 132

Ejemplo 3. Conversión: UTM y Geográficas. Distinto datum (parámetros de transformación) 137

Ejemplo 5. Conversión UTM a Planas y viceversa 140

Ejemplo 6. Planificación de trabajos y gestión de redes geodésicas horizontales. Perú 143

Ejemplo 7. Planificación de trabajos y gestión de redes geodésicas horizontales. España 145

Ejemplo 8. Planificación de trabajos y gestión de redes geodésicas verticales 148

NOTA ADICIONAL **152**

Capítulo 1. Ajustes de redes

En esta sección aprenderá:

- Ajustar las observaciones de una red topográfica.
- Ajustar redes eliminando del proceso de ajuste la influencia de las condiciones atmosféricas y por curvatura y refracción.
- Procesar todo el ajuste de la red tanto en planas como en proyección UTM.
- Ajustar redes en cuyas observaciones se aplicaron los métodos de Bessel y series.
- Interpretar resultados.
- Revisar todo el proceso analítico del ajuste.
- Generar reportes técnicos y enviarlos a Microsoft Word® y PDF.
- Realizar un test de bondad χ^2.

Introducción

El ajuste de redes, junto al de poligonales, es uno de los métodos más sensibles pues las bases ajustadas suelen utilizarse como referente para otro tipo de cálculos (intersecciones, radiaciones, poligonales, etc.)

En este capítulo detallaremos, a través de varios ejemplos prácticos, cómo realizar el **ajuste de una red**, de forma totalmente profesional, pero a la vez de una forma tremendamente sencilla e intuitiva. También hablaremos de las **incertidumbres posicionales** de las bases ajustadas, y de todo el proceso matemático del ajuste, a través de **sencillos ejemplos prácticos** realizados paso a paso.

Los ficheros de estos ejercicios están disponibles en ***www.topoedu.es/manuales/Ejemplos_CenteXYZ.rar***
y puede descargarlos para seguir los mismos pasos descritos en este manual.

Su conocimiento acerca del método de redes topográficas no será determinante para obtener el máximo rendimiento de este programa. Sólo debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

- Una red está formada por una mezcla de observaciones realizadas desde posicionamientos tanto conocidos como desconocidos y hacia otros posicionamientos también conocidos o desconocidos. Por tanto, necesitamos un fichero o listado de observaciones de campo y un listado con las coordenadas de las bases conocidas.
- Todas las bases de coordenadas conocidas se denominan bases de **Control**. Y las bases cuyas coordenadas se desean obtener por ajuste de la red se denominan bases **Desconocidas**.
- En la red, se deben conocer las coordenadas de, al menos, dos bases de **Control**. Para estas bases es necesario que el programa pueda calcular su desorientación. Es decir, el listado de Bases Topográficas debe contener no sólo las coordenadas de estas dos bases, sino también las coordenadas de las bases que se han empleado como referencia angular. También cabe la posibilidad de indicar manualmente la desorientación de cada una de estas dos bases (algo poco probable a nivel práctico) o incluso que ambas bases se visen recíprocamente.
- Puede utilizar tantas bases de control como necesite. El resto de bases de control no tienen por qué cumplir la condición anterior.
- Las observaciones de campo pueden contener observaciones realizadas desde bases de control (hacia otras bases de control y/o desconocidas) y también desde las posiciones desconocidas (tanto hacia otras posiciones desconocidas como de control). Por tanto, el listado de observaciones puede ser una mezcla de observaciones lanzadas desde y hacia ambos tipos de bases (de control y desconocidas).
- Si una base visa otra posición (ya sea de control o desconocida) no tiene por qué existir una observación recíproca. Las observaciones no tienen por qué ser estrictamente lineales y angulares, sino que también cabe la posibilidad de que algunas de ellas sean de tipo angular (es decir, observaciones cuya distancia geométrica aparezca en el listado con un valor de 0m).
- El método de cálculo aplicado para el ajuste de la red será **Mínimos Cuadrados**. Consulte el Manual de Usuario para obtener más detalles sobre este método de cálculo.

Gestor de Mediciones es un software altamente profesional y por ello le permitirá lo siguiente:

- A diferencia de otros programas de topografía, no necesita calcular previamente las coordenadas temporales de las bases desconocidas. El programa las calculará automáticamente y éstas se irán corrigiendo en cada iteración.
- Podrá visualizar y repasar todos los cálculos realizados. También generar un reporte técnico con los datos utilizados en el ajuste (bases de control y desconocidas, listado de observaciones, características técnicas del instrumento, condiciones de contorno -errores de centrado, correcciones por curvatura y/o atmosféricos, uso del sistema UTM, así como todas las matrices de cálculo de cada iteración y los estadísticos del ajuste. También podrá visualizar los semiejes de la elipse de error, así como su orientación.

Ejemplo 1. Ajuste de una red topográfica

El siguiente listado de campo recoge las observaciones realizadas en una red topográfica.

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 1. Redes Topográficas/Ejemplo 1***. *Ficheros:*

Red_1_Obs_S.txt
Red_1_Bases_NEZ.txt

Base	Visado	Hz	Vz	Dg	Hp	Ha	Código
1	2	0,0000	100,1258	139,717	1,320	1,652	Base
1	7	89,3127	100,2988	126,556	1,320	1,652	Base
2	1	156,1141	100,1316	139,717	1,320	1,553	Base
2	7	104,4913	100,2030	172,135	1,320	1,553	Base
2	6	49,4824	99,7836	251,169	1,320	1,553	Base
2	3	0,0006	99,9710	120,265	1,320	1,553	Base
3	2	244,7024	100,2254	120,267	1,320	1,458	Base
3	7	186,5196	100,2178	216,825	1,320	1,458	Base
3	6	124,2006	99,7732	185,700	1,320	1,458	Base
3	5	48,4996	99,8893	0,000	1,320	1,458	Base
3	4	0,0000	99,9554	182,997	1,320	1,458	Base
4	3	0,0000	100,1698	183,000	1,320	1,542	Base
4	5	317,9506	100,0026	142,395	1,320	1,542	Base
5	4	0,0000	100,2331	142,398	1,320	1,625	Base
5	6	271,4519	99,9964	215,255	1,320	1,625	Base
5	3	330,5492	100,2498	0,000	1,320	1,625	Base
5	7	298,0434	100,2414	0,000	1,320	1,625	Base
6	5	0,0000	100,2184	215,258	1,320	1,742	Base
6	3	334,7980	100,4191	185,702	1,320	1,742	Base
6	2	304,7823	100,3830	251,171	1,320	1,742	Base
6	7	256,7810	100,6066	191,234	1,320	1,742	Base
7	1	0,0000	100,0124	126,557	1,320	1,605	Base
7	2	59,0644	99,9886	172,131	1,320	1,605	Base
7	3	96,3904	99,9056	216,821	1,320	1,605	Base
7	5	125,8648	99,8604	0,000	1,320	1,605	Base
7	6	156,0542	99,6277	191,223	1,320	1,605	Base

Y el listado de bases de control y referencias:

Base	X	Y	Z	Código
7	672015,173	4194302,42	175,325	CONTROL
2	672152,928	4194405,63	175,641	CONTROL

Como deducimos del listado, este caso en particular, la base de control 7 observa a la base de control 2, y viceversa. Por tanto, el programa podrá estimar la desorientación de ambas bases. Requisito imprescindible para realizar un ajuste de red con garantías de precisión.

Para ajustar la red:

1. Importe el fichero de visuales `Red_1_Obs_C.txt`.
2. Importe el fichero de bases `Red_1_Bases_XYZ.txt`.
3. Acceda a la pestaña TOPOGRAFÍA y haga clic en el comando Ajuste de Redes.

El programa detectará automáticamente las bases de control, ubicándolas en la columna **Control**, y las posiciones objeto de cálculo en la columna **Desconocida**.

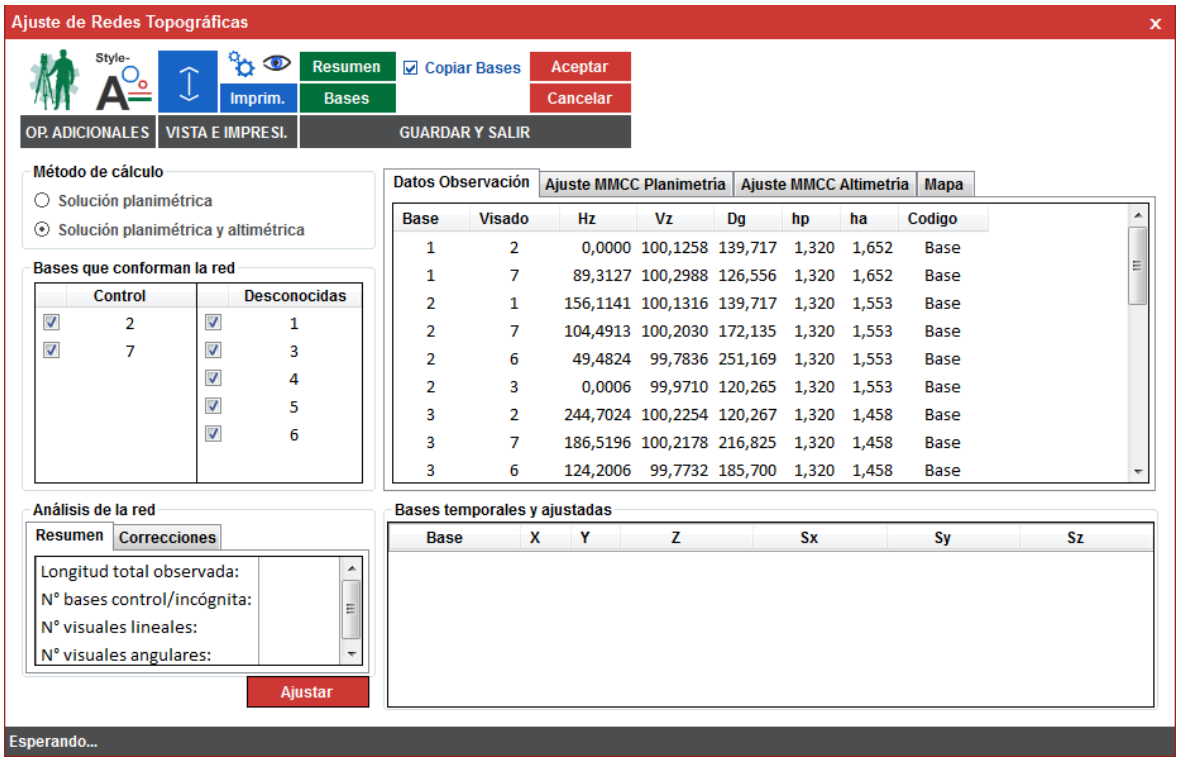


Fig. 1. Datos de la red topográfica

4. Pulse el botón **Ajustar**.

Automáticamente, el programa realizará el ajuste de la red topográfica, mostrando los siguientes datos:

- Un resumen de las propiedades de la red: longitud total observada, número de bases de control e incógnitas (desconocidas), y número de visuales de tipo lineal (es decir, observaciones angulares con registro de distancia) y número de visuales angulares.

- Un gráfico con la disposición geométrica de la red ajustada. Por defecto, las líneas azules representan las visuales de tipo lineal + angular, mientras que las de trazo discontinuo, color naranja, representa las de tipo angular.
- Las bases ajustadas en la sección Bases temporales y ajustadas. Este listado contiene las bases de control (cuyas coordenadas no han cambiado) junto a las bases desconocidas, cuyas coordenadas han sido ajustadas en la red. Las tres últimas columnas contienen las incertidumbres posicionales de las bases ajustadas.
- La pestaña Datos Observación, Ajuste MMCC Planimetría y Ajuste MMCC Altimetría, contienen, respectivamente, el listado de observaciones de campo, y un resumen matemático del ajuste por Mínimos Cuadrados (MMCC) de la planimetría y altimetría.

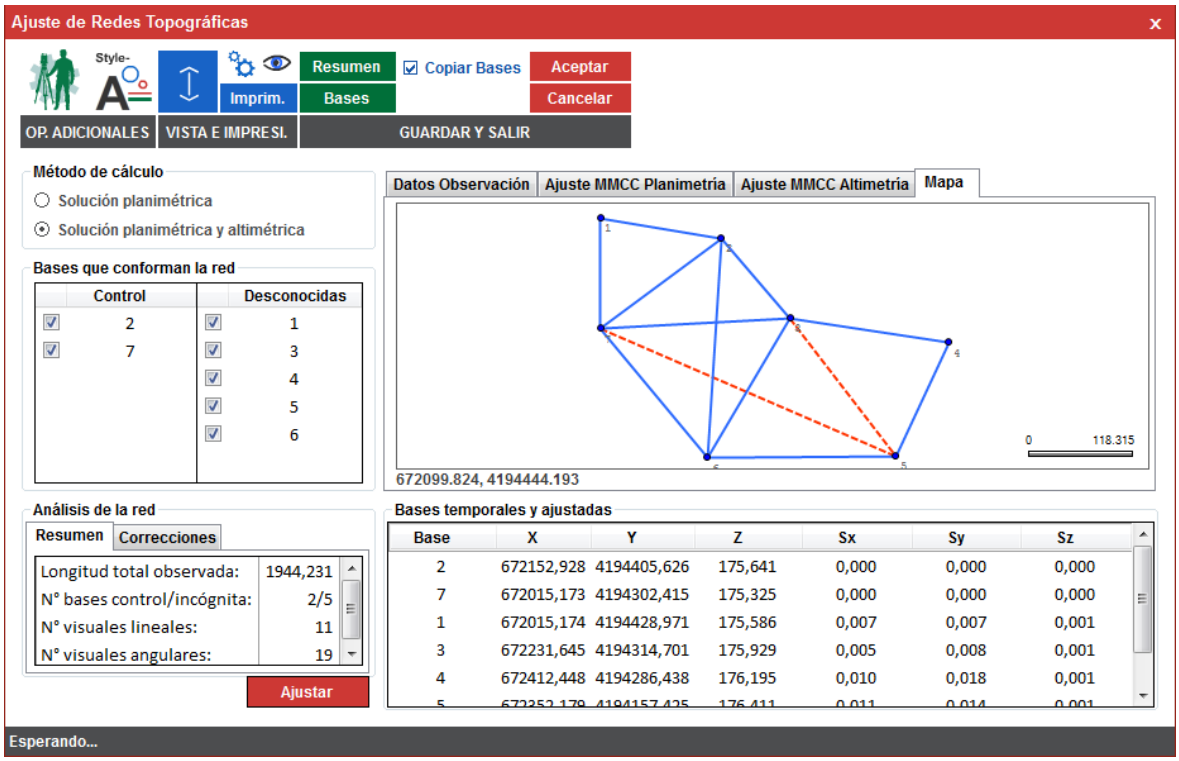


Fig. 2. Proceso de ajuste de una red.

Finalmente, basta con pulsar **Aceptar** para añadir las coordenadas de las bases ajustadas al listado principal Bases de Topográficas.

Otras consideraciones:

- Si se desea, es posible realizar únicamente un ajuste planimétrico, activando la opción Solución planimétrica.
- Es posible no utilizar en el ajuste una o varias bases de control y/o desconocidas. Para ello basta con desactivar el *check* ubicado al lado del nombre de las bases.
- En el ajuste por mínimos cuadrados se han utilizado las características técnicas del instrumento que aparece seleccionado en la ventana Opciones de Levantamiento, así como los errores establecidos para los errores de centrado de equipo y de jalón. Consulte el Manual de Usuario para personalizar estos datos.
- El botón **Bases** (color verde) permite exportar el listado de bases a un fichero sin necesidad de aceptar los cálculos.
- Una vez aceptada la ventana, podrá generar un reporte técnico.

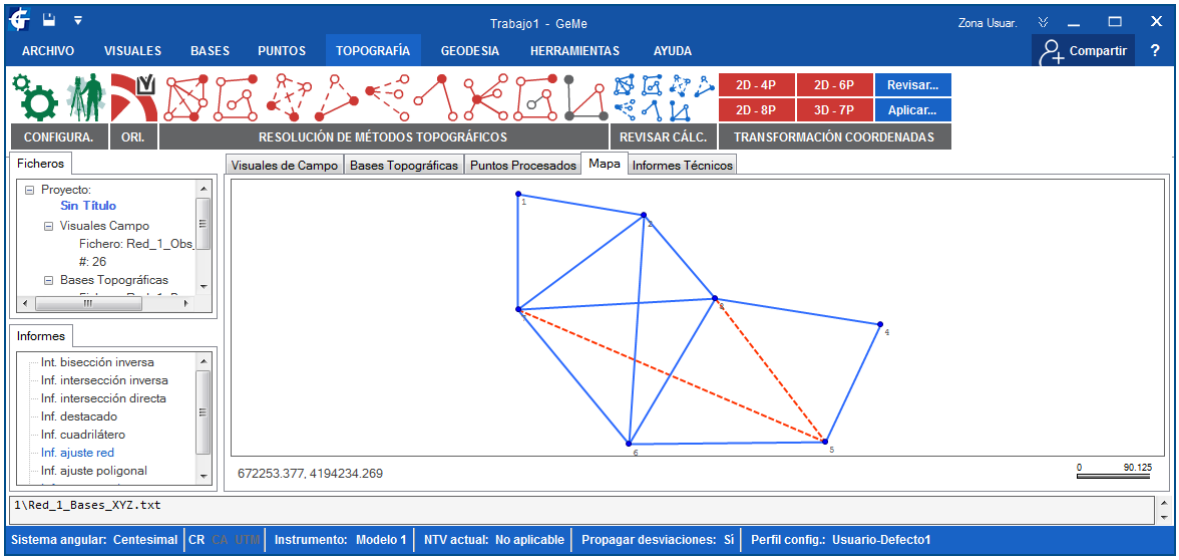


Fig. 3. Ajuste de una red

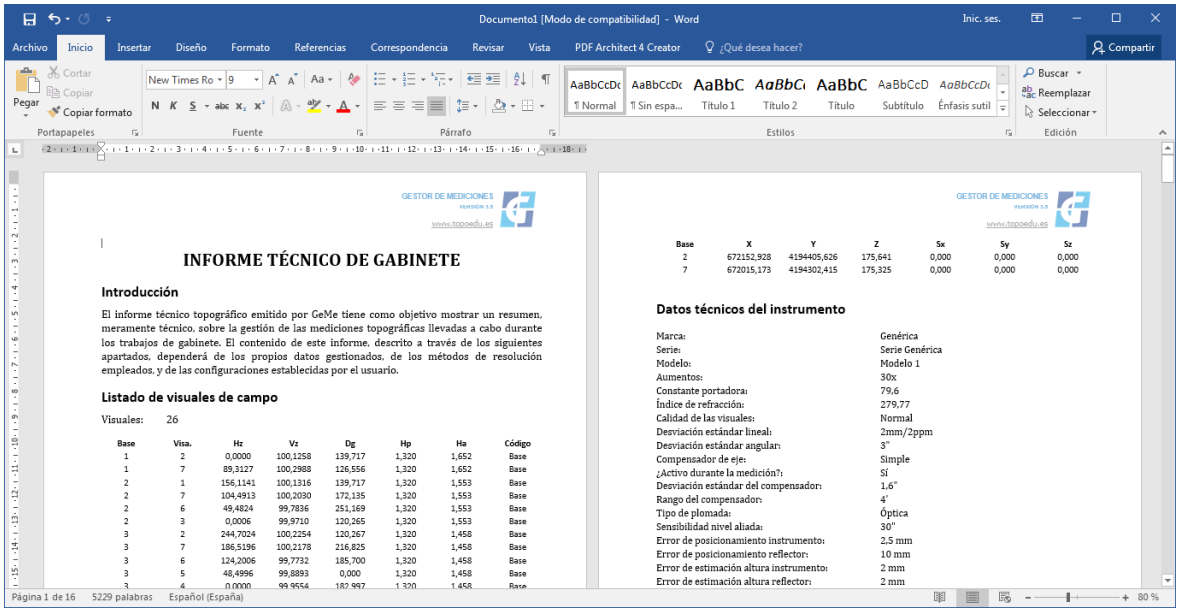


Fig. 4. Reporte técnico, con más de 16 páginas, generado automáticamente

Ejemplo 2. Ajuste de una red considerando las condiciones de contorno, y prueba de *Test* χ^2.

El siguiente ejemplo contiene un listado de observaciones realizadas con una estación total Leica Geosystems, modelo TS11. El topógrafo de campo considera que los errores de centrado del instrumento y jalón fueron de 2,5mm.

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 1. Redes Topográficas/Ejemplo 2***. *Ficheros:*

Red_2_Obs_C.txt
Red_2_Bases_XYZ.txt

Además, se desea saber si el ajuste supera un *Test* $\chi 2$ para un intervalo de confianza del 90%.

Base	Visado	Hz	Vz	Dg	Hp	Ha	Código
B5103	B5104	140,9088	101,7373	73,100	0,000	0,000	Base
B5103	F101	103,2221	101,1060	220,786	0,000	0,000	Base
B5103	B6101	104,0474	100,9517	261,658	0,000	0,000	Base
B5103	967712	104,1622	100,8689	261,486	0,000	0,000	Base
F101	B5103	83,7087	98,8972	220,786	0,000	0,000	Base
F101	F102	244,7386	107,5103	79,160	0,000	0,000	Base
F101	B6103	250,0140	99,3926	205,078	0,000	0,000	Base
F101	F103	258,9616	107,1692	145,418	0,000	0,000	Base
F101	F104	265,7940	105,1816	176,493	0,000	0,000	Base
F101	957795	274,6237	99,7516	236,680	0,000	0,000	Base
F101	B5102	275,4723	100,1514	203,144	0,000	0,000	Base
F101	B6101	288,9846	100,1123	40,994	0,000	0,000	Base
F101	967712	289,7364	99,5769	40,864	0,000	0,000	Base
F101	B5104	67,8336	99,2933	165,235	0,000	0,000	Base
F102	F101	337,8729	92,4897	79,160	0,000	0,000	Base
F102	B6103	146,4144	94,3587	127,395	0,000	0,000	Base
F102	F103	168,0954	106,3634	70,392	0,000	0,000	Base
F102	F104	174,6056	103,0566	104,844	0,000	0,000	Base
F102	957795	181,1486	96,1758	170,634	0,000	0,000	Base
F102	B6102	185,5922	95,9414	138,698	0,000	0,000	Base
F102	947650	273,4359	101,6916	73,489	0,000	0,000	Base
F102	967712	305,4571	88,9020	55,282	0,000	0,000	Base
F102	B6101	305,5146	89,1954	54,730	0,000	0,000	Base
947650	F102	378,1987	98,3094	73,489	0,000	0,000	Base
947650	F103	24,1322	103,0537	105,786	0,000	0,000	Base
947650	B6103	25,5394	95,0809	171,326	0,000	0,000	Base
947650	F104	40,0406	101,5471	126,850	0,000	0,000	Base
F103	F101	89,1914	92,8318	145,418	0,000	0,000	Base
F103	F102	105,1902	93,6376	70,391	0,000	0,000	Base
F103	B6103	260,1532	82,5856	67,736	0,000	0,000	Base
F103	F104	324,5127	96,4602	35,830	0,000	0,000	Base
F103	957795	327,1092	89,3996	104,189	0,000	0,000	Base
F103	B6102	339,3407	86,4701	75,197	0,000	0,000	Base
F103	947650	56,4649	96,9474	105,785	0,000	0,000	Base
F103	967712	78,1396	90,4556	111,217	0,000	0,000	Base
F103	B6101	78,3174	90,6170	110,772	0,000	0,000	Base
F104	F101	161,8096	94,8188	176,502	0,000	0,000	Base
F104	F102	177,4856	96,9427	104,848	0,000	0,000	Base
F104	F103	190,2964	103,5376	35,831	0,000	0,000	Base
F104	B6103	288,9818	81,7348	57,628	0,000	0,000	Base
F104	957795	394,2808	85,7304	68,738	0,000	0,000	Base
F104	B6102	18,5108	78,5348	41,928	0,000	0,000	Base
F104	947650	138,1587	98,4534	126,852	0,000	0,000	Base
F104	B6101	155,0778	93,4553	139,120	0,000	0,000	Base
957795	F101	306,5664	100,2511	236,680	0,000	0,000	Base
957795	F102	319,9571	103,8254	170,633	0,000	0,000	Base
957795	F103	328,8218	110,6006	104,189	0,000	0,000	Base

957795	F104	330,2082	114,2693	68,737	0,000	0,000	Base
957795	B6102	301,4383	102,6608	33,690	0,000	0,000	Base
957795	B6101	303,6006	100,3256	196,938	0,000	0,000	Base

Y el listado de bases de control y referencias:

Base	X	Y	Z	Código
957795	175715.611	6583393.940	34.240	100
B6102	175745.481	6583409.459	34.336	PP
B6103	175788.697	6583340.832	36.774	PP
967712	175893.408	6583479.256	0.000	PP
B6101	175893.348	6583478.746	34.743	PP
B5103	176147.289	6583541.679	37.048	PP
B5104	176078.307	6583565.780	36.656	PP

Para ajustar la red:

1. Importe el fichero de visuales `Red_2_Obs_C.txt`.
2. Importe el fichero de bases `Red_2_Bases_XYZ.txt`.
3. Acceda a la ventana Opciones de Levantamiento y configure los mismos datos:

Fig. 5. Configuración Opciones de Levantamiento

4. Acceda a Configuración General, pestaña Métodos Topográficos y active la opción **Realizar un Test X^2 sobre bondad del ajuste**. Seleccione del desplegable el intervalo de confianza 90%. Acepte para regresar.
5. Acceda a la pestaña TOPOGRAFÍA y haga clic en el comando Ajuste de Redes.
6. Finalmente, pulse **Ajustar**.

A semejanza del ejemplo anterior, obtendrá un listado de las bases ajustadas, así como un gráfico representativo de la geometría de la red ajustada (en este caso real, vemos que la red está formada por una "maraña" de observaciones entre bases).

En esta red en particular se han empleado más bases de control que bases desconocidas.

El listado de Ajuste MMCC planimetría, le mostrará todo el resumen matemático. Al final del mismo obtendrá el resultado del análisis de test χ^2.

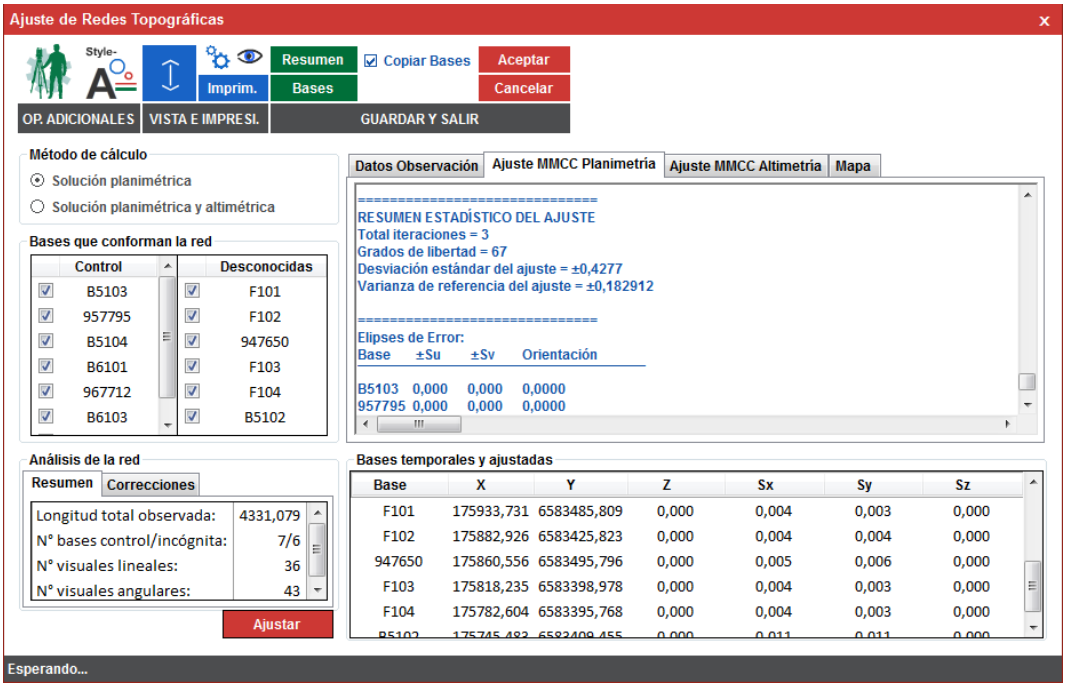


Fig. 6. Resultado numérico del ajuste de la red

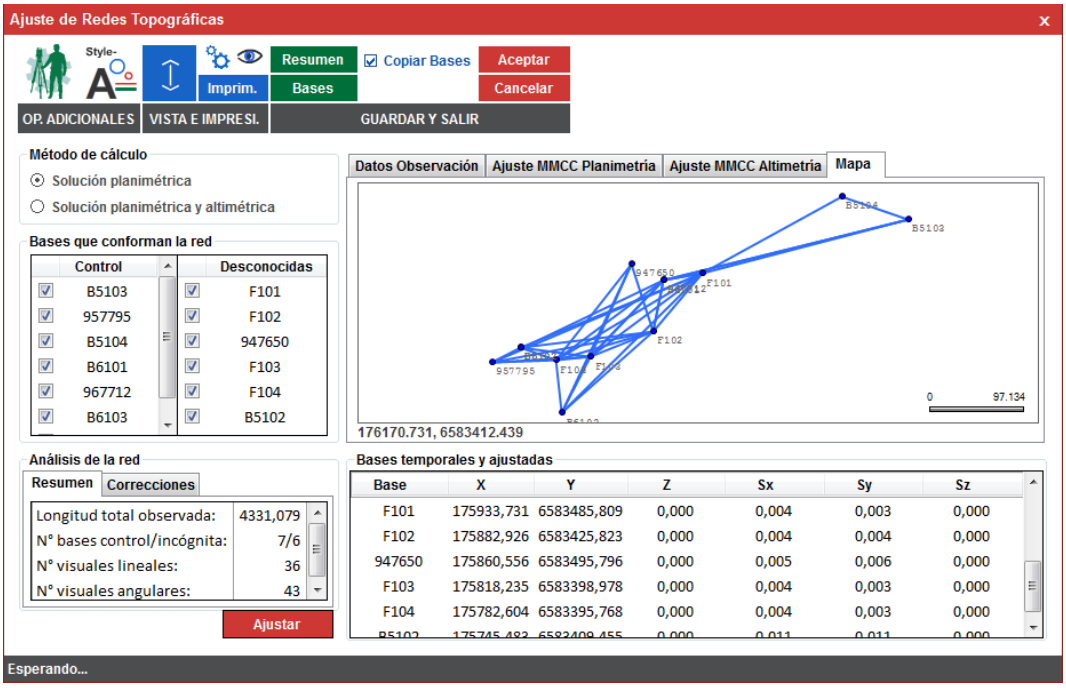


Fig. 7. Resultado gráfico del ajuste de la red

IMPORTANTE

Si desea realizar el ajuste de la red en proyección UTM, tendrá que activar esta opción en la ventana Opciones de Levantamiento. En este caso se supondrá que las coordenadas de las bases de control están expresadas en este sistema.

ADVERTENCIA

La configuración aplicada en Opciones de Levantamiento y Configuración General permanecerá igual hasta que vuelva a modificarlas. Tenga esto presente a la hora de procesar otros métodos o ejercicios.

Capítulo 2. Compensación de poligonales

En esta sección aprenderá:

- Ajustar todo tipo de poligonales; encuadradas y cerradas, mediante los métodos de Tránsito, Bowditch, y mínimos cuadrados.
- Ajustar poligonales eliminando en el proceso de ajuste la influencia de las condiciones atmosféricas y por curvatura y refracción.
- Procesar todo el ajuste de la poligonal tanto en planas como en UTM.
- Ajustar poligonales en las que se aplicó la regla de Bessel.
- Interpretar resultados.
- Revisar todo el proceso analítico del ajuste.
- Generar reportes técnicos y enviarlos a Microsoft Word® y PDF.
- Realizar un análisis técnico sobre la influencia de las incertidumbres posicionales de las bases sobre los puntos radiados a través de la Ley de Propagación de Varianzas y por propagación de errores.
- Comprobar cómo fluctúan las incertidumbres posicionales ante diversas configuraciones y cambio de escenarios.

Introducción

El ajuste de poligonales, junto al de redes, es uno de los métodos más sensibles pues las bases ajustadas suelen utilizarse como referente para otro tipo de cálculos (intersecciones, radiaciones, redes, etc.). En este capítulo detallaremos, a través de varios ejemplos prácticos, cómo realizar **la compensación de una poligonal**, de forma totalmente profesional, pero a la vez de una forma tremendamente sencilla e intuitiva. También hablaremos de las **incertidumbres posicionales** de las bases ajustadas, y de todo el proceso matemático del ajuste, a través de **sencillos ejemplos prácticos** realizados paso a paso.

Todos los ficheros de estos ejercicios están disponibles en **www.topoedu.es/manuales.html** y puede descargarlos para seguir los mismos pasos descritos en este manual.

Su conocimiento acerca del método de poligonal no será determinante para obtener el máximo rendimiento del programa. Sólo debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

- Una poligonal puede ser encuadrada o cerrada. Será encuadrada cuando se inicie y finalice en posiciones de coordenada conocidas, pero distintas. Y cerrada cuando finalice en la misma posición (en este caso caben dos alternativas, cuyo proceso de cálculo es ligeramente distinto y se expondrá en este manual).
- El programa debe ser capaz de calcular la desorientación de las bases de apoyo. Para ello, es imprescindible que desde dichas bases se visen otras bases también de coordenadas conocidas. Cabe la posibilidad de no cumplir la condición anterior y especificar el valor de la desorientación de las bases de apoyo (en caso de que se conozca).
- No es preciso que realice la poligonal "orientada". Puede capturar los datos sin orientar el equipo ya que el programa estimará igualmente la desorientación de cada base.
- Los ejes de poligonal deben estar observados en ambas direcciones. Es decir, desde una base se visará la siguiente, pero desde ésta también se visará la anterior. En caso contrario no se podría compensar la poligonal.

Ejemplo 1. Ajuste de poligonal encuadrada

En este ejemplo veremos lo simple que resulta el método de compensación para una poligonal encuadrada, haciendo uso de uno de los métodos más sencillos, y ampliamente más usados. El método de Tránsito, también conocido como método de reparto proporcional a las parciales, *o* método Wilson. En el ejercicio no se aplicarán configuraciones avanzadas ni corrección, procediendo directamente a compensar los datos.

Supongamos que el topógrafo de campo ha efectuado una poligonal encuadrada, entre las bases 1 y 4, cuyas visuales se detallan en el siguiente listado:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 2. Poligonales/Ejemplo 1***. *Ficheros:*

Pol_1_Obs_C.txt
Pol_1_Bases_XYZ.txt

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1	10	377.5107	99.9987	0.000	1.320	1.458	Referencia
1	2	50.3233	100.1354	165.940	1.320	1.458	Base
2	1	64.8503	100.0002	165.935	1.320	1.550	Base
2	3	342.7974	99.9997	115.839	1.320	1.550	Base
3	2	299.9156	100.2756	115.842	1.320	1.570	Base
3	4	378.3662	100.0002	176.487	1.320	1.570	Base
4	3	337.0250	100.2105	176.490	1.320	1.670	Base
4	11	75.0287	100.0578	0.000	1.320	1.670	Referencia

Desde la base 1 se visó como referencia la posición 10. Y desde la base 4 la 11. Las coordenadas de todas estas bases son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
1	971.756	1494.945	235.780	Base
10	1093.070	1598.058	235.900	Ref
4	1282.398	1352.003	235.946	Base
11	1327.365	1474.670	235.824	Ref

Para realizar el ajuste por el método de Tránsito siga los siguientes pasos:

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `Pol_1_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `Pol_1_Bases_XYZ.txt`.
3. Acceda al menú TOPOGRAFÍA y pulse el icono de Ajuste de poligonal.
4. Seleccione el método de compensación Proporcional a los incrementos (Tránsito).

La poligonal está formada por la secuencia 1, 2, 3 y 4. GeMe mostrará este mismo orden en el listado Bases. Por tanto, acéptela pulsando **>>**.

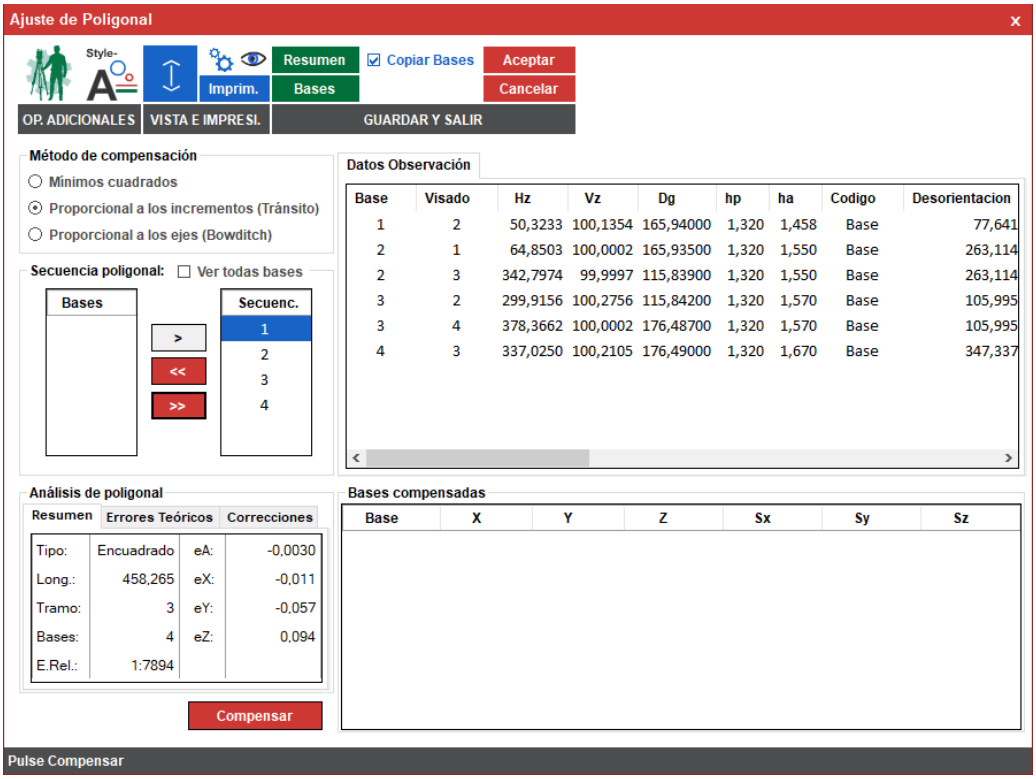


Fig. 8. Secuencia de poligonal y errores de cierre experimentales

Podrá observar las características de la poligonal: *tipo de poligonal*, *longitud*, *número de tramos*, *número de bases y el error relativo (en forma 1:R)*. También verá los errores experimentales de cierre del itinerario. Dependiendo del sistema angular y formato de coordenadas elegido en Configuración General, visualizará el error angular eA, y los errores de cierre de las coordenadas: eX, eY y eZ (en caso de hacerlo en XYZ), o eN, eE y eZ (en caso de trabajar en formato NEZ).

5. Pulse **Compensar**.

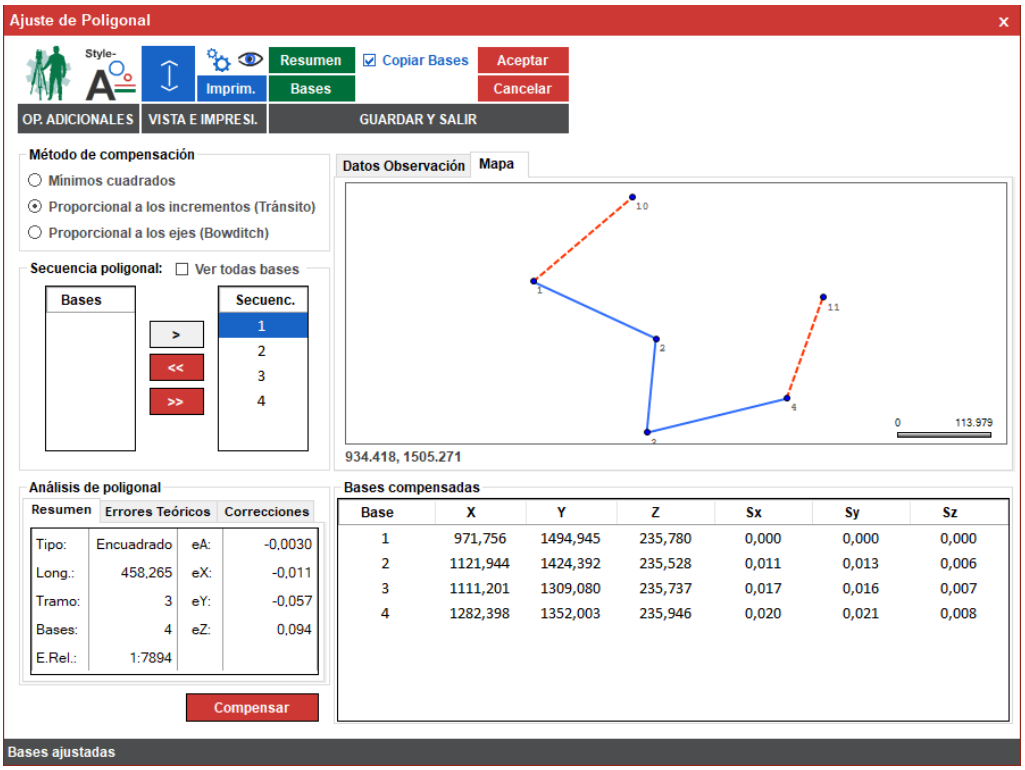


Fig. 9. Ajuste del itinerario

El programa realizará la compensación angular y lineal, mostrando las coordenadas compensadas de las bases del itinerario, y una representación gráfica, en la parte central e inferior de la ventana Ajuste de poligonal.

SABÍAS QUE:

Si no visualizas gráficamente las líneas a las referencias, de trazo naranja, puedes activar esta opción en la ventana **Configuración de Gráficos**, a través del segundo icono (por la izquierda) de la barra superior.

En la parte inferior visualizará un listado con las coordenadas compensadas de las bases de la poligonal. Y junto a ellas veremos las *incertidumbres posicionales* (tres últimas columnas). Estos valores indican sobre la calidad de las coordenadas ajustadas.

SABÍAS QUE:

Las incertidumbres posicionales se obtienen a través de las características técnicas del equipo y de los errores de centrado. Si realizó el ejercicio anterior entonces se han determinado para el instrumento Leica TS11 y errores de centrado propuestos en aquel ejercicio.

6. Finalice el ejercicio pulsando **Aceptar**. Las bases ajustadas pasarán al listado Bases Topográficas de la ventana principal, y se representarán gráficamente en la pestaña Mapa.

Otras consideraciones:

- Desde la ventana Ajuste de Poligonal, puede utilizar el botón llamado **Resumen**. Podrá generar un fichero ASCII de extensión **TXR** que podrá abrir a través del bloc de notas de Windows©. Este fichero contiene un resumen del proceso de resolución aplicado.
- Por defecto, la representación gráfica de la ventana Ajuste Poligonal no muestra las visuales a las referencias. Si desea visualizar estas líneas, y estando en dicha ventana, pulse el icono de acceso a la configuración gráfica (segundo icono de la sección OP. ADICIONALES) y active Base−>Referencias en la ventana Configuración de Gráficos.
- Una vez aceptado el ajuste, podrá generar un reporte técnico de la misma forma que en ejercicios anteriores.

Ejemplo 2. Ajuste de poligonal cerrada. Caso 1

En este ejercicio veremos cómo resolver una poligonal cerrada en la modalidad "*la última base es visible desde la primera, y al comenzar el itinerario*". Este caso supone que la ubicación física de la última base del itinerario es conocida en el momento de iniciar el trabajo. Por ejemplo, esto ocurre cuando sabemos perfectamente por donde discurrirá la poligonal, permitiendo al topógrafo establecer no sólo la segunda base del itinerario sino también la última. En este caso utilizaremos el método de compensación de Bowditch.

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 2. Poligonales/Ejemplo 2***. *Ficheros:*

Pol_2_Obs_C.txt
Pol_2_Bases_XYZ.txt

Supongamos el siguiente listado de campo que, como vemos, resulta algo extenso. En él se muestran los registros de campo de una poligonal cerrada formada por 8 bases.

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1000	1111	174.8908	96.6582	0.000	1.400	1.455	Referencia
1000	8000	51.2657	100.3884	99.554	1.400	1.455	Base
1000	2000	374.2302	101.4083	19.148	1.400	1.455	Base
2000	1000	334.2039	99.2612	19.130	1.400	1.550	Base
2000	3000	102.4168	101.3316	145.289	1.400	1.550	Base
3000	2000	388.1393	98.7957	145.275	1.400	1.530	Base
3000	4000	248.8197	100.2856	102.780	2.000	1.530	Base
4000	3000	142.3809	99.0274	102.786	2.200	1.510	Base
4000	5000	353.1401	100.2714	89.319	2.000	1.510	Base
5000	4000	268.9753	99.0511	89.365	2.000	1.500	Base
5000	6000	205.5951	98.5520	78.444	2.000	1.500	Base
6000	5000	327.9516	100.5290	78.464	2.200	1.532	Base
6000	7000	120.0786	99.0626	189.811	1.400	1.532	Base
7000	6000	65.4984	101.0141	189.816	1.400	1.460	Base
7000	8000	358.9748	99.8261	64.789	1.400	1.460	Base
8000	7000	58.2521	100.3806	64.788	1.400	1.560	Base
8000	1000	273.4147	99.7522	99.544	1.400	1.560	Base

La base inicial del itinerario, así como su referencia, tiene las siguientes coordenadas:

Base	X	Y	Z	Código
1000	5000.000	5000.000	100.000	BaseInicial
1111	4177.704	5480.471	0.000	Puntal

Para compensar la poligonal siga estos pasos:

IMPORTANTE

Si viene de realizar el ejercicio anterior, antes de nada, es buena práctica limpiar los datos anteriores. Para ello, acceda a la pestaña ARCHIVO y pulse el botón **Todo** de la sección LIMPIAR DATOS.

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `Pol_2_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `Pol_2_Bases_XYZ.txt`.
3. Acceda al menú TOPOGRAFÍA y pulse el icono de Ajuste de poligonal.
4. Seleccione el método de compensación Proporcional a los ejes (Bowditch).
5. Pulse el botón **>>** y finalmente **Compensar**.

Automáticamente se procederá con el ajuste de las bases del itinerario.

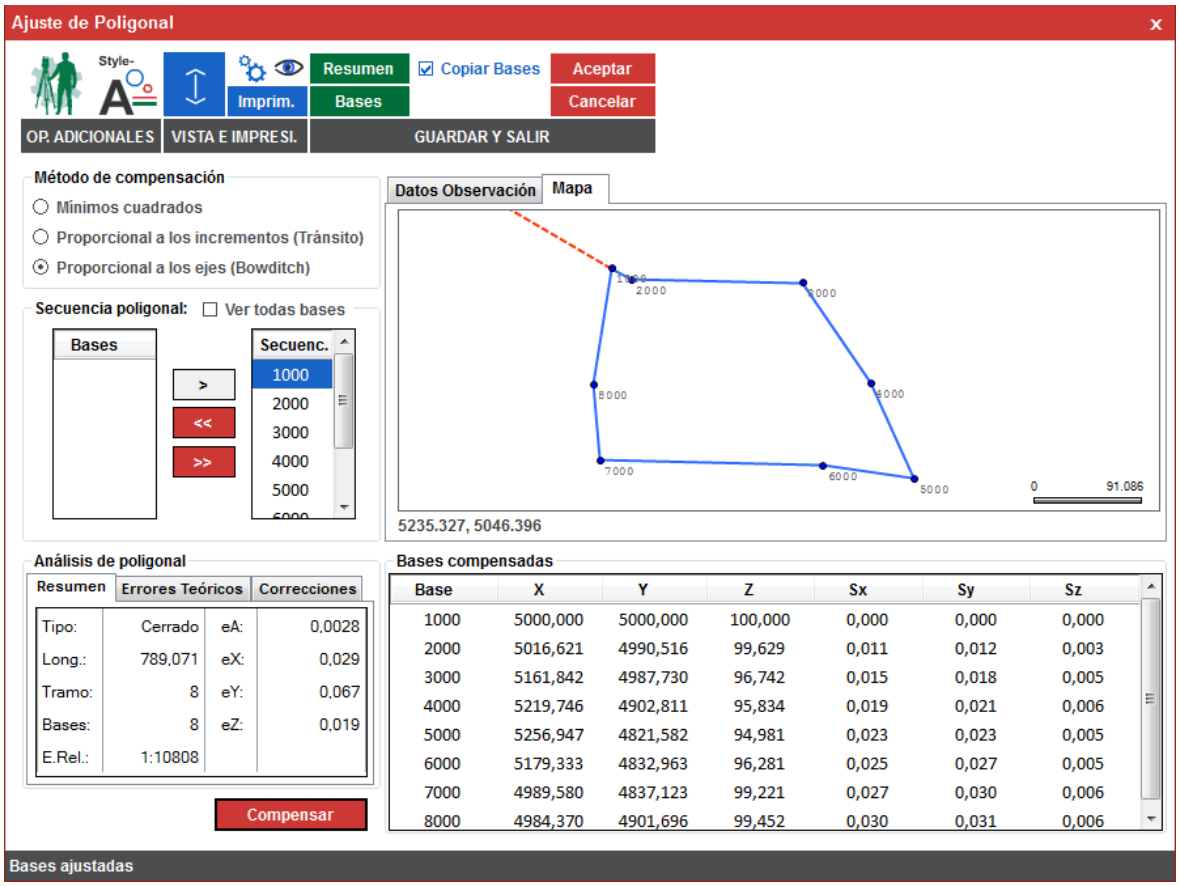


Fig. 10. Ajuste de una poligonal de 8 bases

Ya puede aceptar la ventana para pasar los datos al listado Bases Topográficas y generar un reporte técnico de la misma forma que en ejemplos anteriores.

Ejemplo 3. Ajuste de poligonal cerrada. Caso 2

Este ejemplo expone cómo compensar la segunda modalidad de itinerario cerrado. Esta modalidad supone que el topógrafo de campo no conoce dónde ubicará la última base del itinerario hasta que llegue a ella. Esta situación requiere un doble posicionamiento en la primera base; una al iniciar la poligonal y otra al cerrarla, quedando todos los ejes observados en ambos sentidos.

Si analiza con detalle esta modalidad se dará cuenta de que realmente se asimila a un itinerario *encuadrado*. Sin embargo, recordemos que no se trata de un itinerario encuadrado sino cerrado, donde se han estacionado dos veces en la misma base. La única forma de diferenciar estos dos estacionamientos es nombrándolos de forma diferente. Por ejemplo, algunos topógrafos optan por utilizar numeraciones elevadas para las bases y añadir un dígito en estos casos. Así, podríamos hablar de una base llamada 1000 y otra llamada 1001, siendo ambas la misma; 1000 al iniciar y 1001 al cerrar. Cuando esto ocurre es preferible especificar la existencia de esta base como si de dos bases diferentes se tratasen (aunque ambas presenten los mismos valores de coordenadas).

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 2. Poligonales/Ejemplo 3***. *Ficheros:*

Pol_3_Obs_C.txt
Pol_3_Bases_XYZ.txt

El siguiente listado de campo contiene las observaciones de un itinerario cerrado, en el que se ha realizado un doble estacionamiento en su primera base (fíjese las 3 primeras filas del listado y en las 3 últimas).

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1000	1111	394.8868	100.7152	29.538	1.409	1.524	REF
1000	2222	139.9900	99.5686	66.177	1.470	1.524	REF
1000	2000	325.6118	99.9828	123.633	1.606	1.524	BASE
2000	1000	305.6358	99.9582	123.634	1.542	1.529	BASE
2000	3000	112.0798	99.8274	101.901	1.534	1.529	BASE
3000	2000	111.8388	100.1682	101.899	1.521	1.508	BASE
3000	4000	265.1130	99.9068	129.284	1.584	1.508	BASE
4000	3000	341.1030	100.1142	129.283	1.440	1.546	BASE
4000	5000	82.9014	98.8764	131.525	1.605	1.546	BASE
5000	4000	249.7942	101.1388	131.526	1.459	1.538	BASE
5000	6000	49.2240	99.3066	154.308	1.504	1.538	BASE
6000	5000	327.2476	100.7456	154.312	1.465	1.543	BASE
6000	7000	125.4850	98.8830	173.197	1.490	1.543	BASE
7000	6000	304.6698	101.1868	173.209	1.437	1.570	BASE
7000	8000	103.6582	98.8012	169.295	1.537	1.570	BASE
8000	7000	59.8832	101.2508	169.294	1.505	1.583	BASE
8000	9000	64.8044	101.2320	175.492	1.463	1.583	BASE
9000	8000	38.9662	98.7736	175.498	1.631	1.563	BASE
9000	10000	299.3210	100.6320	179.295	1.631	1.563	BASE
10000	9000	182.1996	99.4266	179.294	1.503	1.605	BASE
10000	11000	317.9952	101.0908	254.667	1.442	1.605	BASE
11000	10000	64.3194	98.9612	254.658	1.505	1.565	BASE

11000	12000	336.3066	100.2686	197.480	1.570	1.565	BASE
12000	11000	328.9212	99.7830	197.479	1.483	1.612	BASE
12000	13000	45.4402	100.8276	55.464	1.508	1.612	BASE
13000	12000	74.2176	99.3396	55.463	1.539	1.571	BASE
13000	1001	297.4484	100.3764	26.794	1.528	1.571	BASE
1001	13000	263.5362	99.9064	26.795	1.498	1.574	BASE
1001	1111	21.8616	100.6138	29.521	1.513	1.574	REF
1001	2222	166.9430	99.4878	66.181	1.594	1.574	REF

Si analiza el listado, la primera base se denomina 1000. Y el último estacionamiento 1001. Ambas bases representan la misma posición (por lo que tienen las mismas coordenadas).

Las coordenadas de las bases y de las dos referencias son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
1000	662878.707	4207913.868	16.556	BASE
1111	662905.842	4207902.132	16.330	REF
2222	662819.243	4207884.813	17.047	REF
1001	662878.707	4207913.868	16.556	BASE

IMPORTANTE

Fíjese en un detalle importante; las coordenadas de la base 1000 se repiten en la base 1001. Por tanto, ambas representan la misma posición (realmente la base 1000).

Resolver un itinerario formado por 14 bases resultaría algo aparatoso en cualquier otro software, teniendo en cuenta que el usuario tendrá que determinar, una a una, las 14 desorientaciones de las bases antes de identificar, nuevamente una a una, la secuencia de las 14 bases.

