

José Luis Lerma García

# **AEROTRIANGULACIÓN: CÁLCULO Y COMPENSACIÓN DE UN BLOQUE FOTOGRAMÉTRICO**

Versión electrónica (revisada)

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,  
Cartográfica y Topográfica

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Depósito Legal: V-5169-1999  
I.S.B.N.: 84-7721-847-1

© José Luis Lerma García

## **PRÓLOGO**

En el presente texto se expone y ejemplifica el cálculo y la compensación de una aerotriangulación fotogramétrica por diversos métodos. El libro se enmarca dentro de la asignatura troncal de 3<sup>er</sup> Curso de Ingeniería Técnica Topográfica, denominada “Fotogrametría III”. Los objetivos del mismo son varios: en primer lugar, desarrollar de principio a fin un proyecto de aerotriangulación; en segundo lugar, mostrar qué necesitan y cómo funcionan los programas implementados en los restituidores analíticos y digitales; y en tercer lugar, facilitar la comprensión de algoritmos ampliamente requeridos en diversidad de tareas fotogramétricas.

Se supone que el alumno ya ha superado las asignaturas “Fotogrametría I” y “Fotogrametría II” impartidas en el curso anterior de la Carrera, y que por tanto posee los conocimientos teóricos y prácticos impartidos en las mismas.

Los fundamentos teóricos necesarios para abordar los cálculos y las compensaciones se presentan de manera gradual y en diversos apartados a lo largo de todo el texto. Asimismo, una vez expuesta la parte teórica, se procede a ejecutar ejemplos de uso con datos reales que permiten mejorar la comprensión y asentar los conocimientos teóricos adquiridos.

El libro se subdivide en cinco capítulos y se inicia con un apartado de preliminares, en donde se detallan los trabajos a realizar previamente al cálculo y la compensación de un bloque fotogramétrico; además se reseña el sistema de numeración utilizado en el proceso de aerotriangulación.

El primer capítulo describe el planteamiento a seguir en la resolución de cualquier triangulación y presenta los datos iniciales que permitirán resolver por varios métodos el bloque en cuestión. Los tres capítulos siguientes muestran la metodología de cálculo y compensación que permite resolver un bloque fotogramétrico. En concreto, el segundo capítulo se adentra en el cálculo de las coordenadas aproximadas de todos los puntos (que integran el bloque) en un sistema de coordenadas modelo o terreno único para todo el bloque. El tercer capítulo trata la resolución de un bloque fotogramétrico por el método de los modelos independientes en su versión planimétrica, altimétrica y tridimensional, considerando sistemas de coordenadas libres y ligados, mientras que en el capítulo cuarto se estudia el método de los haces de rayos. Por último, el capítulo quinto se dedica a analizar y comparar los distintos resultados obtenidos a partir de las respectivas compensaciones.

La bibliografía expuesta al final del libro contribuirá a un estudio más profundo de triangulaciones, bien sean de fotogrametría terrestre o aérea (comúnmente denominada aerotriangulación). Estudios de fiabilidad interna y externa de sistemas de ecuaciones se dejan para siguientes publicaciones en cursos sucesivos, así como la utilización de algoritmos mínimo cuadráticos más rápidos, estables y robustos. También se omitirá la introducción de parámetros adicionales en las ecuaciones de observación que permiten corregir los posibles defectos de orientación interna de la cámara y otros sistematismos existentes en los datos utilizados durante el proceso de ajuste.

Este libro de problemas se complementa con otros tres: "Problemas de Fotogrametría I", "Problemas de Fotogrametría II" y "Problemas de Fotogrametría III". En conjunto, los cuatro libros permiten dar al alumno de cursos de ingeniería y, en general, a cualquier tipo de técnico que trate o trabaje con técnicas afines, una visión práctica, sencilla y rigurosa, de cuestiones y aspectos difícilmente asimilables únicamente con libros de teoría.

El autor expresa su profundo agradecimiento al 'Department of Technology, Section of Community Development' de la 'University of Gävle' (Suecia), por aportar los datos iniciales que sirvieron de base para realizar los cálculos y compensaciones ulteriores.

Valencia, septiembre 1999.

***J.L.Lerma***

# **ÍNDICE**

## **PRELIMINARES**

1. Trabajos previos al cálculo del bloque fotogramétrico .....	7
2. Sistema de numeración de puntos utilizado en el proceso de aerotriangulación .....	9

## **CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO Y DATOS DE PARTIDA**

1.1. Introducción .....	13
1.2. Datos iniciales.....	14

## **CAPÍTULO 2. CÁLCULO DE COORDENADAS TERRENO APROXIMADAS**

2.1. Introducción .....	23
2.2. Transformación de coordenadas tridimensionales.....	24
2.3. Creación de pasadas .....	28
2.3.1. Creación de la primera pasada: paso de CM2 a CM1 .....	28
2.3.2. Creación de la segunda pasada: paso de CM4 a CM3.....	36
2.4. Creación de un bloque ‘libre’ de coordenadas modelo .....	42
2.5. Transformación del bloque ‘libre’ al sistema de coordenadas terreno .....	48

## **CAPÍTULO 3. AEROTRIANGULACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS MODELOS INDEPENDIENTES**

3.1. Introducción .....	61
3.2. Aerotriangulación planimétrica.....	62
3.2.1. Sistema ligado .....	62
3.2.2. Sistema libre .....	64
3.3. Ejemplo de aplicación: Aerotriangulación planimétrica sistema ligado .....	66
3.3.1. Caso 1: De coordenadas bloque ‘libre’ a terreno compensadas .....	70
3.3.2. Caso 2: De terreno aproximadas a terreno compensadas .....	78
3.4. Ejemplo de aplicación: Aerotriangulación planimétrica sistema libre .....	85
3.5. Aerotriangulación altimétrica.....	94
3.5.1. Modelo matemático.....	94
3.6. Aerotriangulación tridimensional .....	98
3.6.1. Sistema ligado .....	98
3.6.2. Sistema libre .....	100
3.7. Corrección de esfericidad a las coordenadas terreno .....	102
3.8. Ejemplo de aplicación: Aerotriangulación tridimensional sistema ligado .....	104
3.9. Ejemplo de aplicación: Aerotriangulación tridimensional sistema libre .....	142

**CAPÍTULO 4. AEROTRIANGULACIÓN POR EL MÉTODO  
DE LOS HACES DE RAYOS**

4.1. Introducción .....	179
4.2. Modelo matemático.....	179
4.3. Corrección de esfericidad a las coordenadas imagen .....	184
4.4. Ejemplo de aplicación: Aerotriangulación por el método de los haces de rayos.....	186
4.4.1. Caso 1: Tomando todos los puntos medidos.....	188
4.4.2. Caso 2: Tomando todos los puntos excepto el 42516 .....	219

**CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

5.1. Listados de coordenadas terreno compensadas .....	271
5.2. Análisis de los resultados .....	277

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>281</b>
--------------------------	------------

## ***PRELIMINARES***

---



## 1. TRABAJOS PREVIOS AL CÁLCULO DEL BLOQUE FOTOGRAMÉTRICO

La primera tarea al encontrarnos en posesión de los fotogramas que constituyen el bloque fotogramétrico a aerotriangular será realizar un **inventario** de los mismos. Este inventario incluirá un estudio de las condiciones y estado en el que se encuentran los fotogramas; se comprobará cual es la disposición que ocupan los fotogramas en el bloque, se examinará si existe suficiente solape entre los distintos fotogramas (60% longitudinal y 30% transversal aprox. en vuelos tradicionales sin GNSS/INS), y se asegurará que no hay zonas sin recubrimiento estereoscópico. Además, el inventario permitirá la **identificación, selección, numeración y marcado** de los puntos que formen parte del trabajo de aerotriangulación. Dichos puntos se podrán utilizar para muy diversos fines (tal y como se verá a continuación).

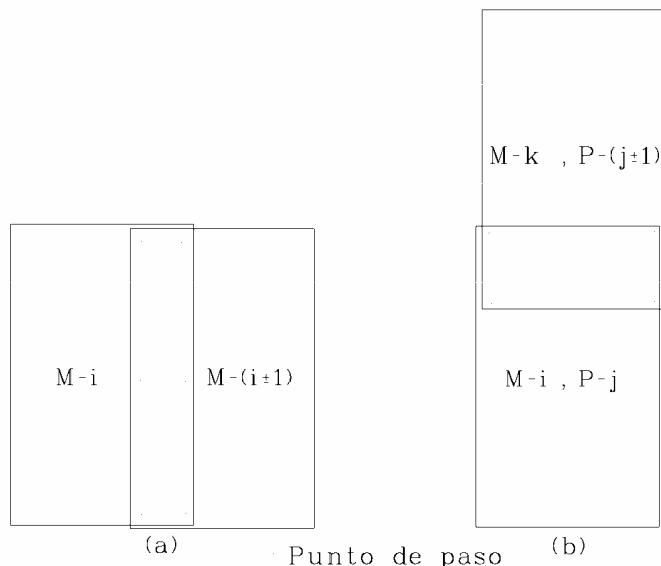
Una vez identificadas, seleccionadas y numeradas las imágenes fotográficas de los puntos del terreno, se medirán sus coordenadas (bien sea monoscópicamente o estereoscópicamente) en comparadores de calidad que garanticen suficiente precisión en las mediciones a efectuar. Los puntos del terreno podrán ser:

- ✓ **Puntos “señalizados”** y materializados correctamente previamente al vuelo fotogramétrico tanto en lo referente a tamaño como a contraste del punto sobre el terreno. Estos puntos garantizan teóricamente una identificación y medición óptima, aunque raras veces se dispone de ellos debido al considerable incremento del coste de la triangulación. Estos puntos se requieren si se desea obtener máxima precisión en el trabajo a realizar.
- ✓ **Puntos “naturales”** señalados directamente en los fotogramas. Estos puntos deben ser identificados sobre los fotogramas sin ambigüedad y, generalmente, vienen acompañados de reseñas y/o fotografías.
- ✓ **Puntos “artificiales”** seleccionados y marcados adecuadamente sobre el fotograma con instrumental fotogramétrico especial denominado transferidor de puntos. La precisión a esperar en la medida de estos puntos es similar a la que se obtiene en puntos “señalizados”.
- ✓ **Puntos “digitales”**. Se caracterizan porque las coordenadas del punto se graban en el restituidor en vez de marcarse. De este modo, si se dispone de restituidores analíticos y/o digitales, el aparato se posa en el punto previamente grabado de manera única y precisa. A diferencia de los puntos anteriores, estos se seleccionan y miden a la vez.

La selección de las imágenes de los puntos a medir variará en función de la tarea que se le vaya a asignar a cada punto en el proceso de aerotriangulación. Así pues, habrá puntos que se podrán utilizar para:

- A. Realizar la **orientación relativa** del modelo estereoscópico.
- B. **Conectar modelos consecutivos pertenecientes a una misma pasada.** Para referir los independientes sistemas de coordenadas modelo a un único sistema de coordenadas modelo por pasada, los puntos de paso entre modelos se seleccionarán en el área de recubrimiento común a los modelos, procurando que la distancia entre los puntos sea la máxima posible. Como mínimo se requieren las coordenadas tridimensionales de tres puntos de paso, aunque la experiencia recomienda que no se tomen menos de 6 puntos de paso para realizar esta tarea. La disposición ideal se puede encontrar en la Fig. 1a.
- C. **Conectar modelos consecutivos entre pasadas.** Los puntos de paso se situarán en la zona de recubrimiento entre modelos pertenecientes a distintas pasadas o fajas. De nuevo, la experiencia recomienda medir al menos cuatro puntos de paso para así asegurarnos que los modelos entre pasadas enlazan correctamente (Fig. 1b).

El incrementar el número de puntos de paso en los apartados B y C interesa más por prevenir situaciones en las que nos encontramos con errores groseros (y haya que suprimir observables) que por incrementar la precisión en el proceso de ajuste. Además, por razones económicas y de fiabilidad en los resultados interesa que la imagen de un punto del terreno intervenga en diversos procesos de cálculo y de producción.



**Figura 1. (a) Puntos de paso utilizados en la conexión de modelos consecutivos pertenecientes a una misma pasada. (b) Puntos de paso utilizados en la conexión de modelos pertenecientes a distintas pasadas**

## **2. SISTEMA DE NUMERACIÓN DE PUNTOS UTILIZADO EN EL PROCESO DE AEROTRIANGULACIÓN**

Con el fin de facilitar la medida de las imágenes de los puntos sobre los fotogramas, el cálculo y la compensación del bloque fotogramétrico a aerotriangular, a continuación se propone (y se adopta) un sistema de numeración de puntos que permite identificar fácilmente la función del punto y la posición que ocupa tanto en el fotograma como en el bloque.

El sistema de numeración distingue muy bien lo que son puntos de apoyo y puntos de paso, de modo que:

- ✓ Los **puntos de apoyo** mantienen la numeración seguida en los trabajos topogeodésicos.
- ✓ El **resto de puntos** (excepto los centros de proyección) disponen de una numeración que consta de **6 dígitos**, cuyas características son:
  - ✓ El primer y segundo dígitos<sup>1</sup> describen conjuntamente la posición del punto en la pasada.
  - ✓ El primer dígito es igual al número de la pasada.
  - ✓ Si el punto se sitúa en la zona de recubrimiento entre pasadas y además se utiliza como punto de paso entre las mismas, entonces el segundo dígito indicará el valor de la segunda pasada; en caso contrario, el segundo dígito será igual a 0.
  - ✓ El tercer dígito describe la tarea asignada al punto medido en la formación del bloque. Así pues, tendremos que si se utiliza para:
    - ✓ Orientación relativa (o.r.)        su valor es        1
    - ✓ Conexión de modelos (c.d.m.)     "                      2
    - ✓ Conexión de pasadas (c.d.p.)     "                      3
    - ✓ o.r. y c.d.m.                        "                      5
    - ✓ c.d.m. y c.d.p.                    "                      6
    - ✓ o.r. y c.d.p.                        "                      7
    - ✓ o.r. y c.d.m. y c.d.p.            "                      8
  - ✓ Los tres últimos dígitos definen el número del punto en la pasada. Generalmente en cada pasada se adopta un intervalo (prefijado de antemano) múltiplo de una cantidad constante. Por ejemplo: en la primera pasada, los puntos se podrían numerar desde el 001 al 200; en la segunda, desde el 201 al 400, etc.

---

<sup>1</sup> La numeración de los dígitos va de izquierda a derecha.

**Ejemplos:**

- 42516 Punto de apoyo 42516.
- 205204 Punto 204 perteneciente a la segunda pasada, utilizado en la orientación relativa y en la conexión de modelos estereoscópicos.
- 128012 Punto 12 perteneciente a la primera y segunda pasada, utilizado en la orientación relativa, en la conexión de modelos estereoscópicos y en la conexión de pasadas.

Debe tenerse presente que la numeración de las imágenes de los puntos es una labor fundamental que requiere mucho tiempo y esmero. La influencia de una equivocación en la numeración condiciona en gran medida la buena consecución de los cálculos y compensaciones ulteriores.

---

# **CAPÍTULO 1**

## *PLANTEAMIENTO Y DATOS DE PARTIDA*



## 1.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente las técnicas de triangulación fotogramétrica se utilizan en prácticamente todos los trabajos fotogramétricos de pequeña, mediana o gran extensión (excepto aquellos trabajos que solamente requieren la formación de muy pocos pares estereoscópicos). Con el objeto de aclarar la inmensa mayoría de cuestiones que aparecen al abordar y resolver un bloque fotogramétrico, se va a plantear, desarrollar y aplicar la metodología de cálculo y compensación de una aerotriangulación empleando los modelos matemáticos más utilizados y precisos en la práctica de la aerotriangulación fotogramétrica.

La resolución matemática de cualquier bloque fotogramétrico genera matrices de magnitudes considerables (bien sea haciendo uso de técnicas de triangulación analíticas o semianalíticas). El bloque que se ha elegido presenta un número mínimo de modelos estereoscópicos ( $2 \times 2$ ); no obstante, el bloque ofrece las mayores posibilidades de tratamiento y gestión.

Del bloque de  $2 \times 3$  fotogramas (Fig. 2) se conocen:

- A. Las coordenadas imagen (no corregidas del efecto de esfericidad terrestre) de los puntos medidos en el bloque (Fig. 3).
- B. Las coordenadas modelo de los puntos pertenecientes al bloque considerado (Fig. 4). Estas coordenadas se obtuvieron a partir del cálculo de la orientación relativa de los modelos estereoscópicos que formaban el bloque.
- C. Las coordenadas terreno de cuatro puntos de apoyo dispuestos en las esquinas del bloque (Fig. 2).

La metodología que se sigue en este libro a la hora de aerotriangular numéricamente el bloque de fotogramas es:

- Primero, calcular las coordenadas modelo de todos los puntos en un sistema de referencia “modelo” único para todo el bloque. Para ello se efectúan sucesivas transformaciones de coordenadas tridimensionales.
- Segundo, hallar a partir de las coordenadas modelo obtenidas en el apartado anterior las coordenadas terreno aproximadas de todos los puntos que sean objeto de compensación: puntos de paso, puntos de apoyo, puntos de densificación y centros de proyección. En este paso también se requiere la transformación de coordenadas tridimensional.
- Tercero, una vez obtenidas las coordenadas en un sistema de referencia único, compensar el bloque por el método de los modelos independientes (tanto planimétrica como tridimensionalmente), y por el método de los haces de rayos.

Con respecto a los métodos de compensación, en la resolución del bloque fotogramétrico se utilizan distintos modelos matemáticos. Así pues, se abordan resoluciones de sistemas de ecuaciones libres y ligados en función de la condición que se les da a las coordenadas de los puntos de apoyo. Además, se realizan diferentes supuestos para alcanzar los valores más satisfactorios de las incógnitas o parámetros buscados.

La resolución de todos y cada uno de los cálculos y compensaciones exige la aplicación del algoritmo de los mínimos cuadrados, haciendo mínimo el sumatorio de los cuadrados de los residuos del ajuste en cuestión. De este modo se obtiene la mejor solución de los parámetros buscados.

Sin embargo, hay que tener presente que los métodos numéricos empleados son aproximados, es decir, que contienen cierto grado de error. Las fuentes de error de la solución “aproximada” se pueden clasificar en cuatro grupos:

- ✓ Falta de correspondencia entre el modelo matemático y el fenómeno real que se estudia, debido a las aproximaciones del método numérico (en nuestro caso problemas de linealización).
- ✓ Errores (supuestamente aleatorios) de los datos iniciales.
- ✓ Error del método de solución, que dependerá de la estabilidad del algoritmo mínimo cuadrático utilizado.
- ✓ Errores de redondeo de los números utilizados en las operaciones.

La minimización del problema de las fuentes de error se lleva a cabo realizando un cierto número de iteraciones en la resolución de los sistemas de ecuaciones planteados, hasta lograr alcanzar la mejor solución del problema. Sin embargo, en esta publicación no se incide aunque si se trata el estudio de errores groseros en los observables y la influencia de los mismos sobre el total.

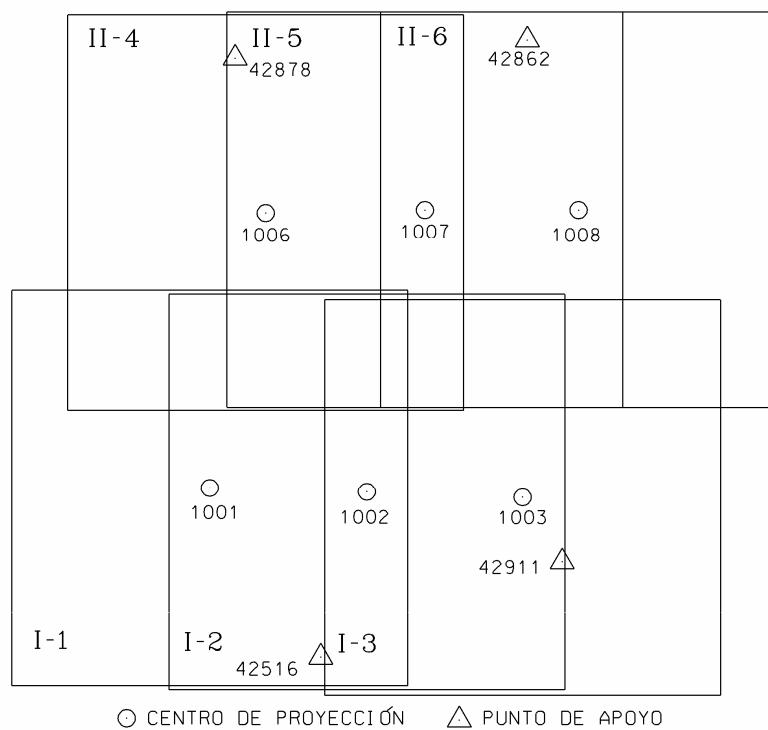
## **1.2. DATOS INICIALES**

### ***Características técnicas del vuelo***

- Cámara métrica RC10 de Wild, con lente: 15 UAG II.
- Distancia focal: 153.66 mm.
- Formato del fotograma: 23 cm x 23 cm.

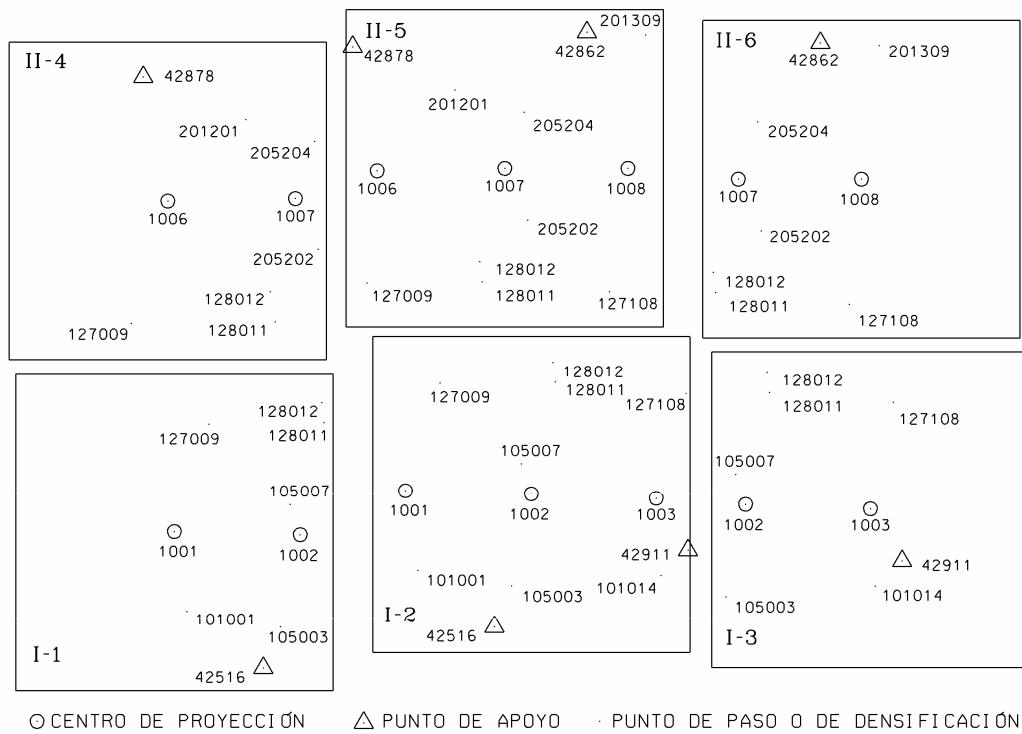
- Escala aproximada de los fotogramas: 1/4000.
- Altura de vuelo aproximada: 615 m.
- Recubrimiento longitudinal: 60%.
- Recubrimiento transversal: 30%.
- Dirección de las pasadas: Oeste - Este.

El gráfico ordenador de vuelo aparece representado en la Fig. 2.



**Figura 2. Gráfico de vuelo del bloque de 2 x 3 fotogramas a aerotriangular**

Seguidamente aparecen los listados y las disposiciones de las coordenadas imagen (Fig. 3), de las coordenadas modelo (Fig. 4) y de las coordenadas terreno que se van a requerir en los cálculos y en las compensaciones del bloque fotogramétrico.



**Figura 3. Disposición y distribución de las imágenes de los puntos sobre los fotogramas**

#### Coord. Imagen fotograma 1

Punto	$x_i$ (mm)	$y_i$ (mm)
42516	57.698	99.239
101001	3.650	60.319
105003	69.872	70.535
105007	74.929	-15.202
127009	17.908	-71.677
128011	96.716	-71.841
128012	94.951	-85.640

***Coord. Imagen fotograma 2***

Punto	x <sub>i</sub> (mm)	y <sub>i</sub> (mm)
42516	-30.940	101.093
42911	103.741	41.209
101001	-86.982	62.268
105003	-19.245	71.560
105007	-14.000	-15.706
101014	84.036	59.492
127009	-73.257	-72.255
127108	105.795	-67.564
128011	8.244	-73.188
128012	6.206	-87.071

***Coord. Imagen fotograma 3***

Punto	x <sub>i</sub> (mm)	y <sub>i</sub> (mm)
42911	19.193	38.509
105003	-109.268	69.939
105007	-103.753	-18.250
101014	-1.636	57.057
127108	21.211	-72.038
128011	-80.696	-77.135
128012	-83.003	-91.387

***Coord. Imagen fotograma 4***

Punto	x <sub>i</sub> (mm)	y <sub>i</sub> (mm)
42878	-18.933	-89.979
127009	-14.993	82.920
128011	68.136	84.058
128012	67.008	69.759
201201	54.097	-55.023
205202	102.117	40.463
205204	102.785	-37.391

***Coord. Imagen fotograma 5***

Punto	$x_i$ (mm)	$y_i$ (mm)
42862	57.630	-94.928
42878	-113.953	-89.974
127009	-107.500	84.793
127108	82.352	91.658
128011	-21.972	84.727
128012	-23.545	70.175
201201	-38.851	-56.096
201309	98.950	-91.557
205202	12.077	39.831
205204	11.341	-39.141

***Coord. Imagen fotograma 6***

Punto	$x_i$ (mm)	$y_i$ (mm)
42862	-30.293	-93.401
127108	-4.603	94.911
128011	-111.957	87.728
128012	-113.558	72.820
201309	11.721	-90.506
205202	-77.026	41.842
205204	-77.299	-37.667

***Coord. Modelo 1***

Punto	$x_m$ (mm)	$y_m$ (mm)	$z_m$ (mm)
1001	0.000	0.000	0.000
1002	92.000	-1.384	-2.248
42516	60.137	-103.428	-160.157
101001	3.792	-62.667	-159.632
105003	72.548	-73.234	-159.544
105007	78.881	16.007	-161.764
127009	18.726	74.953	-160.678
128011	102.939	76.465	-163.547
128012	100.989	91.082	-163.431

***Coord. Modelo 2***

<b>Punto</b>	<b>x<sub>m</sub> (mm)</b>	<b>y<sub>m</sub> (mm)</b>	<b>z<sub>m</sub> (mm)</b>
1002	0.000	0.000	0.000
1003	92.000	-1.209	-2.267
42911	112.271	-44.595	-166.294
101014	89.847	-63.606	-164.286
105003	-19.779	-73.536	-157.906
105007	-14.643	16.419	-160.678
127108	115.239	73.596	-167.376
128011	8.733	77.607	-162.947
128012	6.569	92.298	-162.888

***Coord. Modelo 3***

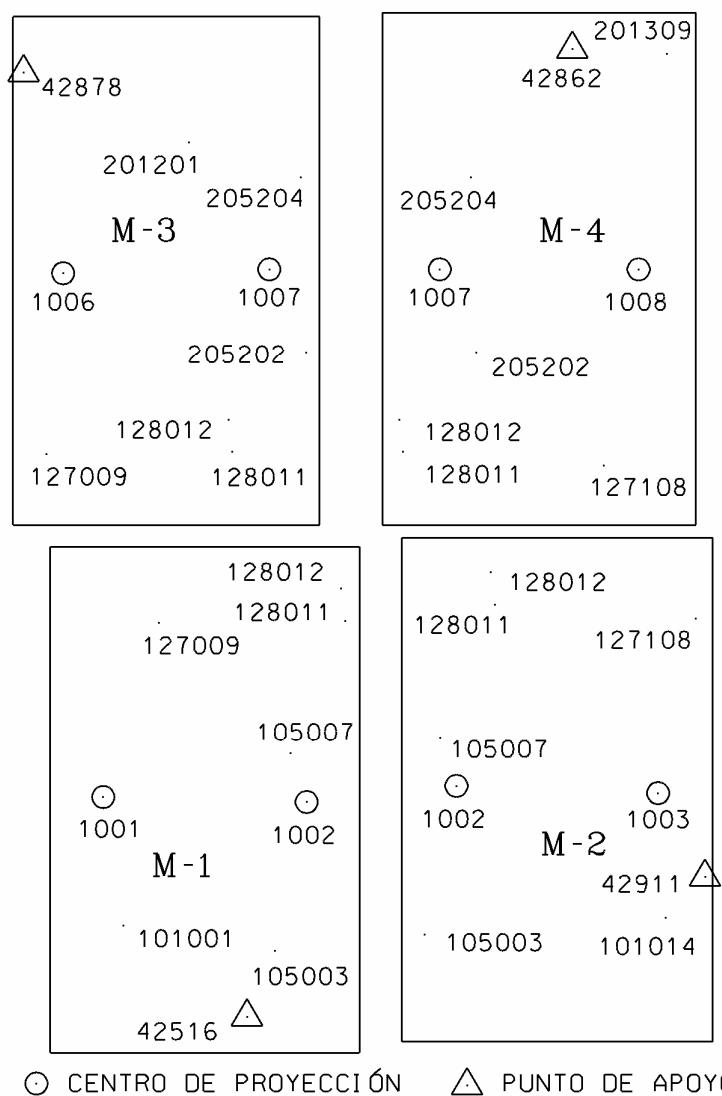
<b>Punto</b>	<b>x<sub>m</sub> (mm)</b>	<b>y<sub>m</sub> (mm)</b>	<b>z<sub>m</sub> (mm)</b>
1006	0.000	0.000	0.000
1007	92.000	-1.711	-2.174
42878	-18.704	88.888	-151.803
127009	-14.830	-82.021	-151.991
128011	68.320	-84.287	-154.075
128012	67.047	-69.796	-153.748
201201	53.992	54.914	-153.361
205202	102.685	-40.686	-154.514
205204	103.278	37.569	-154.396

***Coord. Modelo 4***

<b>Punto</b>	<b>x<sub>m</sub> (mm)</b>	<b>y<sub>m</sub> (mm)</b>	<b>z<sub>m</sub> (mm)</b>
1007	0.000	0.000	0.000
1008	92.000	-1.716	-1.787
42862	59.630	98.218	-158.992
127108	85.407	-95.059	-159.360
128011	-22.425	-86.479	-156.829
128012	-23.989	-71.505	-156.580
201309	103.237	95.525	-160.317
205202	12.373	-40.797	-157.389
205204	11.631	40.140	-157.604

**Coord. Terreno**

Punto	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)	Z <sub>T</sub> (m)
42516	42492.400	50847.590	1.777
42911	43066.100	51069.990	2.528
42878	42293.350	52242.940	20.044
42862	42972.950	52284.020	24.204



**Figura 4. Distribución gráfica de los puntos por modelo**

# **CAPÍTULO 2**

## **CÁLCULO DE COORDENADAS TERRENO APROXIMADAS**

---



## 2.1. INTRODUCCIÓN

Inicialmente disponemos de un mosaico de modelos que cada uno de ellos presenta un sistema de coordenadas modelo independiente. Si pretendemos compensar el bloque, deberemos adoptar los mecanismos oportunos que nos permitan georreferenciar espacialmente el conjunto de modelos estereoscópicos. El fin de esta fase es obtener coordenadas terreno aproximadas de todos los puntos que integran el bloque. Estas coordenadas deben ser lo suficientemente precisas para que se puedan usar como datos de entrada en las compensaciones posteriores.

En esta fase emplearemos un método expedito que permite obtener fácilmente las coordenadas terreno aproximadas de todos los puntos que forman el bloque. Dichos puntos pueden ser: puntos de paso, centros de proyección, puntos de apoyo y puntos de densificación (coordenadas terreno de otros puntos que interese obtener).

El método propuesto utiliza la **transformación de semejanza tridimensional** para pasar inicialmente de coordenadas modelo a coordenadas modelo y posteriormente de coordenadas modelo a coordenadas terreno. Los modelos estereoscópicos se consiguen juntar y enlazar tras una serie de transformaciones de coordenadas tridimensionales concatenadas. Finalmente los sistemas de coordenadas modelo y terreno serán únicos e idénticos para todo el bloque.

El procedimiento de cálculo a seguir para hallar las **coordenadas terreno aproximadas** se divide en tres etapas:

- A. **Creación de pasadas.** En este paso se establecen los distintos sistemas de coordenadas modelo por pasada. Se adopta como sistema de coordenadas modelo para toda la pasada el correspondiente al primer modelo de cada pasada.
- B. **Creación de un bloque ‘libre’ de coordenadas modelo.** Para ello, se transformarán cada uno de los sistemas de coordenadas modelo por pasada a la primera pasada. El calificativo ‘libre’ se refiere a que las coordenadas modelo de todo el bloque están en un sistema de referencia arbitrario, que generalmente coincide con el primer modelo del bloque.
- C. **Transformación del bloque ‘libre’ al sistema de coordenadas terreno** definido por los puntos de apoyo.

Como se puede observar, los pasos seguidos se asemejan mucho al método análogo de aerotriangulación por pasadas. Sin embargo, en este procedimiento primero se obtienen en un sistema único las coordenadas modelo de todo el bloque y, posteriormente, se georreferencian todas las coordenadas al sistema de coordenadas terreno.

En función del método de compensación a utilizar en la triangulación, la última etapa señalada se puede omitir; tal es el caso del método de los *modelos independientes*. No obstante, se recomienda realizarla para alcanzar mayores precisiones en el proceso de ajuste.

Si el método de compensación escogido es el de *haces de rayos*, además de las coordenadas terreno aproximadas también se precisan con suficiente aproximación los parámetros de orientación externa de cada uno de los fotogramas (el algoritmo de cálculo converge más rápidamente cuanto mejores son los parámetros de orientación externa).

Generalmente, en la práctica de las aerotriangulaciones se supone que el vuelo cumple con el pliego de prescripciones técnicas, por tanto, los giros omega ( $\omega$ ) y phi ( $\phi$ ) de la cámara se pueden considerar muy pequeños e iguales a cero; como el giro kappa ( $\kappa$ ) depende de la trayectoria del avión, éste se suele obtener a partir del proyecto de vuelo. En caso de no disponer inicialmente de la información referente al posicionamiento y orientación del fotograma, se recurre a algoritmos matemáticos que permiten determinar los parámetros de orientación externa aproximados, como por ejemplo el método de resección espacial.

## 2.2. TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS TRIDIMENSIONAL

La relación matemática existente entre dos sistemas de coordenadas 3D distintos puede expresarse por medio de las ecuaciones de la transformación de semejanza:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{pmatrix} + H \cdot R_{\omega\phi\kappa} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (1)$$

siendo:

- ( $X, Y, Z$ ), las coordenadas en un sistema de coordenadas.
- ( $x, y, z$ ), las coordenadas en otro sistema de coordenadas.
- ( $Tx, Ty, Tz$ ), las traslaciones entre ambos sistemas de coordenadas.
- $H$ , el factor de escala entre ambos sistemas.
- $R_{\omega\phi\kappa}$ , la matriz de rotación (de rango 3x3) entre ambos sistemas de referencia.  
Los coeficientes de la matriz de rotación son:

$$\begin{aligned}
 r_{11} &= \cos(\kappa) * \cos(\varphi) \\
 r_{12} &= \sin(\varphi) * \sin(\omega) * \cos(\kappa) - \sin(\kappa) * \cos(\omega) \\
 r_{13} &= \sin(\varphi) * \cos(\omega) * \cos(\kappa) + \sin(\omega) * \sin(\kappa) \\
 r_{21} &= \sin(\kappa) * \cos(\varphi) \\
 r_{22} &= \sin(\kappa) * \sin(\omega) * \sin(\varphi) + \cos(\kappa) * \cos(\omega) \\
 r_{23} &= \sin(\varphi) * \cos(\omega) * \sin(\kappa) - \sin(\omega) * \cos(\kappa) \\
 r_{31} &= -\sin(\varphi) \\
 r_{32} &= \cos(\varphi) * \sin(\omega) \\
 r_{33} &= \cos(\varphi) * \cos(\omega)
 \end{aligned}$$

Así pues, conocidos los **7 parámetros de la transformación conforme o de semejanza 3D**:  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ ,  $H$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ , podemos pasar de un sistema de coordenadas cualquiera a otro. Por lo tanto, teóricamente el problema se reduce a obtener dichos parámetros de transformación y, posteriormente, aplicar las ecuaciones que relacionan ambos sistemas de coordenadas.

Para poder determinar los 7 parámetros de la transformación de semejanza 3D, necesitaremos conocer al menos 2 puntos con coordenadas planimétricas y 3 puntos con coordenadas altimétricas, o 2 puntos con coordenadas tridimensionales y 1 punto adicional con coordenada altimétrica (siempre y cuando no se encuentren aliñeados). Si disponemos de más puntos, el sistema se puede resolver por mínimos cuadrados utilizando el sistema de ecuaciones indirectas.

La resolución de (1) implica que el sistema está linealizado. Dicha linealización resulta sencilla si se supone que los giros de la matriz de rotación son diferenciales. Despreciando infinitésimos de segundo orden en la matriz de rotación, llegamos al sistema linealizado:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} H & a & b \\ -a & H & c \\ -b & -c & H \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (2)$$

siendo:

$$a = -H \sin(\kappa)$$

$$b = H \sin(\varphi)$$

$$c = -H \sin(\omega)$$

Con objeto de obtener los 7 parámetros de la transformación de semejanza, podemos reorganizar matricialmente (2) y generar (3):

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} R_X \\ R_Y \\ R_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x & y & z & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y & -x & 0 & z \\ 0 & 0 & 1 & z & 0 & -x & -y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \\ H \\ a \\ b \\ c \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$K_{(3^*\text{punto},1)} + R_{(3^*\text{punto},1)} = A_{(3^*\text{punto},7)} X_{(7,1)}$$

resultando inmediata la resolución mínimo cuadrática del sistema de ecuaciones indirectas (puntos  $\geq 3$ ). El valor de las incógnitas se halla aplicando:

$$x = (A^T p A)^{-1} A^T p K$$

siendo  $p$  la matriz diagonal de los pesos de las observaciones.

La matriz de residuos es igual a:

$$r = A x - K$$

el estimador a posteriori de la desviación típica de peso unidad:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum p r^2}{R}}$$

y el estimador de la matriz varianza-covarianza de las incógnitas:

$$\sigma_{XX}^2 = \sigma_0^2 (A^T p A)^{-1}$$

Ahora bien, como el sistema (2) es una simplificación (linealización) de (1), hay que tener presente una serie de consideraciones a la hora de utilizarlo:

- ✓ Si los giros omega y phi son inferiores a  $1^\circ$ , los parámetros obtenidos serán correctos para aplicar la transformación entre ambos sistemas.
- ✓ Si los giros omega y phi son inferiores a  $30^\circ$ , los parámetros de transformación serán aproximados y habrá que resolver el sistema de ecuaciones indirecto de manera iterativa.

- ✓ Si los giros omega y phi son superiores a  $100^{\circ}$ , el proceso iterativo no converge y habrá que realizar un cambio de ejes en el sistema de coordenadas para poder resolver el sistema de ecuaciones.

Una vez obtenidos los parámetros de la transformación entre ambos sistemas de coordenadas, si no queremos perder precisión en el paso de las coordenadas  $(x,y,z)$  a  $(X,Y,Z)$ , el cálculo se realiza utilizando el sistema de ecuaciones (1).

A continuación se describe la forma operativa de realizar el mejor ajuste tridimensional entre ambos sistemas de coordenadas:

## INICIO

Primer cálculo/primera compensación:

- Obtención de los parámetros de transformación entre los sistemas de coordenadas  $(x,y,z)$  y  $(X,Y,Z)$ , utilizando (3).
- Aplicación de los parámetros de transformación obtenidos a las coordenadas  $(x,y,z)$  por medio de (1). Los resultados del cálculo son las coordenadas  $(x,y,z)$  transformadas  $[(x,y,z)t1]$  en el sistema  $(X,Y,Z)$ .
- Si hay que transformar algún punto entre los dos sistemas de coordenadas, se recurrirá al sistema (1).

Sucesivas iteraciones <sup>2</sup>:

- Obtención de los parámetros de transformación entre los sistemas de coordenadas  $[(x,y,z)t1]$  y  $(X,Y,Z)$ , utilizando (3).
- Aplicación de los parámetros de transformación obtenidos a las coordenadas  $[(x,y,z)t1]$  empleando el sistema de ecuaciones (1). De este modo se obtienen las coordenadas transformadas  $[(x,y,z)t(i+1)]$ , siendo el valor  $i$  igual al orden de la iteración.
- Si hay que transformar puntos entre los dos sistemas de coordenadas, se utilizará de nuevo el sistema de ecuaciones (1).

## FIN

Siguiendo el procedimiento de cálculo descrito para hallar las coordenadas terreno aproximadas (Apartado 2.1.), a continuación y hasta el final del capítulo se calcula el bloque fotogramétrico en cuestión.

---

<sup>2</sup> Las iteraciones finalizan cuando los valores de los parámetros de transformación no son significativos en el cálculo de las coordenadas transformadas. Generalmente se acepta la compensación cuando los valores de los giros son inferiores a  $0.01^{\circ}$  y los valores de las traslaciones inferiores a 0.001 m.

## **2.3. CREACIÓN DE PASADAS**

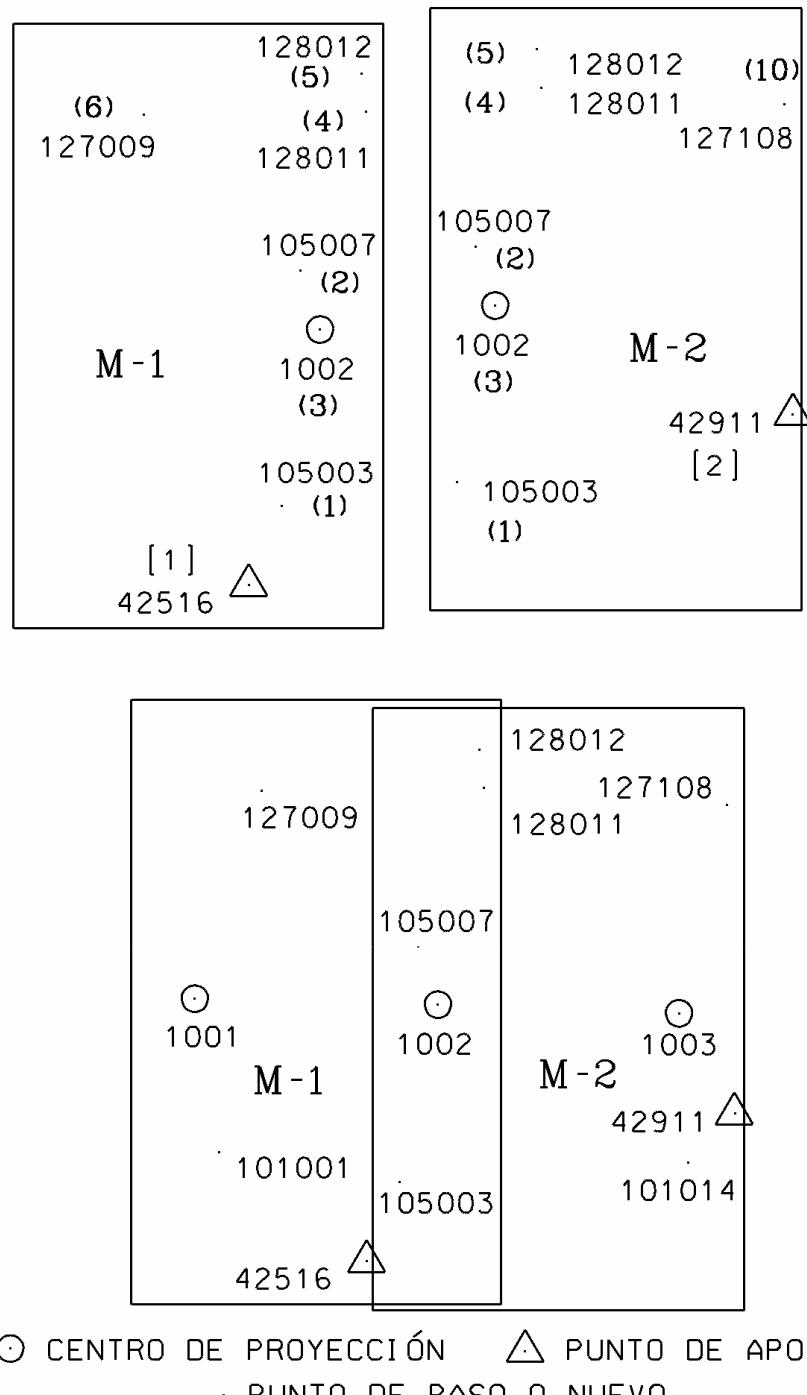
### **2.3.1. CREACIÓN DE LA PRIMERA PASADA: PASO DE CM2 A CM1**

El método operativo consiste en: hallar la transformación de semejanza tridimensional que relaciona los puntos de conexión entre modelos (puntos de paso y centros de proyección) y referir las coordenadas del segundo modelo al primer modelo.