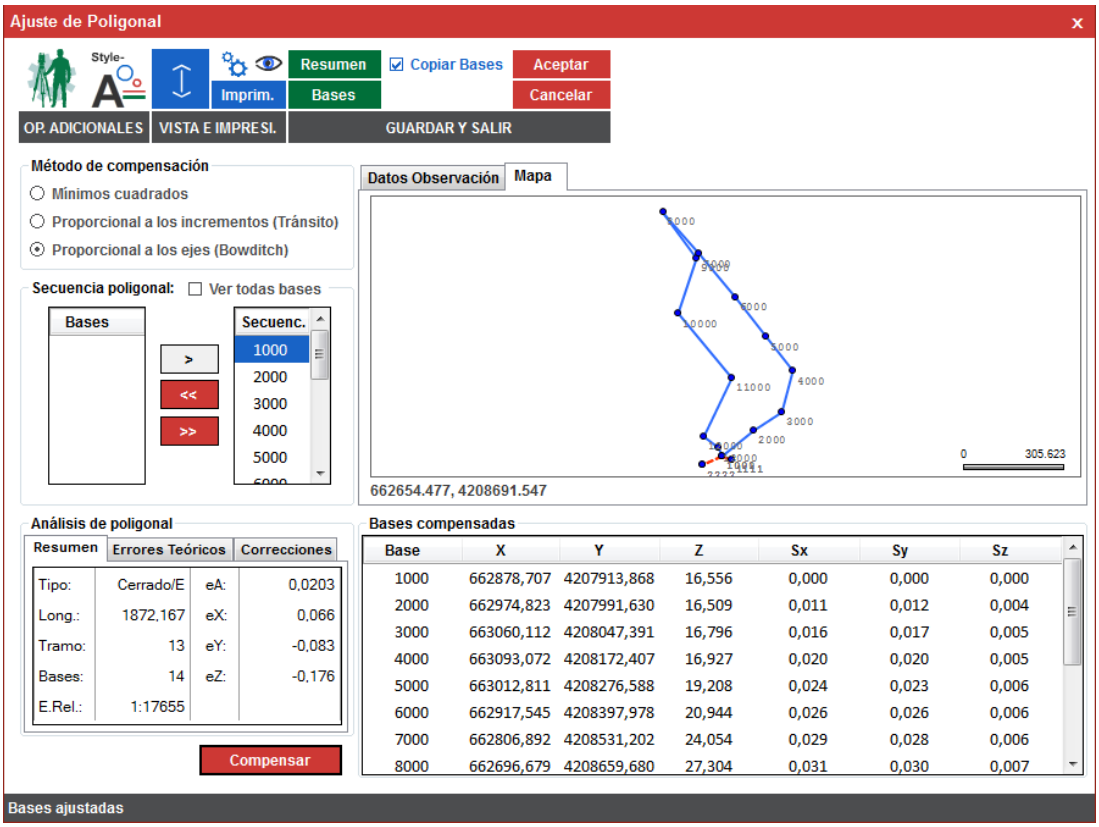


Fig. 11. Ajuste de poligonal de 14 bases

En GeMe, compensar este itinerario es tan sencillo como ejecutar los siguientes pasos:

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `Pol_3_Obs_S.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `Pol_3_Bases_NEZ.txt`.
3. Acceda al menú TOPOGRAFÍA y pulse el icono de Ajuste de poligonal.
4. Seleccione el método de compensación Proporcional a los ejes (Bowditch).
5. Pulse el botón **>>** y finalmente **Compensar**.

La compensación de poligonales en GeMe es un proceso tan sencillo como realizar los 3 pasos anteriores. Cualquier usuario, tenga más o menos conocimientos, podrá compensar una poligonal fácilmente.

SABÍAS QUE:

Recuerde que las características técnicas del instrumento seleccionado, así como los errores de centrado, de la ventana **Opciones de Levantamiento**, no influyen en la determinación de las coordenadas de las bases ajustadas por los métodos Bowditch y Tránsito, sino en el cálculo de incertidumbres posicionales.

Ejemplo 4. Ajuste de poligonal en UTM

Los ejemplos detallados hasta ahora se han resuelto poligonales en sistemas arbitrarios o locales. Es decir, resueltos en lo que, comúnmente, se define como “planas”, sin emplear ningún sistema de proyección.

Supongamos por un momento que nos piden las bases del ejercicio anterior compensadas en el sistema de proyección UTM. Supongamos también que las coordenadas de la base inicial del itinerario (así como sus dos referencias) son coordenadas UTM, obtenidas a través de un equipo GNSS.

Imaginemos que el sistema de proyección UTM configurado en el GPS fue el siguiente:

- Sistema de proyección: UTM, huso 30, hemisferio Norte, datum: ETRS89

Para compensar cualquier método de topografía en el sistema UTM tan sólo tenemos que configurar previamente las opciones de levantamiento con los datos del sistema de proyección. Veamos cómo.

IMPORTANTE

Si viene de realizar el ejercicio anterior, antes de nada es buena práctica limpiar los datos anteriores. Para ello, acceda a la pestaña ARCHIVO y pulse el botón Todo de la sección LIMPIAR DATOS.

1. Acceda a Opciones de Levantamiento y active la opción Procesar en UTM. Pulse el botón **Sistema ref**. En la ventana Sistema Referencia establezca el huso *30*, el hemisferio *Norte* y el datum *ETRS89*. Acepte para regresar a Opciones de Levantamiento. Aprovechando que nos encontramos en esta ventana vamos a aplicar la configuración por defecto. Para ello, seleccione Genérica, Serie Genérica y Modelo 1 en los tres despliega-

bles de la izquierda. Modifique también el valor de Reflector de la sección Error de centrado (mm), de 2,5mm a 10mm. La ventana Opciones de Levantamiento debería quedar como sigue:

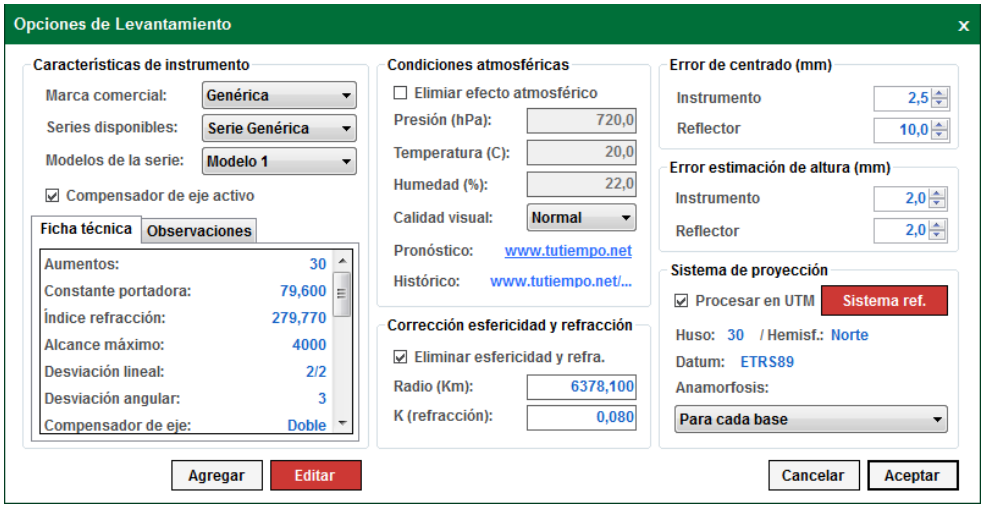


Fig. 12. Configuración del sistema de proyección

Acepte y, a continuación, siga estos pasos:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 2. Poligonales/Ejemplo 4***. *Ficheros:*

Pol_4_Obs_C.txt
Pol_4_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `Pol_4_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `Pol_4_Bases_XYZ.txt`.
3. Acceda al menú TOPOGRAFÍA y pulse el icono de Ajuste de poligonal.
4. Seleccione Proporcional a los incrementos (Tránsito). Acepte la secuencia de la poligonal con el botón **>>**, y pulse **Compensar**.

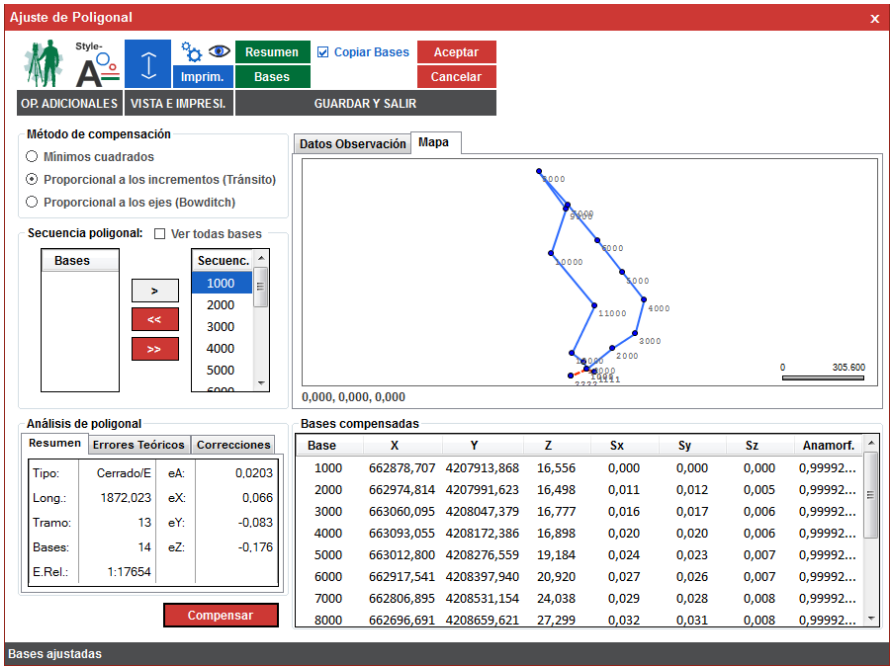


Fig. 13. Ajuste de poligonal en el sistema UTM

Ahora verá una nueva columna en la lista Bases ajustadas. La columna Anamorfosis contiene el coeficiente de anamorfosis de cada una de las bases. Este coeficiente se calculó durante el proceso de ajuste de la poligonal y para el método seleccionado en anteriormente.

Así de sencillo se compensa una poligonal en UTM. Recuerde que en este proceso GeMe ha aplicado las reducciones al horizonte y al nivel mar. Posteriormente aplicó el coeficiente de anamorfosis.

ADVERTENCIA

Una vez activada la opción **Procesar en UTM**, el programa queda configurado por defecto. Esto significa que la próxima vez que lo inicie esta opción seguirá activa. Recuerde esto si va a procesar, a continuación, métodos topográficos que no se encuentren expresados en el sistema de proyección UTM.

Ejemplo 5. Ajuste de poligonal aplicando corrección atmosférica y por curvatura y refracción

En este ejemplo veremos cómo procesar el ajuste de una poligonal en el que además se desean eliminar las influencias atmosféricas y por curvatura y refracción (esta última corrección siempre se aplica por defecto).

Supongamos el siguiente itinerario cerrado formado por 15 bases:

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1	1111	251.1488	86.1858	0.000	1.976	1.499	TORRE
1	15	315.8992	99.4430	335.754	1.976	1.499	AUDI
1	2	125.8328	98.9280	133.182	1.976	1.499	BOCA RIEGO
2	1	328.3794	100.6602	133.172	1.976	1.559	PE
2	3	86.0968	100.9653	67.571	1.500	1.559	ALDI

3	2	184.6864	99.0637	67.597	1.495	1.454	BOCA RIEGO
3	4	305.1496	100.8290	133.808	1.495	1.454	SUBARU
4	3	287.1222	99.1948	133.808	1.495	1.585	ALDI
4	5	96.5878	100.1938	212.795	1.495	1.585	EDIF CONSTRUCC
5	4	62.9928	99.8420	212.794	1.495	1.516	SUB
5	6	267.8802	99.8800	219.823	2.102	1.516	GLOR
6	5	75.5332	99.7816	219.821	2.102	1.527	EDIF
6	7	244.0682	100.1581	125.525	2.102	1.527	AV
7	6	244.6002	99.5988	125.523	1.500	1.572	GLORIETA
7	8	65.8982	100.3307	168.833	1.994	1.572	GASOLINERA
8	7	306.9614	99.3564	168.840	1.994	1.479	AV
8	9	103.6226	99.5046	161.183	1.994	1.479	ARCHIVO
9	8	329.0849	100.2608	161.178	1.494	1.484	GASOLINERA
9	10	123.6493	99.8186	246.733	1.491	1.484	POL
10	9	88.0936	100.1726	246.773	1.491	1.458	ARCHIVO
10	11	135.7980	100.1489	130.490	1.491	1.458	PAB
11	10	41.0441	99.8396	130.503	1.491	1.534	POL
11	12	224.7640	100.1334	291.689	1.491	1.534	FARMACIA
12	11	222.9690	99.8992	291.690	1.491	1.500	POLIDEPORTIVO
12	13	23.6322	99.6736	275.873	1.491	1.500	KING
13	12	187.0170	100.2532	275.871	1.503	1.151	FARMACIA
13	14	388.5016	99.7628	490.933	1.163	1.151	BITEC
14	13	81.7554	100.2396	490.930	1.074	1.124	KING
14	15	269.4392	98.4546	114.199	1.496	1.124	AUDI
15	14	127.7846	101.3340	114.188	1.496	1.463	BITEC
15	1	222.9646	100.4579	335.763	1.496	1.463	PE

Como se observa, la gran mayoría de visuales superan los 100m, incluso algunas superan los 400m. Estas longitudes justifican la eliminación de las afecciones que ocasionan las condiciones climatológicas, así como la curvatura y refracción, sobre las observaciones de campo.

Las coordenadas de la base inicial, y de su referencia, son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
1	1000.000	1000.000	100.000	Bas
1111	1000.000	900.000	0.000	Ref

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 2. Poligonales/Ejemplo 5***. *Ficheros:*

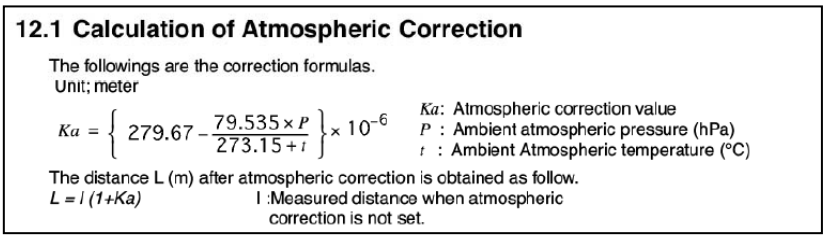
Pol_5_Obs_C.txt
Pol_5_Bases_XYZ.txt

La medición se realizó al sur de España, y las condiciones meteorológicas en el momento de la medición fueron las siguientes:

- Presión (hPa): 1013. Temperatura (ºC): 28º. Humedad (%): 46.

El instrumento utilizado fue un Topcon GTS223. Es importante identificar el instrumento ya que la eliminación de las condiciones atmosféricas requiere identificar dos características del láser de la estación total; la constante portadora y el índice de refracción (no confundir esta última con el coeficiente de refracción de la curvatura y refracción).

La constante portadora de este instrumento tiene un valor de 79,535 mientras que el índice de refracción es de 279,67:



12.1 Calculation of Atmospheric Correction

The followings are the correction formulas.
Unit; meter

$$Ka = \left\{ 279.67 - \frac{79.535 \times P}{273.15 + t} \right\} \times 10^{-6}$$

Ka: Atmospheric correction value
P : Ambient atmospheric pressure (hPa)
t : Ambient Atmospheric temperature (°C)

The distance L (m) after atmospheric correction is obtained as follow.
L = l (1+Ka) l :Measured distance when atmospheric correction is not set.

Fig. 14. Extracto del manual oficial de Topcon GTS220

Ambos datos, junto al resto de características técnicas del instrumento, se encuentran incluidos en la base de datos del programa. Recordemos que GeMe incluye las características técnicas de más de 350 modelos de instrumentos topográficos.

Para ajustar la poligonal corrigiendo las condiciones climatológicas, y eliminando los efectos de curvatura y refracción, siga los siguientes pasos:

1. Acceda a Opciones de Levantamiento pulsando **F9**. Seleccione el instrumento Topcon GTS-223. Active la opción Eliminar efecto atmosférico e ingrese las variables de presión, temperatura y humedad. Aproveche para desactivar la opción Procesar en UTM en caso de tenerla activada.

Fig. 15. Opciones de levantamiento

RECUERDE

Aplique la eliminación del efecto atmosférico sólo en caso de no haberla aplicado ya con el instrumento. De lo contrario estaría aplicando la corrección dos veces, insertando errores en las observaciones.

2. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `Pol_5_Obs_C.txt`.
3. En la pestaña BASES, importe el fichero `Pol_5_Bases_XYZ.txt`.
4. Acceda al menú TOPOGRAFÍA y pulse el icono de Ajuste de poligonal.

5. Seleccione Proporcional a los ejes (Bowditch). Acepte la secuencia de la poligonal con el botón **>>**, y pulse **Compensar**.

Así de sencillo se compensa una poligonal eliminando en ella la influencia atmosférica y por curvatura y refracción. Debe saber que, sin duda, este proceso de corrección mejora la estimación en el cálculo de los errores experimentales y aporta mayor precisión en las coordenadas ajustadas. Recuerde que ya puede aceptar los cálculos y generar un reporte.

Ejemplo 6. Ajuste de poligonal mediante mínimos cuadrados

Este ejercicio muestra un ejemplo de resolución mediante el método de mínimos cuadrados. Recordemos brevemente que este método consiste en hacer un ajuste de optimización. Las siguientes virtudes justifican su utilización:

- El método de mínimos cuadrados ajusta las observaciones lineales y angulares simultáneamente.
- Los datos compensados representan los valores “más probables”.
- Las observaciones se pueden ponderar, realizando un ajuste en función de las incertidumbres de las observaciones lineales y angulares.
- Se puede realizar un control posicional al hallarse las incertidumbres posicionales de las bases ajustadas.

El método realiza los siguientes pasos:

- Estima las coordenadas aproximadas de las bases por simple radiación.
- Establece las ecuaciones de observación para distancias y ángulos.
- Genera la matriz K a través de los datos observados y estimados.
- Obtiene la matriz jacobiana J.
- Construye la matriz W de pesos (que opcionalmente puede no utilizarse en el ajuste).
- Calcula la matriz Q_{xx}, inversa de la matriz normal N.
- Calcula la matriz incógnita, X, con las correcciones de las coordenadas iniciales.
- Obtiene el resto de matrices; de residuos V, la desviación estándar del ajuste S_o, y la matriz Q_{II}.
- Repite el proceso en una nueva iteración. Generalmente, en una segunda iteración se obtiene una corrección nula (matriz X con todos sus términos nulos).

Dispone de hojas Excel® con ejemplos de resolución de poligonales a través del método de Mínimos Cuadrados en la sección Hojas de Cálculo de www.topoedu.es:
www.topoedu.es/calculo.php

Supongamos que el topógrafo de campo ha realizado una poligonal cerrada. En campo utilizó una TPS-12003+ de Leica Geosystems. El topógrafo prevé haber cometido los siguientes errores:

- Error de centrado de equipo: ±1,5mm
- Error de centrado de jalón: ±7mm
- Error en estimación de altura de equipo: ±2mm
- Error en estimación de altura de jalón (a través del propio bastón): ±5mm.

Todas las observaciones fueron tomadas con el compensador de ejes activo.

El listado con las observaciones topográficas es el siguiente:

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1000	1111	164.9414	100.0000	0.000	1.399	1.466	Ref
1000	4000	85.5063	100.2103	40.042	1.399	1.466	B4000
1000	2000	31.7589	101.4951	44.011	1.399	1.466	B2000
2000	1000	357.6239	98.9027	44.020	1.399	1.605	B1000
2000	3000	275.4004	99.0922	51.620	1.399	1.605	B3000
3000	2000	345.6738	101.2058	51.585	1.398	1.445	B2000
3000	4000	317.7364	100.2800	19.942	1.398	1.445	B4000
4000	3000	155.4927	100.0562	19.940	1.398	1.448	B4000
4000	1000	319.3916	100.0046	39.994	1.398	1.448	B1000

Y las coordenadas de las bases conocidas:

Base	X	Y	Z	Código
1000	1000.000	1000.000	100.000	Base
1111	2000.000	2000.000	100.000	Refe

Para resolver por mínimos cuadrados, considerando las condiciones de contorno (características técnicas del equipo y errores estimados) siga los siguientes pasos:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 2. Poligonales/Ejemplo 6***. *Ficheros:*

Pol_6_Obs_C.txt
Pol_6_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `Pol_6_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `Pol_6_Bases_XYZ.txt`.
3. Acceda a Opciones de Levantamiento. Seleccione el instrumento **TPS-1203+**. Active la opción Compensador de eje activo en caso de no estarlo. Introduzca el error de centrado del instrumento y de reflector (1,5mm y 7mm respectivamente), así como los errores en la estimación de la altura (2mm y 5mm respectivamente). Finalmente, acepte.

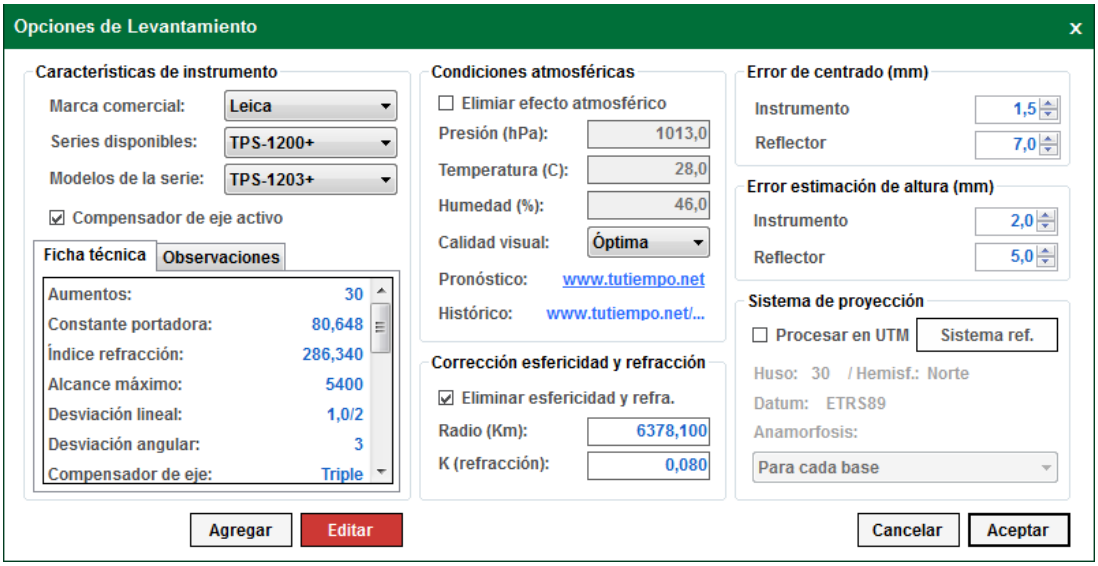


Fig. 16. Configuración de las opciones de levantamiento

SABÍAS QUE:

Resulta indiferente acceder a Opciones de Levantamiento y Configuración General antes o después de insertar los datos. Lo importante es configurar debidamente el programa antes de realizar los cálculos.

4. Ejecute el comando de Ajuste de poligonal. El método de Mínimos Cuadrados ya se encuentra activado por defecto. Acepte la secuencia de bases pulsando **>>**, y pulse **Compensar**. Acaba de compensar una poligonal por mínimos cuadrados.

Fíjese ahora en algo que hasta este momento no habíamos visto; las pestañas Ajuste MMCC Planimetría y Ajuste MMCC Altimetría. Estas pestañas contienen todo el proceso del ajuste por mínimos cuadrados, detallando por separado el ajuste planimétrico del altimétrico.

Más abajo, en Análisis de poligonal, y junto a las características de la poligonal, tiene los errores de cierre que han sido ajustados. La pestaña Errores Teóricos contiene los errores teóricos estimados para el trabajo en función de las características técnicas del equipo y de los errores de centrado. Finalmente, la pestaña Correcciones contiene un resumen de las correcciones que se activaron en Opciones de Levantamiento.

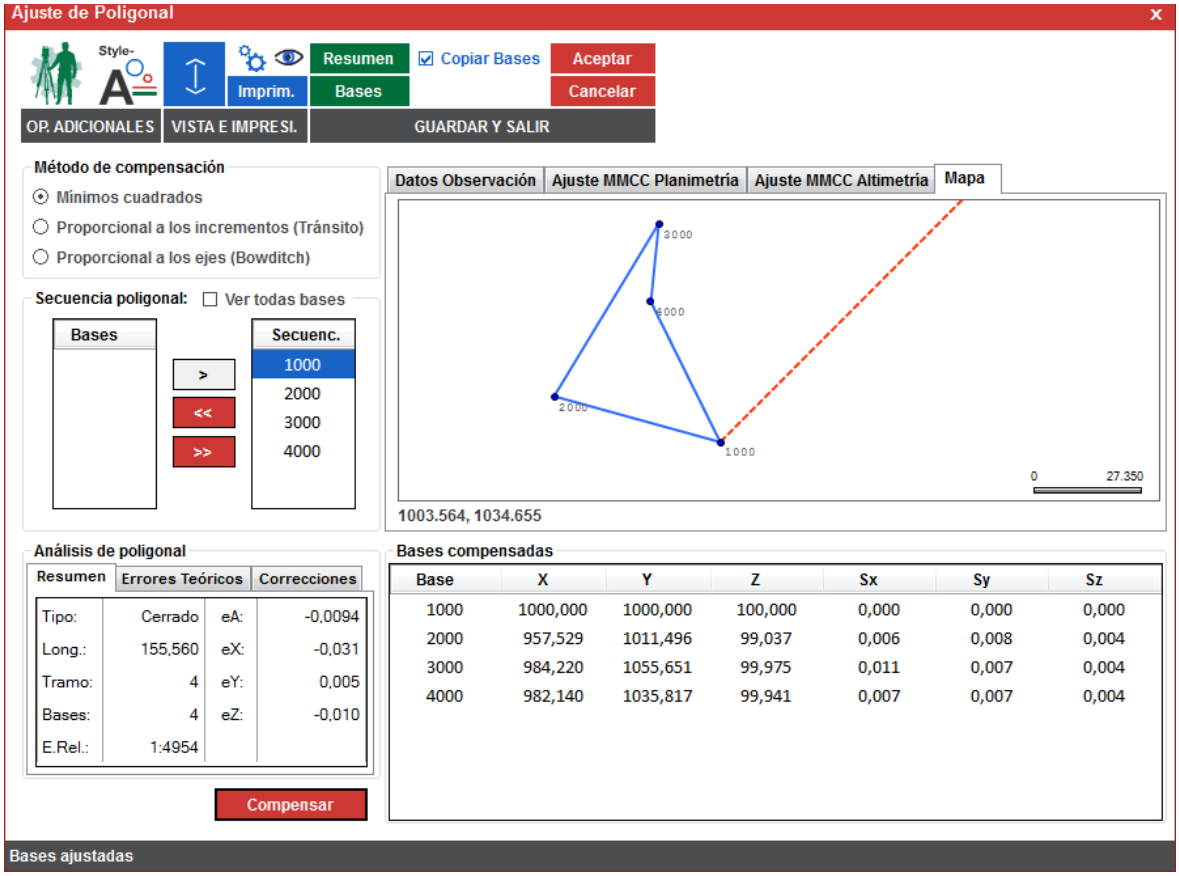


Fig. 17. Resultado del ajuste por MMCC

El siguiente listado muestra parcialmente el contenido de la pestaña Ajuste MMCC Planimetría. Este contiene la aproximación inicial de las bases y todas las matrices de las iteraciones. Al final se muestra los estadísticos del ajuste junto a las elipses de error de las bases.

```
AJUSTE PLANIMÉTRICO POR MÍNIMOS CUADRADOS.
RESUMEN ANALÍTICO.
==============================
ITERACIÓN Nº 1

Aproximación inicial para las estaciones
------------------------------------

  957,5204  1011,4903
  984,1978  1055,6535
  982,1165  1035,8215

...(omitido)

ITERACIÓN Nº 3

Aproximación inicial para las estaciones
------------------------------------

  957,5285  1011,4955
  984,2200  1055,6512
  982,1401  1035,8170

Matriz K. Dim: 8x1
------------------------------------

      0,0065
     -0,0008
     -0,0020
     -0,0051
   -104,0000
    -93,2142
    246,6770
    -18,2872
```

```
   -125,3157

Matriz J. Dim: 8x4
-----------------------------------
     -0,9653          0,2613           0,0000          0,0000           0,0000          0,0000
     -0,5173         -0,8558           0,5173          0,8558           0,0000          0,0000
      0,0000          0,0000           0,1043          0,9945          -0,1043         -0,9945
      0,0000          0,0000           0,0000          0,0000          -0,4462          0,8949
   3780,1647      13966,1970           0,0000          0,0000           0,0000          0,0000
 -14339,4195      -7583,2849       10559,2547      -6382,9122           0,0000          0,0000
  10559,2547      -6382,9122       21188,7348       3053,6405      -31747,9895       3329,2717
      0,0000          0,0000      -31747,9895       3329,2717       45982,7888       3768,8273
      0,0000          0,0000           0,0000          0,0000      -14234,7993      -7098,0989

Matriz W. Dim: 8x8
-----------------------------------
  17775,3306      0,0000      0,0000       0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000
      0,0000  17774,4125      0,0000       0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000
      0,0000      0,0000  17777,2753       0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000
      0,0000      0,0000      0,0000  17775,7544  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000
      0,0000      0,0000      0,0000       0,0000  0,0001  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000
      0,0000      0,0000      0,0000       0,0000  0,0000  0,0001  0,0000  0,0000  0,0000
      0,0000      0,0000      0,0000       0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000
      0,0000      0,0000      0,0000       0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000
      0,0000      0,0000      0,0000       0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000

Matriz Qxx. Dim: 6x6
-----------------------------------
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000
  0,0000  0,0001  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000
  0,0000  0,0000  0,0001  0,0000  0,0001  0,0000
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000
  0,0000  0,0000  0,0001  0,0000  0,0001  0,0000
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000

Matriz X. Dim: 6x1
-----------------------------------
  0,0000
  0,0000
  0,0000
  0,0000
  0,0000
  0,0000

Matriz V. Dim: 9x1
-----------------------------------
     -0,0065
      0,0008
      0,0020
      0,0051
    103,9491
     93,2229
   -246,6738
     18,2965
    125,3455

==============================
RESUMEN ESTADÍSTICO DEL AJUSTE
Total iteraciones = 3
Desviación estándar del ajuste = ±1,1307
Varianza de referencia del ajuste = ±1,278430

==============================
Elipses de Error:
Base       ±Su       ±Sv      Orientación
-----------------------------------
1000      0,000     0,000       0,0000
2000      0,009     0,007     188,3327
3000      0,012     0,008     91,6456
4000      0,008     0,007     72,6846

Test X²: Bondad del ajuste:
===============
Hipótesis Ho: S²=1
```

```
Hipótesis Ha: S²≠1
X² ref.: 3,8353
X² lower.: 0,3518
X² upper: 7,8147

Test X² superado al intervalo de confianza del 90%
```

Comentarios:

- El valor de la varianza de referencia es ±**1,515**, siendo la desviación estándar del ajuste ±**1,231**. Más abajo vemos los valores de los semiejes de las elipses de error de las bases, junto a sus orientaciones. El valor de la varianza de referencia utilizado en la estimación de las incertidumbres posicionales de las bases es el calculado a posteriori.

SABÍAS QUE:

En el segundo ejercicio de ajuste de redes activamos una opción, dentro de la **Configuración General**, llamada **Realizar un Test X² sobre la bondad del ajuste**. Si realizó aquel ejercicio entonces mantendrá esta opción activada. Al final del listado podrá ver el resultado de aplicar dicho análisis sobre el ajuste.

- La pestaña Ajuste MMCC Altimetría recoge un contenido similar al anterior pero referido al ajuste de la componente Z.
- Ya puede aceptar los datos para copiar las coordenadas ajustadas al listado principal de bases, desde donde podrá exportar a otros formatos como DXF, KML, TXT, etc.
- También podrá generar un reporte técnico con todo lo acontecido en el ajuste.

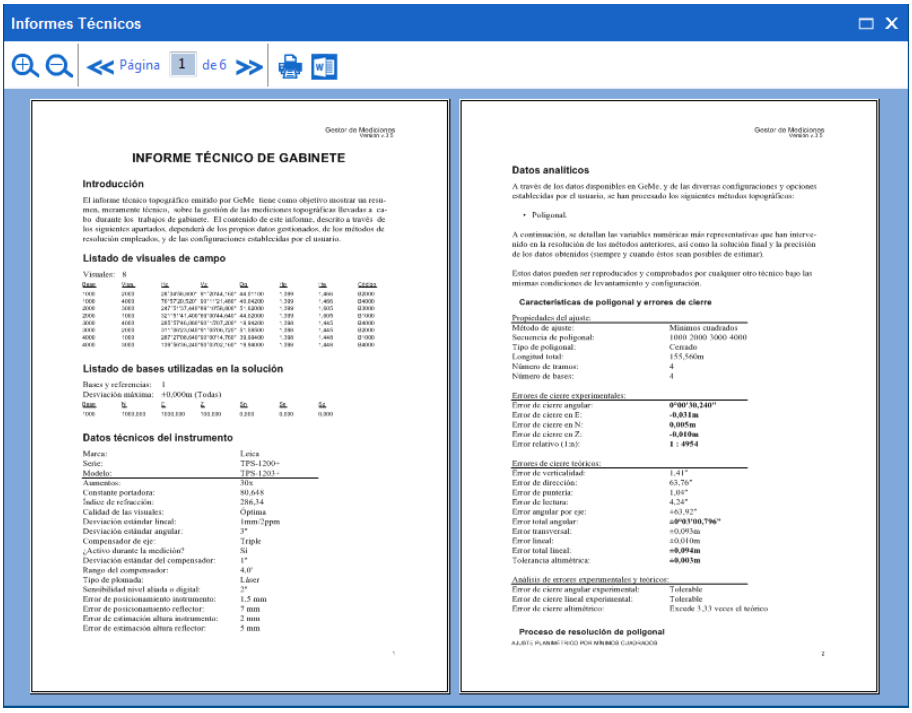


Fig. 18. Informe técnico parcial de una poligonal

Ejemplo 7. Ajuste de poligonal cuyas observaciones fueron observadas aplicando Bessel y series.

En este ejemplo veremos cómo procesar un itinerario sobre el cual se aplicaron observaciones en serie además de la regla de Bessel.

El siguiente listado de campo contiene las observaciones de una poligonal, donde las observaciones se tomaron en serie, tanto en posición directa como inversa (Bessel).

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1000	1111	0.0000	100.0000	0.000	0.000	1.410	REF
1000	1111	0.0003	100.0002	0.000	0.000	1.410	REF
1000	1111	399.9996	99.9997	0.000	0.000	1.410	REF
1000	2000	126.4230	103.1390	178.192	1.640	1.410	BASE
1000	2000	126.4223	103.1391	178.193	1.640	1.410	BASE
1000	2000	126.4221	103.1384	178.193	1.640	1.410	BASE
1000	2000	326.4240	296.8600	178.192	1.610	1.410	BASE
1000	2000	326.4239	296.8602	178.192	1.610	1.410	BASE
1000	2000	326.4242	296.8597	178.192	1.610	1.410	BASE
2000	1000	19.4000	96.7120	178.208	1.630	1.385	BASE
2000	1000	19.3998	96.7122	178.208	1.630	1.385	BASE
2000	1000	19.4003	96.7122	178.208	1.630	1.385	BASE
2000	1000	219.4060	303.2930	178.209	1.630	1.385	BASE
2000	1000	219.4057	303.2931	178.210	1.630	1.385	BASE
2000	1000	219.4068	303.2926	178.210	1.630	1.385	BASE
2000	3000	170.0910	103.3890	189.452	1.610	1.385	BASE
2000	3000	170.0900	103.3891	189.453	1.610	1.385	BASE
2000	3000	170.0913	103.3884	189.452	1.610	1.385	BASE
2000	3000	370.0960	296.6070	189.456	1.610	1.385	BASE
2000	3000	370.0950	296.6071	189.457	1.610	1.385	BASE
2000	3000	370.0963	296.6066	189.456	1.610	1.385	BASE
3000	2000	370.9750	96.5200	189.479	1.610	1.535	BASE
3000	2000	370.9740	96.5201	189.480	1.610	1.535	BASE
3000	2000	370.9753	96.5196	189.479	1.610	1.535	BASE
3000	2000	170.9740	303.4790	189.480	1.610	1.535	BASE
3000	2000	170.9734	303.4794	189.481	1.610	1.535	BASE
3000	2000	170.9744	303.4784	189.480	1.610	1.535	BASE
3000	4000	149.9880	104.3120	82.389	1.670	1.535	BASE
3000	4000	149.9877	104.3120	82.390	1.670	1.535	BASE
3000	4000	149.9884	104.3116	82.389	1.670	1.535	BASE
3000	4000	349.9900	295.6940	82.389	1.670	1.535	BASE
3000	4000	349.9893	295.6942	82.390	1.670	1.535	BASE
3000	4000	349.9902	295.6936	82.389	1.670	1.535	BASE
4000	3000	75.1240	304.3910	82.395	1.610	1.615	BASE
4000	3000	75.1233	304.3913	82.396	1.610	1.615	BASE
4000	3000	75.1249	304.3906	82.395	1.610	1.615	BASE
4000	3000	275.1210	95.6100	82.396	1.610	1.615	BASE
4000	3000	275.1204	95.6099	82.397	1.610	1.615	BASE
4000	3000	275.1212	95.6094	82.396	1.610	1.615	BASE
4000	4444	0.0000	100.0000	0.000	0.000	1.615	REF
4000	4444	399.9990	100.0001	0.000	0.000	1.615	REF
4000	4444	0.0003	99.9994	0.000	0.000	1.615	REF

Y las bases y referencias utilizadas son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
1000	631080.417	4749242.880	565.801	Base
1111	630986.703	4749207.984	100.000	REF
4000	630895.680	4749604.421	540.872	Base
4444	630816.386	4749543.491	100.000	REF

Las observaciones se capturaron a través de un equipo Sokkia, modelo SET330R, con el compensador de ejes activado. Los errores de centrado de equipo y jalón fueron de ±1,5mm y ±5mm respectivamente. Los errores en la estimación de la altura, tanto de equipo como de prisma, fueron del orden de ±2mm.

Conociendo estos datos, la compensación de la poligonal se realizará de la siguiente forma:

1. Desde la pestaña VISUALES, importe el fichero `Pol_7_Obs_C.txt`. En la pestaña BASES, importe el fichero `Pol_7_Bases_XYZ.txt`.

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 2. Poligonales/Ejemplo 7***. *Ficheros:*

Pol_7_Obs_C.txt
Pol_7_Bases_XYZ.txt

1. Ejecute el comando Procesar visuales en serie ubicado en la pestaña VISUALES. Este comando activará la ventana Filtrado de Visuales en Serie.

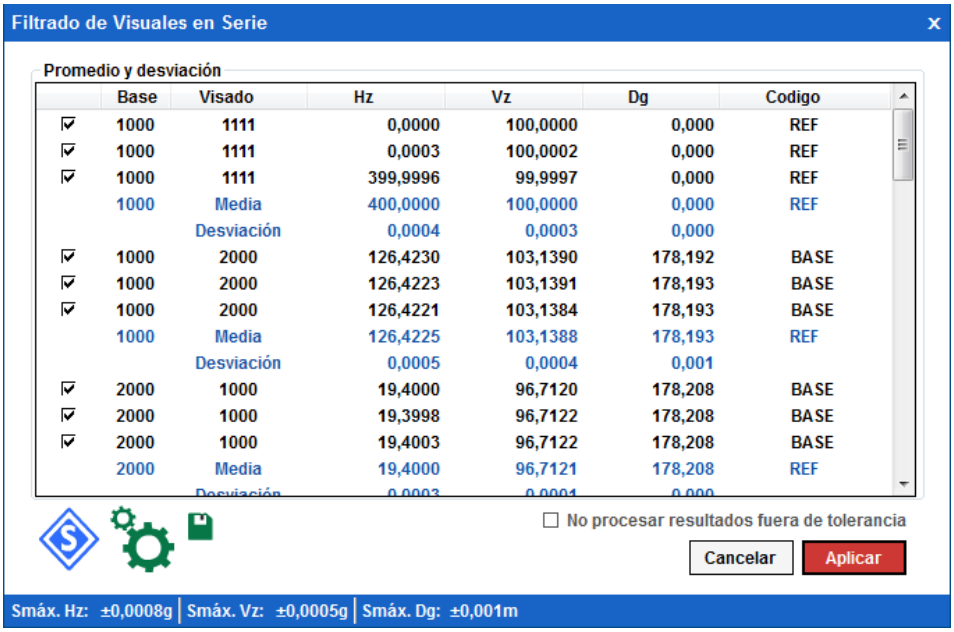


Fig. 19. Filtrado de visuales en serie

Esta ventana muestra por grupos las observaciones realizadas en serie. Además, si se aplicó la regla de Bessel, estas series también se muestran por separado las observaciones directas de las inversas. En la parte inferior de la ventana verá las mayores desviaciones angulares y lineales de todas las visuales procesadas.

2. Pulse **Aplicar** y acepte la ventana de conformación.

3. A continuación, vaya al comando adjunto al anterior, llamado Aplicar Regla de Bessel. La ventana Filtrado de Visuales Bessel muestra un resumen de los valores obtenidos, los errores de cada par de visuales, así como los máximos errores encontrados. Pulse Aplicar.
4. Active Opciones de Levantamiento pulsando **F9**. Seleccione la marca **Sokkia** y busque el modelo **SET330R**. Active Compensador de ejes activo y establezca los errores de centrado y de estimación de altura. Acepte para volver.
5. Ejecute Ajuste de poligonal. Seleccione Reparto proporcional a los incrementos (Tránsito). Acepte la secuencia de la poligonal pulsando **>>**. Finalmente, pulse **Compensar**.

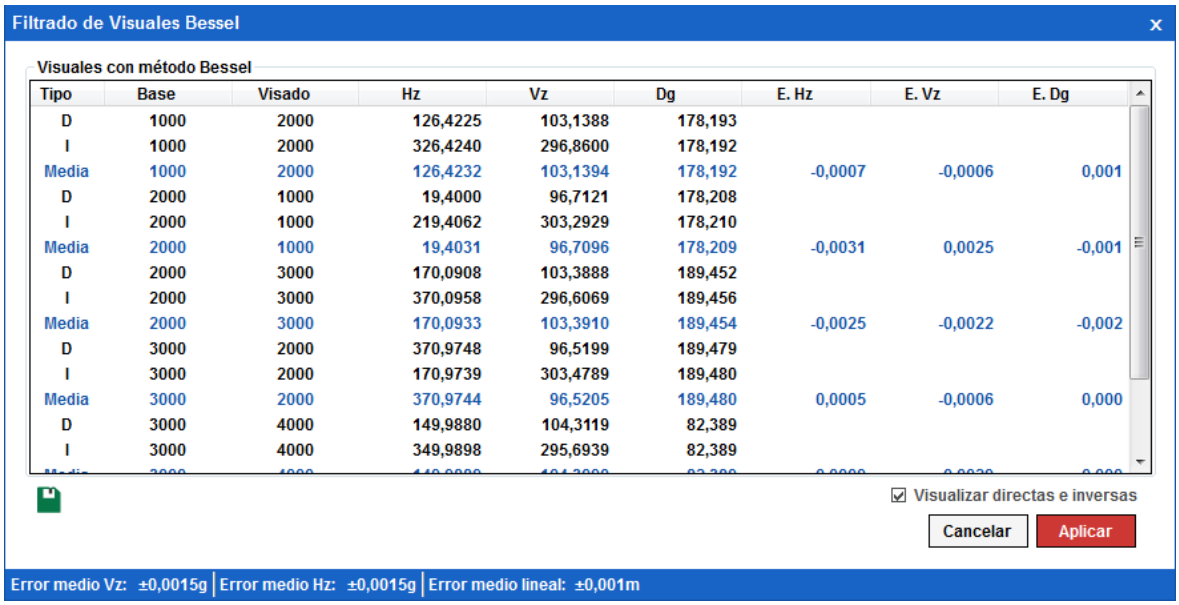


Fig. 20. Filtrado de observaciones a través de la regla de Bessel

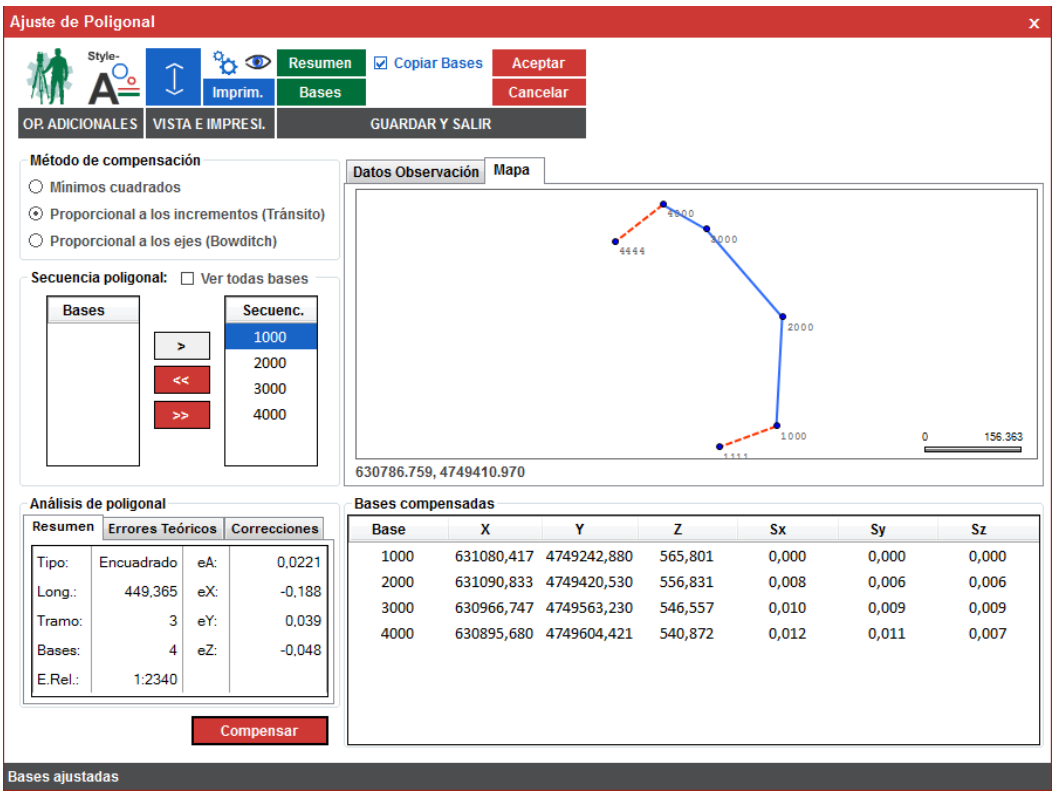


Fig. 21. Ajuste de una poligonal en la que se aplicó la regla de Bessel

Resumen

En este capítulo hemos practicado la compensación de poligonales encuadradas y cerradas. Hemos aprendido a compensar en planas y en UTM. También hemos practicado la eliminación de efectos externos, como las condiciones meteorológicas. En algunos ejercicios hemos aprendido algo más sobre las incertidumbres de las bases ajustadas, incluso para métodos distintos al de MMCC. También hemos aplicado un rigor técnico que no podrá realizar con ningún otro software.

Capítulo 3. Ajuste de cuadriláteros triangulados

En esta sección aprenderá:

- Esquema de resolución de un cuadrilátero triangulado.
- Alcance del método.
- Datos necesarios para resolver un cuadrilátero.
- Resolver cuadriláteros triangulados

Introducción

El método de cuadriláteros triangulados permite obtener una estructura de bases a lo largo de una determinada dirección. Por tanto, su uso está relacionado con obras de tipo lineal, aunque también para el levantamiento de zonas en cuya geometría se adapta bien un cuadrilátero.

Este método se asemeja mucho al de una red. Sin embargo, es más limitado que aquél. En concreto, el método de cuadriláteros triangulados conlleva las siguientes características:

- El método consiste en hallar las coordenadas ajustadas de dos bases a través de otras dos posiciones de coordenadas conocidas. En total se manejarán 4 bases; dos conocidas y dos desconocidas.
- Desde cada una de las bases se observarán las tres restantes.
- Las observaciones utilizadas en los cálculos serán de tipo angular.
- El método de resolución será el de mínimos cuadrados.

A continuación, veremos un ejemplo de cálculo.

Ejemplo 1. Ajuste de un cuadrilátero triangulado.

El siguiente listado contiene los datos observados en campo para un cuadrilátero:

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1000	2000	0.0000	100.0000	100.003	0.000	0.000	Ref
1000	2	57.8536	100.0000	134.541	0.000	0.000	Cuadri
1000	1	107.7758	100.0000	106.533	0.000	0.000	Cuadri
2000	1000	89.7153	100.0000	99.998	0.000	0.000	Ref
2000	1	41.8231	100.0000	154.741	0.000	0.000	Cuadri
2000	2	0.0000	100.0000	107.521	0.000	0.000	Cuadri
1	1000	0.0000	100.0000	106.531	0.000	0.000	Ref
1	2000	44.2320	100.0000	154.742	0.000	0.000	Ref
1	2	92.4792	100.0000	95.689	0.000	0.000	Cuadri
2	1000	57.5984	100.0000	134.540	0.000	0.000	Ref
2	2000	110.0397	100.0000	107.520	0.000	0.000	Ref
2	1	0.0000	100.0000	95.690	0.000	0.000	Cuadri

Y las bases y referencias utilizadas son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
1000	2163.071	1199.816	100.000	Base
2000	2263.049	1197.757	100.000	Base

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 3. Cuadriláteros/Ejemplo 1***. *Ficheros:*

Cuadri_1_Obs_C.txt
Cuadri_1_Bases_XYZ.txt

Para ajustar el cuadrilátero triangular, siga los siguientes pasos:

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `Cuadri_1_Obs_C.txt`.

2. En la pestaña BASES, importe el fichero `Cuadri_1_Bases_XYZ.txt`.
3. Acceda a la pestaña TOPOGRAFÍA y active el comando Ajuste de cuadrilátero triangulado. Finalmente pulse **Calcular**.

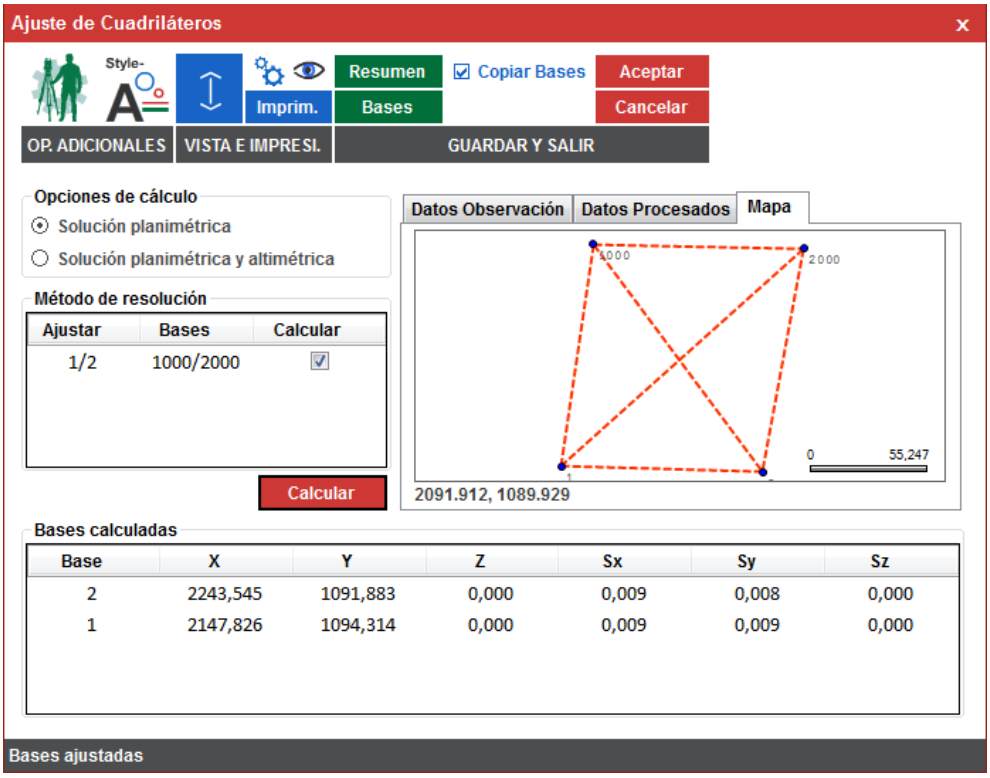


Fig. 22. Cuadrilátero triangulado ajustado

Comentarios:

- En este sencillo ejemplo se han hallado las coordenadas de las bases indicadas en la columna Ajustar (en este caso las bases 1 y 2, las cuales se muestran como 1/2). Las bases utilizadas para el cálculo son las indiadas en la columna Bases de la sección Método de resolución.
- El método empleado fue los Mínimos Cuadrados, por lo que la pestaña Datos Procesados muestra todo el resumen analítico del ajuste.

RECUERDE:

En el ajuste por mínimos cuadrados se emplean las características técnicas del instrumento seleccionado, así como los errores de centrado, de la ventana **Opciones de Levantamiento**. En este ejemplo se utilizaron las definidas en el anterior ejercicio.

Capítulo 4. Intersección directa

En esta sección aprenderá:

- Solucionar una intersección directa por los métodos de intersección angular y por mínimos cuadrados.
- Gestionar múltiples intersecciones directas.
- Resolver la intersección en un sistema local y en uno proyectado (UTM).
- Interpretar resultados.
- Revisar todo el proceso analítico de cálculo.
- Analizar la influencia de las variables de contorno.
- Generar informes técnicos sobre el ajuste.

Introducción

La intersección directa es un método ideal para densificar bases en zonas cercanas a una poligonal o una red. Este método se puede aplicar a la misma vez que se ejecuta el método de poligonal, estableciendo así bases en zonas lejanas a la traza de la poligonal. Para ello basta con observar una misma posición desde dos o más bases. También se puede utilizar para densificar bases en zonas desde las que son visibles bases de la red primaria, evitando así la ejecución de nuevas poligonales.

En una intersección inversa, que es un método planimétrico (aunque también se puede dar una solución altimétrica), se obtiene la solución a través de observaciones angulares. GeMe aplicará la siguiente metodología:

- Si se utilizan 2 bases entonces se resuelve por intersección angular (resolución trigonométrica), hallando las distancias base→posicionamiento y resolviendo por radiación desde ambas bases. Finalmente se obtiene la media de la solución XY(Z) y la incertidumbre de la posición. Para aplicar este método es preciso que existan observaciones recíprocas entre las bases de observación.
- Si se utilizan 3 o más bases entonces se aplican mínimos cuadrados.

A diferencia de los métodos de intersección y bisección inversa, en la intersección directa se pueden, además, propagar las incertidumbres de las bases utilizadas en los cálculos. Asegurándose así una solución más exacta. No encontrará ningún otro programa de topografía que incluya esta funcionalidad.