El empleo del centro de proyección estabiliza en gran medida el resultado de la transformación de coordenadas tridimensional, sobre todo en altimetría, ya que la diferencia de altitudes entre los puntos es máxima y evita que los puntos se encuentren alineados.

Si existiesen más de dos modelos por pasada (caso usual en aerotriangulación), las coordenadas del modelo ( $M+1$ ) se transformarían al sistema de coordenadas modelo transformado precedente ( $M$ )t, procediendo sucesivamente en cadena hasta llegar al último modelo de la pasada. Lógicamente, según nos alejamos del modelo inicial (fijo) de cada pasada, los errores acumulados en los procesos de transformación son mayores y, en la mayoría de los casos, se requiere una compensación ulterior que homogeneice los resultados obtenidos.

A continuación vamos a tratar el paso del sistema de coordenadas modelo 2 (CM2) al sistema de coordenadas modelo 1 (CM1), utilizando los puntos de paso entre modelos: 105003, 105007, 128011 y 128012, y el centro de proyección 1002 (Fig. 5). En el proceso de transformación se deja fijo CM1.



**Figura 5. Gráfico representativo del proceso de transformación entre el segundo modelo (M2) y el primer modelo (M1) de la primera pasada**

**Datos de partida:**

- N. de puntos = 5
- N. de ecuaciones = 15
- N. de incógnitas = 7

N. Punto	Coordenadas conocidas modelo 1			modelo 2		
	X <sub>m</sub> (mm)	Y <sub>m</sub> (mm)	Z <sub>m</sub> (mm)	x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	z <sub>m</sub> (mm)
1002	92.000	-1.384	-2.248	0.000	0.000	0.000
105003	72.548	-73.234	-159.544	-19.779	-73.536	-157.906
105007	78.881	16.007	-161.764	-14.643	16.419	-160.678
128011	102.939	76.465	-163.547	8.733	77.607	-162.947
128012	100.989	91.082	-163.431	6.569	92.298	-162.888

Peso de las medidas: 1

**Matriz A**

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & -19.779 & -73.536 & -157.906 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -73.536 & 19.779 & 0.000 & -157.906 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -157.906 & 0.000 & 19.779 & 73.536 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & -14.643 & 16.419 & -160.678 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 16.419 & 14.643 & 0.000 & -160.678 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -160.678 & 0.000 & 14.643 & -16.419 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 8.733 & 77.607 & -162.947 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 77.607 & -8.733 & 0.000 & -162.947 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -162.947 & 0.000 & -8.733 & -77.607 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 6.569 & 92.298 & -162.888 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 92.298 & -6.569 & 0.000 & -162.888 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -162.888 & 0.000 & -6.569 & -92.298 \end{pmatrix}$$

### Matriz K

$$\begin{pmatrix} 92.000 \\ -1.384 \\ -2.248 \\ 72.548 \\ -73.234 \\ -159.544 \\ 78.881 \\ 16.007 \\ -161.764 \\ 102.939 \\ 76.465 \\ -163.547 \\ 100.989 \\ 91.082 \\ -163.431 \end{pmatrix}$$

### Matriz S=(A<sup>T</sup>\*p\*A)

$$\begin{pmatrix} 5.000 & 0.000 & 0.000 & -19.120 & 112.788 & -644.419 & 0.000 \\ 0.000 & 5.000 & 0.000 & 112.788 & 19.120 & 0.000 & -644.419 \\ 0.000 & 0.000 & 5.000 & -644.419 & 0.000 & 19.120 & -112.788 \\ -19.120 & 112.788 & -644.419 & 124779.887 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 112.788 & 19.120 & 0.000 & 0.000 & 20943.937 & -18706.461 & -2983.003 \\ -644.419 & 0.000 & 19.120 & 0.000 & -18706.461 & 104560.993 & 2498.093 \\ 0.000 & -644.419 & -112.788 & 0.000 & -2983.003 & 2498.093 & 124054.844 \end{pmatrix}$$

### Matriz S<sup>-1</sup>

$$\begin{pmatrix} 0.983928926022427 & -0.062445997258587 & -0.021189079156179 & 0.000097782064605 & 0.000145104042487 & 0.006104942641016 & -0.000463094591404 \\ -0.062445997258587 & 0.650423766170346 & 0.004002736547585 & -0.000576811898674 & -0.000228223038013 & -0.000507344077071 & 0.003387078509382 \\ 0.062445997258587 & -0.004002736547585 & 0.639469158975180 & 0.003295639136538 & -0.000044249485667 & -0.000269931251346 & 0.000606555951180 \\ 0.000097782064605 & -0.000576811898674 & 0.003295639136538 & 0.000025570623589 & -0.000000000000000 & -0.000000000000000 & -0.000000000000000 \\ 0.000145104042487 & -0.000228223038013 & -0.000044249485667 & -0.000000000000000 & 0.000057093153855 & 0.00001118453754 & -0.000000076804204 \\ 0.006104942641016 & -0.000507344077071 & -0.000269931251346 & -0.000000000000000 & 0.000057093153855 & 0.000049313787097 & -0.000003606559629 \\ -0.000463094591404 & 0.003387078509382 & 0.000606555951180 & -0.000000000000000 & -0.000000076804204 & -0.000003606559629 & 0.000026277816220 \end{pmatrix}$$

### Matriz $A^T * p^* K$

$$\begin{pmatrix} 447.357 \\ 108.936 \\ -650.534 \\ 123416.754 \\ 10789.936 \\ -60376.200 \\ 396.730 \end{pmatrix}$$

Resultados de la compensación:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.000292

Valores de los parámetros y desviaciones típicas:

Parámetro,  $T_x$  = 92.005738063; E.M.C. = 0.0169373  
Parámetro,  $T_y$  = -1.360507657; E.M.C. = 0.0137709  
Parámetro,  $T_z$  = -2.241771953; E.M.C. = 0.0136544  
Parámetro,  $H$  = 0.992825969; E.M.C. = 0.0000863  
Parámetro,  $a$  = 0.013548406; E.M.C. = 0.0001290  
Parámetro,  $b$  = -0.007422259; E.M.C. = 0.0001199  
Parámetro,  $c$  = -0.005432238; E.M.C. = 0.0000875

Residuos del ajuste:

$R(1)$ = 0.006 mm	$R(2)$ = 0.023 mm
$R(3)$ = 0.006 mm	$R(4)$ = -0.004 mm
$R(5)$ = -0.009 mm	$R(6)$ = -0.017 mm
$R(7)$ = 0.002 mm	$R(8)$ = 0.005 mm
$R(9)$ = -0.023 mm	$R(10)$ = -0.002 mm
$R(11)$ = -0.008 mm	$R(12)$ = 0.014 mm
$R(13)$ = -0.002 mm	$R(14)$ = -0.011 mm
$R(15)$ = 0.020 mm	

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.017 mm

GIROS:

Omega,  $\omega$  =  $0^g.3483$

Phi,  $\varphi$  =  $-0^g.4759$

Kappa,  $\kappa$  =  $-0^g.8688$

Coordenadas modelo2 transformadas a modelo1 utilizadas en la iteración: 1

N. Punto	x <sub>m</sub> t1(mm)	y <sub>m</sub> t1(mm)	z <sub>m</sub> t1(mm)
1002	92.006	-1.361	-2.242
105003	72.561	-73.251	-159.554
105007	78.896	15.994	-161.780
128011	102.945	76.432	-163.526
128012	100.994	91.045	-163.404

Coordenadas modelo2 transformadas a modelo1 tras la compensación.

N. Punto	x <sub>m</sub> t1(mm)	y <sub>m</sub> t1(mm)	z <sub>m</sub> t1(mm)
1003	183.335	-3.795	-3.816
42911	204.102	-46.265	-166.745
101014	181.570	-64.845	-165.021
127108	208.653	71.031	-167.155

Formación de matrices a utilizar en la iteración 1:

**Matriz A**

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 92.006 & -1.361 & -2.242 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -1.361 & -92.006 & 0.000 & -2.242 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -2.242 & 0.000 & -92.006 & 1.361 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 72.561 & -73.251 & -159.554 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -73.251 & -72.561 & 0.000 & -159.554 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -159.554 & 0.000 & -72.561 & 73.251 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 78.896 & 15.994 & -161.780 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 15.994 & -78.896 & 0.000 & -161.780 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -161.780 & 0.000 & -78.896 & -15.994 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 102.945 & 76.432 & -163.526 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 76.432 & -102.945 & 0.000 & -163.526 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -163.526 & 0.000 & -102.945 & -76.432 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 100.994 & 91.045 & -163.404 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 91.045 & -100.994 & 0.000 & -163.404 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -163.404 & 0.000 & -100.994 & -91.045 \end{pmatrix}$$

### Matriz K

$$\begin{pmatrix} 92.000 \\ -1.384 \\ -2.248 \\ 72.548 \\ -73.234 \\ -159.544 \\ 78.881 \\ 16.007 \\ -161.764 \\ 102.939 \\ 76.465 \\ -163.547 \\ 100.989 \\ 91.082 \\ -163.431 \end{pmatrix}$$

### Matriz S

$$\begin{pmatrix} 5.000 & 0.000 & 0.000 & 447.402 & 108.858 & -650.507 & 0.000 \\ 0.000 & 5.000 & 0.000 & 108.858 & -447.402 & 0.000 & -650.507 \\ 0.000 & 0.000 & 5.000 & -650.507 & 0.000 & -447.402 & -108.858 \\ 447.402 & 108.858 & -650.507 & 165583.760 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 108.858 & -447.402 & 0.000 & 0.000 & 60506.612 & -18272.530 & 57884.563 \\ -650.507 & 0.000 & -447.402 & 0.000 & -18272.530 & 145829.379 & 12884.708 \\ 0.000 & -650.507 & -108.858 & 0.000 & 57884.563 & 12884.708 & 124831.529 \end{pmatrix}$$

### Matriz $S^{-1}$

$$\begin{pmatrix} 1.218245116785992 & 0.001861670334830 & 0.247323711497071 & -0.002321255416664 & 0.000210489953698 & 0.006265278812544 & -0.000518908391391 \\ 0.001861670334830 & 1.117776115903163 & 0.044568604576900 & -0.000564789782742 & 0.005113649366463 & 0.00048159704232 & 0.003442765887250 \\ 0.247323711497071 & 0.044568604576900 & 1.036659458363317 & 0.003375023025456 & 0.001000508095622 & 0.004389693006864 & 0.000219234084521 \\ -0.002321255416664 & -0.000564789782742 & 0.003375023025456 & 0.000025941498714 & -0.0000000000000000 & -0.0000000000000000 & -0.0000000000000000 \\ 0.000210489953698 & 0.005113649366463 & 0.001000508095622 & -0.0000000000000000 & 0.000057794956191 & 0.000011289530568 & -0.00000444775233 \\ 0.006265278812544 & 0.00048159704232 & 0.004389693006864 & -0.0000000000000000 & 0.000011289530568 & 0.000050046157463 & -0.000004062925133 \\ -0.000518908391391 & 0.003442765887250 & 0.000219234084521 & -0.0000000000000000 & -0.00000444775233 & -0.000004062925133 & 0.000026768097009 \end{pmatrix}$$

### Matriz $\mathbf{A}^T \mathbf{p}^* \mathbf{K}$

$$\begin{pmatrix} 447.357 \\ 108.936 \\ -650.534 \\ 165588.413 \\ -7.518 \\ 9.746 \\ -11.865 \end{pmatrix}$$

Resultados de la iteración 1:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.000398

Parámetros obtenidos y desviaciones típicas:

Parámetro, Tx	= -0.006564527;	E.M.C. = 0.0220208
Parámetro, Ty	= 0.008250827;	E.M.C. = 0.0210933
Parámetro, Tz	= 0.012261178;	E.M.C. = 0.0203135
Parámetro, H	= 1.000088581;	E.M.C. = 0.0001016
Parámetro, a	= 0.000040905;	E.M.C. = 0.0001517
Parámetro, b	= 0.000086410;	E.M.C. = 0.0001411
Parámetro, c	= -0.000069250;	E.M.C. = 0.0001032

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.007 mm	R(2) = 0.028 mm
R(3) = 0.010 mm	R(4) = -0.004 mm
R(5) = -0.008 mm	R(6) = -0.024 mm
R(7) = 0.002 mm	R(8) = 0.004 mm
R(9) = -0.023 mm	R(10) = -0.003 mm
R(11) = -0.011 mm	R(12) = 0.015 mm
R(13) = -0.003 mm	R(14) = -0.014 mm
R(15) = 0.022 mm	

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.020 mm

Giros:

$$\text{Omega}, \omega = 0^{\circ}.0044$$

$$\text{Phi}, \varphi = 0^{\circ}.0055$$

$$\text{Kappa}, \kappa = -0^{\circ}.0026$$

Stop iteraciones al alcanzar incrementos inferiores a:

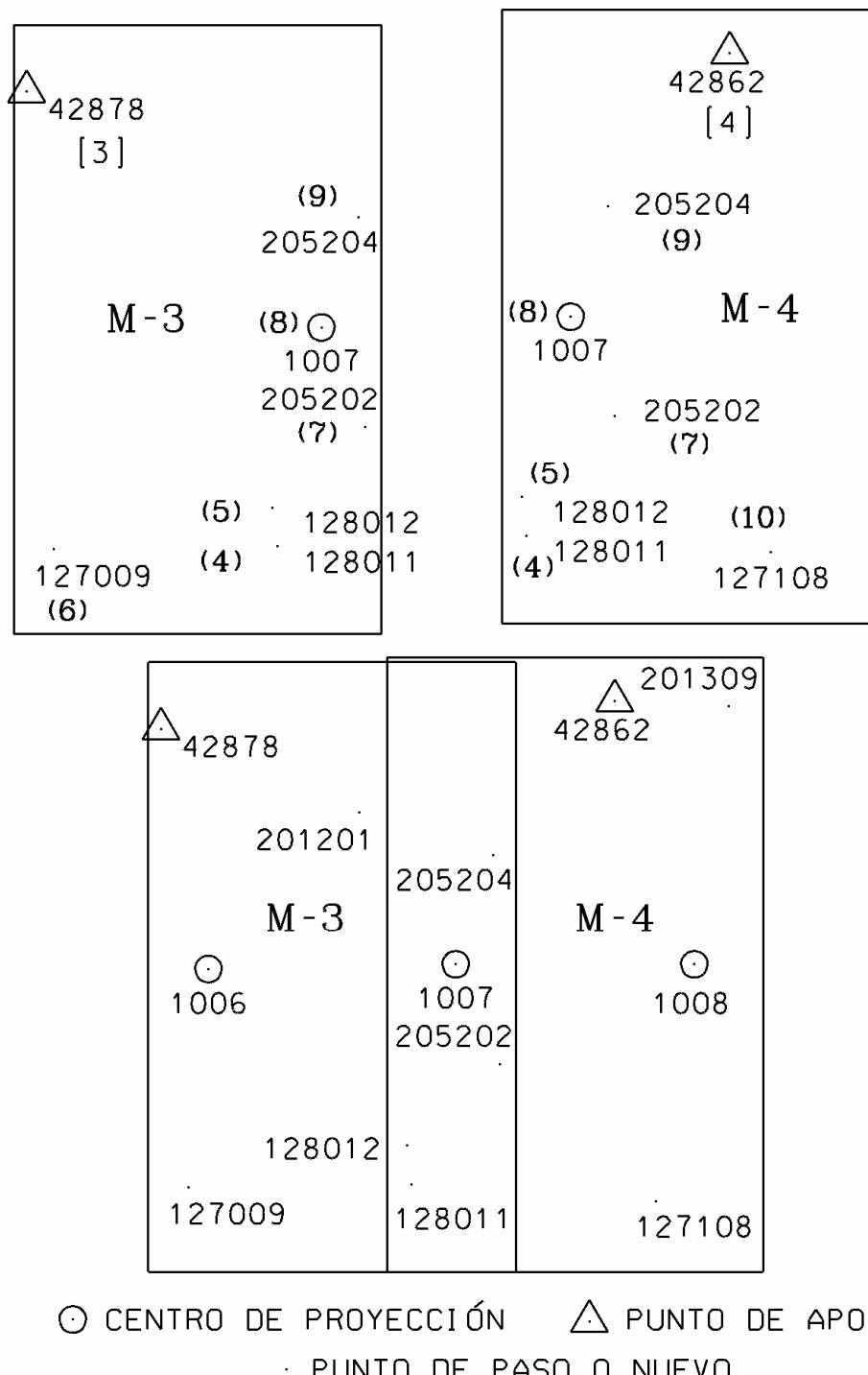
- 1 mm en traslaciones
- $0^{\circ}.01$  en giros

#### **Aplicación de la transformación a las coordenadas modelo 2:**

N. Punto	Coordenadas modelo 2			Coordenadas modelo 2 referidas a modelo 1		
	x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	z <sub>m</sub> (mm)	X <sub>m</sub> (mm)	Y <sub>m</sub> (mm)	Z <sub>m</sub> (mm)
1002	0.000	0.000	0.000	92.007	-1.356	-2.238
105003	-19.779	-73.536	-157.906	72.544	-73.242	-159.568
105007	-14.643	16.419	-160.678	78.883	16.011	-161.787
128011	8.733	77.607	-162.947	102.936	91.068	-163.532
128012	6.569	92.298	-162.888	100.986	91.068	-163.409
1003	92.000	-1.209	-2.267	183.345	-3.794	-3.820
42911	112.271	-44.595	-166.294	204.097	-46.258	-166.768
101014	89.847	-63.606	-164.286	181.562	-64.838	-165.043
127108	115.239	73.596	-167.376	208.653	71.048	-167.170

#### **2.3.2. CREACIÓN DE LA SEGUNDA PASADA: PASO DE CM4 A CM3**

Paso del sistema de coordenadas modelo 4 (CM4) al sistema de coordenadas modelo 3 (CM3), utilizando los puntos de paso entre modelos: 128011, 128012, 205202 y 205204, y el centro de proyección 1007 (Fig. 6). En el proceso de transformación se deja fijo CM3.



**Figura 6. Gráfico representativo del proceso de transformación entre el segundo modelo (M4) y el primer modelo (M3) de la segunda pasada**

**Datos de partida:**

- N. de puntos = 5
- N. de ecuaciones = 15
- N. de incógnitas = 7

N. Punto	Coordenadas conocidas modelo 3			modelo 4		
	X <sub>m</sub> (mm)	Y <sub>m</sub> (mm)	Z <sub>m</sub> (mm)	x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	z <sub>m</sub> (mm)
1007	92.000	-1.711	-2.174	0.000	0.000	0.000
128011	68.320	-84.287	-154.075	-22.425	-86.479	-156.829
128012	67.047	-69.796	-153.748	-23.989	-71.505	-156.580
205202	102.685	-40.686	-154.514	12.373	-40.797	-157.389
205204	103.278	37.569	-154.396	11.631	40.140	-157.604

Peso de las medidas: 1

**Matriz A**

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & -22.425 & -86.479 & -156.829 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -86.479 & 22.425 & 0.000 & -156.829 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -156.829 & 0.000 & 22.425 & 86.479 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & -23.989 & -71.505 & -156.580 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -71.505 & 23.989 & 0.000 & -156.580 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -156.580 & 0.000 & 23.989 & 71.505 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 12.373 & -40.797 & -157.389 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -40.797 & -12.373 & 0.000 & -157.389 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -157.389 & 0.000 & -12.373 & 40.797 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 11.631 & 40.140 & -157.604 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 40.140 & -11.631 & 0.000 & -157.604 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -157.604 & 0.000 & -11.631 & -40.140 \end{pmatrix}$$

### Matriz K

$$\begin{pmatrix} 92.000 \\ -1.711 \\ -2.174 \\ 68.320 \\ -84.287 \\ -154.075 \\ 67.047 \\ -69.796 \\ -153.748 \\ 102.685 \\ -40.686 \\ -154.514 \\ 103.278 \\ 37.569 \\ -154.396 \end{pmatrix}$$

Resultados de la compensación:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.000138

Valores de los parámetros y desviaciones típicas:

Parámetro, Tx =	91.994866105;	E.M.C. =	0.0115327
Parámetro, Ty =	-1.717408191;	E.M.C. =	0.0102146
Parámetro, Tz =	-2.170673607;	E.M.C. =	0.0100364
Parámetro, H =	0.966683598;	E.M.C. =	0.0000659
Parámetro, a =	0.016120372;	E.M.C. =	0.0001126
Parámetro, b =	0.003856765;	E.M.C. =	0.0000860
Parámetro, c =	-0.004249567;	E.M.C. =	0.0000679

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.005 mm	R(2) = -0.006 mm
R(3) = 0.003 mm	R(4) = -0.002 mm
R(5) = -0.000 mm	R(6) = 0.019 mm
R(7) = 0.002 mm	R(8) = 0.008 mm
R(9) = 0.003 mm	R(10) = 0.006 mm
R(11) = 0.000 mm	R(12) = -0.023 mm
R(13) = -0.000 mm	R(14) = -0.001 mm
R(15) = -0.002 mm	

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.012 mm

GIROS:

$$\text{Omega}, \omega = 0^g.2799$$

$$\text{Phi}, \varphi = 0^g.2540$$

$$\text{Kappa}, \kappa = -1^g.0617$$

Coordenadas modelo 4 transformadas a modelo 3 utilizadas en la iteración: 1

N. Punto	x <sub>m</sub> t1(mm)	y <sub>m</sub> t1(mm)	z <sub>m</sub> t1(mm)
1007	91.995	-1.717	-2.171
128011	68.331	-84.265	-154.053
128012	67.062	-69.768	-153.743
205202	102.700	-40.670	-154.534
205204	103.288	37.572	-154.395

Coordenadas modelo4 transformadas a modelo3 tras la compensación.

N. Punto	x <sub>m</sub> t1(mm)	y <sub>m</sub> t1(mm)	z <sub>m</sub> t1(mm)
1008	180.882	-4.851	-4.260
42862	150.613	92.939	-155.676
127108	172.407	-94.285	-156.952
201309	192.712	89.639	-157.136

Formación de matrices a utilizar en la iteración 1:

**Matriz A**

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 91.995 & -1.717 & -2.171 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -1.717 & -91.995 & 0.000 & -2.171 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -2.171 & 0.000 & -91.995 & 1.717 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 68.331 & -84.265 & -154.053 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -84.265 & -68.331 & 0.000 & -154.053 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -154.053 & 0.000 & -68.331 & 84.265 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 67.062 & -69.768 & -153.743 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -69.768 & -67.062 & 0.000 & -153.743 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -153.743 & 0.000 & -67.062 & 69.768 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 102.700 & -40.670 & -154.534 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -40.670 & -102.700 & 0.000 & -154.534 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -154.534 & 0.000 & -102.700 & 40.670 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 103.288 & 37.572 & -154.395 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 37.572 & -103.288 & 0.000 & -154.395 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -154.395 & 0.000 & -103.288 & -37.572 \end{pmatrix}$$

### Matriz K

$$\begin{pmatrix} 92.000 \\ -1.711 \\ -2.174 \\ 68.320 \\ -84.287 \\ -154.075 \\ 67.047 \\ -69.796 \\ -153.748 \\ 102.685 \\ -40.686 \\ -154.514 \\ 103.278 \\ 37.569 \\ -154.396 \end{pmatrix}$$

Resultados de la iteración 1:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.000203

Parámetros obtenidos y desviaciones típicas:

Parámetro, Tx	= -0.008439166;	E.M.C. = 0.0158738
Parámetro, Ty	= -0.004433564;	E.M.C. = 0.0182167
Parámetro, Tz	= 0.011160470;	E.M.C. = 0.0157052
Parámetro, H	= 1.000077572;	E.M.C. = 0.0000826
Parámetro, a	= -0.000016851;	E.M.C. = 0.0001415
Parámetro, b	= 0.000063842;	E.M.C. = 0.0001075
Parámetro, c	= 0.000057692;	E.M.C. = 0.0000854

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.007 mm	R(2) = -0.010 mm
R(3) = 0.009 mm	R(4) = -0.001 mm
R(5) = 0.003 mm	R(6) = 0.022 mm
R(7) = 0.003 mm	R(8) = 0.011 mm
R(9) = 0.004 mm	R(10) = 0.005 mm
R(11) = 0.001 mm	R(12) = -0.025 mm
R(13) = -0.001 mm	R(14) = -0.006 mm
R(15) = -0.009 mm	

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.014 mm

Giros:

$$\text{Omega}, \omega = -0^{\circ}.0037$$

$$\text{Phi}, \varphi = 0^{\circ}.0041$$

$$\text{Kappa}, \kappa = 0^{\circ}.0011$$

Stop iteraciones al alcanzar incrementos inferiores a:

- 1 mm en traslaciones

-  $0^{\circ}.01$  en giros

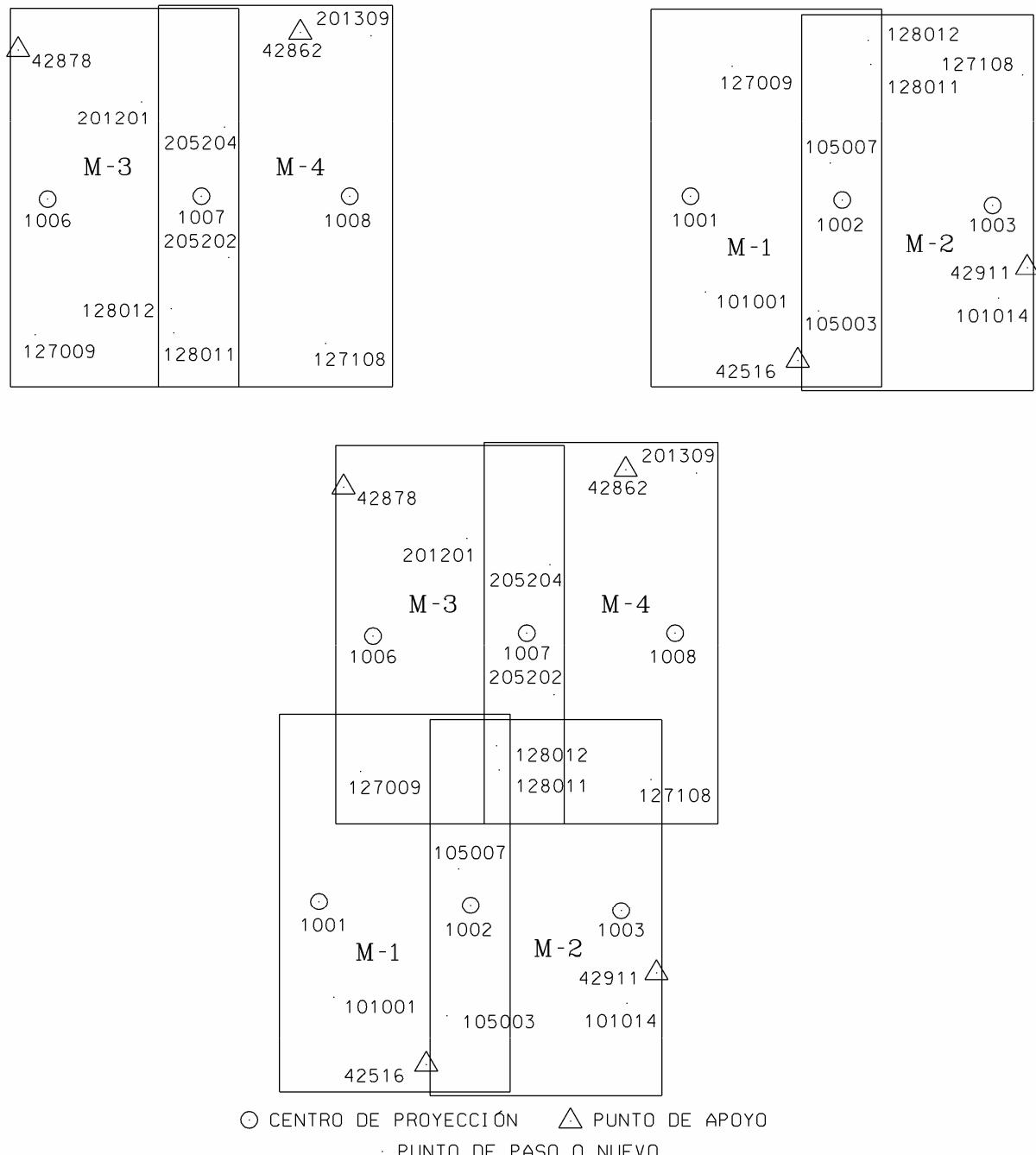
#### Aplicación de la transformación a las coordenadas modelo 4:

N. Punto	Coordenadas modelo 4			Coordenadas modelo 4 referidas a modelo 3		
	x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	z <sub>m</sub> (mm)	X <sub>m</sub> (mm)	Y <sub>m</sub> (mm)	Z <sub>m</sub> (mm)
1007	0.000	0.000	0.000	91.993	-1.721	-2.165
128011	-22.425	-86.479	-156.829	68.319	-84.284	-154.053
128012	-23.989	-71.505	-156.580	67.050	-69.785	-153.744
205202	12.373	-40.797	-157.389	102.690	-40.685	-154.539
205204	11.631	40.140	-157.604	103.277	37.563	-154.405
1008	92.000	-1.716	-1.787	180.888	-4.853	-4.261
42862	59.630	98.218	-158.992	150.605	92.935	-155.691
127108	85.407	-95.059	-159.360	172.404	-94.303	-156.959
201309	103.237	95.525	-160.317	192.707	89.635	-157.154

#### 2.4. CREACIÓN DE UN BLOQUE 'LIBRE' DE COORDENADAS MODELO

En este apartado se van a referir las coordenadas modelo de la segunda pasada (transformadas al primer modelo de la segunda pasada) a las coordenadas modelo de la primera pasada (referidas al primer modelo). En la transformación de semejanza tridimensional se utilizan los puntos de paso entre pasadas: 127009, 128011, 128012 y 127108 (Fig. 7). De este modo, se consigue crear un bloque 'libre' de coordenadas modelo que todo él está definido en el sistema de coordenadas del primer modelo (CM1).

El proceso de cálculo comentado arriba es extensivo a más pasadas. Si hubiese que referir las coordenadas de la pasada [n+1] a la [n], habría que utilizar las coordenadas transformadas de los puntos de conexión entre pasadas [n]t, plantear y resolver el sistema de ecuaciones definido por [n]t y [n+1], y aplicar la transformación resultante a las coordenadas de la pasada [n+1]. Este proceso finalizaría cuando todos los sistemas de coordenadas modelo por pasada estuvieran referidos al sistema de coordenadas modelo definido por la pasada inicial.



**Figura 7. Gráfico representativo del proceso de transformación entre la segunda y la primera pasada**

**Datos de partida:**

- N. de puntos = 4
- N. de ecuaciones = 12
- N. de incógnitas = 7

Coordenadas conocidas pasada 1 (modelo)-pasada 2 (modelo):

N. Punto	X <sub>m</sub> (mm)	Y <sub>m</sub> (mm)	Z <sub>m</sub> (mm)	x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)
127009	18.726	74.953	-160.678	-14.830	-82.021	-151.991
128011	102.939	76.465	-163.547	68.320	-84.287	-154.075
128012	100.989	91.082	-163.431	67.047	-69.796	-153.748
127108	208.653	71.048	-167.170	172.404	-94.303	-156.959

Peso de las medidas: 1

**Matriz A**

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & -14.830 & -82.021 & -151.991 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -82.021 & 14.830 & 0.000 & -151.991 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -151.991 & 0.000 & 14.830 & 82.021 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 68.320 & -84.287 & -154.075 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -84.287 & -68.320 & 0.000 & -154.075 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -154.075 & 0.000 & -68.320 & 84.287 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 67.047 & -69.796 & -153.748 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -69.796 & -67.047 & 0.000 & -153.748 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -153.748 & 0.000 & -67.047 & 69.796 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 172.404 & -94.303 & -156.959 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -94.303 & -172.404 & 0.000 & -156.959 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -156.959 & 0.000 & -172.404 & 94.303 \end{pmatrix}$$

**Matriz K**

$$\begin{pmatrix} 18.726 \\ 74.953 \\ -160.678 \\ 102.939 \\ 76.465 \\ -163.547 \\ 100.989 \\ 91.082 \\ -163.431 \\ 208.653 \\ 71.048 \\ -167.170 \end{pmatrix}$$

Resultados de la compensación:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.000506

Valores de los parámetros y desviaciones típicas:

Parámetro, Tx = 31.336203257;	E.M.C. = 0.0366672
Parámetro, Ty = 161.441738442;	E.M.C. = 0.2367133
Parámetro, Tz = -8.592855680;	E.M.C. = 0.1235473
Parámetro, H = 1.011616111;	E.M.C. = 0.0001678
Parámetro, a = -0.045970522;	E.M.C. = 0.0001728
Parámetro, b = 0.009031898;	E.M.C. = 0.0002032
Parámetro, c = 0.018549061;	E.M.C. = 0.0015481

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.006 mm	R(2) = 0.014 mm
R(3) = -0.016 mm	R(4) = -0.006 mm
R(5) = -0.007 mm	R(6) = 0.036 mm
R(7) = -0.007 mm	R(8) = -0.017 mm
R(9) = -0.007 mm	R(10) = 0.007 mm
R(11) = 0.009 mm	R(12) = -0.013 mm

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.022 mm

GIROS:

Omega,  $\omega = -1^g.1674$

Phi,  $\varphi = 0^g.5684$

Kappa,  $\kappa = 2^g.8940$

Coordenadas pasada 2 (modelo) transformadas a pasada 1 (modelo) y utilizadas en la iteración: 1

N. Punto	x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	z <sub>m</sub> (mm)
127009	18.891	75.008	-160.662
128011	103.004	76.501	-163.479
128012	101.051	91.090	-163.405
127108	208.622	71.111	-167.150

Coordenadas pasada 2 (modelo) transformadas a pasada 1 (modelo) tras la compensación.

N. Punto	x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	z <sub>m</sub> (mm)
1006	31.336	161.442	-8.593
1007	124.366	163.901	-11.591
42878	7.094	247.519	-163.607
201201	82.109	216.504	-165.209
205202	135.716	122.127	-165.042
205204	132.706	201.224	-166.379
1008	214.318	164.773	-14.446
42862	177.967	259.317	-169.144
1007	124.360	163.891	-11.581
128011	103.003	76.504	-163.457
128012	101.054	91.102	-163.402
205202	135.720	122.127	-165.067
205204	132.705	201.218	-166.388
201309	220.653	257.890	-170.942

Formación de matrices a utilizar en la iteración 1:

**Matriz A**

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 18.891 & 75.008 & -160.662 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 75.008 & -18.891 & 0.000 & -160.662 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -160.662 & 0.000 & -18.891 & -75.008 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 103.004 & 76.501 & -163.479 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 76.501 & -103.004 & 0.000 & -163.479 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -163.479 & 0.000 & -103.004 & -76.501 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 01.051 & 191.090 & -163.405 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 91.090 & -101.051 & 0.000 & -163.405 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -163.405 & 0.000 & -101.051 & -91.090 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 208.622 & 71.111 & -167.150 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 71.111 & -208.622 & 0.000 & -167.150 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -167.150 & 0.000 & -208.622 & -71.111 \end{pmatrix}$$

### Matriz K

$$\begin{pmatrix} 18.726 \\ 74.953 \\ -160.678 \\ 102.939 \\ 76.465 \\ -163.547 \\ 100.989 \\ 91.082 \\ -163.431 \\ 208.653 \\ 71.048 \\ -167.170 \end{pmatrix}$$

Resultados de la iteración 1:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.000540

Parámetros obtenidos y desviaciones típicas:

Parámetro, Tx = -0.186343369; E.M.C. = 0.0398267  
Parámetro, Ty = -0.123324458; E.M.C. = 0.2547067  
Parámetro, Tz = 0.131065847; E.M.C. = 0.1338214  
Parámetro, H = 1.001038952; E.M.C. = 0.0001713  
Parámetro, a = 0.000050474; E.M.C. = 0.0001796  
Parámetro, b = -0.000031175; E.M.C. = 0.0001780  
Parámetro, c = -0.000041327; E.M.C. = 0.0015836

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.007 mm	R(2) = 0.015 mm
R(3) = -0.016 mm	R(4) = -0.006 mm
R(5) = -0.006 mm	R(6) = 0.036 mm
R(7) = -0.009 mm	R(8) = -0.019 mm
R(9) = -0.006 mm	R(10) = 0.008 mm
R(11) = 0.010 mm	R(12) = -0.013 mm

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.023 mm

Giros:

$$\text{Omega}, \omega = 0^g.0026$$

$$\text{Phi}, \varphi = -0^g.0020$$

$$\text{Kappa}, \kappa = -0^g.0032$$

Stop iteraciones al alcanzar incrementos inferiores a:

- 1 mm en traslaciones
- $0^g.01$  en giros

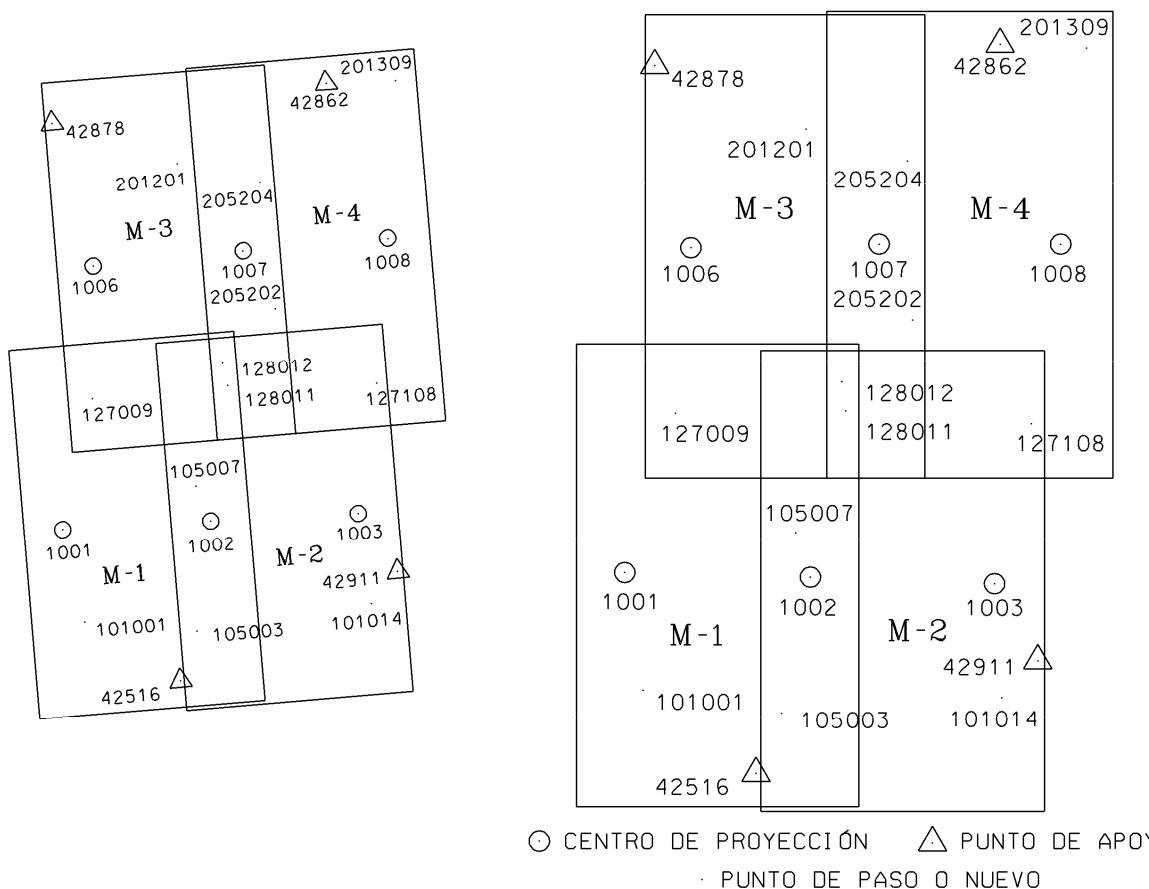
#### Aplicación de la transformación a las coordenadas pasada 2 (modelo):

N. Punto	Coord. pasada 2 (modelo)			Coord. pasada 2 referidas a pa- sada 1 (modelo)		
	x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	z <sub>m</sub> (mm)	X <sub>m</sub> (mm)	Y <sub>m</sub> (mm)	Z <sub>m</sub> (mm)
127009	-14.830	-82.021	-151.991	18.733	74.968	-160.694
128011	68.320	-84.287	-154.075	102.933	76.459	-163.511
128012	67.047	-69.796	-153.748	100.980	91.063	-163.437
127108	172.404	-94.303	-156.959	208.661	71.058	-167.183
1006	0.000	0.000	0.000	31.191	161.485	-8.463
1007	92.000	-1.711	-2.174	124.318	163.942	-11.461
42878	-18.704	88.888	-151.803	6.932	247.659	-163.636
201201	53.992	54.914	-153.361	82.025	216.608	-165.238
205202	102.685	-40.686	-154.514	135.682	122.130	-165.073
205204	103.278	37.569	-154.396	132.673	201.310	-166.409
1008	180.888	-4.853	-4.261	214.363	164.810	-14.317
42862	150.605	92.935	-155.691	177.984	259.461	-169.172
1007	91.993	-1.721	-2.165	124.311	163.932	-11.452
128011	68.319	-84.284	-154.053	102.932	76.462	-163.489
128012	67.050	-69.785	-153.744	100.982	91.075	-163.433
205202	102.690	-40.685	-154.539	135.686	122.131	-165.098
205204	103.277	37.563	-154.405	132.672	201.304	-166.418
201309	192.707	89.635	-157.154	220.714	258.031	-170.971

#### 2.5. TRANSFORMACIÓN DEL BLOQUE ‘LIBRE’ AL SISTEMA DE COORDENADAS TERRENO

Se van a transformar las coordenadas modelo de todo el bloque ‘libre’ a coordenadas terreno. En este paso también emplearemos la transformación de semejanza tridimensional pero, a diferencia de las anteriores transformaciones, ahora se hace uso de las coordenadas de los puntos de apoyo. Procediendo de esta manera, conseguiremos disponer de coordenadas terreno aproximadas en todo el bloque (Fig. 8).

La transformación del bloque ‘libre’ al sistema de coordenadas terreno permite que los modelos estén prácticamente puestos a escala, trasladados y orientados en el sistema de referencia absoluto (establecido por las coordenadas terreno de los puntos de apoyo). Las coordenadas obtenidas se emplean como datos de entrada (aproximados) en los procesos de ajuste posteriores, debido a las acumulaciones de errores producidos en las transformaciones de coordenadas.