Ejemplo 1. Cálculo de una intersección directa

En este ejercicio veremos cómo resolver una intersección directa simple. Es decir, aquella en la que se realizan el mínimo número de observaciones necesarias para hallar la solución. Por ello, el método se resolverá mediante trigonometría.

El siguiente listado de observaciones contiene los registros de campo de la ejecución del método de intersección directa. Desde dos bases de coordenadas conocidas, A y B, se ha visado un posicionamiento C. Además, desde A se visó a B y desde B se visó A. Las visuales entre bases (A y B) son de tipo angular, donde lo que interesa es un registro, lo más preciso posible, del ángulo horizontal. Por ello, en las visuales A→B y B→A el topógrafo visó la parte más baja del jalón.

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
A	B	10.0000	100.0000	0.000	0.000	1.520	ID
A	C	32.4620	99.9786	3984.230	1.300	1.520	B
B	A	113.3800	100.0000	0.000	0.000	1.600	B
B	C	68.7010	99.9699	2132.320	1.300	1.600	ID

Las coordenadas de las bases son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
A	20911.107	10796.683	99.978	Ref
B	25660.556	13296.980	100.225	Ref

Para resolver este problema seguiremos estos pasos:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 4. Intersecciones directas/Ejemplo 1***:

IntDirecta_1_Obs_C.txt
IntDirecta_1_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `IntDirecta_1_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `IntDirecta_1_Bases_XYZ.txt`.
3. Acceda a la pestaña TOPOGRAFÍA y active el comando Intersección directa.
4. Para hallar la solución pulse **Calcular**.

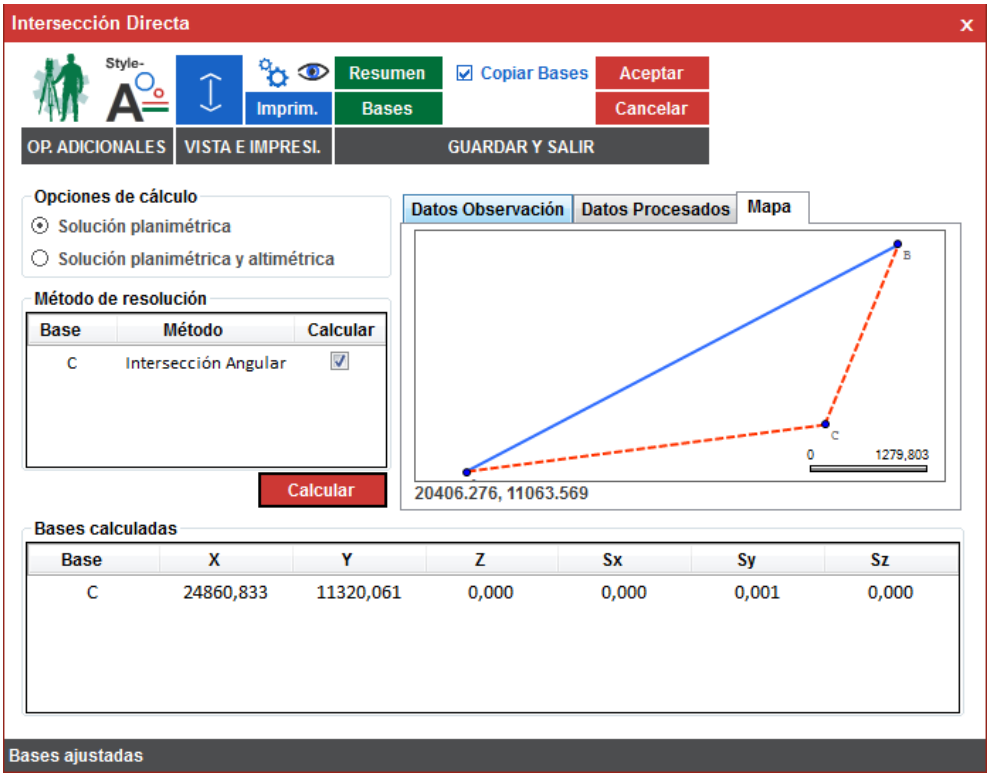


Fig. 23. Resolución de una intersección directa

Una vez calculada la intersección directa podemos revisar todo el proceso de cálculo. En este ejemplo se ha resuelto a través de trigonometría. En la pestaña Datos Procesados veremos todos los cálculos realizados, así como los valores de las variables.

```
INTERSECCIÓN DIRECTA POR INTERSECCIÓN ANGULAR.
RESUMEN ANALÍTICO.
==================================
Posición objeto de cálculo: C

Acimutes a punto observado
--------------------------
Az A->C= 91,6130g
Az B->C= 224,4720g

Ángulos internos
------------------------
Alfa = 22,4620g
Beta = 44,6790g
```

```
Gamma = 132,8590g

Distancias trigonométricas
--------------------------

Dr A->C= 3984,251
Dr B->C= 2132,549

Solución a través de A
--------------------------

X = 24860,833m
Y = 11320,062m

Solución a través de B
--------------------------

X = 24860,833m
Y = 11320,061m
```

Ejemplo 2. Cálculo de una intersección directa. Mínimos cuadrados

En este ejercicio resolveremos una intersección directa mediante el método de mínimos cuadrados. El topógrafo de campo ha realizado una intersección directa empleando para ellos tres bases; 1, 2 y 3. Desde cada una de ellas se ha visado un mismo punto (una futura base) llamada B1. Entre las bases también se han realizado observaciones recíprocas, de la misma forma que haríamos en un pequeño itinerario.

El siguiente listado contiene los registros de campo:

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1	B1	10.0000	99.9987	0.000	1.300	1.575	ID
1	2	48.1624	100.0026	0.000	1.300	1.575	B
2	1	10.0000	100.0196	0.000	1.300	1.658	B
2	B1	149.8746	100.9036	0.000	1.300	1.658	ID
2	3	236.4170	100.0010	0.000	1.300	1.658	B
3	2	10.0000	100.4304	0.000	1.300	1.700	B
3	B1	90.3039	99.9980	0.000	1.300	1.700	ID

Las coordenadas de las bases son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
1	4077.719	15964.160	99.998	Base
2	2464.941	18147.509	100.025	Base
3	412.315	19321.748	100.007	Base

Para resolver el método por mínimos cuadrados seguiremos los siguientes pasos:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 4. Intersecciones directas/Ejemplo 2***:

IntDirecta_2_Obs_C.txt
IntDirecta_2_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `IntDirecta_2_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `IntDirecta_2_Bases_XYZ.txt`.

Como el enunciado del ejemplo no especifica el instrumento utilizado para realizar la medición emplearemos el equipo Genérico, cuyas características técnicas presenta unos valores "medios", correspondientes a equipos de gama media. Para ello:

3. Active la ventana Opciones de Levantamiento, y configúrela como en la imagen:

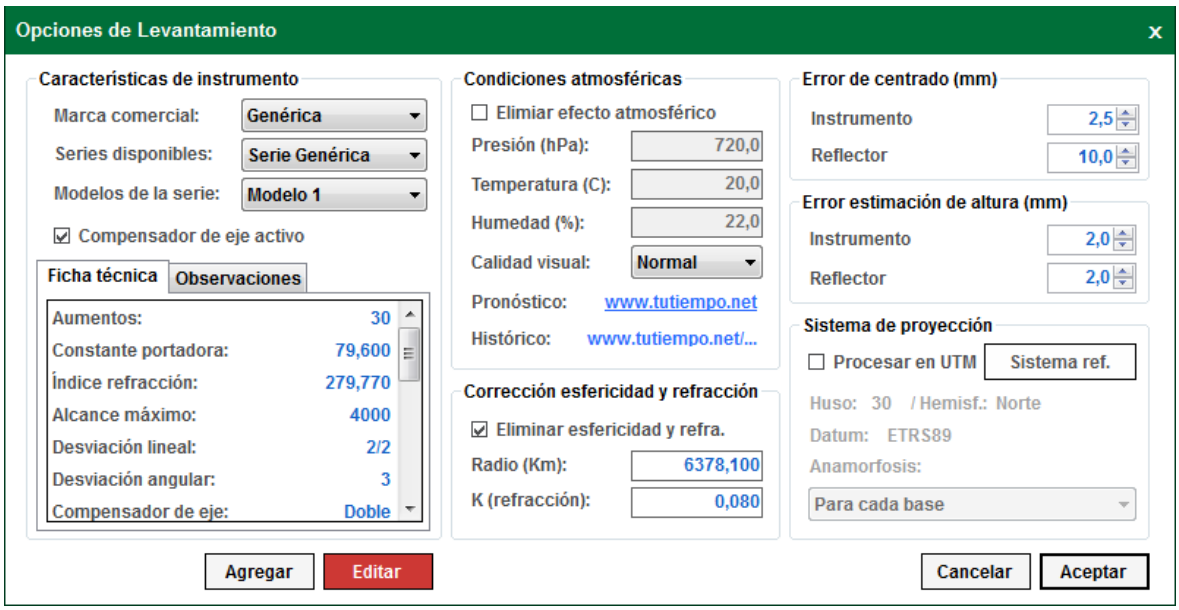


Fig. 24. Configuración Opciones de Levantamiento

4. Acceda a la pestaña TOPOGRAFÍA y active el comando Intersección directa.
5. Pulse **Calcular**.

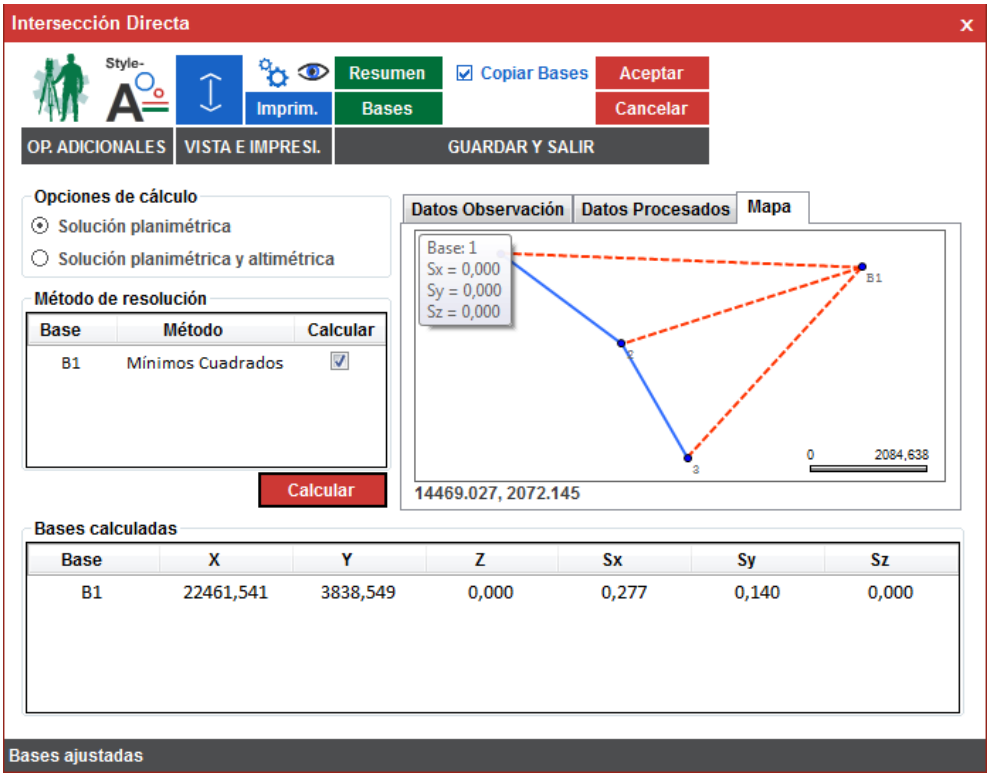


Fig. 25. Solución

En la solución de la base podrá consultar las coordenadas halladas, así como su incertidumbre posicional. Y en la pestaña Datos Procesados encontrará todas las matrices utilizadas en las 3 iteraciones efectuadas.

```
INTERSECCIÓN DIRECTA POR MÍNIMOS CUADRADOS.
RESUMEN ANALÍTICO.
================================
Posición objeto de cálculo: B1

Aproximación inicial
**********************
X = 22462,450m
Y = 3838,746m

================================
ITERACIÓN Nº 1

Matriz W. Dim: 4x2
--------------------
  0,0051  0,0000  0,0000  0,0000
  0,0000  0,0050  0,0000  0,0000
  0,0000  0,0000  0,0050  0,0000
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0050

Matriz J. Dim: 4x2
--------------------
      3,5979      97,8350
    42,6504   -133,9593
   -42,6504    133,9593
  100,9669     -92,5473

Matriz K. Dim: 4x1
--------------------
      0,1738
     -0,2468
     -0,1156
   -84,6526

Matriz Qxx. Dim: 2x2
--------------------
  0,0325  0,0123
  0,0123  0,0083

Matriz X. Dim: 2x1
--------------------
   -0,9091
   -0,1976

Aproximación rectificada
**********************
X = 22461,541m
Y = 3838,549m

================================
ITERACIÓN Nº 2

Matriz W. Dim: 4x2
--------------------
  0,0051  0,0000  0,0000  0,0000
  0,0000  0,0050  0,0000  0,0000
  0,0000  0,0000  0,0050  0,0000
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0050

Matriz J. Dim: 4x2
```

```
--------------------
      3,6018      97,8484
    42,6617   -133,9859
   -42,6617    133,9859
  100,9941     -92,5508

Matriz K. Dim: 4x1
--------------------
    22,7800
    12,0597
   -12,4221
   -11,1368

Matriz Qxx. Dim: 2x2
--------------------
  0,0324  0,0122
  0,0122  0,0083

Matriz X. Dim: 2x1
--------------------
  0,0001
  0,0000

Aproximación rectificada
**********************
X = 22461,541m
Y = 3838,549m

================================
ITERACIÓN Nº 3

Matriz W. Dim: 4x2
--------------------
  0,0051  0,0000  0,0000  0,0000
  0,0000  0,0050  0,0000  0,0000
  0,0000  0,0000  0,0050  0,0000
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0050

Matriz J. Dim: 4x2
--------------------
      3,6018      97,8484
    42,6617   -133,9859
   -42,6617    133,9859
  100,9941     -92,5508

Matriz K. Dim: 4x1
--------------------
    22,7777
    12,0564
   -12,4188
   -11,1488

Matriz Qxx. Dim: 2x2
--------------------
  0,0324  0,0122
  0,0122  0,0083

Matriz X. Dim: 2x1
--------------------
  0,0000
  0,0000

Aproximación rectificada
**********************
X = 22461,541m
```

```
Y = 3838,549m

================================
RESUMEN ESTADÍSTICO DEL PUNTO B1
Total iteraciones = 3
Desviación estándar del ajuste = ±1,5406
Varianza de referencia del ajuste = ±2,373585
Desviación de la solución:
  Sx =  ±0,224
  Sy =  ±0,113

Elipse de Error:
Base      ±Su      ±Sv     Orientación
-------------------------------------

B1       0,299    0,087    74,7664
-------------------------------------
```

Ejemplo 3. Cálculo de una intersección directa. Resolución múltiple

En determinadas ocasiones el trabajo de campo contiene varios métodos topográficos. Si un mismo método se aplica varias veces es posible resolverlo todo en un mismo proceso de cálculo. En este ejercicio veremos lo sencillo que resulta hacerlo con GeMe.

El siguiente listado de campo contiene las observaciones de dos intersecciones directas. Desde cuatro bases conocidas (1000, 2000, 3000 y 4000) se ha observado una posición llamada 1200. Y desde tres de estas bases (2000, 3000 y 4000) se ha observado una segunda posición llamada 1300. Además, se han realizado observaciones recíprocas entre las bases, como si de un pequeño itinerario se tratase.

Las mediciones se realizaron mediante un equipo TC(R)-803, serie TPS800 de Leica.

Las condiciones de contorno fueron las siguientes:

- Error de centrado instrumento: ±1.5mm
- Error de centrado jalón: ±5mm
- Compensador activado.

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1000	1200	10.0000	100.0056	0.000	0.000	1.553	Pos
1000	2000	80.7717	100.0124	0.000	1.300	1.553	B
2000	1000	10.0000	100.0208	0.000	1.300	1.647	B
2000	1200	108.3070	100.0887	0.000	1.300	1.647	Pos
2000	1300	209.2186	100.0112	0.000	1.300	1.647	Pos
2000	3000	160.3256	100.1956	0.000	1.300	1.647	B
3000	2000	10.0000	100.0978	0.000	1.300	1.505	B
3000	1200	129.9704	100.0354	0.000	1.300	1.505	Pos
3000	1300	301.9597	100.8654	0.000	1.300	1.505	Pos
3000	4000	201.7211	100.4450	0.000	1.300	1.505	B
4000	3000	10.0000	100.4278	0.000	1.300	1.498	B
4000	1200	89.8936	100.7026	0.000	1.300	1.498	Pos
4000	1300	363.6374	100.9964	0.000	1.300	1.498	Pos

Las coordenadas de las bases son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
1000	81383.783	21441.044	100.658	B
2000	82053.963	20888.241	100.221	B
3000	82797.925	20955.806	100.024	B
4000	83701.745	21158.500	100.001	B

Para resolver la intersección por el método de mínimos cuadrados siga estos pasos:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 4. Intersecciones directas/Ejemplo 3***:

IntDirecta_3_Obs_C.txt
IntDirecta_3_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `IntDirecta_3_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `IntDirecta_3_Bases_XYZ.txt`.
3. Acceda a Opciones de Levantamiento. Configure los datos del instrumento, así como los errores de centrado.

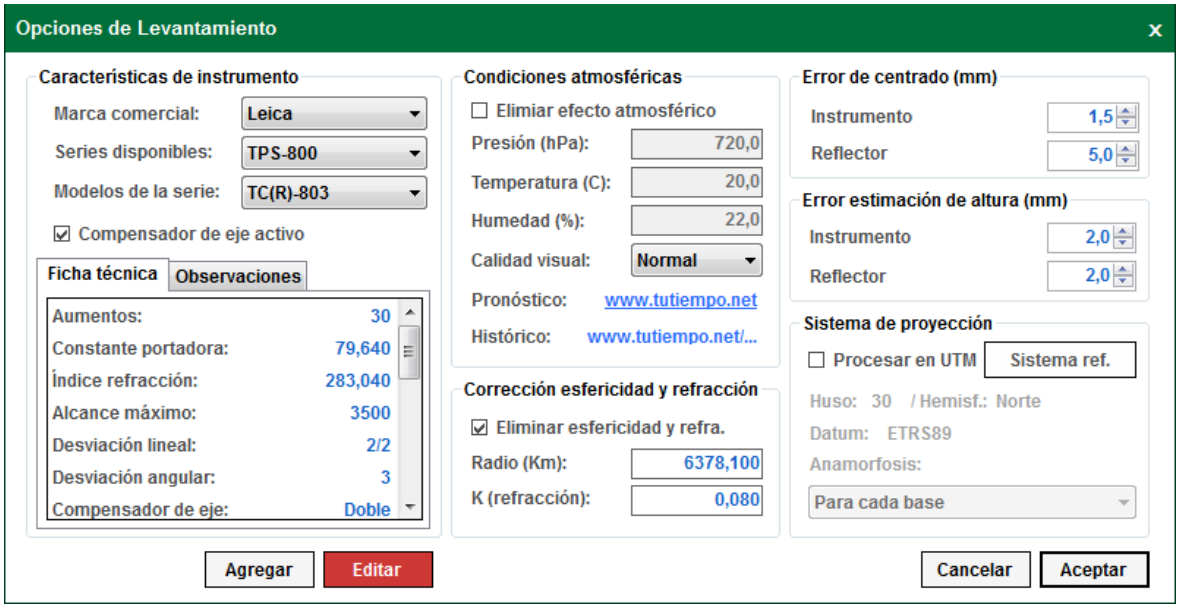


Fig. 26. Opciones de levantamiento

4. Acceda a la pestaña TOPOGRAFÍA y active el comando Intersección directa.
5. Pulse **Calcular**.

Automáticamente GeMe calculará las dos intersecciones directas en un mismo proceso de cálculo, mediante mínimos cuadrados, y teniendo en cuenta las características del instrumento y de los errores de centrado.

Active la pestaña Datos Procesados y revise su contenido. Verá que los cálculos de ambas posiciones están separados, y resueltos por el mismo orden en el que se muestran en Método de resolución. Si se fija, el método de mínimos cuadrados iteró 3 veces en cada resolución. Sin embargo, en ambos casos la segunda iteración arroja valores nulos en la matriz X. GeMe está configurado por defecto para iterar 3 veces (pudiendo establecerse hasta 100 iteraciones). Existen, a disposición del usuario, otros dos criterios. Por ejemplo, utilizar la varianza

de referencia como valor de referencia para finalizar la iteración, o establecer un valor de corrección mínimo.

6. Pulse el botón **Cancelar** de la ventana Intersección directa.
7. Acceda a Configuración General y active la pestaña Métodos topográficos. Active la opción Cuando la varianza de referencia varíe menos del y acepte para regresar.

Esta opción dará por finalizado el proceso de ajuste por mínimos cuadrados cuando la varianza de referencia varía menos del 0,5% de una iteración a otra. Algunos autores (Charles D. Ghilani, 2012) estiman que una reducción del 1% de la *varianza de referencia* del ajuste, de una iteración a otra, es consecuencia de la convergencia del sistema, dando por finalizado el ajuste. Por defecto, en GeMe esta reducción se ha establecido en un 0.5%, aunque el usuario puede establecer el valor que estime oportuno.

RECUERDE

Este método es más conservador que los métodos basados en una iteración fija o en un valor de corrección inferior o igual a un valor fijado. Sin embargo, también puede conllevar errores ya que la varianza de referencia del ajuste puede incrementarse ligeramente, de una iteración a otra, para volver a disminuir en la siguiente. Esto produciría la paralización del ajuste por divergencia del sistema, adoptándose como solución final la solución inicial.

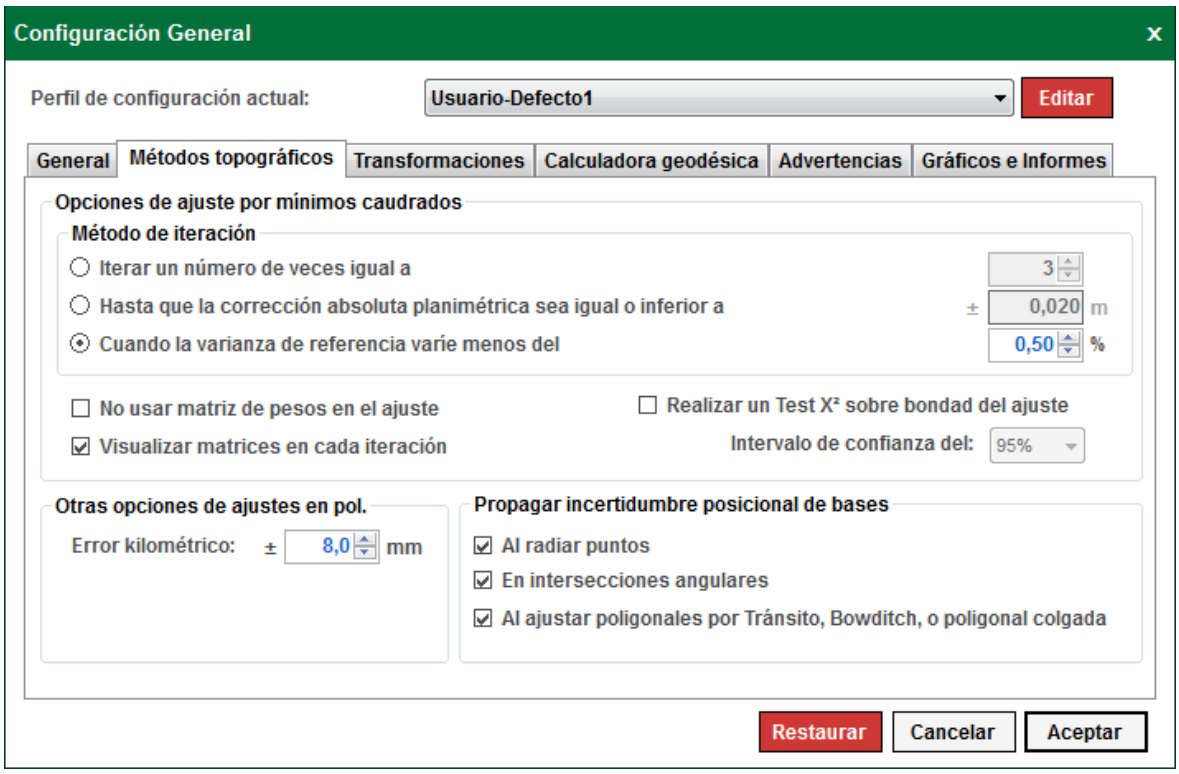


Fig. 27. Opciones para establecer el fin de las iteraciones

8. Acceda de nuevo a Intersección directa y pulse **Calcular**.

Tal y como podrá comprobar, el resultado de los dos ajustes es el mismo. Sin embargo, con un vistazo rápido en Datos Procesados podemos verificar que, esta vez, se ha iterado sólo dos veces (ya que, en ambos casos, la varianza de referencia del ajuste ha disminuido menos del 0,5% de una iteración a otra, signo inequívoco de que se ha producido la convergencia

del sistema). De esta manera reducimos la cantidad de datos (matrices, etc.) del proceso de ajuste, llegando a la misma solución.

Ejemplo 4. Cálculo de una intersección directa. Resolución en planas y UTM

Este ejercicio muestra la diferencia que existe entre calcular una intersección directa en planas y en UTM. Básicamente se reduce al cálculo del coeficiente de anamorfosis de la base hallada, pero también de cómo influye éste en posteriores métodos aplicados desde las bases recién halladas.

El topógrafo de campo ha realizado una intersección directa sobre dos futuras bases (A1 y A2) utilizando para ello dos estacionamientos de coordenadas conocidas (C y D). Posteriormente, ha estacionado en A1 y radiado una zona para, a continuación, estacionar en A2 y continuar con la radiación. Posteriormente, desde A1 y desde A2 visó como referencia las misas estaciones conocidas. El equipo utilizado y las condiciones de contorno son las mismas del ejercicio anterior. El siguiente listado recoge los registros de campo (por motivos de espacio los datos de la radiación desde las bases A1 y A2 se muestran truncados).

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
C	A2	93.8551	103.1012	0.000	1.300	1.456	ID
C	A1	397.9364	100.3958	0.000	1.300	1.456	ID
C	D	48.4570	100.7024	280.153	1.300	1.456	Base
D	C	48.1538	99.3752	280.174	1.300	1.475	Base
D	A2	19.2866	101.1456	0.000	1.300	1.475	ID
D	A1	94.1583	99.4682	0.000	1.300	1.475	ID
A1	D	293.8551	101.9012	0.000	1.300	1.456	Ref
A1	302	70.1303	102.7786	59.275	1.300	1.456	Rell
A1	303	63.6394	101.9743	85.989	1.300	1.456	Rell
A1	304	61.3644	101.8376	111.399	1.300	1.456	Rell
…							
A2	C	248.1538	99.3752	280.174	1.300	1.475	Ref
A2	400	236.1963	97.5470	1.000	1.300	1.475	Rell
A2	401	248.1134	97.4963	1.000	1.300	1.475	Rell
A2	402	6.5842	100.8870	37.820	1.300	1.475	Rell
…							

Las coordenadas de las bases, expresadas en el sistema UTM, datum ETRS89, huso 30, hemisferio Norte, son las siguientes:

Base	X UTM	Y UTM	Z	Código
C	672166.643	4194261.837	97.141	Base
D	672372.090	4194452.138	94.215	Base

Para resolver la intersección directa en UTM seguiremos estos pasos:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 4. Intersecciones directas/Ejemplo 4***:

IntDirecta_4_Obs_C.txt
IntDirecta_4_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `IntDirecta_4_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `IntDirecta_4_Bases_XYZ.txt`.
3. Inicie GeMe y verifique que el equipo configurado en Opciones de Levantamiento, y los errores de centrado, son los mismos que en el ejercicio anterior. Active Procesar en UTM y pulse **Sistema ref**. Configure la ventana Sistema de referencia con los datos del enunciado. Acepte hasta regresar a la ventana principal de GeMe.

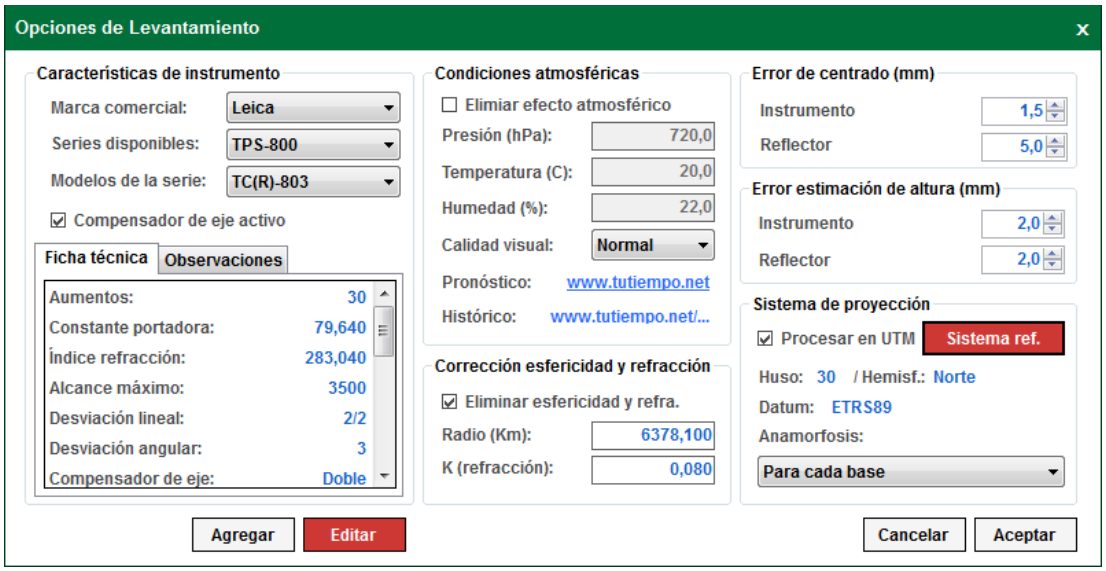


Fig. 28. Personalización de los parámetros

4. Ejecute el comando Intersección directa. Fíjese en que, tanto para la posición A1 como A2, se propone el método de resolución basado en la intersección angular.
5. Active la Solución planimétrica y altimétrica ya que en este trabajo de campo las visuales se realizaron al prisma, y no a la base del jalón. Finalmente pulse **Calcular** y **Aceptar**.

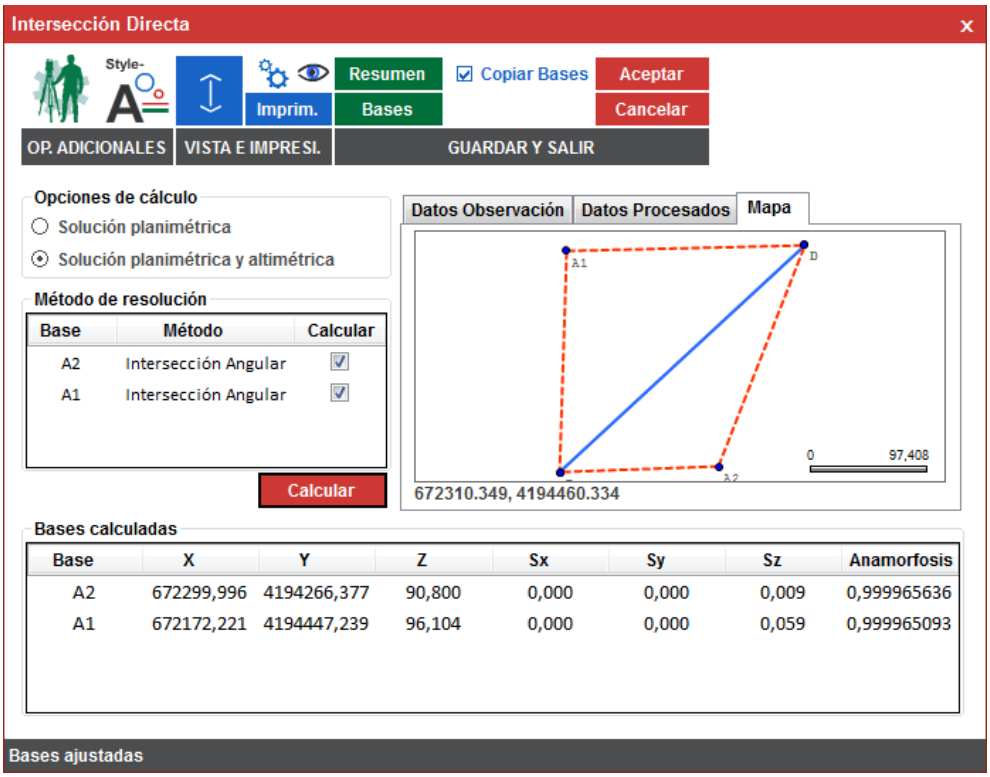


Fig. 29. Resolución intersección directa en UTM

Realmente, en una intersección directa o inversa no existe diferencia alguna entre resolver en UTM y en planas ya que los datos utilizados para el ajuste son únicamente angulares (no siendo así en los ajustes de bisecciones inversas, redes, poligonales y radiaciones, donde sí existen distancias observadas que reducir). Esto podría comprobarlo pulsando el icono que da acceso directo a Opciones de Levantamiento y desactivando la opción Procesar en UTM. Si lo hiciera vería que el resultado es idéntico. En este método, la única diferencia entre procesar o no en UTM es el cálculo del coeficiente de anamorfosis, el cual se muestra ahora en la columna Anamorfosis.

El trabajo de gabinete de este ejercicio consiste en hallar las coordenadas de las bases A1 y A2 utilizadas en una radiación, así como los puntos radiados desde ellas (para así poner de manifiesto la necesidad de cálculo en UTM). Si activa la pestaña Bases Topográficas podrá ver ahora 4 bases; A1 y A2, recién calculadas, y C y D utilizadas para el cálculo. Como se aprecia, sólo las bases recién halladas poseen un coeficiente de anamorfosis. Las otras dos se muestran con un coeficiente igual a 1. Esto se debe a que estas bases no han sido utilizadas como estacionamientos.

Si se siente más cómodo visualizando los coeficientes de todas las bases (aunque C y D no se utilicen en los cálculos de radiación) recuerde que puede utilizar el comando Calcular anamorfosis (dentro de la pestaña BASES). De esta forma, GeMe calcula los coeficientes de todas las bases.

Por otro lado, observe que, en la pestaña Bases Topográficas, tanto A1 como A2 poseen ya un valor de desorientación. GeMe siempre calcula las desorientaciones de todas las bases cuando se añaden nuevos estacionamientos. De esta forma se asegura un correcto cálculo en posteriores procesos resolutivos.

6. En la pestaña TOPOGRAFÍA, ejecute el comando Radiación de puntos.
7. En la ventana de Radiación, pulse Aceptar.

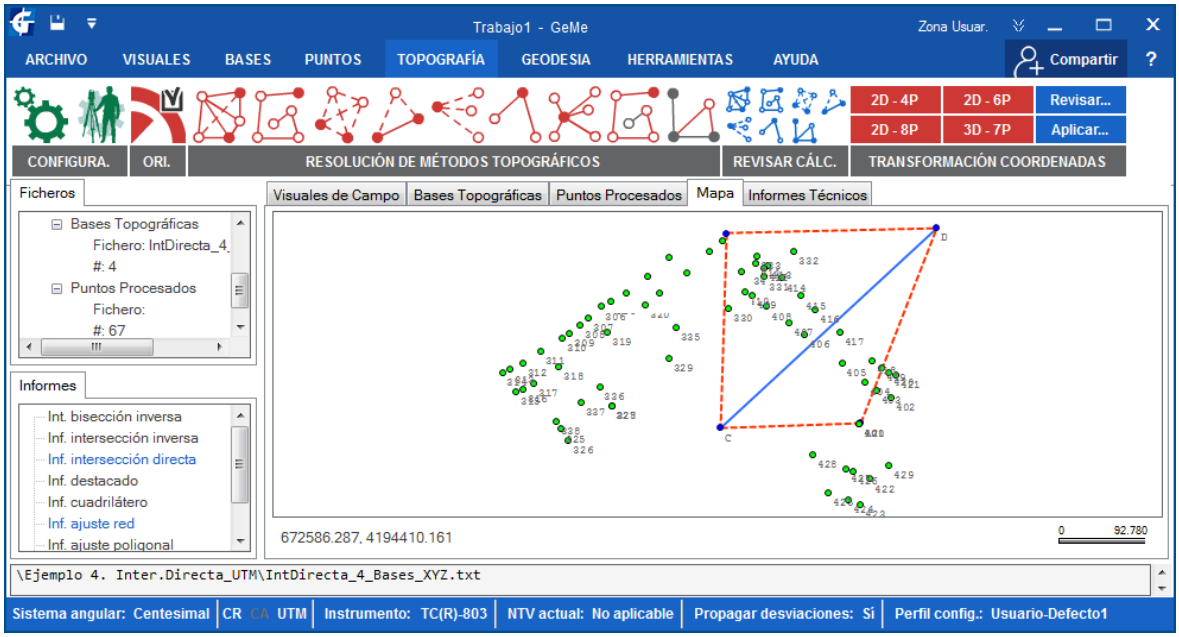


Fig. 30. Radiación de puntos

La representación gráfica muestra las bases de la intersección directa junto a una nube de puntos radiados. Tómese un tiempo para pasar el cursor sobre cualquier punto y evaluar así sus incertidumbres posicionales. Como ve, algunos puntos tienen una desviación aceptable en sus coordenadas (entre los ±5mm y ±7mm). Otros tienen una incertidumbre ligeramente mayor, sobre los ±60mm. Recuerde que decidir cuándo unas coordenadas son aceptables, a través de sus incertidumbres, siempre dependerá de la tolerancia de su trabajo. Sin embargo, lo que sí podemos hacer con GeMe es analizar la influencia de las incertidumbres de las bases sobre los puntos.

8. Active la pestaña Puntos Procesados. Y revise en ella las desviaciones estándar. Verá que algunos puntos tienen una desviación en Z ligeramente mayor que otros. Active ahora la pestaña Bases Topográficas. Aquí puede ver que la base A1 tiene una desviación en Z de ±0,059m. Ésta es la causante de que los puntos radiados desde ella posean una incertidumbre posicional en Z mayor de lo deseable.

En este espléndido ejercicio hemos aprendido a calcular intersecciones inversas, en UTM, y radiar posteriormente puntos desde estas bases. Además, hemos aprendido a analizar las incertidumbres posicionales de los puntos radiados y de las bases.

Recuerde que también puede generar un reporte técnico y exportarlo directamente a M. Word, desde donde podrá personalizarlo añadiendo o modificando la información desee.

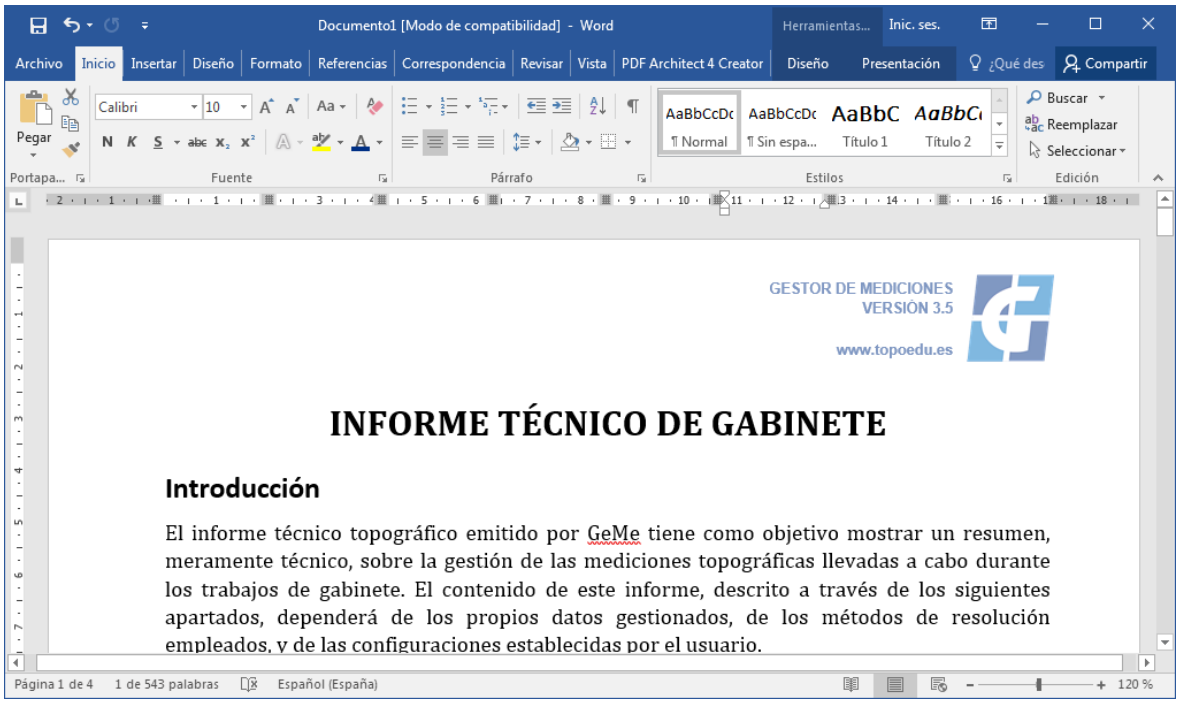


Fig. 31. Informe técnico sobre la resolución de la intersección directa

Capítulo 5. Intersección inversa

En esta sección aprenderá:

- Solucionar una intersección inversa por los métodos de Tienstra y por mínimos cuadrados.
- Gestionar múltiples intersecciones inversas.
- Interpretar resultados.
- Revisar todo el proceso analítico de cálculo.
- Analizar la influencia de las variables de contorno.
- Generar informes técnicos sobre el ajuste.

Introducción

Las intersecciones inversas constituyen uno de los métodos más recurridos a la hora de abordar los problemas de nuevos estacionamientos aislados, o anclados a la red geodésica. Su resolución busca solución a una posición planimétrica, aunque veremos en este capítulo que también es posible estimar la componente Z de la base.

Recordemos que el método de intersección inversa es un método que utiliza los valores angulares para hallar una solución (ya sea por el método de Tienstra o por mínimos cuadrados). En los siguientes ejercicios veremos varios ejemplos de cálculo; resolución por Tienstra, por mínimos cuadrados, resolución simultánea de múltiples intersecciones inversas, gestión e interpretación de resultados, generación de informes, etc.

Ejemplo 1. Cálculo de una intersección inversa. Método Tienstra

En este ejercicio veremos cuándo se resuelve una intersección inversa, y cómo, a través del método de Tienstra, también conocido como *método de las cotangentes*.

Supongamos que el topógrafo de campo ha realizado una intersección inversa sobre la posición 24000 para obtener su posición planimétrica. Para ello, ha visado tres bases de coordenadas conocidas. Para aumentar la precisión planimétrica observó la parte más baja del jalón. En el listado adjunto no existen registros de distancias geométricas ya que sólo se registraron valores angulares.

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
24000	25000	4.8536	100.0036	0.000	0.000	1.570	Ref
24000	26000	389.6784	99.9898	0.000	0.000	1.570	Ref
24000	28000	271.7808	100.0044	0.000	0.000	1.570	Ref

Las coordenadas de las bases conocidas son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
25000	227188.434	4141303.331	110.119	Ref
26000	227172.714	4141281.933	107.292	Ref
28000	226891.048	4141086.133	102.175	Ref

Para resolver esta intersección inversa seguiremos el siguiente procedimiento:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 4. Intersecciones inversas/Ejemplo 1***:

IntInversa_1_Obs_C.txt
IntInversa_1_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `IntInversa_1_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `IntInversa_1_Bases_XYZ.txt`.

RECUERDE

Si viene de realizar el ejercicio del capítulo anterior, acceda a Opciones de Levantamiento y desactive la opción Procesar en UTM. Seleccione también la marca Genérica, Serie Genérica, Modelo 1.

3. Acceda al menú TOPOGRAFÍA y pulse el icono de Intersección inversa.

Fíjese que, por defecto, las ventanas de los métodos de intersección y bisección ya vienen con la opción Solución planimétrica activada. Esto es porque este tipo de métodos son, principalmente, planimétricos.

Más abajo verá las bases sobre las cuales se puede aplicar una intersección inversa (en este ejemplo sólo una). GeMe es el único programa de topografía capaz de detectar la base (o bases) sobre las que se ha realizado una intersección inversa, sin necesidad de crear una base temporal para modificarla posteriormente.

En esta ventana también veremos el método de resolución aplicable.

4. Pulse el botón **Calcular**.

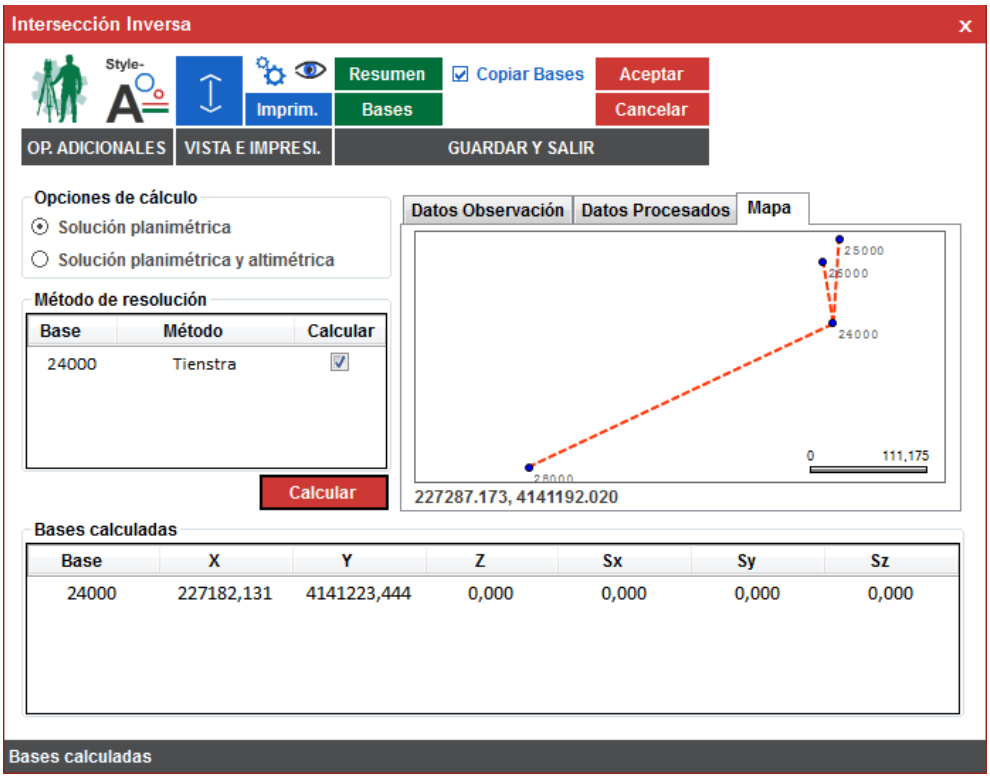


Fig. 32. Resolución intersección inversa

El método Tienstra consiste en estimar la posición XY de la base a través de 6 ángulos (3 observados y 3 calculados a través de las coordenadas de los posicionamientos observados). Con estos ángulos se determinan 3 coeficientes; K_1, K_2 y K_3.

En la pestaña Datos Procesados encontrará un resumen con los cálculos realizados. En él se muestran los 6 ángulos, los 3 coeficientes K, y la solución final.

5. Active la pestaña Datos Procesado y revise su contenido. Verá lo siguiente:

```
INTERSECCIÓN INVERSA POR MÉTODO TIENSTRA.
RESUMEN ANALÍTICO.
================================
Estacionamiento objeto de cálculo: 24000
Posiciones visadas: 28000/26000/25000

Ángulos observados
--------------------
Alfa: 117,8976g
Beta: 15,1752g
Gamma: 266,9272g

Ángulos evaluados
--------------------
Vértice 28000: 398,5137g
Vértice 26000: 220,9913g
Vértice 25000: 380,4951g

Coeficientes K
--------------------
K1: -0,021304373
K2: 0,425502121
K3: -0,348148184

Solución
**********************
X = 227182,131m
Y = 4141223,444m
```

Finalmente, ya podría aceptar los resultados y generar un reporte técnico.

Ejemplo 2. Cálculo de una intersección inversa. Mínimos cuadrados

El siguiente ejercicio expone un ejemplo de resolución de una intersección inversa por el método de mínimos cuadrados. En el ejemplo, obtendremos la posición de la base a través de las 7 observaciones realizadas a otros posicionamientos conocidos. Además, se considerarán en el ajuste las características técnicas del instrumento y algunas variables de contorno.

El siguiente listado contiene los datos capturados en campo a través de un equipo Pentax de la serie PCS-200. En concreto, el modelo PCS-225. Nótese en el listado que no existen registros de distancias, ni de alturas de jalón. El error de centrado del equipo se estima en ±1,5mm. Mientras que para el jalón será de ±3mm, ya que las observaciones se realizaron a la parte inferior del bastón (lo que permite asumir un menor error de posicionamiento).

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
36000	29000	345.2778	100.0087	0.000	0.000	1.754	Ref
36000	28000	280.3374	99.9983	0.000	0.000	1.754	Ref
36000	23000	209.5776	100.0014	0.000	0.000	1.754	Ref
36000	19000	154.2022	100.0314	0.000	0.000	1.754	Ref
36000	33000	156.9838	99.7451	0.000	0.000	1.754	Ref
36000	37000	270.4584	100.0142	0.000	0.000	1.754	Ref
36000	35000	369.1520	100.3357	0.000	0.000	1.754	Ref

Las coordenadas de las bases conocidas son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
35000	226653.629	4141154.110	90.086	Bb35
29000	226576.366	4140971.853	90.067	BR29
28000	226891.048	4141086.133	102.175	BR28
23000	227122.300	4141163.604	104.566	BR23
19000	227053.240	4141366.407	106.727	BR19
33000	227153.377	4141417.147	112.713	Bg33
37000	226902.271	4141123.673	96.589	Bb37

Para resolver esta intersección inversa seguiremos el siguiente procedimiento:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 4. Intersecciones inversas/Ejemplo 2***:

IntInversa_2_Obs_C.txt
IntInversa_2_Bases_XYZ.txt

6. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `IntInversa_2_Obs_C.txt`.
7. En la pestaña BASES, importe el fichero `IntInversa_2_Bases_XYZ.txt`.
8. Active Opciones de Levantamiento. Seleccione el instrumento utilizado en la medición y establezca los errores de centrado y altura. No active ninguna de las correcciones adicionales.

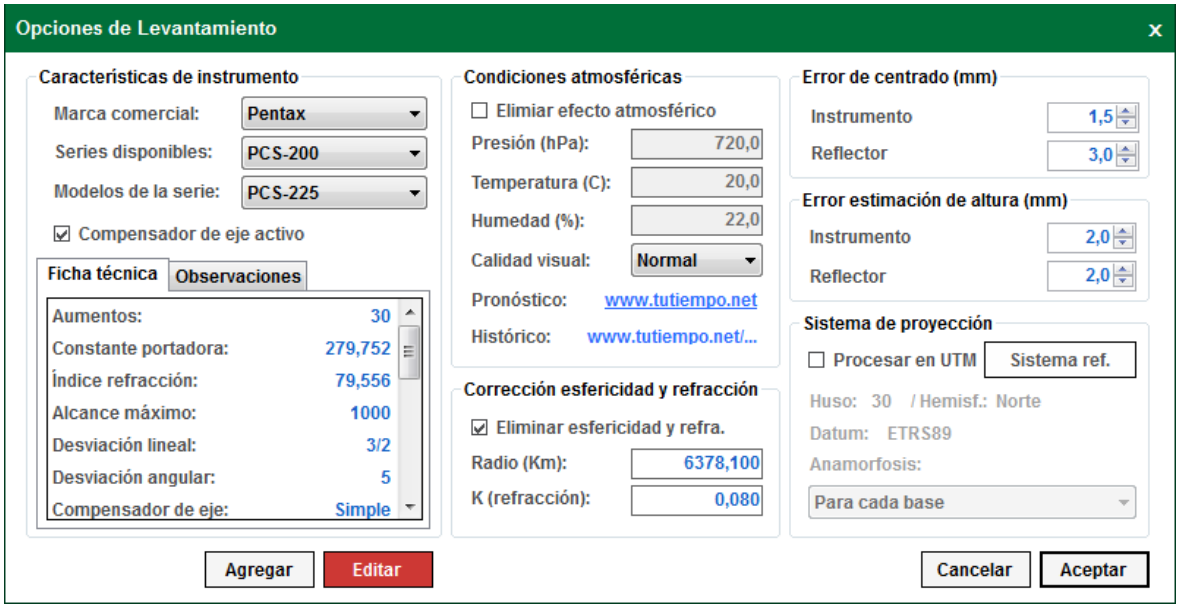


Fig. 33. Configuración de las opciones de levantamiento del ejercicio

RECUERDE

Si viene de realizar los ejercicios anteriores, acceda a la Configuración General, pestaña Métodos topográficos, y active la opción "Iterar un número de veces igual a".

9. Vaya a la pestaña TOPOGRAFÍA y ejecute el comando Intersección inversa.

Automáticamente GeMe detectará dos cosas; la base que vamos a calcular, y el método que se puede aplicar en ella. Dado que son 7 observaciones realizadas, el método de solución será el de mínimos cuadrados.

10. Pulse **Calcular**.

En un instante GeMe resolverá el método y mostrará una representación gráfica de la solución junto a un resumen de todo el cálculo, un listado con la solución, y la incertidumbre de las coordenadas.