**Figura 8. Gráfico representativo del proceso de transformación entre el sistema de coordenadas modelo bloque ‘libre’ y el sistema de coordenadas terreno**

#### Datos de partida:

- N. de puntos = 4
- N. de ecuaciones = 12
- N. De incógnitas = 7

Coordenadas conocidas bloque (terreno)-bloque libre (modelo):

N. Punto	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)	Z <sub>T</sub> (m)	x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	z <sub>m</sub> (mm)
42516	42492.400	50847.590	1.777	60.137	-103.428	-160.157
42911	43066.100	51069.990	2.528	204.097	-46.258	-166.768
42878	42293.350	52242.940	20.044	6.932	247.659	-163.636
42862	42972.950	52284.020	24.204	177.984	259.461	-169.172

Peso de las medidas: 1

**Matriz A**

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 60.137 & -103.428 & -160.157 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -103.428 & -60.137 & 0.000 & -160.157 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -160.157 & 0.000 & -60.137 & 103.428 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 204.097 & -46.258 & -166.768 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & -46.258 & -204.097 & 0.000 & -166.768 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -166.768 & 0.000 & -204.097 & 46.258 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 6.932 & 247.659 & -163.636 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 247.659 & -6.932 & 0.000 & -163.636 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -163.636 & 0.000 & -6.932 & -247.659 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 177.984 & 259.461 & -169.172 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 259.461 & -177.984 & 0.000 & -169.172 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & -169.172 & 0.000 & -177.984 & -259.461 \end{pmatrix}$$

**Matriz K**

$$\begin{pmatrix} 42492.400 \\ 50847.590 \\ 1.777 \\ 43066.100 \\ 51069.990 \\ 2.528 \\ 42293.350 \\ 52242.940 \\ 20.044 \\ 42972.950 \\ 52284.020 \\ 24.204 \end{pmatrix}$$

Resultados de la compensación:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.085

Valores de los parámetros y desviaciones típicas:

Parámetro, Tx	= 42234.016766351;	E.M.C. = 0.3499723
Parámetro, Ty	= 51241.650968076;	E.M.C. = 0.2360580
Parámetro, Tz	= 640.196982766;	E.M.C. = 0.3011701
Parámetro, H	= 3.967340160;	E.M.C. = 0.0007912
Parámetro, a	= 0.033609216;	E.M.C. = 0.0007915
Parámetro, b	= -0.143677860;	E.M.C. = 0.0018095
Parámetro, c	= -0.113636038;	E.M.C. = 0.0008915

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.264 m	R(2) = -0.095 m
R(3) = -0.090 m	R(4) = 0.045 m
R(5) = 0.231 m	R(6) = 0.111 m
R(7) = 0.003 m	R(8) = -0.380 m
R(9) = 0.092 m	R(10) = 0.216 m
R(11) = 0.243 m	R(12) = -0.113 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.292 m

GIROS:

Omega,  $\omega$  = 1°.8237

Phi,  $\varphi$  = -2°.3060

Kappa,  $\kappa$  = -0°.5393

Coordenadas bloque libre transformadas a terreno utilizadas en la iteración: 1

N. Punto	x <sub>m</sub> t1(m)	y <sub>m</sub> t1(m)	z <sub>m</sub> t1(m)
42516	42492.541	50847.481	2.372
42911	43065.926	51070.102	3.348
42878	42292.458	52241.931	20.810
42862	42971.759	52283.610	24.787

Coordenadas bloque libre transformadas a terreno tras la compensación.

N. Punto	x <sub>m</sub> t1(m)	y <sub>m</sub> t1(m)	z <sub>m</sub> t1(m)
1001	42234.017	51241.651	640.197
1002	42599.044	51233.325	644.349
101001	42270.282	51010.956	0.986
105003	42542.548	50966.732	10.013
105007	42570.607	51320.664	12.260
127009	42333.698	51556.319	14.615
128011	42668.027	51559.809	15.516
128012	42660.711	51617.826	17.355
1003	42961.346	51220.877	650.970
101014	42975.787	50996.984	4.837
127108	43087.505	51535.184	15.731
1002	42599.071	51233.435	644.393
105003	42542.535	50966.703	9.917
105007	42570.619	51320.682	12.169
128011	42668.013	51559.763	15.573
128012	42660.695	51617.769	17.440
1006	42363.661	51881.940	629.477
201201	42589.488	52116.453	21.724
1007	42733.377	51888.893	631.255
205202	42799.407	51739.970	19.358
205204	42790.005	52054.218	22.623
127009	42333.728	51556.380	14.554
128011	42667.998	51559.781	15.657
128012	42660.675	51617.752	17.328
1008	43090.808	51889.632	632.972
201309	43141.384	52276.707	23.634
1007	42733.348	51888.853	631.289
128011	42667.991	51559.791	15.744
128012	42660.683	51617.799	17.345
205202	42799.427	51739.976	19.260
205204	42790.002	52054.195	22.586
127108	43087.539	51535.225	15.682

Formación de matrices a utilizar en la iteración 1:

**Matriz A**

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 42492.541 & 50847.481 & 2.372 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 50847.481 & -42492.541 & 0.000 & 2.372 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 2.372 & 0.000 & -42492.541 & -50847.481 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 43065.926 & 51070.102 & 3.348 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 51070.102 & -43065.926 & 0.000 & 3.348 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 3.348 & 0.000 & -43065.926 & -51070.102 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 42292.458 & 52241.931 & 20.810 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 52241.931 & -42292.458 & 0.000 & 20.810 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 20.810 & 0.000 & -42292.458 & -52241.931 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 42971.759 & 52283.610 & 24.787 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 52283.610 & -42971.759 & 0.000 & 24.787 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 24.787 & 0.000 & -42971.759 & -52283.610 \end{pmatrix}$$

**Matriz K**

$$\begin{pmatrix} 42492.400 \\ 50847.590 \\ 1.777 \\ 43066.100 \\ 51069.990 \\ 2.528 \\ 42293.350 \\ 52242.940 \\ 20.044 \\ 42972.950 \\ 52284.020 \\ 24.204 \end{pmatrix}$$

Resultados de la iteración 1:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.013

Parámetros obtenidos y desviaciones típicas:

Parámetro, Tx	= -60.181074593;	E.M.C. = 5.1689102
Parámetro, Ty	= 12.777342977;	E.M.C. = 5.1684895
Parámetro, Tz	= -0.289534837;	E.M.C. = 9.2688461
Parámetro, H	= 1.000434874;	E.M.C. = 0.0000771
Parámetro, a	= 0.000816462;	E.M.C. = 0.0000772
Parámetro, b	= 0.000015450;	E.M.C. = 0.0001765
Parámetro, c	= -0.000004900;	E.M.C. = 0.0000867

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.046 m	R(2) = 0.087 m
R(3) = -0.101 m	R(4) = 0.070 m
R(5) = -0.063 m	R(6) = 0.117 m
R(7) = -0.027 m	R(8) = -0.043 m
R(9) = 0.088 m	R(10) = 0.003 m
R(11) = 0.020 m	R(12) = -0.104 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.113 m

Giros:

Omega,  $\omega$  = 0<sup>g</sup>.0003

Phi,  $\varphi$  = 0<sup>g</sup>.0010

Kappa,  $\kappa$  = -0<sup>g</sup>.0520

Coordenadas bloque libre transformadas a terreno utilizadas en la iteración: 2

N. Punto	x <sub>m</sub> t2(m)	y <sub>m</sub> t2(m)	z <sub>m</sub> t2(m)
42516	42492.340	50847.660	1.676
42911	43066.156	51069.910	2.645
42878	42293.309	52242.879	20.132
42862	42972.938	52284.022	24.100

Coordenadas bloque libre transformadas a terreno tras la iteración: 1

N. Punto	x <sub>m</sub> t2(m)	y <sub>m</sub> t2(m)	z <sub>m</sub> t2(m)
1001	42234.035	51242.209	639.784
1002	42599.214	51233.582	643.933
101001	42270.118	51011.388	0.294
105003	42542.466	50966.922	9.321
125007	42570.826	51320.985	11.569
127009	42334.006	51556.935	13.930
128011	42668.484	51560.154	14.826
128012	42661.212	51618.203	16.667
1003	42961.663	51220.832	650.550
101014	42975.917	50996.834	4.135
127108	43088.124	51535.176	15.035
1002	42599.241	51233.692	643.976
105003	42542.453	50966.894	9.224
10500	42570.838	51321.003	11.479
7			
128011	42668.470	51560.109	14.884
128012	42661.196	51618.145	16.752
1006	42364.258	51882.671	629.061
201201	42590.365	52117.104	21.041
1007	42734.141	51889.325	630.834
205202	42800.068	51740.286	18.669
205204	42790.919	52054.678	21.937
127009	42334.037	51556.996	13.869
128011	42668.455	51560.126	14.967
128012	42661.176	51618.129	16.640
1008	43091.727	51889.772	632.547
201309	43142.632	52276.977	22.944
1007	42734.111	51889.285	630.868
128011	42668.448	51560.136	15.055
128012	42661.184	51618.176	16.657
205202	42800.088	51740.293	18.571
205204	42790.916	52054.655	21.901
127108	43088.158	51535.217	14.986

Formación de matrices a utilizar en la iteración 2:

**Matriz A**

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 42492.340 & 50847.660 & 1.676 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 50847.660 & -42492.340 & 0.000 & 1.676 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 1.676 & 0.000 & -42492.340 & -50847.660 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 43066.156 & 51069.910 & 2.645 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 51069.910 & -43066.156 & 0.000 & 2.645 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 2.645 & 0.000 & -43066.156 & -51069.910 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 42293.309 & 52242.879 & 20.132 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 52242.879 & -42293.309 & 0.000 & 20.132 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 20.132 & 0.000 & -42293.309 & -52242.879 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 42972.938 & 52284.022 & 24.100 & 0.000 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 52284.022 & -42972.938 & 0.000 & 24.100 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 24.100 & 0.000 & -42972.938 & -52284.022 \end{pmatrix}$$

**Matriz K**

$$\begin{pmatrix} 42492.400 \\ 50847.590 \\ 1.777 \\ 43066.100 \\ 51069.990 \\ 2.528 \\ 42293.350 \\ 52242.940 \\ 20.044 \\ 42972.950 \\ 52284.020 \\ 24.204 \end{pmatrix}$$

Resultados de la iteración 2:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.013

Parámetros obtenidos y desviaciones típicas:

Parámetro, Tx = 0.000006186; E.M.C. = 5.1666968  
Parámetro, Ty = -0.000001834; E.M.C. = 5.1662731  
Parámetro, Tz = 0.000333087; E.M.C. = 9.2601468  
Parámetro, H = 1.000000333; E.M.C. = 0.0000771  
Parámetro, a = -0.000000000; E.M.C. = 0.0000771  
Parámetro, b = 0.000000001; E.M.C. = 0.0001764  
Parámetro, c = 0.000000005; E.M.C. = 0.0000867

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.046 m	R(2) = 0.087 m
R(3) = -0.101 m	R(4) = 0.070 m
R(5) = -0.063 m	R(6) = 0.117 m
R(7) = -0.027 m	R(8) = -0.043 m
R(9) = 0.088 m	R(10) = 0.003 m
R(11) = 0.020 m	R(12) = -0.104 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.113 m

Giros:

Omega,  $\omega$  = -0<sup>g</sup>.0000

Phi,  $\varphi$  = 0<sup>g</sup>.0000

Kappa,  $\kappa$  = 0<sup>g</sup>.0000

Stop iteraciones al alcanzar incrementos inferiores a:

- 0.001 m en traslaciones

- 0<sup>g</sup>.0001 en giros

**Aplicación de la transformación a las coordenadas bloque ‘libre’:**

N. Punto	Coord. bloque libre (modelo)			Coord. bloque (terreno)		
	x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	z <sub>m</sub> (mm)	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)	Z <sub>T</sub> (m)
42516	60.137	-103.428	-160.157	42492.354	50847.677	1.676
42911	204.097	-46.258	-166.768	43066.170	51069.927	2.645
42878	6.932	247.659	-163.636	42293.323	52242.897	20.132
42862	177.984	259.461	-169.172	42972.953	52284.040	24.100
1001	0.000	0.000	0.000	42234.049	51242.226	639.785
1002	92.000	-1.384	-2.248	42599.228	51233.599	643.933
101001	3.792	-62.667	-159.632	42270.132	51011.405	0.294
105003	72.548	-73.234	-159.544	42542.480	50966.939	9.321
105007	78.881	16.007	-161.764	42570.841	51321.002	11.569
127009	18.726	74.953	-160.678	42334.020	51556.953	13.930
128011	102.939	76.465	-163.547	42668.499	51560.171	14.826
128012	100.989	91.082	-163.431	42661.226	51618.220	16.667
1003	183.345	-3.794	-3.820	42961.678	51220.849	650.551
101014	181.562	-64.838	-165.043	42975.932	50996.851	4.135
127108	208.653	71.048	-167.170	43088.138	51535.193	15.035
1002	92.007	-1.356	-2.238	42599.255	51233.709	643.977
105003	72.544	-73.242	-159.568	42542.467	50966.911	9.224
105007	78.883	16.011	-161.787	42570.852	51321.020	11.479
128011	102.936	76.454	-163.532	42668.484	51560.126	14.884
128012	100.986	91.068	-163.409	42661.210	51618.162	16.752
1006	31.191	161.485	-8.463	42364.272	51882.688	629.061
201201	82.025	216.608	-165.238	42590.379	52117.122	21.041
1007	124.318	163.942	-11.461	42734.155	51889.342	630.834
205202	135.682	122.130	-165.073	42800.082	51740.303	18.669
205204	132.673	201.310	-166.409	42790.933	52054.696	21.937
127009	18.733	74.968	-160.694	42334.051	51557.014	13.869
128011	102.933	76.459	-163.511	42668.469	51560.144	14.967
128012	100.980	91.063	-163.437	42661.190	51618.146	16.640
1008	214.363	164.810	-14.317	43091.742	51889.790	632.547
201309	220.714	258.031	-170.971	43142.646	52276.994	22.944
1007	124.311	163.932	-11.452	42734.126	51889.302	630.868
128011	102.932	76.462	-163.489	42668.462	51560.153	15.055
128012	100.982	91.075	-163.433	42661.198	51618.193	16.657
205202	135.686	122.131	-165.098	42800.102	51740.310	18.571
205204	132.672	201.304	-166.418	42790.930	52054.673	21.901
127108	208.661	71.058	-167.183	43088.172	51535.234	14.986

# **CAPÍTULO 3**

---

## **AEROTRIANGULACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS MODELOS INDEPENDIENTES**



### 3.1. INTRODUCCIÓN

El concepto de aerotriangulación de un bloque fotogramétrico por el método de los modelos independientes se basa en considerar como **unidad** cada **modelo estereoscópico** perteneciente al bloque. En este método, las coordenadas de los puntos de paso derivadas independientemente de cada modelo estereoscópico se combinan para formar un todo que participa en la compensación del bloque. Durante el proceso de ajuste, los modelos se unen y transforman al sistema de coordenadas definido por los puntos de apoyo.

En el caso general –en el que se ajustan conjuntamente las coordenadas planimétricas y altimétricas– se requieren, además de los puntos de paso y de apoyo, las coordenadas de los centros de proyección; las coordenadas de los centros de proyección también se consideran parte de un modelo individual. En el ajuste tridimensional, cada modelo considerado como unidad puede trasladarse, rotarse y cambiar de tamaño, pero la estructura interna del modelo permanece invariante.

A la hora de compensar un bloque, la separación planimétrica y altimétrica tiene su justificación por el ahorro en el tiempo de proceso. No obstante, al ser el ajuste planimétrico lineal y el ajuste altimétrico no lineal, el proceso de ajuste exige iteraciones sucesivas, siguiendo el ciclo: ajuste planimétrico–ajuste altimétrico. Siguiendo esta metodología, cada vez que se termina un ajuste planimétrico, se corrigen las coordenadas planimétricas conforme al nuevo factor de escala  $H$ , al giro  $\kappa$ , y a las translaciones  $T_x$ ,  $T_y$ . Cuando finaliza la compensación altimétrica, se dispone adicionalmente de los otros tres parámetros de transformación: la translación  $T_z$ , el giro  $\omega$ , y el giro  $\varphi$ , que junto con las cuatro incógnitas anteriores definen los siete parámetros de transformación entre los dos sistemas de coordenadas tridimensionales; en consecuencia, se puede aplicar rigurosamente (1) entre ambos sistemas de coordenadas.

Este capítulo empieza considerando el caso planimétrico como una simplificación del caso general. Posteriormente se trata de manera teórica el ajuste altimétrico y se omite su aplicación práctica debido a su simplicidad matricial. Para finalizar el capítulo se aborda el ajuste tridimensional, siendo éste el método de los modelos independientes más completo.

Las resoluciones de las compensaciones planimétrica y tridimensional se efectúan considerando los sistemas tanto ligados como libres. En el supuesto de **sistema ligado**, se toman los puntos de apoyo como puntos matemáticamente perfectos y exentos de error, mientras que en el **sistema libre** se consideran los puntos de apoyo con cierto nivel de error y, por tanto, corregibles.

Tradicionalmente se suelen tomar las coordenadas de los puntos de apoyo exentas de error, es decir exactas, siendo estas suposiciones poco realistas y probables en la práctica. Luego si realmente queremos saber el grado de corrección a las coordenadas de los puntos de apoyo, deberemos plantear y resolver el sistema libre de ecuaciones, y corroborar los resultados que se obtienen. Esta posibilidad permite cotejar que el apoyo está bien hecho y que éste no introduce sistematismos en el sistema de ecuaciones.

### 3.2. AEROTRIANGULACIÓN PLANIMÉTRICA

En aerotriangulación planimétrica se utilizan las coordenadas planimétricas de los **puntos de paso** y **puntos de apoyo** en los sistemas de coordenadas modelo ( $x, y$ ) y terreno ( $X, Y$ ). Señalar que en el ajuste planimétrico no es necesario emplear las coordenadas de los centros de proyección, ya que éstos sólo contribuyen significativamente en la estabilización de cotas; en el ajuste altimétrico y tridimensional el empleo de los centros de proyección es fundamental para determinar correctamente los parámetros de transformación.

En el ajuste se definen los siguientes **parámetros de transformación** por modelo estereoscópico:

- ✓ Dos traslaciones:  $T_x, T_y$ .
- ✓ Una rotación kappa:  $\kappa$ .
- ✓ Un factor de escala:  $H$ .

que hacen cumplir las siguientes condiciones:

- ✓ Los puntos de paso (utilizados en la conexión de modelos y de pasadas) se ajustan tan bien como es posible.
- ✓ Los residuos de los puntos de control son mínimos.

#### 3.2.1. SISTEMA LIGADO

La relación matemática entre el sistema de coordenadas modelo y terreno viene definida, en cada modelo, por una transformación conforme del tipo:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix} + H \cdot \begin{pmatrix} \cos \kappa & -\operatorname{sen} \kappa \\ \operatorname{sen} \kappa & \cos \kappa \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (4)$$

Sustituyendo en las expresiones anteriores:

$$a = H \cos \kappa$$

$$b = H \sin \kappa$$

llegamos al siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a & -b \\ b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (5)$$

La extensión de los sistemas de ecuaciones (4) y (5) a un bloque de fotogramas se denomina concatenación de transformaciones conformes. Si resolvemos el ajuste por el método de los mínimos cuadrados, la estructura de las ecuaciones de observación varía en función del tipo de punto utilizado. Así pues, si se trata de un **punto de apoyo (PA)** tenemos:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Rx \\ Ry \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & x & -y \\ 0 & 1 & y & x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ a \\ b \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$K_{(2^*punto,1)} + R_{(2^*punto,1)} = A_{(2^*punto,4)} X_{(4,1)}$$

mientras que si se trata de un **punto de paso (PP)**:

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Rx \\ Ry \end{pmatrix} = \left( \begin{array}{cccc|cc} 1 & 0 & x & -y & -1 & 0 \\ 0 & 1 & y & x & 0 & -1 \end{array} \right) \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ a \\ b \\ \hline dX_{PP} \\ dY_{PP} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$O_{(2^*punto,1)} + R_{(2^*punto,1)} = A_{(2^*punto,4+2^*PP)} X_{(4+2^*PP,1)}$$

La resolución matricial de (7) se puede abordar empleando el método de ecuaciones indirectas, o bien considerar el caso general de resolución mínimo cuadrática adoptando:

$$O_{(2^*punto,1)} + R_{(2^*punto,1)} = A_{(2^*punto,4)} X_{(4,1)} + B_{(2^*PP, 2^*PP)} Y_{(2^*PP,1)}$$

Si ampliamos el sistema (6) a los supuestos de puntos estudiados e igualamos las notaciones de los sistemas (6) y (7), las ecuaciones de observación generadas por un **punto de apoyo** tienen la forma:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Rx \\ Ry \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & x & -y & | & 0 & 0 \\ 0 & 1 & y & x & | & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ a \\ b \\ \hline 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$K_{(2^*punto,1)} + R_{(2^*punto,1)} = A_{(2^*punto,4|2^*0^*PP)} X_{(4|2^*0^*PP,1)}$$

En este libro, los sistemas (7) y (8) se resuelven conjuntamente utilizando el método de variación de coordenadas, considerando las correcciones a las coordenadas terreno como incógnitas adicionales a determinar en el sistema.

### 3.2.2. SISTEMA LIBRE

En este tipo de sistemas, las coordenadas de los **puntos de apoyo** no se consideran exactas, en consecuencia, los valores de sus coordenadas planimétricas ( $X$ ,  $Y$ ) vienen definidas por:

$$X = X_0 + dX_{PA}$$

$$Y = Y_0 + dY_{PA}$$

siendo:

- $X_0$ ,  $Y_0$ , las coordenadas planimétricas tomadas como aproximadas.
- $dX_{PA}$ ,  $dY_{PA}$ , los diferenciales de las coordenadas terreno.

A diferencia de lo que sucede con los puntos de paso –que se comportan igual que en un sistema ligado (7)– las ecuaciones de observación en los puntos de apoyo son de dos tipos:

- Tipo 1 (por observable):

$$\begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Rx \\ Ry \end{pmatrix} = \left( \begin{array}{cc|cc} 1 & 0 & x & -y \\ 0 & 1 & y & x \end{array} \right) \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ a \\ b \\ \hline dX_{PA} \\ dY_{PA} \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$K_{(2^*punto,1)} + R_{(2^*punto,1)} = A_{(2^*punto,4+2^*PA)} X_{(4+2^*PA,1)}$$

- Tipo 2 (por incógnita):

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} R_{X,PA} \\ R_{Y,PA} \end{pmatrix} = \left( \begin{array}{cc|cc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ a \\ b \\ \hline dX_{PA} \\ dY_{PA} \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$0_{(2^*PA,1)} + R_{(2^*PA,1)} = A_{(2^*PA,4*0|2^*PA)} X_{(4+2^*PA,1)}$$

Por tanto, cada punto de apoyo genera un total de cuatro formas lineales: dos formas lineales para la coordenada X, y dos para la coordenada Y.

Llegados a este punto, podemos decir que la metodología de cálculo (independientemente del sistema utilizado) será la siguiente:

#### A. Establecimiento y resolución del sistema de ecuaciones:

- Incógnitas:

- En la formación del sistema de ecuaciones existirán cuatro parámetros:  $Tx$ ,  $Ty$ ,  $a$  y  $b$ , a determinar por modelo estereoscópico.
- Adicionalmente pueden haber dos incógnitas adicionales por cada coordenada de punto de paso (o de apoyo en sistema libre).

Estructura del sistema ligado de ecuaciones:

$$K_{(2*punto,1)} + R_{(2*punto,1)} = A_{(2*punto,4*modelo+2*PP)} \\ X_{(4*modelo+2*PP,1)}$$

Estructura del sistema libre de ecuaciones:

$$K_{(2*punto+2*PA,1)} + R_{(2*punto+2*PA,1)} = A_{(2*punto+2*PA,4*modelo+2*PP+2*PA)} \\ X_{(4*modelo+2*PP+2*PA,1)}$$

siendo:

- *PP*, punto de paso.
- *PA*, punto de apoyo.
- *punto*, punto por modelo que intervenga en la compensación.

Evidentemente, este sistema será resoluble por el método de ecuaciones indirectas siempre y cuando el número de ecuaciones sea mayor que el de incógnitas.

B. Obtención de los parámetros de transformación por modelo estereoscópico.

C. Aplicación del sistema de ecuaciones (4) ó (5) para transformar las coordenadas modelo de puntos “nuevos” a terreno. Estos puntos no se integraron en el sistema de transformación inicial por tratarse de puntos aislados o de densificación propiamente dicho.

### **3.3. EJEMPLO DE APLICACIÓN: AEROTRIANGULACIÓN PLANIMÉTRICA SISTEMA LIGADO**

Para lograr un mayor entendimiento del sistema de ecuaciones a formar, en la Fig. 9 se representa la distribución de partida y la numeración de los puntos empleados en la compensación planimétrica por el método de los modelos independientes.

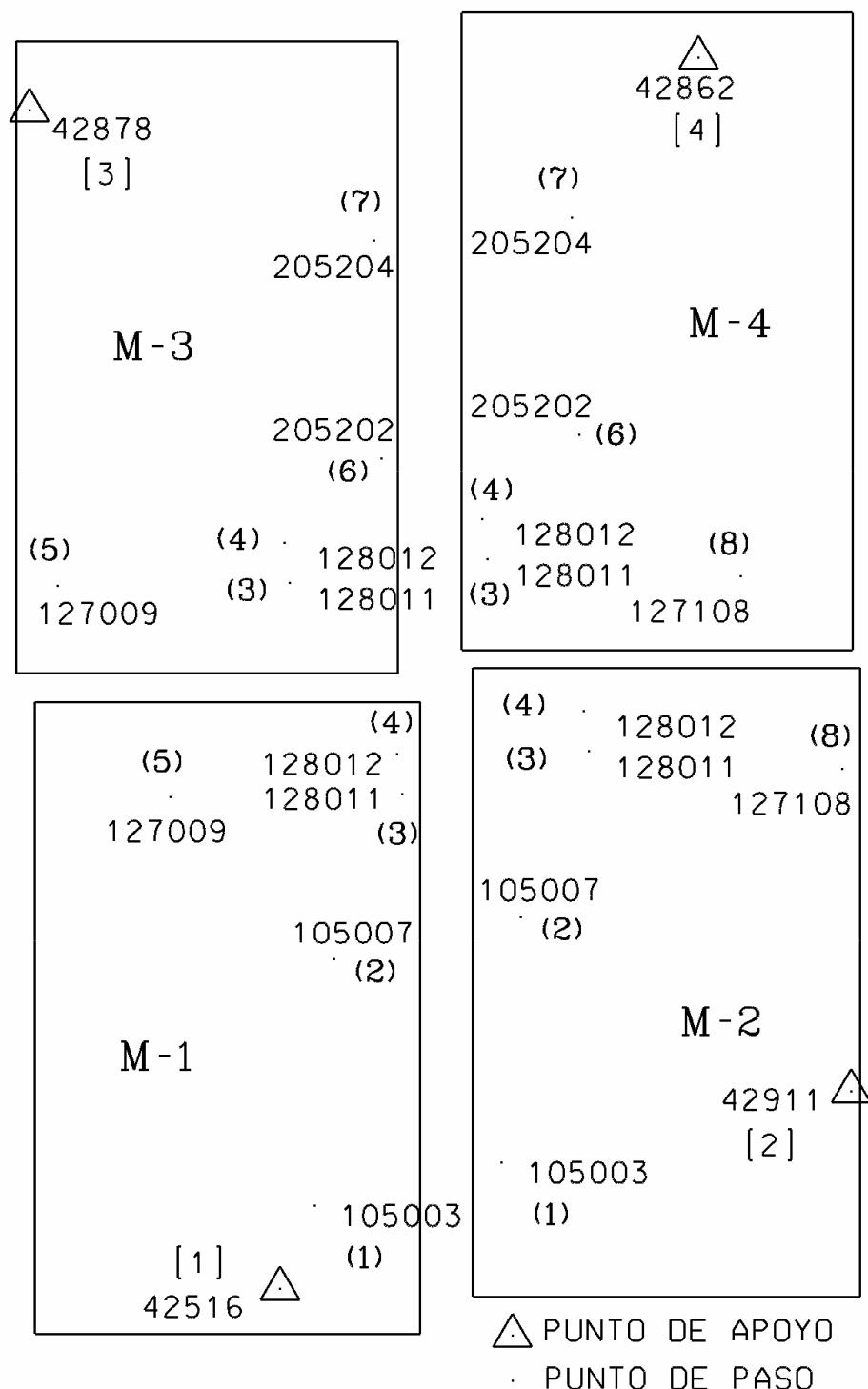
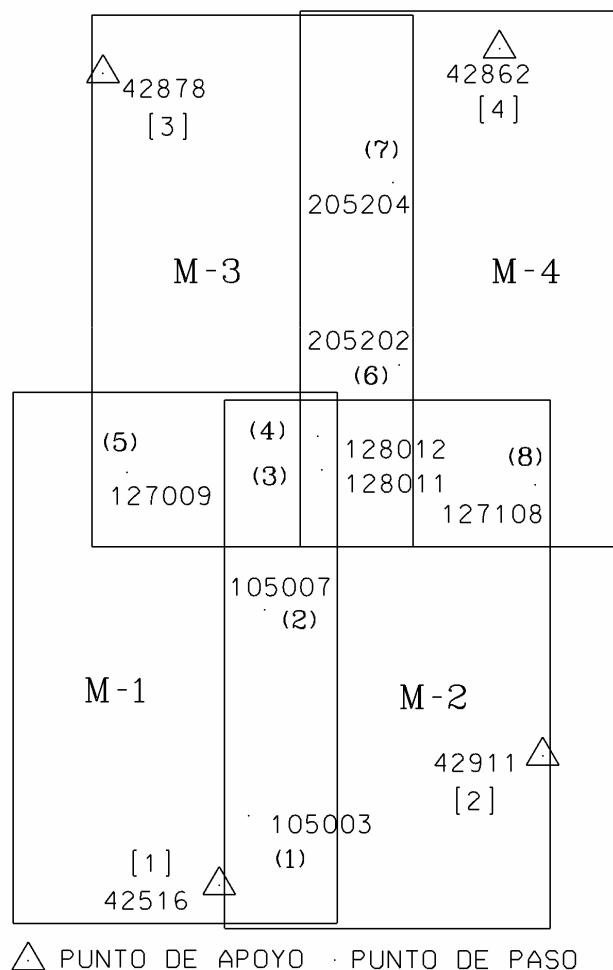


Figura 9. Representación gráfica de los puntos de paso y apoyo utilizados en la compensación planimétrica

El resultado a obtener tras el proceso de compensación planimétrica se observa en la Fig. 10.

Con los datos presentes, el sistema de ecuaciones tendrá:

- Incógnitas:
  - Parámetros de transformación:  $4 \times 4 = 16$
  - Correcciones a las coordenadas terreno PP:  $2 \times 8 = 16$
  - Total:  $16 + 16 = 32$
- Ecuaciones de observación:
  - 24 puntos \* 2 ecuaciones/punto = 48
- Grados de libertad:  $48 - 32 = 16$



**Figura 10. Resultado de la compensación planimétrica**

El sistema de ecuaciones resultante presenta la estructura<sup>3</sup>:

$$\begin{pmatrix} R_I \\ R_{II} \\ R_{III} \\ R_{IV} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_I^{PA} & 0 & -1 \\ A_I^{PP} & 0 & -1 \\ A_{II}^{PA} & 0 & -1 \\ A_{II}^{PP} & 0 & -1 \\ A_{III}^{PA} & 0 & -1 \\ A_{III}^{PP} & 0 & -1 \\ A_{IV}^{PA} & 0 & -1 \\ A_{IV}^{PP} & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_I \\ x_{II} \\ x_{III} \\ x_{IV} \\ dx_I \\ dx_{II} \\ dx_{III} \\ dx_{IV} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} K_I^{PA} \\ 0 \\ K_{II}^{PA} \\ 0 \\ K_{III}^{PA} \\ 0 \\ K_{IV}^{PA} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

que en notación convencional se ajusta a:

$$R_{(2*punto,1)} = A_{(2*punto,4*modelo+2*PP)} X_{(4*modelo+2*PP,1)} - K_{(2*punto,1)}$$

Con los datos del enunciado, la dimensión del sistema de ecuaciones es:

$$R_{(48,1)} = A_{(48,32)} X_{(32,1)} - K_{(48,1)}$$

La resolución del sistema se efectúa de dos modos distintos:

- ✓ En el **Caso 1**, se pasa directamente de coordenadas bloque ‘libre’ a terreno compensadas.
- ✓ En el **Caso 2**, se pasa de coordenadas terreno aproximadas a terreno compensadas.

---

<sup>3</sup> Los subíndices (I-IV) indican el modelo de que se trata, y los superíndices: *PA*, la contribución de un punto de apoyo; *PP*, la contribución de un punto de paso.

### 3.3.1. CASO 1: DE COORDENADAS BLOQUE ‘LIBRE’ A TERRENO COMPENSADAS

**Datos de partida:**

Modelo	PA/PP	Coordenadas modelo		Coordenadas terreno	
		x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)
1	0	60.137	-103.428	42492.400	50847.590
1	1	72.548	-73.234	0.000	0.000
1	2	78.881	16.007	0.000	0.000
1	3	102.939	76.465	0.000	0.000
1	4	100.989	91.082	0.000	0.000
1	5	18.726	74.953	0.000	0.000
2	0	204.097	-46.258	43066.100	51069.990
2	1	72.544	-73.242	0.000	0.000
2	2	78.883	16.011	0.000	0.000
2	3	102.936	76.454	0.000	0.000
2	4	100.986	91.068	0.000	0.000
2	8	208.653	71.048	0.000	0.000
3	0	6.932	247.659	42293.350	52242.940
3	3	102.933	76.459	0.000	0.000
3	4	100.980	91.063	0.000	0.000
3	5	18.733	74.968	0.000	0.000
3	6	135.682	122.130	0.000	0.000
3	7	132.673	201.310	0.000	0.000
4	0	177.984	259.461	42972.950	52284.020
4	3	102.932	76.462	0.000	0.000
4	4	100.982	91.075	0.000	0.000
4	6	135.686	122.131	0.000	0.000
4	7	132.672	201.304	0.000	0.000
4	8	208.661	71.058	0.000	0.000

**NOTA:** El campo PA/PP es igual a 0 en los puntos de apoyo.

Peso de las medidas: 1.000

Debido al tamaño tan considerable de la **matriz A**, ésta se divide en 3 bloques siguiendo la distribución que se adjunta:

$$\left( \begin{array}{cc|c} & & \\ & & \\ & & \\ \hline & BI.1 & | & BI.2 & | & BI.3 \\ & + & & + & & \\ & + & & + & & \\ & + & & + & & \\ & | & & | & & \\ & & & & & \end{array} \right)$$

## **Matriz A. Bloque 1.**

## **Matriz A. Bloque 2.**

## **Matriz A. Bloque 3.**

## Matriz K

Resultados de la compensación:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.006

Valores de los parámetros y errores medios cuadráticos:

Parámetro, $Tx_1$ = 42257.36625024043;	E.M.C. = 0.078983
Parámetro, $Ty_1$ = 51260.33044131618;	E.M.C. = 0.078983
Parámetro, $a_1$ = 3.96977261640;	E.M.C. = 0.000564
Parámetro, $b_1$ = -0.03483026951;	E.M.C. = 0.000564
Parámetro, $Tx_2$ = 42257.48557488986;	E.M.C. = 0.105805
Parámetro, $Ty_2$ = 51260.28175547535;	E.M.C. = 0.105805
Parámetro, $a_2$ = 3.96924379148;	E.M.C. = 0.000551
Parámetro, $b_2$ = -0.03338829099;	E.M.C. = 0.000551
Parámetro, $Tx_3$ = 42257.55590059521;	E.M.C. = 0.122861
Parámetro, $Ty_3$ = 51260.29541751903;	E.M.C. = 0.122861
Parámetro, $a_3$ = 3.96889001266;	E.M.C. = 0.000535
Parámetro, $b_3$ = -0.03357044713;	E.M.C. = 0.000535
Parámetro, $Tx_4$ = 42257.43238692251;	E.M.C. = 0.146696
Parámetro, $Ty_4$ = 51260.44503676457;	E.M.C. = 0.146696
Parámetro, $a_4$ = 3.96894794307;	E.M.C. = 0.000542
Parámetro, $b_4$ = -0.03480377573;	E.M.C. = 0.000542

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, $dX_1$ = 42542.900 m;	E.M.C. = 0.083 m
Y punto 1, $dY_1$ = 50967.113 m;	E.M.C. = 0.083 m
X punto 2, $dX_2$ = 42571.095 m;	E.M.C. = 0.086 m
Y punto 2, $dY_2$ = 51321.163 m;	E.M.C. = 0.086 m
X punto 3, $dX_3$ = 42668.642 m;	E.M.C. = 0.088 m
Y punto 3, $dY_3$ = 51560.309 m;	E.M.C. = 0.088 m
X punto 4, $dX_4$ = 42661.398 m;	E.M.C. = 0.088 m
Y punto 4, $dY_4$ = 51618.374 m;	E.M.C. = 0.088 m
X punto 5, $dX_5$ = 42334.368 m;	E.M.C. = 0.099 m
Y punto 5, $dY_5$ = 51557.215 m;	E.M.C. = 0.099 m
X punto 6, $dX_6$ = 42800.188 m;	E.M.C. = 0.091 m
Y punto 6, $dY_6$ = 51740.458 m;	E.M.C. = 0.091 m
X punto 7, $dX_7$ = 42790.943 m;	E.M.C. = 0.080 m
Y punto 7, $dY_7$ = 52054.806 m;	E.M.C. = 0.080 m
X punto 8, $dX_8$ = 43088.061 m;	E.M.C. = 0.095 m
Y punto 8, $dY_8$ = 51535.265 m.;	E.M.C. = 0.095 m

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.094 m	R(2) = 0.060 m
R(3) = -0.085 m	R(4) = -0.032 m
R(5) = -0.031 m	R(6) = -0.036 m
R(7) = 0.032 m	R(8) = -0.015 m
R(9) = 0.044 m	R(10) = 0.014 m
R(11) = -0.053 m	R(12) = 0.009 m
R(13) = -0.048 m	R(14) = -0.132 m
R(15) = 0.085 m	R(16) = 0.032 m
R(17) = 0.031 m	R(18) = 0.036 m
R(19) = -0.026 m	R(20) = 0.000 m
R(21) = -0.034 m	R(22) = 0.007 m
R(23) = -0.009 m	R(24) = 0.057 m
R(25) = 0.032 m	R(26) = 0.054 m
R(27) = 0.010 m	R(28) = -0.012 m
R(29) = -0.007 m	R(30) = -0.049 m
R(31) = 0.053 m	R(32) = -0.009 m
R(33) = -0.025 m	R(34) = 0.003 m
R(35) = -0.064 m	R(36) = 0.013 m
R(37) = -0.078 m	R(38) = 0.018 m
R(39) = -0.017 m	R(40) = 0.027 m
R(41) = -0.004 m	R(42) = 0.028 m
R(43) = 0.025 m	R(44) = -0.003 m
R(45) = 0.064 m	R(46) = -0.013 m
R(47) = 0.009 m	R(48) = -0.057 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.077 m

**MODELO 1:**

$$\begin{aligned} Tx &= 42257.366 \text{ m} \\ Ty &= 51260.330 \text{ m} \\ H &= 3.969925412 \\ \kappa &= -0^g.5585 \end{aligned}$$

**MODELO 2:**

$$\begin{aligned} Tx &= 42257.486 \text{ m} \\ Ty &= 51260.282 \text{ m} \\ H &= 3.969384216 \\ \kappa &= -0^g.5355 \end{aligned}$$

**MODELO 3:**

$T_x = 42257.556 \text{ m}$   
 $T_y = 51260.295 \text{ m}$   
 $H = 3.969031986$   
 $\kappa = -0^g.5385$

**MODELO 4:**

$T_x = 42257.432 \text{ m}$   
 $T_y = 51260.445 \text{ m}$   
 $H = 3.969100538$   
 $\kappa = -0^g.5582$

**Aplicación de las transformaciones a las coord. modelo de puntos aislados y a los centros de proyección:**

<b>Modelo</b>	<b>Puntos</b>	<b>Coordenadas modelo</b>		<b>Coordenadas terreno</b>	
		<b><math>x_m(\text{mm})</math></b>	<b><math>y_m(\text{mm})</math></b>	<b><math>X_T(\text{m})</math></b>	<b><math>Y_T(\text{m})</math></b>
1	101001	3.792	-62.667	42270.237	51011.425
1	1001	0.000	0.000	42257.366	51260.330
1	1002	92.000	-1.384	42622.537	51251.632
2	101014	181.562	-64.838	42975.868	50996.614
2	1003	183.345	-3.794	42985.072	51238.883
3	1006	31.191	161.485	42386.812	51900.303
3	201201	82.025	216.608	42590.531	52117.358
3	1007	124.318	163.942	42756.591	51906.813
4	1008	214.363	164.810	43114.079	51907.122
4	201309	220.714	258.031	43142.538	52276.967

### 3.3.2. CASO 2: DE COORDENADAS TERRENO APROXIMADAS A TERRENO COMPENSADAS

Datos de partida:

Modelo	PA/PP	Coordenadas modelo x <sub>m</sub> (mm)	Coordenadas modelo y <sub>m</sub> (mm)	Coordenadas terreno X <sub>T</sub> (m)	Coordenadas terreno Y <sub>T</sub> (m)
1	0	42492.354	50847.677	42492.400	50847.590
1	1	42542.480	50966.939	0.000	0.000
1	2	42570.841	51321.002	0.000	0.000
1	3	42668.499	51560.171	0.000	0.000
1	4	42661.226	51618.220	0.000	0.000
1	5	42334.020	51556.953	0.000	0.000
2	0	43066.170	51069.927	43066.100	51069.990
2	1	42542.467	50966.911	0.000	0.000
2	2	42570.852	51321.020	0.000	0.000
2	3	42668.484	51560.126	0.000	0.000
2	4	42661.210	51618.162	0.000	0.000
2	8	43088.138	51535.193	0.000	0.000
3	0	42293.323	52242.897	42293.350	52242.940
3	3	42668.469	51560.144	0.000	0.000
3	4	42661.190	51618.146	0.000	0.000
3	5	42334.051	51557.014	0.000	0.000
3	6	42800.082	51740.303	0.000	0.000
3	7	42790.933	52054.696	0.000	0.000
4	0	42972.953	52284.040	42972.950	52284.020
4	3	42668.462	51560.153	0.000	0.000
4	4	42661.198	51618.193	0.000	0.000
4	6	42800.102	51740.310	0.000	0.000
4	7	42790.930	52054.673	0.000	0.000
4	8	43088.172	51535.234	0.000	0.000

NOTA: El campo PA/PP es igual a 0 en los puntos de apoyo.