11. Active la pestaña Datos Procesados.

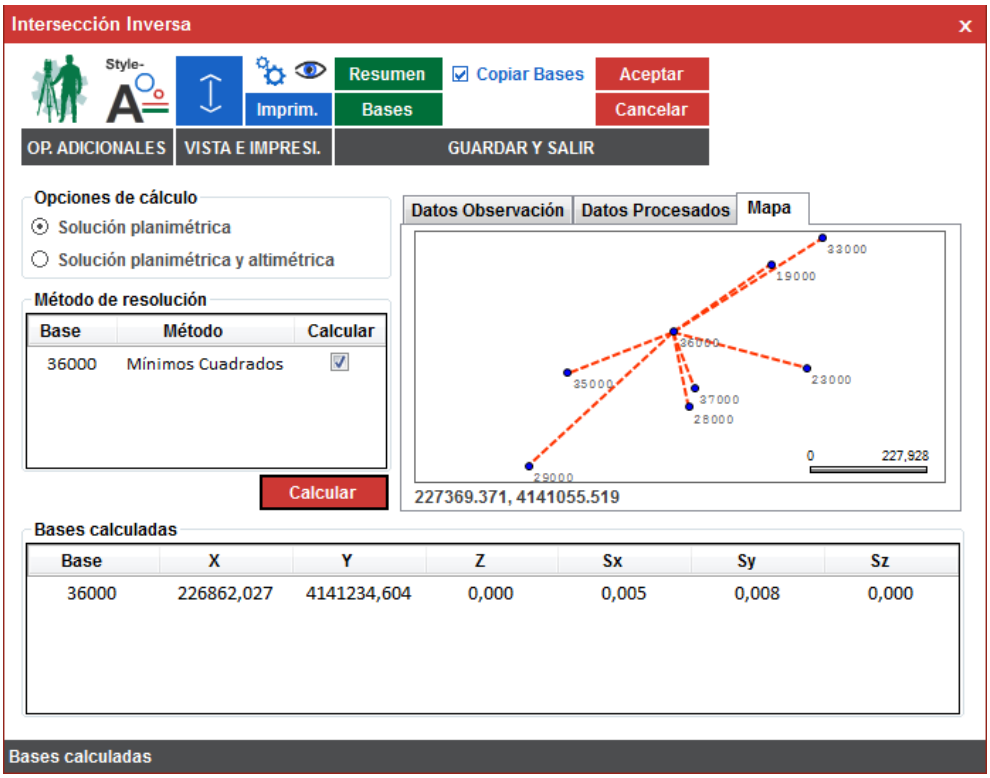


Fig. 34. Solución por MMCC

Si está familiarizado con la resolución por mínimos cuadrados sabrá que la matriz X (de dimensiones 2x1) contiene las correcciones (dx y dy) que se aplican a la solución inicial (obtenida mediante Tienstra). Si desplaza la barra vertical verá que en total se han realizado 3 iteraciones (las dos últimas dan como resultado una corrección nula).

Al final del listado tenemos un resumen estadístico del ajuste:

```
RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA BASE 36000
Total iteraciones = 3
Desviación estándar del ajuste = ±1,3090
Varianza de referencia del ajuste = ±1,713439
Desviación de la solución:
Sx = 0,005
Sy = 0,008

Elipse de Error:
Base      ±Su      ±Sv     Orientación
-------------------------------------

36000    0,011    0,006    180,6323
-------------------------------------
```

Ejemplo 3. Cálculo de una intersección inversa múltiple

Generalmente, la planificación de un trabajo topográfico aconseja realizar varios métodos topográficos simultáneamente para así reducir el tiempo invertido en campo. Por ejemplo, realizar intersecciones mientras realizarnos un itinerario, para densificar la red de bases, reduciendo además los tramos y longitudes de la poligonal principal.

También es posible que un mismo fichero de observaciones contenga varios métodos topográficos iguales. Por ejemplo, varias intersecciones inversas. En otros programas topográficos, el topógrafo tiene que procesar una a una cada intersección. En este ejercicio veremos lo sencillo que resulta en GeMe calcular varias intersecciones inversas simultáneamente.

El siguiente listado de campo contiene las observaciones realizadas desde dos bases distintas bajo las mismas circunstancias, y utilizando el mismo equipo, que en el ejercicio anterior. Estas observaciones son para determinar las coordenadas de ambas bases por el método de intersección inversa.

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
35000	33000	69.1564	100.0056	0.000	1.320	1.658	Ref
35000	23000	98.7144	99.9874	0.000	1.320	1.658	Ref
35000	28000	117.7614	99.0457	0.000	1.320	1.658	Ref
35000	27000	137.1054	99.1378	0.000	1.320	1.658	Ref
35000	29000	225.5274	99.9748	0.000	1.320	1.658	Ref
36000	29000	345.2778	100.0024	0.000	1.320	1.705	Ref
36000	28000	280.3374	100.0036	0.000	1.320	1.705	Ref
36000	23000	209.5776	99.9326	0.000	1.320	1.705	Ref
36000	33000	156.9838	98.2140	0.000	1.320	1.705	Ref
36000	35000	369.1520	99.0647	0.000	1.320	1.705	Ref

Las coordenadas de las bases conocidas son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
29000	226576.366	4140971.853	90.067	BR29
28000	226891.048	4141086.133	102.175	BR28
30000	226579.243	4140983.743	87.163	BR30
27000	226825.571	4141040.760	96.617	BR27
23000	227122.300	4141163.604	104.566	BR23
19000	227053.240	4141366.407	106.727	BR19
33000	227153.377	4141417.147	112.713	BG33
37000	226902.271	4141123.673	96.589	Bb37

Suponiendo las mismas variables de contorno del ejercicio anterior, para resolver las dos intersecciones siga los siguientes pasos:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 4. Intersecciones inversas/Ejemplo 3:***

IntInversa_3_Obs_C.txt
IntInversa_3_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `IntInversa_3_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `IntInversa_3_Bases_XYZ.txt`.

3. En la pestaña TOPOGRAFÍA, ejecute el método de Intersección inversa.

Como ya sabe, la sección Método de resolución contiene todas las bases susceptibles de ser calculadas mediante intersección inversa. Como puede observar, GeMe ha detectado automáticamente las bases que se pueden calcular y el método aplicable a cada una de ellas (que en este caso será mínimos cuadrados para ambas).

4. Presione el botón **Calcular**.

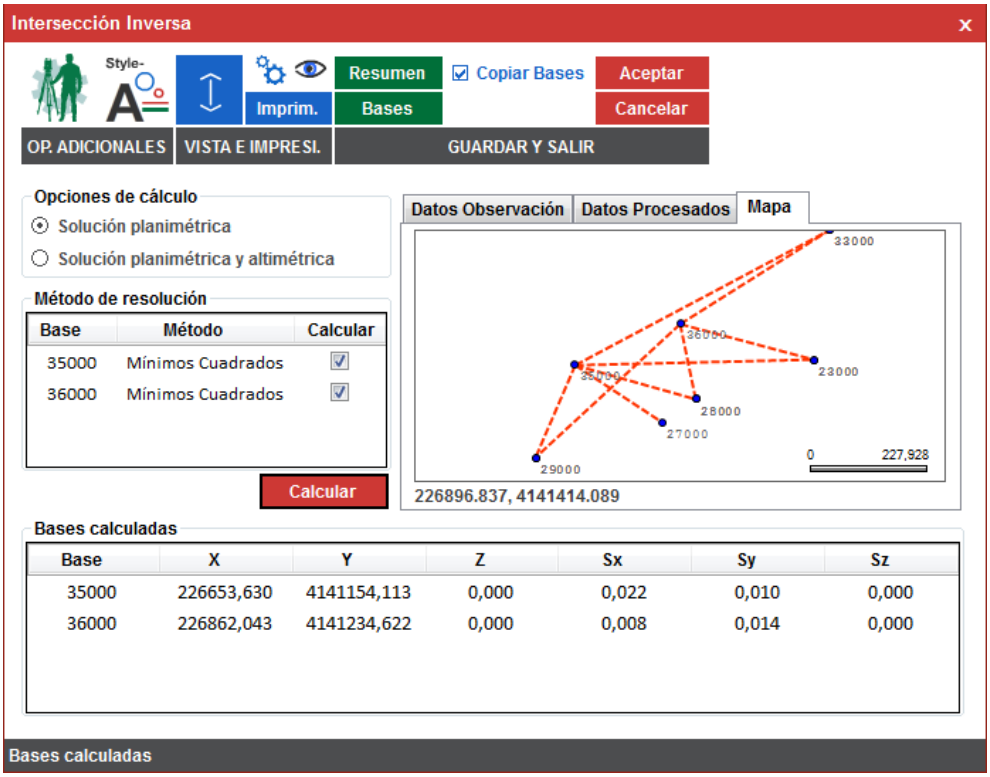


Fig. 35. Solución múltiple del método intersección inversa

Al estar activadas las dos casillas en la columna Calcular, GeMe resuelve ambos métodos en un mismo proceso de cálculo. Si no acierta a distinguir visualmente las representaciones gráficas de las visuales de ambas bases pruebe lo siguiente:

5. Desactive la casilla de la base 3600 en la columna Calcular. Pulse de nuevo **Calcular**.

Ahora está viendo únicamente la solución gráfica, y numérica, de la base 35000. Como vemos, en ella intervienen 5 bases.

6. Desactive ahora la casilla de la base 35000 y active la de 36000. Pulse nuevamente **Calcular**.

Ahora estará viendo la solución de la base 36000. En esta resolución intervienen 4 bases.

7. Active ambas casillas y pulse por última vez **Calcular**. Finalmente, **Aceptar**.

Acaba de experimentar un proceso de cálculo simultáneo, en el que se ha dado solución a dos bases por el método de intersección inversa. En este proceso GeMe ha resuelto, mediante mínimos cuadrados, dos bases distintas. Como siempre, en la pestaña Datos Procesados encontrará todo el proceso numérico del método (de ambas soluciones).

En la lista Bases calculadas verá las coordenadas calculadas de las dos bases junto a las incertidumbres de las coordenadas.

8. Genere un reporte y acepte los cálculos.
9. Amplíe la ventana principal de GeMe y active la pestaña Mapa. Así verá mejor la solución gráfica. Si la revisa detenidamente verá que hay dos bases que no se han utilizado en el ajuste (pero que sí existen en el listado de Bases Topográficas).
10. Trate de situar el cursor sobre una de las bases halladas (por ejemplo, sobre la 35000). Automáticamente se activa una ventana emergente, en la parte superior izquierda. En ella verá algunos datos de la base. Entre ellos su incertidumbre posicional. Si hace un segundo clic pausado entonces verá una segunda ventana emergente con más datos de la base (su desorientación, el número de visuales que realiza la base y sus atributos). También puede hacer un doble clic rápido. Esto activa la ventana Edición de bases.

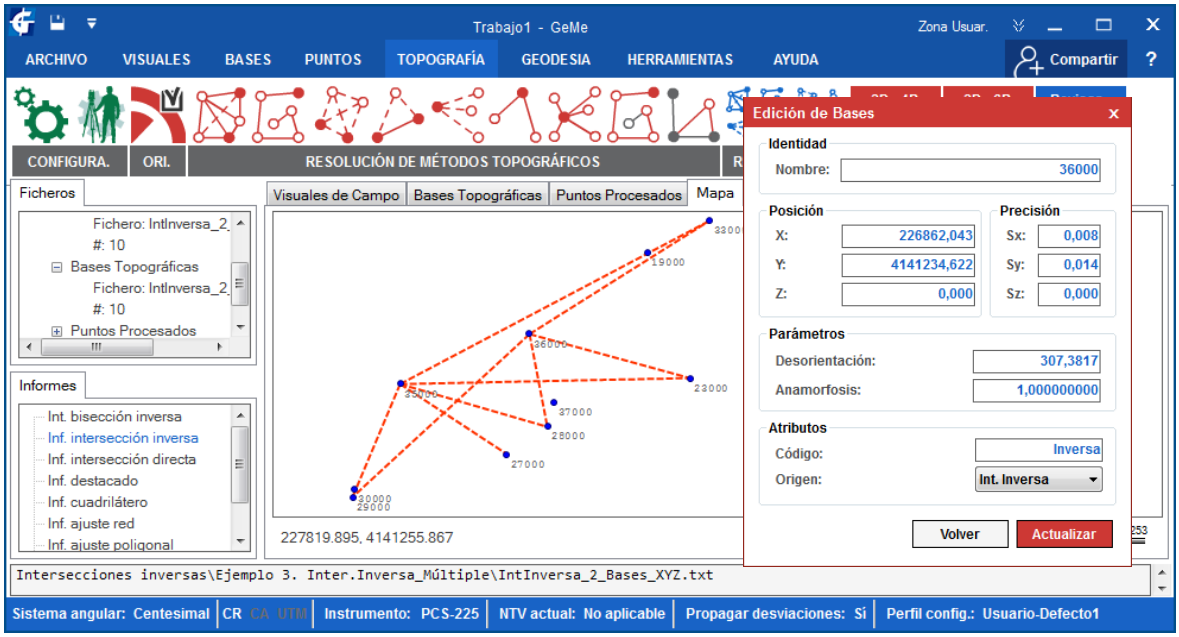


Fig. 36. La representación gráfica permite interactuar sobre las soluciones

Capítulo 6. Bisección inversa

En esta sección aprenderá:

- Solucionar el método de bisección inversa mediante trigonometría y por mínimos cuadrados.
- Resolver bisecciones inversas múltiples.
- Realizar cálculos en sistemas locales y en proyección UTM.
- Interpretar resultados.
- Revisar todo el proceso analítico de cálculo.
- Analizar la influencia de las condiciones de contorno.
- Generar reportes de las soluciones.

Introducción

La bisección inversa es uno de los métodos más desconocidos. Habitualmente se habla de redes, poligonales, intersecciones inversas e intersecciones directas, pero poco de las bisecciones inversas.

El método de bisección inversa es similar, en ejecución, al de intersección inversa, con la única salvedad de que en este caso necesitamos registrar también las distancias.

Este método permite establecer rápidamente las coordenadas de la base ocupada a través de, al menos, dos visuales lanzadas a dos posiciones conocidas. Si se realizan más observaciones entonces se puede resolver mediante mínimos cuadrados.

En los siguientes ejercicios descubrirá lo sencillo que resulta en GeMe calcular una bisección inversa, en cualquier escenario de trabajo y por distintos métodos. Recuerde que GeMe es el único programa de topografía, de habla hispana, capaz de calcular cualquier método topográfico por mínimos cuadrados (incluida la bisección inversa).

Ejemplo 1. Cálculo de una bisección inversa. Resolución trigonométrica

En el siguiente ejercicio veremos la resolución completa de una bisección inversa a través de un número mínimo de observaciones. Esto es, una resolución a través de formulación trigonométrica.

El siguiente listado contiene dos registros realizados desde una posición desconocida, llamada 1, a dos referencias conocidas; B1 y B2. Nótese que los registros contienen datos de distancias. Es decir, se realizaron mediciones al reflector del jalón.

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1	B1	3.0850	99.9987	191.297	1.320	1.570	Base
1	B2	55.5927	100.0012	195.164	1.320	1.570	Base

Las coordenadas de las bases B1 y B2 son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
B1	1708.008	1270.278	100.023	Base
B2	1769.302	1127.726	99.932	Base

Para obtener la posición de la base 1 siga los siguientes pasos:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 6. Bisecciones inversas/Ejemplo 1***:

BisInversa_1_Obs_C.txt
BisInversa_1_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `BisInversa_1_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `BisInversa_1_Bases_XYZ.txt`.

3. En la pestaña TOPOGRAFÍA, ejecute el método de Bisección inversa.

En este punto verá el nombre de la base a calcular y el método de resolución aplicable dentro de la sección Método de resolución. Con el método de bisección inversa se puede calcular la componente Z ya que, una vez establecida la posición planimétrica de la base, se puede calcular su cota como la media obtenida a través de cada visual.

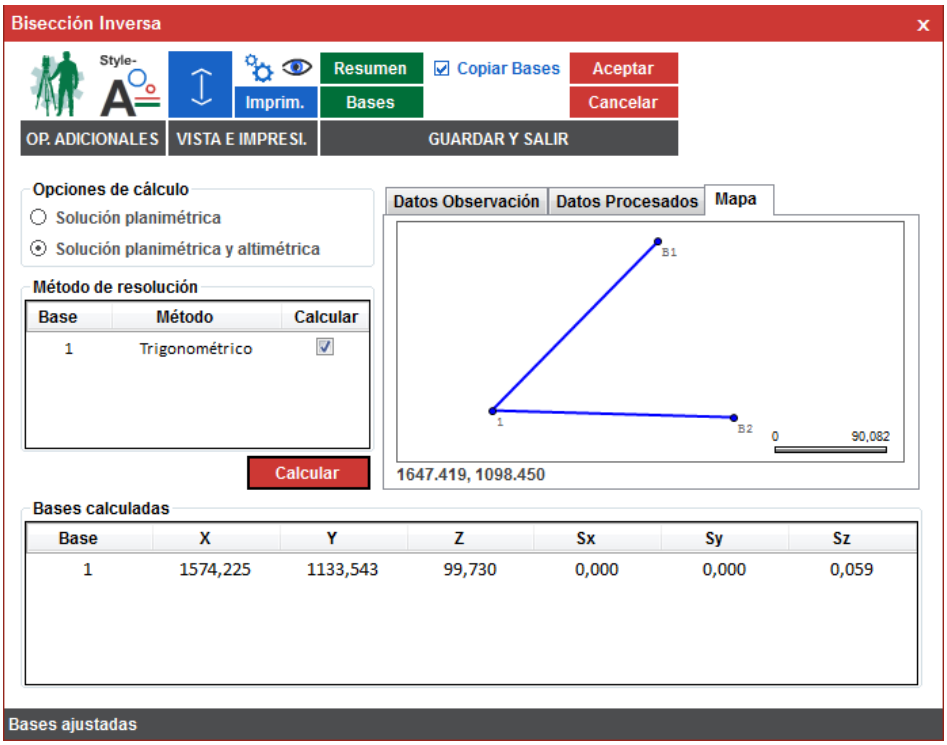


Fig. 37. Solución de una bisección inversa

4. Seleccione Solución planimétrica y altimétrica. Pulse **Calcular** y active la pestaña Datos Procesados.

Como vemos en la resolución, la base incógnita se ha estimado a través de formulación trigonométrica, mostrándose los ángulos observados y evaluados (por trigonometría).

```
BISECCIÓN INVERSA POR MÉTODO TRIGONOMÉTRICO.
RESUMEN ANALÍTICO.
================================
Estacionamiento objeto de cálculo: 1
Posiciones visadas: B1/B2

Ángulo observado
--------------------
Alfa: 52,5077g

Ángulos evaluados
--------------------
Beta: 75,1570g
Acimut B1-> 1: 249,3053g
Acimut B1-> B2: 174,1483g

Solución
**********************
X = 1574,225m
Y = 1133,543m
Z = 99,730m
```

A través del método trigonométrico se ha obtenido la posición de la base ocupada. Utilizando las distancias observadas (una vez reducidas) y aplicando trigonometría básica (teorema del coseno) se obtiene uno de los ángulos de cualquier otro vértice (en el ejemplo, el ángulo *Beta*). También se calculan, por coordenadas, la distancia y el acimut entre las bases observadas. A continuación, se obtiene por radiación las coordenadas de la base ocupada desde una de las bases. Si además se eligió una solución altimétrica entonces, a continuación, se estima la cota de la base ocupada desde cada una de las posiciones observadas. Finalmente se obtiene la media, así como su incertidumbre posicional.

Recuerde que, llegado este punto, podría aceptar el cálculo y generar un reporte.

Ejemplo 2. Cálculo de una bisección inversa. Mínimos cuadrados

Cuando se observan más de dos posiciones conocidas entonces la solución se realiza por mínimos cuadrados. En este caso, se estima previamente una solución inicial (mediante un par de bases observadas y a través del método anterior). A continuación, se procesan las matrices de cálculo y se da solución al sistema.

Supongamos el mismo ejemplo anterior con una observación adicional. La realizada a B3. Supongamos también que no conocemos el instrumento utilizado en esta medición.

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1	B1	3.0850	99.9987	191.297	1.320	1.570	Base
1	B2	55.5927	100.0012	195.164	1.320	1.570	Base
1	B3	87.8216	100.0078	238.045	1.320	1.570	Base

Las coordenadas de las tres bases son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
B1	1708.008	1270.278	100.023	Base
B2	1769.302	1127.726	99.932	Base
B3	1778.879	1011.963	99.998	Base

La resolución por mínimos cuadrados se realiza a través de los siguientes pasos:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 6. Biseccciones inversas/Ejemplo 2***:

BisInversa_2_Obs_C.txt
BisInversa_2_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `BisInversa_2_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `BisInversa_2_Bases_XYZ.txt`.
3. En la pestaña TOPOGRAFÍA, ejecute el método de Bisección inversa.

Dado que el enunciado no detalla un instrumento, vamos a decidir no utilizar la matriz de pesos en el cálculo.

4. Acceda a la Configuración General y vaya a Métodos topográficos. En esta pestaña, active No usar matriz de pesos en el ajuste. Acepte para regresar.

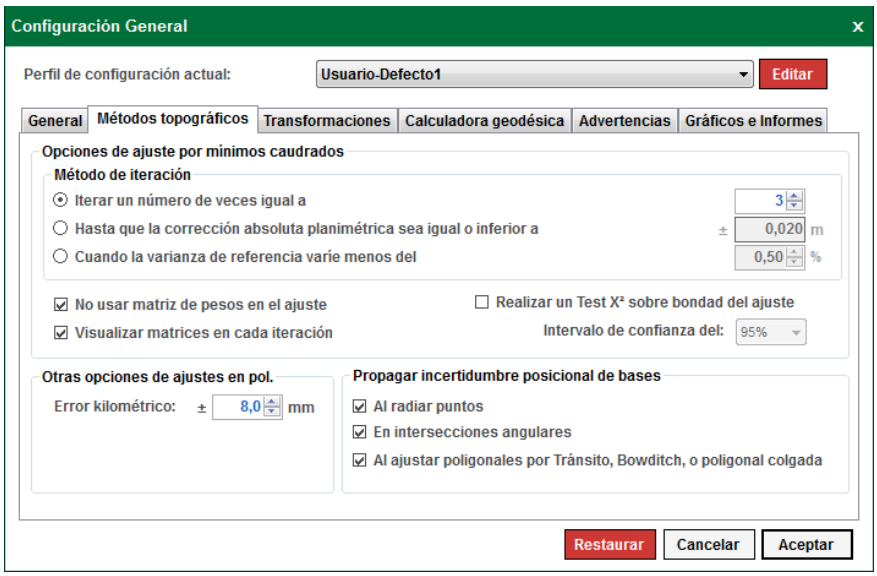


Fig. 38. Configuran General de métodos topográficos

5. Ejecute Bisección inversa. Active Solución planimétrica y altimétrica y pulse **Calcular**.
6. Active ahora la pestaña Datos Procesados.

```
RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA BASE 1
Total iteraciones = 3
Desviación estándar del ajuste = ±0,2525
Varianza de referencia del ajuste = ±0,063774
Desviación de la solución:
Sx = 0,000
Sy = 0,001

Elipse de Error:
Base      ±Su      ±Sv     Orientación
-------------------------------------

1        0,000    0,000    188,7338
-------------------------------------
```

Fíjese en las desviaciones de la solución. Son muy pequeñas. En este hipotético caso, aparentemente, la solución es muy buena (tenemos una incertidumbre posicional del ajuste prácticamente nula). Sin embargo, recuerde que aquí simplemente hemos resuelto los datos sin considerar la precisión del instrumento ni correcciones. Es decir, sin ponderar las observaciones a través de sus errores.

Supongamos que ahora nos comunican que el equipo utilizado en la medición fue un GPT-90003A de Topcon, el cual se utilizó con el compensador activado. Los errores de centrado del equipo se estiman en ±2mm, y ±5mm para el jalón. ¿Cómo de precisa será la solución ahora que podemos ponderar las observaciones?

7. Cancele la ventana Bisección Inversa, y vaya a la ventana Opciones de Levantamiento. Configure las opciones con los datos del enunciado del ejercicio. La ventana debería quedar configurada como sigue. A continuación, vuelva a Configuración General y desactive la opción No usar matriz de pesos en el ajuste. De esta manera, sí emplearemos la matriz en el ajuste y usaremos las características técnicas del equipo.

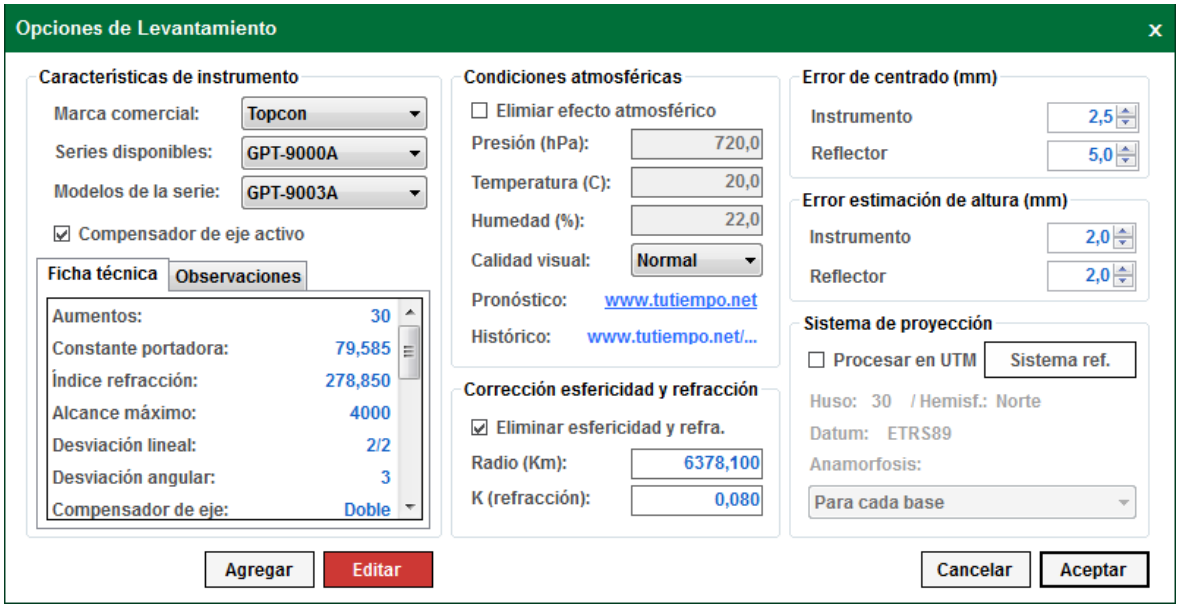


Fig. 39. Configuración Opciones de Levantamiento

8. Regrese a Bisección inversa. Vuelva a activar Solución planimétrica y altimétrica y pulse de nuevo **Calcular**. No haga nada y continúe con el ejercicio.

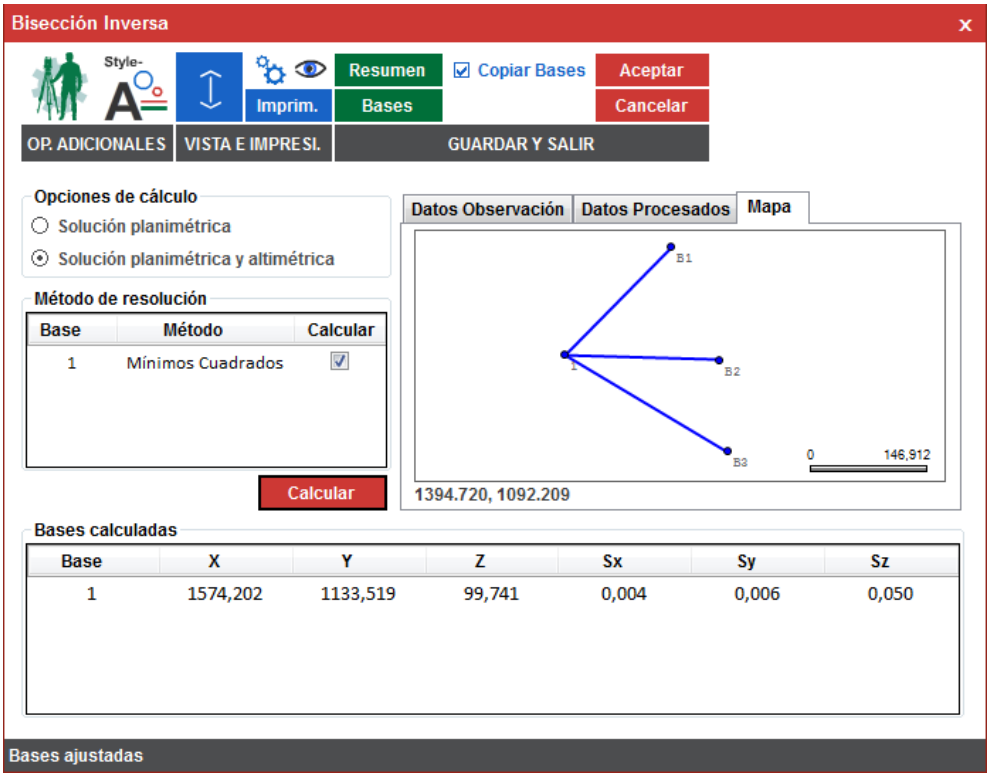


Fig. 40. Segundo ajuste

```
RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA BASE 1
Total iteraciones = 3
Desviación estándar del ajuste = ±13,1934
Varianza de referencia del ajuste = ±174,064740
Desviación de la solución:
Sx = 0,004
Sy = 0,006

Elipse de Error:
```

```
Base      ±Su      ±Sv     Orientación
-----------------------------------
1        0,084    0,049    197,8214
-----------------------------------
```

Como vemos, las coordenadas ajustas han variado ligeramente, así como su incertidumbre. Sin embargo, vayamos un poco más lejos. Imagine que el instrumento tenía la corrección atmosférica establecida como nula (PPM = 0), ya que los valores de presión y temperatura insertados fueron los de fábrica (es decir, aquellos que producen una corrección atmosférica nula). Sin embargo, las condiciones reales fueron las siguientes:

- Presión: 1013mb
- Temperatura: 33ºC
- Humedad: 60%
- Calidad de visual: Óptima

9. Desde la propia ventana Bisección Inversa, pulse el icono que le da acceso a Opciones de Levantamiento. Active Eliminar efecto atmosférico y configure las variables de la sección Corrección atmosférica. De paso, aproveche para comprobar que Eliminar esfericidad y ref. está activada (en caso contrario, actívela, y que el coeficiente de refracción es 0,08 -valor que se utilizará en este ejemplo-). Acepte.

A continuación, recalcule la bisección inversa considerando las nuevas condiciones de contorno.

```
RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA BASE 1
Total iteraciones = 3
Desviación estándar del ajuste = ±13,0517
Varianza de referencia del ajuste = ±170,346558
Desviación de la solución:
Sx = 0,004
Sy = 0,006

Elipse de Error:
Base      ±Su      ±Sv     Orientación
-----------------------------------
1        0,083    0,048    197,8214
-----------------------------------
```

Si bien las desviaciones de la solución apenas han variado, los resultados sí los han hecho sensiblemente. La siguiente tabla contiene un resumen de los cálculos realizados bajos tres escenarios diferentes.

Base	X	Y	Z	Sx	Sy	Sz	Condiciones
1	1573,998	1133,237	99,741	0,000	0,001	0,050	Sin matriz de pesos
1	1574,203	1133,520	99,741	0,004	0,006	0,050	Con matriz pesos
1	1574,200	1133,520	99,741	0,004	0,006	0,050	Matriz pesos + correcciones

Hagamos ahora un pequeño debate: ¿Cuál sería la solución correcta?

Respuesta: Todas. Esta respuesta quizás le sorprenda un poco, pero tenemos que considerar que cada una de ellas fue calculada en función de los datos disponibles en ese momento.

- El primer resultado se obtuvo por mínimos cuadrados sin una ponderación de los registros de observación (es decir, sin utilizar una matriz de pesos). Ya que en ese momento

se desconocía el instrumento utilizado, fue lo más correcto. Cabe decir que una alternativa hubiera sido utilizar un equipo de características estándar, como el **Genérico** incluido en GeMe. En este caso, la solución se acercaría más a la realmente válida.

- La segunda solución considera la precisión de las observaciones a través de las características técnicas del instrumento y de los errores de centrado. Como se observa, la solución varía algunos centímetros de la anterior y ofrece un valor de desviación estándar más elevado. Esta solución es más realista que la anterior al considerar la capacidad técnica del instrumento de medición.
- La tercera solución se corresponde con el segundo caso, pero habiendo aplicado una corrección atmosférica y por curvatura y refracción. Este proceso afina aún más el resultado, al quedar libre de la influencia de estos fenómenos. La variación de los resultar varía poco en comparación con la solución anterior. Sin embargo, debemos recordar que estas correcciones son directamente proporcionales a las distancias observadas, que en este ejemplo son inferiores a los 300m.

Si la pregunta fuera "Considerando las condiciones de contorno, ¿cuál de las soluciones es la correcta?" Sin duda, la última, pues considera todas las variables de contorno además de haber eliminado en ella la influencia de las condiciones atmosféricas y por curvatura y refracción.

Ejemplo 3. Cálculo de una bisección inversa. UTM

En los anteriores ejercicios hemos visto que en la resolución de una bisección inversa intervienen las distancias, así como los ángulos. Por tanto, de la misma forma que en una poligonal, existen diferencias entre procesar los datos en un sistema arbitrario, plano, o hacerlo en UTM. En el siguiente ejercicio veremos un ejemplo de resolución en UTM.

El topógrafo de campo ha realizado una bisección inversa utilizando gran parte de las bases de la una red primaria (establecidas con GPS, expresadas en UTM). Para ello, estacionado en una posición desconocida (A) ha observado hasta 6 bases repartidas en el perímetro de la zona de trabajo. Los datos de campo son los siguientes:

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
A	B4	156.1037	99.7882	844.728	1.500	1.627	Base
A	B5	108.4989	101.5578	1204.299	1.500	1.627	Base
A	B6	85.8971	97.5574	446.489	1.500	1.627	Base
A	B7	51.0844	108.3356	783.659	1.500	1.627	Base
A	B8	8.8499	102.5584	874.061	1.500	1.627	Base
A	B9	349.3101	99.9866	1179.653	1.500	1.627	Base

Y las coordenadas UTM, ETRS89, huso 30, hemisferio Norte, de las bases observadas, son:

Base	X UTM	Y UTM	Z	Código
B4	435618,176	4479206,757	653,100	Base
B5	434984,038	4478688,013	620,742	Base
B6	435752,035	4478462,266	667,319	Base
B7	435647,557	4478015,658	547,907	Base
B8	436098,467	4477709,688	615,176	Base
B9	437059,697	4477790,492	650,448	Base

El instrumento utilizado para realizar las observaciones fue un Nivo 5M, de la marca Nikon. El trabajo se realizó con el compensador activo y se consideró un error de centrado del instrumento de ±2mm. Para posicionar el prisma se utilizó un centrado forzoso, mediante trípode y plataforma nivelante, lo que permite asumir un error de centrado similar al de estación. El efecto atmosférico fue eliminado en campo, mientras que el coeficiente de refracción se estimó experimentalmente (Levallois, 1979), resultando un valor de 0,147.

Veamos cómo resolver el ejercicio:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 6. Bisecciones inversas/Ejemplo 3***:

BisInversa_3_Obs_C.txt
BisInversa_3_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `BisInversa_3_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `BisInversa_3_Bases_XYZ.txt`.
3. Acceda a Opciones de Levantamiento. Seleccione el instrumento **Nivo 5M**, de la marca **Nikon**, serie **Nivo**. Active Compensador de eje activado y Eliminar esfericidad y ref. Inserte un valor de 0,147 en el campo K (refracción). Active Procesar en UTM y pulse Sistema ref. A continuación, especifique los datos del sistema de referencia; huso 30, hemisferio Norte, datum ETRS89. Acepte y regrese a la pantalla principal.

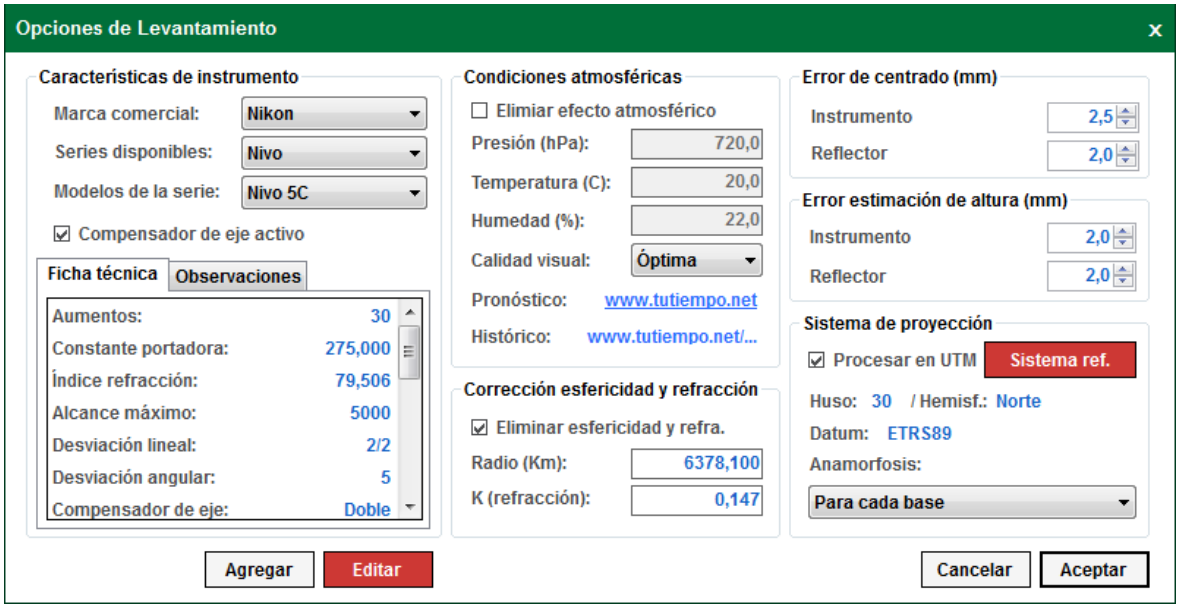


Fig. 41. Configuración de las opciones de levantamiento

4. Acceda al menú Bisección inversa, seleccione Solución planimétrica y altimétrica y pulse **Calcular**.

RECUERDE:

La diferencia fundamental entre una bisección inversa y una intersección inversa radica en las magnitudes registradas (ángulos y distancias para primera, sólo ángulos para la segunda). GeMe considera que una visual pertenece a una bisección inversa si la distancia geométrica es distinta de 0. A modo de experimento, y cuando termine este ejercicio, puede editar las visuales sustituyendo todas las distancias por valores nulos (0,000) y resolver a través del método de intersección inversa.

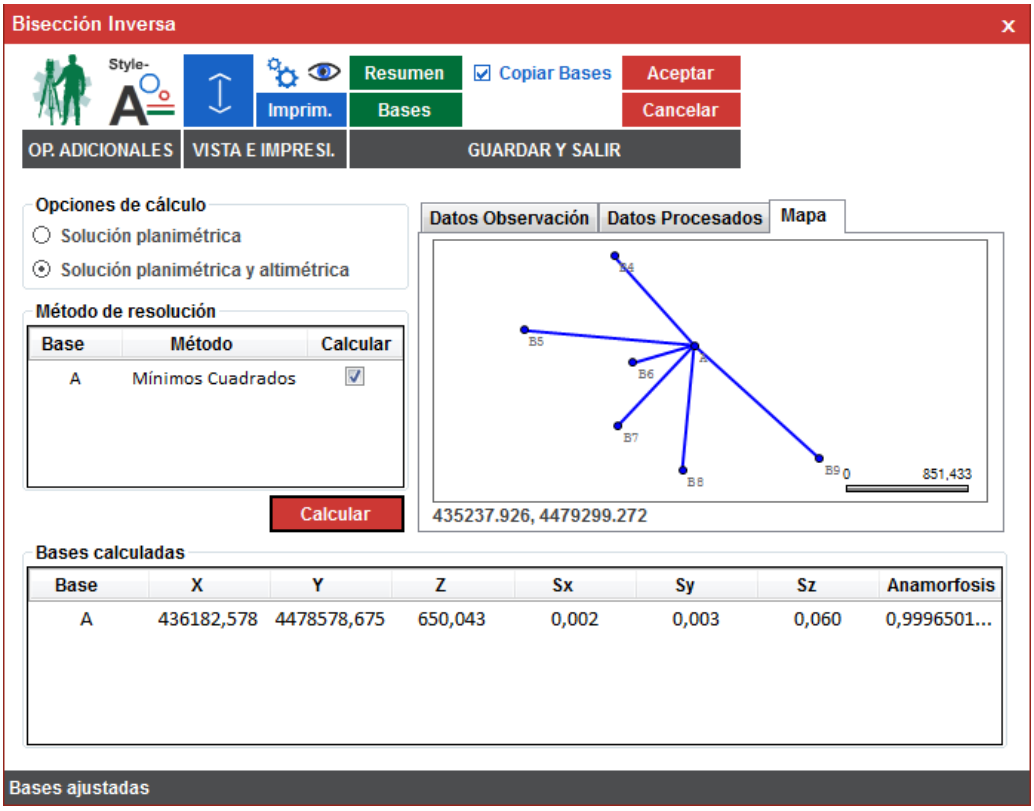


Fig. 42. Solución por mínimos cuadrados de una bisección inversa

En Bases calculadas verá la posición calculada a través del método de mínimos cuadrados. Gráficamente puede ver las 6 visuales lanzadas desde la base A.

El resultado de este ejercicio resulta más que aceptable, obteniéndose una incertidumbre posicional planimétrica de ±0,003m. Un poco mayor en Z (±0,058m). Además, se ha obtenido el coeficiente de anamorfosis de la base.

Como reto le animo a resolver el mismo ejercicio suponiendo que, por desconocimiento, no sabía que las bases eran UTM. Es decir, a resolver el mismo ejercicio procesándolo en planas. Si lo hace, y analiza los resultados, obtendrá una conclusión; se ha cometido más error ya que hemos procesado unas observaciones planas apoyadas en posiciones UTM, por lo que se ha producido una mezcla no homogénea de datos.

Ejemplo 4. Cálculo de bisección inversa múltiple

A lo largo de los capítulos anteriores hemos resuelto siempre un ejercicio de intersecciones en el que se han procesado simultáneamente varias intersecciones. En este ejercicio haremos lo mismo, pero con el método de bisección inversa.

Para establecer varias bases de difícil acceso, el topógrafo de campo decidió emplear sucesivas veces el método de bisección inversa.

El listado de campo contiene 3 bisecciones inversas, realizadas simultáneamente, a bases del entorno:

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
B60	B16	23.5042	100.1426	139.557	1.320	1.547	Base
B60	B18	161.1359	99.5986	53.725	1.320	1.547	Base
B61	B16	378.0751	99.7847	99.759	1.320	1.654	Base
B61	B15	343.0394	107.1458	39.148	1.320	1.654	Base
B61	B14	299.1354	101.5547	56.186	1.320	1.654	Base
B62	B14	48.2682	102.9058	30.017	1.320	1.605	Base
B62	B17	243.9876	100.0047	63.265	1.400	1.605	Base
B62	B16	279.5009	99.6976	69.739	1.600	1.605	Base
B62	B15	365.5456	109.3522	29.853	1.320	1.605	Base

Las coordenadas de las bases son:

Base	N	E	Z	Código
B14	227311.142	4141443.053	198.647	Base
B15	227291.036	4141413.205	195.633	Base
B16	227308.499	4141345.872	200.357	Base
B17	227344.244	4141355.958	200.014	Base
B18	227137.054	4141382.020	199.706	Base

Observando el listado de campo vemos que la base B60 será resolverá por trigonometría, ya que desde ella sólo se visan dos bases. Las bases B61 y B62 se resolverán por mínimos cuadrados, al existir redundancia de observaciones. Para resolver simultáneamente las tres bisecciones inversas siga estos pasos:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 6. Bisecciones inversas/Ejemplo 4***:

BisInversa_4_Obs_C.txt
BisInversa_4_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `BisInversa_4_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `BisInversa_4_Bases_XYZ.txt`.
3. Acceda a Opciones de Levantamiento. Ya que no nos han especificado ningún instrumento resolveremos este ejercicio suponiendo valores estándar. Por tanto, seleccione la marca **Genérica** y el **Modelo 1**. Suponga que el compensador de ejes estaba activado en el momento de la medición.
4. No active la opción Eliminar efecto atmosférico ya que no sabemos si las observaciones están corregidas o no. Y en caso negativo, no conocemos las condiciones climáticas. Mantenga activada Eliminar esfericidad y ref. (e introduzca un valor de 0,080 para el coeficiente de refracción) y desactive Procesar en UTM en caso de estar activada. En la sección Error de centrado ponga 2,5mm para el instrumento y 10mm para el jalón.
5. Acceda a Bisección inversa.

Fíjese en que GeMe ha detectado automáticamente las tres bases sobre las que se ha realizado la bisección inversa, así como el método de resolución adecuado a cada una. Active la opción Solución planimétrica y altimétrica y pulse **Calcular**.

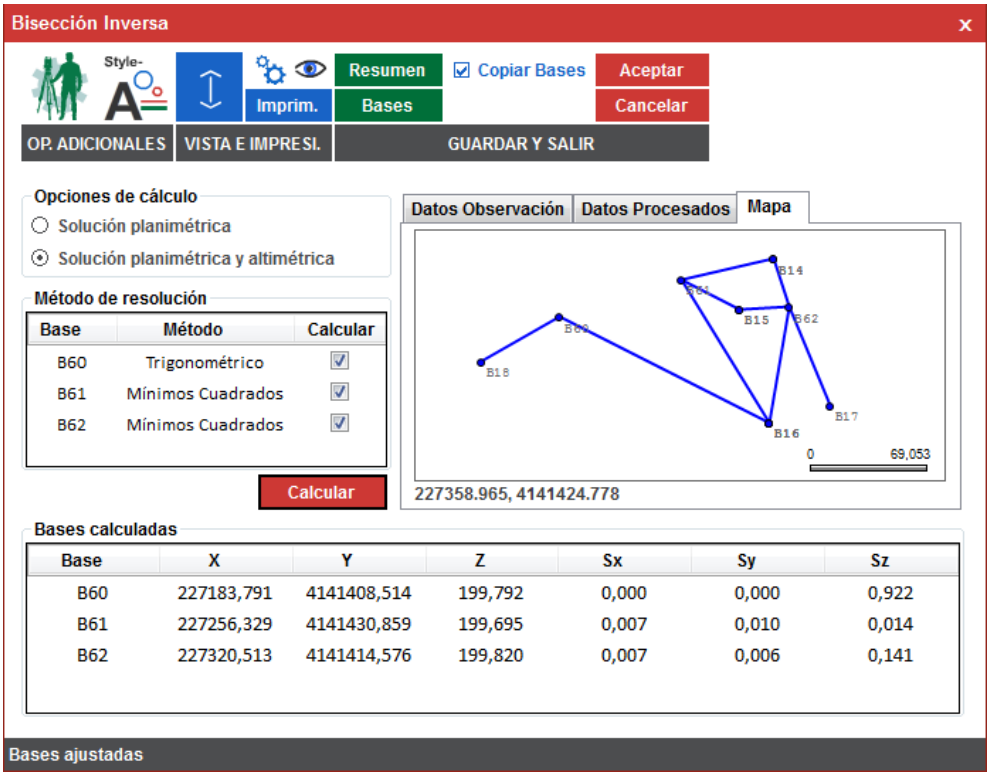


Fig. 43. Resolución simultánea de varias bisecciones inversas

El resultado gráfico quizás le resulte confuso ya que, a primera vista, aparecen muchas visuales entremezcladas.

6. En Método de resolución, en la columna Calcular, desactive las casillas de la base B61 y B62 y pulse de nuevo **Calcular**. De esta forma verá la representación gráfica de la solución de la base B60. Haga lo mismo con el resto de bases, una a una. De esta manera conseguirá hacerse una idea de la disposición de cada base.

7. Active de nuevo todas las bases y pulse **Calcular**. A continuación, active la pestaña Datos Procesados y revise su contenido. En esta pestaña encontrará todo el proceso de resolución de las tres bases.

Una de las mejores cosas que podemos hacer para controlar los trabajos de gabinete consiste en generar un informe técnico, el cual contenga, al detalle, la justificación de nuestros cálculos.

8. Acepte la ventana. A continuación, active la pestaña Informes Técnicos. Haga clic en el texto Informe técnico bisección inversa. Automáticamente se generará un informe técnico parcial de nada menos que 7 páginas. En él hallará, desde los datos de campo utilizados para los cálculos, así como las características técnicas del instrumento, los errores de centrado, etc. También el proceso resolutivo llevado a cabo, con todas las variables calculadas (incluyendo matrices) y la solución final.

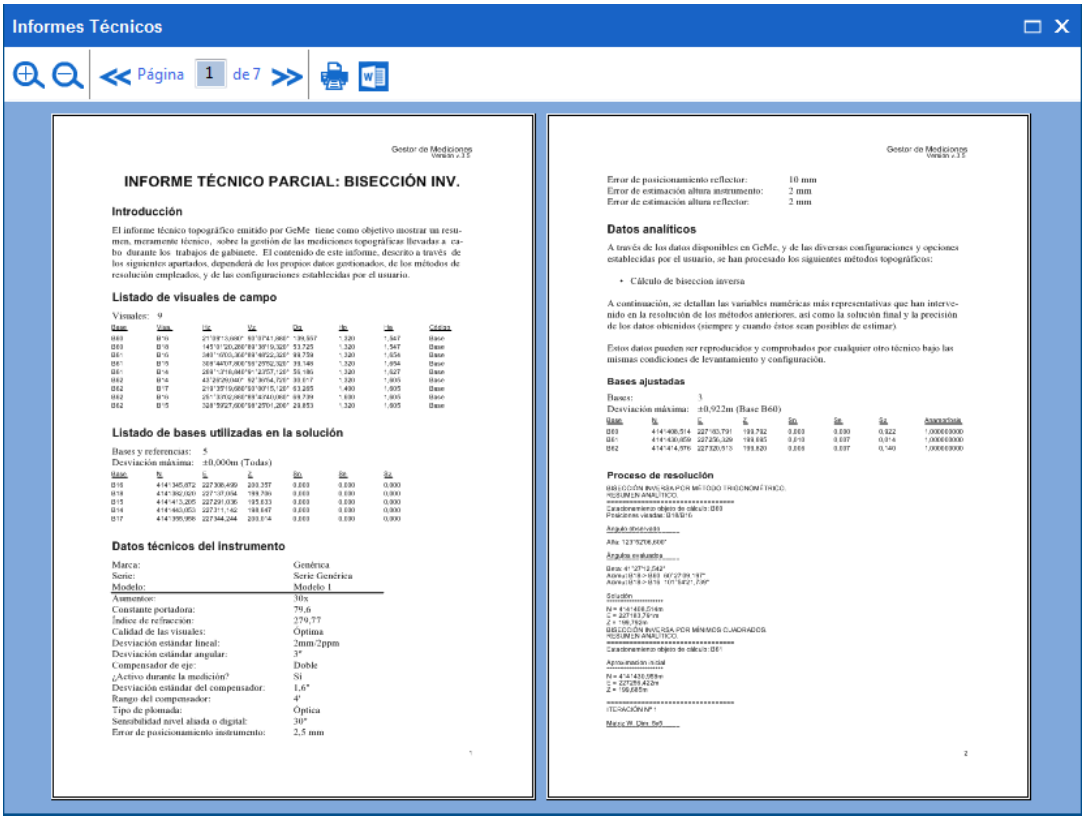


Fig. 44. Los informes técnicos permiten constatar todo el trabajo realizado

Recuerde que ya puede exportar las bases a formatos CAD, como DXF, y muchos otros compatibles con otros programas, como TXT, CSV, KML, etc.

En este sencillo ejemplo hemos resuelto, en un mismo proceso, tres bisecciones inversas diferentes mediante dos métodos distintos. Como hemos comprobado, GeMe realiza todo el proceso de identificación de bases de forma automática, lo que agiliza enormemente el trabajo de gabinete. Además, ofrece al usuario la posibilidad de generar un reporte con todo el proceso resolutivo llevado a cabo, lo que permite utilizar esta información como anexos de sus propios informes y reportes. Esto le dará un aire más profesional. También resulta de gran ayuda a docentes y alumnos de topografía.

Capítulo 7. Radiación y taquimetría

Este capítulo aborda de forma práctica cómo gestionar dos escenarios distintos. En el primero, veremos cómo resolver una simple radiación, en varios supuestos; sistema local, sistema proyectado UTM, aplicando correcciones, etc. En el segundo, veremos cómo resolver un taquimétrico, obteniendo puntos radiados desde bases procedentes de distintos métodos, y cuyas observaciones se incluyen en un mismo fichero. Sin dudarlo, este ejercicio es el más interesante de todos los ejercicios de este manual. No dude en realizarlo y analizarlo con detenimiento.

En este capítulo aprenderá a:

- Resolver radiaciones bajo varios supuestos; en planas, en UTM, aplicando correcciones, etc.
- Resolver varios métodos topográficos contenidos en un mismo fichero y finalizar con la representación gráfica de los puntos radiados.
- Entender la utilidad del informe técnico completo.
- Analizar la propagación de errores a través de la resolución consecutiva de diversos métodos topográficos, y cómo afecta, en última instancia, al punto radiado.
- Utilizar el explorador geodésico en un ejemplo real.

Introducción

A lo largo de los 22 ejercicios anteriores hemos aprendido a ajustar redes, compensar itinerarios, calcular cuadriláteros, intersecciones inversas, intersecciones directas y bisecciones inversas. Todo ello bajo diversos escenarios; en planas, en UTM, aplicando o no la corrección atmosférica, eliminado o no la influencia por curvatura y refracción, etc.

Hemos realizado análisis y discusiones sobre la influencia que tienen en los resultados pequeñas modificaciones en las variables de contorno; características técnicas del equipo, errores de centrado y altura de equipo, etc.

También hemos aprendido a manejar correctamente el método de mínimos cuadrados, exponiendo y justificando cuándo usarlo, su matriz de pesos, cuándo paralizar la iteración, y otros aspectos relacionados con el método.

Sin embargo, es raro que el trabajo de campo se centre únicamente en realizar las observaciones de un método en concreto. Lo normal debería ser –y he aquí la puesta en práctica de la experiencia de un buen topógrafo– que el fichero de observaciones de campo incluyera varios métodos: Por ejemplo, un topógrafo que necesite realizar un levantamiento de una gran extensión, para lo cual debe crear nuevas bases, probablemente realice una red de bases o un itinerario. Quizás, alguna intersección durante el transcurso de la poligonal, para ubicar bases en zonas perpendiculares, reduciendo así la longitud del itinerario. Y, simultáneamente, y por qué no, la radiación de los puntos del entorno. De esta manera, acabará con un único fichero, de gran extensión, el cual contendrá varios métodos topográficos.

En este capítulo descubrirá lo cómodo (por la mínima intervención del usuario), rápido (por el poco tiempo empleado), profesional (por la potencia de cálculo y control de la incertidumbre posicional de bases y puntos), y productivo (por la generación de informes completos), que resulta procesar este tipo de ficheros.

Ejemplo 1. Cálculo de radiación

En definitiva, la gran mayoría de levantamientos topográficos tienen por objetivo obtener una nube de puntos. Estos se utilizarán en programas de delineación, como MDT, AutoCAD Civil 3D, etc., para realizar diseños o seguimientos de proyectos; modelos digitales (mallas, curvados, triangulaciones), delineaciones del proyecto, etc.

Sin embargo, obtener los puntos radiados a través de observaciones topográficas puede encerrar ardua tarea. Algunos programas de topografía no son fáciles de manejar, resultando confuso su funcionamiento. Otros programas son incapaces de gestionar los datos debidamente; aplicar correcciones o emplear las condiciones de contorno para establecer la precisión de los puntos. Y la gran mayoría son incapaces de estimar la incertidumbre posicional de las bases, y transmitirla a los puntos, algo fundamental para conocer la validez y alcance del trabajo de campo.

En este ejercicio verá lo sencillo que resulta obtener el resultado final de un trabajo de radiación, realizado de manera totalmente profesional. Esto es, un listado de coordenadas y una representación gráfica. Además, aprenderá a realizar análisis técnicos del levantamiento.

El topógrafo de campo ha realizado una radiación. El trabajo se realizó desde diversas bases, repartidas a lo largo de la zona de medición. El listado de campo contiene hasta 400 observaciones.

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 7. Radiación/Ejemplo 1***:

Radia_1_Obs_S.txt
Radia_1_Bases_NEZ.txt

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
9000	1100	159.4642	99.8764	191.216	1.550	1.505	REF
9000	1000	261.2088	100.4978	57.399	1.550	1.505	BASE
1000	9000	70.7552	99.5478	57.406	1.550	1.500	BASE
1000	2000	269.2930	100.1994	64.954	1.550	1.500	BASE
1000	200	89.9622	99.1380	7.231	1.550	1.500	F
1000	201	139.7344	98.9792	15.121	1.550	1.500	F
1000	202	220.6380	99.1960	19.462	1.550	1.500	F
1000	203	258.9458	100.0626	14.342	1.550	1.500	F

… (continúa)

Las coordenadas de las bases son las siguientes:

Base	X	Y	Z	Código
9000	663237.675	4207731.397	15.105	Base
1100	663121.640	4207883.331	15.576	Base
1000	663284.235	4207764.969	14.683	Base
2000	663336.046	4207804.164	14.446	Base
3000	663477.481	4207912.061	15.033	Base
4000	663489.558	4207974.246	15.299	Base
5001	663411.906	4208104.946	16.018	Base
6000	663219.136	4207957.829	15.158	Base

Para resolver la radiación siga los siguientes pasos:

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `Radia_1_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `Radia_1_Bases_XYZ.txt`.

Por defecto, en GeMe se encuentra activada una opción llamada Propagar incertidumbre posicional al radiar. Esto quiere decir que, cuando se radien puntos, se propagará la incertidumbre posicional de las bases a los puntos, computándose junto con la propia incertidumbre posicional originada al radiar. Ya que en este ejercicio no se menciona el instrumento utilizado en el trabajo de campo, utilizaremos el equipo de la serie **Genérica**.

3. Acceda a Opciones de Levantamiento y verifique que no tiene activada la corrección atmosférica (pero sí por curvatura y refracción), ni que se procesarán los datos en UTM. Revise que, efectivamente, tiene seleccionado el equipo Modelo 1 de la Serie Genérica. Regrese a la ventana principal.

4. En el menú Topografía, haga clic en el icono Radiación de puntos.
5. Automáticamente GeMe calculará las desorientaciones de las bases que radian puntos y procesará las observaciones, obteniendo así las coordenadas de todos los puntos.

En la pestaña Listado verá las coordenadas de todos los puntos radiados desde todas las bases. Y la pestaña Mapa mostrará una representación gráfica de los mismos. En la sección Análisis de radiación verá un resumen de la radiación; número de bases que radian, el total de puntos radiados, la distancia máxima de radiación, y las incertidumbres posicionales máximas obtenidas en las coordenadas.

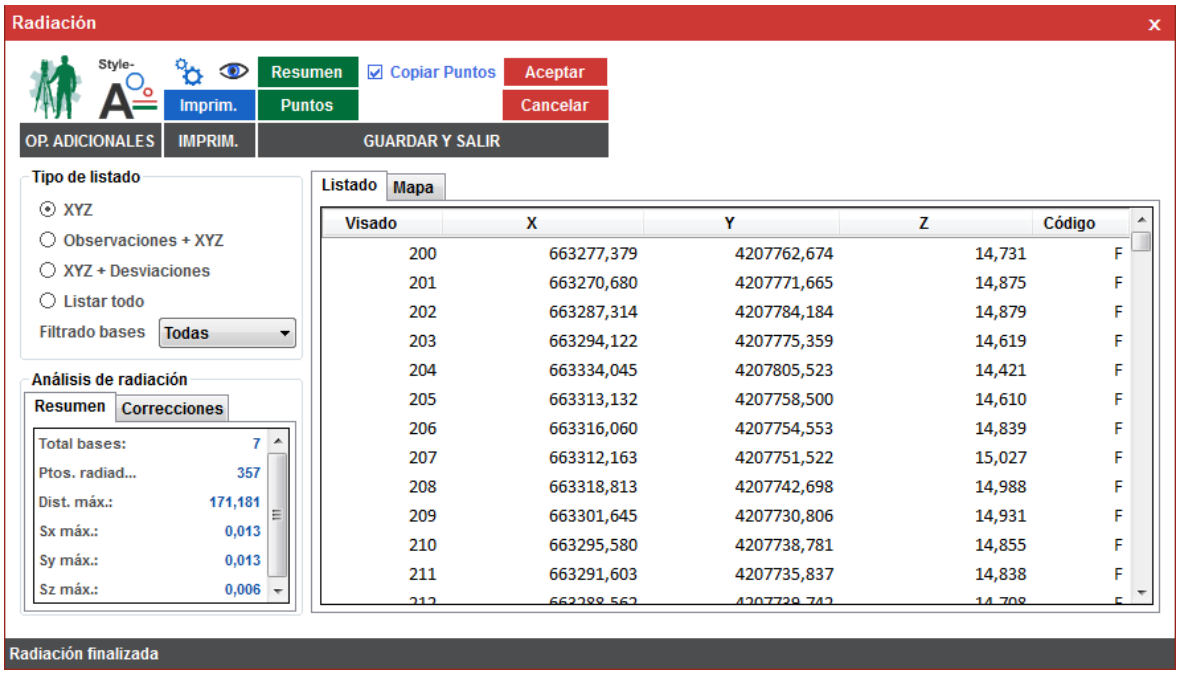


Fig. 45. Radiación de puntos

Puede alternar la información del listado activando cualquiera de las 4 opciones de la sección Tipo de listado. También puede referir el tipo de listado elegido a una base en concreto, o a todas ellas, a través del desplegable Filtrado bases. Pruebe activar XYZ + Desviaciones. Ahora, además de visualizar las coordenadas, verá también las incertidumbres posicionales de las mismas.

6. Active la pestaña Mapa. La nube de puntos la forman los 357 puntos radiados junto a sus nombres.

Si quisiera, podría controlar la información y apariencia de los elementos gráficos de la pestaña Mapa haciendo clic en el segundo icono de OP: ADICIONALES, que da acceso a Configuración de Gráficos.

7. Desde la ventana de Radiación de puntos acceda a la ventana Configuración de Gráficos y active la opción Bases que encontrará en la sección Elementos de tipo punto. Active también Base→Referencias en Elementos de tipo línea.

Ahora podrá ver la misma nube de puntos, junto a las 7 bases de radiación (representadas por otro color) y unas líneas. Éstas representan gráficamente las visuales lanzadas desde cada base a sus referencias angulares.

Fig. 46. Configuración gráfica

8. Acceda de nuevo a Configuración de Gráficos, active Base→Puntos y acepte. Con esto conseguirá visualizar gráficamente la visual lanzada desde cada base a cada punto radiado.

9. En la sección Filtrado por bases vaya seleccionando cada base. Con cada selección verá cambios gráficos. De esta manera puede observar, aisladamente, los puntos radiados desde cada una de las bases, así como las referencias angulares utilizadas. Al hacerlo, la sección Análisis de radiación le mostrará únicamente los datos asociados a la base seleccionada. Del mismo modo, las pestañas Listado y Mapa mostrarán únicamente los registros de la base. Cuando termine, acepte la ventana Radiación de puntos.

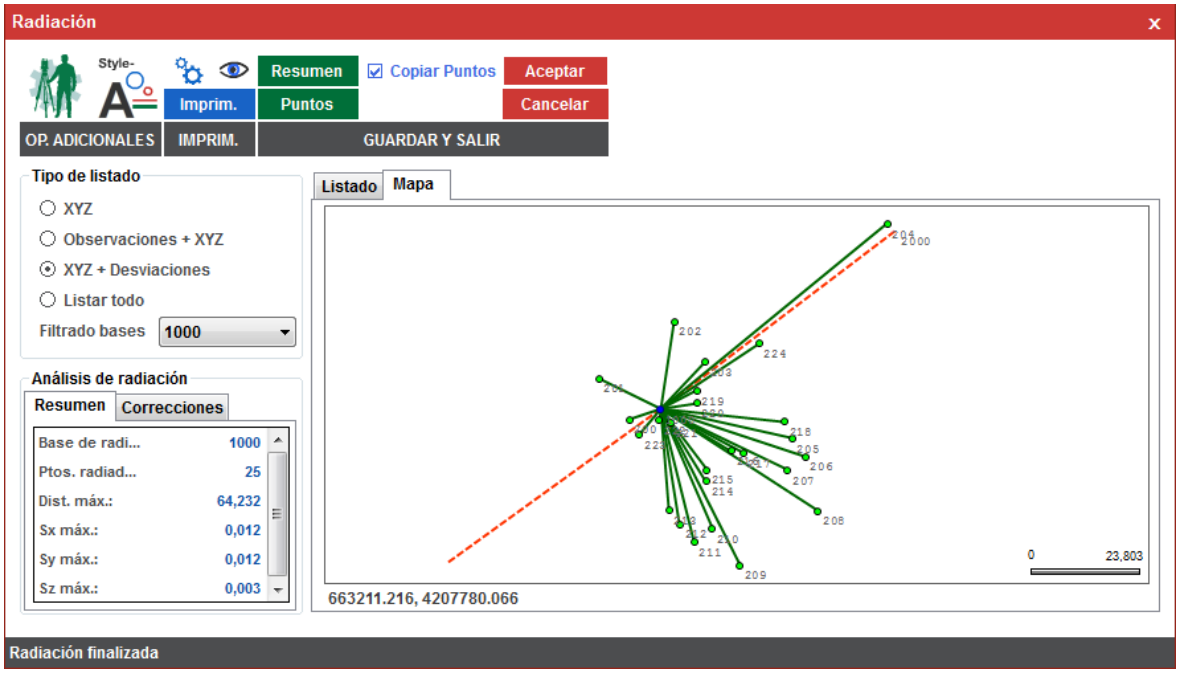


Fig. 47. Análisis de radiación por bases

RECUERDE:

Indistintamente del tipo de listado que esté activado, o de los puntos que esté visualizando, cuando acepte la ventana la totalidad de puntos radiados pasarán al listado de la ventana principal.

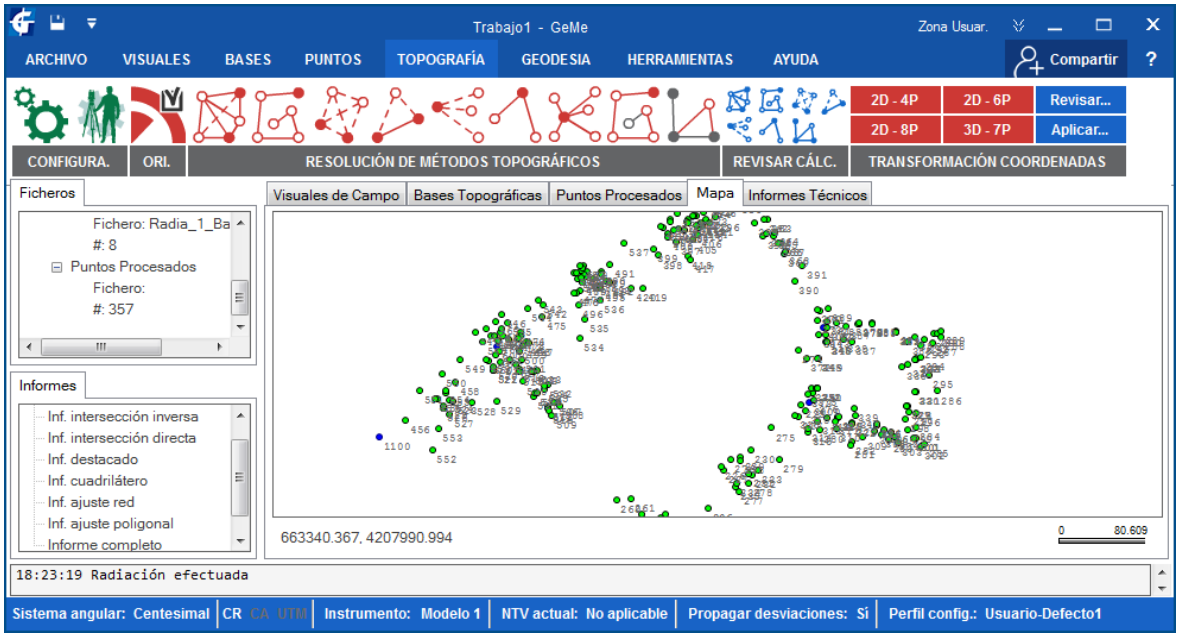


Fig. 48. Representación de puntos radiados en la ventana principal

Recuerde que, desde la pestaña PUNTOS podrá exportar el listado de puntos radiados. También podrá exportar la representación gráfica a ficheros DXF y KML, desde la pestaña HERRAMIENTAS.

En este ejercicio hemos repasado algunas opciones de la ventana Radiación de puntos. Finalmente hemos aprendido a procesar los datos, generando un fichero de puntos (recuerde que desde la propia ventana Radiación de puntos también puede guardar los listados). En el siguiente ejercicio veremos cómo obtener las desviaciones estándar de los puntos radiados, y cómo procesarlos en UTM.

Ejemplo 2. Cálculo de radiación. Resolución en UTM.

En este ejercicio vamos a revisar cómo procesar una radiación para que la solución quede proyectada en UTM.

Supongamos los mismos datos del ejercicio anterior, pero con alguna salvedad. En este caso, consideraremos que las coordenadas de las bases están expresadas en UTM, datum ETRS89, huso 30, hemisferio Norte (fíjese en el nuevo listado de coordenadas, pues las bases presentan ahora unas coordenadas ligeramente distintas). Suponga que las bases han sido capturadas con GPS y que se conocen sus incertidumbres posicionales.

Además, ahora sabemos que los puntos fueron observados mediante una estación total de la marca Leica ubicada con posterioridad en las bases GPS. En concreto, el modelo TC-1105. El compensador no estaba activado en el momento de la medición. Se suponen unos errores de medición de altura de ±2mm para el instrumento y ±5mm para el jalón. El error de centrado del instrumento se estima en ±2mm y ±15mm para el jalón (nótese que en este ejercicio utilizamos un error de centrado de jalón mayor. Supongamos que, en este ejemplo, donde prima la productividad, el topógrafo que lleva el jalón ha ido más deprisa, afinando menos

el calado del nivel del bastón. De la misma forma, el aparatista realizó una colimación más rápida y menos precisa).

Por la localización geográfica de la zona sabemos que el coeficiente de curvatura y refracción es de 0.08, y que los efectos atmosféricos fueron corregidos en campo.

La forma de proceder en este caso sería la siguiente:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 7. Radiación/Ejemplo 2***:

Radia_2_Obs_C.txt
Radia_2_Bases_XYZ.txb

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `Radia_2_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `Radia_2_Bases_XYZ.txb`.

RECUERDE:

El fichero de bases con extensión TXB (exclusivo de GeMe) permite almacenar las incertidumbres posicionales de las bases.

3. A continuación, acceda a Opciones de Levantamiento y seleccione el modelo **TC(R)-1105** de Leica. No active la opción Compensador de eje activo. Verifique que no está activada la corrección atmosférica y active la corrección por curvatura y refracción, estableciendo en 0.08 el coeficiente de refracción. Establezca los errores de centrado, y de medición de altura. Finalmente, active la opción Procesar en UTM y configure el sistema de proyección mediante el botón **Sistema ref.**

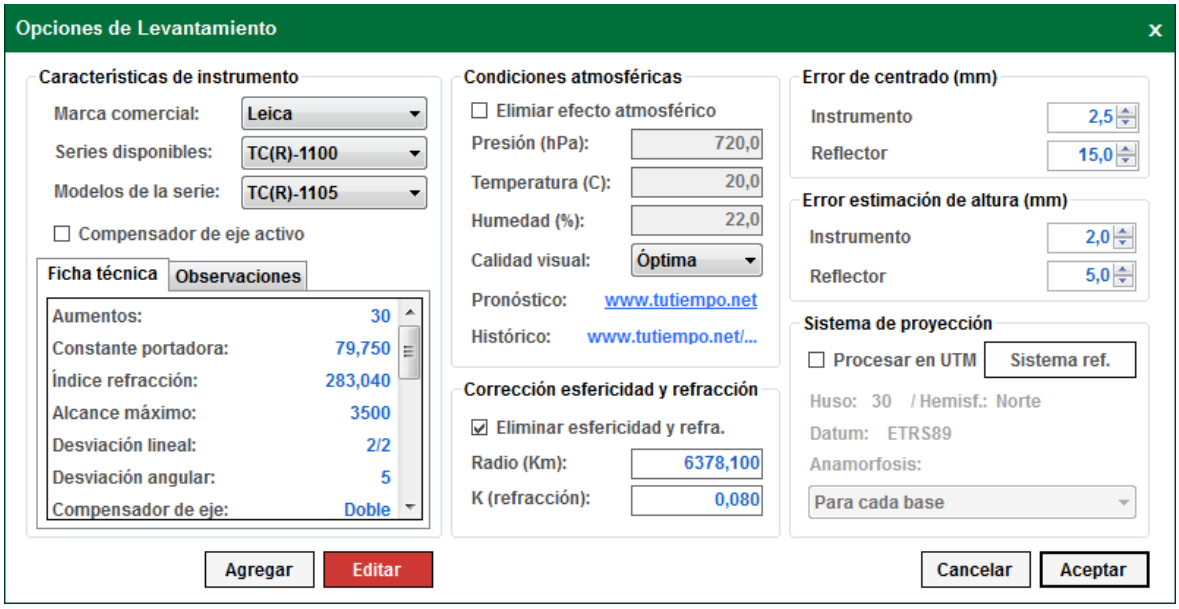


Fig. 49. Configuración de levantamiento

4. Acceda a Radiación de puntos. Vea las desviaciones estándar. En planimetría, como máximo, llegan a poco menos de ±40mm. Sin embargo, en Z algunas no son muy aceptables. Esto se debe a que las bases 4000, 5001y 6000 tienen una incertidumbre posicional en Z bastante elevada, lo que ocasiona una propagación de la desviación casi en la misma magnitud.

Recuerde que, una vez aceptada, podrá exportar el listado a un fichero de texto (TXT, CSV, XLSX, etc.) y también vectorial (DXF y KML).

En este ejercicio hemos experimentado cómo procesar una radiación en el sistema de proyección UTM y cómo obtener la incertidumbre de los puntos radiados. En los siguientes ejercicios aprenderá a gestionar ficheros de observaciones con diversos métodos topográficos.

Ejemplo 3. Gestionar un taquimétrico

Entenderemos por "taquimétrico" el conjunto de medidas que, una vez procesadas, definen la geometría de una parte del terreno. En este sentido, hablamos de un conjunto de observaciones topográficas que pueden contener varios métodos topográficos.

Por ejemplo, imagine que tiene que medir una zona más o menos extensa. Para ello, debe ubicar una serie de bases, por ejemplo, a través de una poligonal. Quizás, también algunas bases adicionales mediante otros métodos, como las intersecciones o bisecciones. Finalmente, debe radiar la zona desde estas bases. Imagine ahora que todo esto lo hace en un mismo trabajo de campo, almacenando los datos en el mismo fichero de la estación total (dando igual si lo hace en una misma jornada o en varias).

El resultado de este trabajo podría ser un fichero que contuviera:

- Observaciones de poligonal.
- Observaciones de intersecciones inversas.
- Observaciones de intersecciones directas.
- Observaciones de bisecciones inversas.
- Observaciones de radiaciones.

Y de otro fichero con las coordenadas de las bases y referencias de partida.

Esta forma de trabajar requiere cierta pericia por parte del topógrafo. En este supuesto el topógrafo tiene que haber realizado un estudio de la zona que va a medir y haber realizado un *plan de medición*.

El *plan de medición* consiste en hacer un esquema del proceso de trabajo que el topógrafo llevará a cabo en la medición. Por ejemplo, el topógrafo comenzará observando tres vértices geodésicos para iniciar una poligonal. A medida que va estacionándose en cada base de la poligonal, para tomar las observaciones que luego compensará, va radiando los puntos del entorno. Quizás, en algún momento de la medición, decide hacer una bisección inversa, saliéndose del itinerario y estacionándose en una nueva base externa. Desde ella observa varias bases de la poligonal, que aún no ha compensado pero que sabe que conocerá una vez compensada la poligonal. Y además radia desde ella una serie de puntos del entorno.

Este hipotético ejemplo contiene el siguiente *plan de medición*:

- Comienzo de trabajo mediante una intersección inversa, para anclar las coordenadas a la red geodésica del país.
- Establecimiento de una poligonal y, simultáneamente, radiación de puntos desde las bases.
- Estacionamiento independiente a la poligonal para densificar una zona; método de bisección inversa y radiación de puntos desde este posicionamiento.

El topógrafo sabe que, aplicando este proceso, conseguirá la representación de la totalidad de la zona, quedando además establecida una red de bases.

Introducción del ejemplo

Supongamos que un topógrafo debe realizar el levantamiento de una extensión que abarca unos 200.000m^2. Como datos de partida sólo dispone en la zona de tres posiciones conocidas (Fig. 43). En dos de ellas (ubicados al *este*) se conocen sus coordenadas XYZ, estando expresadas en UTM, datum ETRS89. Estos dos puntos se establecieron con GPS en trabajos anteriores. Del tercero (ubicado al *oeste*) sólo se conoce su cota (ya que se deriva de un punto de nivelación de una red local, cuya posición XY no es lo suficiente precisa como para utilizarla como elemento de referencia, pero sí su cota).

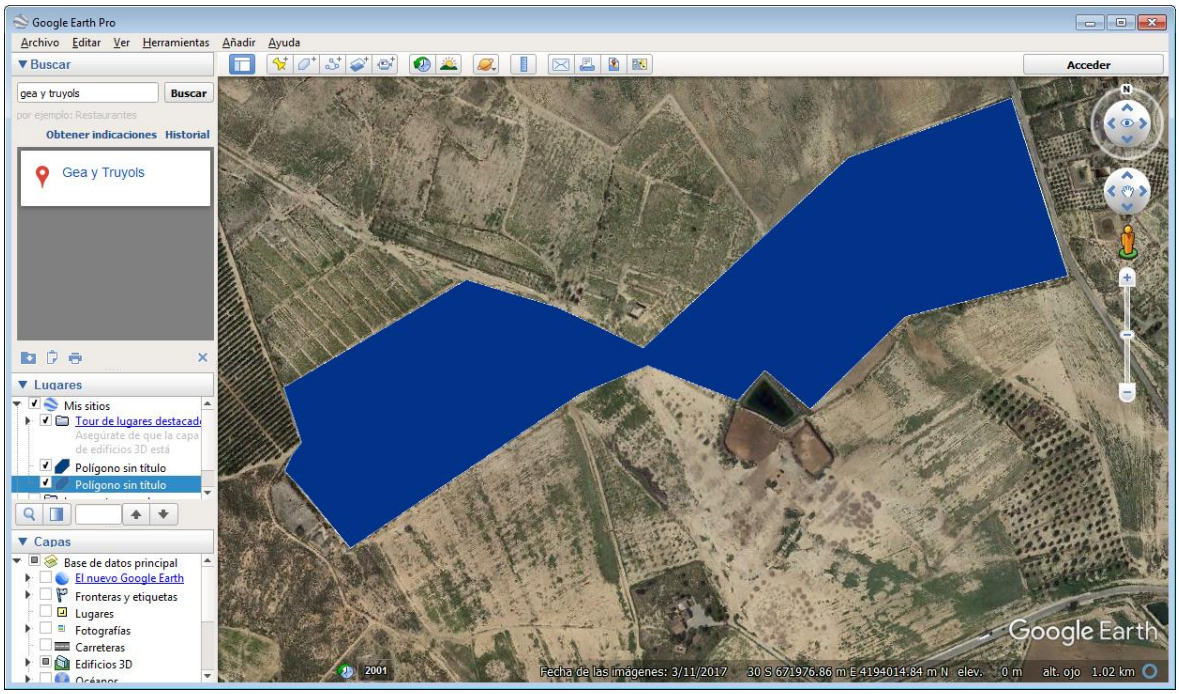


Fig. 50. Zona del levantamiento (fichero ZonaMedicion.kml)

Según estos datos, y sabiendo que en el entorno hay varios vértices geodésicos visibles, el topógrafo ha realizado el siguiente *plan de medición*:

- Fase 1: Iniciar el trabajo con una intersección inversa efectuada sobre el punto ubicado al Oeste, empleando para ello los vértices geodésicos de la zona.

- Fase 2: Arrancar la poligonal desde la posición anterior y prolongarla hasta uno de los dos puntos de coordenadas conocidas (el segundo se utilizará como referencia angular para cerrar la poligonal).
- Fase 3: Ya que la extensión de la zona *este* es más amplia, en vez de zigzaguear la poligonal, para así abarcarla, establecerá dos bases. Una por intersección directa, observándola desde dos bases de la propia poligonal, y durante la observación de ésta. Y otra base mediante bisección inversa, una vez finalizada la poligonal, y utilizando varias bases de la misma.
- Fase 4: Simultáneamente, desde cada base de la poligonal, de la intersección inversa, y de la bisección inversa, se radiarán todos los puntos de interés (perímetro de las extensiones y puntos de relleno).

Las variables de contorno son las siguientes:

- Estación total: Leica TPS1203+
- Error de centrado instrumento: ±1.5mm
- Error de centrado de jalón: ±2mm en poligonal e intersecciones y bisecciones (por utilizar un trípode y plataforma nivelante), y ±10mm en radiación.
- Error estimación altura: ±2mm en instrumento, ±2mm en jalón (±5 en radiación). Tolerancia altimétrica; error kilométrico asumible de ±8mm.
- Compensador activo sólo en el establecimiento de bases (es decir, en las observaciones de la poligonal y en las intersecciones y bisecciones, pero no en la radiación).
- Presión y temperatura medias: 1020 hPa y 23ºC (calidad de visual: óptima)
- Humedad media: 75%.
- Coeficiente de refracción: 0.08 (España).
- Datum: ETRS89
- Hemisferio: Norte
- Huso: 30
- Zona: Municipio de Murcia (España)

El listado de campo (truncado en este enunciado dada su extensión) es el siguiente:

Base	Visado	Hz	V	Dg	Hp	Ha	Código
1000	93442	216.5164	110.5548	0.000	1.350	1.344	La Loma
1000	93430	294.4799	104.8732	0.000	1.350	1.344	Los Santiagos
1000	93433	26.0722	108.5547	0.000	1.350	1.344	El Puntal
1000	93445	110.0696	110.0254	0.000	1.350	1.344	Columbares
1000	2000	160.5667	100.3351	113.955	1.300	1.344	Poligonal
1000	1	273.4006	103.6353	13.357	1.350	1.344	R
1000	2	118.9394	104.1253	12.853	1.350	1.344	R
1000	3	97.3099	102.6126	11.440	1.350	1.344	R
… (continúa)							

93430, 93442, 93433 y 93445 son vértices geodésicos ubicados en el entorno. Los número y nombres oficiales de estos vértices los asignó el topógrafo a los atributos Visado y Código

(tal y como podemos ver en el listado anterior). Aprovechando estos datos obtendremos sus coordenadas a través del Explorador geodésico de GeMe.

Las coordenadas del resto de puntos conocidos (las dos posiciones al *este*, y la posición al *oeste*, de la cual sólo se conoce su cota) son:

Base	X UTM	Y UTM	Z	Código
5000	672399.932	4194308.263	198.720	Inversa
5555	672426.496	4194188.851	198.040	Base
1000	--	--	199.998	Nivelada

Ya que desde la posición 1000 (inicio del itinerario, cuya posición XY es desconocida) son visibles los cuatro vértices geodésicos, más una de las bases conocidas (quedando la visual a la segunda base oculta por una construcción), el topógrafo decidió observar estas cinco posiciones para resolver la intersección inversa sobre 1000.

En este ejercicio utilizaremos casi todo el potencial que nos ofrece el programa. Dado que resolveremos muchos métodos distintos, crearemos un proyecto.

RECUERDE:

Un proyecto, además de almacenar todos los datos de visuales y bases, también contiene las configuraciones establecidas en Opciones de Levantamiento y Configuración General.

Como paso previo a la resolución de las distintas fases siga estos pasos:

1. Cree un nuevo proyecto a través del primer icono de la pestaña ARCHIVO. A continuación, rellene los campos de la ventana Nuevo Proyecto, tal y como sigue. Guarde el fichero de proyecto como `Taquimetria.prg`.

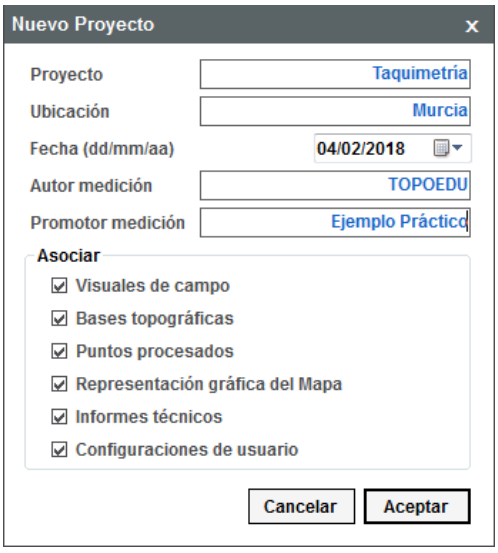


Fig. 51. La creación de proyectos ayuda a unificar datos

Para resolver la Fase 1 seguiremos los siguientes pasos:

2. Acceda a Opciones de Levantamiento. A continuación, configure las variables de contorno del enunciado, que utilizaremos para resolver la intersección inversa, la poligonal, la intersección directa y la bisección inversa.

Fig. 52. Condiciones de medición

La forma de proceder en este caso sería la siguiente:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 7. Radiación/Ejemplo 3***:

Radia_3_Obs_C.txt
Radia_3_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `Radia_3_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `Radia_3_Bases_XYZ.txb`.

Ahora haremos uso del Explorador Geodésico para localizar los vértices geodésicos de la red zona de medición, utilizados en las observaciones.

3. Acceda al menú Geodesia y haga clic en el icono Vértices geodésicos de España.
4. La búsqueda de vértices se realiza sobre el territorio **Península y Baleares** (podrá verlo así seleccionado en el desplegable Territorio). En Vértice seleccione **Todos** para realizar una búsqueda en las dos redes disponibles (ROI y REGENTE). Verifique que el datum de búsqueda es **ETRS89**. En Filtro elija **Ubicación**. En Comunidad Autónoma, Provincia y Municipio seleccione **Murcia**.
5. Pulse el botón **Buscar**.

En el pequeño plano gráfico verá todos los vértices de la provincia Murcia, de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (España). En color azul oscuro vienen representados los vértices geodésicos de la red ROI, y en cian los de la red REGENTE. En total se muestran 20 vértices disponibles.

Seleccione los 4 vértices mencionados en el enunciado, activando la casilla de la primera columna (fíjese en la figura). Al hacerlo, y actualizar la selección abandonando con el cursor el listado, verá los vértices seleccionados en el pequeño plano. Si pasa el cursor sobre cualquiera de estos vértices visualizará sus datos más importantes. Recuerde que en la última

columna tiene los accesos URL a las reseñas oficiales. Para acceder a ellos basta con hacer doble clic sobre la URL.

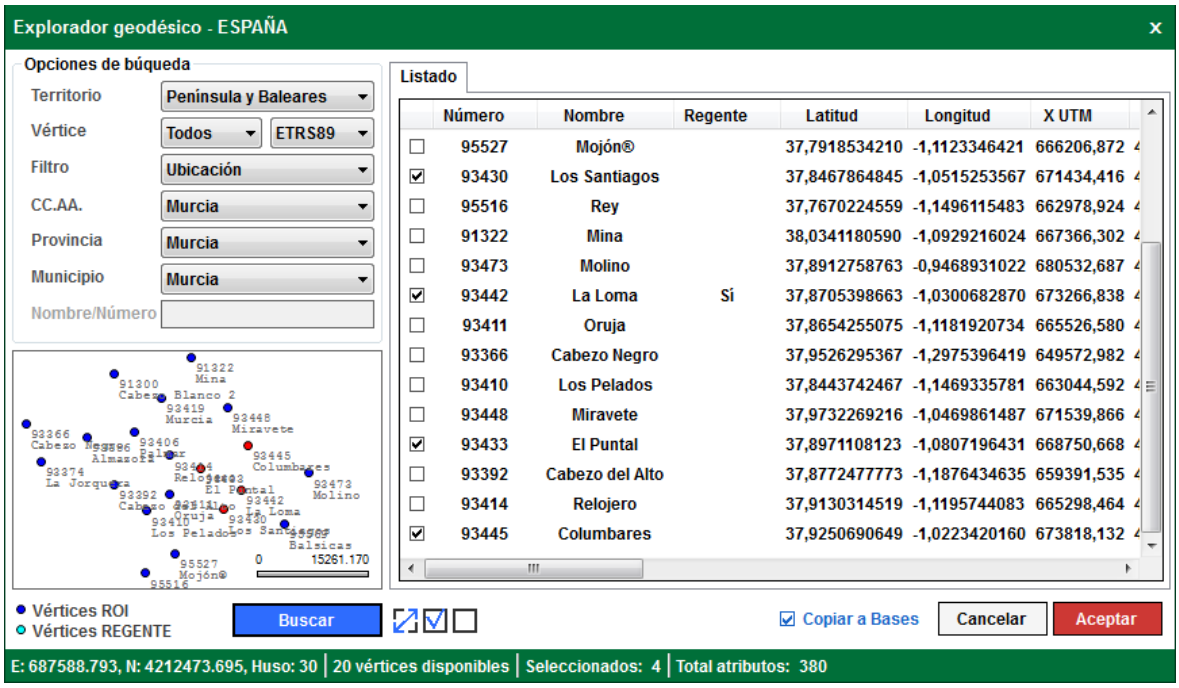


Fig. 53. Selección de posiciones geodésicas

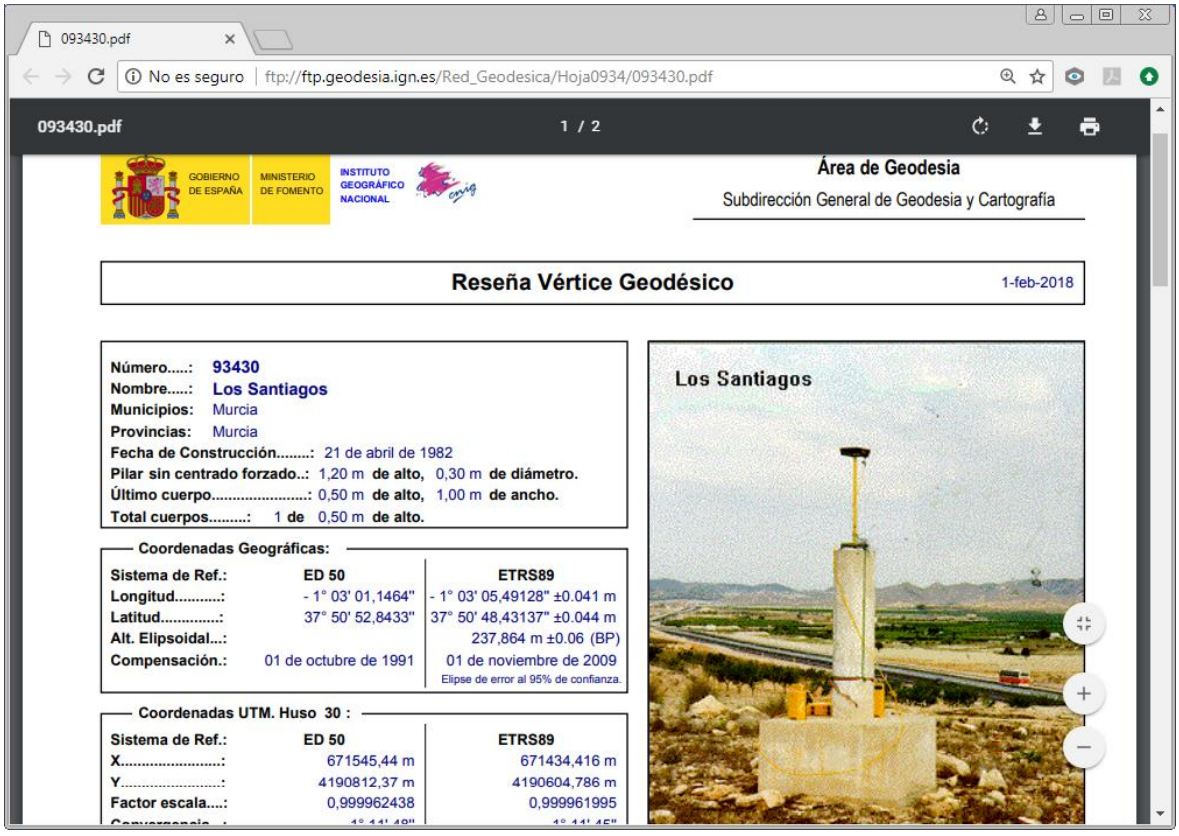


Fig. 54. Reseña oficial de un vértice

6. Acepte la selección de vértices.

7. Acceda a Intersección inversa y pulse directamente **Calcular**, ya que la solución buscada de este punto es planimétrica (puesto que conocemos la cota del punto).

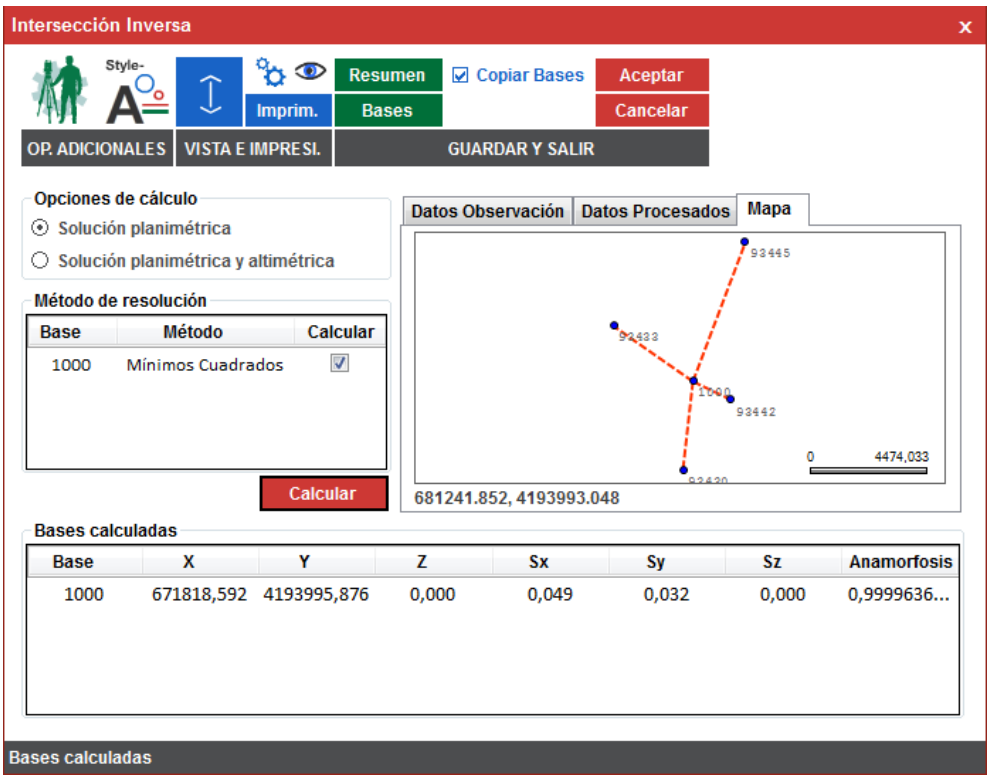


Fig. 55. Cálculo de la intersección inversa

8. En la pestaña Bases Topográficas seleccione la base 1000 y pulse **Intro**. A continuación, cambie la cota de la base (0,000) por 199,998. Pulse **Actualizar**.

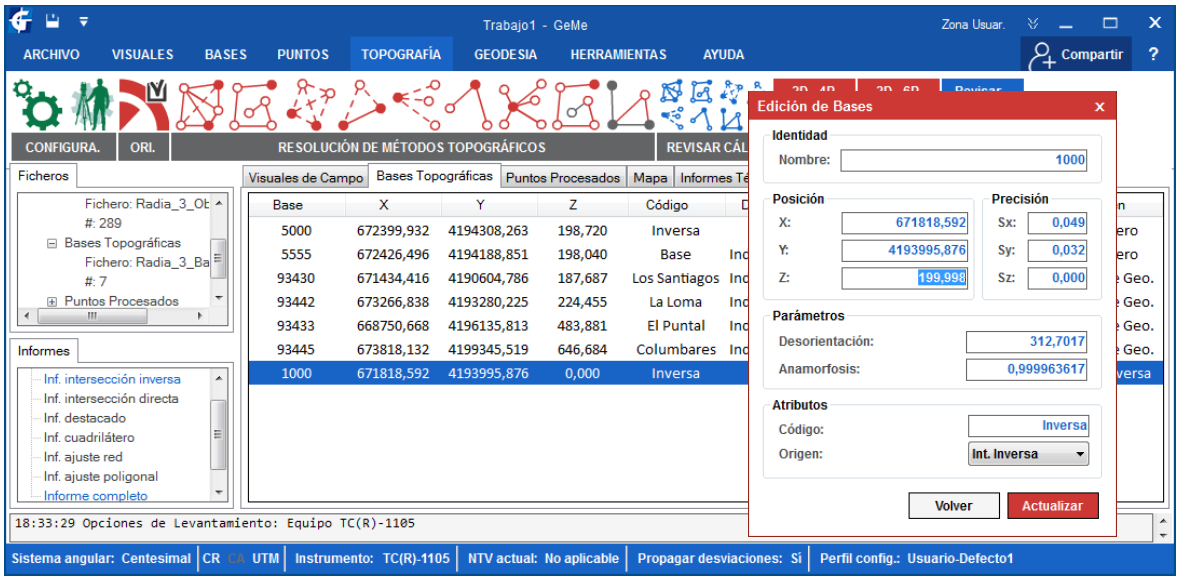


Fig. 56. Edición de una base

La Fase 1 está completada pues ya disponemos de las coordenadas XYZ de la base 1000, hallada XY por intersección inversa, y Z por asignación directa.

Para resolver la Fase 2, ajuste de poligonal, continúe con los siguientes pasos:

Lo primero que haremos será averiguar si los errores de cierre son tolerables o no. En este tipo de trabajos, donde existen posteriores métodos topográficos que apoyan en las bases de la poligonal, resulta fundamental comprobar que los errores de cierre son aceptables. Ante una falta de criterio técnico impuesto, utilizaremos las precisiones que nos ofrece la estación total para este trabajo.

9. Vaya a Configuración General y acceda a la pestaña Advertencias. Active Advertir antes de compensar si los errores de cierre no son tolerables. Aproveche para observar en la pestaña Métodos topográficos, que el error kilométrico ya es de ±8mm.
10. Acceda a Ajuste de poligonal. Acepte la secuencia pulsando el botón **>>**.
11. En Análisis de poligonal fíjese en los errores de cierre de la pestaña Resumen, y en los errores de la pestaña Errores teóricos. Como se puede comprobar, los errores de cierre angular y lineal son tolerables ya que GeMe no emitió aviso alguno. Pulse **Compensar**.

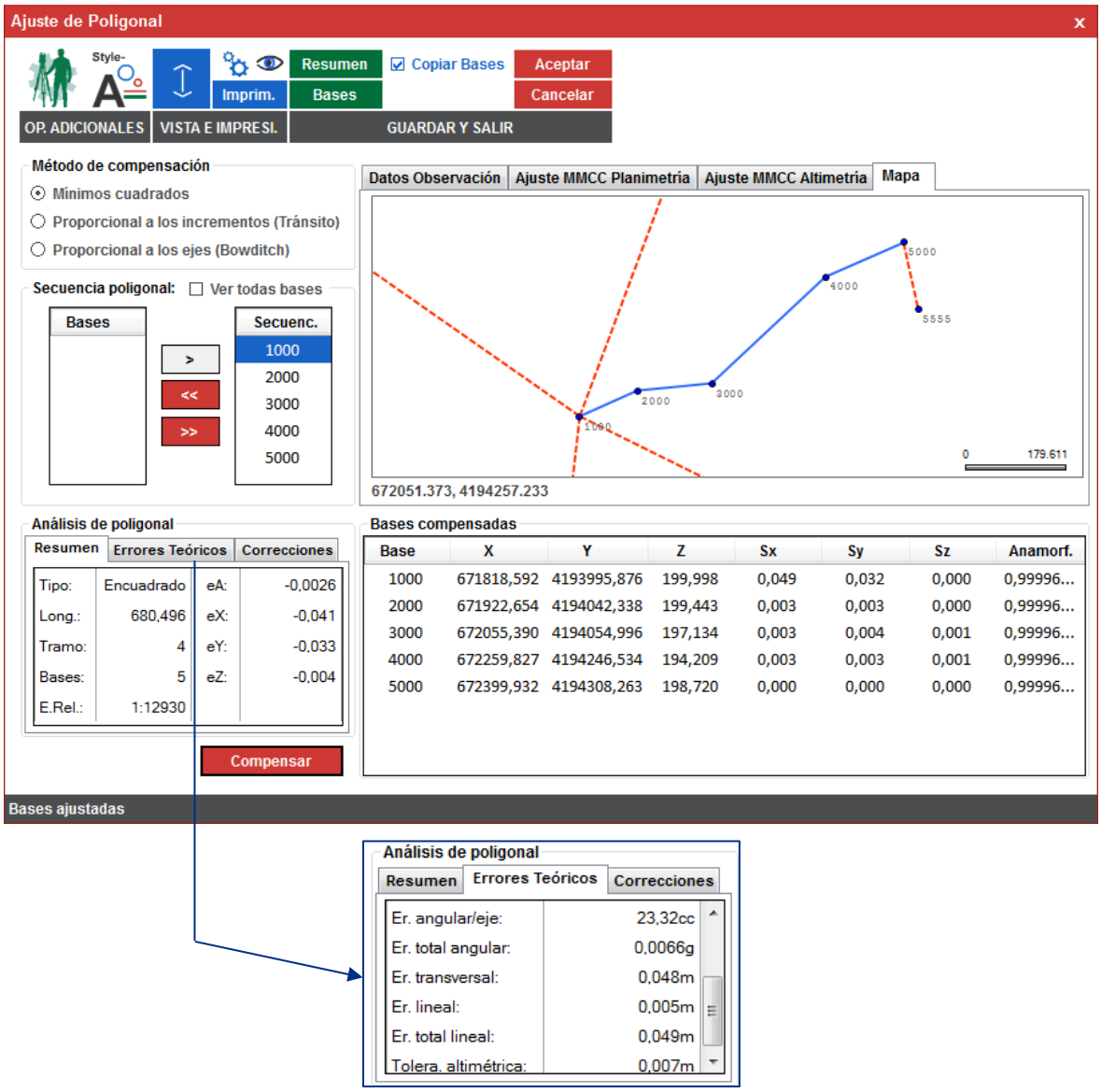


Fig. 57. Comparativa de errores experimentales y teóricos

El error de cierre angular experimental fue de -0,0026^{g} y, según la teoría de errores, nos hubiera permitido hasta ±0,0066^{g}. Por su parte, el error lineal experimental (tomando el mayor de los dos) es de -0,041m, cuando el teórico nos permite hasta ±0,049m. Finalmente, el error experimental en altimetría es de -0,004m, cuando la tolerancia altimétrica es de ±0,007.

Para resolver la Fase 3, consistente en una intersección directa y una bisección inversa, continúe con los siguientes pasos:

12. Acceda a Intersección directa. La intersección realizada sobre la base 1300 se resolverá mediante una intersección angular ya que en ella tan sólo han participado dos observaciones. Active Solución planimétrica y altimétrica y pulse **Calcular**. Pulse **Aceptar**.

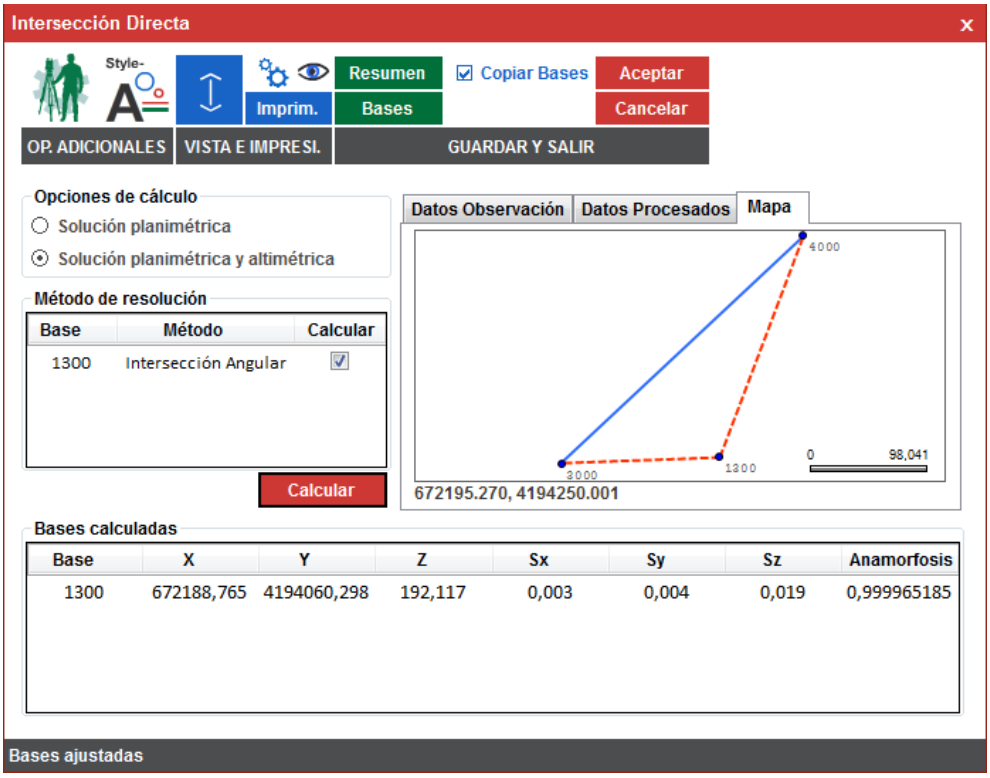


Fig. 58. Resolución de una intersección directa

13. Acceda a Bisección inversa. En esta ocasión, ya que desde la base 6000 se observaron hasta 4 bases, la solución se hallará mediante el método de mínimos cuadrados. Active Solución planimétrica y altimétrica y pulse **Calcular** y **Aceptar**.

Con estos pasos queda concluida la resolución de los métodos de la Fase 3.

Si recuerda del enunciado, la Fase 4 nos dice que el topógrafo radio los puntos desde las bases del itinerario en el mismo momento de realizarlo. También se radiaron puntos desde la base sobre la que se hizo una intersección directa (estacionando en ella una vez finalizada la poligonal), y finalmente desde la base que realizó una bisección inversa (estacionando en ella una vez finalizada la radiación desde la base anterior).

14. Este sería un buen momento para salvaguardar los datos. Puse **Ctr+Alt+T** o acceda a Guardar proyecto (segundo icono, por la derecha, en la pestaña ARCHIVOS).

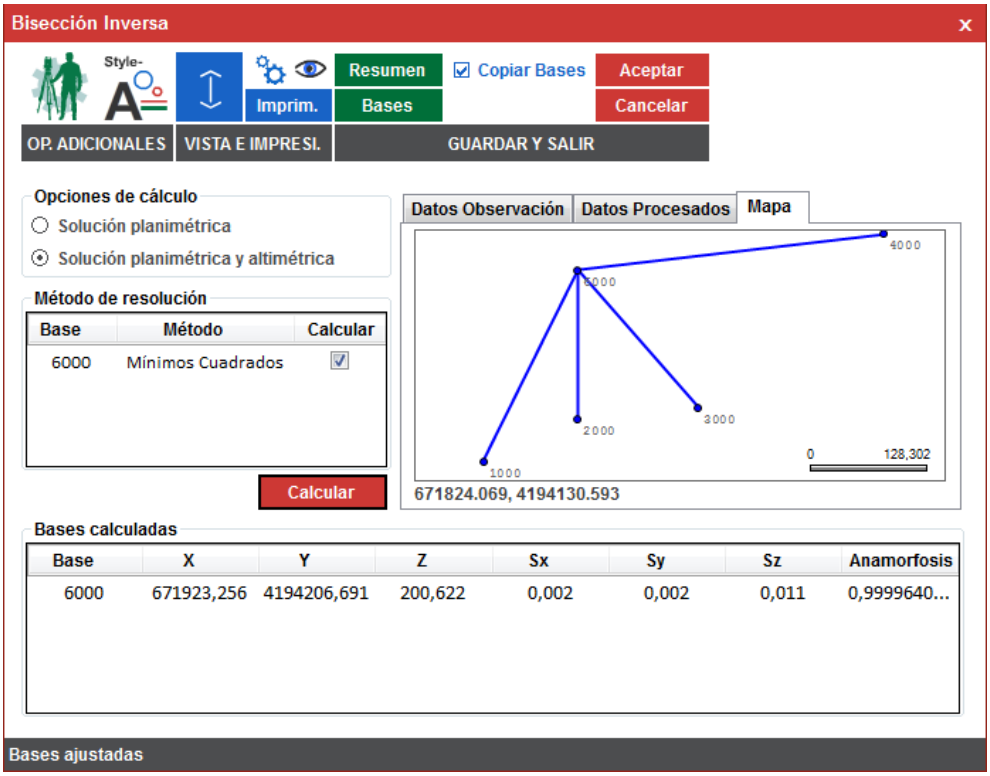


Fig. 59. Resolución de una bisección inversa

Para obtener las coordenadas de todos los puntos radiados siga los siguientes pasos:

15. Acceda a Opciones de Levantamiento para desactivar la opción Compensador de eje activo y para establecer los nuevos errores de centrado del prisma (±10mm).
16. Acceda a Radiación de puntos. En la pestaña Listado y Mapa verá todos los puntos radiados. Acepte finalmente.