Peso de las medidas: 1.000

Debido al tamaño tan considerable de la **matriz A**, ésta se divide en 3 bloques siguiendo la distribución que se adjunta:

$$\left( \begin{array}{ccc|c} & & & \\ & \text{Bl.1} & & \text{Bl.3} \\ & \text{+} & & \\ & \text{+} & & \\ & \text{+} & & \\ & & \text{Bl.2} & \\ & & \text{+} & \end{array} \right)$$

## **Matriz A. Bloque 1.**

## **Matriz A. Bloque 2.**

## **Matriz A. Bloque 3.**

## Matriz K

Resultados de la compensación:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.001

Valores de los parámetros y errores medios cuadráticos:

Parámetro, $Tx_1$ = 1.86292862142;	E.M.C. = 4.357202
Parámetro, $Ty_1$ = -4.27579731479;	E.M.C. = 4.357202
Parámetro, $a_1$ = 1.00003113566;	E.M.C. = 0.000066
Parámetro, $b_1$ = 0.00006228445;	E.M.C. = 0.000066
Parámetro, $Tx_2$ = 3.87868026197;	E.M.C. = 4.272756
Parámetro, $Ty_2$ = 0.80263426103;	E.M.C. = 4.272756
Parámetro, $a_2$ = 0.99995359078;	E.M.C. = 0.000064
Parámetro, $b_2$ = 0.00003733813;	E.M.C. = 0.000064
Parámetro, $Tx_3$ = -4.09422668536;	E.M.C. = 4.176147
Parámetro, $Ty_3$ = 0.05199614417;	E.M.C. = 4.176147
Parámetro, $a_3$ = 1.00003812662;	E.M.C. = 0.000062
Parámetro, $b_3$ = -0.00004762596;	E.M.C. = 0.000062
Parámetro, $Tx_4$ = -1.24027016484;	E.M.C. = 4.244421
Parámetro, $Ty_4$ = 2.04488848431;	E.M.C. = 4.244421
Parámetro, $a_4$ = 0.99998802164;	E.M.C. = 0.000063
Parámetro, $b_4$ = -0.00003359589;	E.M.C. = 0.000063

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, $dX_1$ = 42542.481 m;	E.M.C. = 0.038 m
Y punto 1, $dY_1$ = 50966.918 m;	E.M.C. = 0.038 m
X punto 2, $dX_2$ = 42570.836 m;	E.M.C. = 0.040 m
Y punto 2, $dY_2$ = 51321.003 m;	E.M.C. = 0.040 m
X punto 3, $dX_3$ = 42668.459 m;	E.M.C. = 0.041 m
Y punto 3, $dY_3$ = 51560.141 m;	E.M.C. = 0.041 m
X punto 4, $dX_4$ = 42661.186 m;	E.M.C. = 0.041 m
Y punto 4, $dY_4$ = 51618.173 m;	E.M.C. = 0.041 m
X punto 5, $dX_5$ = 42334.008 m;	E.M.C. = 0.046 m
Y punto 5, $dY_5$ = 51556.967 m;	E.M.C. = 0.046 m
X punto 6, $dX_6$ = 42800.086 m;	E.M.C. = 0.042 m
Y punto 6, $dY_6$ = 51740.293 m;	E.M.C. = 0.042 m
X punto 7, $dX_7$ = 42790.938 m;	E.M.C. = 0.037 m
Y punto 7, $dY_7$ = 52054.676 m;	E.M.C. = 0.037 m
X punto 8, $dX_8$ = 43088.120 m;	E.M.C. = 0.044 m
Y punto 8, $dY_8$ = 51535.213 m;	E.M.C. = 0.044 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.027 m	R(2) = 0.041 m
R(3) = 0.012 m	R(4) = -0.018 m
R(5) = -0.003 m	R(6) = -0.027 m
R(7) = 0.020 m	R(8) = 0.017 m
R(9) = 0.016 m	R(10) = 0.036 m
R(11) = -0.018 m	R(12) = -0.048 m
R(13) = 0.043 m	R(14) = -0.022 m
R(15) = -0.012 m	R(16) = 0.018 m
R(17) = 0.003 m	R(18) = 0.027 m
R(19) = -0.002 m	R(20) = -0.012 m
R(21) = -0.005 m	R(22) = -0.011 m
R(23) = -0.027 m	R(24) = -0.001 m
R(25) = -0.021 m	R(26) = -0.013 m
R(27) = -0.002 m	R(28) = -0.011 m
R(29) = -0.006 m	R(30) = -0.039 m
R(31) = 0.018 m	R(32) = 0.048 m
R(33) = -0.002 m	R(34) = -0.004 m
R(35) = 0.012 m	R(36) = 0.019 m
R(37) = 0.005 m	R(38) = -0.005 m
R(39) = -0.016 m	R(40) = 0.006 m
R(41) = -0.005 m	R(42) = 0.014 m
R(43) = 0.002 m	R(44) = 0.004 m
R(45) = -0.012 m	R(46) = -0.019 m
R(47) = 0.027 m	R(48) = 0.001 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.036 m

**MODELO 1:**

$$\begin{aligned} Tx &= 1.863 \text{ m} \\ Ty &= -4.276 \text{ m} \\ H &= 1.000031138 \\ \kappa &= 0^g.0040 \end{aligned}$$

**MODELO 2:**

$$\begin{aligned} Tx &= 3.879 \text{ m} \\ Ty &= 0.803 \text{ m} \\ H &= 0.999953591 \\ \kappa &= 0^g.0024 \end{aligned}$$

**MODELO 3:**

$$\begin{aligned} Tx &= -4.094 \text{ m} \\ Ty &= 0.052 \text{ m} \\ H &= 1.000038128 \\ \kappa &= -0^g.0030 \end{aligned}$$

**MODELO 4:**

$$\begin{aligned} Tx &= -1.240 \text{ m} \\ Ty &= 2.045 \text{ m} \\ H &= 0.999988022 \\ \kappa &= -0^g.0021 \end{aligned}$$

**Aplicación de las transformaciones a las coord. modelo de puntos aislados y centros de proyección:**

Modelo	Punto	Coordenadas modelo		Coordenadas terreno	
		x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)
1	101001	42270.132	51011.405	42270.134	51011.350
1	1001	42234.049	51242.226	42234.035	51242.176
1	1002	42599.228	51233.599	42599.226	51233.572
2	101014	42975.932	50996.851	42975.957	50996.840
2	1003	42961.678	51220.849	42961.688	51220.844
3	1006	42364.272	51882.688	42364.222	51882.666
3	201201	42590.379	52117.122	42590.322	52117.122
3	1007	42734.155	51889.342	42734.117	51889.343
4	1008	43091.742	51889.790	43091.715	51889.814
4	201309	43142.646	52276.994	43142.596	52277.033

**3.4. EJEMPLO DE APLICACIÓN: AEROTRIANGULACIÓN PLANIMÉTRICA SISTEMA LIBRE**

Con los datos del bloque planteado, el sistema de ecuaciones tiene:

- Incógnitas:
  - Parámetros de transformación:  $4 * 4 = 16$
  - Correcciones a las coordenadas terreno PP:  $2 * 8 = 16$
  - Correcciones a las coordenadas terreno PA:  $2 * 4 = 8$
  - Total:  $16 + 16 + 8 = 40$

- Ecuaciones de observación:

$$-24 \text{ puntos} * 2 \text{ ecuaciones/punto} + 2 * 4 \text{ (PA)} = 56$$

- Grados de libertad:  $56 - 40 = 16$

El sistema de ecuaciones descompuesto por modelos presenta una estructura matricial muy parecida a (11), lógicamente ampliada al agregar las incógnitas propias de las coordenadas de los puntos de apoyo:

$$\begin{pmatrix} R_I \\ R_{II} \\ R_{III} \\ R_{IV} \\ R_{PA} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_I^{PA} & 0 & -1 & & \\ A_I^{PP} & -1 & & & \\ A_{II}^{PA} & 0 & -1 & & \\ A_{II}^{PP} & -1 & & & \\ A_{III}^{PA} & 0 & -1 & & \\ A_{III}^{PP} & -1 & & & \\ A_{IV}^{PA} & 0 & -1 & & \\ A_{IV}^{PP} & -1 & & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_I \\ x_{II} \\ x_{III} \\ x_{IV} \\ dx_I \\ dx_{II} \\ dx_{III} \\ dx_{IV} \\ dx_{PA} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} K_I^{PA} \\ 0 \\ K_{II}^{PA} \\ 0 \\ K_{III}^{PA} \\ 0 \\ K_{IV}^{PA} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

que en notación convencional se ajusta a:

$$R_{(2^*punto+2^*PA,1)} = A_{(2^*punto+2^*PA,4^*modelo+2^*PP+2^*PA)} X_{(4^*modelo+2^*PP+2^*PA,1)} - K_{(2^*punto+2^*PA,1)}$$

Con los datos del enunciado, la dimensión del sistema de ecuaciones es:

$$R_{(56,1)} = A_{(56,40)} X_{(40,1)} - K_{(56,1)}$$

## **Matriz A. Bloque 1.**

## **Matriz A. Bloque 2.**

## **Matriz A. Bloque 3.**

## Matriz K

La resolución del sistema se realiza tomando peso unidad para comprobar la bondad de las coordenadas de los puntos de apoyo.

Resultados de la compensación:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.004

Valores de los parámetros y errores medios cuadráticos:

Parámetro, $Tx_1$ = 42257.39817901388;	E.M.C. = 0.080372
Parámetro, $Ty_1$ = 51260.32029687789;	E.M.C. = 0.080372
Parámetro, $a_1$ = 3.96954029595;	E.M.C. = 0.000534
Parámetro, $b_1$ = -0.03468797906;	E.M.C. = 0.000534
Parámetro, $Tx_2$ = 42257.47586932779;	E.M.C. = 0.098049
Parámetro, $Ty_2$ = 51260.28773244600;	E.M.C. = 0.098049
Parámetro, $a_2$ = 3.96926695511;	E.M.C. = 0.000514
Parámetro, $b_2$ = -0.03364591598;	E.M.C. = 0.000514
Parámetro, $Tx_3$ = 42257.53547053366;	E.M.C. = 0.115816
Parámetro, $Ty_3$ = 51260.28269860858;	E.M.C. = 0.115816
Parámetro, $a_3$ = 3.96901416337;	E.M.C. = 0.000512
Parámetro, $b_3$ = -0.03369522421;	E.M.C. = 0.000512
Parámetro, $Tx_4$ = 42257.44446232880;	E.M.C. = 0.133088
Parámetro, $Ty_4$ = 51260.38859930644;	E.M.C. = 0.133088
Parámetro, $a_4$ = 3.96904655748;	E.M.C. = 0.000517
Parámetro, $b_4$ = -0.03458509434;	E.M.C. = 0.000517

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, $dX_1$ = 42542.899 m;	E.M.C. = 0.082 m
Y punto 1, $dY_1$ = 50967.114 m;	E.M.C. = 0.082 m
X punto 2, $dX_2$ = 42571.098 m;	E.M.C. = 0.080 m
Y punto 2, $dY_2$ = 51321.155 m;	E.M.C. = 0.080 m
X punto 3, $dX_3$ = 42668.646 m;	E.M.C. = 0.082 m
Y punto 3, $dY_3$ = 51560.291 m;	E.M.C. = 0.082 m
X punto 4, $dX_4$ = 42661.402 m;	E.M.C. = 0.082 m
Y punto 4, $dY_4$ = 51618.355 m;	E.M.C. = 0.082 m
X punto 5, $dX_5$ = 42334.372 m;	E.M.C. = 0.093 m
Y punto 5, $dY_5$ = 51557.200 m;	E.M.C. = 0.093 m
X punto 6, $dX_6$ = 42800.193 m;	E.M.C. = 0.084 m
Y punto 6, $dY_6$ = 51740.443 m;	E.M.C. = 0.084 m
X punto 7, $dX_7$ = 42790.944 m;	E.M.C. = 0.077 m
Y punto 7, $dY_7$ = 52054.800 m;	E.M.C. = 0.077 m
X punto 8, $dX_8$ = 43088.077 m;	E.M.C. = 0.090 m
Y punto 8, $dY_8$ = 51535.240 m;	E.M.C. = 0.090 m

Coord. terreno puntos de apoyo (correcciones de coord.):

X punto 1,  $dX_1$  = 0.063 m; E.M.C. = 0.060 m

Y punto 1,  $dY_1$  = 0.041 m; E.M.C. = 0.060 m

X punto 2,  $dX_2$  = -0.033 m; E.M.C. = 0.059 m

Y punto 2,  $dY_2$  = -0.090 m; E.M.C. = 0.059 m

X punto 3,  $dX_3$  = 0.022 m; E.M.C. = 0.061 m

Y punto 3,  $dY_3$  = 0.036 m; E.M.C. = 0.061 m

X punto 4,  $dX_4$  = -0.053 m; E.M.C. = 0.061 m

Y punto 4,  $dY_4$  = 0.013 m; E.M.C. = 0.061 m

R(1) = 0.063 m R(2) = 0.041 m

R(3) = -0.059 m R(4) = -0.016 m

R(5) = -0.024 m R(6) = -0.031 m

R(7) = 0.025 m R(8) = -0.010 m

R(9) = 0.035 m R(10) = 0.015 m

R(11) = -0.041 m R(12) = -0.000 m

R(13) = -0.033 m R(14) = -0.090 m

R(15) = 0.059 m R(16) = 0.016 m

R(17) = 0.024 m R(18) = 0.031 m

R(19) = -0.018 m R(20) = 0.000 m

R(21) = -0.022 m R(22) = 0.008 m

R(23) = -0.011 m R(24) = 0.036 m

R(25) = 0.022 m R(26) = 0.036 m

R(27) = 0.008 m R(28) = -0.009 m

R(29) = -0.007 m R(30) = -0.045 m

R(31) = 0.041 m R(32) = 0.000 m

R(33) = -0.019 m R(34) = 0.004 m

R(35) = -0.044 m R(36) = 0.015 m

R(37) = -0.053 m R(38) = 0.013 m

R(39) = -0.015 m R(40) = 0.019 m

R(41) = -0.006 m R(42) = 0.022 m

R(43) = 0.019 m R(44) = -0.004 m

R(45) = 0.044 m R(46) = -0.015 m

R(47) = 0.011 m R(48) = -0.036 m

R(49) = -0.063 m R(50) = -0.041 m

R(51) = 0.033 m R(52) = 0.090 m

R(53) = -0.022 m R(54) = -0.036 m

R(55) = 0.053 m R(56) = -0.013 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.065 m

**MODELO 1:**

$T_x = 42257.398 \text{ m}$   
 $T_y = 51260.320 \text{ m}$   
 $H = 3.969691854$   
 $\kappa = -0^g.5563$

**MODELO 2:**

$T_x = 42257.476 \text{ m}$   
 $T_y = 51260.288 \text{ m}$   
 $H = 3.969409554$   
 $\kappa = -0^g.5396$

**MODELO 3:**

$T_x = 42257.535 \text{ m}$   
 $T_y = 51260.283 \text{ m}$   
 $H = 3.969157190$   
 $\kappa = -0^g.5404$

**MODELO 4:**

$T_x = 42257.444 \text{ m}$   
 $T_y = 51260.389 \text{ m}$   
 $H = 3.969197237$   
 $\kappa = -0^g.5547$

**Aplicación de las transformaciones a las coord. modelo de puntos aislados y de los centros de proyección:**

Modelo	Punto	Coordenadas modelo		Coordenadas terreno	
		$x_m(\text{mm})$	$y_m(\text{mm})$	$X_T(\text{m})$	$Y_T(\text{m})$
1	101001	3.792	-62.667	42270.277	51011.430
1	1001	0.000	0.000	42257.398	51260.320
1	1002	92.000	-1.384	42622.548	51251.635
2	101014	181.562	-64.838	42975.867	50996.645
2	1003	183.345	-3.794	42985.062	51238.900
3	1006	31.191	161.485	42386.814	51900.260
3	201201	82.025	216.608	42590.513	52117.309
3	1007	124.318	163.942	42756.570	51906.782
4	1008	214.363	164.810	43114.038	51907.104
4	201309	220.714	258.031	43142.482	52276.929

### 3.5. AEROTRIANGULACIÓN ALTIMÉTRICA

En aerotriangulación altimétrica se utilizan las coordenadas de los **puntos de paso, puntos de apoyo y centros de proyección**.

En el ajuste se definen los siguientes **parámetros de transformación** por modelo:

- ✓ Una translación:  $Tz$ .
- ✓ Dos rotaciones: omega,  $\omega$ , y phi,  $\varphi$ .

que hacen cumplir las siguientes condiciones:

- ✓ Los puntos de paso (utilizados en la conexión de modelos y pasadas) y los centros de proyección se ajustan tan bien como es posible.
- ✓ Los residuos de los puntos de control son mínimos.

#### 3.5.1. MODELO MATEMÁTICO

La relación matemática que define la transformación altimétrica existente entre el sistema de coordenadas modelo y terreno se extrae a partir de la transformación de semejanza tridimensional (1). Despreciando infinitésimos de segundo orden, la expresión de la transformación altimétrica es:

$$Z = Tz - x' \cdot \sin\varphi + y' \cdot \sin\omega + H \cdot z \quad (13)$$

siendo:

- $(x', y')$ , las coordenadas modelo transformadas a terreno (en la aerotriangulación planimétrica) o, si se dispone de puntos fijos, las coordenadas terreno planimétricas.
- $z$ , la cota modelo a transformar a cota terreno ( $Z$ ).
- $Tz$ , la translación altimétrica.
- $H$ , el factor de escala.

Sustituyendo en (13) las siguientes expresiones:

$$a = \sin\varphi$$

$$b = \sin\omega$$

$$z' = H \cdot z$$

llegamos a la siguiente ecuación lineal:

$$Z = z' + (1 \quad -x' \quad y') \begin{pmatrix} Tz \\ a \\ b \end{pmatrix} \quad (14)$$

La extensión de la ecuación anterior a un bloque de fotogramas se denomina concatenación de transformaciones altimétricas. Si resolvemos el problema por el método de los mínimos cuadrados, la estructura de las ecuaciones de observación varía en función del tipo de punto utilizado.

### **Sistema ligado**

Siguiendo la notación que aparece en los apartados anteriores, la ecuación de observación generada por un **punto de apoyo** tiene la forma:

$$(Z - z') + Rz = (1 \quad -x' \quad y' + 0) \begin{pmatrix} Tz \\ a \\ b \\ 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$K_{(1^*punto,1)} + R_{(1^*punto,1)} = A_{(1^*punto,3|1^*0*PP)} X_{(3|1^*0*PP,1)}$$

mientras que si se trata de un **punto de paso**:

$$(0 - z') + Rz = (1 \quad -x' \quad y' + -1) \begin{pmatrix} Tz \\ a \\ b \\ dZ_{PP} \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$K_{(1^*punto,1)} + R_{(1^*punto,1)} = A_{(1^*punto,3+1*PP)} X_{(3+1*PP,1)}$$

La contribución de los centros de proyección en un ajuste en el que se alterna la planimetría y la altimetría es fundamental tanto en la estabilización de cotas como en la conexión de sucesivos modelos estereoscópicos.

Las ecuaciones de observación que se utilizan en los centros de proyección se extraen a partir de (3), sin considerar despreciable la altura del centro de proyección. Por cada **centro de proyección** que se utilice en la conexión de modelos, se establecen las siguientes ecuaciones:

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 - z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Rx \\ Ry \\ Rz \end{pmatrix} = \left( \begin{array}{ccc|ccc} 0 & z' & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & z' & 0 & -1 & 0 \\ 1 & -x' & y' & 0 & 0 & -1 \end{array} \right) \begin{pmatrix} Tz \\ a \\ b \\ \hline dX_{CDP} \\ dY_{CDP} \\ dZ_{CDP} \end{pmatrix} \quad (17)$$

$$K_{(3^*CDP,1)} + R_{(3^*CDP,1)} = A_{(3^*CDP,3+3^*CDP)} X_{(3+3^*CDP,1)}$$

### Sistema libre

El valor de la cota  $Z$  de un **punto de apoyo** viene definida por:

$$Z = Z_0 + dZ_{PA}$$

siendo:

- $Z_0$ , la cota de un punto de apoyo (tomada como aproximada).
- $dZ_{PA}$ , el diferencial de cota de un punto de apoyo.

Las ecuaciones de observación altimétrica son de dos tipos, generando cada punto de apoyo dos formas lineales:

- Tipo 1 (por observable):

$$(Z_0 - z') + Rz = (1 \quad -x' \quad y' \mid -1) \begin{pmatrix} Tz \\ a \\ b \\ \hline dZ_{PA} \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$K_{(1^*punto,1)} + R_{(1^*punto,1)} = A_{(1^*punto,3+1^*PA)} X_{(3+1^*PA,1)}$$

- Tipo 2 (por incógnita):

$$(0 - z') + R_{z,PA} = (0 \quad 0 \quad 0 \mid -1) \begin{pmatrix} Tz \\ a \\ b \\ \hline dZ_{PA} \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$K_{(1^*PA,1)} + R_{(1^*PA,1)} = A_{(1^*PA,3^*0|1^*PA)} X_{(3+1^*PA,1)}$$

La ecuación de observación requerida si nos encontramos con un **punto de paso** es la (16), mientras que si se trata de un **centro de proyección** utilizaremos (17).

Llegados a este punto, podemos decir que la metodología de cálculo será la siguiente:

A. Establecimiento y resolución del sistema de ecuaciones:

- Existirán tres parámetros:  $Tz$ ,  $a$  y  $b$ , a determinar por modelo estereoscópico.
- Una corrección en cota por punto de paso medido, una por punto de apoyo altimétrico (si el sistema es libre), y tres correcciones a las coordenadas de los centros de proyección.

Estructura del sistema ligado de ecuaciones:

$$K_{(1^*punto+3^*CDP,1)} + R_{(1^*punto+3^*CDP,1)} = A_{(1^*punto+3^*CDP,3^*modelo+1^*PP+3^*CDP)} X_{(3^*modelo+1^*PP+3^*CDP,1)}$$

Estructura del sistema libre de ecuaciones:

$$\begin{aligned} K_{(1^*punto+3^*CDP+1^*PA,1)} + R_{(1^*punto+3^*CDP+1^*PA,1)} &= \\ &= A_{(1^*punto+3^*CDP+1^*PA,3^*modelo+1^*PP+1^*PA+3^*CDP)} X_{(3^*modelo+1^*PP+1^*PA+3^*CDP,1)} \end{aligned}$$

siendo:

- $punto$ , punto por modelo que intervenga en la compensación (no  $CDP$ ).
- $PP$ , punto de paso (no  $CDP$ ).
- $PA$ , punto de apoyo.
- $CDP$ , centro de proyección.

B. Obtención de los parámetros de transformación por modelo estereoscópico, es decir, obtención de los giros omega ( $\omega$ ) y phi ( $\phi$ ), y la translación  $Tz$ .

C. Aplicación de (13) ó (14) a las coordenadas transformadas para obtener las cotas terreno.

Un procedimiento mucho más riguroso para hallar las coordenadas terreno consiste en aplicar directamente la transformación de coordenadas tridimensional (1) a las coordenadas modelo, ya que se dispone de los 4+3 parámetros de transformación obtenidos en la última compensación planimétrica–altimétrica.

### 3.6. AEROTRIANGULACIÓN TRIDIMENSIONAL

En este tipo de compensación se utilizan las coordenadas de los **centros de proyección**, de los **puntos de paso** y de los **puntos de apoyo**, en los sistemas de coordenadas modelo ( $x,y,z$ ) y terreno ( $X,Y,Z$ ).

En el ajuste tridimensional se definen los **parámetros de transformación de semejanza** siguientes por modelo:

- ✓ Tres traslaciones:  $T_x, T_y, T_z$ .
- ✓ Tres rotaciones: omega,  $\omega$ ; phi,  $\varphi$ ; kappa,  $\kappa$ .
- ✓ Un factor de escala:  $H$ .

que hacen cumplir las siguientes condiciones:

- ✓ Los puntos de paso (utilizados en la conexión de modelos y pasadas) y los centros de proyección<sup>4</sup> se ajustan tan bien como les es posible.
- ✓ Los residuos de los puntos de control son mínimos.

#### 3.6.1. SISTEMA LIGADO

La relación matemática existente entre el sistema de coordenadas modelo y terreno viene definida (en cada modelo) por la transformación de coordenadas tridimensional (1). A diferencia de lo que sucede en el capítulo 2, en el que también se emplea la transformación de coordenadas tridimensional, aquí la compensación tridimensional se realiza conjuntamente con todos los modelos.

Recordando que la estructura de las ecuaciones de observación varía en función del tipo de punto, para un **punto de apoyo** tenemos:

---

<sup>4</sup> Los centros de proyección que se utilicen en la conexión de modelos se considerarán como si fueran puntos de paso en la formación del sistema de ecuaciones.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Rx \\ Ry \\ Rz \end{pmatrix} = \left( \begin{array}{ccccccc|ccc} 1 & 0 & 0 & x & y & z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y & -x & 0 & z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z & 0 & -x & -y & 0 & 0 \end{array} \right) \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \\ H \\ a \\ b \\ c \\ \hline 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (20)$$

$$K_{(3^*punto,1)} + R_{(3^*punto,1)} = A_{(3^*punto,7|3^*0^*PP)} X_{(7|3^*0^*PP,1)}$$

mientras que si se trata de un **punto de paso**:

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Rx \\ Ry \\ Rz \end{pmatrix} = \left( \begin{array}{ccccccc|ccc} 1 & 0 & 0 & x & y & z & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y & -x & 0 & z & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z & 0 & -x & -y & 0 & 0 & -1 \end{array} \right) \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \\ H \\ a \\ b \\ c \\ \hline dX_{PP} \\ dY_{PP} \\ dZ_{PP} \end{pmatrix} \quad (21)$$

$$O_{(3^*punto,1)} + R_{(3^*punto,1)} = A_{(3^*punto,7+3^*PP)} X_{(7+3^*PP,1)}$$

La resolución conjunta de (20) y (21) se aborda utilizando el sistema de ecuaciones indirectas.

### 3.6.2. SISTEMA LIBRE

En este tipo de sistema, las coordenadas ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) del **punto de apoyo** vienen definidas por:

$$X = X_0 + dX_{PA}$$

$$Y = Y_0 + dY_{PA}$$

$$Z = Z_0 + dZ_{PA}$$

siendo:

- $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ , las coordenadas originales del punto de apoyo (tomadas como aproximadas).
- $dX_{PA}$ ,  $dY_{PA}$ ,  $dZ_{PA}$ , los diferenciales de las coordenadas del punto de apoyo.

Las ecuaciones de observación serán de dos tipos, generándose en cada punto de apoyo seis formas lineales: dos formas lineales por coordenada  $X$ , dos por coordenada  $Y$ , y dos por coordenada  $Z$ :

Tipo 1 (por observable):

$$\begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Rx \\ Ry \\ Rz \end{pmatrix} = \left( \begin{array}{ccccccc|ccc} 1 & 0 & 0 & x & y & z & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y & -x & 0 & z & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z & 0 & -x & -y & 0 & 0 & -1 \end{array} \right) \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \\ H \\ a \\ b \\ c \\ \hline dX_{PA} \\ dY_{PA} \\ dZ_{PA} \end{pmatrix} \quad (22)$$

$$K_{(3*punto,1)} + R_{(3*punto,1)} = A_{(3*punto,7+3*PA)} X_{(7+3*PA,1)}$$

- Tipo 2 (por incógnita):

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} R_{X,PA} \\ R_{Y,PA} \\ R_{Z,PA} \end{pmatrix} = \left( \begin{array}{cccc|ccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{array} \right) \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \\ H \\ a \\ b \\ c \\ dX_{PA} \\ dY_{PA} \\ dZ_{PA} \end{pmatrix} \quad (23)$$

$$O_{(3*PA,1)} + R_{(3*PA,1)} = A_{(3*PA,7*0|3*PA)} X_{(7+3*PA,1)}$$

El sistema de ecuaciones requerido si nos encontramos con un **punto de paso** es el (21).

Llegados a este punto, podemos decir que la metodología de cálculo será la siguiente:

#### A. Establecimiento y resolución del sistema de ecuaciones:

##### + Incógnitas:

- Siete parámetros:  $Tx$ ,  $Ty$ ,  $Tz$ ,  $H$ ,  $a$ ,  $b$  y  $c$ , a determinar por modelo estereoscópico.
- Tres correcciones a las coordenadas terreno de los puntos de paso o de apoyo (si el sistema es libre).

##### + Ecuaciones:

- Tres por punto.
- Si el sistema es libre, tres ecuaciones adicionales por punto de apoyo.

Estructura del sistema ligado de ecuaciones:

$$K_{(3*punto,1)} + R_{(3*punto,1)} = A_{(3*punto,7*modelo+3*PP)} X_{(7*modelo+3*PP,1)}$$

Estructura del sistema libre de ecuaciones:

$$K_{(3*punto+3*PA,1)} + R_{(3*punto+3*PA,1)} = A_{(3*punto+3*PA,7*modelo+3*PP+3*PA)} X_{(7*modelo+3*PP+3*PA,1)}$$

siendo:

- *punto*, punto por modelo.
- *PP*, punto de paso (incluido *CDP*).
- *PA*, punto de apoyo.

- B. Obtención de los parámetros de transformación por modelo estereoscópico: los tres giros, las tres traslaciones y el factor de escala, aunque los últimos cuatro parámetros son resultado directo de la transformación.
- C. Cálculo de las coordenadas transformadas tanto de los puntos utilizados en el ajuste como de puntos aislados por medio de (1).
- D. Realizar una primera iteración, pero ahora empleando las coordenadas transformadas, e ídem a C.
- E. Cálculo de la corrección de esfericidad a las coordenadas terreno transformadas utilizadas en el ajuste. Obtención de las coordenadas terreno corregidas del efecto de esfericidad terrestre.
- F. Realizar más iteraciones (con sus respectivas transformaciones de coordenadas) hasta que los valores de los parámetros de transformación converjan.

### 3.7. CORRECCIÓN DE ESFERICIDAD A LAS COORDENADAS TERRENO

En fotogrametría, como bien es sabido, se trabaja con un **sistema de coordenadas cartesiano tridimensional** en el que las posiciones de los elementos cartográficos se definen en proyección ortogonal al plano tomado como referencia. Sin embargo, si para la formación de una faja o bloque fotogramétrico las coordenadas terreno que se obtienen no se corrigen del efecto de esfericidad, dichas coordenadas estarán referidas a la superficie “esférica” de la tierra. Por tanto, si queremos que las posiciones de los puntos sobre el terreno estén referidas a un sistema de coordenadas plano, entonces será necesario corregir a las coordenadas terreno de los puntos del efecto de distorsión ocasionado por la curvatura de la tierra.

El efecto de esfericidad terrestre es muy variable y no se puede omitir prácticamente en ningún tipo de trabajo fotogramétrico, a no ser que se trate de un vuelo muy bajo y de extensión reducida. Además, es importante resaltar que la **corrección del efecto de esfericidad** se debe realizar sobre las coordenadas transformadas (de los puntos de paso, apoyo y centros de proyección) que intervienen en el proceso de transformación, después de la primera iteración.

En la formulación empleada, las coordenadas corregidas del efecto de esfericidad y referidas a la proyección ( $X_{C.E.}$ ,  $Y_{C.E.}$ ,  $Z_{C.E.}$ ), serán iguales a las coordenadas terreno obtenidas en el ajuste ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) más las correcciones debidas al efecto de esfericidad, de modo que:

$$X_{C.E.} = X + \Delta X$$

$$Y_{C.E.} = Y + \Delta Y \quad (24)$$

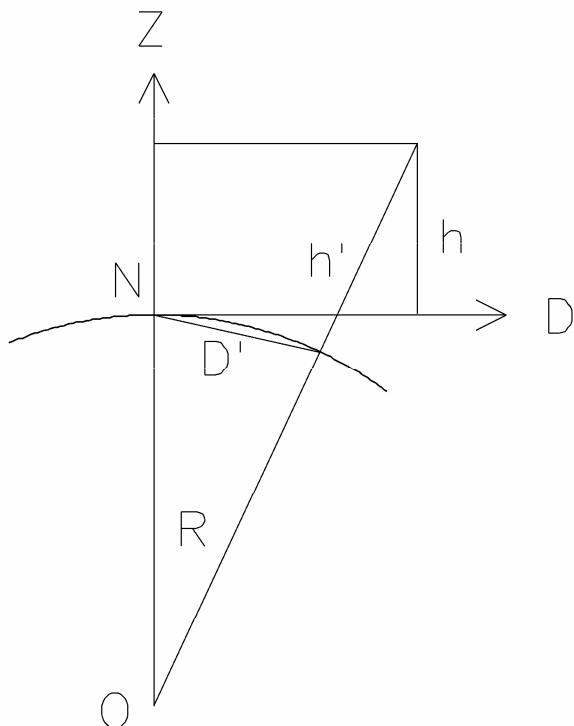
$$Z_{C.E.} = Z + \Delta Z$$

Los incrementos debidos a la esfericidad terrestre se calculan según (25), y tienen presente la altitud  $h$  a la que se encuentra el punto sobre la superficie de referencia (Fig. 11):

$$\begin{aligned} \Delta X &\equiv \frac{3}{8} \frac{X^3}{R^2} + \frac{h \cdot X}{R+h} \\ \Delta Y &\equiv \frac{3}{8} \frac{Y^3}{R^2} + \frac{h \cdot Y}{R+h} \\ \Delta Z &\equiv \frac{1}{2} \frac{(X^2 + Y^2)}{(R+h)} \end{aligned} \quad (25)$$

siendo:

- $X$ ,  $Y$ , las coordenadas terreno referidas al centro del modelo estereoscópico correspondiente. Se tomará como centro de cada modelo la media aritmética de las coordenadas de los centros de proyección.
- $R$ , el radio de la tierra.



**Figura 11.** Sección principal de las superficies terrestres que pasa por el punto nadiral N (centro del modelo a cota 0). El eje Z coincide con la vertical de N, mientras que el eje D es ortogonal a Z y se utiliza para hallar las distancias corregidas del efecto de esfericidad terrestre

### 3.8. EJEMPLO DE APLICACIÓN: AEROTRIANGULACIÓN TRIDIMENSIONAL SISTEMA LIGADO

Para lograr un mayor entendimiento del sistema de ecuaciones a formar, en la Fig. 12 se representa la distribución de partida y la numeración de los puntos utilizados en la compensación tridimensional por el método de los modelos independientes. El resultado que se persigue en el ajuste aparece en la Fig. 13.

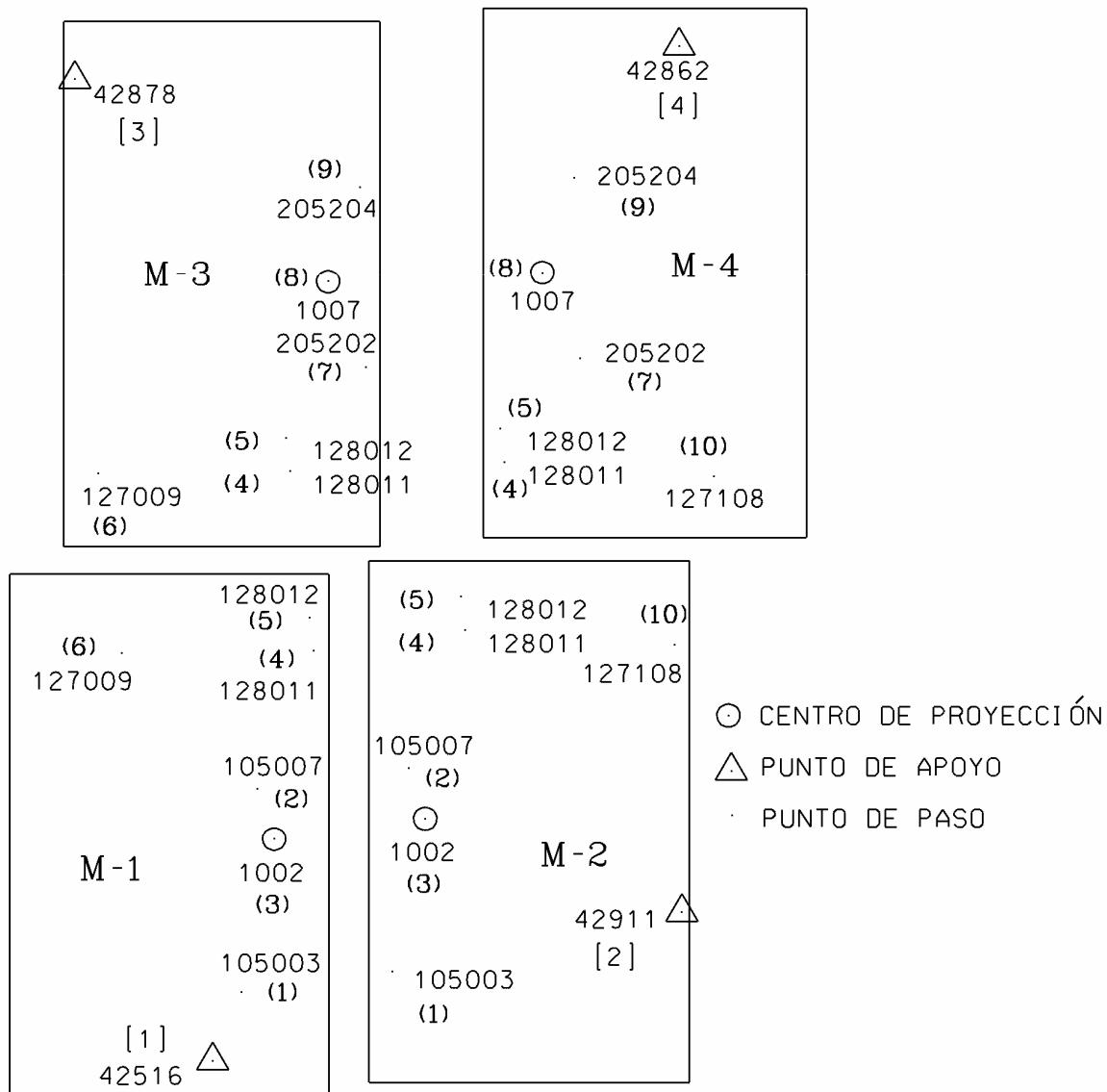
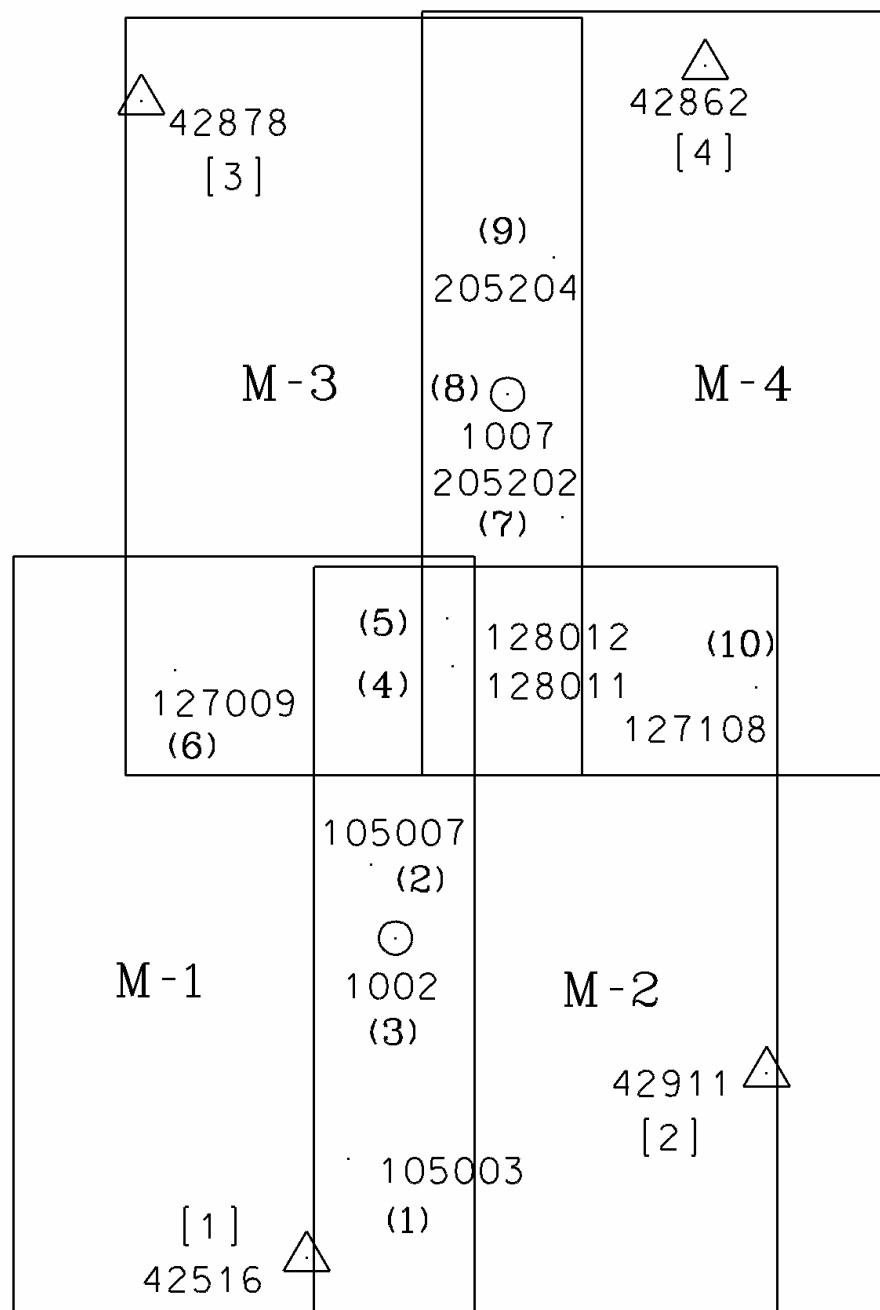


Figura 12. Representación gráfica de los puntos de paso y apoyo utilizados en la compensación tridimensional



○ CENTRO DE PROYECCIÓN      ▲ PUNTO DE APOYO  
    PUNTO DE PASO

**Figura 13. Resultado de la compensación tridimensional del bloque**

Con los datos del bloque a resolver (Fig. 12), el sistema de ecuaciones tendrá:

- Incógnitas:

- Parámetros de transformación:  $7*4 = 28$
- Correcciones a las coordenadas terreno PP y CDP:  $3*10 = 30$
- Total:  $28 + 30 = 58$

- Ecuaciones de observación:

- 28 puntos \* 3 ecuaciones/punto = 84
- Grados de libertad:  $84 - 58 = 26$

La estructura del sistema es muy similar a la que se plantea en el caso de aerotriangulación planimétrica sistema ligado (11). Ahora bien, el número de parámetros y correcciones aumenta sensiblemente, así como el número de ecuaciones.

$$\begin{pmatrix} R_I \\ R_{II} \\ R_{III} \\ R_{IV} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_I^{PA} & 0 & -1 \\ A_I^{PP} & 0 & -1 \\ A_{II}^{PA} & 0 & -1 \\ A_{II}^{PP} & 0 & -1 \\ A_{III}^{PA} & 0 & -1 \\ A_{III}^{PP} & 0 & -1 \\ A_{IV}^{PA} & 0 & -1 \\ A_{IV}^{PP} & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_I \\ x_{II} \\ x_{III} \\ x_{IV} \\ dx_I \\ dx_{II} \\ dx_{III} \\ dx_{IV} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} K_I^{PA} \\ 0 \\ K_{II}^{PA} \\ 0 \\ K_{III}^{PA} \\ 0 \\ K_{IV}^{PA} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (26)$$

$$R_{(3*punto,1)} = A_{(3*punto,7*modelo+3*PP)} X_{(7*modelo+3*PP,1)} - K_{(3*punto,1)}$$

Con los datos del enunciado, la dimensión del sistema de ecuaciones es:

$$R_{(84,1)} = A_{(84,58)} X_{(58,1)} - K_{(84,1)}$$

La resolución del sistema se realiza tomando las coordenadas modelo del bloque 'libre'.

**Datos de partida:**

Modelo	PA/ PP	Coordenadas modelo			Coordenadas terreno		
		X <sub>m</sub> (mm)	Y <sub>m</sub> (mm)	Z <sub>m</sub> (mm)	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)	Z <sub>T</sub> (m)
1	0	60.137	-103.428	-160.157	42492.400	50847.590	1.777
1	1	72.548	-73.234	-159.544	0.000	0.000	0.000
1	2	78.881	16.007	-161.764	0.000	0.000	0.000
1	3	92.000	-1.384	-2.248	0.000	0.000	0.000
1	4	102.939	76.465	-163.547	0.000	0.000	0.000
1	5	100.989	91.082	-163.431	0.000	0.000	0.000
1	6	18.726	74.953	-160.678	0.000	0.000	0.000
2	0	204.097	-46.258	-166.768	43066.100	51069.990	2.528
2	1	72.544	-73.242	-159.568	0.000	0.000	0.000
2	2	78.883	16.011	-161.787	0.000	0.000	0.000
2	3	92.007	-1.356	-2.238	0.000	0.000	0.000
2	4	102.936	76.454	-163.532	0.000	0.000	0.000
2	5	100.986	91.068	-163.409	0.000	0.000	0.000
2	10	208.653	71.048	-167.170	0.000	0.000	0.000
3	0	6.932	247.659	-163.636	42293.350	52242.940	20.044
3	4	102.933	76.459	-163.511	0.000	0.000	0.000
3	5	100.980	91.063	-163.437	0.000	0.000	0.000
3	6	18.733	74.968	-160.694	0.000	0.000	0.000
3	7	135.682	122.130	-165.073	0.000	0.000	0.000
3	8	124.318	163.942	-11.461	0.000	0.000	0.000
3	9	132.673	201.310	-166.409	0.000	0.000	0.000
4	0	177.984	259.461	-169.172	42972.950	52284.020	24.204
4	4	102.932	76.462	-163.489	0.000	0.000	0.000
4	5	100.982	91.075	-163.433	0.000	0.000	0.000
4	7	135.686	122.131	-165.098	0.000	0.000	0.000
4	8	124.311	163.932	-11.452	0.000	0.000	0.000
4	9	132.672	201.304	-166.418	0.000	0.000	0.000
4	10	208.661	71.058	-167.183	0.000	0.000	0.000

Peso de las medidas: 1.000

La **matriz A** se divide en bloques debido a su tamaño. Los bloques se pueden apreciar en el siguiente gráfico:

$$\left( \begin{array}{c|cc|c|c} \text{Bl.1} & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & & \text{Bl.2} & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & & \text{Bl.3} & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & & \text{Bl.4} \end{array} \right) \quad \text{Bl.5}$$

### **Matriz A. Bloque 1.**

1.0	0.0	0.0	60.137	-103.428	-160.157	0.000
0.0	1.0	0.0	-103.428	-60.137	0.000	-160.157
0.0	0.0	1.0	-160.157	0.000	-60.137	103.428
1.0	0.0	0.0	72.548	-73.234	-159.544	0.000
0.0	1.0	0.0	-73.234	-72.548	0.000	-159.544
0.0	0.0	1.0	-159.544	0.000	-72.548	73.234
1.0	0.0	0.0	78.881	16.007	-161.764	0.000
0.0	1.0	0.0	16.007	-78.881	0.000	-161.764
0.0	0.0	1.0	-161.764	0.000	-78.881	-16.007
1.0	0.0	0.0	92.000	-1.384	-2.248	0.000
0.0	1.0	0.0	-1.384	-92.000	0.000	-2.248
0.0	0.0	1.0	-2.248	0.000	-92.000	1.384
1.0	0.0	0.0	102.939	76.465	-163.547	0.000
0.0	1.0	0.0	76.465	-102.939	0.000	-163.547
0.0	0.0	1.0	-163.547	0.000	-102.939	-76.465
1.0	0.0	0.0	100.989	91.082	-163.431	0.000
0.0	1.0	0.0	91.082	-100.989	0.000	-163.431
0.0	0.0	1.0	-163.431	0.000	-100.989	-91.082
1.0	0.0	0.0	18.726	74.953	-160.678	0.000
0.0	1.0	0.0	74.953	-18.726	0.000	-160.678
0.0	0.0	1.0	-160.678	0.000	-18.726	-74.953

### **Matriz A. Bloque 2.**

1.0	0.0	0.0	204.097	-46.258	-166.768	0.000
0.0	1.0	0.0	-46.258	-204.097	0.000	-166.768
0.0	0.0	1.0	-166.768	0.000	-204.097	46.258
1.0	0.0	0.0	72.544	-73.242	-159.568	0.000
0.0	1.0	0.0	-73.242	-72.544	0.000	-159.568
0.0	0.0	1.0	-159.568	0.000	-72.544	73.242
1.0	0.0	0.0	78.883	16.011	-161.787	0.000
0.0	1.0	0.0	16.011	-78.883	0.000	-161.787
0.0	0.0	1.0	-161.787	0.000	-78.883	-16.011
1.0	0.0	0.0	92.007	-1.356	-2.238	0.000
0.0	1.0	0.0	-1.356	-92.007	0.000	-2.238
0.0	0.0	1.0	-2.238	0.000	-92.007	1.356
1.0	0.0	0.0	102.936	76.454	-163.532	0.000
0.0	1.0	0.0	76.454	-102.936	0.000	-163.532
0.0	0.0	1.0	-163.532	0.000	-102.936	-76.454
1.0	0.0	0.0	100.986	91.068	-163.409	0.000
0.0	1.0	0.0	91.068	-100.986	0.000	-163.409
0.0	0.0	1.0	-163.409	0.000	-100.986	-91.068
1.0	0.0	0.0	208.653	71.048	-167.170	0.000
0.0	1.0	0.0	71.048	-208.653	0.000	-167.170
0.0	0.0	1.0	-167.170	0.000	-208.653	-71.048

**Matriz A. Bloque 3.**

1.0	0.0	0.0	6.932	247.659	-163.636	0.000
0.0	1.0	0.0	247.659	-6.932	0.000	-163.636
0.0	0.0	1.0	-163.636	0.000	-6.932	-247.659
1.0	0.0	0.0	102.933	76.459	-163.511	0.000
0.0	1.0	0.0	76.459	-102.933	0.000	-163.511
0.0	0.0	1.0	-163.511	0.000	-102.933	-76.459
1.0	0.0	0.0	100.980	91.063	-163.437	0.000
0.0	1.0	0.0	91.063	-100.980	0.000	-163.437
0.0	0.0	1.0	-163.437	0.000	-100.980	-91.063
1.0	0.0	0.0	18.733	74.968	-160.694	0.000
0.0	1.0	0.0	74.968	-18.733	0.000	-160.694
0.0	0.0	1.0	-160.694	0.000	-18.733	-74.968
1.0	0.0	0.0	135.682	122.130	-165.073	0.000
0.0	1.0	0.0	122.130	-135.682	0.000	-165.073
0.0	0.0	1.0	-165.073	0.000	-135.682	-122.130
1.0	0.0	0.0	124.318	163.942	-11.461	0.000
0.0	1.0	0.0	163.942	-124.318	0.000	-11.461
0.0	0.0	1.0	-11.461	0.000	-124.318	-163.942
1.0	0.0	0.0	132.673	201.310	-166.409	0.000
0.0	1.0	0.0	201.310	-132.673	0.000	-166.409
0.0	0.0	1.0	-166.409	0.000	-132.673	-201.310

**Matriz A. Bloque 4.**

1.0	0.0	0.0	177.984	259.461	-169.172	0.000
0.0	1.0	0.0	259.461	-177.984	0.000	-169.172
0.0	0.0	1.0	-169.172	0.000	-177.984	-259.461
1.0	0.0	0.0	102.932	76.462	-163.489	0.000
0.0	1.0	0.0	76.462	-102.932	0.000	-163.489
0.0	0.0	1.0	-163.489	0.000	-102.932	-76.462
1.0	0.0	0.0	100.982	91.075	-163.433	0.000
0.0	1.0	0.0	91.075	-100.982	0.000	-163.433
0.0	0.0	1.0	-163.433	0.000	-100.982	-91.075
1.0	0.0	0.0	135.686	122.131	-165.098	0.000
0.0	1.0	0.0	122.131	-135.686	0.000	-165.098
0.0	0.0	1.0	-165.098	0.000	-135.686	-122.131
1.0	0.0	0.0	124.311	163.932	-11.452	0.000
0.0	1.0	0.0	163.932	-124.311	0.000	-11.452
0.0	0.0	1.0	-11.452	0.000	-124.311	-163.932
1.0	0.0	0.0	132.672	201.304	-166.418	0.000
0.0	1.0	0.0	201.304	-132.672	0.000	-166.418
0.0	0.0	1.0	-166.418	0.000	-132.672	-201.304
1.0	0.0	0.0	208.661	71.058	-167.183	0.000
0.0	1.0	0.0	71.058	-208.661	0.000	-167.183
0.0	0.0	1.0	-167.183	0.000	-208.661	-71.058

## **Matriz A. Bloque 5.**

## Matriz K

Resultados de la compensación:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.010

Valores de los parámetros y errores medios cuadráticos:

Parámetro, $Tx_1$ =	42233.873934980;	E.M.C. = 0.2489887
Parámetro, $Ty_1$ =	51242.263073784;	E.M.C. = 0.4562439
Parámetro, $Tz_1$ =	639.713303717;	E.M.C. = 0.3418829
Parámetro, $H_1$ =	3.967036114;	E.M.C. = 0.0006869
Parámetro, $a_1$ =	0.032321416;	E.M.C. = 0.0007326
Parámetro, $b_1$ =	-0.144764295;	E.M.C. = 0.0013956
Parámetro, $c_1$ =	-0.109214666;	E.M.C. = 0.0027763
Parámetro, $Tx_2$ =	42233.900163708;	E.M.C. = 0.2343573
Parámetro, $Ty_2$ =	51242.330197959;	E.M.C. = 0.4844297
Parámetro, $Tz_2$ =	639.845910499;	E.M.C. = 0.3443864
Parámetro, $H_2$ =	3.967447003;	E.M.C. = 0.0006718
Parámetro, $a_2$ =	0.033608108;	E.M.C. = 0.0007198
Parámetro, $b_2$ =	-0.143943613;	E.M.C. = 0.0011658
Parámetro, $c_2$ =	-0.109084604;	E.M.C. = 0.0029495
Parámetro, $Tx_3$ =	42233.616340317;	E.M.C. = 0.2231128
Parámetro, $Ty_3$ =	51240.955367803;	E.M.C. = 0.4708522
Parámetro, $Tz_3$ =	639.183506449;	E.M.C. = 0.7350546
Parámetro, $H_3$ =	3.968156196;	E.M.C. = 0.0006477
Parámetro, $a_3$ =	0.034793663;	E.M.C. = 0.0006876
Parámetro, $b_3$ =	-0.144311607;	E.M.C. = 0.0009884
Parámetro, $c_3$ =	-0.117913072;	E.M.C. = 0.0028094
Parámetro, $Tx_4$ =	42233.909021765;	E.M.C. = 0.2617963
Parámetro, $Ty_4$ =	51240.957215287;	E.M.C. = 0.4474489
Parámetro, $Tz_4$ =	639.023385575;	E.M.C. = 0.7304310
Parámetro, $H_4$ =	3.966819000;	E.M.C. = 0.0006515
Parámetro, $a_4$ =	0.033617801;	E.M.C. = 0.0007038
Parámetro, $b_4$ =	-0.144271034;	E.M.C. = 0.0011706
Parámetro, $c_4$ =	-0.117797327;	E.M.C. = 0.0025346

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, dX <sub>1</sub>	= 42542.313 m;	E.M.C. = 0.107 m
Y punto 1, dY <sub>1</sub>	= 50966.768 m;	E.M.C. = 0.107 m
Z punto 1, dZ <sub>1</sub>	= 9.261 m;	E.M.C. = 0.124 m
X punto 2, dX <sub>2</sub>	= 42570.712 m;	E.M.C. = 0.110 m
Y punto 2, dY <sub>2</sub>	= 51320.866 m;	E.M.C. = 0.112 m
Z punto 2, dZ <sub>2</sub>	= 11.111 m;	E.M.C. = 0.306 m
X punto 3, dX <sub>3</sub>	= 42599.166 m;	E.M.C. = 0.224 m
Y punto 3, dY <sub>3</sub>	= 51234.073 m;	E.M.C. = 0.469 m
Z punto 3, dZ <sub>3</sub>	= 644.013 m;	E.M.C. = 0.269 m
X punto 4, dX <sub>4</sub>	= 42668.373 m;	E.M.C. = 0.112 m
Y punto 4, dY <sub>4</sub>	= 51560.074 m;	E.M.C. = 0.114 m
Z punto 4, dZ <sub>4</sub>	= 14.233 m;	E.M.C. = 0.462 m
X punto 5, dX <sub>5</sub>	= 42661.111 m;	E.M.C. = 0.112 m
Y punto 5, dY <sub>5</sub>	= 51618.100 m;	E.M.C. = 0.114 m
Z punto 5, dZ <sub>5</sub>	= 15.976 m;	E.M.C. = 0.465 m
X punto 6, dX <sub>6</sub>	= 42333.797 m;	E.M.C. = 0.129 m
Y punto 6, dY <sub>6</sub>	= 51556.642 m;	E.M.C. = 0.128 m
Z punto 6, dZ <sub>6</sub>	= 13.131 m;	E.M.C. = 0.508 m
X punto 7, dX <sub>7</sub>	= 42800.085 m;	E.M.C. = 0.116 m
Y punto 7, dY <sub>7</sub>	= 51740.323 m;	E.M.C. = 0.118 m
Z punto 7, dZ <sub>7</sub>	= 18.101 m;	E.M.C. = 0.353 m
X punto 8, dX <sub>8</sub>	= 42734.240 m;	E.M.C. = 0.186 m
Y punto 8, dY <sub>8</sub>	= 51888.472 m;	E.M.C. = 0.421 m
Z punto 8, dZ <sub>8</sub>	= 630.908 m;	E.M.C. = 0.275 m
X punto 9, dX <sub>9</sub>	= 42791.037 m;	E.M.C. = 0.102 m
Y punto 9, dY <sub>9</sub>	= 52054.714 m;	E.M.C. = 0.104 m
Z punto 9, dZ <sub>9</sub>	= 21.729 m;	E.M.C. = 0.168 m
X punto 10, dX <sub>10</sub>	= 43088.154 m;	E.M.C. = 0.123 m
Y punto 10, dY <sub>10</sub>	= 51535.472 m;	E.M.C. = 0.122 m
Z punto 10, dZ <sub>10</sub>	= 14.353 m;	E.M.C. = 0.415 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.118 m	R(2) = -0.082 m
R(3) = -0.002 m	R(4) = 0.091 m
R(5) = 0.053 m	R(6) = 0.040 m
R(7) = 0.021 m	R(8) = 0.015 m
R(9) = 0.046 m	R(10) = -0.044 m
R(11) = -0.029 m	R(12) = -0.050 m
R(13) = 0.011 m	R(14) = 0.063 m
R(15) = -0.064 m	R(16) = -0.007 m
R(17) = 0.073 m	R(18) = -0.033 m
R(19) = 0.047 m	R(20) = -0.094 m
R(21) = 0.063 m	R(22) = -0.005 m
R(23) = 0.147 m	R(24) = 0.007 m
R(25) = -0.091 m	R(26) = -0.053 m
R(27) = -0.040 m	R(28) = -0.021 m
R(29) = -0.015 m	R(30) = -0.046 m
R(31) = 0.044 m	R(32) = 0.029 m
R(33) = 0.050 m	R(34) = 0.029 m
R(35) = -0.037 m	R(36) = -0.035 m
R(37) = 0.028 m	R(38) = -0.031 m
R(39) = 0.024 m	R(40) = 0.016 m
R(41) = -0.039 m	R(42) = 0.040 m
R(43) = 0.005 m	R(44) = -0.181 m
R(45) = 0.009 m	R(46) = -0.046 m
R(47) = -0.019 m	R(48) = -0.017 m
R(49) = -0.036 m	R(50) = -0.035 m
R(51) = -0.026 m	R(52) = -0.047 m
R(53) = 0.094 m	R(54) = -0.063 m
R(55) = 0.010 m	R(56) = 0.007 m
R(57) = 0.029 m	R(58) = 0.048 m
R(59) = 0.057 m	R(60) = 0.068 m
R(61) = 0.066 m	R(62) = 0.077 m
R(63) = 0.001 m	R(64) = 0.118 m
R(65) = 0.117 m	R(66) = -0.014 m
R(67) = 0.006 m	R(68) = -0.008 m
R(69) = 0.116 m	R(70) = 0.016 m
R(71) = -0.008 m	R(72) = 0.035 m
R(73) = -0.010 m	R(74) = -0.007 m
R(75) = -0.029 m	R(76) = -0.048 m

$R(77) = -0.057 \text{ m}$	$R(78) = -0.068 \text{ m}$
$R(79) = -0.066 \text{ m}$	$R(80) = -0.077 \text{ m}$
$R(81) = -0.001 \text{ m}$	$R(82) = -0.016 \text{ m}$
$R(83) = 0.039 \text{ m}$	$R(84) = -0.040 \text{ m}$

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.101 m

**MODELO 1:**

$T_x = 42233.874 \text{ m}$
$T_y = 51242.263 \text{ m}$
$T_z = 639.713 \text{ m}$
$H = 3.967036114$
$\Omega, \omega = 1^g.7529$
$\Phi, \varphi = -2^g.3237$
$\kappa = -0^g.5187$

**MODELO 2:**

$T_x = 42233.900 \text{ m}$
$T_y = 51242.330 \text{ m}$
$T_z = 639.846 \text{ m}$
$H = 3.967447003$
$\Omega, \omega = 1^g.7506$
$\Phi, \varphi = -2^g.3102$
$\kappa = -0^g.5393$

**MODELO 3:**

$T_x = 42233.616 \text{ m}$
$T_y = 51240.955 \text{ m}$
$T_z = 639.184 \text{ m}$
$H = 3.968156196$
$\Omega, \omega = 1^g.8920$
$\Phi, \varphi = -2^g.3157$
$\kappa = -0^g.5582$

**MODELO 4:**

$T_x = 42233.909 \text{ m}$
$T_y = 51240.957 \text{ m}$
$T_z = 639.023 \text{ m}$
$H = 3.966819000$
$\Omega, \omega = 1^g.8908$
$\Phi, \varphi = -2^g.3159$
$\kappa = -0^g.5395$

Modelo	PA/PP	Coord. modelo transformadas a terreno utilizadas en la iteración: 1		
		X <sub>m</sub> t1(m)	Y <sub>m</sub> t1(m)	Z <sub>m</sub> t1(m)
1	0	42492.661	50847.486	2.446
1	1	42542.628	50966.751	9.967
1	2	42570.584	51320.666	11.826
1	3	42598.874	51234.046	643.972
1	4	42667.928	51559.823	14.842
1	5	42660.595	51617.837	16.614
1	6	42333.625	51556.238	13.855
2	0	43065.938	51070.254	3.327
2	1	42542.615	50966.722	9.871
2	2	42570.596	51320.684	11.736
2	3	42598.901	51234.156	644.016
2	4	42667.914	51559.778	14.900
2	5	42660.580	51617.779	16.700
2	10	43087.381	51535.319	15.197
3	0	42292.193	52241.792	19.275
3	4	42667.899	51559.796	14.983
3	5	42660.560	51617.762	16.587
3	6	42333.656	51556.299	13.794
3	7	42799.246	51740.012	18.518
3	8	42733.015	51889.587	630.184
3	9	42789.755	52054.237	21.430
4	0	42971.429	52283.665	23.387
4	4	42667.892	51559.805	15.070
4	5	42660.568	51617.809	16.605
4	7	42799.265	51740.019	718.420
4	8	42732.986	51889.546	630.218
4	9	42789.752	52054.214	21.394
4	10	43087.414	51535.360	15.147

Formacion de matrices a utilizar en la iteración 1:

### **Matriz A. Bloque 1.**

1.0	0.0	0.0	42492.661	50847.486	2.446	0.000
0.0	1.0	0.0	50847.486	-42492.661	0.000	2.446
0.0	0.0	1.0	2.446	0.000	-42492.661	-50847.486
1.0	0.0	0.0	42542.628	50966.751	9.967	0.000
0.0	1.0	0.0	50966.751	-42542.628	0.000	9.967
0.0	0.0	1.0	9.967	0.000	-42542.628	-50966.751
1.0	0.0	0.0	42570.584	51320.666	11.826	0.000
0.0	1.0	0.0	51320.666	-42570.584	0.000	11.826
0.0	0.0	1.0	11.826	0.000	-42570.584	-51320.666
1.0	0.0	0.0	42598.874	51234.046	643.972	0.000
0.0	1.0	0.0	51234.046	-42598.874	0.000	643.972
0.0	0.0	1.0	643.972	0.000	-42598.874	-51234.046
1.0	0.0	0.0	42667.928	51559.823	14.842	0.000
0.0	1.0	0.0	51559.823	-42667.928	0.000	14.842
0.0	0.0	1.0	14.842	0.000	-42667.928	-51559.823
1.0	0.0	0.0	42660.595	51617.837	16.614	0.000
0.0	1.0	0.0	51617.837	-42660.595	0.000	16.614
0.0	0.0	1.0	16.614	0.000	-42660.595	-51617.837
1.0	0.0	0.0	42333.625	51556.238	13.855	0.000
0.0	1.0	0.0	51556.238	-42333.625	0.000	13.855
0.0	0.0	1.0	13.855	0.000	-42333.625	-51556.238

### **Matriz A. Bloque 2.**

1.0	0.0	0.0	43065.938	51070.254	3.327	0.000
0.0	1.0	0.0	51070.254	-43065.938	0.000	3.327
0.0	0.0	1.0	3.327	0.000	-43065.938	-51070.254
1.0	0.0	0.0	42542.615	50966.722	9.871	0.000
0.0	1.0	0.0	50966.722	-42542.615	0.000	9.871
0.0	0.0	1.0	9.871	0.000	-42542.615	-50966.722
1.0	0.0	0.0	42570.596	51320.684	11.736	0.000
0.0	1.0	0.0	51320.684	-42570.596	0.000	11.736
0.0	0.0	1.0	11.736	0.000	-42570.596	-51320.684
1.0	0.0	0.0	42598.901	51234.156	644.016	0.000
0.0	1.0	0.0	51234.156	-42598.901	0.000	644.016
0.0	0.0	1.0	644.016	0.000	-42598.901	-51234.156
1.0	0.0	0.0	42667.914	51559.778	14.900	0.000
0.0	1.0	0.0	51559.778	-42667.914	0.000	14.900
0.0	0.0	1.0	14.900	0.000	-42667.914	-51559.778
1.0	0.0	0.0	42660.580	51617.779	16.700	0.000
0.0	1.0	0.0	51617.779	-42660.580	0.000	16.700
0.0	0.0	1.0	16.700	0.000	-42660.580	-51617.779
1.0	0.0	0.0	43087.381	51535.319	15.197	0.000
0.0	1.0	0.0	51535.319	-43087.381	0.000	15.197
0.0	0.0	1.0	15.197	0.000	-43087.381	-51535.319

### Matriz A. Bloque 3.

1.0	0.0	0.0	42292.193	52241.792	19.275	0.000
0.0	1.0	0.0	52241.792	-42292.193	0.000	19.275
0.0	0.0	1.0	19.275	0.000	-42292.193	-52241.792
1.0	0.0	0.0	42667.899	51559.796	14.983	0.000
0.0	1.0	0.0	51559.796	-42667.899	0.000	14.983
0.0	0.0	1.0	14.983	0.000	-42667.899	-51559.796
1.0	0.0	0.0	42660.560	51617.762	16.587	0.000
0.0	1.0	0.0	51617.762	-42660.560	0.000	16.587
0.0	0.0	1.0	16.587	0.000	-42660.560	-51617.762
1.0	0.0	0.0	42333.656	51556.299	13.794	0.000
0.0	1.0	0.0	51556.299	-42333.656	0.000	13.794
0.0	0.0	1.0	13.794	0.000	-42333.656	-51556.299
1.0	0.0	0.0	42799.246	51740.012	18.518	0.000
0.0	1.0	0.0	51740.012	-42799.246	0.000	18.518
0.0	0.0	1.0	18.518	0.000	-42799.246	-51740.012
1.0	0.0	0.0	42733.015	51889.587	630.184	0.000
0.0	1.0	0.0	51889.587	-42733.015	0.000	630.184
0.0	0.0	1.0	630.184	0.000	-42733.015	-51889.587
1.0	0.0	0.0	42789.755	52054.237	21.430	0.000
0.0	1.0	0.0	52054.237	-42789.755	0.000	21.430
0.0	0.0	1.0	21.430	0.000	-42789.755	-52054.237

### Matriz A. Bloque 4.

1.0	0.0	0.0	42971.429	52283.665	23.387	0.000
0.0	1.0	0.0	52283.665	-42971.429	0.000	23.387
0.0	0.0	1.0	23.387	0.000	-42971.429	-52283.665
1.0	0.0	0.0	42667.892	51559.805	15.070	0.000
0.0	1.0	0.0	51559.805	-42667.892	0.000	15.070
0.0	0.0	1.0	15.070	0.000	-42667.892	-51559.805
1.0	0.0	0.0	42660.568	51617.809	16.605	0.000
0.0	1.0	0.0	51617.809	-42660.568	0.000	16.605
0.0	0.0	1.0	16.605	0.000	-42660.568	-51617.809
1.0	0.0	0.0	42799.265	51740.019	18.420	0.000
0.0	1.0	0.0	51740.019	-42799.265	0.000	18.420
0.0	0.0	1.0	18.420	0.000	-42799.265	-51740.019
1.0	0.0	0.0	42732.986	51889.546	630.218	0.000
0.0	1.0	0.0	51889.546	-42732.986	0.000	630.218
0.0	0.0	1.0	630.218	0.000	-42732.986	-51889.546
1.0	0.0	0.0	42789.752	52054.214	21.394	0.000
0.0	1.0	0.0	52054.214	-42789.752	0.000	21.394
0.0	0.0	1.0	21.394	0.000	-42789.752	-52054.214
1.0	0.0	0.0	43087.414	51535.360	15.147	0.000
0.0	1.0	0.0	51535.360	-43087.414	0.000	15.147
0.0	0.0	1.0	15.147	0.000	-43087.414	-51535.360

## Matriz A. Bloque 5.

## Matriz K

Resultados de la primera iteración:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.003

Valores de los parámetros y errores medios cuadráticos:

Parámetro, $Tx_1$ =	-75.961554889;	E.M.C. =	6.3837193
Parámetro, $Ty_1$ =	14.278803830;	E.M.C. =	6.4274854
Parámetro, $Tz_1$ =	1.194808430;	E.M.C. =	16.8618140
Parámetro, $H_1$ =	1.000568734;	E.M.C. =	0.0000935
Parámetro, $a_1$ =	0.001013069;	E.M.C. =	0.0000990
Parámetro, $b_1$ =	0.000118147;	E.M.C. =	0.0001885
Parámetro, $c_1$ =	-0.000061942;	E.M.C. =	0.0003788
Parámetro, $Tx_2$ =	-74.840061461;	E.M.C. =	6.4102190
Parámetro, $Ty_2$ =	19.061518007;	E.M.C. =	6.1516962
Parámetro, $Tz_2$ =	5.413145160;	E.M.C. =	18.3135724
Parámetro, $H_2$ =	1.000502663;	E.M.C. =	0.0000914
Parámetro, $a_2$ =	0.001045456;	E.M.C. =	0.0000967
Parámetro, $b_2$ =	0.000260494;	E.M.C. =	0.0001572
Parámetro, $c_2$ =	-0.000098126;	E.M.C. =	0.0004023
Parámetro, $Tx_3$ =	-80.865127555;	E.M.C. =	6.2902875
Parámetro, $Ty_3$ =	23.425691610;	E.M.C. =	5.9279079
Parámetro, $Tz_3$ =	-102.218304573;	E.M.C. =	22.3150621
Parámetro, $H_3$ =	1.000510254;	E.M.C. =	0.0000882
Parámetro, $a_3$ =	0.001156417;	E.M.C. =	0.0000937
Parámetro, $b_3$ =	0.000130746;	E.M.C. =	0.0001354
Parámetro, $c_3$ =	-0.002077115;	E.M.C. =	0.0003820
Parámetro, $Tx_4$ =	-79.903116865;	E.M.C. =	6.1001814
Parámetro, $Ty_4$ =	26.082061276;	E.M.C. =	6.2863508
Parámetro, $Tz_4$ =	-107.374528972;	E.M.C. =	21.2813088
Parámetro, $H_4$ =	1.000470822;	E.M.C. =	0.0000887
Parámetro, $a_4$ =	0.001170545;	E.M.C. =	0.0000950
Parámetro, $b_4$ =	0.000037544;	E.M.C. =	0.0001601
Parámetro, $c_4$ =	-0.002099844;	E.M.C. =	0.0003448

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, dX <sub>1</sub>	= 42542.471 m;	E.M.C. = 0.058 m
Y punto 1, dY <sub>1</sub>	= 50966.921 m;	E.M.C. = 0.058 m
Z punto 1, dZ <sub>1</sub>	= 9.253 m;	E.M.C. = 0.067 m
X punto 2, dX <sub>2</sub>	= 42570.819 m;	E.M.C. = 0.059 m
Y punto 2, dY <sub>2</sub>	= 51321.020 m;	E.M.C. = 0.060 m
Z punto 2, dZ <sub>2</sub>	= 11.139 m;	E.M.C. = 0.165 m
X punto 3, dX <sub>3</sub>	= 42599.162 m;	E.M.C. = 0.118 m
Y punto 3, dY <sub>3</sub>	= 51234.320 m;	E.M.C. = 0.256 m
Z punto 3, dZ <sub>3</sub>	= 643.678 m;	E.M.C. = 0.142 m
X punto 4, dX <sub>4</sub>	= 42668.440 m;	E.M.C. = 0.060 m
Y punto 4, dY <sub>4</sub>	= 51560.173 m;	E.M.C. = 0.062 m
Z punto 4, dZ <sub>4</sub>	= 14.280 m;	E.M.C. = 0.250 m
X punto 5, dX <sub>5</sub>	= 42661.168 m;	E.M.C. = 0.060 m
Y punto 5, dY <sub>5</sub>	= 51618.205 m;	E.M.C. = 0.062 m
Z punto 5, dZ <sub>5</sub>	= 16.023 m;	E.M.C. = 0.251 m
X punto 6, dX <sub>6</sub>	= 42333.993 m;	E.M.C. = 0.069 m
Y punto 6, dY <sub>6</sub>	= 51556.999 m;	E.M.C. = 0.070 m
Z punto 6, dZ <sub>6</sub>	= 13.193 m;	E.M.C. = 0.274 m
X punto 7, dX <sub>7</sub>	= 42800.066 m;	E.M.C. = 0.062 m
Y punto 7, dY <sub>7</sub>	= 51740.315 m;	E.M.C. = 0.064 m
Z punto 7, dZ <sub>7</sub>	= 18.138 m;	E.M.C. = 0.190 m
X punto 8, dX <sub>8</sub>	= 42734.004 m;	E.M.C. = 0.100 m
Y punto 8, dY <sub>8</sub>	= 51888.739 m;	E.M.C. = 0.224 m
Z punto 8, dZ <sub>8</sub>	= 630.488 m;	E.M.C. = 0.154 m
X punto 9, dX <sub>9</sub>	= 42790.925 m;	E.M.C. = 0.055 m
Y punto 9, dY <sub>9</sub>	= 52054.684 m;	E.M.C. = 0.056 m
Z punto 9, dZ <sub>9</sub>	= 21.740 m;	E.M.C. = 0.091 m
X punto 10, dX <sub>10</sub>	= 43088.102 m;	E.M.C. = 0.066 m
Y punto 10, dY <sub>10</sub>	= 51535.239 m;	E.M.C. = 0.066 m
Z punto 10, dZ <sub>10</sub>	= 14.414 m;	E.M.C. = 0.224 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.021 m	R(2) = 0.045 m
R(3) = -0.006 m	R(4) = 0.025 m
R(5) = -0.004 m	R(6) = 0.045 m
R(7) = 0.008 m	R(8) = -0.016 m
R(9) = 0.038 m	R(10) = -0.043 m
R(11) = -0.052 m	R(12) = -0.005 m
R(13) = 0.029 m	R(14) = 0.027 m
R(15) = -0.082 m	R(16) = 0.023 m
R(17) = 0.048 m	R(18) = -0.047 m
R(19) = -0.021 m	R(20) = -0.048 m
R(21) = 0.057 m	R(22) = 0.038 m
R(23) = -0.027 m	R(24) = 0.007 m
R(25) = -0.025 m	R(26) = 0.004 m
R(27) = -0.045 m	R(28) = -0.008 m
R(29) = 0.016 m	R(30) = -0.038 m
R(31) = 0.043 m	R(32) = 0.052 m
R(33) = 0.005 m	R(34) = -0.011 m
R(35) = -0.025 m	R(36) = -0.015 m
R(37) = -0.016 m	R(38) = -0.020 m
R(39) = 0.051 m	R(40) = -0.021 m
R(41) = -0.000 m	R(42) = 0.036 m
R(43) = -0.026 m	R(44) = -0.013 m
R(45) = 0.005 m	R(46) = -0.008 m
R(47) = -0.016 m	R(48) = 0.009 m
R(49) = -0.011 m	R(50) = -0.047 m
R(51) = -0.007 m	R(52) = 0.021 m
R(53) = 0.048 m	R(54) = -0.057 m
R(55) = -0.012 m	R(56) = -0.009 m
R(57) = 0.045 m	R(58) = 0.039 m
R(59) = 0.024 m	R(60) = -0.007 m
R(61) = -0.003 m	R(62) = 0.012 m
R(63) = 0.011 m	R(64) = 0.009 m
R(65) = -0.005 m	R(66) = -0.006 m
R(67) = -0.009 m	R(68) = 0.014 m
R(69) = 0.088 m	R(70) = 0.004 m
R(71) = 0.018 m	R(72) = 0.003 m
R(73) = 0.012 m	R(74) = 0.009 m
R(75) = -0.045 m	R(76) = -0.039 m

$R(77) = -0.024 \text{ m}$	$R(78) = 0.007 \text{ m}$
$R(79) = 0.003 \text{ m}$	$R(80) = -0.012 \text{ m}$
$R(81) = -0.011 \text{ m}$	$R(82) = 0.021 \text{ m}$
$R(83) = 0.000 \text{ m}$	$R(84) = -0.036 \text{ m}$

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.055 m

**MODELO 1:**

$T_x = -75.962 \text{ m}$
$T_y = 14.279 \text{ m}$
$T_z = 1.195 \text{ m}$
$H = 1.000568734$
$\Omega, \omega = 0^g.0039$
$\Phi, \varphi = 0^g.0075$
$\kappa = -0^g.0645$

**MODELO 2:**

$T_x = -74.840 \text{ m}$
$T_y = 19.062 \text{ m}$
$T_z = 5.413 \text{ m}$
$H = 1.000502663$
$\Omega, \omega = 0^g.0062$
$\Phi, \varphi = 0^g.0166$
$\kappa = -0^g.0665$

**MODELO 3:**

$T_x = -80.865 \text{ m}$
$T_y = 23.426 \text{ m}$
$T_z = -102.218 \text{ m}$
$H = 1.000510254$
$\Omega, \omega = 0^g.1322$
$\Phi, \varphi = 0^g.0083$
$\kappa = -0^g.0736$

**MODELO 4:**

$T_x = -79.903 \text{ m}$
$T_y = 26.082 \text{ m}$
$T_z = -107.375 \text{ m}$
$H = 1.000470822$
$\Omega, \omega = 0^g.1336$
$\Phi, \varphi = 0^g.0024$
$\kappa = -0^g.0745$

	Coord. del centro de los modelos	
	X <sub>m</sub> (m)	Y <sub>m</sub> (m)
Modelo 1	42416.645	51237.940
Modelo 2	42780.460	51227.251
Modelo 3	42549.207	51886.005
Modelo 4	42912.942	51889.556

Coordenadas modelo. transformadas. a terreno tras iteración. 1 y corrección. esfericidad							
Modelo	PA/PP	X <sub>m</sub> (m)	Y <sub>m</sub> (m)	Z <sub>m</sub> (m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
1	0	42492.357	50847.609	1.771	0.000	-0.000	0.012
1	1	42542.474	50966.891	9.298	0.000	-0.000	0.007
1	2	42570.805	51320.978	11.177	0.000	0.000	0.002
1	3	42599.098	51234.242	643.674	0.018	-0.000	0.003
1	4	42668.447	51560.173	14.198	0.001	0.001	0.013
1	5	42661.169	51618.226	15.976	0.001	0.001	0.016
1	6	42333.951	51556.924	13.250	-0.000	0.001	0.009
2	0	43066.186	51069.923	2.599	0.000	-0.000	0.008
2	1	42542.461	50966.862	9.202	-0.000	-0.000	0.010
2	2	42570.816	51320.996	11.087	-0.000	0.000	0.004
2	3	42599.125	51234.351	643.717	-0.018	0.001	0.003
2	4	42668.433	51560.128	14.255	-0.000	0.001	0.010
2	5	42661.153	51618.169	16.061	-0.000	0.001	0.013
2	10	43088.113	51535.230	14.502	0.001	0.001	0.015
3	0	42293.190	52242.910	18.720	-0.001	0.001	0.015
3	4	42668.418	51560.145	14.339	0.000	-0.001	0.009
3	5	42661.133	51618.152	15.949	0.000	-0.001	0.007
3	6	42333.981	51556.985	13.189	-0.000	-0.001	0.012
3	7	42800.022	51740.331	17.872	0.001	-0.000	0.007
3	8	42733.978	51890.020	629.903	0.018	0.000	0.003
3	9	42790.844	52054.743	20.806	0.001	0.001	0.007
4	0	42972.854	52284.118	22.757	0.000	0.001	0.013
4	4	42668.411	51560.155	14.426	-0.001	-0.001	0.013
4	5	42661.141	51618.199	15.966	-0.001	-0.001	0.011
4	7	42800.042	51740.337	17.774	-0.000	-0.000	0.003
4	8	42733.948	51889.979	629.937	-0.018	0.000	0.003
4	9	42790.841	52054.721	20.770	-0.000	0.001	0.003
4	10	43088.147	51535.271	14.452	0.000	-0.001	0.012

Modelo	PA/PP	Coord. modelo transformadas a terreno corregidas del efecto de esfericidad terrestre utilizadas en la iteración: 2		
		X <sub>m</sub> t2(m)	Y <sub>m</sub> t2(m)	Z <sub>m</sub> t2(m)
1	0	42492.357	50847.609	1.784
1	1	42542.474	50966.891	9.305
1	2	42570.805	51320.978	11.180
1	3	42599.116	51234.241	643.676
1	4	42668.448	51560.174	14.211
1	5	42661.169	51618.227	15.992
1	6	42333.950	51556.925	13.258
2	0	43066.186	51069.923	2.607
2	1	42542.461	50966.862	9.212
2	2	42570.816	51320.997	11.091
2	3	42599.107	51234.352	643.720
2	4	42668.433	51560.129	14.265
2	5	42661.153	51618.170	16.074
3	10	43088.114	51535.231	14.516
3	0	42293.189	52242.911	18.735
3	4	42668.418	51560.145	14.348
3	5	42661.134	51618.151	15.955
3	6	42333.981	51556.984	13.201
3	7	42800.023	51740.330	17.879
3	8	42733.996	51890.020	629.906
3	9	42790.845	52054.744	20.813
4	0	42972.854	52284.120	22.769
4	4	42668.410	51560.154	14.439
4	5	42661.141	51618.198	15.977
4	7	42800.041	51740.337	17.776
4	8	42733.931	51889.979	629.939
4	9	42790.841	52054.721	20.773
4	10	43088.147	51535.270	14.465

Resultados de la iteración 2:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.003

Valores de los parámetros y errores medios cuadráticos:

Parámetro, Tx<sub>1</sub> = 0.060168062; E.M.C. = 6.3667783

Parámetro, Ty<sub>1</sub> = 0.108894390; E.M.C. = 6.4105077

Parámetro, Tz<sub>1</sub> = -2.282849748; E.M.C. = 16.8329554

Parámetro, H<sub>1</sub> = 0.999998669; E.M.C. = 0.0000932

Parámetro, $a_1$ =	0.000000353;	E.M.C. =	0.0000987
Parámetro, $b_1$ =	-0.000034368;	E.M.C. =	0.0001878
Parámetro, $c_1$ =	-0.000015972;	E.M.C. =	0.0003778
Parámetro, $Tx_2$ =	1.252275604;	E.M.C. =	6.3933047
Parámetro, $Ty_2$ =	4.880632832;	E.M.C. =	6.1354484
Parámetro, $Tz_2$ =	3.768524061;	E.M.C. =	18.2829269
Parámetro, $H_2$ =	0.999932064;	E.M.C. =	0.0000912
Parámetro, $a_2$ =	0.000031829;	E.M.C. =	0.0000964
Parámetro, $b_2$ =	0.000157771;	E.M.C. =	0.0001566
Parámetro, $c_2$ =	-0.000057788;	E.M.C. =	0.0004013
Parámetro, $Tx_3$ =	-4.843679968;	E.M.C. =	6.2734664
Parámetro, $Ty_3$ =	9.275951825;	E.M.C. =	5.9123455
Parámetro, $Tz_3$ =	-103.560223756;	E.M.C. =	22.2686421
Parámetro, $H_3$ =	0.999939958;	E.M.C. =	0.0000879
Parámetro, $a_3$ =	0.000143900;	E.M.C. =	0.0000935
Parámetro, $b_3$ =	-0.000017538;	E.M.C. =	0.0001351
Parámetro, $c_3$ =	-0.001993223;	E.M.C. =	0.0003810
Parámetro, $Tx_4$ =	-3.840698599;	E.M.C. =	6.0840937
Parámetro, $Ty_4$ =	11.900960323;	E.M.C. =	6.2699038
Parámetro, $Tz_4$ =	-106.558661668;	E.M.C. =	21.2344200
Parámetro, $H_4$ =	0.999900506;	E.M.C. =	0.0000884
Parámetro, $a_4$ =	0.000157259;	E.M.C. =	0.0000947
Parámetro, $b_4$ =	-0.000056815;	E.M.C. =	0.0001598
Parámetro, $c_4$ =	-0.002018778;	E.M.C. =	0.0003439

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, $dX_1$ =	42542.471 m;	E.M.C. =	0.058 m
Y punto 1, $dY_1$ =	50966.921 m;	E.M.C. =	0.058 m
Z punto 1, $dZ_1$ =	9.256 m;	E.M.C. =	0.067 m
X punto 2, $dX_2$ =	42570.819 m;	E.M.C. =	0.059 m
Y punto 2, $dY_2$ =	51321.019 m;	E.M.C. =	0.060 m
Z punto 2, $dZ_2$ =	11.144 m;	E.M.C. =	0.165 m
X punto 3, $dX_3$ =	42599.157 m;	E.M.C. =	0.117 m
Y punto 3, $dY_3$ =	51234.308 m;	E.M.C. =	0.256 m

Z punto 3, dZ <sub>3</sub>	=	643.680 m;	E.M.C. = 0.141 m
X punto 4, dX <sub>4</sub>	=	42668.441 m;	E.M.C. = 0.060 m
Y punto 4, dY <sub>4</sub>	=	51560.172 m;	E.M.C. = 0.062 m
Z punto 4, dZ <sub>4</sub>	=	14.299 m;	E.M.C. = 0.249 m
X punto 5, dX <sub>5</sub>	=	42661.168 m;	E.M.C. = 0.060 m
Y punto 5, dY <sub>5</sub>	=	51618.204 m;	E.M.C. = 0.062 m
Z punto 5, dZ <sub>5</sub>	=	16.042 m;	E.M.C. = 0.250 m
X punto 6, dX <sub>6</sub>	=	42333.993 m;	E.M.C. = 0.069 m
Y punto 6, dY <sub>6</sub>	=	51556.998 m;	E.M.C. = 0.069 m
Z punto 6, dZ <sub>6</sub>	=	13.201 m;	E.M.C. = 0.274 m
X punto 7, dX <sub>7</sub>	=	42800.066 m;	E.M.C. = 0.062 m
Y punto 7, dY <sub>7</sub>	=	51740.314 m;	E.M.C. = 0.064 m
Z punto 7, dZ <sub>7</sub>	=	18.149 m;	E.M.C. = 0.190 m
X punto 8, dX <sub>8</sub>	=	42734.002 m;	E.M.C. = 0.099 m
Y punto 8, dY <sub>8</sub>	=	51888.751 m;	E.M.C. = 0.223 m
Z punto 8, dZ <sub>8</sub>	=	630.493 m;	E.M.C. = 0.154 m
X punto 9, dX <sub>9</sub>	=	42790.925 m;	E.M.C. = 0.055 m
Y punto 9, dY <sub>9</sub>	=	52054.684 m;	E.M.C. = 0.056 m
Z punto 9, dZ <sub>9</sub>	=	21.744 m;	E.M.C. = 0.091 m
X punto 10, dX <sub>10</sub>	=	43088.102 m;	E.M.C. = 0.066 m
Y punto 10, dY <sub>10</sub>	=	51535.238 m;	E.M.C. = 0.066 m
Z punto 10, dZ <sub>10</sub>	=	14.427 m;	E.M.C. = 0.224 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.021 m	R(2) = 0.045 m
R(3) = -0.004 m	R(4) = 0.024 m
R(5) = -0.004 m	R(6) = 0.043 m
R(7) = 0.008 m	R(8) = -0.016 m
R(9) = 0.036 m	R(10) = -0.041 m
R(11) = -0.051 m	R(12) = -0.005 m
R(13) = 0.028 m	R(14) = 0.026 m
R(15) = -0.081 m	R(16) = 0.023 m
R(17) = 0.048 m	R(18) = -0.042 m

R(19) = -0.021 m	R(20) = -0.048 m
R(21) = 0.053 m	R(22) = 0.038 m
R(23) = -0.027 m	R(24) = 0.004 m
R(25) = -0.024 m	R(26) = 0.004 m
R(27) = -0.043 m	R(28) = -0.008 m
R(29) = 0.016 m	R(30) = -0.036 m
R(31) = 0.041 m	R(32) = 0.051 m
R(33) = 0.005 m	R(34) = -0.011 m
R(35) = -0.025 m	R(36) = -0.019 m
R(37) = -0.015 m	R(38) = -0.020 m
R(39) = 0.052 m	R(40) = -0.021 m
R(41) = -0.000 m	R(42) = 0.037 m
R(43) = -0.026 m	R(44) = -0.013 m
R(45) = 0.003 m	R(46) = -0.009 m
R(47) = -0.016 m	R(48) = 0.007 m
R(49) = -0.012 m	R(50) = -0.047 m
R(51) = -0.013 m	R(52) = 0.021 m
R(53) = 0.048 m	R(54) = -0.053 m
R(55) = -0.012 m	R(56) = -0.009 m
R(57) = 0.049 m	R(58) = 0.040 m
R(59) = 0.025 m	R(60) = -0.007 m
R(61) = -0.003 m	R(62) = 0.012 m
R(63) = 0.014 m	R(64) = 0.009 m
R(65) = -0.005 m	R(66) = -0.004 m
R(67) = -0.009 m	R(68) = 0.014 m
R(69) = 0.093 m	R(70) = 0.004 m
R(71) = 0.018 m	R(72) = 0.004 m
R(73) = 0.012 m	R(74) = 0.009 m
R(75) = -0.049 m	R(76) = -0.040 m
R(77) = -0.025 m	R(78) = 0.007 m
R(79) = 0.003 m	R(80) = -0.012 m
R(81) = -0.014 m	R(82) = 0.021 m
R(83) = 0.000 m	R(84) = -0.037 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.054 m