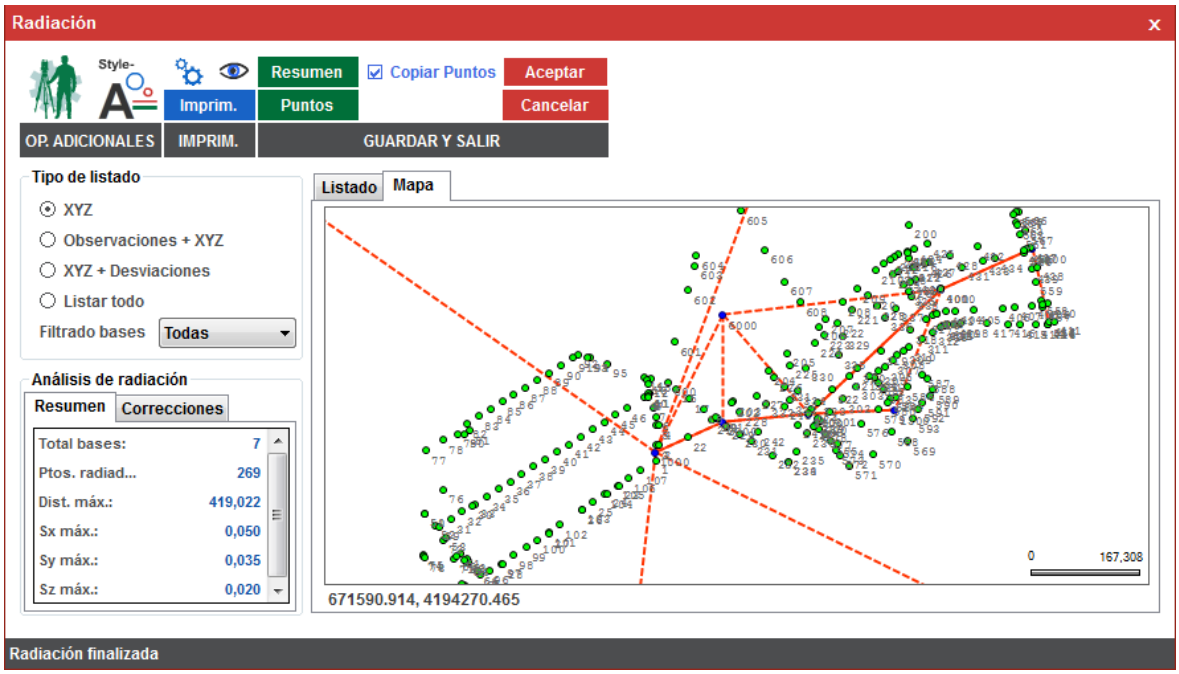


Fig. 60. Representación de los puntos radiados junto a las bases y sus visuales

Fíjese ahora en la sección Análisis de radiación. Aquí puede ver las incertidumbres posicionales de los 269 puntos radiados. Como vemos, todos los puntos han sido capturados planimétricamente con gran precisión, rondando los ±50mm en el mayor de los casos. En altimetría, ronda los ±20mm. En la pestaña Correcciones puede consultar también todas las correcciones y reducciones aplicadas.

Con esto quedaría resuelta la Fase 4. Ahora podrá realizar varias gestiones:

- De forma gráfica, pasando el cursor sobre cualquier elemento (punto o base), para consultar sus desviaciones estándar y coordenadas.
- Revisar los cálculos de cualquier método topográfico mediante las opciones de la sección Revisar (menú Topografía).
- Generar informes técnicos, parciales o completos. Realizar informes de tolerancias.
- Exportando los resultados a múltiples formatos (listados de bases y/o puntos), y también de forma gráfica, por ejemplo, a AutoCAD o Google Earth.

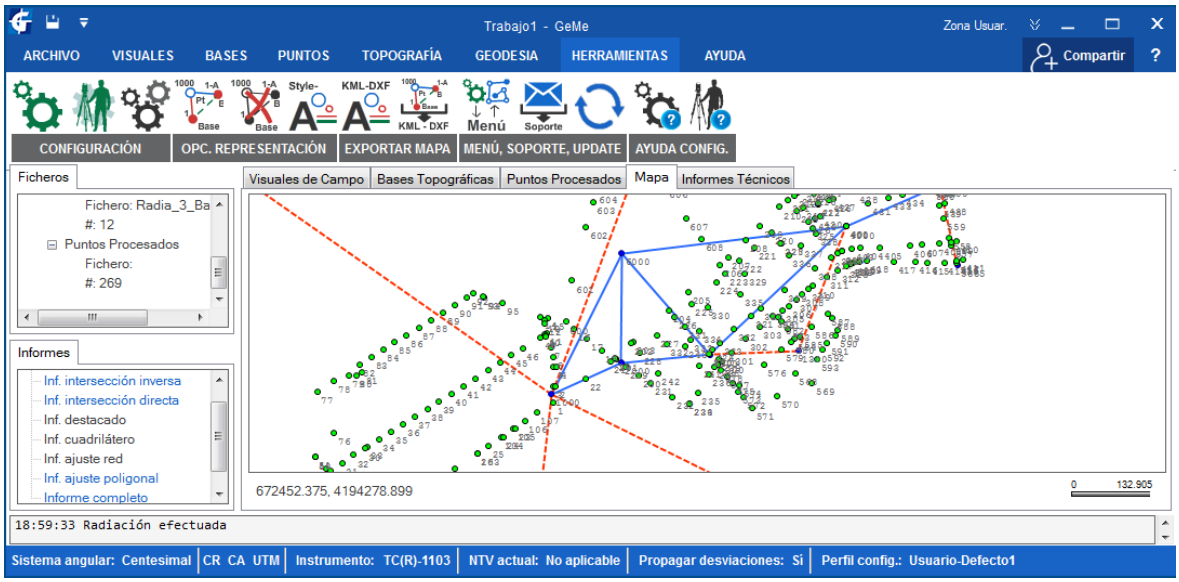


Fig. 61. Solución final del taquimétrico

17. Acceda a la pestaña Informes Técnicos y genere un informe completo. Expórtelo a Word.

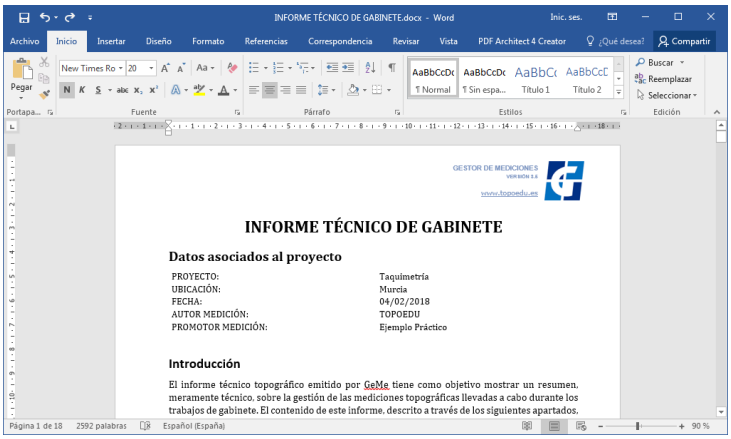


Fig. 62. Informe técnico de gabinete de 16 páginas

18. Una vez revisado el informe, vaya al menú HERRAMIENAS y pulse el icono Exportar mapa a KML/DXF. Guarde como **KML** y acepte la ventana Sistema de referencia. Si tiene instalado Google Earth, diga que sí cuando le pregunte si desea abrir el fichero. Guarde también como **DXF**.

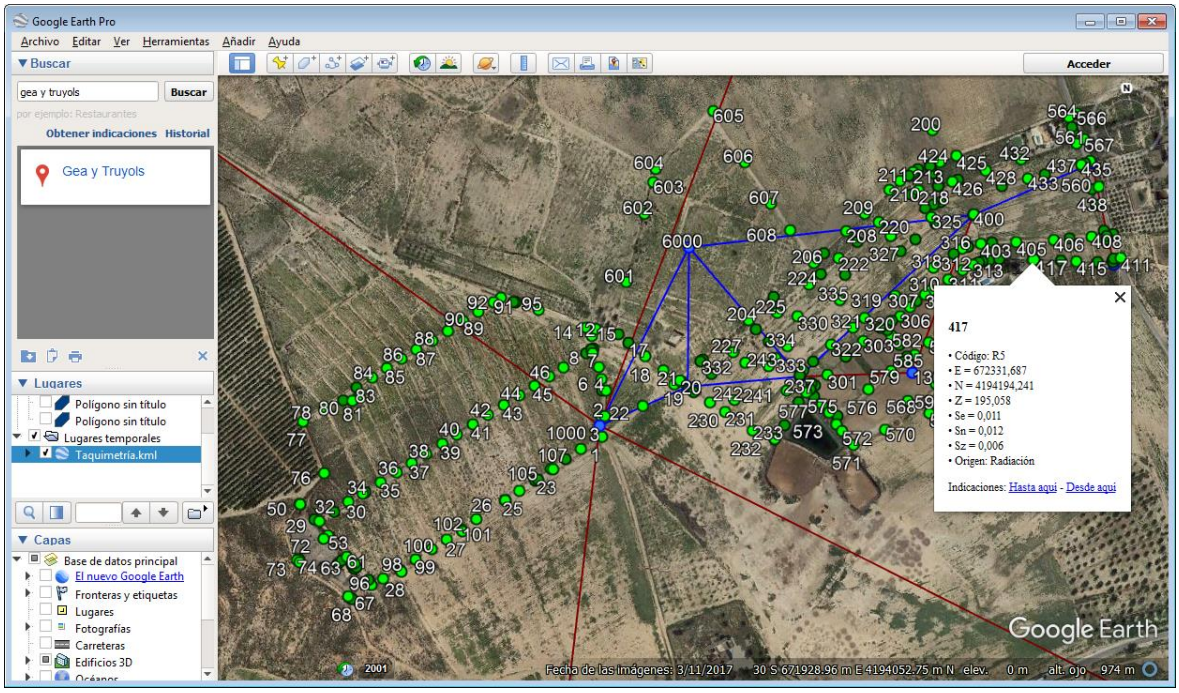


Fig. 63. Solución exportada a Google Earth y recreada con las visuales

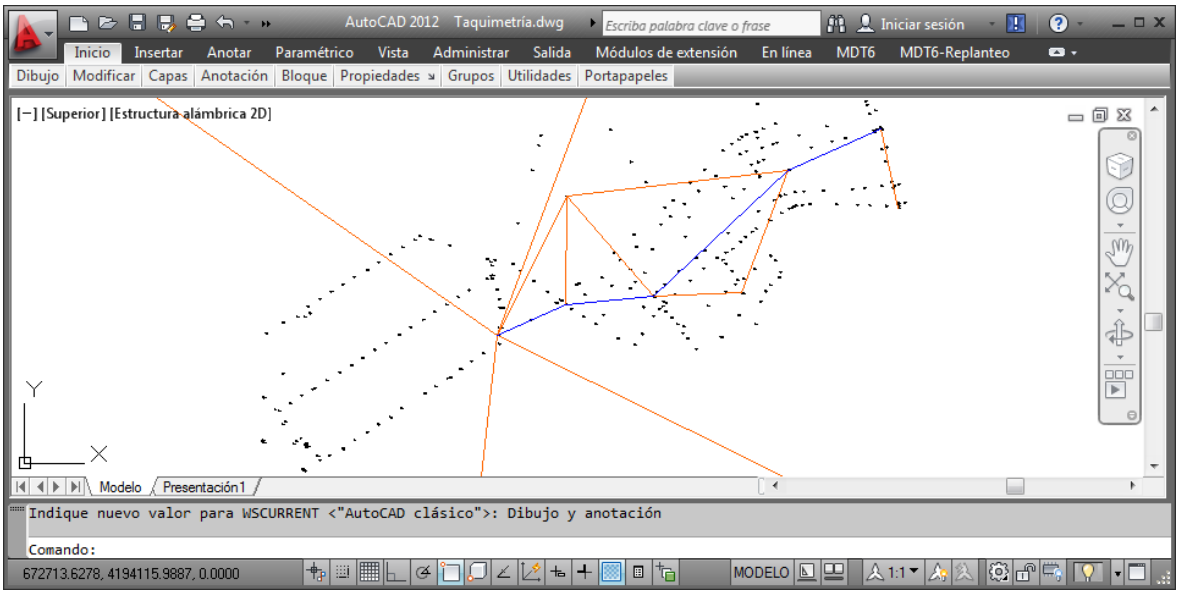


Fig. 64. Representación en AutoCAD

En este fantástico ejercicio, de gran contenido técnico, hemos comprobado lo sencillo que resulta procesar un taquimétrico en su totalidad. Hemos resuelto varios métodos topográficos, englobando todos los datos en un fichero de proyecto. Hemos comprobado lo cómodo que resulta paralizar el trabajo técnico con GeMe. Además, hemos supervisado los errores de cierre, y controlada la componente posicional. Utilizando para ello las condiciones de contorno, que además hemos actualizado a mitad del ejercicio.

También hemos empleado el Explorador geodésico para extraer posiciones utilizadas en el trabajo de campo. Hemos realizo exportaciones a los formatos más empleados, incluyendo KML de Google Earth, permitiendo el flujo de resultados hacia personal de perfil no técnico, y DXF. También hemos generado un informe técnico muy completo.

Sin duda, ningún otro software de topografía le permitirá dar solución a un planteamiento como este, ni gestionar tal cantidad de información. Le animo a intentar resolver este mismo ejercicio con su viejo programa de topografía; probablemente no podrá resolverlo con los mismos métodos, ni resultados, ni conocerá la precisión de bases y puntos, y por supuesto, no tardará tan poco tiempo en hacerlo, ni podrá generar informes de trabajo tan completos.

Capítulo 8. Estimación de poligonal colgada

Este capítulo muestra la metodología de procesamiento de poligonales colgadas. Es decir, aquellas sobre las que no se pueden aplicar ajustes como los detallados para poligonales encuadradas o cerradas.

En este capítulo aprenderá a:

- Gestionar una poligonal colgada.
- Conocer una estimación de los errores de cierre de la poligonal.
- Conocer la incertidumbre posicional de las bases.

Introducción

Una poligonal colgada no forma parte de los métodos clásicos topográficos. Una poligonal colgada es el caso de una poligonal que, por su naturaleza, no es posible aplicar un ajuste por mínimos cuadrados o cualquier otro método. Esta poligonal carece de referencias de cierre por lo que no es posible estimar el error de cierre angular y lineal.

Si embargo, y Gestor de Mediciones ofrece, como herramienta totalmente pionera en un software de topografía, una metodología para calcular las coordenadas de las bases de una poligonal colgada, junto al error teórico (basado en las precisiones del instrumento y en las propiedades de la poligonal, como su longitud y número de tramos). Estos errores teóricos nos pueden servir como referencia ya que, recordemos, no disponemos de otros estadísticos para apoyarnos. Además, el programa aplicará la Ley de Propagación de Varianzas y Covarianzas para determina la incertidumbre posicional de las bases que vaya calculando. De esta forma, sabrá la calidad de las coordenadas que está calculando.

El método de estimación de poligonales colgadas está indicado para aquellos casos donde no pueda aplicar otro método u otro tipo de poligonales (como las encuadradas y cerradas). Por ejemplo, en obras subterráneas de naturaleza lineal.

Ejemplo 1. Estimación de una poligonal colgada

El siguiente listado contiene los datos de una poligonal colgada. En este trabajo, se parte de una posición conocida, y una referencia, pero finaliza en una posición desconocida y sin otras referencias en las que apoyarse.

El trabajo se realizó con un Topcon GTS225 y errores de centrado normales.

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 8. Pol. colgada/Ejemplo 1***:

PolCol_1_Obs_C.txt
PolCol_1_Bases_XYZ.txt

1. En la pestaña VISUALES, importe el fichero `PolCol_1_Obs_C.txt`.
2. En la pestaña BASES, importe el fichero `PolCol_1_Bases_XYZ.txb`.
3. Acceda a Opciones de Levantamiento y configure los mismos parámetros que la siguiente imagen (fíjese en que el compensador de ejes no estaba activo).
4. En la sección TOPOGRAFÍA, haga clic en el icono Estimación de Poligonal Colgada.

Este comando activará una ventana similar a la vista anteriormente para el ajuste de poligonales, pero con algunas diferencias significativas.

RECUERDE:

Consulte el manual de usuario para obtener más información sobre los comandos de la ventana Estimación de Poligonal Colgada.

Fig. 65. Configuración Opciones de Levantamiento

5. En este trabajo, el topógrafo no orientó el instrumento, por lo que desactivaremos la opción Base orientada. Sí mantendremos activadas las otras dos opciones.

6. La secuencia de la poligonal es 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000, 20000, 30000, 40000, 50000, 60000, y 70000. Para establecerlas, vaya simplemente pulsando el botón > hasta que la base 70000 pase a la columna Polig.

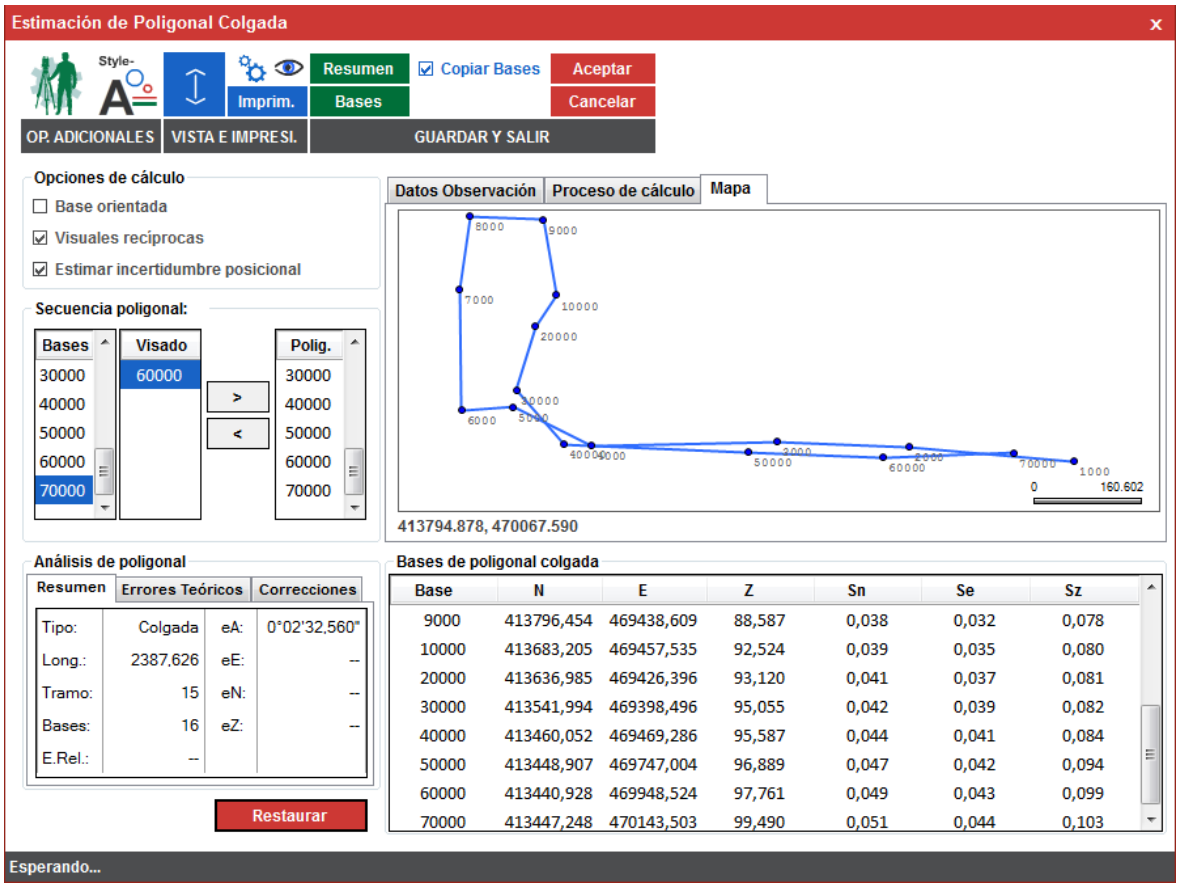


Fig. 66: Estimación de poligonal colgada

Podrá ver que, en tiempo real, se ha ido calculando la poligonal, mostrando las coordenadas de la base, junto a su incertidumbre posicional. Fíjese que esta incertidumbre irá progresivamente creciendo. Sin embargo, a pesar de los casi 2,5Km de itinerario, estos valores se muestran relativamente bajos (al menos en planimetría).

En la sección Análisis de poligonal podrá ver, entre otros datos, el error angular acumulado (en este caso el teórico) en el parámetro eA.

Ya puede aceptar la ventana y exportar y generar un reporte si lo desea.

Capítulo 9. Transformaciones

En este capítulo practicaremos la transformación de puntos y bases. A través de los siguientes ejercicios aprenderemos a:

- Gestionar puntos de control; insertar, editar y exportar e importar.
- Utilizar los métodos de resolución; regla de Cramer y mínimos cuadrados.
- Calcular parámetros de transformación para los distintos métodos.
- Generar reportes sobre el método de transformación.
- Exportar parámetros de transformación.
- Transformar puntos y bases durante el proceso de resolución de parámetros, y posteriormente a él.
- Utilizar la precisión de los puntos de control en el cálculo de los parámetros de transformación. Algo inédito en un programa de topografía.
- Obtener la desviación estándar de los puntos de control.

Introducción

La transformación de posiciones es un proceso ampliamente usado topografía. Principalmente para iniciar un trabajo en coordenadas arbitrarías y luego adaptarlo a un sistema distinto. En este capítulo aprenderá, de forma práctica, a procesar las distintas transformaciones incluidas en GeMe. También experimentará todo el potencial de este fantástico programa, con funciones y opciones que no verá en ningún otro.

Ejemplo 1. Transformación 2D conforme (4P). Regla de Cramer y mínimos cuadrados

En este ejercicio veremos cómo obtener los parámetros de una *transformación similar de 4 parámetros*. Para ello utilizaremos 2 puntos de control, resolviendo el sistema por la regla de Cramer, y luego añadiremos un tercer punto resolviendo por mínimos cuadrados. Finalmente, hablaremos de las diferencias entre usar uno u otro método.

El siguiente listado contiene las coordenadas XY de una poligonal ajustada, resuelta en un sistema arbitrario (por tanto, emplearemos el formato de coordenadas XYZ):

Base	X	Y	Código
1	959,393	951,858	Base
2	1000,000	1000,000	Base
3	1078,054	1024,629	Base
4	1145,631	962,361	Base
5	1108,833	905,344	Base

Los puntos 2, 3 y 5 son conocidos en el sistema destino, el cual es el sistema en el que se está realizando un trabajo topográfico.

Base	X	Y	Código
2	666166,870	4102530,657	Base
3	666138,738	4102452,544	Base
5	666023,563	4102501,073	Base

Para obtener los parámetros de transformación que convierten las posiciones del primer sistema, en posiciones del segundo, seguiremos estos pasos:

1. Acceda al menú de Topografía y pulse el botón **2D – 4P**.
2. Haga clic en el botón **Insertar**, lo que activará la ventana Punto de Control.

En este ejercicio utilizaremos hasta 3 puntos de control. Para cada uno debemos establecer sus coordenadas en el sistema inicial (Sistema origen) y en el sistema final (Sistema destino).

3. En el campo Número escriba 2. En la sección Sistema origen inserte las coordenadas del punto 2 expresadas el sistema arbitrario. Y en Sistema destino las coordenadas del mismo punto expresadas en el nuevo sistema. A continuación, pulse **Insertar**.

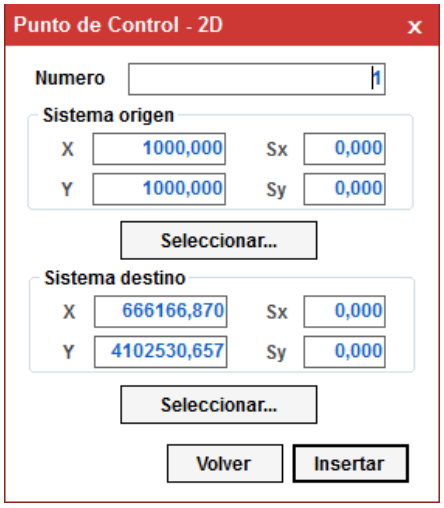


Fig. 67. Coordenadas de un punto de control

En este ejemplo no utilizaremos los campos Sx y Sy de las secciones Sistema origen y Sistema destino, ya que no conocemos las precisiones de los puntos de control. Por tanto, mantendremos los valores propuestos por defecto; es decir, nulos.

Cuando validamos la inserción de un punto de control sus coordenadas pasan al listado Sistema origen y Sistema destino, respectivamente, en la ventana Transformación bidimensional conforme (4 parámetros). Automáticamente aumenta el ordinal del campo Número (esto facilita la inserción de puntos consecutivos).

4. Repita el mismo proceso para la inserción el punto número 3.

RECUERDE:

La transformación de 4 parámetros utiliza un sistema de ecuaciones de 4 incógnitas. Por tanto, a partir de la inserción del segundo punto de control el programa halla solución del sistema (mediante la regla de Cramer), calculando los parámetros y mostrándolos en la sección Parámetros de transformación.

Tras insertar el segundo punto observará que la pestaña Parámetros de transformación muestra automáticamente la solución. Esta ha sido obtenida mediante resolución del sistema de ecuaciones a través de la regla de Cramer. El resultado es el siguiente:

```
TRANSFORMACIÓN BIDIMENSIONAL CONFORME (4P).
RESUMEN ANALÍTICO.
==============================

ax - by + c = X + vx
bx + ay + d = Y + vy

Solución del sistema lineal de ecuaciones.
--------------------------------------
a = -0,614965107
b = -0,806711051
c (Tx) = 665975,1241
d (Ty) = 4103952,3332
Rotación = 232,6813º
Escala = 1,014379023
```

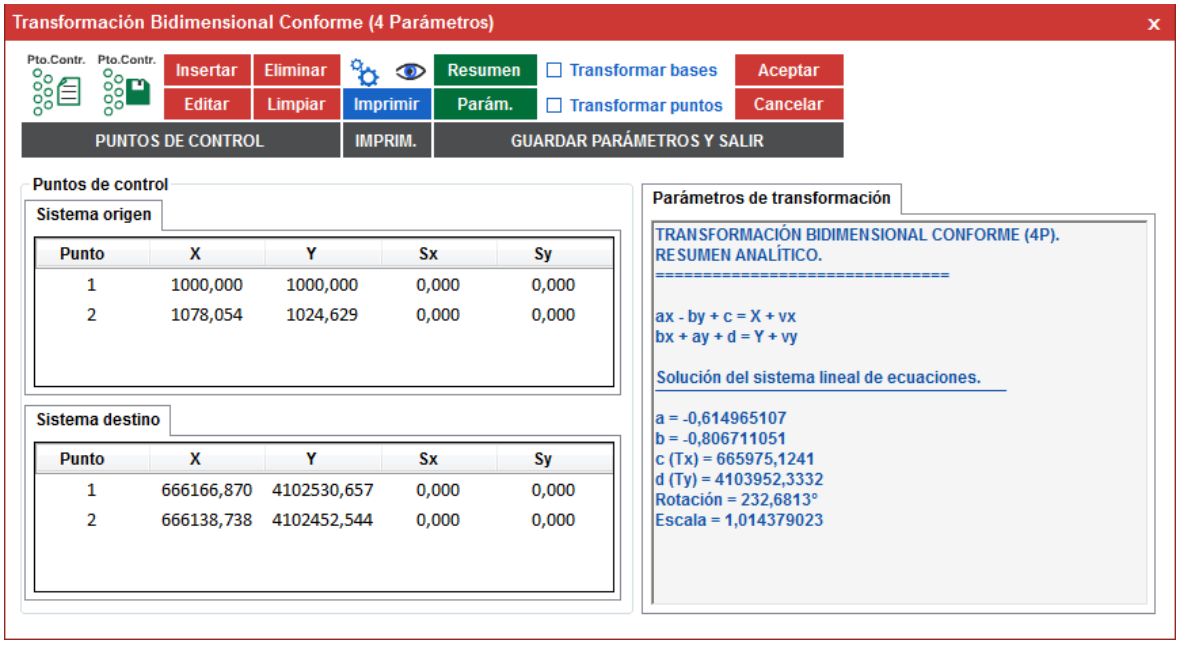


Fig. 68. Solución del sistema a través de 2 puntos de control

Como solución, se detallan los 4 coeficientes del sistema (a, b, c y d), así como el ángulo de rotación y el factor de escala.

5. A continuación, inserte las coordenadas del punto de control número 5 y pulse **Volver** para cerrar la ventana Punto de control.

Al utilizar un tercer punto de control (uno más que el mínimo necesario para resolver el sistema de ecuaciones) GeMe resuelve el sistema por mínimos cuadrados. En Parámetros de transformación verá todo el desarrollo matemático aplicado.

```
TRANSFORMACIÓN BIDIMENSIONAL CONFORME (4P).
RESOLUCIÓN POR MÍNIMOS CUADRADOS.
RESUMEN ANALÍTICO.
================================

ax - by + c = X + vx
bx + ay + d = Y + vy

Matriz J. Dim (6)x(4)
------------------------------------
  1000,0000   -1000,0000  1,0000  0,0000
  1000,0000    1000,0000  0,0000  1,0000
  1078,0540   -1024,6290  1,0000  0,0000
  1024,6290    1078,0540  0,0000  1,0000
  1108,8330    -905,3440  1,0000  0,0000
   905,3440    1108,8330  0,0000  1,0000

Matriz k. Dim (6)x(1)
------------------------------------
   666166,8700
  4102530,6570
   666138,7380
  4102452,5440
   666023,5630
  4102501,0730

Matriz Qxx. Dim (4)x(4)
------------------------------------
```

```
    0,0001     0,0000     -0,0747     -0,0687
    0,0000     0,0001      0,0687     -0,0747
   -0,0747     0,0687    146,7028      0,0000
   -0,0687    -0,0747      0,0000    146,7028

Matriz X. Dim (4)x(1)
-------------------------------------

        -0,6150
        -0,8068
    665975,1142
   4103952,4951

Matriz V. Dim (6)x(1)
-------------------------------------

    0,0004
    0,0044
   -0,0033
   -0,0040
    0,0029
   -0,0004

==============================
RESUMEN ESTADÍSTICO DEL AJUSTE
Grados de libertad = 2
Desviación estándar del ajuste = ±0,0052
Varianza de referencia del ajuste = ±0,000027

Parámetros de transformación:
-------------------------------------
a = -0,615038763 ±0,000043804
b = -0,806794934 ±0,000043804
c (Tx) = 665975,1142 ±0,0633
d (Ty) = 4103952,4951 ±0,0633
Rotación = 232,6809°
Escala = 1,014490388
```

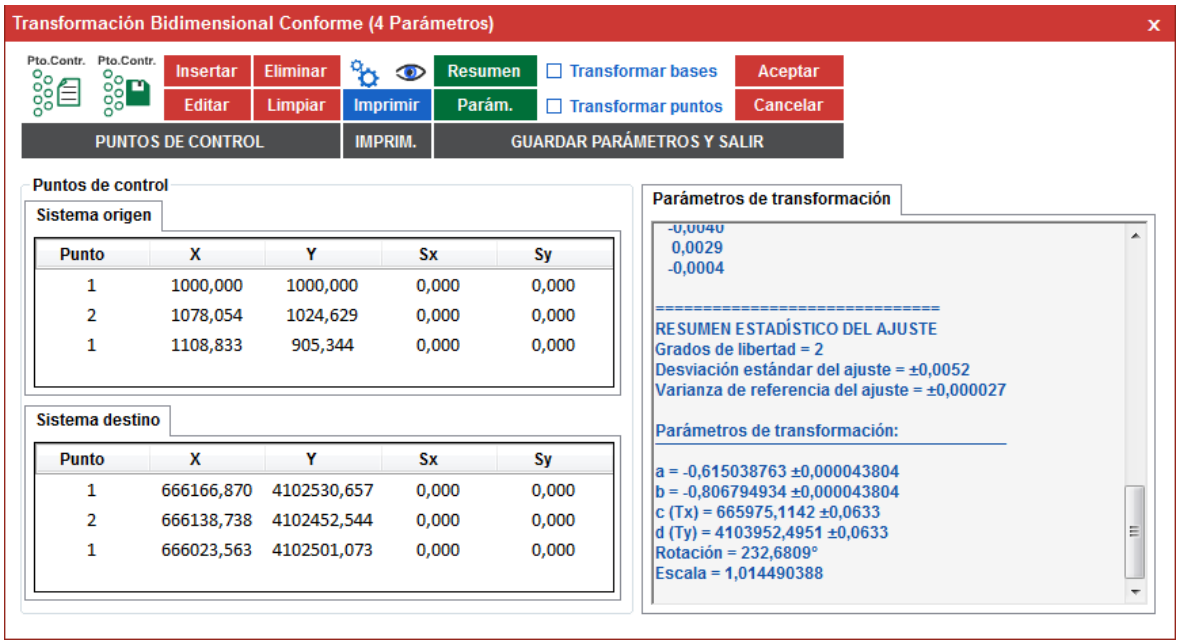


Fig. 69. Ajuste del sistema mediante mínimos cuadrados

Al final del resumen numérico tenemos los datos más significativos del ajuste, como son los grados de libertar, la desviación estándar y la varianza de referencia. Más abajo tenemos los

4 parámetros de transformación (a, b, c y d) acompañados de las desviaciones estándar. Finalmente se muestra el valor de rotación de los ejes del sistema inicial y la escala aplicada.

En la resolución por mínimos cuadrados de las transformaciones de 4 y 6 parámetros no se realizan iteraciones, sino que el sistema es resuelto en un único paso. No siendo así en el caso de transformaciones de 7 y 8 parámetros, tal y como veremos en los siguientes ejercicios. Resuelta la transformación disponemos de varias alternativas:

- Guardar los puntos de control: Esto genera un fichero ASCII de extensión **PCG.** Este fichero sirve para guardar las coordenadas de los puntos de control (en ambos sistemas). El fichero se puede utilizar para registrar los datos utilizados, o también para recalcular los parámetros de transformación en cualquier otro momento.
- Guardar los parámetros de transformación: Con esta opción creamos un fichero ASCII de extensión **PTF**. Este fichero sirve para dejar constancia de los parámetros calculados, pero también para aplicar la transformación de bases y/o puntos desde la ventana principal de GeMe, o para compartir con otros usuarios las transformaciones.
- Generar un reporte: Esto nos permite crear un fichero ASCII, de extensión **TXR**, con los puntos de control empleados y el proceso numérico. Esta opción es ideal para justificar matemáticamente el proceso de transformación realizado.
- Transformar los listados de las pestañas Bases Topográficas y Puntos Procesados.

6. Utilice el segundo icono para guardar un fichero de puntos de control **PCG** (llame al fichero `PuntosControl_4p.pcg`). Y utilice el botón **Parám.** para guardar un fichero con los parámetros de transformación **PTF**. Acepte para salir.

Finalmente, regrese a la ventana principal de GeMe aceptando el cálculo. Acaba de obtener los parámetros de transformación, y los ha almacenado en un fichero (también los puntos de control por si tuviera que volver a recuperarlos). Imagine ahora que dispone de un fichero de puntos que desea transformar con los parámetros que ha calculado. Aunque existen varias formas de hacerlo en GeMe, veamos la más básica:

7. En la pestaña PUNTOS, importe el fichero de puntos `Sistema_Inicial.TXT`.

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 9. Transformaciones/Ejemplo 1***:
Sistema_Inicial.txt

8. Vaya a TOPOGRAFÍA y pulse el botón **Aplicar...** Seleccione el fichero `Parametros4p.ptf` que guardó anteriormente. En la ventana Transformación de Ficheros, Puntos y Bases active la opción Transformar listado Puntos Procesados y acepte.

Automáticamente GeMe realiza la transformación de las coordenadas de los puntos expresándolos en el nuevo sistema.

Ya que el proceso de cálculo se realizó a través de mínimos cuadros, GeMe también ha obtenido la precisión de los puntos. En este ejemplo, la precisión oscila entre los ±4mm y ±6mm. Nuevamente, todo el control de las precisiones de los posicionamientos a su alcance. ¡Toda una novedad en un programa de topografía!

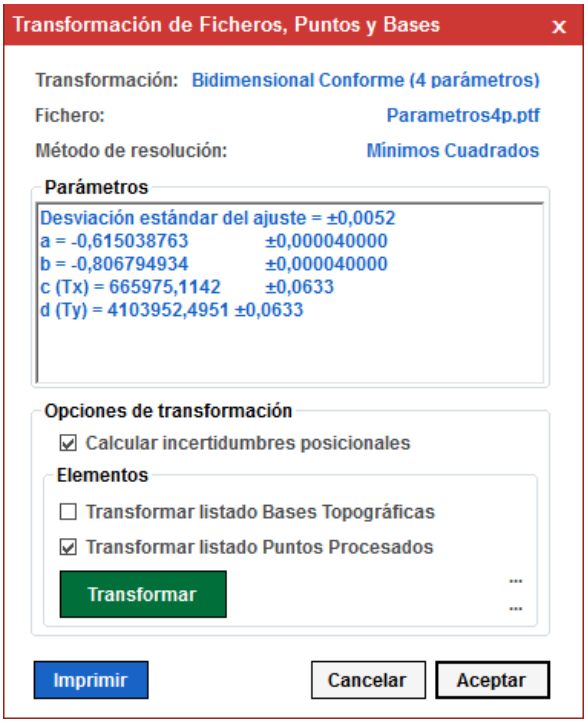


Fig. 70. Transformación de puntos a través de un fichero PTF

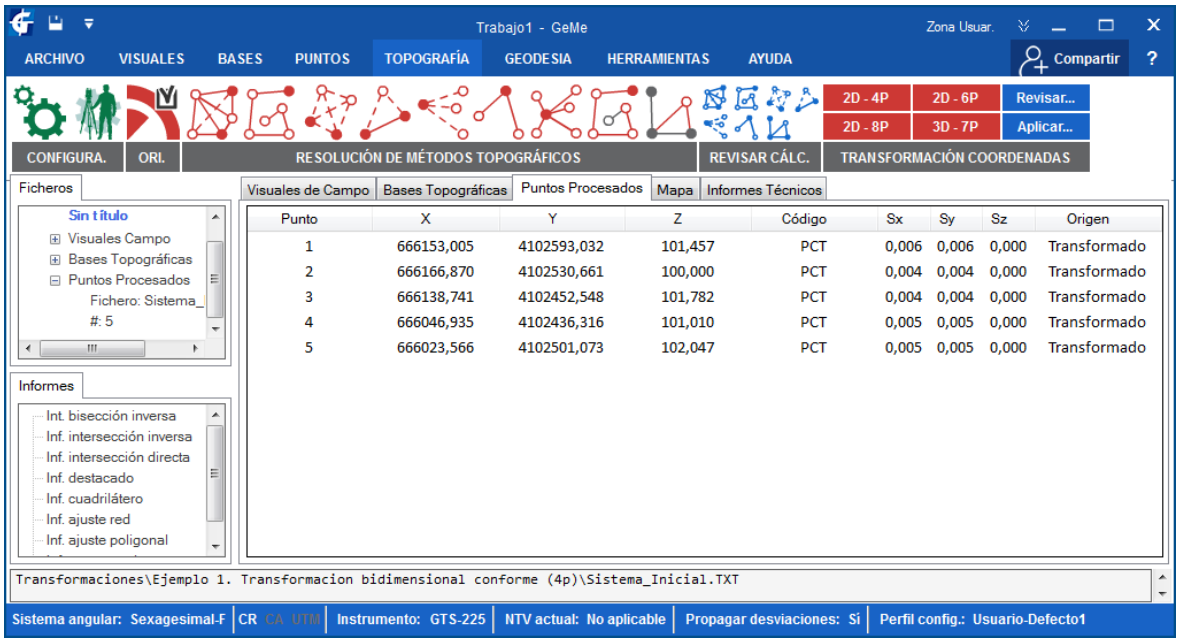


Fig. 71. Listado de puntos transformados

Ejemplo 2. Transformación 2D afín. Ejemplo de cálculo en fotogrametría

En este ejercicio se muestra un ejemplo de aplicación de la transformación de 6 parámetros, ampliamente utilizada en fotogrametría. Supongamos el siguiente listado con las coordenadas de las marcas fiduciales de una fotografía, expresadas en milímetros.

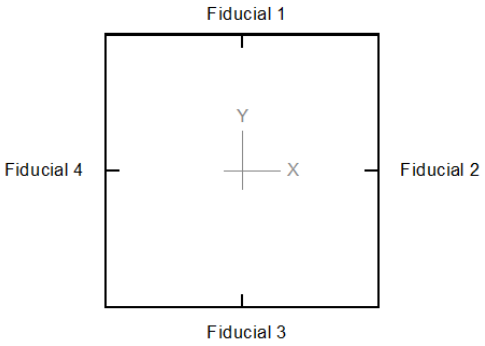


Fig. 72. Representación de las marcas fiduciales de una fotografía

Marcas	X	Y
Fiducial 1	0.002	112.002
Fiducial 2	112.005	0.002
Fiducial 3	-0.002	-112.080
Fiducial 4	-112.004	0.003

Con un digitalizador se han obtenido los siguientes puntos, y sus precisiones. Los cuatro primeros corresponden a las marcas fiduciales, y el resto a puntos capturados dentro del fotograma. Las coordenadas de estos puntos están expresadas en un sistema arbitrario (expresado en metros). El objetivo es expresar estas coordenadas en el *sistema fiducial*.

Puntos	X	Y	Código	Sx	Sy
1	2190.790	1634.427	Fiducial	0.001	0.003
2	2450.409	2644.094	Fiducial	0.005	0.007
3	3460.075	2384.475	Fiducial	0.002	0.001
4	3200.457	1374.808	Fiducial	0.003	0.008
5	2832.264	1375.202	Dig	0.015	0.025
6	2488.375	1657.224	Dig	0.014	0.008
7	2344.660	2200.755	Dig	0.011	0.009
8	2919.519	2713.521	Dig	0.015	0.024
9	3304.470	1744.394	Dig	0.027	0.009

Para logar la representación de los puntos en el nuevo sistema, siga los siguientes pasos:

1. Inicie GeMe e importe el fichero de puntos.

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 9. Transformaciones/Ejemplo 2***:

Transf_2_PuntosDigitalizados.txp

2. Dado que los puntos de control vienen acompañados de sus precisiones, las utilizaremos como datos adicionales en la resolución por mínimos cuadrados. Para ello, acceda a Configuración General y vaya a la pestaña Transformaciones. Active la opción Considerar precisión de los puntos de control y acepte para regresar.
3. En la pestaña TOPOGRAFÍA, haga clic en el botón **2D – 6P**.
4. En Transformación Bidimensional Afín (6 parámetros) pulse el botón **Insertar**.
5. Pulse el botón **Seleccionar**, ubicado justo debajo de la sección Sistema origen. En la ventana Selección puntos de control, seleccione Puntos procesados en el listado Listar

de y seleccione el punto número 1 (deberá hacer clic, aunque pudiera estar ya seleccionado). Acepte. A continuación, inserte las coordenadas fiduciales del punto 1 en la sección Sistema destino. Recuerde que de este punto no conocemos sus desviaciones estándar Sx y Sy en el sistema destino, por lo que dejaremos en 0,000 ambos campos.

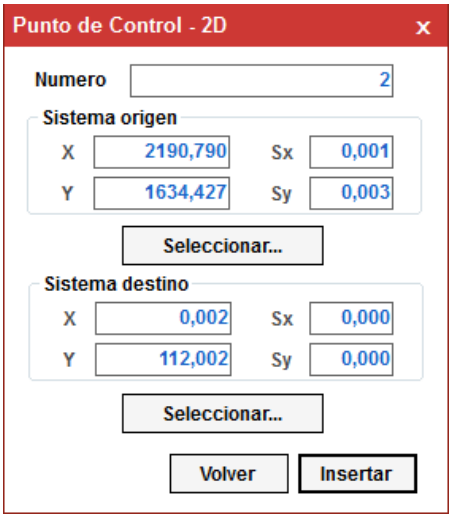


Fig. 73. Inserción del primer punto de control

6. Repita el paso 5 para insertar los tres puntos de control restantes.
7. Cuando finalice guarde los puntos de control en un fichero **PCG**. Todavía no acepte la ventana y prosiga con el ejercicio.

En el paso número 6 habrá experimentado que, tras insertar el tercer punto, GeMe resolvió el sistema por Cramer, mostrando los parámetros de transformación. Consecuentemente, al insertar el cuarto punto se resolvió de nuevo el sistema empleando el método de mínimos cuadrados, hallando solución en una única iteración:

8. Para convertir al sistema fiducial los puntos del listado Puntos Procesados, active la opción Transformar puntos y acepte.

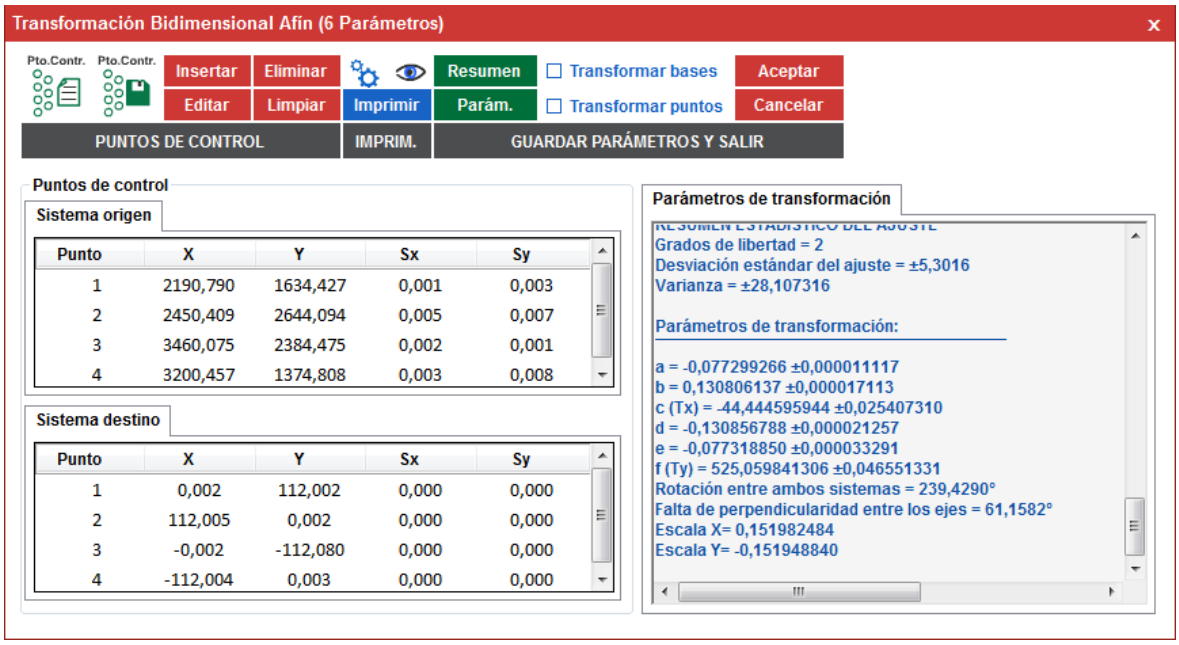


Fig. 74. Resolución de una transformación de 6 parámetros por mínimos cuadrados

En el proceso de transformación, GeMe ha convertido todo el listado de puntos al nuevo sistema. Al utilizar el método de mínimos cuadrados, el programa ha utilizado la desviación estándar del ajuste, y la matriz Qxx, para estimar la desviación estándar en X e Y de los puntos expresados en el nuevo sistema. Todo un avance en un programa de topografía.

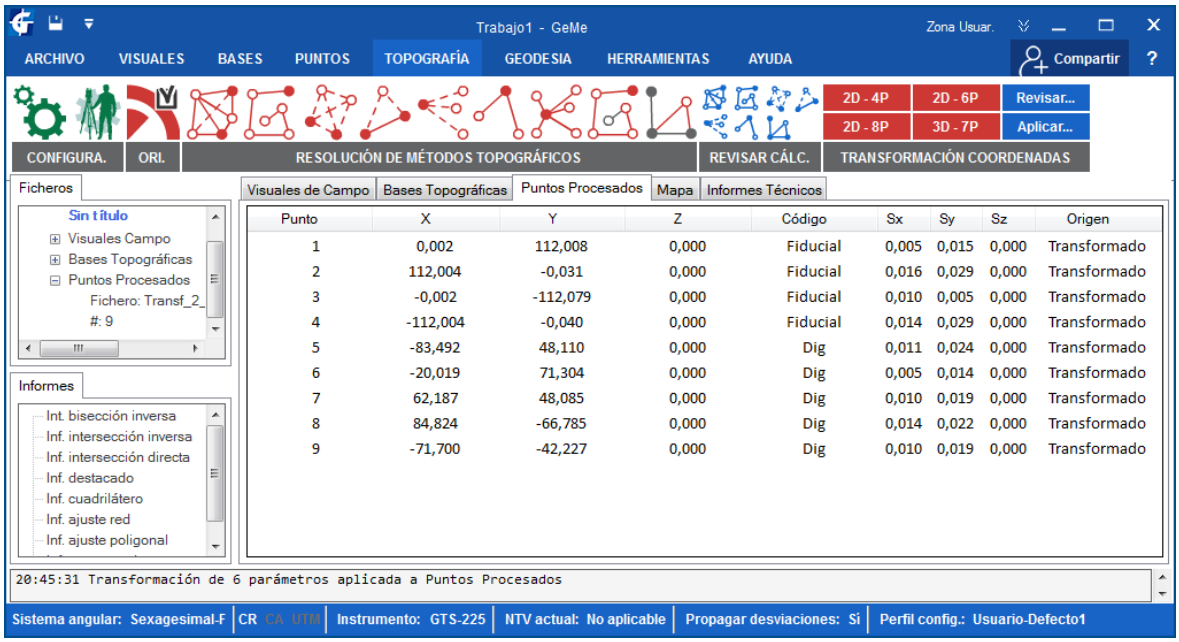


Fig. 75. Al transformar el listado GeMe también calcula las desviaciones en el nuevo sistema

En este caso práctico hemos aprendido a calcular los parámetros de una transformación bidimensional afín. Hemos visto cómo utilizar la precisión de los puntos de control en el ajuste. Finalmente, hemos transformado las coordenadas de los puntos obteniendo, además, la precisión de los mismos. En el siguiente ejercicio aprenderemos más sobre las transformaciones.

Ejemplo 3. Transformación 2D proyectiva

Supongamos que un topógrafo ha procesado un taquimétrico en GeMe. Este consistió en la realización de una poligonal, una intersección inversa y una radiación. El fichero `Tranf_3_Taquimetrico.prg` contiene todos los datos; observaciones, bases calculadas y puntos radiados.

El trabajo se realizó estableciendo en campo un sistema arbitrario. Posteriormente, se obtuvieron las coordenadas de algunas bases en otro sistema, siendo el objetivo del trabajo referenciar todas las posiciones en el nuevo sistema.

Los puntos de control utilizados en este ejercicio son las bases 2000, 3000, 4000, 5000, 9000 y 10000. Las incertidumbres de estas bases se conocen en el sistema origen ya que proceden del ajuste de una poligonal compensada a través de este mismo programa.

La posición XY de estas bases, en el sistema origen, así como sus desviaciones estándar, son las siguientes:

Base	X	Y	Sx	Sy	Código
2000	845.485	874.612	0.007	0.001	Base
3000	790.565	666.086	0.010	0.001	Base
4000	972.854	654.559	0.013	0.006	Base
5000	1043.146	790.031	0.008	0.006	Base
9000	1110.841	881.737	0.005	0.006	Base
10000	1102.581	916.317	0.003	0.007	Base

Mientras que la posición de estos puntos en el sistema destino son las siguientes:

Base	X	Y	Código
2000	7459.437	2730.556	Base
3000	7251.359	2673.918	Base
4000	7332.475	2510.252	Base
5000	7484.953	2517.067	Base
9000	7598.222	2504.258	Base
10000	7624.048	2528.695	Base

Para obtener los parámetros de transformación, así como los puntos y bases expresados en el nuevo sistema, seguiremos los siguientes pasos:

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 9. Transformaciones/Ejemplo 3***:

Transf_3_Taquimetrico.prg

1. Desde la pestaña ARCHIVO, abra el fichero de proyecto `Transf_3_Taquimetrico.prg`.

Verá cómo se cargan el listado de observaciones, el listado de bases calculadas a través de los distintos métodos, y los puntos radiados. También la representación gráfica de puntos, bases y visuales de los distintos métodos. Si desea obtener más información acerca de los métodos utilizados para la obtención de estas posiciones, así como el modelo de estación total utilizada, y sus características técnicas, genere un informe técnico completo.

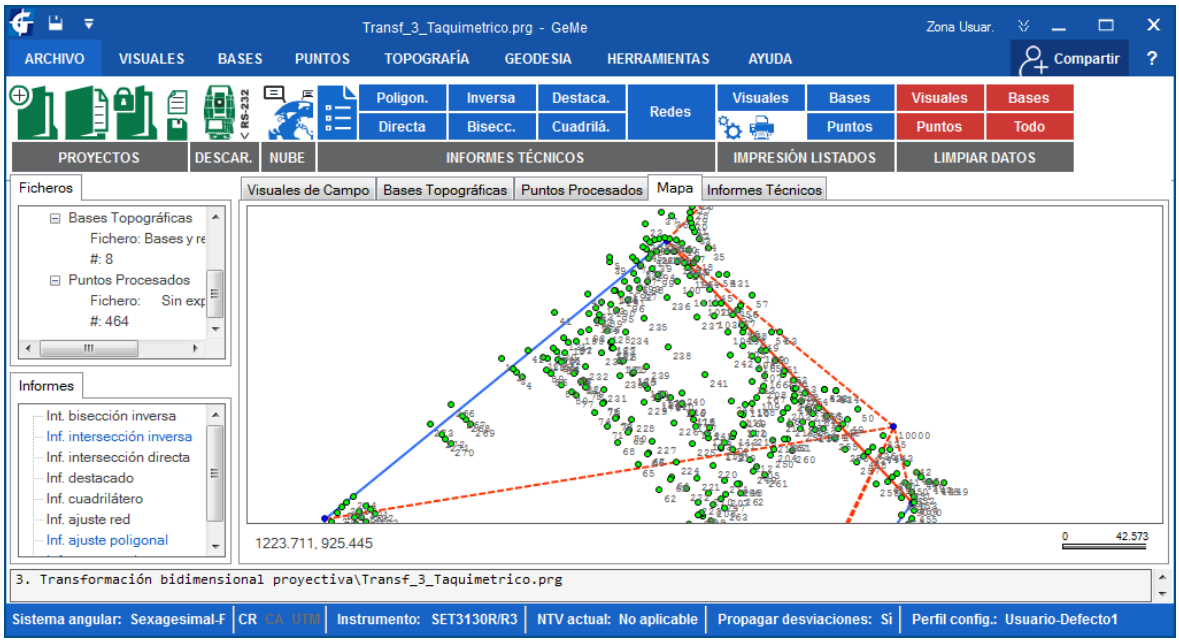


Fig. 76. Contenido del proyecto

2. Ya que disponemos de la precisión de los puntos de control, debemos activar la opción Considerar precisión de los puntos de control. Para ello, siga el paso número 2 del ejercicio anterior, en caso de no haberlo hecho con anterioridad.
3. Acceda a Transformación bidimensional proyectiva haciendo clic en el botón **2D – 8P**.
4. Haga clic en **Insertar**. Ayúdese de sus conocimientos, y de las explicaciones del ejercicio anterior, para insertar los 6 puntos de control.