**MODELO 1:**

Tx	=	0.060 m
Ty	=	0.109 m
Tz	=	-2.283 m
H	=	0.999998669
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .0010
Phi, $\varphi$	=	-0 <sup>g</sup> .0022
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0000

**MODELO 2:**

Tx	=	1.252 m
Ty	=	4.881 m
Tz	=	3.769 m
H	=	0.999932064
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .0037
Phi, $\varphi$	=	0 <sup>g</sup> .0100
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0020

**MODELO 3:**

Tx	=	-4.844 m
Ty	=	9.276 m
Tz	=	-103.560 m
H	=	0.999939958
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1269
Phi, $\varphi$	=	-0 <sup>g</sup> .0011
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0092

**MODELO 4:**

Tx	=	-3.841 m
Ty	=	11.901 m
Tz	=	-106.559 m
H	=	0.999900506
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1285
Phi, $\varphi$	=	-0 <sup>g</sup> .0036
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0100

		Coord. modelo transformadas a terreno utilizadas en la iteración: 3		
Modelo	PA/PP	X <sub>mt3(m)</sub>	Y <sub>mt3(m)</sub>	Z <sub>mt3(m)</sub>
1	0	42492.379	50847.635	1.773
1	1	42542.495	50966.916	9.299
1	2	42570.827	51321.004	11.180
1	3	42599.116	51234.257	643.675
1	4	42668.469	51560.199	14.218
1	5	42661.190	51618.252	16.000
1	6	42333.972	51556.950	13.254
2	0	43066.207	51069.949	2.620
2	1	42542.482	50966.887	9.205
2	2	42570.837	51321.022	11.091
2	3	42599.106	51234.367	643.719
2	4	42668.454	51560.153	14.272
2	5	42661.174	51618.194	16.082
2	10	43088.134	51535.256	14.538
3	0	42293.211	52242.935	18.740
3	4	42668.439	51560.170	14.355
3	5	42661.155	51618.176	15.963
3	6	42334.002	51557.009	13.197
3	7	42800.044	51740.355	17.893
3	8	42733.996	51890.035	629.919
3	9	42790.866	52054.768	20.832
4	0	42972.875	52284.144	22.798
4	4	42668.431	51560.179	14.447
4	5	42661.162	51618.223	15.985
4	7	42800.062	51740.362	17.791
4	8	42733.931	51889.994	629.953
4	9	42790.862	52054.745	20.792
4	10	43088.168	51535.295	14.486

Resultados de la iteración 3:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.003

Valores de los parámetros y errores medios cuadráticos:

Parámetro, T<sub>x1</sub> = -0.002030164; E.M.C. = 6.3669463

Parámetro, T<sub>y1</sub> = 0.000563845; E.M.C. = 6.4106246

Parámetro, T<sub>z1</sub> = -0.000520157; E.M.C. = 16.8332873

Parámetro, $H_1$ =	1.000000014;	E.M.C. =	0.0000932
Parámetro, $a_1$ =	0.000000029;	E.M.C. =	0.0000987
Parámetro, $b_1$ =	-0.000000004;	E.M.C. =	0.0001879
Parámetro, $c_1$ =	-0.000000007;	E.M.C. =	0.0003779
Parámetro, $Tx_2$ =	1.190594798;	E.M.C. =	6.3934365
Parámetro, $Ty_2$ =	4.772784739;	E.M.C. =	6.1355632
Parámetro, $Tz_2$ =	6.050820854;	E.M.C. =	18.2832916
Parámetro, $H_2$ =	0.999933398;	E.M.C. =	0.0000912
Parámetro, $a_2$ =	0.000031503;	E.M.C. =	0.0000964
Parámetro, $b_2$ =	0.000192139;	E.M.C. =	0.0001566
Parámetro, $c_2$ =	-0.000041826;	E.M.C. =	0.0004014
Parámetro, $Tx_3$ =	-4.902096532;	E.M.C. =	6.2736599
Parámetro, $Ty_3$ =	9.165272692;	E.M.C. =	5.9124518
Parámetro, $Tz_3$ =	-101.277284965;	E.M.C. =	22.2690709
Parámetro, $H_3$ =	0.999941294;	E.M.C. =	0.0000879
Parámetro, $a_3$ =	0.000143510;	E.M.C. =	0.0000935
Parámetro, $b_3$ =	0.000016825;	E.M.C. =	0.0001351
Parámetro, $c_3$ =	-0.001977244;	E.M.C. =	0.0003810
Parámetro, $Tx_4$ =	-3.899715058;	E.M.C. =	6.0842173
Parámetro, $Ty_4$ =	11.789543757;	E.M.C. =	6.2700086
Parámetro, $Tz_4$ =	-104.275917818;	E.M.C. =	21.2348379
Parámetro, $H_4$ =	0.999901857;	E.M.C. =	0.0000884
Parámetro, $a_4$ =	0.000156869;	E.M.C. =	0.0000947
Parámetro, $b_4$ =	-0.000022453;	E.M.C. =	0.0001598
Parámetro, $c_4$ =	-0.002002802;	E.M.C. =	0.0003439

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, $dX_1$ =	42542.471 m;	E.M.C. =	0.058 m
Y punto 1, $dY_1$ =	50966.921 m;	E.M.C. =	0.058 m
Z punto 1, $dZ_1$ =	9.256 m;	E.M.C. =	0.067 m
X punto 2, $dX_2$ =	42570.819 m;	E.M.C. =	0.059 m
Y punto 2, $dY_2$ =	51321.019 m;	E.M.C. =	0.060 m
Z punto 2, $dZ_2$ =	11.144 m;	E.M.C. =	0.165 m
X punto 3, $dX_3$ =	42599.157 m;	E.M.C. =	0.117 m

Y punto 3, dY <sub>3</sub>	= 51234.308 m;	E.M.C. = 0.256 m
Z punto 3, dZ <sub>3</sub>	= 643.680 m;	E.M.C. = 0.141 m
X punto 4, dX <sub>4</sub>	= 42668.441 m;	E.M.C. = 0.060 m
Y punto 4, dY <sub>4</sub>	= 51560.172 m;	E.M.C. = 0.062 m
Z punto 4, dZ <sub>4</sub>	= 14.299 m;	E.M.C. = 0.249 m
X punto 5, dX <sub>5</sub>	= 42661.168 m;	E.M.C. = 0.060 m
Y punto 5, dY <sub>5</sub>	= 51618.204 m;	E.M.C. = 0.062 m
Z punto 5, dZ <sub>5</sub>	= 16.042 m;	E.M.C. = 0.250 m
X punto 6, dX <sub>6</sub>	= 42333.993 m;	E.M.C. = 0.069 m
Y punto 6, dY <sub>6</sub>	= 51556.998 m;	E.M.C. = 0.069 m
Z punto 6, dZ <sub>6</sub>	= 13.201 m;	E.M.C. = 0.274 m
X punto 7, dX <sub>7</sub>	= 42800.066 m;	E.M.C. = 0.062 m
Y punto 7, dY <sub>7</sub>	= 51740.314 m;	E.M.C. = 0.064 m
Z punto 7, dZ <sub>7</sub>	= 18.149 m;	E.M.C. = 0.190 m
X punto 8, dX <sub>8</sub>	= 42734.003 m;	E.M.C. = 0.099 m
Y punto 8, dY <sub>8</sub>	= 51888.751 m;	E.M.C. = 0.223 m
Z punto 8, dZ <sub>8</sub>	= 630.493 m;	E.M.C. = 0.154 m
X punto 9, dX <sub>9</sub>	= 42790.925 m;	E.M.C. = 0.055 m
Y punto 9, dY <sub>9</sub>	= 52054.684 m;	E.M.C. = 0.056 m
Z punto 9, dZ <sub>9</sub>	= 21.744 m;	E.M.C. = 0.091 m
X punto 10, dX <sub>10</sub>	= 43088.102 m;	E.M.C. = 0.066 m
Y punto 10, dY <sub>10</sub>	= 51535.238 m;	E.M.C. = 0.066 m
Z punto 10, dZ <sub>10</sub>	= 14.427 m;	E.M.C. = 0.224 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.021 m	R(2) = 0.045 m
R(3) = -0.004 m	R(4) = 0.024 m
R(5) = -0.004 m	R(6) = 0.043 m
R(7) = 0.008 m	R(8) = -0.016 m
R(9) = 0.036 m	R(10) = -0.041 m
R(11) = -0.051 m	R(12) = -0.005 m
R(13) = 0.028 m	R(14) = 0.026 m
R(15) = -0.081 m	R(16) = 0.023 m
R(17) = 0.048 m	R(18) = -0.042 m

$R(19) = -0.021 \text{ m}$	$R(20) = -0.048 \text{ m}$
$R(21) = 0.053 \text{ m}$	$R(22) = 0.038 \text{ m}$
$R(23) = -0.027 \text{ m}$	$R(24) = 0.004 \text{ m}$
$R(25) = -0.024 \text{ m}$	$R(26) = 0.004 \text{ m}$
$R(27) = -0.043 \text{ m}$	$R(28) = -0.008 \text{ m}$
$R(29) = 0.016 \text{ m}$	$R(30) = -0.036 \text{ m}$
$R(31) = 0.041 \text{ m}$	$R(32) = 0.051 \text{ m}$
$R(33) = 0.005 \text{ m}$	$R(34) = -0.011 \text{ m}$
$R(35) = -0.025 \text{ m}$	$R(36) = -0.019 \text{ m}$
$R(37) = -0.015 \text{ m}$	$R(38) = -0.020 \text{ m}$
$R(39) = 0.052 \text{ m}$	$R(40) = -0.021 \text{ m}$
$R(41) = -0.000 \text{ m}$	$R(42) = 0.037 \text{ m}$
$R(43) = -0.026 \text{ m}$	$R(44) = -0.013 \text{ m}$
$R(45) = 0.003 \text{ m}$	$R(46) = -0.009 \text{ m}$
$R(47) = -0.016 \text{ m}$	$R(48) = 0.007 \text{ m}$
$R(49) = -0.012 \text{ m}$	$R(50) = -0.047 \text{ m}$
$R(51) = -0.013 \text{ m}$	$R(52) = 0.021 \text{ m}$
$R(53) = 0.048 \text{ m}$	$R(54) = -0.053 \text{ m}$
$R(55) = -0.012 \text{ m}$	$R(56) = -0.009 \text{ m}$
$R(57) = 0.049 \text{ m}$	$R(58) = 0.040 \text{ m}$
$R(59) = 0.025 \text{ m}$	$R(60) = -0.007 \text{ m}$
$R(61) = -0.003 \text{ m}$	$R(62) = 0.012 \text{ m}$
$R(63) = 0.014 \text{ m}$	$R(64) = 0.009 \text{ m}$
$R(65) = -0.005 \text{ m}$	$R(66) = -0.004 \text{ m}$
$R(67) = -0.009 \text{ m}$	$R(68) = 0.014 \text{ m}$
$R(69) = 0.093 \text{ m}$	$R(70) = 0.004 \text{ m}$
$R(71) = 0.018 \text{ m}$	$R(72) = 0.004 \text{ m}$
$R(73) = 0.012 \text{ m}$	$R(74) = 0.009 \text{ m}$
$R(75) = -0.049 \text{ m}$	$R(76) = -0.040 \text{ m}$
$R(77) = -0.025 \text{ m}$	$R(78) = 0.007 \text{ m}$
$R(79) = 0.003 \text{ m}$	$R(80) = -0.012 \text{ m}$
$R(81) = -0.014 \text{ m}$	$R(82) = 0.021 \text{ m}$
$R(83) = 0.000 \text{ m}$	$R(84) = -0.037 \text{ m}$

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.054 m

**MODELO 1:**

Tx	=	-0.002 m
Ty	=	0.001 m
Tz	=	-0.001 m
H	=	1.000000014
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .0000
Phi, $\varphi$	=	-0 <sup>g</sup> .0000
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0000

**MODELO 2:**

Tx	=	1.191 m
Ty	=	4.773 m
Tz	=	6.051 m
H	=	0.999933398
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .0027
Phi, $\varphi$	=	0 <sup>g</sup> .0122
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0020

**MODELO 3:**

Tx	=	-4.902 m
Ty	=	9.165 m
Tz	=	-101.277 m
H	=	0.999941294
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1259
Phi, $\varphi$	=	0 <sup>g</sup> .0011
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0091

**MODELO 4:**

Tx	=	-3.900 m
Ty	=	11.790 m
Tz	=	-104.276 m
H	=	0.999901857
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1275
Phi, $\varphi$	=	-0 <sup>g</sup> .0014
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0100

		Coord. modelo transformadas a terreno utilizadas en la iteración: 4		
Modelo	PA/PP	X <sub>m</sub> t4(m)	Y <sub>m</sub> t4(m)	Z <sub>m</sub> t4(m)
1	0	42492.379	50847.635	1.773
1	1	42542.495	50966.916	9.299
1	2	42570.827	51321.004	11.180
1	3	42599.116	51234.257	643.675
1	4	42668.469	51560.199	14.218
1	5	42661.191	51618.252	16.000
1	6	42333.972	51556.950	13.254
2	0	43066.207	51069.949	2.620
2	1	42542.482	50966.887	9.205
2	2	42570.837	51321.022	11.091
2	3	42599.106	51234.367	643.719
2	4	42668.454	51560.153	14.272
2	5	42661.174	51618.194	16.082
2	10	43088.134	51535.256	14.538
3	0	42293.211	52242.935	18.740
3	4	42668.439	51560.170	14.355
3	5	42661.155	51618.176	15.963
3	6	42334.002	51557.009	13.197
3	7	42800.044	51740.355	17.893
3	8	42733.996	51890.035	629.919
3	9	42790.866	52054.768	20.832
4	0	42972.875	52284.144	22.798
4	4	42668.431	51560.179	14.447
4	5	42661.162	51618.223	15.985
4	7	42800.062	51740.362	17.791
4	8	42733.931	51889.994	629.953
4	9	42790.862	52054.745	20.792
4	10	43088.168	51535.295	14.486

Resultados de la iteración 4:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.003

Valores de los parámetros y errores medios cuadráticos:

Parámetro, Tx <sub>1</sub> =	0.000000306;	E.M.C. =	6.3669462
Parámetro, Ty <sub>1</sub> =	0.000000852;	E.M.C. =	6.4106245
Parámetro, Tz <sub>1</sub> =	0.000000792;	E.M.C. =	16.8332875
Parámetro, H <sub>1</sub> =	1.000000000;	E.M.C. =	0.0000932

Parámetro, $a_1$ =	0.000000000;	E.M.C. =	0.0000987
Parámetro, $b_1$ =	-0.000000000;	E.M.C. =	0.0001879
Parámetro, $c_1$ =	0.000000000;	E.M.C. =	0.0003779
Parámetro, $Tx_2$ =	1.192624713;	E.M.C. =	6.3934364
Parámetro, $Ty_2$ =	4.772222247;	E.M.C. =	6.1355631
Parámetro, $Tz_2$ =	6.051341525;	E.M.C. =	18.2832918
Parámetro, $H_2$ =	0.999933384;	E.M.C. =	0.0000912
Parámetro, $a_2$ =	0.000031474;	E.M.C. =	0.0000964
Parámetro, $b_2$ =	0.000192143;	E.M.C. =	0.0001566
Parámetro, $c_2$ =	-0.000041819;	E.M.C. =	0.0004014
Parámetro, $Tx_3$ =	-4.900065312;	E.M.C. =	6.2736598
Parámetro, $Ty_3$ =	9.164708332;	E.M.C. =	5.9124518
Parámetro, $Tz_3$ =	-101.276767640;	E.M.C. =	22.2690710
Parámetro, $H_3$ =	0.999941281;	E.M.C. =	0.0000879
Parámetro, $a_3$ =	0.000143481;	E.M.C. =	0.0000935
Parámetro, $b_3$ =	0.000016828;	E.M.C. =	0.0001351
Parámetro, $c_3$ =	-0.001977236;	E.M.C. =	0.0003810
Parámetro, $Tx_4$ =	-3.897684815;	E.M.C. =	6.0842173
Parámetro, $Ty_4$ =	11.788979459;	E.M.C. =	6.2700085
Parámetro, $Tz_4$ =	-104.275400332;	E.M.C. =	21.2348379
Parámetro, $H_4$ =	0.999901843;	E.M.C. =	0.0000884
Parámetro, $a_4$ =	0.000156840;	E.M.C. =	0.0000947
Parámetro, $b_4$ =	-0.000022449;	E.M.C. =	0.0001598
Parámetro, $c_4$ =	-0.002002795;	E.M.C. =	0.0003439

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, $dX_1$ =	42542.471 m;	E.M.C. =	0.058 m
Y punto 1, $dY_1$ =	50966.921 m;	E.M.C. =	0.058 m
Z punto 1, $dZ_1$ =	9.256 m;	E.M.C. =	0.067 m
X punto 2, $dX_2$ =	42570.819 m;	E.M.C. =	0.059 m
Y punto 2, $dY_2$ =	51321.019 m;	E.M.C. =	0.060 m
Z punto 2, $dZ_2$ =	11.144 m;	E.M.C. =	0.165 m
X punto 3, $dX_3$ =	42599.157 m;	E.M.C. =	0.117 m
Y punto 3, $dY_3$ =	51234.308 m;	E.M.C. =	0.256 m

Z punto 3, dZ <sub>3</sub>	=	643.680 m;	E.M.C. =	0.141 m
X punto 4, dX <sub>4</sub>	=	42668.441 m;	E.M.C. =	0.060 m
Y punto 4, dY <sub>4</sub>	=	51560.172 m;	E.M.C. =	0.062 m
Z punto 4, dZ <sub>4</sub>	=	14.299 m;	E.M.C. =	0.249 m
X punto 5, dX <sub>5</sub>	=	42661.168 m;	E.M.C. =	0.060 m
Y punto 5, dY <sub>5</sub>	=	51618.204 m;	E.M.C. =	0.062 m
Z punto 5, dZ <sub>5</sub>	=	16.042 m;	E.M.C. =	0.250 m
X punto 6, dX <sub>6</sub>	=	42333.993 m;	E.M.C. =	0.069 m
Y punto 6, dY <sub>6</sub>	=	51556.998 m;	E.M.C. =	0.069 m
Z punto 6, dZ <sub>6</sub>	=	13.201 m;	E.M.C. =	0.274 m
X punto 7, dX <sub>7</sub>	=	42800.066 m;	E.M.C. =	0.062 m
Y punto 7, dY <sub>7</sub>	=	51740.314 m;	E.M.C. =	0.064 m
Z punto 7, dZ <sub>7</sub>	=	18.149 m;	E.M.C. =	0.190 m
X punto 8, dX <sub>8</sub>	=	42734.003 m;	E.M.C. =	0.099 m
Y punto 8, dY <sub>8</sub>	=	51888.751 m;	E.M.C. =	0.223 m
Z punto 8, dZ <sub>8</sub>	=	630.493 m;	E.M.C. =	0.154 m
X punto 9, dX <sub>9</sub>	=	42790.925 m;	E.M.C. =	0.055 m
Y punto 9, dY <sub>9</sub>	=	52054.684 m;	E.M.C. =	0.056 m
Z punto 9, dZ <sub>9</sub>	=	21.744 m;	E.M.C. =	0.091 m
X punto 10, dX <sub>10</sub>	=	43088.102 m;	E.M.C. =	0.066 m
Y punto 10, dY <sub>10</sub>	=	51535.238 m;	E.M.C. =	0.066 m
Z punto 10, dZ <sub>10</sub>	=	14.427 m;	E.M.C. =	0.224 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.021 m	R(2) = 0.045 m
R(3) = -0.004 m	R(4) = 0.024 m
R(5) = -0.004 m	R(6) = 0.043 m
R(7) = 0.008 m	R(8) = -0.016 m
R(9) = 0.036 m	R(10) = -0.041 m
R(11) = -0.051 m	R(12) = -0.005 m
R(13) = 0.028 m	R(14) = 0.026 m
R(15) = -0.081 m	R(16) = 0.023 m
R(17) = 0.048 m	R(18) = -0.042 m
R(19) = -0.021 m	R(20) = -0.048 m

R(21) = 0.053 m	R(22) = 0.038 m
R(23) = -0.027 m	R(24) = 0.004 m
R(25) = -0.024 m	R(26) = 0.004 m
R(27) = -0.043 m	R(28) = -0.008 m
R(29) = 0.016 m	R(30) = -0.036 m
R(31) = 0.041 m	R(32) = 0.051 m
R(33) = 0.005 m	R(34) = -0.011 m
R(35) = -0.025 m	R(36) = -0.019 m
R(37) = -0.015 m	R(38) = -0.020 m
R(39) = 0.052 m	R(40) = -0.021 m
R(41) = -0.000 m	R(42) = 0.037 m
R(43) = -0.026 m	R(44) = -0.013 m
R(45) = 0.003 m	R(46) = -0.009 m
R(47) = -0.016 m	R(48) = 0.007 m
R(49) = -0.012 m	R(50) = -0.047 m
R(51) = -0.013 m	R(52) = 0.021 m
R(53) = 0.048 m	R(54) = -0.053 m
R(55) = -0.012 m	R(56) = -0.009 m
R(57) = 0.049 m	R(58) = 0.040 m
R(59) = 0.025 m	R(60) = -0.007 m
R(61) = -0.003 m	R(62) = 0.012 m
R(63) = 0.014 m	R(64) = 0.009 m
R(65) = -0.005 m	R(66) = -0.004 m
R(67) = -0.009 m	R(68) = 0.014 m
R(69) = 0.093 m	R(70) = 0.004 m
R(71) = 0.018 m	R(72) = 0.004 m
R(73) = 0.012 m	R(74) = 0.009 m
R(75) = -0.049 m	R(76) = -0.040 m
R(77) = -0.025 m	R(78) = 0.007 m
R(79) = 0.003 m	R(80) = -0.012 m
R(81) = -0.014 m	R(82) = 0.021 m
R(83) = 0.000 m	R(84) = -0.037 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.054 m

**MODELO 1:**

Tx	=	0.000 m
Ty	=	0.000 m
Tz	=	0.000 m
H	=	1.0000000000
Omega, $\omega$	=	-0 <sup>g</sup> .0000
Phi, $\varphi$	=	-0 <sup>g</sup> .0000
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0000

**MODELO 2:**

Tx	=	1.193 m
Ty	=	4.772 m
Tz	=	6.051 m
H	=	0.999933384
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .0027
Phi, $\varphi$	=	0 <sup>g</sup> .0122
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0020

**MODELO 3:**

Tx	=	-4.900 m
Ty	=	9.165 m
Tz	=	-101.277 m
H	=	0.999941281
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1259
Phi, $\varphi$	=	0 <sup>g</sup> .0011
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0091

**MODELO 4:**

Tx	=	-3.898 m
Ty	=	11.789 m
Tz	=	-104.275 m
H	=	0.999901843
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1275
Phi, $\varphi$	=	-0 <sup>g</sup> .0014
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0100

**Aplicación de las sucesivas transformaciones a las coordenadas modelo de puntos aislados:**

Modelo	Punto	Coordenadas modelo			Coordenadas terreno		
		x <sub>m</sub> (mm)	y <sub>m</sub> (mm)	z <sub>m</sub> (mm)	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)	Z <sub>T</sub> (m)
1	101001	3.792	-62.667	-159.632	42270.130	51011.352	0.164
1	1001	0.000	0.000	0.000	42233.898	51242.849	639.442
2	101014	181.562	-64.838	-165.043	42975.970	50996.862	4.161
2	1003	183.345	-3.794	-3.820	42961.567	51221.545	650.376
3	1006	31.191	161.485	-8.463	42364.075	51883.346	628.077
3	201201	82.025	216.608	-165.238	42590.295	52117.179	19.825
4	1008	214.363	164.810	-14.317	43091.584	51890.515	631.700
4	201309	220.714	258.031	-170.971	43142.578	52277.110	21.671

### **3.9. EJEMPLO DE APLICACIÓN: AEROTRIANGULACIÓN TRIDIMENSIONAL SISTEMA LIBRE**

Con los datos del bloque a resolver (Fig. 12), el sistema de ecuaciones tiene:

+ Incógnitas:

- Parámetros de transformación:  $7 \times 4 = 28$
- Correcciones a las coordenadas terreno PP y CDP:  $3 \times 10 = 30$
- Correcciones a las coordenadas terreno PA:  $3 \times 4 = 12$
- Total:  $28 + 30 + 12 = 70$

+ Ecuaciones de observación:

- $28 \text{ puntos} \times 3 \text{ ecuaciones/punto} + 3 \times 4 \text{ (PA)} = 96$
- Grados de libertad:  $96 - 70 = 26$

La estructura del sistema de ecuaciones es muy similar a la que se plantea en el caso de aerotriangulación planimétrica sistema libre (12), aunque ahora el sistema de ecuaciones es lógicamente mayor:

$$\begin{pmatrix} R_I \\ R_{II} \\ R_{III} \\ R_{IV} \\ R_{PA} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_I^{PA} & & & & \\ A_I^{PP} & A_{II}^{PA} & & & \\ & A_{II}^{PP} & A_{III}^{PA} & & \\ & & A_{III}^{PP} & A_{IV}^{PA} & \\ & & & A_{IV}^{PP} & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & -1 & & & \\ -1 & 0 & -1 & & \\ & -1 & 0 & -1 & \\ & & -1 & 0 & -1 \\ & & & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_I \\ x_{II} \\ x_{III} \\ x_{IV} \\ dx_I \\ dx_{II} \\ dx_{III} \\ dx_{IV} \\ dx_{PA} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} K_I^{PA} \\ 0 \\ K_{II}^{PA} \\ 0 \\ K_{III}^{PA} \\ 0 \\ K_{IV}^{PA} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (27)$$

$$R_{(3*punto+3*PA,1)} = A_{(3*punto+3*PA,7*modelo+3*PP+3*PA)} X_{(7*modelo+3*PP+3*PA,1)} - K_{(3*punto+3*PA,1)}$$

El sistema de ecuaciones presenta una dimensión:

$$R_{(96,1)} = A_{(96,70)} X_{(70,1)} - K_{(96,1)}$$

La resolución del sistema se realiza tomando las coordenadas modelo del bloque 'libre', considerando el supuesto de peso unidad en todo el sistema. De este modo, se pretende constatar la bondad de las coordenadas terreno (con respecto al resto de coordenadas).

Modelo	PA/PP	Coordenadas modelo			Coordenadas terreno aproximadas		
		X <sub>m</sub> (mm)	Y <sub>m</sub> (mm)	Z <sub>m</sub> (mm)	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)	Z <sub>T</sub> (m)
1	0	60.137	-103.428	-160.157	42492.400	50847.590	1.777
1	1	72.548	-73.234	-159.544	0.000	0.000	0.000
1	2	78.881	16.007	-161.764	0.000	0.000	0.000
1	3	92.000	-1.384	-2.248	0.000	0.000	0.000
1	4	102.939	76.465	-163.547	0.000	0.000	0.000
1	5	100.989	91.082	-163.431	0.000	0.000	0.000
1	6	18.726	74.953	-160.678	0.000	0.000	0.000
2	0	204.097	-46.258	-166.768	43066.100	51069.990	2.528
2	1	72.544	-73.242	-159.568	0.000	0.000	0.000
2	2	78.883	16.011	-161.787	0.000	0.000	0.000
2	3	92.007	-1.356	-2.238	0.000	0.000	0.000
2	4	102.936	76.454	-163.532	0.000	0.000	0.000
2	5	100.986	91.068	-163.409	0.000	0.000	0.000
2	10	208.653	71.048	-167.170	0.000	0.000	0.000
3	0	6.932	247.659	-163.636	42293.350	52242.940	20.044
3	4	102.933	76.459	-163.511	0.000	0.000	0.000
3	5	100.980	91.063	-163.437	0.000	0.000	0.000
3	6	18.733	74.968	-160.694	0.000	0.000	0.000
3	7	135.682	122.130	-165.073	0.000	0.000	0.000
3	8	124.318	163.942	-11.461	0.000	0.000	0.000
3	9	132.673	201.310	-166.409	0.000	0.000	0.000
4	0	177.984	259.461	-169.172	42972.950	52284.020	24.204
4	4	102.932	76.462	-163.489	0.000	0.000	0.000
4	5	100.982	91.075	-163.433	0.000	0.000	0.000
4	7	135.686	122.131	165.098	0.000	0.000	0.000
4	8	124.311	163.932	-11.452	0.000	0.000	0.000
4	9	132.672	201.304	-166.418	0.000	0.000	0.000
4	10	208.661	71.058	-167.183	0.000	0.000	0.000

La matriz A se divide en bloques debido a su tamaño. Los bloques se pueden apreciar en el siguiente gráfico:

$$\left( \begin{array}{c|ccc} \text{Bl.1} & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & \text{Bl.2} & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & \text{Bl.3} & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & \text{Bl.4} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \text{Bl.5}$$

### **Matriz A. Bloque 1.**

1.0	0.0	0.0	60.137	-103.428	-160.157	0.000
0.0	1.0	0.0	-103.428	-60.137	0.000	-160.157
0.0	0.0	1.0	-160.157	0.000	-60.137	103.428
1.0	0.0	0.0	72.548	-73.234	-159.544	0.000
0.0	1.0	0.0	-73.234	-72.548	0.000	-159.544
0.0	0.0	1.0	-159.544	0.000	-72.548	73.234
1.0	0.0	0.0	78.881	16.007	-161.764	0.000
0.0	1.0	0.0	16.007	-78.881	0.000	-161.764
0.0	0.0	1.0	-161.764	0.000	-78.881	-16.007
1.0	0.0	0.0	92.000	-1.384	-2.248	0.000
0.0	1.0	0.0	-1.384	-92.000	0.000	-2.248
0.0	0.0	1.0	-2.248	0.000	-92.000	1.384
1.0	0.0	0.0	102.939	76.465	-163.547	0.000
0.0	1.0	0.0	76.465	-102.939	0.000	-163.547
0.0	0.0	1.0	-163.547	0.000	-102.939	-76.465
1.0	0.0	0.0	100.989	91.082	-163.431	0.000
0.0	1.0	0.0	91.082	-100.989	0.000	-163.431
0.0	0.0	1.0	-163.431	0.000	-100.989	-91.082
1.0	0.0	0.0	18.726	74.953	-160.678	0.000
0.0	1.0	0.0	74.953	-18.726	0.000	-160.678
0.0	0.0	1.0	-160.678	0.000	-18.726	-74.953

### **Matriz A. Bloque 2.**

1.0	0.0	0.0	204.097	-46.258	-166.768	0.000
0.0	1.0	0.0	-46.258	-204.097	0.000	-166.768
0.0	0.0	1.0	-166.768	0.000	-204.097	46.258
1.0	0.0	0.0	72.544	-73.242	-159.568	0.000
0.0	1.0	0.0	-73.242	-72.544	0.000	-159.568
0.0	0.0	1.0	-159.568	0.000	-72.544	73.242
1.0	0.0	0.0	78.883	16.011	-161.787	0.000
0.0	1.0	0.0	16.011	-78.883	0.000	-161.787
0.0	0.0	1.0	-161.787	0.000	-78.883	-16.011
1.0	0.0	0.0	92.007	-1.356	-2.238	0.000
0.0	1.0	0.0	-1.356	-92.007	0.000	-2.238
0.0	0.0	1.0	-2.238	0.000	-92.007	1.356
1.0	0.0	0.0	102.936	76.454	-163.532	0.000
0.0	1.0	0.0	76.454	-102.936	0.000	-163.532
0.0	0.0	1.0	-163.532	0.000	-102.936	-76.454
1.0	0.0	0.0	100.986	91.068	-163.409	0.000
0.0	1.0	0.0	91.068	-100.986	0.000	-163.409
0.0	0.0	1.0	-163.409	0.000	-100.986	-91.068
1.0	0.0	0.0	208.653	71.048	-167.170	0.000
0.0	1.0	0.0	71.048	-208.653	0.000	-167.170
0.0	0.0	1.0	-167.170	0.000	-208.653	-71.048

### **Matriz A. Bloque 3.**

1.0	0.0	0.0	6.932	247.659	-163.636	0.000
0.0	1.0	0.0	247.659	-6.932	0.000	-163.636
0.0	0.0	1.0	-163.636	0.000	-6.932	-247.659
1.0	0.0	0.0	102.933	76.459	-163.511	0.000
0.0	1.0	0.0	76.459	-102.933	0.000	-163.511
0.0	0.0	1.0	-163.511	0.000	-102.933	-76.459
1.0	0.0	0.0	100.980	91.063	-163.437	0.000
0.0	1.0	0.0	91.063	-100.980	0.000	-163.437
0.0	0.0	1.0	-163.437	0.000	-100.980	-91.063
1.0	0.0	0.0	18.733	74.968	-160.694	0.000
0.0	1.0	0.0	74.968	-18.733	0.000	-160.694
0.0	0.0	1.0	-160.694	0.000	-18.733	-74.968
1.0	0.0	0.0	135.682	122.130	-165.073	0.000
0.0	1.0	0.0	122.130	-135.682	0.000	-165.073
0.0	0.0	1.0	-165.073	0.000	-135.682	-122.130
1.0	0.0	0.0	124.318	163.942	-11.461	0.000
0.0	1.0	0.0	163.942	-124.318	0.000	-11.461
0.0	0.0	1.0	-11.461	0.000	-124.318	-163.942
1.0	0.0	0.0	132.673	201.310	-166.409	0.000
0.0	1.0	0.0	201.310	-132.673	0.000	-166.409
0.0	0.0	1.0	-166.409	0.000	-132.673	-201.310

### **Matriz A. Bloque 4.**

1.0	0.0	0.0	177.984	259.461	-169.172	0.000
0.0	1.0	0.0	259.461	-177.984	0.000	-169.172
0.0	0.0	1.0	-169.172	0.000	-177.984	-259.461
1.0	0.0	0.0	102.932	76.462	-163.489	0.000
0.0	1.0	0.0	76.462	-102.932	0.000	-163.489
0.0	0.0	1.0	-163.489	0.000	-102.932	-76.462
1.0	0.0	0.0	100.982	91.075	-163.433	0.000
0.0	1.0	0.0	91.075	-100.982	0.000	-163.433
0.0	0.0	1.0	-163.433	0.000	-100.982	-91.075
1.0	0.0	0.0	135.686	122.131	-165.098	0.000
0.0	1.0	0.0	122.131	-135.686	0.000	-165.098
0.0	0.0	1.0	-165.098	0.000	-135.686	-122.131
1.0	0.0	0.0	124.311	163.932	-11.452	0.000
0.0	1.0	0.0	163.932	-124.311	0.000	-11.452
0.0	0.0	1.0	-11.452	0.000	-124.311	-163.932
1.0	0.0	0.0	132.672	201.304	-166.418	0.000
0.0	1.0	0.0	201.304	-132.672	0.000	-166.418
0.0	0.0	1.0	-166.418	0.000	-132.672	-201.304
1.0	0.0	0.0	208.661	71.058	-167.183	0.000
0.0	1.0	0.0	71.058	-208.661	0.000	-167.183
0.0	0.0	1.0	-167.183	0.000	-208.661	-71.058

## **Matriz A. Bloque 5.**

## Matriz K

## Resultados de la compensación:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.008

#### Valores de los parámetros y desviaciones típicas:

Parámetro, $Tx_1$ = 42233.877668674;	E.M.C. = 0.2398697
Parámetro, $Ty_1$ = 51242.250965057;	E.M.C. = 0.4354857
Parámetro, $Tz_1$ = 639.766688943;	E.M.C. = 0.3219037
Parámetro, $H_1$ = 3.967181811;	E.M.C. = 0.0006683
Parámetro, $a_1$ = 0.032648242;	E.M.C. = 0.0007211

Parámetro, $b_1$ =	-0.144619877;	E.M.C. = 0.0013231
Parámetro, $c_1$ =	-0.109446827;	E.M.C. = 0.0026395
Parámetro, $Tx_2$ =	42233.916511575;	E.M.C. = 0.2281104
Parámetro, $Ty_2$ =	51242.294734019;	E.M.C. = 0.4543955
Parámetro, $Tz_2$ =	639.863392001;	E.M.C. = 0.3214041
Parámetro, $H_2$ =	3.967416149;	E.M.C. = 0.0006493
Parámetro, $a_2$ =	0.033514600;	E.M.C. = 0.0006962
Parámetro, $b_2$ =	-0.143922182;	E.M.C. = 0.0011448
Parámetro, $c_2$ =	-0.109390513;	E.M.C. = 0.0027521
Parámetro, $Tx_3$ =	42233.709646945;	E.M.C. = 0.2282561
Parámetro, $Ty_3$ =	51241.003241134;	E.M.C. = 0.4422708
Parámetro, $Tz_3$ =	639.214455301;	E.M.C. = 0.6914374
Parámetro, $H_3$ =	3.967884367;	E.M.C. = 0.0006329
Parámetro, $a_3$ =	0.034434050;	E.M.C. = 0.0006851
Parámetro, $b_3$ =	-0.144253301;	E.M.C. = 0.0010339
Parámetro, $c_3$ =	-0.117629771;	E.M.C. = 0.0026100
Parámetro, $Tx_4$ =	42233.879397824;	E.M.C. = 0.2584207
Parámetro, $Ty_4$ =	51241.020917185;	E.M.C. = 0.4250660
Parámetro, $Tz_4$ =	639.082762422;	E.M.C. = 0.6937878
Parámetro, $H_4$ =	3.966949835;	E.M.C. = 0.0006354
Parámetro, $a_4$ =	0.033734784;	E.M.C. = 0.0006970
Parámetro, $b_4$ =	-0.144370340;	E.M.C. = 0.0011740
Parámetro, $c_4$ =	-0.117561307;	E.M.C. = 0.0024231

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, $dX_1$ =	42542.305 m;	E.M.C. = 0.110 m
Y punto 1, $dY_1$ =	50966.774 m;	E.M.C. = 0.111 m
Z punto 1, $dZ_1$ =	9.261 m;	E.M.C. = 0.126 m
X punto 2, $dX_2$ =	42570.715 m;	E.M.C. = 0.107 m
Y punto 2, $dY_2$ =	51320.877 m;	E.M.C. = 0.108 m
Z punto 2, $dZ_2$ =	11.135 m;	E.M.C. = 0.286 m
X punto 3, $dX_3$ =	42599.181 m;	E.M.C. = 0.218 m
Y punto 3, $dY_3$ =	51234.039 m;	E.M.C. = 0.442 m
Z punto 3, $dZ_3$ =	644.040 m;	E.M.C. = 0.255 m

X punto 4, dX <sub>4</sub>	= 42668.388 m;	E.M.C. = 0.109 m
Y punto 4, dY <sub>4</sub>	= 51560.090 m;	E.M.C. = 0.109 m
Z punto 4, dZ <sub>4</sub>	= 14.272 m;	E.M.C. = 0.433 m
X punto 5, dX <sub>5</sub>	= 42661.126 m;	E.M.C. = 0.109 m
Y punto 5, dY <sub>5</sub>	= 51618.117 m;	E.M.C. = 0.109 m
Z punto 5, dZ <sub>5</sub>	= 16.015 m;	E.M.C. = 0.436 m
X punto 6, dX <sub>6</sub>	= 42333.827 m;	E.M.C. = 0.125 m
Y punto 6, dY <sub>6</sub>	= 51556.651 m;	E.M.C. = 0.124 m
Z punto 6, dZ <sub>6</sub>	= 13.180 m;	E.M.C. = 0.477 m
X punto 7, dX <sub>7</sub>	= 42800.096 m;	E.M.C. = 0.111 m
Y punto 7, dY <sub>7</sub>	= 51740.343 m;	E.M.C. = 0.112 m
Z punto 7, dZ <sub>7</sub>	= 18.128 m;	E.M.C. = 0.329 m
X punto 8, dX <sub>8</sub>	= 42734.243 m;	E.M.C. = 0.191 m
Y punto 8, dY <sub>8</sub>	= 51888.529 m;	E.M.C. = 0.398 m
Z punto 8, dZ <sub>8</sub>	= 630.914 m;	E.M.C. = 0.258 m
X punto 9, dX <sub>9</sub>	= 42791.039 m;	E.M.C. = 0.102 m
Y punto 9, dY <sub>9</sub>	= 52054.728 m;	E.M.C. = 0.103 m
Z punto 9, dZ <sub>9</sub>	= 21.736 m;	E.M.C. = 0.160 m
X punto 10, dX <sub>10</sub>	= 3088.165 m;	E.M.C. = 0.121 m
Y punto 10, dY <sub>10</sub>	= 1535.493 m;	E.M.C. = 0.120 m
Z punto 10, dZ <sub>10</sub>	= 14.393 m;	E.M.C. = 0.395 m
X punto de apoyo 1, dX <sub>1</sub>	= -0.081 m;	E.M.C. = 0.081 m
Y punto de apoyo 1, dY <sub>1</sub>	= -0.046 m;	E.M.C. = 0.080 m
Z punto de apoyo 1, dZ <sub>1</sub>	= -0.003 m;	E.M.C. = 0.085 m
X punto de apoyo 2, dX <sub>2</sub>	= 0.003 m;	E.M.C. = 0.079 m
Y punto de apoyo 2, dY <sub>2</sub>	= 0.091 m;	E.M.C. = 0.079 m
Z punto de apoyo 2, dZ <sub>2</sub>	= 0.006 m;	E.M.C. = 0.085 m
X punto de apoyo 3, dX <sub>3</sub>	= -0.001 m;	E.M.C. = 0.082 m
Y punto de apoyo 3, dY <sub>3</sub>	= -0.122 m;	E.M.C. = 0.081 m
Z punto de apoyo 3, dZ <sub>3</sub>	= 0.007 m;	E.M.C. = 0.086 m
X punto de apoyo 4, dX <sub>4</sub>	= 0.080 m;	E.M.C. = 0.082 m
Y punto de apoyo 4, dY <sub>4</sub>	= 0.077 m;	E.M.C. = 0.080 m
Z punto de apoyo 4, dZ <sub>4</sub>	= -0.010 m;	E.M.C. = 0.085 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.081 m	R(2) = -0.046 m
R(3) = -0.003 m	R(4) = 0.066 m
R(5) = 0.037 m	R(6) = 0.042 m
R(7) = 0.015 m	R(8) = 0.006 m
R(9) = 0.044 m	R(10) = -0.042 m
R(11) = -0.037 m	R(12) = -0.038 m
R(13) = 0.016 m	R(14) = 0.050 m
R(15) = -0.070 m	R(16) = 0.002 m
R(17) = 0.063 m	R(18) = -0.035 m
R(19) = 0.025 m	R(20) = -0.074 m
R(21) = 0.060 m	R(22) = 0.003 m
R(23) = 0.091 m	R(24) = 0.006 m
R(25) = -0.066 m	R(26) = -0.037 m
R(27) = -0.042 m	R(28) = -0.015 m
R(29) = -0.006 m	R(30) = -0.044 m
R(31) = 0.042 m	R(32) = 0.037 m
R(33) = 0.038 m	R(34) = 0.017 m
R(35) = -0.032 m	R(36) = -0.030 m
R(37) = 0.014 m	R(38) = -0.026 m
R(39) = 0.033 m	R(40) = 0.005 m
R(41) = -0.027 m	R(42) = 0.039 m
R(43) = -0.001 m	R(44) = -0.122 m
R(45) = 0.007 m	R(46) = -0.032 m
R(47) = -0.017 m	R(48) = -0.008 m
R(49) = -0.028 m	R(50) = -0.038 m
R(51) = -0.021 m	R(52) = -0.025 m
R(53) = 0.074 m	R(54) = -0.060 m
R(55) = 0.002 m	R(56) = 0.003 m
R(57) = 0.034 m	R(58) = 0.045 m
R(59) = 0.045 m	R(60) = 0.042 m
R(61) = 0.039 m	R(62) = 0.056 m
R(63) = 0.005 m	R(64) = 0.080 m