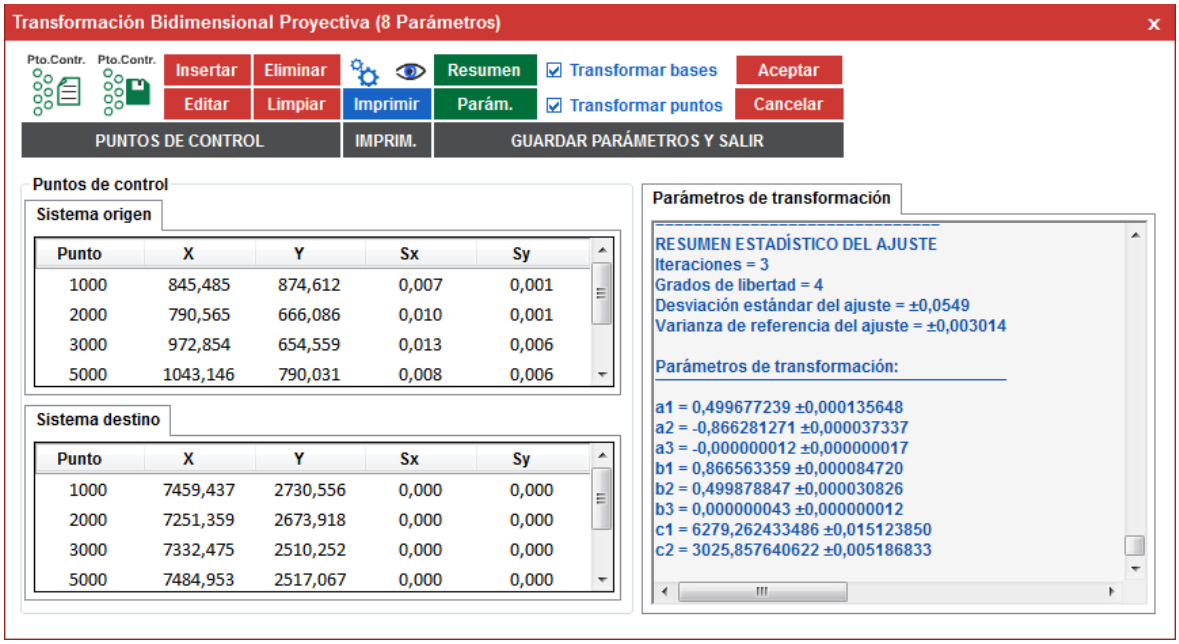


Fig. 77. Puntos de control

Cuando inserte el cuarto punto de control podrá ver el resultado de la transformación mediante Cramer, y cuando inserte el último de todos verá el resultado de haber aplicado mínimos cuadrados.

5. Guarde los puntos de control pulsando el segundo icono, y los parámetros de transformación mediante el botón **Parám**.
6. Active las opciones Transformar bases y Transformar puntos. Finalmente, acepte (en este momento GeMe comenzará a transformar las coordenadas del listado de bases y de puntos y hará una nueva representación gráfica).

Tras la transformación, los listados Bases Topográficas y Puntos Procesados contienen ahora las nuevas coordenadas. La pestaña Mapa también muestra la representación gráfica de la nueva posición. Las incertidumbres posicionales de puntos y bases habrán cambiado, reflejando ahora las precisiones de las nuevas posiciones transformadas.

Una vez realizada la transformación de bases y puntos, el informe técnico deja de tener sentido, pues se ha aplicado un método que ha reconvertido todas las posiciones.

Por tanto, llegado este punto, los pasos lógicos para finalizar el ejercicio consistirían en exportar las bases y puntos al formato deseado.

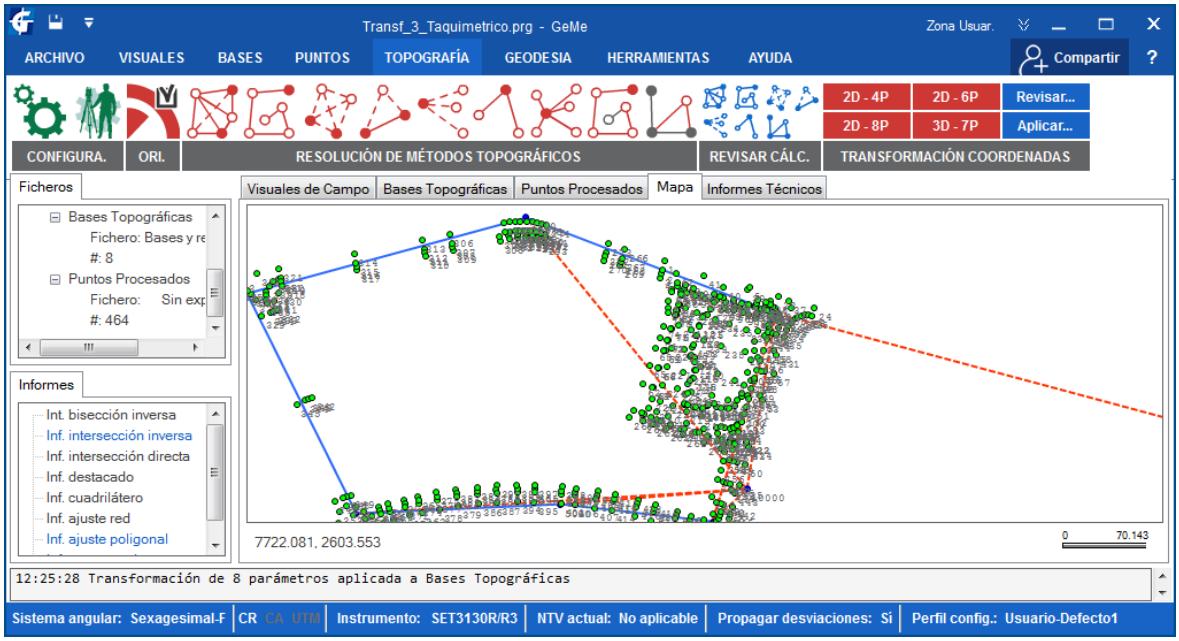


Fig. 78. Entidades convertidas

Ejemplo 4. Transformación 3D conforme

En este ejercicio veremos cómo aplicar una transformación similar de 7 parámetros. Esta transformación es, sin duda, una de las más utilizadas. Por ejemplo, en la conversión de coordenadas geocéntricas, para expresar los resultados en un datum distinto al sistema inicial. También se utiliza como mecanismo de reducción de observaciones GPS y en láser escáner y fotogrametría.

Supongamos el siguiente listado de coordenadas expresadas en un sistema inicial:

Posición	X	Y	Z	Sx	Sy	Sz
A	370,558	95,760	233,931	-0,017	-0,016	0,029
B	-220,434	874,373	241,795	0,035	0,032	-0,015
C	1625,018	-516,667	275,497	-0,018	0,029	-0,017
D	670,995	624,528	339,371	-0,019	-0,016	-0,015
E	-458,979	279,145	202,719	-0,019	-0,017	-0,021
F	59,756	-211,642	263,661	-0,018	-0,016	-0,016

Y el siguiente listado, expresado en el sistema final:

Posición	X	Y	Z
A	171248,919	24273,199	899,408
B	172167,789	24139,279	910,368
C	169991,189	23851,399	909,988
D	171396,909	23711,319	978,688

El objetivo consiste en expresar todas las posiciones del primer listado en el sistema final. Además, utilizaremos las desviaciones estándar de los puntos expresados en el sistema inicial.

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 9. Transformaciones/Ejemplo 4***:

Transf_4_PtosSist_Inicial.txp

1. En la pestaña PUNTOS, importe el fichero de puntos `Transf_4_PtosSist_Inicial.txp`, el cual contiene el primer listado.
2. Acceda al menú Topografía y haga clic sobre el botón **3D – 7P**.
3. Pulse el icono Abrir puntos de control y seleccione `Transf_4_PuntosControl.pcg`. Automáticamente, GeMe hallará los parámetros de transformación a través del método de mínimos cuadrados (ya que se han utilizado cuatro puntos de control).

```
TRANSFORMACIÓN TRIDIMENSIONAL CONFORME (7P).
RESUMEN ANALÍTICO.
==============================

X + vx = S(r11x + r21y + r31z) + Tx
Y + vx = S(r12x + r22y + r32z) + Ty
Z + vx = S(r13x + r23y + r33z) + Tz

Aproximación inicial:
------------------------------------
Rotación X = 2,5344°
Rotación Y = -0,5714°
Rotación Z = 224,5499°
S= 0,950904576
Tx = 171438,174
Ty = 24594,243
Tz = 691,446

==============================
ITERACIÓN Nº 1
Matriz J. Dim (12)x(7)
------------------------------------
     -199,2189      0,0000    220,5677      312,0715  1,0000  0,0000  0,0000
     -338,1360   -206,5518     -8,3768     -187,1835  0,0000  1,0000  0,0000
      217,2161   -321,5350    189,2529       -5,1696  0,0000  0,0000  1,0000
      768,0395      0,0000    237,2195      445,4495  1,0000  0,0000  0,0000
     -479,0444   -217,2891     32,2947      731,7487  0,0000  1,0000  0,0000
      228,5078   -455,5256   -729,6179       36,8361  0,0000  0,0000  1,0000
   -1523,1815       0,0000    247,5385      733,8740  1,0000  0,0000  0,0000
     -782,5587   -214,8435    -64,0470    -1444,7689  0,0000  1,0000  0,0000
      225,9359   -744,1386   1446,9835      -56,6224  0,0000  0,0000  1,0000
       -43,4346      0,0000    322,3136      870,7825  1,0000  0,0000  0,0000
     -929,8792   -283,4911     -1,8263      -38,4324  0,0000  1,0000  0,0000
      298,1278   -884,2264     41,2618        6,9923  0,0000  0,0000  1,0000

Matriz k. Dim (12)x(1)
------------------------------------
    0,1833
    0,4909
    1,4102
   -0,7172
    0,5614
    1,6329
    1,4153
    1,2945
    3,6985
    0,0373
    1,3023
```

```
    3,7508

Matriz W. Dim (12)x(12)
-----------------------------------
3460,2076     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000
   0,0000  3906,2500     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000
   0,0000     0,0000  1189,0606     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000
   0,0000     0,0000     0,0000   816,3265     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000
   0,0000     0,0000     0,0000     0,0000   976,5625     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000
   0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000  4444,4444     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000
   0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000  3086,4198     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000
   0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000  1189,0606     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000
   0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000  3460,2076     0,0000     0,0000     0,0000
   0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000  2770,0831     0,0000     0,0000
   0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000  3906,2500     0,0000
   0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000     0,0000  4444,4444

Matriz Qxx. Dim (7)x(7)
-----------------------------------
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000    0,0000  0,0000    0,0000
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000    0,0000  0,0000    0,0000
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000    0,0000  0,0000    0,0000
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000    0,0000  0,0000    0,0000
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000    0,0002  0,0000   -0,0001
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000    0,0000  0,0003    0,0003
  0,0000  0,0000  0,0000  0,0000   -0,0001  0,0003    0,0010

Matriz X. Dim (7)x(1)
-----------------------------------
   -0,0009
   -0,0044
    0,0004
   -0,0002
    0,0336
   -0,7772
    0,1259

Matriz V. Dim (12)x(1)
-----------------------------------
    0,0475
   -0,0032
   -0,0097
    0,0102
   -0,0841
    0,0085
   -0,0181
   -0,0895
    0,0082
   -0,0422
    0,0514
   -0,0123

==============================
ITERACIÓN Nº 2
Matriz J. Dim (12)x(7)
-----------------------------------
     -199,2095      0,0000    220,4153     311,7207  1,0000  0,0000  0,0000
     -337,1381   -207,8228     -7,5382    -187,0834  0,0000  1,0000  0,0000
      218,7701   -320,2676    189,0908      -4,4578  0,0000  0,0000  1,0000
      768,0237      0,0000    236,7229     445,1718  1,0000  0,0000  0,0000
     -478,1977   -218,8014     29,0623     731,0830  0,0000  1,0000  0,0000
      230,3271   -454,2686   -729,0125      33,4296  0,0000  0,0000  1,0000
    -1523,2609      0,0000    247,8063     732,8249  1,0000  0,0000  0,0000
     -781,2418   -218,4172    -57,6407   -1443,7206  0,0000  1,0000  0,0000
      229,9226   -742,1482   1445,8879     -50,5008  0,0000  0,0000  1,0000
      -43,5183      0,0000    322,0061     869,9117  1,0000  0,0000  0,0000
```

```
     -928,5533   -287,0972      -1,6467       -38,5449  0,0000  1,0000  0,0000
      302,2204   -882,0882      41,3078         6,8364  0,0000  0,0000  1,0000

Matriz k. Dim (12)x(1)
-------------------------------------

   -0,0475
    0,0007
    0,0133
   -0,0101
    0,0816
   -0,0054
    0,0179
    0,0812
   -0,0011
    0,0421
   -0,0588
    0,0189

(omitido)…


==============================
RESUMEN ESTADÍSTICO DEL AJUSTE
Iteraciones = 3
Grados de libertad = 5
Desviación estándar del ajuste = ±2,9284
Varianza de referencia del ajuste = ±8,575413

Parámetros de transformación:
-------------------------------------
r11 = -0,712761830
r12 = -0,700543095
r13 = -0,034784275
r21 = 0,701340226
r22 = -0,712497776
r23 = -0,021651919
r31 = -0,009615616
r32 = -0,039828272
r33 = 0,999160272
Rotación X = 2,2827° ±0,00780
Rotación Y = -0,5509° ±0,00195
Rotación Z = 224,5372° ±0,00290
S= 0,949961001 ±0,000037360
Tx = 171438,207 ±0,046018747
Ty = 24593,461 ±0,051313707
Tz = 691,574 ±0,091180797
```

4. Active la opción Transformar puntos y acepte. Ahora GeMe habrá transformado el listado de puntos a través de los parámetros hallados anteriormente, detallando la nueva precisión de todos los puntos convertidos (Fig. 68).

Ejemplo 5. Transformación de ficheros

Hasta el momento hemos aprendido a obtener los parámetros de transformación de un método en particular (4, 6, 7 y 8 parámetros), y a transformar las posiciones de las pestañas Bases Topográficas y Puntos Procesados. En este ejercicio veremos lo sencillo que resulta transformar las coordenadas contenidas en un fichero.

Supongamos que el topógrafo de campo ha complementado la medición del ejemplo 3 de este capítulo. Si recuerda, en este ejercicio se transformaron las bases y puntos, expresados en un sistema arbitrario, al sistema local correspondiente al trabajo.

En la nueva toma de datos, realizada con GPS, y expresada en el mismo sistema inicial arbitrario del ejercicio 3, se obtuvo el listado de puntos almacenados en el fichero `Trasnf_5_Puntos_GPS.txp`. Los puntos se encuentran numerados a partir del 465 (continuando la numeración de la anterior medición). Estos puntos vienen acompañados de sus respectivas incertidumbres, obtenidas a través del propio GPS.

El objetivo consiste en generar un único fichero de puntos expresados en el sistema local del ejercicio 3. Para ello, nos ayudaremos del fichero de transformación generado en dicho ejercicio.

1. En la pestaña PUNTOS, importe el fichero `Transf_5_Pts_NuevoSistema.txp` y en la pestaña BASES, importe el fichero `Transf_5_Bas_NuevoSistema.txb`.

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 9. Transformaciones/Ejemplo 5***:

Trasnf_5_Puntos_GPS.txp, Transf_5_Pts_NuevoSistema.txp
Transf_5_Bas_NuevoSistema.txb, Transf_5_Parametros8p.ptf
Trasnf_5_Puntos_GPS.txp

2. Active el menú Topografía. Pulse el botón **Aplicar**. Seleccione el fichero `Transf_5_Parametros8p.ptf`.

Si realizó el ejercicio 3, recordará que este fichero fue generado una vez hallados los parámetros de transformación, a través del botón **Parám**. El fichero contiene los parámetros de la transformación bidimensional proyectiva obtenidos a través de los puntos de control. La ventana Transformación de ficheros, puntos y bases muestra parte del contenido del fichero.

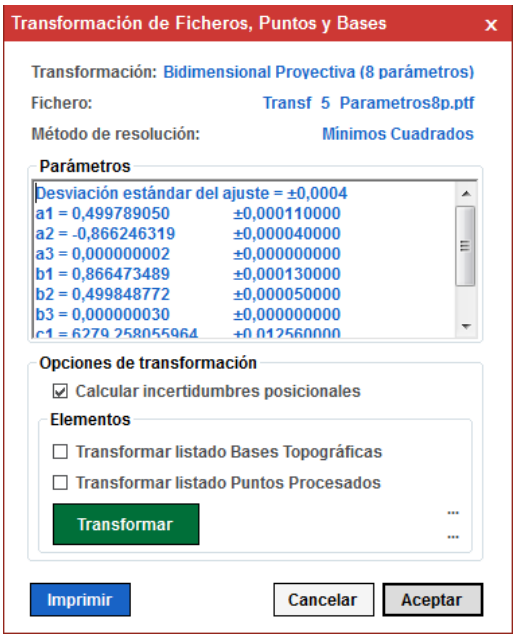


Fig. 79. Parámetros de transformación

En la transformación del ejercicio 3 se utilizaron más puntos de control de los estrictamente necesarios. Por este motivo el sistema fue resuelto a través de la metodología de mínimos cuadrados. Esto permite que la opción Calcular incertidumbres posicionales se muestre habilitada y activada (si el sistema hubiera sido resuelto por Cramer no podríamos utilizar esta opción).

3. Pulse el botón **Transformar**.

La transformación de ficheros no es un proceso por el cual se modifique el contenido del fichero seleccionado. En este proceso se genera un nuevo fichero con las posiciones transformadas.

4. GeMe le pedirá ahora que seleccione el fichero que contiene las posiciones a transformar. Seleccione `Trasnf_5_Puntos_GPS.txp`. A continuación, GeMe le propondrá un nuevo nombre para el fichero que se va a crear. Como puede observar se trata del mismo nombre con las letras "8p" añadidas al final. Acepte el nombre propuesto.

Ahora verá la ventana Transformación de Ficheros, Puntos y Bases tal cual se muestra en la figura. Pulse **Aceptar** para aplicar la transformación.

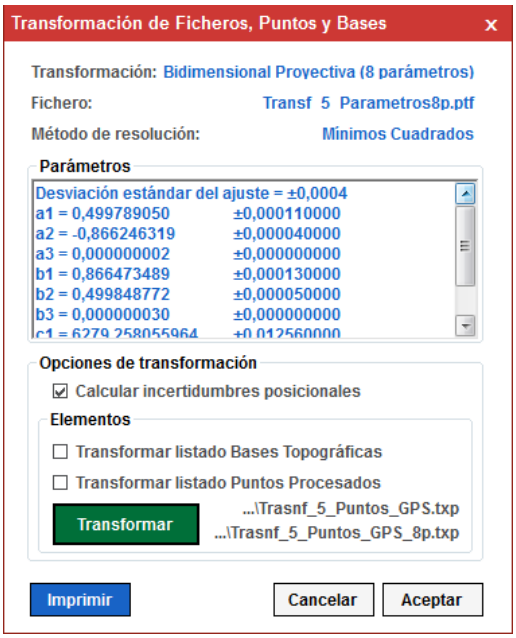


Fig. 80. Transformación de un fichero de puntos

Ahora, el nuevo fichero `Trasnf_5_Puntos_GPS_8p.txp` contiene las nuevas posiciones. Para unificarlas con las ya cargadas en el programa siga estos pasos:

5. Vaya al menú PUNTOS y ejecute el comando Abrir fichero de puntos. A continuación, seleccione el fichero de extensión TXP `Trasnf_5_Puntos_GPS_8p.txp`.

Dado que la pestaña Puntos Procesados contiene puntos previamente cargados, GeMe le preguntará qué desea hacer (Fig. 70).

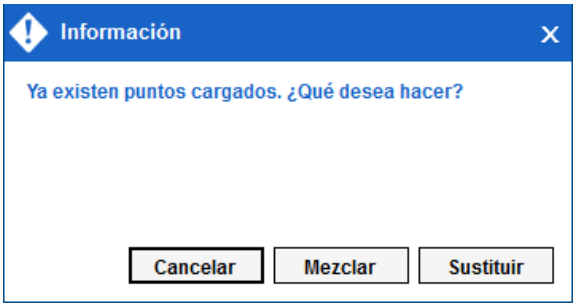


Fig. 81. Advertencia al importar

6. Pulse **Mezclar**. Esto permitirá añadir los puntos del fichero (nombrados a partir del número 465) al listado existente (nombrados hasta el 464). De esta forma unificaremos ambos listados. Un vistazo rápido en la pestaña Mapa nos permitirá verificar la inserción de los nuevos puntos.

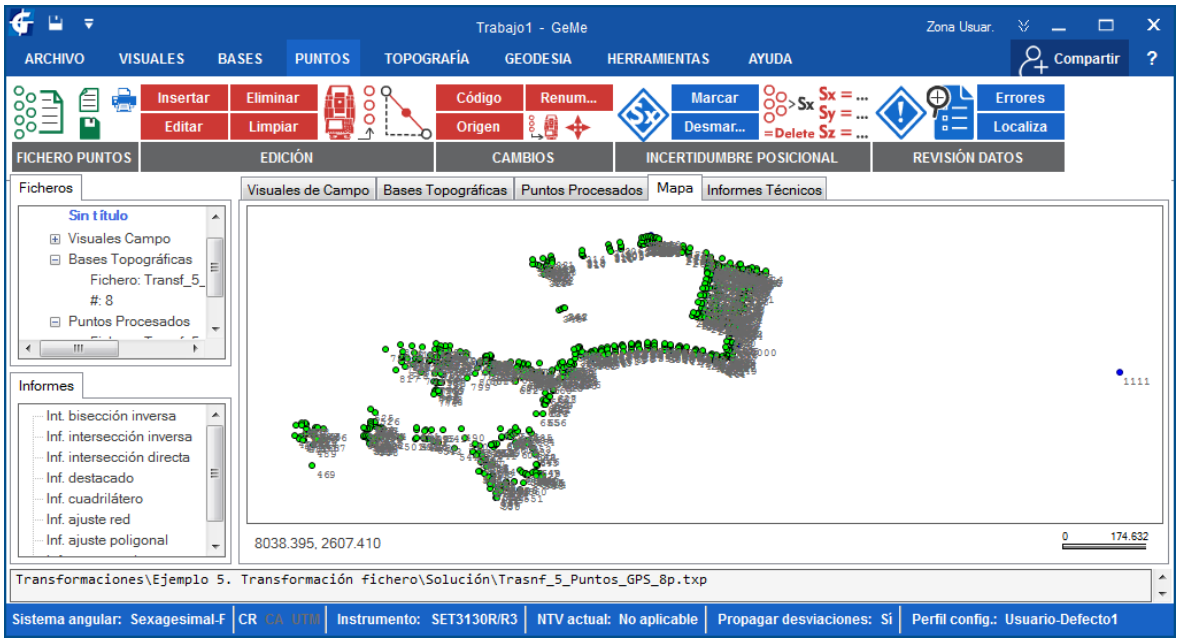


Fig. 82. Nuevas posiciones añadidas

A través de este sencillo ejemplo hemos practicado la transformación de coordenadas almacenadas en ficheros. Pero también hemos experimentado algo más; la asignación de precisiones a los puntos transformados. Si es posible, dedique algo de tiempo en revisar las desviaciones de los puntos de los ficheros `Puntos_GPS.txp` y `Puntos_GPS_8p.txp`. Si los observa, los puntos son los mismos (expresados en dos sistemas distintos). Sin embargo, sus precisiones han cambiado.

Capítulo 10. Calculadora geodésica, Conversión Planas-UTM y Explorador de redes geodésicas

En este capítulo se detallan ejemplos prácticos sobre la gestión de datos de tipo geodésico. Aquí aprenderá a:

- Gestionar puntos de control; insertar, editar y exportar e importar.
- Realizar conversiones de coordenadas (puntos individuales y ficheros), entre UTM y Geográficas.
- Convertir coordenadas a través de ficheros NTv2.
- Convertir coordenadas mediante parámetros de transformación.
- Crear y editar parámetros de transformación de datums.
- Convertir posiciones UTM en Planas y viceversa.
- Utilizar el explorador geodésico para trabajos de planificación y gestión de observaciones en distintos países: Argentina, Colombia, Chile, España y Perú.

Introducción

La conversión entre coordenadas UTM y geográficas es un problema que convive con nosotros desde hace siglos. Muy lejos de desaparecer, en la actualidad, este problema sigue incluso más presente ahora que antaño. Desde el GNSS (el cual recibe posiciones en coordenadas geográficas), pasando por programas como Google Earth (que mantienen viva esta convivencia al permitir visualizar las posiciones tanto en UTM como en geográficas), o las conversiones de coordenadas a través de los nuevos estándares (como los ficheros de rejilla NTv2), los problemas de conversión están lejos de desaparecer.

En este capítulo expondremos algunos ejemplos que abordarán la resolución de los problemas más comunes:

- Conversión entre coordenadas UTM y Geográficas.
- Conversiones de posiciones a otros datum, vía NTv2 y por transformación paramétrica.
- Planificación de trabajos de campo y gestión de datos de redes geodésicas.

Ejemplo 1. Conversión: UTM y Geográficas. Mismo datum

En este sencillo ejemplo convertiremos una posición aislada, expresada en coordenadas geográficas, a UTM. Supongamos la siguiente posición geográfica, datum ETRS89, de una zona de Barcelona (España).

Longitud	Latitud
2.1869078º E	41.4034298º N

Para convertir esta posición en UTM, expresadas en el mismo datum, seguiremos los siguientes pasos:

1. Acceda al menú GEODESIA y haga clic el comando Calculadora Geodésica.
2. En el desplegable Coordenadas de entrada y salida seleccione **Geográficas a UTM**. En Tipo de conversión verifique que tiene seleccionado **Mismo datum**. Y en Datum verifique que está seleccionado **ETRS89**.

La definición del datum seleccionado se muestra en la pestaña Datos Procesados: La denominación del elipsoide asociado al datum ETRS89, así como los códigos EPSG de ambos elementos. Además, se define el elipsoide a través del semieje mayor y de la segunda excentricidad.

3. A continuación, inserte el valor de la longitud en el campo Lon. Como esta posición se encuentra al *Este*, seleccione este punto cardinal en el desplegable adjunto. A continuación, inserte el valor de la latitud en el campo Lat y seleccione el punto cardinal *Norte* (por defecto ya estará seleccionado).
4. Pulse **Convertir**.

La pestaña Datos Procesado le mostrará todo el proceso numérico desarrollado.

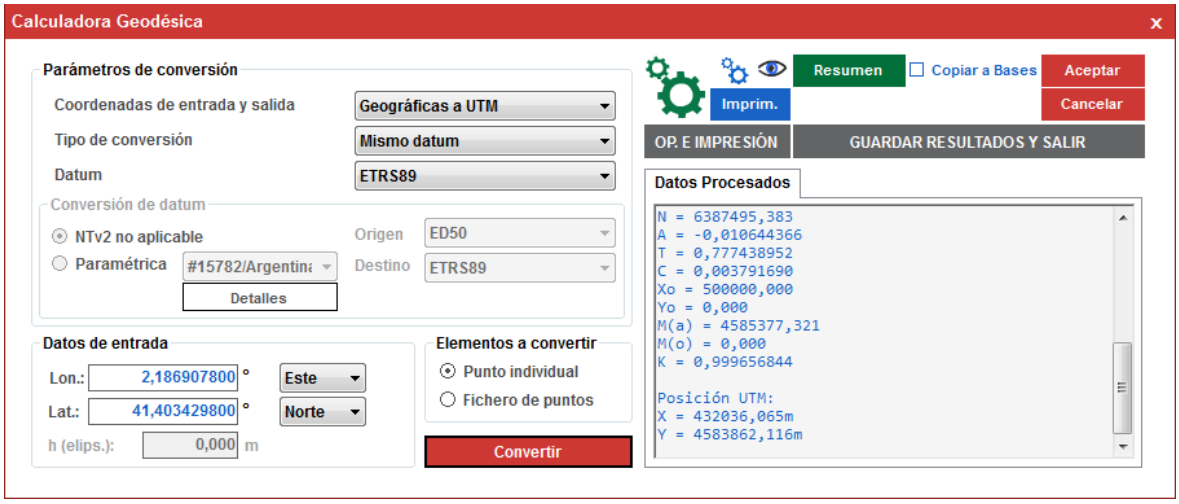


Fig. 83. Conversión de una posición geográfica en UTM (mismo datum)

```
CONVERSIÓN DE COORDENADAS
MISMO DATUM
================================
Conversión: Geográficas -> UTM

Elipsoide de referencia: GRS 1980
#EPSG elipsoide: 7019
Datum: ETRS89
#EPSG datum: 6258
Semieje mayor: 6378137,000m
e²: 0,00669438006676466

Parámetros de cálculo:
Huso = 31
λo = 3,000000
Φo = 0,000000
Ko = 0,999600
N = 6387495,383
A = -0,010644366
T = 0,777438952
C = 0,003791690
Xo = 500000,000
Yo = 0,000
M(a) = 4585377,321
M(o) = 0,000
K = 0,999656844

Posición UTM:
X = 432036,065m
Y = 4583862,116m
```

En este sencillo ejercicio hemos visto lo sencillo que resulta convertir una posición.

5. Como práctica inversa, intente por sus medios convertir la posición UTM recién obtenida a coordenadas geográficas. Recuerde que el huso es el 31.

En ocasiones nos podemos encontrar con unas coordenadas geográficas expresadas en otros formatos, incluso en otros sistemas angulares. Imagine que nos dan la siguiente posición geográfica, expresada en formato fracción, y en el mismo datum del ejemplo anterior (la posición se corresponde a un punto localizado en Nueva York, EE.UU):

Longitud	Latitud
74º 0’ 16.8046” O	40º 42’ 45.6582 N

6. En la calculadora geodésica, acceda a Configuración General a través del icono correspondiente que encontrará en la sección OP. E IMPRESIÓN (opciones e impresión).
7. En Opciones de Configuración, y dentro de las pestañas Calculadora geodésica>Datums y otras opciones, seleccione la opción **Sexagesimal (º ‘ “)** que encontrará en el desplegable Formato de coordenadas geográficas>Formato de entrada. Acepte.
8. Ingrese la posición geográfica y pulse **Convertir**.

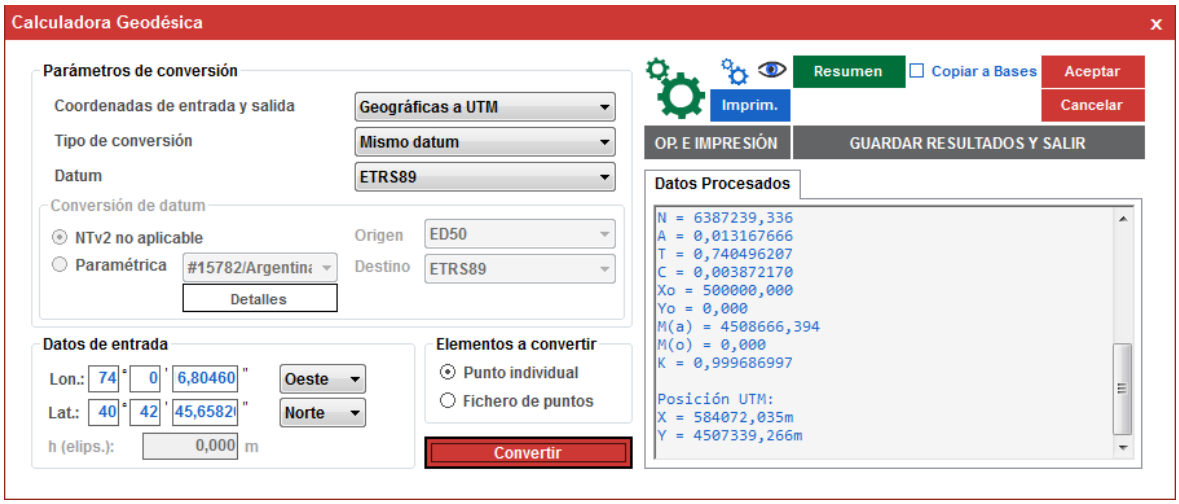


Fig. 84. Conversión coordenadas geográficas, de formato fracción

```
CONVERSIÓN DE COORDENADAS
MISMO DATUM
================================
Conversión: Geográficas -> UTM

Elipsoide de referencia: GRS 1980
#EPSG elipsoide: 7019
Datum: ETRS89
#EPSG datum: 6258
Semieje mayor: 6378137,000m
e²: 0,00669438006676466

Parámetros de cálculo:
Huso = 18
λo = -75,000000
Φo = 0,000000
Ko = 0,999600
N = 6387239,336
A = 0,013167666
T = 0,740496207
C = 0,003872170
Xo = 500000,000
Yo = 0,000
M(a) = 4508666,394
M(o) = 0,000
K = 0,999686997

Posición UTM:
X = 584072,035m
Y = 4507339,266m
```

Adicionalmente tan sólo debe saber que es posible añadir la posición convertida al listado Bases Topográficas. Solo tiene que activar la opción Copiar a Bases antes de aceptar. Al hacerlo, podrá editar cualquier parámetro antes de validar la nueva posición:

Fig. 85. El resultado de la conversión se puede añadir al listado de Bases Topográficas

En este sencillo ejemplo hemos aprendido a convertir una posición geográfica a UTM (expresadas ambas en el mismo datum), tanto si está expresada en formato decimal como en formato fracción.

Ejemplo 2. Conversión entre UTM. Uso de NTv2

En la actualidad se está imponiendo el método basado en el estándar NTv2 para la conversión de posiciones expresadas en diferentes datum. El NTv2 (*Transformación Nacional versión 2*) es un archivo en formato estándar binario **GSB**, que contiene los desplazamientos de una rejilla, obtenidos a través de la red geodésica horizontal. Con él se pueden transformar coordenadas sin necesidad de alturas (a diferencia de lo que ocurre en el caso de la transformación Molodensky-Badekas, o la clásica de 7 parámetros).

El formato **GSB** sólo está disponible actualmente, y a nivel mundial, para los siguientes países; *Australia, Brasil, Canadá, Francia, Alemania, Nueva Zelanda, Portugal, España, Suiza, Reino Unido y Venezuela*. Gestor de Mediciones cuenta con los ficheros NTV2 de todos estos países.

Supongamos la solución del ejercicio anterior (huso 31, hemisferio Norte).

X utm	Y utm
432036,065	4583862,116

Ésta se encuentra expresada en el datum ETRS89, elipsoide GRS 1980, (actualmente, el oficial en el territorio español). Dado que hasta 2007 el datum oficial era el ED50, International 1924/Hayford, en España sigue vigente el problema de conversión entre los datums ETRS89 y ED50, al coexistir multitud de trabajos expresados en ambos sistemas.

La posición UTM del ejercicio se ubica en el huso 31, hemisferio Norte (datos fundamentales a la hora de convertir una posición UTM a geográficas). Para realizar la conversión UTM (ETRS89) a UTM (ED50) seguiremos los siguientes pasos:

1. En primer lugar, debemos cargar el fichero NTv2 para territorio español. Para ello, acceda a Configuración General y active la pestaña Calculadora Geodésica>Conversión datum NTv2. En el desplegable País, seleccione España (Península).

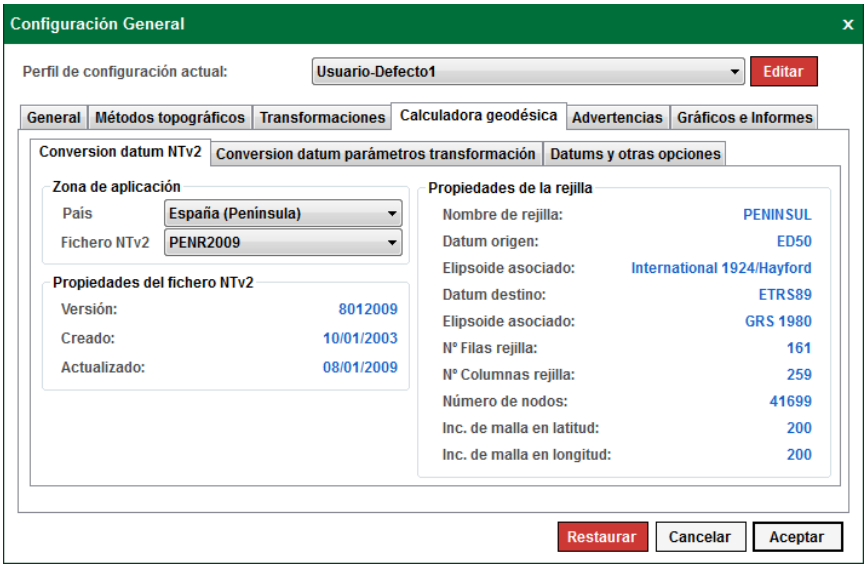


Fig. 86. Selección de fichero NTv2

RECUERDE

Por defecto, el programa no se ofrece con todos los ficheros GSB cargados por defecto. Puede descargar todos los ficheros GSB desde la Zona de Usuarios de www.topoedu.es

2. Acceda a la Calculadora Geodésica.
3. En Coordenadas de entrada y salida seleccione **UTM a UTM**. Y en Tipo de conversión seleccione **Distinto datum**. Esto activará Conversión de datum.
4. Active, si no lo está, la opción NTv2 España (Península). A continuación, en el desplegable Origen, seleccione el datum en que está expresada la posición que deseamos convertir (en este caso **ETRS89**). Al hacerlo verá que en Destino se selecciona automáticamente el datum **ED50**. Fíjese también en el contenido de la pestaña Datos Procesados.

RECUERDE:

Los ficheros NTv2 tienen un sentido de conversión (directo o inverso). En el caso del fichero PENR2009.GSB el sentido de conversión directo es cuando se convierten posiciones ED50 al datum ETRS89, e inverso si es al revés. Como vemos, en este caso el sentido de conversión es el inverso.

5. En la sección Datos de entrada ingrese los valores X e Y, así como el huso y el hemisferio. Finalmente, pulse **Convertir**.

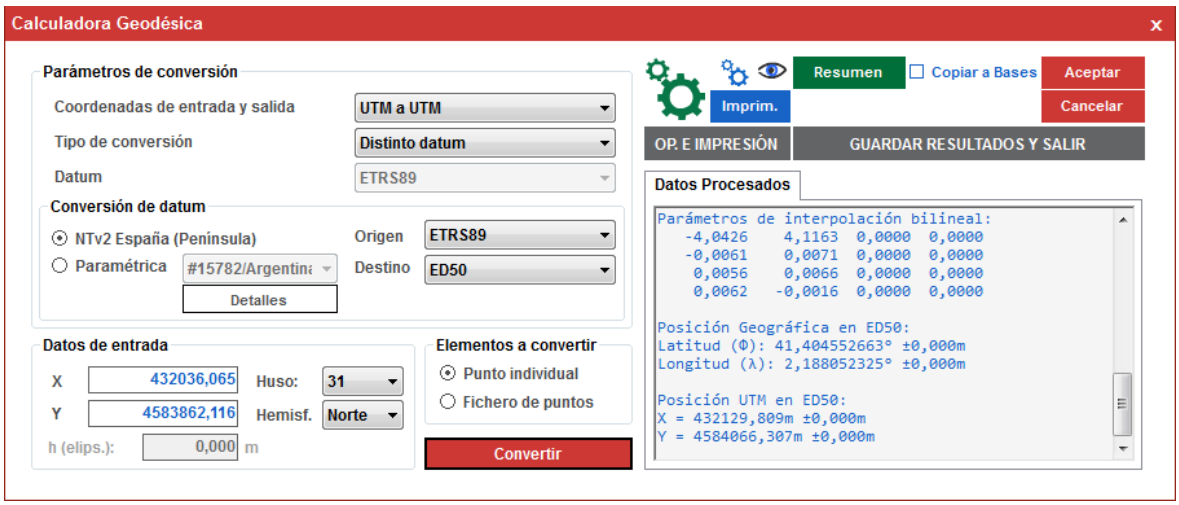


Fig. 87. Conversión de datum ETRS89 a ED50 vía NTv2

En la pestaña Datos Procesados verá un resumen de todo el proceso matemático:

```
CONVERSIÓN DE DATUMS -- NTV2
Fichero NTV2: PENR2009
Versión: 08012009
================================
Conversión: UTM -> UTM
Sentido de conversión: Inverso

Datum y elipsoide origen:
ETRS89 - GRS 1980

Datum y elipsoide destino:
ED50 - International 1924/Hayford

Parámetros de cálculo
Posición nodo A = 27231
Posición nodo B = 27232
Posición nodo C = 27490
Posición nodo D = 27491

Desplazamientos y precisiones de nodos:
   -4,0426  4,1163  0,0000  0,0000
   -4,0486  4,1234  0,0000  0,0000
   -4,0369  4,1229  0,0000  0,0000
   -4,0368  4,1284  0,0000  0,0000

Φ nodo A: 149000,000''
λ nodo A: -7940,000''
Factor escala X: 0,315058
Factor escala Y: 0,281948

Parámetros de interpolación bilineal:
   -4,0426    4,1163  0,0000  0,0000
   -0,0061    0,0071  0,0000  0,0000
    0,0056    0,0066  0,0000  0,0000
    0,0062   -0,0016  0,0000  0,0000

Posición Geográfica en ED50:
Latitud (Φ): 41,404552663° ±0,000m
Longitud (λ): 2,188052325° ±0,000m
```

```
Posición UTM en ED50:
X = 432129,809m ±0,000m
Y = 4584066,307m ±0,000m
```

En el desarrollo matemático tenemos detallados todas las variables extraídas del fichero **GSB**, y la aplicación de la interpolación bilineal (método que se emplea a través de los datos proporcionados por los ficheros NTv2). Finalmente tenemos la posición de la posición en el nuevo datum (expresada tanto en geográficas como en UTM).

En este sencillo ejercicio hemos puesto en práctica la conversión de datum utilizando el estándar NTv2. Hemos visto lo trivial que resulta hacerlo. Además, GeMe nos ofrece, como siempre, todos los resultados numéricos. Sin embargo, hay algo que no hemos visto aún; la obtención de la precisión del punto convertido.

Como ya sabe, uno de las principales cualidades de GeMe es la obtención y control de las precisiones la componente posicional de puntos y bases. En la conversión de posiciones a través del estándar NTv2 también es posible determina la precisión de la posición convertida. Esto requiere de una serie de datos, ya incluidos de serie en los ficheros **GSB**, que distribuyen los distintos institutos geográficos. Lamentablemente, no todos los países proporcionan estos datos. Y España es uno de ellos. Cuando el fichero NTv2 no contiene los datos necesarios para obtener la precisión del punto convertido entonces GeMe asignará una precisión nula (±0,000m) para XY (fíjese en los resultados de la pestaña Datos Procesados).

Para que pueda experimentar el proceso de obtención de la precisión de un punto, convertido a través de la rejilla NTv2, le recomiendo continuar con la segunda parte del ejercicio.

Supongamos una posición UTM ubicada en Portugal (huso 29, hemisferio Norte), expresada en Datum 73, y la cual deseamos expresar en el datum ETRS89.

X utm	Y utm
489066,748	4276219,338

El instituto geográfico portugués distribuye dos ficheros rejilla distintos:

- Uno denominado `D73_ETRS89_geo`, para la conversión entre los datum D73 (basado en el elipsoide International 1924/Hayford) y ETRS89.
- Y otro llamado `DLX_ETRS89_geo`, para la conversión entre los datum Datum Lx (basado en el elipsoide International 1924/Hayford) y ETRS89.

Antes de realizar la conversión debemos cargar el fichero NTv2 correspondiente al territorio portugués (en este caso `D73_ETRS89_geo`).

RECUERDE

Deberá descargar el fichero **D73_ETRS89_geo** desde la Zona de Usuarios de www.topoedu.es y copiarlo en la ruta C:\Program Files\Topoedu\Gestor de Mediciones\NTv2

Fig. 88. Descarga de ficehreos NTv2 desde www.topoedu.es

6. Acceda a Configuración General, desde OP. E IMPRESIÓN, y cargue el fichero D73_ETRS89_geo. Acepte para regresar a la calculadora.

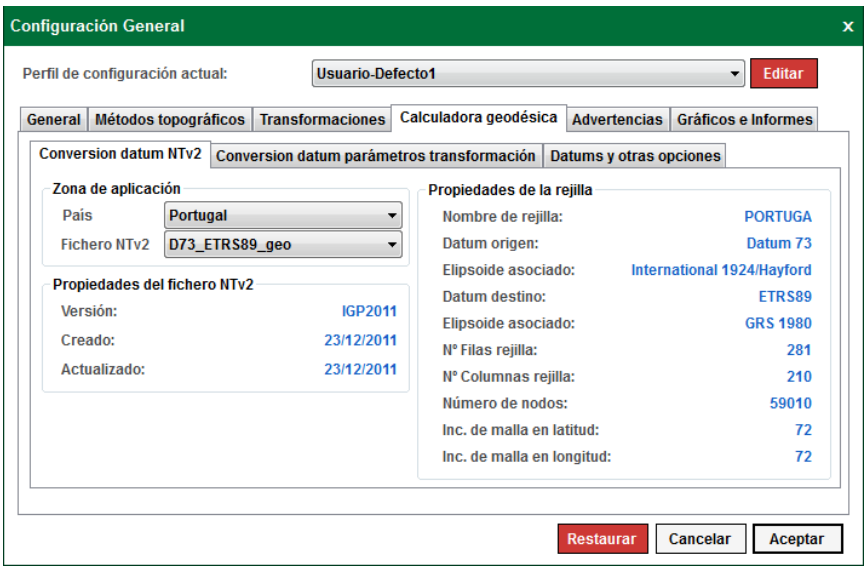


Fig. 89. Selección de nuevo fichero NTv2

7. Seleccione **UTM a UTM** y **Distinto datum**. En Conversión de datum seleccione **Datum 73** (en Destino se establecerá automáticamente **ETRS89**).

8. Ingrese los datos de la posición UTM y pulse **Convertir**.

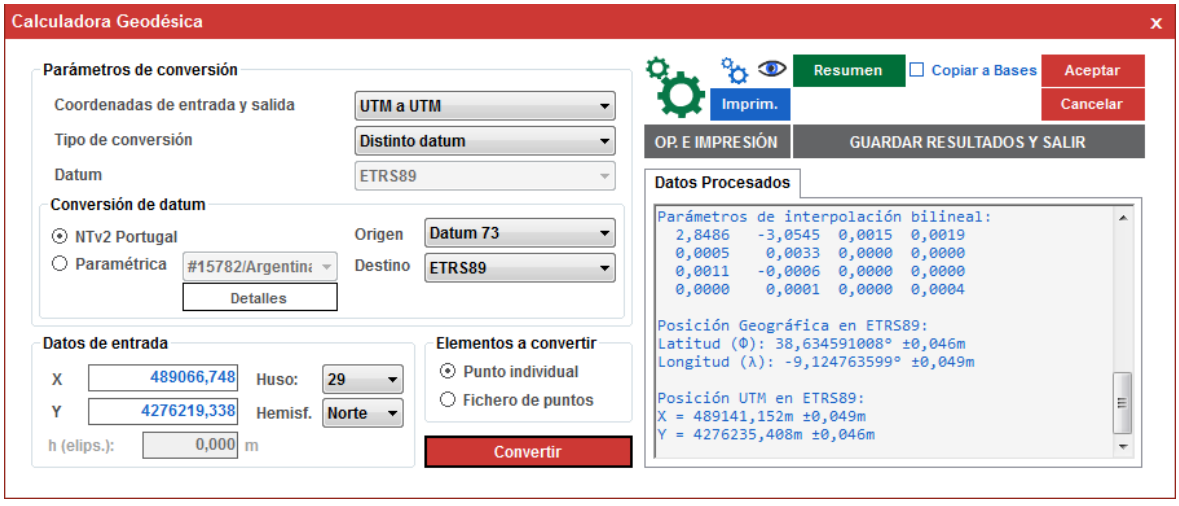


Fig. 90. Conversión de una posición del territorio portugués, mediante NTv2

En la solución obtenida (pestaña Datos Procesado) veremos los valores de la precisión de la nueva posición (Fig. 76). En este ejemplo se obtiene una incertidumbre de ±0.049m para X, y ±0,046m para Y (la precisión depende de la ubicación, por lo que dentro de un mismo fichero **GSB** puede variar).

```
CONVERSIÓN DE DATUMS -- NTV2
Fichero NTV2: D73_ETRS89_geo
Versión: IGP2011
================================
Conversión: UTM -> UTM
Sentido de conversión: Directo

Datum y elipsoide origen:
```

```
Datum 73 - International 1924/Hayford

Datum y elipsoide destino:
ETRS89 - GRS 1980

Parámetros de cálculo
Posición nodo A: 19699
Posición nodo B: 19700
Posición nodo C: 19909
Posición nodo D: 19910

Desplazamientos y precisiones de nodos:
  2,8486   -3,0545  0,0015  0,0019
  2,8491   -3,0512  0,0015  0,0019
  2,8497   -3,0551  0,0015  0,0019
  2,8502   -3,0517  0,0015  0,0019

Coordenadas nodo A y factores de escala:
Φ nodo A: 139046,000''
λ nodo A: 32798,000''
Factor escala X: 0,752795
Factor escala Y: 0,495529

Parámetros de interpolación bilineal:
  2,8486   -3,0545  0,0015  0,0019
  0,0005    0,0033  0,0000  0,0000
  0,0011   -0,0006  0,0000  0,0000
  0,0000    0,0001  0,0000  0,0004

Posición Geográfica en ETRS89:
Latitud (Φ): 38,634591008° ±0,046m
Longitud (λ): -9,124763599° ±0,049m

Posición UTM en ETRS89:
X = 489141,152m ±0,049m
Y = 4276235,408m ±0,046m
```

En la ventana Inserción de bases verá que la precisión XY de la conversión se asignó como desviación estándar XY de la base. También se incluye el coeficiente de anamorfosis obtenido durante la conversión.

ADVERTENCIA

Recuerde que el fichero NTv2 que cargó en el paso número 2 de la segunda parte del ejercicio quedará establecido por defecto. Si usted trabaja en otro país cargue el correspondiente, si existe.

Ejemplo 3. Conversión: UTM y Geográficas. Distinto datum (parámetros de transformación)

En el anterior ejercicio vimos un ejemplo de conversión entre posiciones expresadas en distintos datum, y lo hicimos utilizando el estándar NTv2. Sólo unos pocos países proporcionan ficheros NTv2. En el resto las conversiones se realizan a través de parámetros de transformación; unas veces genéricos, otras zonificados.

En este ejercicio aprenderemos a realizar el mismo proceso de conversión pero utilizando para ello parámetros de transformación.

Supongamos la siguiente posición UTM, huso 18, hemisferio Norte, expresada en el datum Bogotá. La posición corresponde a Sogamoso, ciudad colombiana situada en el centro oriente del departamento de Boyacá, a 210 km al noreste de Bogotá.

X utm	Y utm	Altura elipsoidal
729715,085	633627,109	2542,701

En esta conversión utilizaremos los parámetros regionales de transformación (sin refinamiento posterior a través de una transformación afín) para migrar información georreferenciada en el datum **Bogotá** al sistema **MAGNA-SRIGAS**. Esta conversión está catalogada como EPSG 15733, región IV, la cual consiste en una transformación **Molodensky-Badekas**. El juego de transformación se puede consultar directamente a través de la ventana Conversión datum parámetros transformación, incluso editar (lo que activa la ventana Edición Parámetros de Transformación entre Datums).

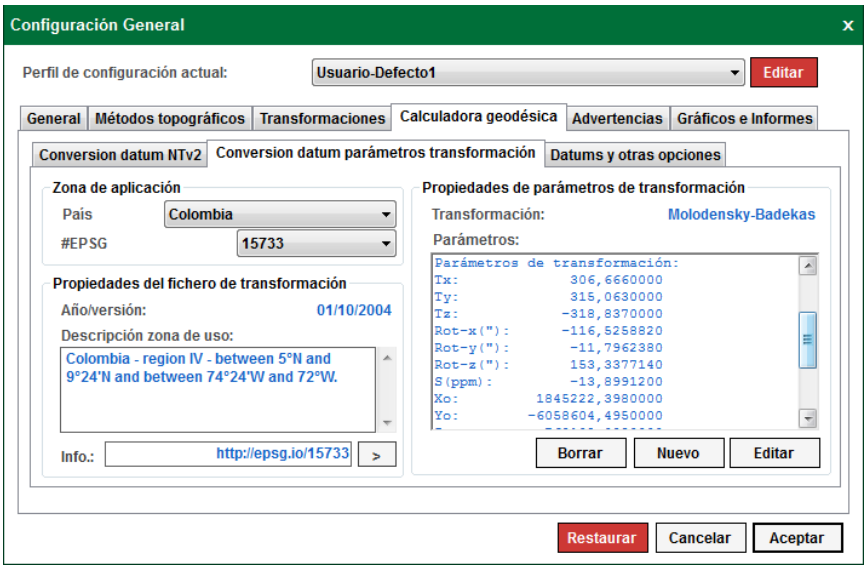


Fig. 91. Parámetros de transformación EPSG 15733

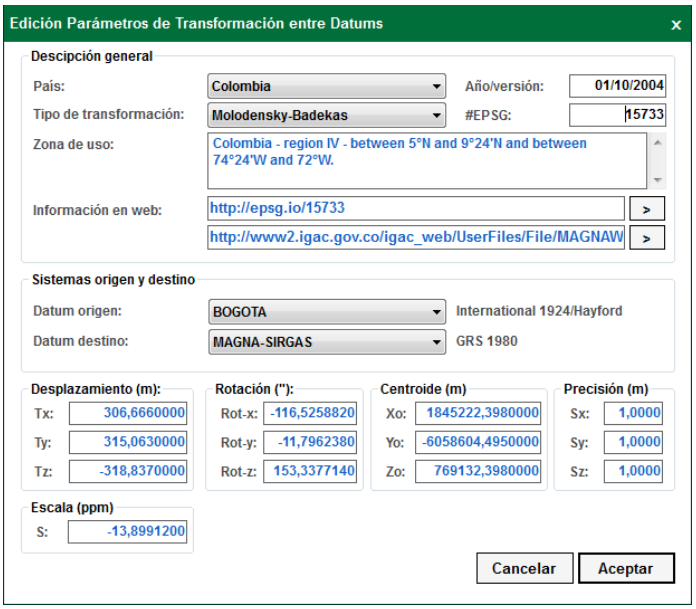


Fig. 92. Parámetros para migrar de conversión entre el datum Bogotá y MAGNA-SIRGAS. EPSG 15733

Para realizar la conversión a MAGNA-SIRGAS seguiremos los siguientes pasos:

1. Inicie la Calculadora Geodésica.
2. Establezca el formato de conversión de coordenadas como **UTM a UTM**.
3. Seleccione **Distinto datum**.
4. Active la opción Paramétrica y seleccione la transformación **#15733/Colombia**.
5. Verifique que en Origen está seleccionado el datum **Bogotá**.
6. Inserte los datos de entrada, incluida la altura elipsoidal, huso y hemisferio, y pulse **Convertir**.