R(65) = 0.077 m	R(66) = -0.010 m
R(67) = -0.000 m	R(68) = -0.001 m
R(69) = 0.108 m	R(70) = 0.011 m
R(71) = 0.001 m	R(72) = 0.023 m
R(73) = -0.002 m	R(74) = -0.003 m
R(75) = -0.034 m	R(76) = -0.045 m
R(77) = -0.045 m	R(78) = -0.042 m
R(79) = -0.039 m	R(80) = -0.056 m
R(81) = -0.005 m	R(82) = -0.005 m
R(83) = 0.027 m	R(84) = -0.039 m
R(85) = 0.081 m	R(86) = 0.046 m
R(87) = 0.003 m	R(88) = -0.003 m
R(89) = -0.091 m	R(90) = -0.006 m
R(91) = 0.001 m	R(92) = 0.122 m
R(93) = -0.007 m	R(94) = -0.080 m
R(95) = -0.077 m	R(96) = 0.010 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.087 m

**MODELO 1:**

Tx	=	42233.878 m
Ty	=	51242.251 m
Tz	=	639.767 m
H	=	3.967181811
Omega, $\omega$	=	1°.7565
Phi, $\varphi$	=	-2°.3213
Kappa, $\kappa$	=	-0°.5239

**MODELO 2:**

Tx	=	42233.917 m
Ty	=	51242.295 m
Tz	=	639.863 m
H	=	3.967416149
Omega, $\omega$	=	1°.7555
Phi, $\varphi$	=	-2°.3099
Kappa, $\kappa$	=	-0°.5378

**MODELO 3:**

Tx	=	42233.710 m
Ty	=	51241.003 m
Tz	=	639.214 m
H	=	3.967884367
Omega, $\omega$	=	1°.8876
Phi, $\varphi$	=	-2°.3150
Kappa, $\kappa$	=	-0°.5525

**MODELO 4:**

Tx	=	42233.879 m
Ty	=	51241.021 m
Tz	=	639.083 m
H	=	3.966949835
Omega, $\omega$	=	1°.8869
Phi, $\varphi$	=	-2°.3174
Kappa, $\kappa$	=	-0°.5414

Coord. modelo transfor. a terreno utilizadas en la iteración: 1				
Modelo	PA/PP	X <sub>m</sub> t1(m)	Y <sub>m</sub> t1(m)	Z <sub>m</sub> t1(m)
1	0	42492.619	50847.475	2.443
1	1	42542.597	50966.741	9.970
1	2	42570.583	51320.666	11.849
1	3	42598.891	51234.004	644.011
1	4	42667.950	51559.824	14.874
1	5	42660.621	51617.840	16.651
1	6	42333.635	51556.265	13.900
2	0	43065.935	51070.206	3.316
2	1	42542.585	50966.712	9.873
2	2	42570.595	51320.684	11.758
2	3	42598.918	51234.114	644.055
2	4	42667.936	51559.779	14.932
2	5	42660.606	51617.782	16.736
2	10	43087.416	51535.286	15.212
3	0	42292.256	52241.848	19.361
3	4	42667.921	51559.797	15.016
3	5	42660.586	51617.766	16.624
3.	6	42333.665	51556.326	13.839
3	7	42799.287	51740.009	18.557
3	8	42733.089	51889.559	630.256
3	9	42789.821	52054.246	21.487
4	0	42971.520	52283.668	23.450
4	4	42667.914	51559.806	15.103
4	5	42660.594	51617.813	16.641
4	7	42799.307	51740.015	18.458
4	8	42733.059	51889.519	630.290
4	9	42789.818	52054.223	21.451
4	10	43087.450	51535.327	15.163

Resultados de la primera iteración:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.003

Valores de los parámetros y desviaciones típicas:

Parámetro, $Tx_1$ =	-71.061231804;	E.M.C. =	7.1277285
Parámetro, $Ty_1$ =	14.870254449;	E.M.C. =	7.0359323
Parámetro, $Tz_1$ =	1.079032659;	E.M.C. =	18.8614766
Parámetro, $H_1$ =	1.000515096;	E.M.C. =	0.0001026
Parámetro, $a_1$ =	0.000962199;	E.M.C. =	0.0001099
Parámetro, $b_1$ =	0.000081590;	E.M.C. =	0.0002020
Parámetro, $c_1$ =	-0.000033629;	E.M.C. =	0.0004063
Parámetro, $Tx_2$ =	-70.271503075;	E.M.C. =	6.9252896
Parámetro, $Ty_2$ =	17.628312401;	E.M.C. =	6.8042660
Parámetro, $Tz_2$ =	5.024156703;	E.M.C. =	20.0828914
Parámetro, $H_2$ =	1.000475570;	E.M.C. =	0.0000997
Parámetro, $a_2$ =	0.000979129;	E.M.C. =	0.0001058
Parámetro, $b_2$ =	0.000210814;	E.M.C. =	0.0001746
Parámetro, $c_2$ =	-0.000064172;	E.M.C. =	0.0004235
Parámetro, $Tx_3$ =	-73.684440553;	E.M.C. =	6.9474725
Parámetro, $Ty_3$ =	20.424441850;	E.M.C. =	6.6650522
Parámetro, $Tz_3$ =	-99.321212479;	E.M.C. =	23.8781007
Parámetro, $H_3$ =	1.000476298;	E.M.C. =	0.0000972
Parámetro, $a_3$ =	0.001045080;	E.M.C. =	0.0001053
Parámetro, $b_3$ =	0.000103339;	E.M.C. =	0.0001597
Parámetro, $c_3$ =	-0.001997908;	E.M.C. =	0.0004005
Parámetro, $Tx_4$ =	-73.942414580;	E.M.C. =	6.8592669
Parámetro, $Ty_4$ =	24.119971745;	E.M.C. =	6.8764400
Parámetro, $Tz_4$ =	-104.537270658;	E.M.C. =	23.3083254
Parámetro, $H_4$ =	1.000436485;	E.M.C. =	0.0000976
Parámetro, $a_4$ =	0.001083153;	E.M.C. =	0.0001062
Parámetro, $b_4$ =	0.000000406;	E.M.C. =	0.0001812
Parámetro, $c_4$ =	-0.002013763;	E.M.C. =	0.0003720

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, dX <sub>1</sub>	= 42542.470 m;	E.M.C. = 0.067 m
Y punto 1, dY <sub>1</sub>	= 50966.926 m;	E.M.C. = 0.067 m
Z punto 1, dZ <sub>1</sub>	= 9.251 m;	E.M.C. = 0.077 m
X punto 2, dX <sub>2</sub>	= 42570.826 m;	E.M.C. = 0.065 m
Y punto 2, dY <sub>2</sub>	= 51321.023 m;	E.M.C. = 0.066 m
Z punto 2, dZ <sub>2</sub>	= 11.147 m;	E.M.C. = 0.174 m
X punto 3, dX <sub>3</sub>	= 42599.164 m;	E.M.C. = 0.130 m
Y punto 3, dY <sub>3</sub>	= 51234.306 m;	E.M.C. = 0.273 m
Z punto 3, dZ <sub>3</sub>	= 643.681 m;	E.M.C. = 0.151 m
X punto 4, dX <sub>4</sub>	= 42668.452 m;	E.M.C. = 0.066 m
Y punto 4, dY <sub>4</sub>	= 51560.172 m;	E.M.C. = 0.067 m
Z punto 4, dZ <sub>4</sub>	= 14.295 m;	E.M.C. = 0.264 m
X punto 5, dX <sub>5</sub>	= 42661.180 m;	E.M.C. = 0.066 m
Y punto 5, dY <sub>5</sub>	= 51618.204 m;	E.M.C. = 0.067 m
Z punto 5, dZ <sub>5</sub>	= 16.037 m;	E.M.C. = 0.265 m
X punto 6, dX <sub>6</sub>	= 42334.007 m;	E.M.C. = 0.076 m
Y punto 6, dY <sub>6</sub>	= 51556.998 m;	E.M.C. = 0.076 m
Z punto 6, dZ <sub>6</sub>	= 13.210 m;	E.M.C. = 0.290 m
X punto 7, dX <sub>7</sub>	= 42800.075 m;	E.M.C. = 0.067 m
Y punto 7, dY <sub>7</sub>	= 51740.318 m;	E.M.C. = 0.068 m
Z punto 7, dZ <sub>7</sub>	= 18.148 m;	E.M.C. = 0.201 m
X punto 8, dX <sub>8</sub>	= 42734.013 m;	E.M.C. = 0.116 m
Y punto 8, dY <sub>8</sub>	= 51888.756 m;	E.M.C. = 0.239 m
Z punto 8, dZ <sub>8</sub>	= 630.497 m;	E.M.C. = 0.164 m
X punto 9, dX <sub>9</sub>	= 42790.928 m;	E.M.C. = 0.062 m
Y punto 9, dY <sub>9</sub>	= 52054.687 m;	E.M.C. = 0.063 m
Z punto 9, dZ <sub>9</sub>	= 21.742 m;	E.M.C. = 0.098 m
X punto 10, dX <sub>10</sub>	= 43088.117 m;	E.M.C. = 0.073 m
Y punto 10, dY <sub>10</sub>	= 51535.237 m;	E.M.C. = 0.073 m
Z punto 10, dZ <sub>10</sub>	= 14.431 m;	E.M.C. = 0.241 m
X punto de apoyo 1, dX <sub>1</sub>	= -0.014 m;	E.M.C. = 0.050 m
Y punto de apoyo 1, dY <sub>1</sub>	= 0.030 m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 1, dZ <sub>1</sub>	= -0.005 m;	E.M.C. = 0.052 m

X punto de apoyo 2, dX <sub>2</sub>	= 0.025 m;	E.M.C. = 0.048 m
Y punto de apoyo 2, dY <sub>2</sub>	= -0.018 m;	E.M.C. = 0.048 m
Z punto de apoyo 2, dZ <sub>2</sub>	= 0.006 m;	E.M.C. = 0.052 m
X punto de apoyo 3, dX <sub>3</sub>	= -0.018 m;	E.M.C. = 0.050 m
Y punto de apoyo 3, dY <sub>3</sub>	= -0.011 m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 3, dZ <sub>3</sub>	= 0.005 m;	E.M.C. = 0.052 m
X punto de apoyo 4, dX <sub>4</sub>	= 0.008 m;	E.M.C. = 0.050 m
Y punto de apoyo 4, dY <sub>4</sub>	= -0.001 m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 4, dZ <sub>4</sub>	= -0.006 m;	E.M.C. = 0.052 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.014 m	R(2) = 0.030 m
R(3) = -0.005 m	R(4) = 0.020 m
R(5) = 0.003 m	R(6) = 0.046 m
R(7) = 0.006 m	R(8) = -0.013 m
R(9) = 0.040 m	R(10) = -0.042 m
R(11) = -0.051 m	R(12) = -0.012 m
R(13) = 0.027 m	R(14) = 0.025 m
R(15) = -0.081 m	R(16) = 0.023 m
R(17) = 0.046 m	R(18) = -0.044 m
R(19) = -0.019 m	R(20) = -0.040 m
R(21) = 0.056 m	R(22) = 0.025 m
R(23) = -0.018 m	R(24) = 0.006 m
R(25) = -0.020 m	R(26) = -0.003 m
R(27) = -0.046 m	R(28) = -0.006 m
R(29) = 0.013 m	R(30) = -0.040 m
R(31) = 0.042 m	R(32) = 0.051 m
R(33) = 0.012 m	R(34) = -0.010 m
R(35) = -0.023 m	R(36) = -0.018 m
R(37) = -0.013 m	R(38) = -0.017 m
R(39) = 0.050 m	R(40) = -0.018 m
R(41) = -0.003 m	R(42) = 0.036 m
R(43) = -0.018 m	R(44) = -0.011 m
R(45) = 0.005 m	R(46) = -0.007 m

R(47) = -0.015 m	R(48) = 0.009 m
R(49) = -0.012 m	R(50) = -0.046 m
R(51) = -0.008 m	R(52) = 0.019 m
R(53) = 0.040 m	R(54) = -0.056 m
R(55) = -0.013 m	R(56) = -0.006 m
R(57) = 0.045 m	R(58) = 0.039 m
R(59) = 0.024 m	R(60) = -0.007 m
R(61) = -0.008 m	R(62) = 0.015 m
R(63) = 0.012 m	R(64) = 0.008 m
R(65) = -0.001 m	R(66) = -0.006 m
R(67) = -0.010 m	R(68) = 0.013 m
R(69) = 0.089 m	R(70) = 0.002 m
R(71) = 0.017 m	R(72) = 0.002 m
R(73) = 0.013 m	R(74) = 0.006 m
R(75) = -0.045 m	R(76) = -0.039 m
R(77) = -0.024 m	R(78) = 0.007 m
R(79) = 0.008 m	R(80) = -0.015 m
R(81) = -0.012 m	R(82) = 0.018 m
R(83) = 0.003 m	R(84) = -0.036 m
R(85) = 0.014 m	R(86) = -0.030 m
R(87) = 0.005 m	R(88) = -0.025 m
R(89) = 0.018 m	R(90) = -0.006 m
R(91) = 0.018 m	R(92) = 0.011 m
R(93) = -0.005 m	R(94) = -0.008 m
R(95) = 0.001 m	R(96) = 0.006 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.053 m

### MODELO 1:

Tx	=	-71.061 m
Ty	=	14.870 m
Tz	=	1.079 m
H	=	1.000515096
Omega, $\omega$	=	0°.0021
Phi, $\phi$	=	0°.0052
Kappa, $\kappa$	=	-0°.0612

**MODELO 2:**

Tx	=	-70.272 m
Ty	=	17.628 m
Tz	=	5.024 m
H	=	1.000475570
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .0041
Phi, $\varphi$	=	0 <sup>g</sup> .0134
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0623

**MODELO 3:**

Tx	=	-73.684 m
Ty	=	20.424 m
Tz	=	-99.321 m
H	=	1.000476298
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1271
Phi, $\varphi$	=	0 <sup>g</sup> .0066
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0665

**MODELO 4:**

Tx	=	-73.942 m
Ty	=	24.120 m
Tz	=	-104.537 m
H	=	1.000436485
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1281
Phi, $\varphi$	=	0 <sup>g</sup> .0000
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0689

	<b>Coordenadas del centro de los modelos</b>	
	<b>X<sub>m</sub>(m)</b>	<b>Y<sub>m</sub>(m)</b>
Modelo 1	42416.645	51237.940
Modelo 2	42780.460	51227.251
Modelo 3	42549.207	51886.005
Modelo 4	42912.942	51889.556

Modelo	PA/PP	Coord.mod.transform. a terreno tras ite. 1 y correc. esfericidad:					
		X <sub>m</sub> (m)	Y <sub>m</sub> (m)	Z <sub>m</sub> (m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
1	0	42492.352	50847.627	1.767	0.000	-0.000	0.012
1	1	42542.471	50966.905	9.297	0.000	-0.000	0.007
1	2	42570.812	51320.986	11.186	0.000	0.000	0.002
1	3	42599.102	51234.231	643.670	0.018	-0.000	0.003
1	4	42668.459	51560.173	14.214	0.001	0.001	0.013
1	5	42661.183	51618.226	15.994	0.001	0.001	0.016
1	6	42333.968	51556.934	13.266	-0.000	0.001	0.009
2	0	43066.177	51069.920	2.601	0.000	-0.000	0.008
2	1	42542.458	50966.876	9.201	-0.000	-0.000	0.010
2	2	42570.823	51321.004	11.096	-0.000	0.000	0.004
2	3	42599.129	51234.341	643.713	-0.018	0.001	0.003
2	4	42668.445	51560.128	14.272	-0.000	0.001	0.010
2	5	42661.167	51618.168	16.079	-0.000	0.001	0.013
2	10	43088.117	51535.219	14.517	0.001	0.001	0.015
3	0	42293.228	52242.910	18.757	-0.001	0.001	0.015
3	4	42668.430	51560.146	14.355	0.000	-0.001	0.009
3	5	42661.147	51618.152	15.966	0.000	-0.001	0.007
3	6	42333.999	51556.995	13.205	-0.000	-0.001	0.012
3	7	42800.037	51740.324	17.893	0.001	-0.000	0.007
3	8	42733.999	51889.994	629.918	0.018	0.000	0.003
3	9	42790.869	52054.732	20.837	0.001	0.001	0.007
4	0	42972.882	52284.097	22.794	0.000	0.001	0.013
4	4	42668.423	51560.155	14.442	-0.001	-0.001	0.013
4	5	42661.155	51618.199	15.984	-0.001	-0.001	0.011
4	7	42800.057	51740.331	17.795	-0.000	-0.000	0.003
4	8	42733.969	51889.954	629.952	-0.018	0.000	0.003
4	9	42790.866	52054.709	20.800	-0.000	0.001	0.003
4	10	43088.151	51535.260	14.467	0.000	-0.001	0.012

Modelo	PA/PP	Coord. modelo transformadas a terreno corregidas del efecto de esfericidad terrestre utilizadas en la iteración: 2		
		X <sub>m</sub> t2(m)	Y <sub>m</sub> t2(m)	Z <sub>m</sub> t2(m)
1	0	42492.352	50847.627	1.779
1	1	42542.471	50966.905	9.304
1	2	42570.812	51320.986	11.189
1	3	42599.121	51234.231	643.672
1	4	42668.460	51560.174	14.227
1	5	42661.183	51618.227	16.010
1	6	42333.968	51556.935	13.275
2	0	43066.177	51069.920	2.609
2	1	42542.458	50966.876	9.210
2	2	42570.823	51321.004	11.100

2	3	42599.111	51234.341	643.716
2	4	42668.445	51560.129	14.281
2	5	42661.167	51618.169	16.092
2	10	43088.118	51535.219	14.531
3	0	42293.228	52242.911	18.772
3	4	42668.430	51560.145	14.364
3	5	42661.148	51618.151	15.973
3	6	42333.998	51556.995	13.217
3	7	42800.038	51740.324	17.900
3	8	42734.017	51889.995	629.921
3	9	42790.870	52054.732	20.843
4	0	42972.883	52284.099	22.806
4	4	42668.423	51560.155	14.456
4	5	42661.154	51618.198	15.995
4	7	42800.057	51740.330	17.798
4	8	42733.952	51889.954	629.954
4	9	42790.866	52054.709	20.803
4	10	43088.152	51535.259	14.480

Resultados de la segunda iteración:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.003

Valores de los parámetros y errores medios cuadráticos:

Parámetro, $Tx_1$ =	0.053016623;	E.M.C. =	7.1121254
Parámetro, $Ty_1$ =	0.117550903;	E.M.C. =	7.0205741
Parámetro, $Tz_1$ =	-1.679189086;	E.M.C. =	18.8353570
Parámetro, $H_1$ =	0.999998587;	E.M.C. =	0.0001024
Parámetro, $a_1$ =	0.000000522;	E.M.C. =	0.0001097
Parámetro, $b_1$ =	-0.000034681;	E.M.C. =	0.0002014
Parámetro, $c_1$ =	-0.000003868;	E.M.C. =	0.0004055
Parámetro, $Tx_2$ =	0.921698476;	E.M.C. =	6.9101822
Parámetro, $Ty_2$ =	2.863267995;	E.M.C. =	6.7894024
Parámetro, $Tz_2$ =	4.090780061;	E.M.C. =	20.0555079
Parámetro, $H_2$ =	0.999958463;	E.M.C. =	0.0000995
Parámetro, $a_2$ =	0.000016429;	E.M.C. =	0.0001056
Parámetro, $b_2$ =	0.000145084;	E.M.C. =	0.0001741
Parámetro, $c_2$ =	-0.000040822;	E.M.C. =	0.0004226

Parámetro, $Tx_3$ =	-2.533820936;	E.M.C. =	6.9322143
Parámetro, $Ty_3$ =	5.684941536;	E.M.C. =	6.6505772
Parámetro, $Tz_3$ =	-101.195357864;	E.M.C. =	23.8375547
Parámetro, $H_3$ =	0.999959293;	E.M.C. =	0.0000970
Parámetro, $a_3$ =	0.000083111;	E.M.C. =	0.0001051
Parámetro, $b_3$ =	-0.000010729;	E.M.C. =	0.0001595
Parámetro, $c_3$ =	-0.001952819;	E.M.C. =	0.0003996
Parámetro, $Tx_4$ =	-2.788197561;	E.M.C. =	6.8443421
Parámetro, $Ty_4$ =	9.363142303;	E.M.C. =	6.8615554
Parámetro, $Tz_4$ =	-104.322895261;	E.M.C. =	23.2664625
Parámetro, $H_4$ =	0.999919657;	E.M.C. =	0.0000974
Parámetro, $a_4$ =	0.000120977;	E.M.C. =	0.0001060
Parámetro, $b_4$ =	-0.000060167;	E.M.C. =	0.0001809
Parámetro, $c_4$ =	-0.001972480;	E.M.C. =	0.0003711

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, $dX_1$ =	42542.471 m;	E.M.C. =	0.067 m
Y punto 1, $dY_1$ =	50966.925 m;	E.M.C. =	0.067 m
Z punto 1, $dZ_1$ =	9.253 m;	E.M.C. =	0.077 m
X punto 2, $dX_2$ =	42570.826 m;	E.M.C. =	0.065 m
Y punto 2, $dY_2$ =	51321.022 m;	E.M.C. =	0.066 m
Z punto 2, $dZ_2$ =	11.147 m;	E.M.C. =	0.174 m
X punto 3, $dX_3$ =	42599.158 m;	E.M.C. =	0.130 m
Y punto 3, $dY_3$ =	51234.301 m;	E.M.C. =	0.273 m
Z punto 3, $dZ_3$ =	643.679 m;	E.M.C. =	0.151 m
X punto 4, $dX_4$ =	42668.452 m;	E.M.C. =	0.065 m
Y punto 4, $dY_4$ =	51560.172 m;	E.M.C. =	0.067 m
Z punto 4, $dZ_4$ =	14.307 m;	E.M.C. =	0.264 m
X punto 5, $dX_5$ =	42661.180 m;	E.M.C. =	0.066 m
Y punto 5, $dY_5$ =	51618.204 m;	E.M.C. =	0.067 m
Z punto 5, $dZ_5$ =	16.050 m;	E.M.C. =	0.265 m
X punto 6, $dX_6$ =	42334.007 m;	E.M.C. =	0.076 m
Y punto 6, $dY_6$ =	51556.997 m;	E.M.C. =	0.076 m
Z punto 6, $dZ_6$ =	13.210 m;	E.M.C. =	0.290 m
X punto 7, $dX_7$ =	42800.075 m;	E.M.C. =	0.067 m
Y punto 7, $dY_7$ =	51740.317 m;	E.M.C. =	0.068 m

Z punto 7, dZ <sub>7</sub>	= 18.154 m;	E.M.C. = 0.200 m
X punto 8, dX <sub>8</sub>	= 42734.010 m;	E.M.C. = 0.115 m
Y punto 8, dY <sub>8</sub>	= 51888.761 m;	E.M.C. = 0.238 m
Z punto 8, dZ <sub>8</sub>	= 630.497 m;	E.M.C. = 0.163 m
X punto 9, dX <sub>9</sub>	= 42790.928 m;	E.M.C. = 0.062 m
Y punto 9, dY <sub>9</sub>	= 52054.687 m;	E.M.C. = 0.063 m
Z punto 9, dZ <sub>9</sub>	= 21.745 m;	E.M.C. = 0.098 m
X punto 10, dX <sub>10</sub>	= 43088.117 m;	E.M.C. = 0.073 m
Y punto 10, dY <sub>10</sub>	= 51535.237 m;	E.M.C. = 0.073 m
Z punto 10, dZ <sub>10</sub>	= 14.437 m;	E.M.C. = 0.240 m

X punto de apoyo 1, dX <sub>1</sub>	= -0.014 m;	E.M.C. = 0.049 m
Y punto de apoyo 1, dY <sub>1</sub>	= 0.030 m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 1, dZ <sub>1</sub>	= -0.003 m;	E.M.C. = 0.052 m
X punto de apoyo 2, dX <sub>2</sub>	= 0.025 m;	E.M.C. = 0.048 m
Y punto de apoyo 2, dY <sub>2</sub>	= -0.018 m;	E.M.C. = 0.048 m
Z punto de apoyo 2, dZ <sub>2</sub>	= 0.004 m;	E.M.C. = 0.052 m
X punto de apoyo 3, dX <sub>3</sub>	= -0.018 m;	E.M.C. = 0.050 m
Y punto de apoyo 3, dY <sub>3</sub>	= -0.011 m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 3, dZ <sub>3</sub>	= 0.003 m;	E.M.C. = 0.052 m
X punto de apoyo 4, dX <sub>4</sub>	= 0.008 m;	E.M.C. = 0.050 m
Y punto de apoyo 4, dY <sub>4</sub>	= -0.001 m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 4, dZ <sub>4</sub>	= -0.004 m;	E.M.C. = 0.052 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.014 m	R(2) = 0.030 m
R(3) = -0.003 m	R(4) = 0.020 m
R(5) = 0.003 m	R(6) = 0.044 m
R(7) = 0.005 m	R(8) = -0.014 m
R(9) = 0.038 m	R(10) = -0.040 m
R(11) = -0.050 m	R(12) = -0.012 m
R(13) = 0.027 m	R(14) = 0.025 m
R(15) = -0.080 m	R(16) = 0.023 m
R(17) = 0.045 m	R(18) = -0.040 m
R(19) = -0.019 m	R(20) = -0.040 m
R(21) = 0.053 m	R(22) = 0.025 m
R(23) = -0.018 m	R(24) = 0.004 m

R(25) = -0.020 m	R(26) = -0.003 m
R(27) = -0.044 m	R(28) = -0.005 m
R(29) = 0.014 m	R(30) = -0.038 m
R(31) = 0.040 m	R(32) = 0.050 m
R(33) = 0.012 m	R(34) = -0.009 m
R(35) = -0.023 m	R(36) = -0.021 m
R(37) = -0.013 m	R(38) = -0.017 m
R(39) = 0.050 m	R(40) = -0.018 m
R(41) = -0.003 m	R(42) = 0.037 m
R(43) = -0.018 m	R(44) = -0.011 m
R(45) = 0.003 m	R(46) = -0.008 m
R(47) = -0.015 m	R(48) = 0.007 m
R(49) = -0.013 m	R(50) = -0.046 m
R(51) = -0.014 m	R(52) = 0.019 m
R(53) = 0.040 m	R(54) = -0.053 m
R(55) = -0.013 m	R(56) = -0.007 m
R(57) = 0.049 m	R(58) = 0.040 m
R(59) = 0.025 m	R(60) = -0.007 m
R(61) = -0.008 m	R(62) = 0.014 m
R(63) = 0.015 m	R(64) = 0.008 m
R(65) = -0.001 m	R(66) = -0.004 m
R(67) = -0.010 m	R(68) = 0.013 m
R(69) = 0.094 m	R(70) = 0.003 m
R(71) = 0.018 m	R(72) = 0.004 m
R(73) = 0.013 m	R(74) = 0.007 m
R(75) = -0.049 m	R(76) = -0.040 m
R(77) = -0.025 m	R(78) = 0.007 m
R(79) = 0.008 m	R(80) = -0.014 m
R(81) = -0.015 m	R(82) = 0.018 m
R(83) = 0.003 m	R(84) = -0.037 m
R(85) = 0.014 m	R(86) = -0.030 m
R(87) = 0.003 m	R(88) = -0.025 m
R(89) = 0.018 m	R(90) = -0.004 m
R(91) = 0.018 m	R(92) = 0.011 m
R(93) = -0.003 m	R(94) = -0.008 m
R(95) = 0.001 m	R(96) = 0.004 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.053 m

**MODELO 1:**

Tx	=	0.053 m
Ty	=	0.118 m
Tz	=	-1.679 m
H	=	0.999998587
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .0002
Phi, $\varphi$	=	-0 <sup>g</sup> .0022
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0000

**MODELO 2:**

Tx	=	0.922 m
Ty	=	2.863 m
Tz	=	4.091 m
H	=	0.999958463
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .0026
Phi, $\varphi$	=	0 <sup>g</sup> .0092
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0010

**MODELO 3:**

Tx	=	-2.534 m
Ty	=	5.685 m
Tz	=	-101.195 m
H	=	0.999959293
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1243
Phi, $\varphi$	=	-0 <sup>g</sup> .0007
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0053

**MODELO 4:**

Tx	=	-2.788 m
Ty	=	9.363 m
Tz	=	-104.323 m
H	=	0.999919657
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1256
Phi, $\varphi$	=	-0 <sup>g</sup> .0038
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0077

<b>Modelo</b>	<b>PA/PP</b>	<b>Coord. modelo transformadas a terreno utilizadas en la iteración: 3</b>		
		<b>X<sub>m</sub>t3(m)</b>	<b>Y<sub>m</sub>t3(m)</b>	<b>Z<sub>m</sub>t3(m)</b>
1	0	42492.371	50847.650	1.770
1	1	42542.490	50966.928	9.297
1	2	42570.831	51321.008	11.184
1	3	42599.118	51234.251	643.668
1	4	42668.479	51560.196	14.227
1	5	42661.202	51618.249	16.010
1	6	42333.988	51556.958	13.263
2	0	43066.196	51069.943	2.621
2	1	42542.477	50966.899	9.204
2	2	42570.842	51321.027	11.096
2	3	42599.108	51234.362	643.711
2	4	42668.464	51560.151	14.281
2	5	42661.186	51618.191	16.092
2	10	43088.136	51535.242	14.546
3	0	42293.248	52242.932	18.761
3	4	42668.449	51560.168	14.364
3	5	42661.167	51618.173	15.973
3	6	42334.018	51557.017	13.206
3	7	42800.057	51740.346	17.905
3	8	42734.015	51890.014	629.924
3	9	42790.889	52054.754	20.849
4	0	42972.901	52284.120	22.819
4	4	42668.442	51560.177	14.456
4	5	42661.174	51618.220	15.995
4	7	42800.076	51740.352	17.803
4	8	42733.950	51889.974	629.957
4	9	42790.884	52054.731	20.809
4	10	43088.170	51535.281	14.494

Resultados de la tercera iteración:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.003

Valores de los parámetros y errores medios cuadráticos:

Parámetro, $Tx_1$ =	-0.001652501;	E.M.C. =	7.1122273
Parámetro, $Ty_1$ =	0.001196094;	E.M.C. =	7.0206439
Parámetro, $Tz_1$ =	-0.000427045;	E.M.C. =	18.8355643
Parámetro, $H_1$ =	1.000000003;	E.M.C. =	0.0001024
Parámetro, $a_1$ =	0.000000031;	E.M.C. =	0.0001097

Parámetro, $b_1$ =	-0.000000002;	E.M.C. = 0.0002014
Parámetro, $c_1$ =	-0.000000007;	E.M.C. = 0.0004055
Parámetro, $Tx_2$ =	0.867630735;	E.M.C. = 6.9102615
Parámetro, $Ty_2$ =	2.747045395;	E.M.C. = 6.7894723
Parámetro, $Tz_2$ =	5.769415470;	E.M.C. = 20.0557331
Parámetro, $H_2$ =	0.999959872;	E.M.C. = 0.0000995
Parámetro, $a_2$ =	0.000015932;	E.M.C. = 0.0001056
Parámetro, $b_2$ =	0.000179762;	E.M.C. = 0.0001741
Parámetro, $c_2$ =	-0.000036963;	E.M.C. = 0.0004226
Parámetro, $Tx_3$ =	-2.584518331;	E.M.C. = 6.9323547
Parámetro, $Ty_3$ =	5.565807231;	E.M.C. = 6.6506438
Parámetro, $Tz_3$ =	-99.516080700;	E.M.C. = 23.8378032
Parámetro, $H_3$ =	0.999960703;	E.M.C. = 0.0000970
Parámetro, $a_3$ =	0.000082548;	E.M.C. = 0.0001051
Parámetro, $b_3$ =	0.000023948;	E.M.C. = 0.0001595
Parámetro, $c_3$ =	-0.001948945;	E.M.C. = 0.0003996
Parámetro, $Tx_4$ =	-2.839559894;	E.M.C. = 6.8444182
Parámetro, $Ty_4$ =	9.243875494;	E.M.C. = 6.8616034
Parámetro, $Tz_4$ =	-102.643896480;	E.M.C. = 23.2667200
Parámetro, $H_4$ =	0.999921074;	E.M.C. = 0.0000974
Parámetro, $a_4$ =	0.000120421;	E.M.C. = 0.0001060
Parámetro, $b_4$ =	-0.000025495;	E.M.C. = 0.0001809
Parámetro, $c_4$ =	-0.001968609;	E.M.C. = 0.0003711

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, $dX_1$ =	42542.471 m;	E.M.C. = 0.067 m
Y punto 1, $dY_1$ =	50966.925 m;	E.M.C. = 0.067 m
Z punto 1, $dZ_1$ =	9.253 m;	E.M.C. = 0.077 m
X punto 2, $dX_2$ =	42570.826 m;	E.M.C. = 0.065 m
Y punto 2, $dY_2$ =	51321.022 m;	E.M.C. = 0.066 m
Z punto 2, $dZ_2$ =	11.147 m;	E.M.C. = 0.174 m
X punto 3, $dX_3$ =	42599.158 m;	E.M.C. = 0.130 m
Y punto 3, $dY_3$ =	51234.301 m;	E.M.C. = 0.273 m
Z punto 3, $dZ_3$ =	643.679 m;	E.M.C. = 0.151 m

X punto 4, dX <sub>4</sub>	= 42668.453 m;	E.M.C. = 0.065 m
Y punto 4, dY <sub>4</sub>	= 51560.172 m;	E.M.C. = 0.067 m
Z punto 4, dZ <sub>4</sub>	= 14.307 m;	E.M.C. = 0.264 m
X punto 5, dX <sub>5</sub>	= 42661.180 m;	E.M.C. = 0.066 m
Y punto 5, dY <sub>5</sub>	= 51618.204 m;	E.M.C. = 0.067 m
Z punto 5, dZ <sub>5</sub>	= 16.050 m;	E.M.C. = 0.265 m
X punto 6, dX <sub>6</sub>	= 42334.007 m;	E.M.C. = 0.076 m
Y punto 6, dY <sub>6</sub>	= 51556.997 m;	E.M.C. = 0.076 m
Z punto 6, dZ <sub>6</sub>	= 13.210 m;	E.M.C. = 0.290 m
X punto 7, dX <sub>7</sub>	= 42800.075 m;	E.M.C. = 0.067 m
Y punto 7, dY <sub>7</sub>	= 51740.317 m;	E.M.C. = 0.068 m
Z punto 7, dZ <sub>7</sub>	= 18.154 m;	E.M.C. = 0.200 m
X punto 8, dX <sub>8</sub>	= 42734.010 m;	E.M.C. = 0.115 m
Y punto 8, dY <sub>8</sub>	= 51888.761 m;	E.M.C. = 0.238 m
Z punto 8, dZ <sub>8</sub>	= 630.497 m;	E.M.C. = 0.163 m
X punto 9, dX <sub>9</sub>	= 42790.928 m;	E.M.C. = 0.062 m
Y punto 9, dY <sub>9</sub>	= 52054.687 m;	E.M.C. = 0.063 m
Z punto 9, dZ <sub>9</sub>	= 21.745 m;	E.M.C. = 0.098 m
X punto 10, dX <sub>10</sub>	= 43088.117 m;	E.M.C. = 0.073 m
Y punto 10, dY <sub>10</sub>	= 51535.237 m;	E.M.C. = 0.073 m
Z punto 10, dZ <sub>10</sub>	= 14.437 m;	E.M.C. = 0.240 m

X punto de apoyo 1, dX <sub>1</sub>	= -0.014 m;	E.M.C. = 0.049 m
Y punto de apoyo 1, dY <sub>1</sub>	= 0.030 m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 1, dZ <sub>1</sub>	= -0.003 m;	E.M.C. = 0.052 m
X punto de apoyo 2, dX <sub>2</sub>	= 0.025 m;	E.M.C. = 0.048 m
Y punto de apoyo 2, dY <sub>2</sub>	= -0.018 m;	E.M.C. = 0.048 m
Z punto de apoyo 2, dZ <sub>2</sub>	= 0.004 m;	E.M.C. = 0.052 m
X punto de apoyo 3, dX <sub>3</sub>	= -0.018 m;	E.M.C. = 0.050 m
Y punto de apoyo 3, dY <sub>3</sub>	= -0.011 m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 3, dZ <sub>3</sub>	= 0.003 m;	E.M.C. = 0.052 m
X punto de apoyo 4, dX <sub>4</sub>	= 0.008 m;	E.M.C. = 0.050 m
Y punto de apoyo 4, dY <sub>4</sub>	= -0.001 m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 4, dZ <sub>4</sub>	= -0.004 m;	E.M.C. = 0.052 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.014 m	R(2) = 0.030 m
R(3) = -0.003 m	R(4) = 0.020 m
R(5) = 0.003 m	R(6) = 0.044 m
R(7) = 0.005 m	R(8) = -0.014 m
R(9) = 0.038 m	R(10) = -0.040 m
R(11) = -0.050 m	R(12) = -0.012 m
R(13) = 0.027 m	R(14) = 0.025 m
R(15) = -0.080 m	R(16) = 0.023 m
R(17) = 0.045 m	R(18) = -0.040 m
R(19) = -0.019 m	R(20) = -0.040 m
R(21) = 0.053 m	R(22) = 0.025 m
R(23) = -0.018 m	R(24) = 0.004 m
R(25) = -0.020 m	R(26) = -0.003 m
R(27) = -0.044 m	R(28) = -0.005 m
R(29) = 0.014 m	R(30) = -0.038 m
R(31) = 0.040 m	R(32) = 0.050 m
R(33) = 0.012 m	R(34) = -0.009 m
R(35) = -0.023 m	R(36) = -0.021 m
R(37) = -0.013 m	R(38) = -0.017 m
R(39) = 0.050 m	R(40) = -0.018 m
R(41) = -0.003 m	R(42) = 0.037 m
R(43) = -0.018 m	R(44) = -0.011 m
R(45) = 0.003 m	R(46) = -0.008 m
R(47) = -0.015 m	R(48) = 0.007 m
R(49) = -0.013 m	R(50) = -0.046 m
R(51) = -0.014 m	R(52) = 0.019 m
R(53) = 0.040 m	R(54) = -0.053 m
R(55) = -0.013 m	R(56) = -0.007 m
R(57) = 0.049 m	R(58) = 0.040 m
R(59) = 0.025 m	R(60) = -0.007 m
R(61) = -0.008 m	R(62) = 0.014 m
R(63) = 0.015 m	R(64) = 0.008 m

R(65) = -0.001 m	R(66) = -0.004 m
R(67) = -0.010 m	R(68) = 0.013 m
R(69) = 0.094 m	R(70) = 0.003 m
R(71) = 0.018 m	R(72) = 0.004 m
R(73) = 0.013 m	R(74) = 0.007 m
R(75) = -0.049 m	R(76) = -0.040 m
R(77) = -0.025 m	R(78) = 0.007 m
R(79) = 0.008 m	R(80) = -0.014 m
R(81) = -0.015 m	R(82) = 0.018 m
R(83) = 0.003 m	R(84) = -0.037 m
R(85) = 0.014 m	R(86) = -0.030 m
R(87) = 0.003 m	R(88) = -0.025 m
R(89) = 0.018 m	R(90) = -0.004 m
R(91) = 0.018 m	R(92) = 0.011 m
R(93) = -0.003 m	R(94) = -0.008 m
R(95) = 0.001 m	R(96) = 0.004 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.053 m

**MODELO 1:**

Tx	=	-0.002 m
Ty	=	0.001 m
Tz	=	-0.000 m
H	=	1.000000003
Omega, $\omega$	=	0°.0000
Phi, $\varphi$	=	-0°.0000
Kappa, $\kappa$	=	-0°.0000

**MODELO 2:**

Tx	=	0.868 m
Ty	=	2.747 m
Tz	=	5.769 m
H	=	0.999959872
Omega, $\omega$	=	0°.0024
Phi, $\varphi$	=	0°.0114
Kappa, $\kappa$	=	-0°.0010

**MODELO 3:**

Tx	=	-2.585 m
Ty	=	5.566 m
Tz	=	-99.516 m
H	=	0.999960703
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1241
Phi, $\varphi$	=	0 <sup>g</sup> .0015
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0053

**MODELO 4:**

Tx	=	-2.840 m
Ty	=	9.244 m
Tz	=	-102.644 m
H	=	0.999921074
Omega, $\omega$	=	0 <sup>g</sup> .1253
Phi, $\varphi$	=	-0 <sup>g</sup> .0016
Kappa, $\kappa$	=	-0 <sup>g</sup> .0077

Modelo	PA/PP	Coord. modelo transformadas a terreno utilizadas en la iteración: 4		
		X <sub>m</sub> t4(m)	Y <sub>m</sub> t4(m)	Z <sub>m</sub> t4(m)
1	0	42492.371	50847.650	1.770
1	1	42542.490	50966.928	9.297
1	2	42570.831	51321.008	11.184
1	3	42599.118	51234.251	643.668
1	4	42668.479	51560.196	14.227
1	5	42661.203	51618.249	16.010
1	6	42333.988	51556.958	13.263
2	0	43066.196	51069.943	2.621
2	1	42542.477	50966.899	9.204
2	2	42570.842	51321.027	11.096
2	3	42599.108	51234.362	643.711
2	4	42668.464	51560.151	14.281
2	5	42661.186	51618.191	16.092
2	10	43088.136	51535.242	14.546
3	0	42293.248	52242.932	18.761
3	4	42668.450	51560.168	14.364
3	5	42661.167	51618.173	15.973
3	6	42334.018	51557.017	13.206
3	7	42800.057	51740.346	17.905
3	8	42734.015	51890.014	629.924
3	9	42790.889	52054.754	20.849
4	0	42972.901	52284.120	22.819
4	4	42668.442	51560.177	14.456
4	5	42661.174	51618.220	15.995
4	7	42800.076	51740.352	17.803
4	8	42733.950	51889.974	629.957
4	9	42790.885	52054.731	20.809
4	10	43088.170	51535.281	14.494

Resultados de la cuarta iteración:

Estimador var. a posteriori obs. peso unidad = 0.003

Valores de los parámetros y errores medios cuadráticos:

Parámetro, $Tx_1$ =	-0.000001304;	E.M.C. =	7.1122272
Parámetro, $Ty_1$ =	-0.000000835;	E.M.C. =	7.0206439
Parámetro, $Tz_1$ =	0.000000018;	E.M.C. =	18.8355648
Parámetro, $H_1$ =	1.000000000;	E.M.C. =	0.0001024
Parámetro, $a_1$ =	0.000000000;	E.M.C. =	0.0001097
Parámetro, $b_1$ =	-0.000000000;	E.M.C. =	0.0002014
Parámetro, $c_1$ =	0.000000000;	E.M.C. =	0.0004055
Parámetro, $Tx_2$ =	0.869280646;	E.M.C. =	6.9102615
Parámetro, $Ty_2$ =	2.745847892;	E.M.C. =	6.7894723
Parámetro, $Tz_2$ =	5.769842653;	E.M.C. =	20.0557336
Parámetro, $H_2$ =	0.999959869;	E.M.C. =	0.0000995
Parámetro, $a_2$ =	0.000015901;	E.M.C. =	0.0001056
Parámetro, $b_2$ =	0.000179764;	E.M.C. =	0.0001741
Parámetro, $c_2$ =	-0.000036956;	E.M.C. =	0.0004226
Parámetro, $Tx_3$ =	-2.582865826;	E.M.C. =	6.9323547
Parámetro, $Ty_3$ =	5.564609899;	E.M.C. =	6.6506438
Parámetro, $Tz_3$ =	-99.515656832;	E.M.C. =	23.8378035
Parámetro, $H_3$ =	0.999960701;	E.M.C. =	0.0000970
Parámetro, $a_3$ =	0.000082517;	E.M.C. =	0.0001051
Parámetro, $b_3$ =	0.000023949;	E.M.C. =	0.0001595
Parámetro, $c_3$ =	-0.001948938;	E.M.C. =	0.0003996
Parámetro, $Tx_4$ =	-2.837907961;	E.M.C. =	6.8444182
Parámetro, $Ty_4$ =	9.242678699;	E.M.C. =	6.8616034
Parámetro, $Tz_4$ =	-102.643472518;	E.M.C. =	23.2667202
Parámetro, $H_4$ =	0.999921072;	E.M.C. =	0.0000974
Parámetro, $a_4$ =	0.000120390;	E.M.C. =	0.0001060
Parámetro, $b_4$ =	-0.000025493;	E.M.C. =	0.0001809
Parámetro, $c_4$ =	-0.001968602;	E.M.C. =	0.0003711

Coord. terreno puntos de paso (correcciones de coord.):