La pestaña Datos Procesado contendrá todo el desarrollo matemático aplico:

```
CONVERSIÓN DE DATUMS -- PARAMÉTRICA
Colombia-- #EPSG: 15733 -- Año/Versión: 01/10/2004
Descripción zona de uso: Colombia - region IV - between 5°N and 9°24'N and between 74°24'W and 72°W.

Molodensky-Badekas
================================
Conversión: UTM -> UTM
Sentido de conversión: Directo

Datum y elipsoide origen:
Bogota - International 1924/Hayford

Datum y elipsoide destino:
MAGNA-SIRGAS - GRS 1980

Parámetros:
Tx=306,666m
Ty=315,063m
Tz=-318,837m
Rot-X=-116,525882000''
Rot-Y=-11,796238000''
Rot-Z=153,337714000''
Xo=1845222,398m
Yo=-6058604,495m
Zo=769132,398m
S=-13,899120000ppm

Conversión de UTM a Geográficas (Bogota)
Latitud (Φ) = 5,728612660°
Longitud (λ) = -72,925845169°
Altura elip. = 2542,701m

Conversión de Geográficas a Geocéntricas (Bogota)
X geocéntrica = 1864205,524m
Y geocéntrica = -6069435,098m
Z geocéntrica = 632664,209m

Transformación a nuevo datum (MAGNA-SIRGAS)
X geocéntrica = 1864496,070m
Y geocéntrica = -6069056,902m
Z geocéntrica = 632340,065m

Conversión de Geocéntricas a Geográficas (MAGNA-SIRGAS)
Latitud (Φ) = 5,725782972°
Longitud (λ) = -72,922336649°
Altura elip. = 2485,618m

Conversión de Geográficas a UTM (MAGNA-SIRGAS)
```

```
X = 730095,870m ±1,000m
Y = 633308,526m ±1,000m
Altura elip. = 2485,618m ±1,000m
```

Como se aprecia en los resultados, la conversión paramétrica convierte la posición inicial en coordenadas geocéntricas. A continuación, aplica la transformación, y se efectúa un cambio al formato de salida. En este caso, además, se utiliza la precisión asignada al juego de parámetros como precisión de la posición XYZ obtenida.

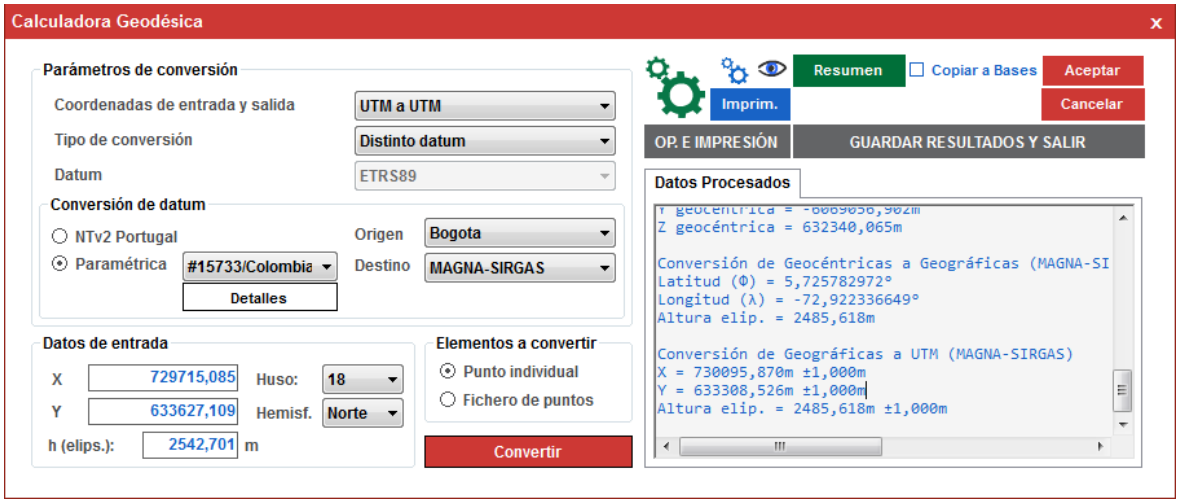


Fig. 93. Conversión posición Bogotá

En este ejercicio hemos aprendido a realizar una conversión utilizando los parámetros de transformación almacenados en GeMe. Recuerde que puede generar tantos parámetros de transformación como necesite, y para los distintos métodos de conversión que ofrece el programa: Traslación geocéntrica, Transformación de 4 parámetros, Transformación de 4 parámetros más definición de centroide, Molodensky-Badekas, Rotación de marco de coordenadas (7p), y Transformación clásica de 7 parámetros.

En los últimos ejercicios mostraremos cómo utilizar el explorador de redes geodésicas a través de ejemplos reales topográficos.

Ejemplo 5. Conversión UTM a Planas y viceversa

En este ejercicio veremos un caso de conversión de un listado de coordenadas expresadas en UTM, a un listado de coordenadas planas o topográficas. Además, aplicaremos un método más robusto que el utilizado en muchos otros programas de topografía.

Supongamos que un topógrafo ha capturado con un GPS el perímetro de una finca en el sistema UTM ETRS89. Como resultado, ha obtenido un listado XY UTM de los vértices de la misma. Supongamos que el topógrafo necesita expresar los puntos en Planas para enlazar el trabajo a otro expresado en un sistema no proyectado.

Encontrará estos mismos datos dentro de la carpeta ***Capítulo 10. Geodesia/Ejemplo 5:***

UTM_Parcela_GPS.txt

Punto	X utm	Y utm	Z
1	662629.508	4207612.841	91.198
2	662640.085	4207605.979	90.784
3	662662.600	4207591.213	90.524
4	662666.212	4207584.944	90.544
5	662666.215	4207584.925	90.574
6	662665.425	4207577.693	90.520
7	662665.417	4207577.682	90.540
8	662661.701	4207572.903	90.566
9	662641.126	4207553.300	90.704
10	662641.156	4207553.285	90.755
11	662624.686	4207537.773	90.731
12	662624.673	4207537.800	90.711
13	662604.419	4207518.399	90.825
14	662589.410	4207504.110	90.890
15	662571.346	4207523.121	91.205
16	662553.942	4207541.444	91.548
17	662556.714	4207544.140	91.839
18	662556.716	4207544.137	91.849

Para convertir el listado anterior, siga estos pasos:

1. En la pestaña PUNTOS, importe el fichero `UTM_Parcela_GPS.txt`.
2. En la sección GEODESIA, haga clic en el botón **UTM a Planas**.
3. Haga clic en Sistema de Referencia y seleccione Huso 30, hemisferio Norte y datum ETRS89. Acepte.

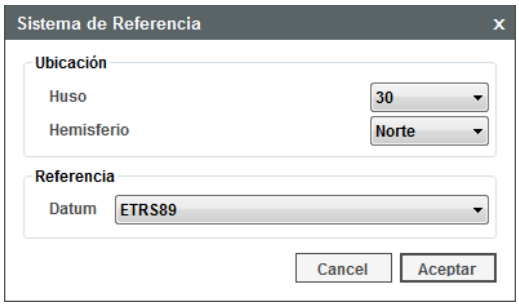


Fig. 94. Identificación del sistema original de coordenadas

4. Active la opción Robusto. El método robusto aplica también (en este caso elimina) la reducción a horizonte y mar.
5. Ahora debemos elegir una posición respecto a la cual se va a producir el cambio de sistema. En este caso, el topógrafo ha decidido emplear una de las posiciones del listado. En este caso la posición del punto número 1. Por tanto, active la opción Punto, dentro de la sección Posición de referencia.
6. Finalmente, verifique que tiene activada la opción Puntos Procesados en la sección Elementos a convertir.

ADVERTENCIA

Recuerde que el proceso de conversión de los puntos (o bases) no se puede revertir. Es decir, una vez acepte la ventana, el listado de coordenadas será sustituido por sus equivalencias en “Planas”.

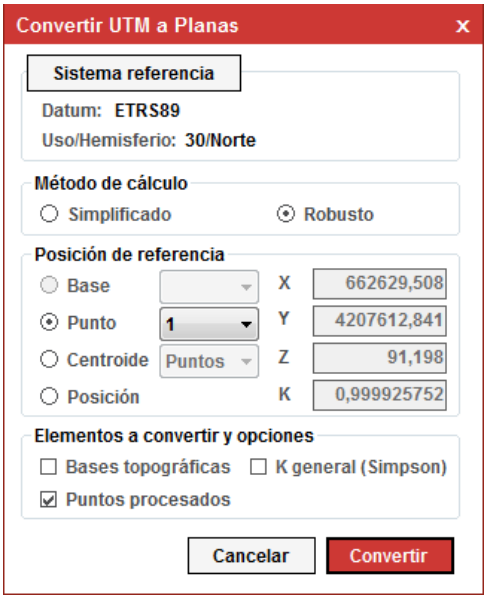


Fig. 95. Configuración de parámetros de conversión.

7. Finalmente, pulse **Convertir**.

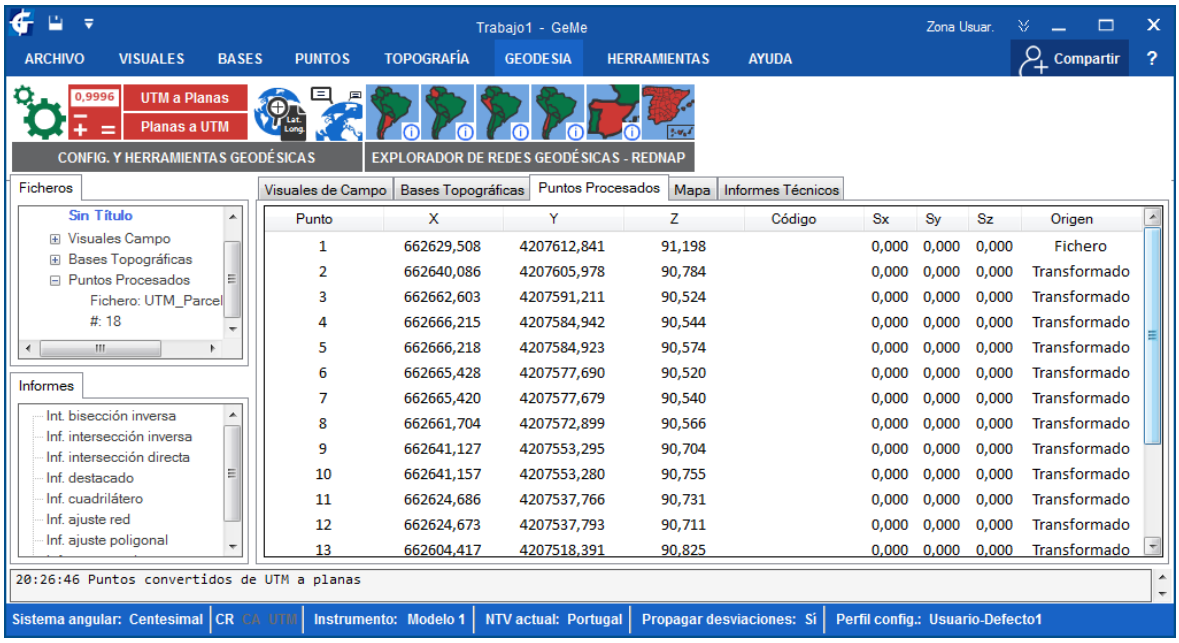


Fig. 96. Listado de puntos convertidos de UTM a Planas

Como observará, el listado principal de puntos ha cambiado, y ahora las coordenadas XY ya no están proyectadas, sino que están expresadas en planas (o topográficas). Ya que como posición de referencia se ha empleado el punto número 1, podrá observar que, como es de esperar, su posición XY no ha cambiado (sí la del resto de puntos).

Se deja como práctica para el lector realizar el proceso opuesto (Planas a UTM) utilizando como posición el mismo punto número 1. Como cabe de esperar, el listado resultante en UTM deberá coincidir con el enunciado.

Ejemplo 6. Planificación de trabajos y gestión de redes geodésicas horizontales. Perú

En este ejercicio aprenderemos un poco más sobre el Explorador de Redes Geodésicas de GeMe. En este ejemplo, utilizaremos los vértices de Perú. Si usted trabaja en otro país no deje de hacerlo pues, en sus pasos, descubrirá opciones comunes para cualquier búsqueda.

Como ya sabrá, GeMe contiene más de 50.000 posiciones geodésicas, entre redes horizontales y verticales. GeMe incluye las redes (de forma parcial o total, dependiendo del país) de Argentina, Colombia, Perú, Chile y España.

Supongamos que un topógrafo va a realizar un trabajo en Perú (al Oeste de Ferreñafe). En este trabajo desea conocer qué información geodésica está disponible alrededor de su lugar de trabajo. Para ello, el topógrafo ha consultado en Google Earth las coordenadas geográficas de una posición, siendo estás:

Longitud	Latitud
-77.033898527º	-11.82224625º

Para conocer las posiciones geodésicas cercanas a esta posición siga estos pasos:

1. Acceda a la pestaña GEODESIA. Aquí active el Explorador geodésico, para el territorio de Perú, haciendo clic en el icono correspondiente dentro de la sección EXPLORADOR DE REDES GEODÉSICAS - REDNAP.

Existen diversas redes, clasificadas por número de orden, dentro de la red geodésica horizontal peruana. GeMe contiene las redes 0, A, y B.

2. Pulse directamente el botón **Buscar**. Y acepte la ventana de aviso.

Automáticamente visualizará gráficamente los vértices geodésicos de las tres redes anteriores, de todo el territorio peruano (esto se debe a que está seleccionada la opción Todos en el desplegable Vértices). De hecho, podrá intuir la forma de Perú a través de la nube de puntos. Todos estos vértices, junto a los datos de ubicación y descripción, se cargan también en la pestaña Listado.

Si mueve el cursor sobre el mapa gráfico verá las coordenadas UTM (GRS80) de su posición, las cuales se muestran en la barra de información.

3. Sitúe el cursor sobre las coordenadas de la parte izquierda de la barra inferior y haga clic. Esto activará temporalmente un pequeño cuadro donde podrá elegir Coordenadas geográficas. Hágalo.

En el momento en que vuelva a introducir el cursor sobre la ventana gráfica las coordenadas de la barra de información se mostrarán en formato geográfico. Si lo desea, también puede ampliar la ventana gráfica utilizando los botones de la parte inferior del listado.

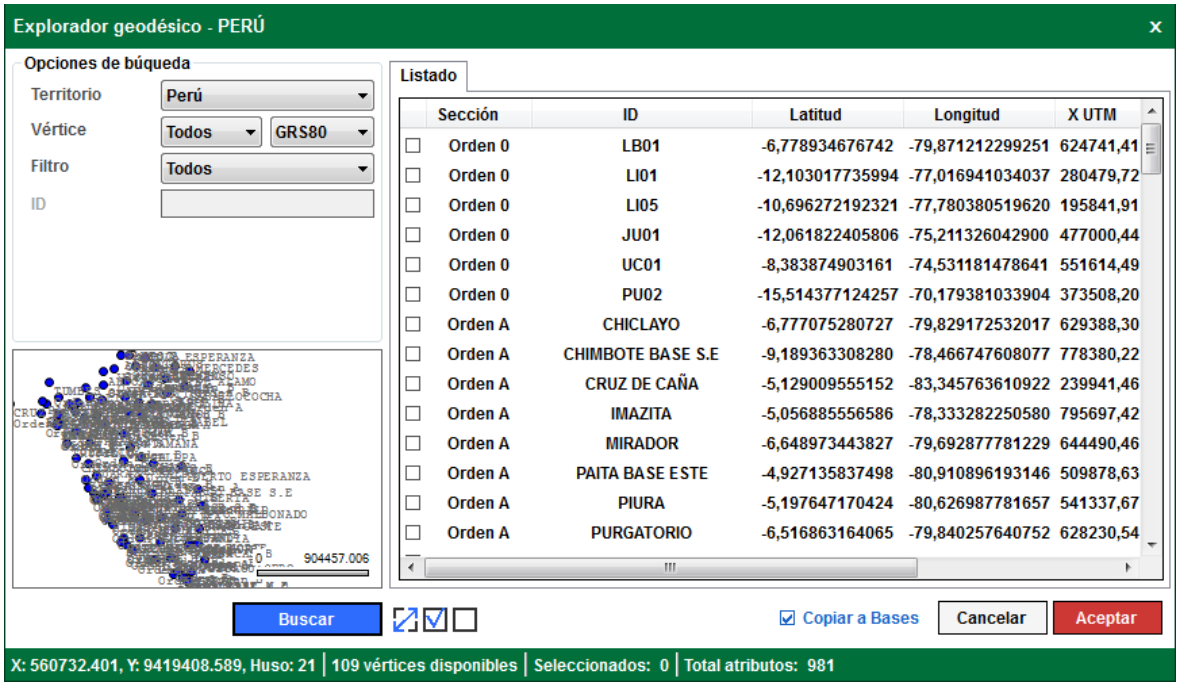


Fig. 97. Vértices geodésicos de Perú

4. Moviendo el cursor localice, más o menos, la posición **lat.: -6**, **lon = -79**. Localizada la zona amplíela con la ruleta del mouse y ayúdese de pequeños desplazamientos sobre el mapa (arrastrando a través del botón izquierdo del mouse).

5. Haga clic sobre cada uno de los vértices (en este caso los cuatro vértices de la zona que se muestra en la figura 80).

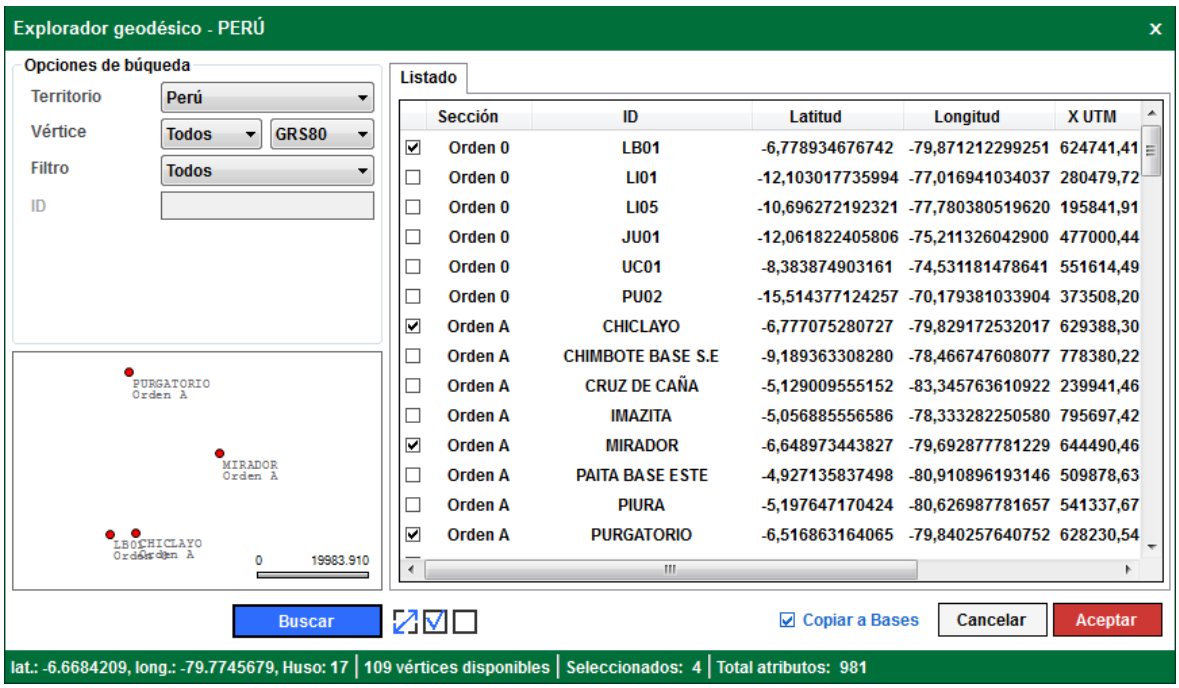


Fig. 98. Posición localizada y selección de vértices

Verá en el listado los 4 vértices seleccionados (con su check activado), y toda la información asociada a cada una; sección a la que pertenecen, nombre, latitud, longitud y coordenadas UTM, en el datum GRS80, la altura elipsoidal y el huso.

6. Verifique que tiene activada la opción Copiar a Bases y pulse **Aceptar**.

Estas posiciones pasarán al listado Bases Topográficas, incluyendo algunos de sus atributos.

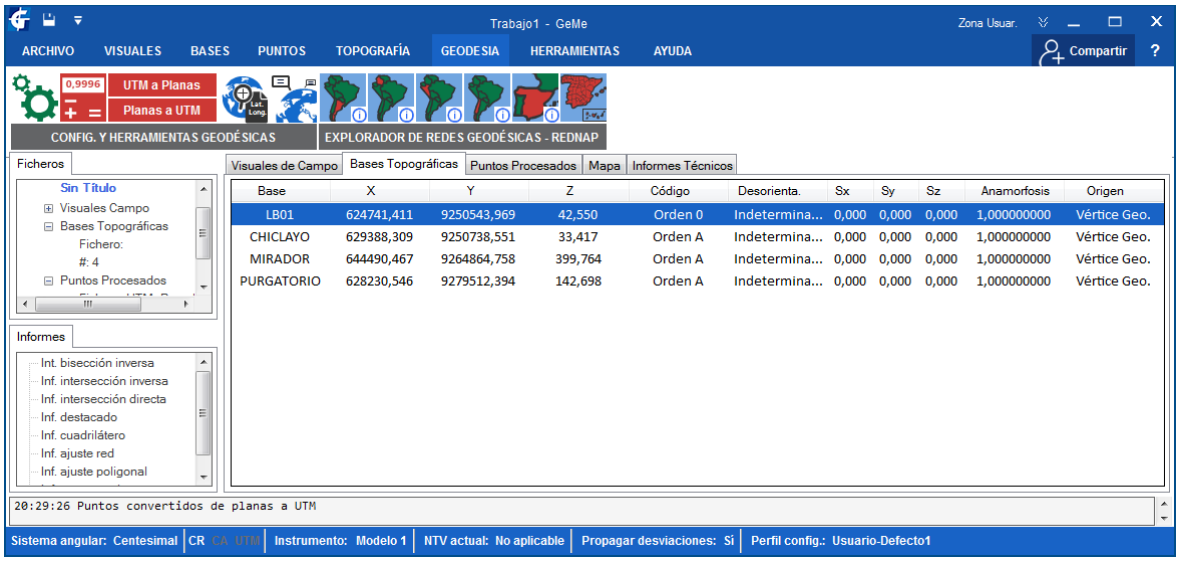


Fig. 99. Vértices convertidos en bases topográficas

En este ejemplo, el topógrafo ya podría planificar su trabajo de campo sabiendo la información geodésica disponible en su entorno. Por tanto podrá utilizar estos vértices en sus trabajos y procesar los métodos topográficos apoyados en estas posiciones. Recuerde que puede exportar el listado de Bases Topográficas a Google Earth, para analizar el terreno con mayor detalle.

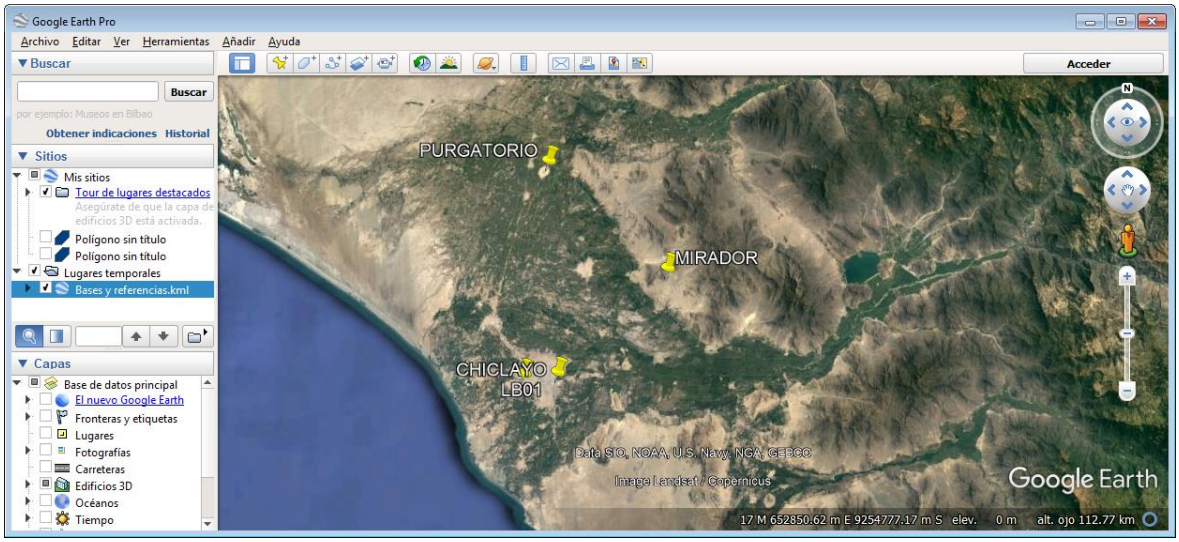


Fig. 100. Posiciones exportadas a Google Earth

Ejemplo 7. Planificación de trabajos y gestión de redes geodésicas horizontales. España

En el ejercicio anterior hemos experimentado la consulta de información disponible en un entorno, y cómo usarla con fines técnicos. En este ejercicio detallaremos otra forma de consulta, utilizando como ejemplo la red geodésica española.

Imaginemos que un topógrafo va a realizar un levantamiento en el municipio de Mieres, Comunidad Autónoma de Asturias (España). En este caso, no conoce exactamente la zona de trabajo.

1. Acceda a la pestaña GEODESIA. Active el Explorador Geodésico para el territorio de España, haciendo clic en el icono correspondiente.

El Explorador geodésico - ESPAÑA permite realizar búsquedas para la península y Baleares, o para las Islas Canarias. También se puede realizar búsquedas en cualquiera de las dos redes disponibles (ROI o REGENTE), o sobre ambas. Además, se puede elegir entre visualizar los resultados en ETRS89 o en ED50.

2. En el desplegable Filtro, seleccione Ubicación y, en Comunidad Autónoma, seleccione Asturias (Principado de). A continuación, pulse **Buscar**.

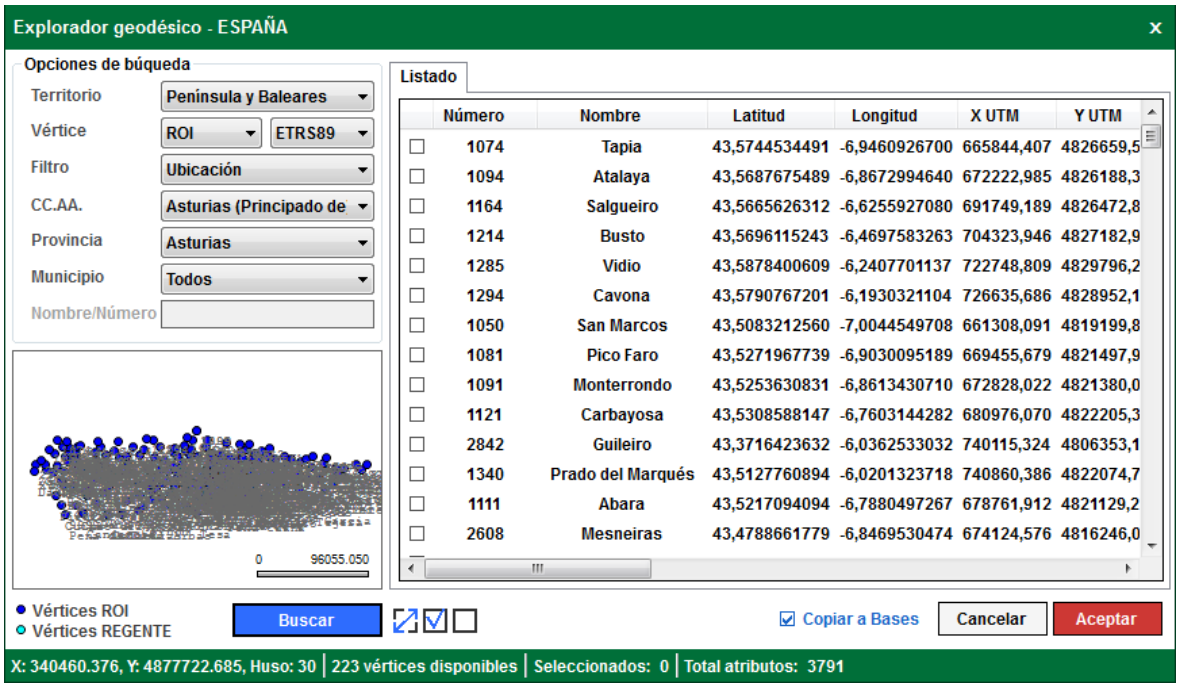


Fig. 101. Vértices ROI en Asturias

Los vértices que observa (223 en total) tiene la misma forma que el territorio de la comunidad asturiana. Si no cambió el desplegable Vértice, todas estas posiciones están referidas a la red ROI, y al datum ETRS89.

Sin embargo, la zona de interés es Mieres. Para ello:

3. Seleccione **Mieres** en el desplegable Municipio y pulse de nuevo **Buscar**. Ahora observará únicamente 7 vértices. En el desplegable Vértices seleccione **Todos** y pulse una vez más Buscar. Ahora verá un nuevo vértice, haciendo un total de 8.

Los 8 vértices que observa (7 de la red ROI y uno de la REGENTE) son los existentes en Mieres. Observe el listado de coordenadas. Verá una columna llamada Regente y un **Sí** para un vértice en concreto (el mismo que aparece color cian en el mapa). También verá las posiciones expresadas en coordenadas geográficas y UTM (datum ETRS89), junto a la altura ortométrica, altura elipsoidal (en base del pilar si pertenece a ROI, o referida al centrado

forzoso si es REGENTE). Además, se muestra la altura del pilar, las desviaciones estándar en XYZ, y los datos de la ubicación territorial.

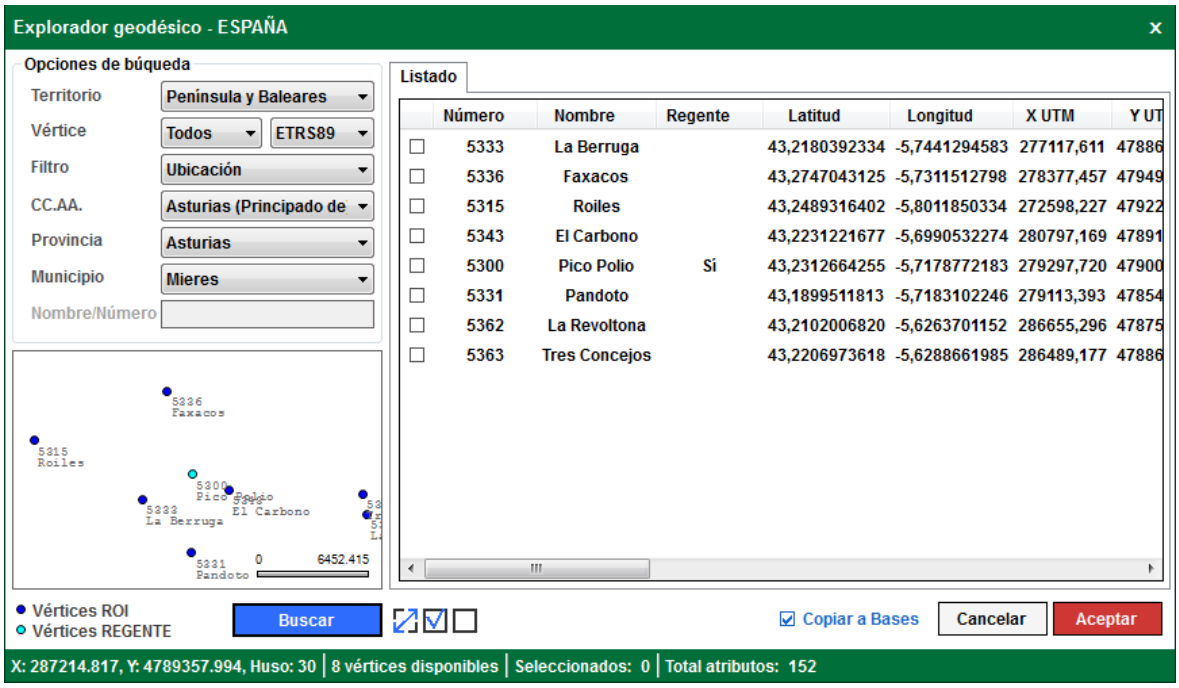


Fig. 102. Búsqueda de todos los vértices disponibles en Mieres, Asturias (España).

Finalmente, en la última columna, se detalla la URL que da acceso a las reseñas oficiales publicadas en la web del Instituto Geográfico Nacional. Pruebe a hacer doble clic sobre la URL del primer vértice del listado. Con ello accederá a la reseña oficial de este vértice.

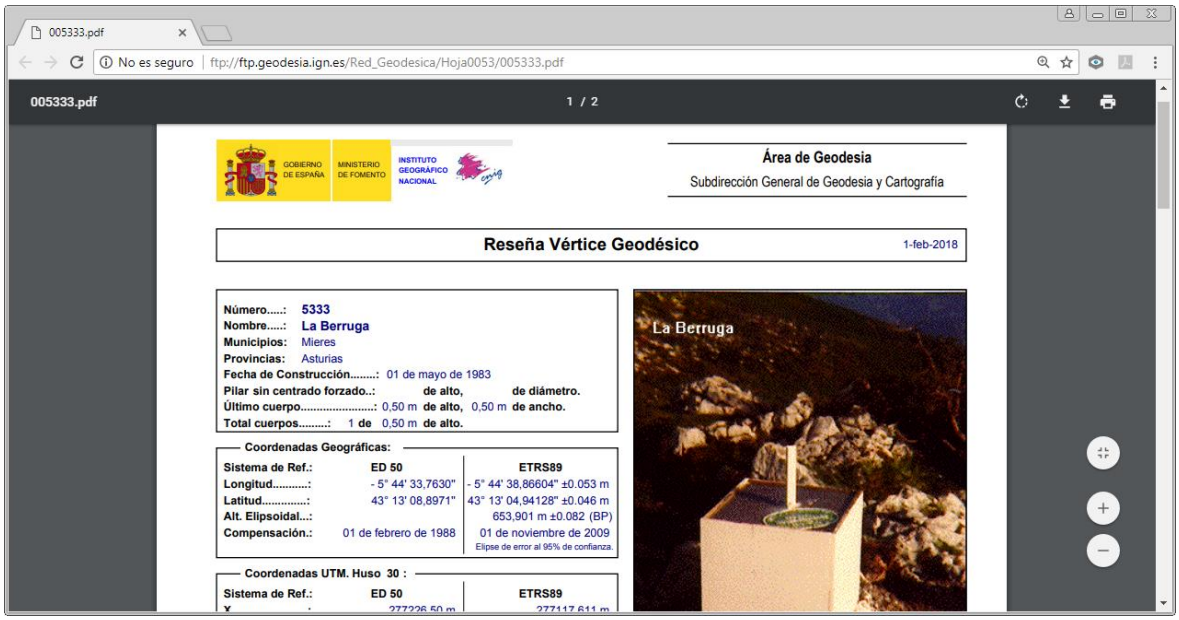


Fig. 103. Reseña oficial del vértice seleccionado

4. Utilice el botón de selección múltiple (o seleccione gráficamente los vértices, uno a uno, o active las casillas de la primera columna) para seleccionarlos todos. A continuación acepte el Explorador geodésico.

Fíjese ahora en la pestaña Bases Topográficas. Verá los 8 vértices convertidos en bases. Además, las desviaciones estándar de los vértices se asignaron como desviaciones de las bases.

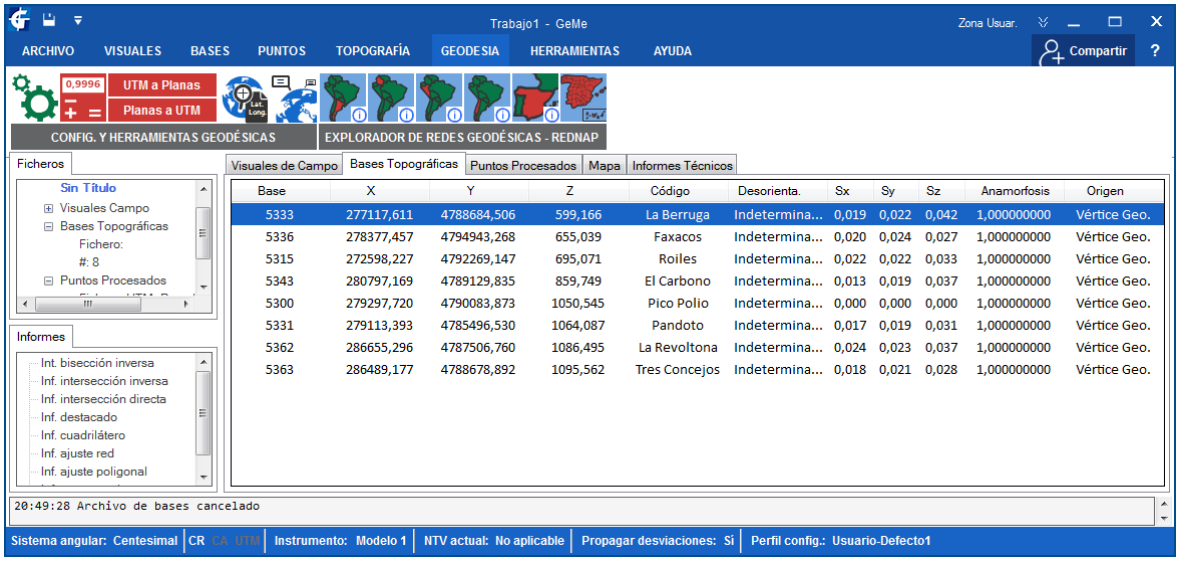


Fig. 104. Reseña oficial del vértice localizado a través del explorador geodésico

Como puede imaginar, a través de GeMe podrá utilizar estas incertidumbres en la resolución de algunos métodos topográficos, controlando en todo momento la precisión de las nuevas bases que vaya generando, así como la de los puntos que vaya radiando.

En este ejercicio hemos visto lo sencillo que resulta obtener la información geodésica horizontal a través del Explorador geodésico. Además, hemos aprendido a copiar esta información para generar nuevas bases topográficas. Como aliciente, hemos comprobado que, si la red posee la desviación estándar de los vértices (como es el caso de la española), las precisiones se asignan directamente a las bases convertidas. Lo que permite usar esta información adicional en la resolución de diversos métodos topográficos.

Ejemplo 8. Planificación de trabajos y gestión de redes geodésicas verticales

La red vertical supone una fuente de información importantísima en la planificación de trabajos topográficos, geológicos, hidrográficos, etc. Esta red, denominada REDNAP, está formada por unas 30.000 posiciones, cuya componente Z resulta de gran precisión.

En este ejemplo veremos cómo utilizar el Explorador Geodésico de GeMe para planificar los trabajos altimétricos de un trabajo.

Supongamos que un topógrafo debe realizar una nivelación de alta precisión. El trabajo consiste en dar cota a una serie de testigos (sondeos) para controlar los asentamientos del terreno debido a fluctuaciones del nivel freático. La zona de trabajo se localiza en la provincia de Murcia (España).

Para localizar los puntos de la REDNAP, y utilizarlos como bases topográficas (que en campo usaremos como referencias altimétricas para la nivelación de alta precisión) siga estos pasos:

1. Acceda a la pestaña GEODESIA. Ejecute el comando Red de nivelación de alta precisión (España), lo que activará el Explorador geodésico.

La REDNAP está formada por dos redes; una principal y otra secundaria. La búsqueda se puede centralizar en un tipo de red o sobre ambas.

2. En el desplegable Pto. nivelación seleccione **Todos**. Esto nos permitirá realizar la búsqueda de ambas redes.
3. En Filtro seleccione **Ubicación**. A continuación, seleccione en los siguientes desplegables, y por este orden, **Región de Murcia**, **Murcia** y **Murcia**.
4. Finalmente, pulse **Buscar**.

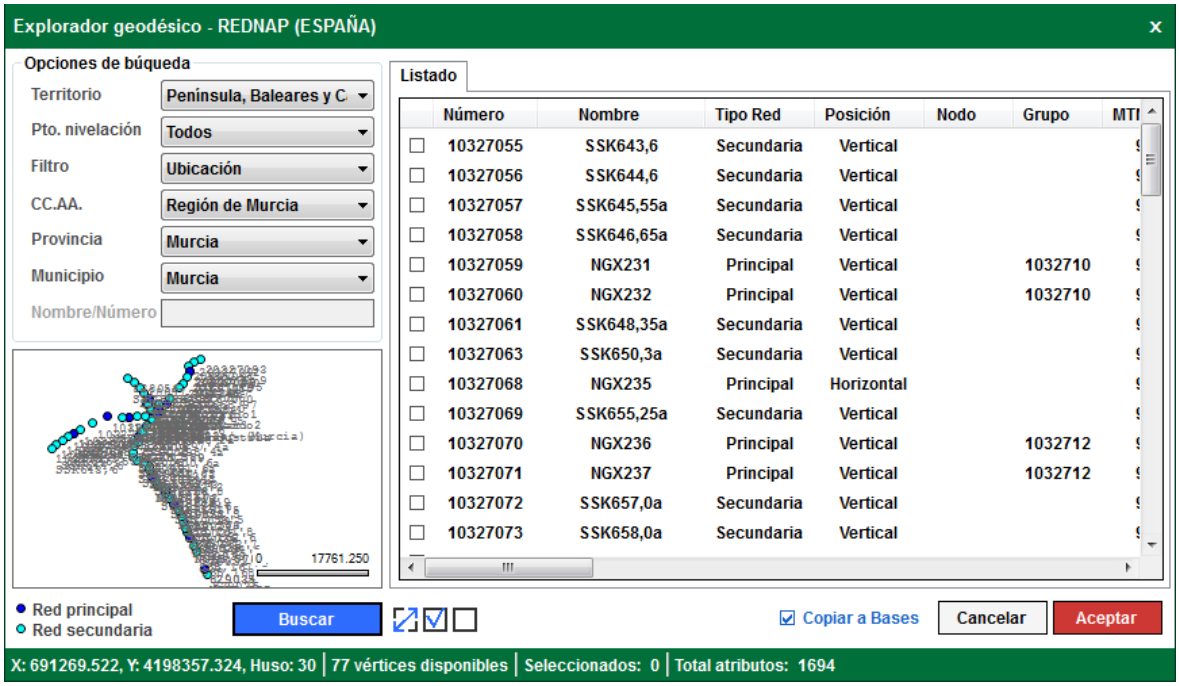


Fig. 105. REDNAP en el municipio de Murcia. Comunidad Autónoma de Murcia (España)

Tome un momento y revise todos los datos disponibles en la pestaña Listado. La información es abundante ya que, para 77 puntos hallados, existen más de 1600 atributos listados:

- Número y nombre del punto de nivelación.
- Tipo de red (principal o secundaria) y disposición del punto (horizontal o vertical).
- Puntos que forman un nodo en la red.
- Grupos de líneas de nivelación.
- Posición de los puntos, expresados en el datum ETRS89, en coordenadas geográficas y UTM.
- Precisión de la posición planimétrica.
- Altura elipsoidal y ortométrica.

- Tipo de observación de la gravedad.
- Huso y ubicación territorial.
- Reseña de cada punto.

La reseña de cada punto es un documento que podemos obtener fácilmente haciendo doble clic sobre la dirección URL que hallará en la última columna. En esta reseña no sólo encontrará los mismos datos que en GeMe (salvo error tipográfico en el programa), sino también un croquis de ubicación, así como referencias fotográficas.

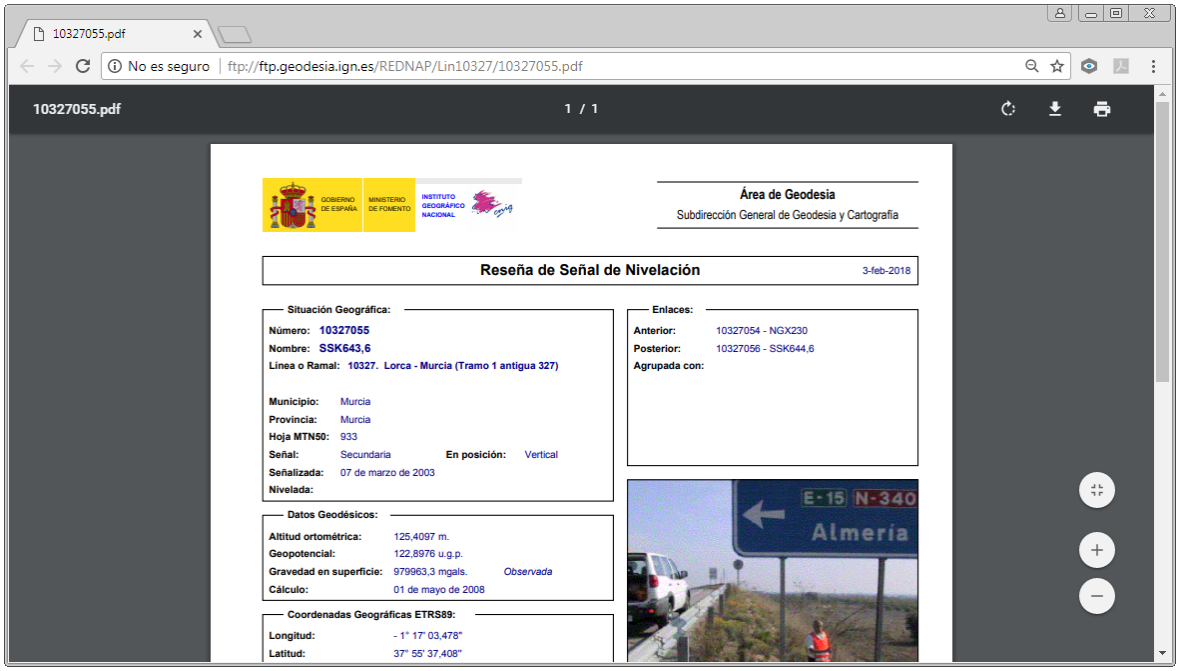


Fig. 106. Reseña oficial de un punto REDNAP

5. Seleccione todos los puntos mediante el botón de selección múltiple y acepte.

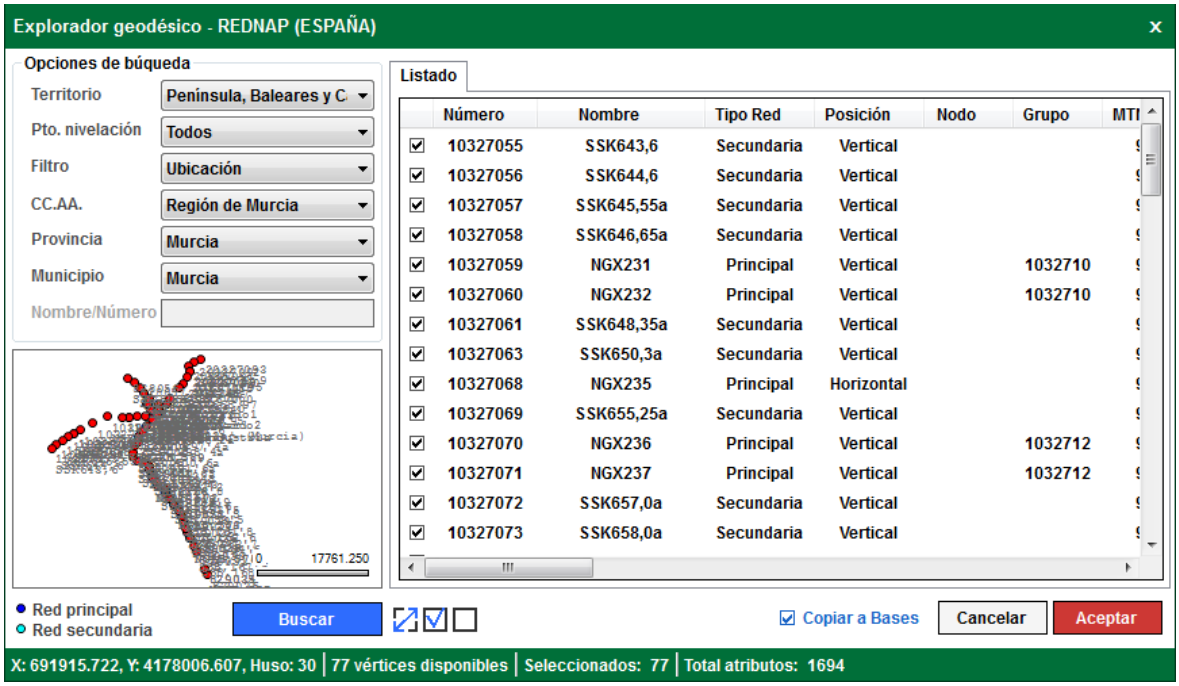


Fig. 107. Selección múltiple de la búsqueda

De forma similar a los ejercicios anteriores, todos los puntos geodésicos seleccionados pasarán al listado Bases Topográficas. Desde aquí podrá gestionar la planificación y resolución de los métodos topográficos apoyados en estos puntos. Por ejemplo, utilizar aquellos que posean una precisión XY tal que pueda utilizarla como puntos de apoyo planimétricos.

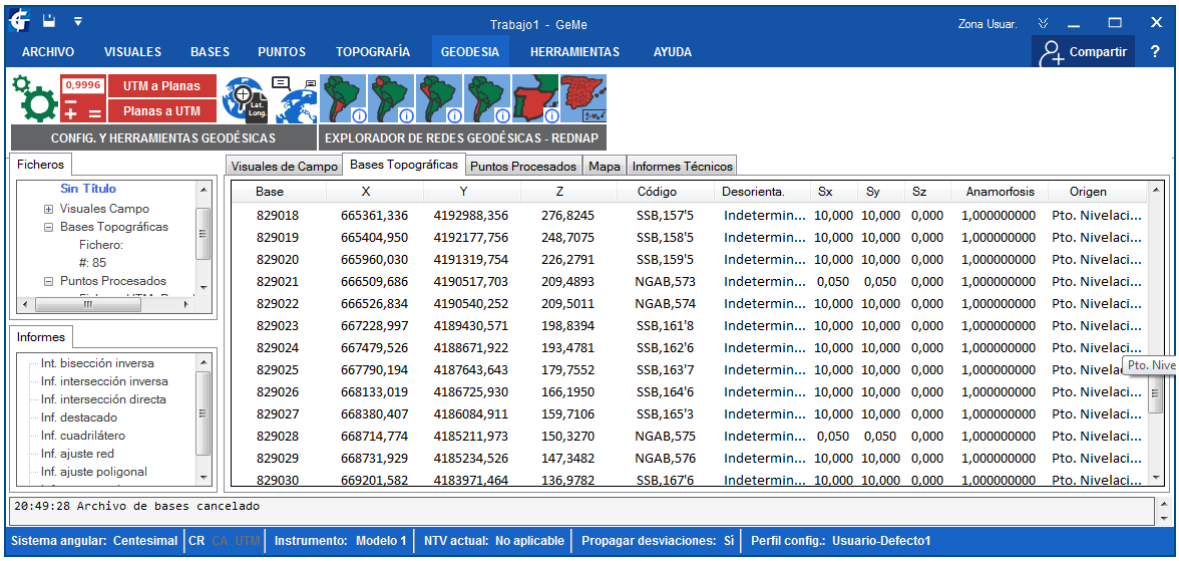


Fig. 108. Puntos REDNAP convertidos en bases topográficas

Recuerde que en la pestaña Mapa también podrá consultar, a través de la interfaz gráfica de GeMe, las coordenadas y precisiones de las bases. Incluso puede modificar cualquier atributo, haciendo doble clic sobre un punto, a través de la ventana Edición de bases.

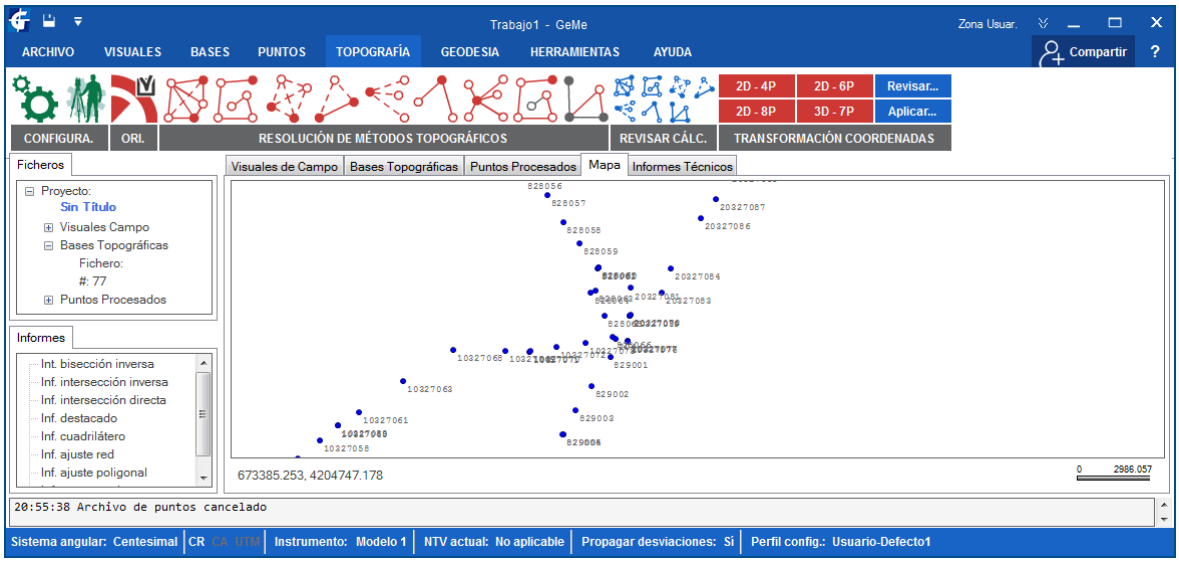


Fig. 109. Representación gráfica

NOTA ADICIONAL

Los 37 ejercicios de este manual provienen de mediciones reales realizadas por el propio autor de GeMe, o por algunos de sus colaboradores (citados en los agradecimientos del manual de usuario). Algunos ejercicios han sido retocados para realzar diversas explicaciones del programa, objeto real de los ejercicios.

Si usted cree que estos ejercicios le pueden ayudar en sus clases docentes, por favor, cite la siguiente fuente:

- *Renard Julián, Eduardo J. (2018-2023). Manual de Ejercicios de Gestor de Mediciones, versión 3.5.* www.topoedu.com.

El contenido de este manual está suscrito a **Creative Commons (CC)**.

Si desea obtener múltiples recursos gratuitos (hojas Excel de gran contenido técnico, artículos, ejercicios, etc.) no deje de visitar: www.topoedu.com.

www.TOPOEDU.es - Copyright © 2023

Todos los derechos reservados
Descarga este manual en
www.topoedu.es/manuales.html