X punto 1, dX<sub>1</sub> = 42542.471 m; E.M.C. = 0.067 m  
Y punto 1, dY<sub>1</sub> = 50966.925 m; E.M.C. = 0.067 m  
Z punto 1, dZ<sub>1</sub> = 9.253 m; E.M.C. = 0.077 m  
X punto 2, dX<sub>2</sub> = 42570.826 m; E.M.C. = 0.065 m  
Y punto 2, dY<sub>2</sub> = 51321.022 m; E.M.C. = 0.066 m  
Z punto 2, dZ<sub>2</sub> = 11.147 m; E.M.C. = 0.174 m  
X punto 3, dX<sub>3</sub> = 42599.158 m; E.M.C. = 0.130 m  
Y punto 3, dY<sub>3</sub> = 51234.301 m; E.M.C. = 0.273 m  
Z punto 3, dZ<sub>3</sub> = 643.679 m; E.M.C. = 0.151 m  
X punto 4, dX<sub>4</sub> = 42668.453 m; E.M.C. = 0.065 m  
Y punto 4, dY<sub>4</sub> = 51560.172 m; E.M.C. = 0.067 m  
Z punto 4, dZ<sub>4</sub> = 14.307 m; E.M.C. = 0.264 m  
X punto 5, dX<sub>5</sub> = 42661.180 m; E.M.C. = 0.066 m  
Y punto 5, dY<sub>5</sub> = 51618.204 m; E.M.C. = 0.067 m  
Z punto 5, dZ<sub>5</sub> = 16.050 m; E.M.C. = 0.265 m  
X punto 6, dX<sub>6</sub> = 42334.007 m; E.M.C. = 0.076 m  
Y punto 6, dY<sub>6</sub> = 51556.997 m; E.M.C. = 0.076 m  
Z punto 6, dZ<sub>6</sub> = 13.210 m; E.M.C. = 0.290 m  
X punto 7, dX<sub>7</sub> = 42800.075 m; E.M.C. = 0.067 m  
Y punto 7, dY<sub>7</sub> = 51740.317 m; E.M.C. = 0.068 m  
Z punto 7, dZ<sub>7</sub> = 18.154 m; E.M.C. = 0.200 m  
X punto 8, dX<sub>8</sub> = 42734.010 m; E.M.C. = 0.115 m  
Y punto 8, dY<sub>8</sub> = 51888.761 m; E.M.C. = 0.238 m  
Z punto 8, dZ<sub>8</sub> = 630.497 m; E.M.C. = 0.163 m  
X punto 9, dX<sub>9</sub> = 42790.928 m; E.M.C. = 0.062 m  
Y punto 9, dY<sub>9</sub> = 52054.687 m; E.M.C. = 0.063 m  
Z punto 9, dZ<sub>9</sub> = 21.745 m; E.M.C. = 0.098 m  
X punto 10, dX<sub>10</sub> = 43088.117 m; E.M.C. = 0.073 m  
Y punto 10, dY<sub>10</sub> = 51535.237 m; E.M.C. = 0.073 m  
Z punto 10, dZ<sub>10</sub> = 14.437 m; E.M.C. = 0.240 m

X punto de apoyo 1, $dX_1 = -0.014$ m;	E.M.C. = 0.049 m
Y punto de apoyo 1, $dY_1 = 0.030$ m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 1, $dZ_1 = -0.003$ m;	E.M.C. = 0.052 m
X punto de apoyo 2, $dX_2 = 0.025$ m;	E.M.C. = 0.048 m
Y punto de apoyo 2, $dY_2 = -0.018$ m;	E.M.C. = 0.048 m
Z punto de apoyo 2, $dZ_2 = 0.004$ m;	E.M.C. = 0.052 m
X punto de apoyo 3, $dX_3 = -0.018$ m;	E.M.C. = 0.050 m
Y punto de apoyo 3, $dY_3 = -0.011$ m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 3, $dZ_3 = 0.003$ m;	E.M.C. = 0.052 m
X punto de apoyo 4, $dX_4 = 0.008$ m;	E.M.C. = 0.050 m
Y punto de apoyo 4, $dY_4 = -0.001$ m;	E.M.C. = 0.049 m
Z punto de apoyo 4, $dZ_4 = -0.004$ m;	E.M.C. = 0.052 m

Residuos del ajuste:

$R(1) = -0.014$ m	$R(2) = 0.030$ m
$R(3) = -0.003$ m	$R(4) = 0.020$ m
$R(5) = 0.003$ m	$R(6) = 0.044$ m
$R(7) = 0.005$ m	$R(8) = -0.014$ m
$R(9) = 0.038$ m	$R(10) = -0.040$ m
$R(11) = -0.050$ m	$R(12) = -0.012$ m
$R(13) = 0.027$ m	$R(14) = 0.025$ m
$R(15) = -0.080$ m	$R(16) = 0.023$ m
$R(17) = 0.045$ m	$R(18) = -0.040$ m
$R(19) = -0.019$ m	$R(20) = -0.040$ m
$R(21) = 0.053$ m	$R(22) = 0.025$ m
$R(23) = -0.018$ m	$R(24) = 0.004$ m
$R(25) = -0.020$ m	$R(26) = -0.003$ m
$R(27) = -0.044$ m	$R(28) = -0.005$ m
$R(29) = 0.014$ m	$R(30) = -0.038$ m
$R(31) = 0.040$ m	$R(32) = 0.050$ m
$R(33) = 0.012$ m	$R(34) = -0.009$ m
$R(35) = -0.023$ m	$R(36) = -0.021$ m
$R(37) = -0.013$ m	$R(38) = -0.017$ m
$R(39) = 0.050$ m	$R(40) = -0.018$ m
$R(41) = -0.003$ m	$R(42) = 0.037$ m
$R(43) = -0.018$ m	$R(44) = -0.011$ m

R(45) = 0.003 m	R(46) = -0.008 m
R(47) = -0.015 m	R(48) = 0.007 m
R(49) = -0.013 m	R(50) = -0.046 m
R(51) = -0.014 m	R(52) = 0.019 m
R(53) = 0.040 m	R(54) = -0.053 m
R(55) = -0.013 m	R(56) = -0.007 m
R(57) = 0.049 m	R(58) = 0.040 m
R(59) = 0.025 m	R(60) = -0.007 m
R(61) = -0.008 m	R(62) = 0.014 m
R(63) = 0.015 m	R(64) = 0.008 m
R(65) = -0.001 m	R(66) = -0.004 m
R(67) = -0.010 m	R(68) = 0.013 m
R(69) = 0.094 m	R(70) = 0.003 m
R(71) = 0.018 m	R(72) = 0.004 m
R(73) = 0.013 m	R(74) = 0.007 m
R(75) = -0.049 m	R(76) = -0.040 m
R(77) = -0.025 m	R(78) = 0.007 m
R(79) = 0.008 m	R(80) = -0.014 m
R(81) = -0.015 m	R(82) = 0.018 m
R(83) = 0.003 m	R(84) = -0.037 m
R(85) = 0.014 m	R(86) = -0.030 m
R(87) = 0.003 m	R(88) = -0.025 m
R(89) = 0.018 m	R(90) = -0.004 m
R(91) = 0.018 m	R(92) = 0.011 m
R(93) = -0.003 m	R(94) = -0.008 m
R(95) = 0.001 m	R(96) = 0.004 m

Error medio cuadrático de las coordenadas: 0.053 m

#### MODELO 1:

Tx	=	-0.000 m
Ty	=	-0.000 m
Tz	=	0.000 m
H	=	1.0000000000
Omega, $\omega$	=	-0°.0000
Phi, $\phi$	=	-0°.0000
Kappa, $\kappa$	=	-0°.0000

#### MODELO 2:

Tx	=	0.869 m
Ty	=	2.746 m
Tz	=	5.770 m
H	=	0.999959869
Omega, $\omega$	=	0°.0024
Phi, $\phi$	=	0°.0114
Kappa, $\kappa$	=	-0°.0010

**MODELO 3:**

Tx	=	-2.583 m
Ty	=	5.565 m
Tz	=	-99.516 m
H	=	0.999960701
Omega, $\omega$	=	0°.1241
Phi, $\phi$	=	0°.0015
Kappa, $\kappa$	=	-0°.0053

**MODELO 4:**

Tx	=	-2.838 m
Ty	=	9.243 m
Tz	=	-102.643 m
H	=	0.999921072
Omega, $\omega$	=	0°.1253
Phi, $\phi$	=	-0°.0016
Kappa, $\kappa$	=	-0°.0077

**Aplicación de las sucesivas transformaciones a las coordenadas modelo de puntos aislados:**

Modelo	Punto	Coordenadas modelo			Coordenadas terreno		
		X <sub>m</sub> (mm)	Y <sub>m</sub> (mm)	Z <sub>m</sub> (mm)	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)	Z <sub>T</sub> (m)
1	101001	3.792	-62.667	-159.632	42270.131	51011.371	0.164
1	1001	0.000	0.000	0.000	42233.907	51242.854	639.435
2	101014	181.562	-64.838	-165.043	42975.958	50996.861	4.160
2	1003	183.345	-3.794	-3.820	42961.562	51221.529	650.368
3	1006	31.191	161.485	-8.463	42364.100	51883.337	628.081
3	201201	82.025	216.608	-165.238	42590.323	52117.169	19.843
4	1008	214.363	164.810	-14.317	43091.597	51890.484	631.704
4	201309	220.714	258.031	-170.971	43142.602	52277.082	21.692

# CAPÍTULO 4

---

## *AEROTRIANGULACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS HACES DE RAYOS*



#### 4.1. INTRODUCCIÓN

El método de los haces de rayos considera el **rayo (óptico) espacial** como una **unidad** y formula el sistema de ecuaciones utilizando la condición de colinealidad. Esta condición se refiere a que en un fotograma, un punto sobre el terreno, su correspondiente punto imagen y el centro de proyección están alineados.

Si se dispone de las coordenadas imagen, de las coordenadas terreno de los centros de proyección de cada uno de los fotogramas y de las coordenadas terreno de un conjunto de puntos de apoyo, se puede definir un **ajuste espacial de haces de rayos**. Los parámetros de orientación externa se calculan simultáneamente para todos los fotogramas, a la vez que las coordenadas terreno de los puntos medidos en más de un fotograma. Ahora bien, este método requiere inicialmente los valores aproximados de aquellos parámetros o coordenadas a corregir.

El **principio** del ajuste se basa en que los haces de rayos se desplazan y rotan, de modo que:

- Intersecan en los puntos de paso tan bien como pueden.
- Pasan a través de los puntos de apoyo tan cerca como les es posible.

Los **datos iniciales** necesarios para realizar el ajuste son:

- ✓ Los parámetros de orientación interna del fotograma:  $f, x_0, y_0$ .
- ✓ Los parámetros de orientación externa del fotograma:  $\omega, \varphi, \kappa, X_L, Y_L, Z_L$ .
- ✓ Las coordenadas imagen de los puntos de apoyo, de paso y de densificación:  $x, y$ .
- ✓ Las coordenadas terreno de los puntos de apoyo:  $X, Y, Z$ , y las coordenadas terreno aproximadas de aquellos puntos que se impresionen en más de un fotograma y se deseen calcular sus coordenadas compensadas simultáneamente en la compensación.

#### 4.2. MODELO MATEMÁTICO

A partir de la condición de colinealidad se pueden definir dos ecuaciones por cada imagen de punto medido:

$$\begin{aligned} x &= f \frac{m_{11}(X - X_L) + m_{12}(Y - Y_L) + m_{13}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)} \\ y &= f \frac{m_{21}(X - X_L) + m_{22}(Y - Y_L) + m_{23}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)} \end{aligned} \quad (28)$$

siendo los coeficientes de la matriz de rotación  $(M)_{3x3}$  los que siguen:

$$\begin{aligned}
 m_{11} &= \cos\varphi \cos\kappa \\
 m_{12} &= \cos\varphi \sin\kappa \\
 m_{13} &= -\sin\varphi \\
 m_{21} &= \sin\varphi \sin\omega \cos\kappa - \cos\omega \sin\kappa \\
 m_{22} &= \sin\varphi \sin\omega \sin\kappa + \cos\omega \cos\kappa \\
 m_{23} &= \sin\omega \cos\varphi \\
 m_{31} &= \sin\varphi \cos\omega \cos\kappa + \sin\omega \sin\kappa \\
 m_{32} &= \sin\varphi \cos\omega \sin\kappa - \sin\omega \cos\kappa \\
 m_{33} &= \cos\omega \cos\varphi
 \end{aligned}$$

Tras las linealización de (28) obtenemos las siguientes ecuaciones de error:

$$\begin{aligned}
 dx - (F_x)_o &= B_{14}d\omega + B_{15}d\varphi + B_{16}d\kappa - B_{11}dX_L - B_{12}dY_L - B_{13}dZ_L + B_{11}dX + B_{12}dY + B_{13}dZ \\
 dy - (F_y)_o &= B_{24}d\omega + B_{25}d\varphi + B_{26}d\kappa - B_{21}dX_L - B_{22}dY_L - B_{23}dZ_L + B_{21}dX + B_{22}dY + B_{23}dZ
 \end{aligned} \tag{29}$$

siendo:

$$- (F_x)_o = x_m - x_c = x - f \frac{m_{11}(X - X_L) + m_{12}(Y - Y_L) + m_{13}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)} = x - f \frac{r}{q}$$

$(x_m, y_m)$  ≡ coordenada imagen medida

$(x_c, y_c)$  ≡ coordenada imagen calculada

$$- (F_y)_o = y_m - y_c = y - f \frac{m_{21}(X - X_L) + m_{22}(Y - Y_L) + m_{23}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)} = y - f \frac{s}{q}$$

- Los coeficientes  $B_{ij}$  son las derivadas parciales de las funciones  $x_c$  e  $y_c$  particularizadas para los valores aproximados de los parámetros de orientación externa (véase la deducción teórica en el *Tomo II de Chueca, 1982*<sup>5</sup>):

$$B_{14} = -x_c/q^*(m_{21}^*(X-X_L) + m_{22}^*(Y-Y_L) + m_{23}^*(Z-Z_L))$$

$$B_{15} = -f/q^*(m_{13}^*((X-X_L)^*\cos(\kappa) + (Y-Y_L)^*\sin(\kappa)) - \cos(\varphi)^*(Z-Z_L)) + \\ + x_c/q^*(m_{33}^*((X-X_L)^*\cos(\kappa) + (Y-Y_L)^*\sin(\kappa)) - \sin(\varphi)^*\cos(\omega)^*(Z-Z_L))$$

$$B_{16} = -(f/q^*(m_{11}^*(Y-Y_L) - m_{12}^*(X-X_L)) - x_c/q^*(m_{31}^*(Y-Y_L) - m_{32}^*(X-X_L)))$$

$$B_{11} = -(f^*m_{11} - m_{31}^*x_c)/q$$

$$B_{12} = -(f^*m_{12} - m_{32}^*x_c)/q$$

$$B_{13} = -(f^*m_{13} - m_{33}^*x_c)/q$$

$$B_{24} = - (f/q^*(m_{31}^*(X-X_L) + m_{32}^*(Y-Y_L) + m_{33}^*(Z-Z_L)) + \\ + y_c/q^*(m_{21}^*(X-X_L) + m_{22}^*(Y-Y_L) + m_{23}^*(Z-Z_L)))$$

$$B_{25} = - f/q^*(m_{23}^*((X-X_L)^*\cos(\kappa) + (Y-Y_L)^*\sin(\kappa)) - \sin(\varphi)^*\sin(\omega)^*(Z-Z_L)) + \\ + y_c/q^*(m_{33}^*((X-X_L)^*\cos(\kappa) + (Y-Y_L)^*\sin(\kappa)) - \sin(\varphi)^*\cos(\omega)^*(Z-Z_L))$$

$$B_{26} = - (f/q^*(m_{21}^*(Y-Y_L) - m_{22}^*(X-X_L)) - y_c/q^*(m_{31}^*(Y-Y_L) - m_{32}^*(X-X_L)))$$

$$B_{21} = -(f^*m_{21} - m_{31}^*y_c)/q$$

$$B_{22} = -(f^*m_{22} - m_{32}^*y_c)/q$$

$$B_{23} = -(f^*m_{23} - m_{33}^*y_c)/q$$

Las **incógnitas** son los seis elementos de orientación externa de cada fotograma y las tres correcciones a las coordenadas terreno de cada punto considerado no fijo. Si los haces de rayos pasan a través de un punto fijo, las correcciones a las coordenadas terreno desaparecen.

A continuación se expresan en notación matricial las ecuaciones de observación generadas por cada imagen de punto medido sobre un fotograma:

- Si el punto es de **paso** y/o de **densificación**:

$$\begin{pmatrix} -(F_x)_0 \\ -(F_y)_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} = \left( \begin{array}{cccc|ccc} B_{14} & B_{15} & B_{16} & -B_{11} & -B_{12} & -B_{13} & B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{24} & B_{25} & B_{26} & -B_{21} & -B_{22} & -B_{23} & B_{21} & B_{22} & B_{23} \end{array} \right) \begin{pmatrix} d\omega \\ d\varphi \\ d\kappa \\ dX_L \\ dY_L \\ dZ_L \\ \hline dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} \quad (30)$$

$$K_{(2*punto,1)} + R_{(2*punto,1)} = A_{(2,6+3*PP)} \ X_{(6+3*PP,1)}$$

- Si el punto es de **apoyo** (exento de error):

$$\begin{pmatrix} -(F_x)_0 \\ -(F_y)_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} = \left( \begin{array}{cccc|ccc} B_{14} & B_{15} & B_{16} & -B_{11} & -B_{12} & -B_{13} & 0 & 0 & 0 \\ B_{24} & B_{25} & B_{26} & -B_{21} & -B_{22} & -B_{23} & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \begin{pmatrix} d\omega \\ d\varphi \\ d\kappa \\ dX_L \\ dY_L \\ dZ_L \\ \hline 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (31)$$

$$K_{(2*punto,1)} + R_{(2*punto,1)} = A_{(2,6|3*0*PP)} \ X_{(6|3*0*PP,1)}$$

En el modelo matemático considerado (ecuaciones de colinealidad) no se han introducido **parámetros adicionales**. Los parámetros adicionales generalmente se utilizan para modelar (corregir) los defectos de orientación interna de la cámara, así como posibles errores sistemáticos introducidos durante el proceso de ajuste. Si se está trabajando con cámaras métricas, la introducción de dichos parámetros se utiliza para compensar los errores residuales debidos a: la distorsión, la deformación del fotograma y la refracción, mientras que si se trabaja con cámaras no métricas su consideración es fundamental para conseguir resultados de precisión. Además, la introducción de los mismos requiere un estudio de modelización muy detallado, acom-

pañado del tratamiento estadístico correspondiente (propio de cursos más avanzados).

Llegados a este punto, podemos decir que la metodología de cálculo y compensación será la siguiente:

A. Si las coordenadas imagen que se disponen no estuviesen corregidas por el efecto de esfericidad terrestre (caso usual en aerotriangulación por no conocer las coordenadas terreno de los puntos de paso y/o de densificación con suficiente exactitud), entonces se corregirían las coordenadas imagen de dicho efecto, utilizando las coordenadas terreno aproximadas.

B. Establecimiento y resolución del sistema de ecuaciones:

+ Incógnitas:

- Seis parámetros de orientación externa por fotograma:  $d\omega$ ,  $d\varphi$ ,  $d\kappa$ ,  $dX_L$ ,  $dY_L$ ,  $dZ_L$ .
- Tres correcciones a las coordenadas terreno aproximadas por punto:  $dX$ ,  $dY$ ,  $dZ$  (considerándose el sistema ligado).

+ Ecuaciones:

- Dos ecuaciones por imagen de punto medido en más de un fotograma.

Estructura del sistema de ecuaciones para todo el bloque:

$$K_{(2*punto,1)} + R_{(2*punto,1)} = A_{(2*punto,6*foto+3*PP)} \ X_{(6*foto+3*PP,1)}$$

C. Una vez resuelto el sistema, se actualizarán tanto los valores de los seis parámetros de orientación externa por fotograma como las coordenadas terreno aproximadas, por medio de las expresiones:

$$X_L^{i+1} = X_L^i + dX_L^i; \quad \omega^{i+1} = \omega^i + d\omega^i$$

$$Y_L^{i+1} = Y_L^i + dY_L^i; \quad \varphi^{i+1} = \varphi^i + d\varphi^i \quad (\text{Parámetros de orientación externa})$$

$$Z_L^{i+1} = Z_L^i + dZ_L^i; \quad \kappa^{i+1} = \kappa^i + d\kappa^i$$

$$X^{i+1} = X^i + dX^i$$

$$Y^{i+1} = Y^i + dY^i \quad (\text{Coordenadas terreno})$$

$$Z^{i+1} = Z^i + dZ^i$$

siendo  $i$  el orden de la iteración correspondiente.

- D. Con los nuevos valores de los parámetros de orientación externa corregidos y de las coordenadas terreno actualizadas, se volverá a ajustar el bloque hasta que se alcancen unas correcciones a los parámetros de orientación externa despreciables.

#### 4.3. CORRECCIÓN DE ESFERICIDAD A LAS COORDENADAS IMAGEN

A diferencia de lo que sucede con el método de los modelos independientes, en el ajuste de los haces de rayos la distorsión producida por el efecto de esfericidad terrestre se corrige generalmente en las coordenadas imagen y no en las coordenadas terreno.

Si las **coordenadas terreno aproximadas** que se disponen son bastante buenas (fundamentalmente la altitud sobre el terreno), la corrección de esfericidad se realiza previamente a la compensación del bloque. Sin embargo, cuando las coordenadas de los puntos de paso y de densificación no son fiables, la influencia de la corrección radial sobre las coordenadas imagen no es despreciable. En este segundo caso, es preferible efectuar una primera compensación previa a la corrección para obtener con suficiente aproximación las altitudes de los centros de proyección de cada fotograma y las coordenadas terreno de los puntos (de paso y/o de densificación).

Las fórmulas habitualmente utilizadas para efectuar la corrección de esfericidad suponen que la fotografía es vertical y que la influencia de la altitud del punto sobre el terreno es despreciable frente a la altitud de vuelo. No obstante, en la formulación (34) si que se considera la altitud del punto sobre el terreno.

Las coordenadas imagen ( $x, y$ ) y las coordenadas imagen sin corrección de esfericidad ( $x_{S.C.E.}, y_{S.C.E.}$ ) están relacionadas según las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}\mathbf{x} &= \mathbf{x}_{S.C.E.} + \Delta\mathbf{x} \\ \mathbf{y} &= \mathbf{y}_{S.C.E.} + \Delta\mathbf{y}\end{aligned}\tag{32}$$

Los incrementos de coordenadas imagen ( $\Delta x, \Delta y$ ) se obtienen a partir del incremento de distancia radial  $\Delta r$  producido por la esfericidad terrestre:

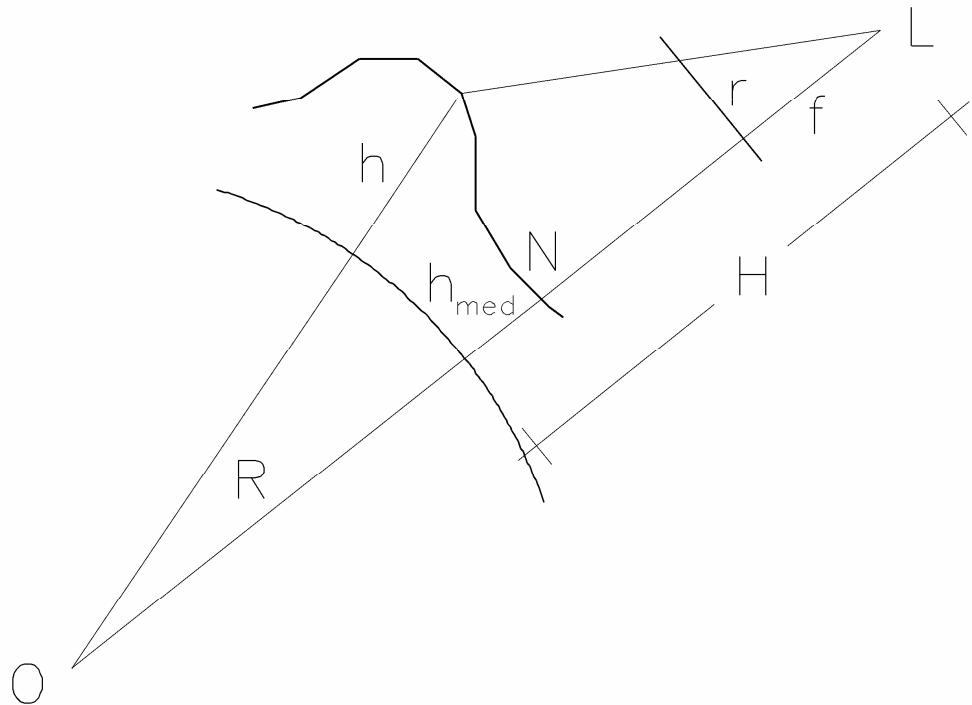
$$\begin{aligned}\Delta\mathbf{x} &= \Delta r \frac{\mathbf{x}}{r} \\ \Delta\mathbf{y} &= \Delta r \frac{\mathbf{y}}{r}\end{aligned}\tag{33}$$

siendo:

$$\Delta r = \frac{r}{2 \cdot (R + h_{med})} \left( \frac{r^2(H-h)}{f^2} - 2(h - h_{med}) \right) \quad (34)$$

con notación usual (Fig. 14):

- $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ , Distancia radial.
- $H$ , Altitud de vuelo.
- $h$ , Altitud del punto sobre el terreno.
- $h_{med}$ , Altitud media del terreno tomada en el punto nadiral sobre el terreno para cada fotograma.
- $R$ , Radio de la tierra (aproximadamente 6370 km.).
- $f$ , Distancia focal.

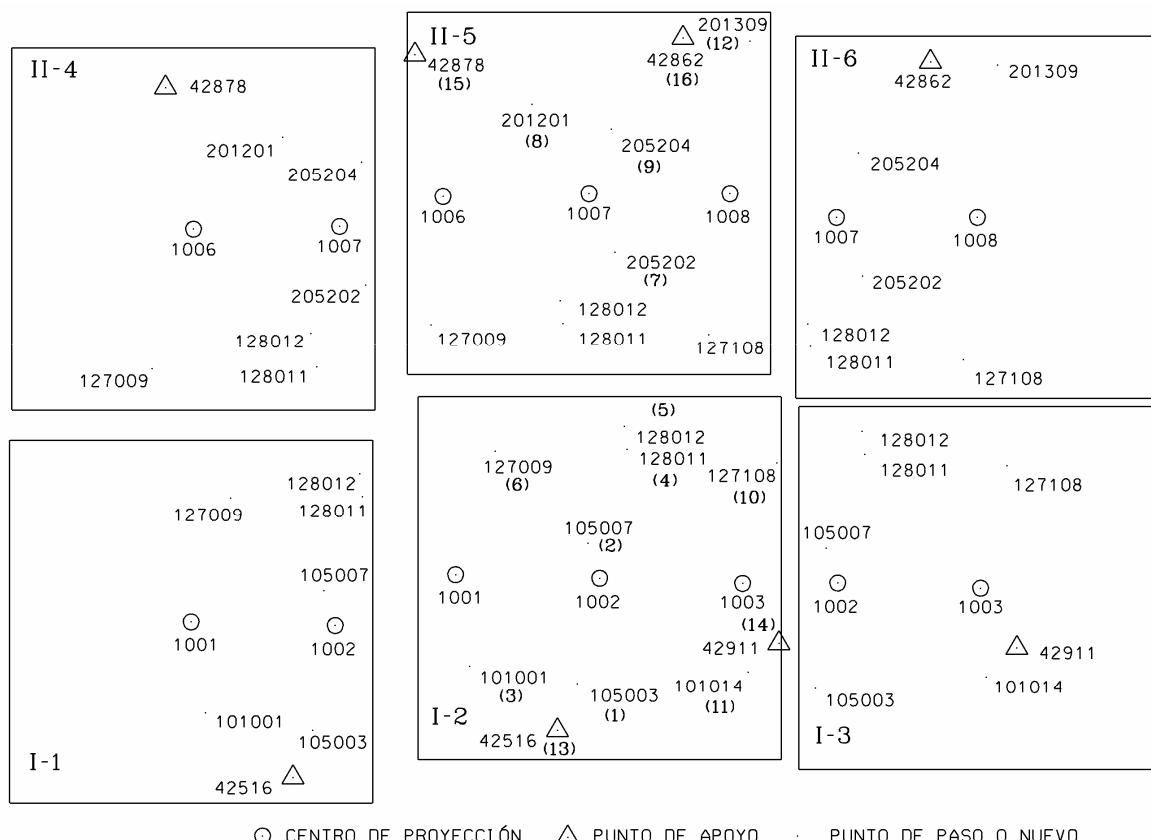


**Figura 14. Representación gráfica de los términos utilizados en la fórmula (34)**

Nótese que en (34) se tiene en cuenta la **altitud** del **punto** sobre el terreno. De este modo, la influencia de la forma de la tierra en un ajuste por el método de los haces de rayos queda resuelto, siempre y cuando la influencia de la falta de inclinación de la cámara sea despreciable. Si ésta no lo fuera, entonces habría que realizar la corrección de esfericidad directamente a las coordenadas terreno (24).

#### 4.4. EJEMPLO DE APLICACIÓN: AEROTRIANGULACIÓN POR EL MÉTODO DE HACES DE RAYOS

Para un mayor entendimiento del sistema de ecuaciones que se va a formar, en la Fig. 15 se puede observar la distribución de los puntos utilizados en el ajuste del bloque. En los fotogramas centrales de cada pasada aparece representado el cambio de numeración sufrido provisionalmente en los puntos. La resolución mínima cuadrática del sistema de ecuaciones se efectúa utilizando el método de ecuaciones indirectas.



**Figura 15. Distribución de las imágenes de los puntos utilizados en la compensación del bloque fotogramétrico. En los fotogramas centrales figura entre paréntesis el cambio de numeración de los puntos**

Con los datos del presente bloque, el sistema de ecuaciones tiene:

- Incógnitas:

- Parámetros de transformación:  $6 \times 6 = 36$
- Correcciones a las coordenadas terreno:  $3 \times 12 = 36$
- Total:  $36 + 36 = 72$

- Ecuaciones de observación:

$$-48 \text{ puntos} * 2 \text{ ecuaciones/punto} = 96$$

- Grados de libertad:  $96 - 72 = 24$

El sistema de ecuaciones final descompuesto por fotogramas presenta la siguiente estructura<sup>6</sup>:

$$\begin{pmatrix} R_I \\ R_{II} \\ R_{III} \\ R_{IV} \\ R_V \\ R_{VI} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_I^{PA} & & & & & & \\ B_I^{PP} & B_{II}^{PA} & & & & & \\ & B_{II}^{PP} & B_{III}^{PA} & & & & \\ & & B_{III}^{PP} & B_{IV}^{PA} & & & \\ & & & B_{IV}^{PP} & B_V^{PA} & & \\ & & & & B_V^{PP} & B_{VI}^{PA} & \\ & & & & & B_{VI}^{PP} & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ -B_{I\text{menor}}^{PP} \\ 0 \\ -B_{II\text{menor}}^{PP} \\ 0 \\ -B_{III\text{menor}}^{PP} \\ 0 \\ -B_{IV\text{menor}}^{PP} \\ 0 \\ -B_{V\text{menor}}^{PP} \\ 0 \\ -B_{VI\text{menor}}^{PP} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_I \\ x_{II} \\ x_{III} \\ x_{IV} \\ x_V \\ x_{VI} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} K_I \\ K_{II} \\ K_{III} \\ K_{IV} \\ K_V \\ K_{VI} \end{pmatrix} \quad (35)$$

$$\begin{pmatrix} dx_I \\ dx_{II} \\ dx_{III} \\ dx_{IV} \\ dx_V \\ dx_{VI} \\ dx_{VII} \\ dx_{VIII} \\ dx_{IX} \\ dx_X \\ dx_{XI} \\ dx_{XII} \end{pmatrix}$$

<sup>6</sup> Los subíndices (I-VI) indican la influencia de cada fotograma sobre el total, y los superíndices: *PA*, la contribución de un punto de apoyo; *PP*, la contribución de un punto de paso.

que en notación convencional se ajusta a:

$$R_{(2^*punto,1)} = A_{(2^*punto,6^*foto+3^*PP)} X_{(6^*foto+3^*PP,1)} - K_{(2^*punto,1)}$$

La resolución del sistema se realiza de dos modos distintos:

- ✓ **Caso 1:** Tomando todos los puntos medidos en el bloque.
- ✓ **Caso 2:** Tomando casi todos los puntos medidos, excepto el punto de apoyo 42516.

#### 4.4.1. CASO 1: TOMANDO TODOS LOS PUNTOS MEDIDOS

Disponemos de: 6 fotogramas, 48 puntos de los que se conocen las coordenadas imagen, 12 puntos con coordenadas terreno aproximadas y 4 puntos de apoyo. Por tanto, el sistema ligado resultante presenta una dimensión:

$$R_{(96,1)} = A_{(96,72)} X_{(72,1)} - K_{(96,1)}$$

#### Datos de partida:

Distancia focal = -153.66 mm.

Parámetros de Orientación Externa iniciales<sup>7</sup>:

##### FOTOGRAMA 1:

- Omega =	0.0000 g
- Phi =	0.0000 g
- Kappa =	0.0000 g
- X <sub>L</sub> =	42234.049 m
- Y <sub>L</sub> =	51242.226 m
- Z <sub>L</sub> =	639.785 m

##### FOTOGRAMA 4:

- Omega =	0.0000 g
- Phi =	0.0000 g
- Kappa =	0.0000 g
- X <sub>L</sub> =	42364.272 m
- Y <sub>L</sub> =	51882.688 m
- Z <sub>L</sub> =	629.061 m

<sup>7</sup> Se seleccionan como coordenadas terreno iniciales de los centros de proyección las coordenadas medias de los centros de proyección: 1001, 1002, 1003, 1006, 1007 y 1008 que figuran en el apartado 2.5 (Cálculo de coordenadas terreno aproximadas). Los parámetros angulares se ponen a cero puesto que: el eje óptico de la cámara está aproximadamente vertical en cada uno de los disparos, y los sistemas de coordenadas imagen y terreno están prácticamente orientados tomando ( $x_{S.C.E.} = x_i$ ,  $y_{S.C.E.} = -y_i$ ).

**FOTOGRAMA 2:**

- Omega = 0.0000 g  
 - Phi = 0.0000 g  
 - Kappa = 0.0000 g  
 -  $X_L$  = 42599.242 m  
 -  $Y_L$  = 51233.654 m  
 -  $Z_L$  = 643.955 m

**FOTOGRAMA 5:**

- Omega = 0.0000 g  
 - Phi = 0.0000 g  
 - Kappa = 0.0000 g  
 -  $X_L$  = 42734.141 m  
 -  $Y_L$  = 51889.322 m  
 -  $Z_L$  = 630.851 m

**FOTOGRAMA 3:**

- Omega = 0.0000 g  
 - Phi = 0.0000 g  
 - Kappa = 0.0000 g  
 -  $X_L$  = 42961.678 m  
 -  $Y_L$  = 51220.849 m  
 -  $Z_L$  = 650.551 m

**FOTOGRAMA 6:**

- Omega = 0.0000 g  
 - Phi = 0.0000 g  
 - Kappa = 0.0000 g  
 -  $X_L$  = 43091.742 m  
 -  $Y_L$  = 51889.790 m  
 -  $Z_L$  = 632.547 m

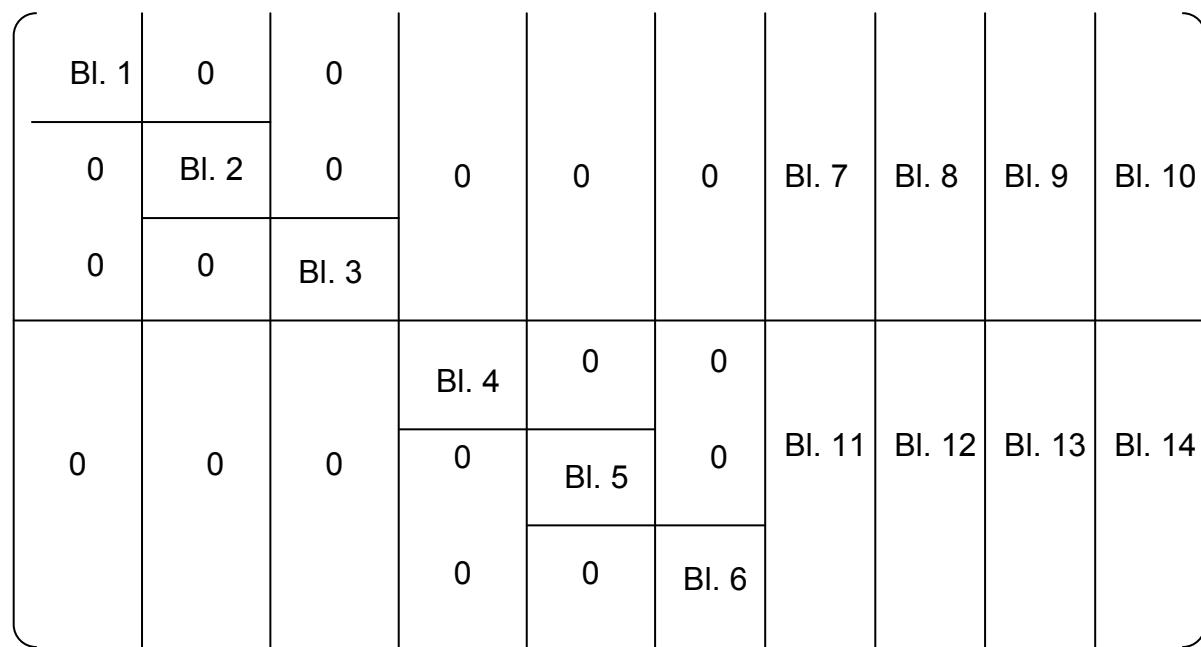
Fotograma	Punto	Coord. imagen sin c.e.		Coord. imagen	
		x <sub>S.C.E.</sub> (mm)	y <sub>S.C.E.</sub> (mm)	x(mm)	y(mm)
1	1	69.872	-70.535	69.874	-70.537
1	2	74.929	15.202	74.930	15.202
1	3	3.650	-60.319	3.650	-60.320
1	4	96.716	71.841	96.719	71.843
1	5	94.951	85.640	94.954	85.643
1	6	17.908	71.677	17.908	71.678
1	13	57.698	-99.239	57.700	-99.242
2	1	-19.245	-71.560	-19.245	-71.561
2	2	-14.000	15.706	-14.000	15.706
2	3	-86.982	-62.268	-86.984	-62.270
2	4	8.244	73.188	8.244	73.189
2	5	6.206	87.071	6.206	87.072
2	6	-73.257	72.255	-73.259	72.257
2	10	105.795	67.564	105.799	67.566
2	11	84.036	-59.492	84.038	-59.493
2	13	-30.940	-101.093	-30.941	-101.096
2	14	103.741	-41.209	103.744	-41.210
3	14	19.192	-38.509	19.192	-38.509
3	1	-109.268	-69.939	-109.272	-69.942
3	2	-103.753	18.250	-103.756	18.250
3	11	-1.636	-57.057	-1.636	-57.058
3	10	21.211	72.038	21.211	72.039
3	4	-80.696	77.135	-80.698	77.137
3	5	-83.003	91.387	-83.006	91.390
4	15	-18.933	89.976	-18.933	89.977

4	6	-14.993	-82.920	-14.993	-82.921
4	4	68.136	-84.058	68.138	-84.060
4	5	67.008	-69.756	67.009	-69.757
4	8	54.097	55.023	54.098	55.024
4	7	102.117	-40.463	102.119	-40.464
4	9	102.785	37.391	102.787	37.392
5	16	57.630	94.928	57.631	94.930
5	15	-113.953	89.974	-113.958	89.978
5	6	-107.500	-84.793	-107.504	-84.796
5	10	82.352	-91.658	82.354	-91.661
5	4	-21.972	-84.727	-21.972	-84.728
5	5	-23.545	-70.175	-23.545	-70.176
5	8	-38.851	56.096	-38.851	56.096
5	12	98.950	91.557	98.953	91.560
5	7	12.077	-39.831	12.077	-39.831
5	9	11.341	39.141	11.341	39.141
6	16	-30.293	93.401	-30.294	93.403
6	10	-4.603	-94.911	-4.603	-94.913
6	4	-111.957	-87.728	-111.962	-87.732
6	5	-113.558	-72.820	-113.562	-72.823
6	12	11.721	90.506	11.721	90.507
6	7	-77.026	-41.842	-77.027	-41.843
6	9	-77.299	37.667	-77.300	37.668

Coord. terreno aprox., excepto P.A. (nº punto>12)

	X(m)	Y(m)	Z(m)
Punto 1	42542.474	50966.925	9.273
Punto 2	42570.847	51321.011	11.524
Punto 3	42270.132	51011.405	0.294
Punto 4	42668.479	51560.149	14.933
Punto 5	42661.206	51618.180	16.679
Punto 6	42334.035	51556.984	13.900
Punto 7	42800.092	51740.307	18.620
Punto 8	42590.379	52117.122	21.041
Punto 9	42790.932	52054.685	21.919
Punto 10	43088.155	51535.214	15.011
Punto 11	42975.932	50996.851	4.135
Punto 12	43142.646	52276.994	22.944
Punto 13	42492.400	50847.590	1.777
Punto 14	43066.100	51069.990	2.528
Punto 15	42293.350	52242.940	20.044
Punto 16	42972.950	52284.020	24.204

Debido al tamaño tan considerable de la **matriz A**, ésta se divide en bloques del siguiente modo:



### Matriz A. Bloque 1.

```

-0.032819464 -0.190428276 0.067092699 0.000243707 0.000000000 0.000119213
 0.182954743  0.032819464 0.075165240 0.000000000 0.000243707 -0.000106410
 0.010329842 -0.197819041 -0.019269226 0.000244580 0.000000000 0.000131114
 0.156076394 -0.010329842 0.082374014 0.000000000 0.000244580 0.000030671
-0.003129464 -0.154149212 0.055462790 0.000240285 0.000000000 0.000013558
 0.173679010  0.003129464 0.008670198 0.000000000 0.000240285 -0.000086730
 0.054356096 -0.227935591 -0.078181791 0.000245914 0.000000000 0.000170973
 0.193438683 -0.054356096 0.106832520 0.000000000 0.000245914 0.000125120
 0.063556387 -0.225872440 -0.092711500 0.000246603 0.000000000 0.000169054
 0.209597929 -0.063556387 0.105338329 0.000000000 0.000246603 0.000148789
 0.012344904 -0.157581481 -0.077275720 0.000245508 0.000000000 0.000039220
 0.192522013 -0.012344904 0.024547399 0.000000000 0.000245508 0.000123466
-0.038487121 -0.178855842 0.095045466 0.000240843 0.000000000 0.000097526
 0.212449800  0.038487121 0.062222127 0.000000000 0.000240843 -0.000148972

```

### **Matriz A. Bloque 2.**

0.005775935	-0.154889294	0.064576557	0.000242105	0.000000000	-0.000021655
0.180798694	-0.005775935	-0.013743845	0.000000000	0.000242105	-0.000101746
-0.000952959	-0.153969755	-0.021224887	0.000242967	0.000000000	-0.000010909
0.156591770	0.000952959	-0.006899054	0.000000000	0.000242967	0.000033561
0.027128597	-0.193832476	0.053057093	0.000238728	0.000000000	-0.000122064
0.171980025	-0.027128597	-0.078567822	0.000000000	0.000238728	-0.000082430
0.008778977	-0.155521683	-0.079757499	0.000244284	0.000000000	0.000026889
0.195058273	-0.008778977	0.016913490	0.000000000	0.000244284	0.000126796
0.009304834	-0.155159417	-0.094195004	0.000244964	0.000000000	0.000024198
0.211402410	-0.009304834	0.015178946	0.000000000	0.000244964	0.000150165
-0.033192112	-0.180885375	-0.07854843	0.000243883	0.000000000	-0.000102657
0.194126525	0.033192112	-0.064679604	0.000000000	0.000243883	0.000125155
0.057271979	-0.246513877	-0.073675414	0.000244314	0.000000000	0.000189919
0.188985177	-0.057271979	0.119448427	0.000000000	0.000244314	0.000117141
-0.033482394	-0.206921499	0.056870915	0.000240161	0.000000000	0.000141393
0.174708425	0.033482394	0.090466358	0.000000000	0.000240161	-0.000088886
0.015369201	-0.157913378	0.092377182	0.000239279	0.000000000	-0.000039810
0.209195233	-0.015369201	-0.025565095	0.000000000	0.000239279	-0.000143850
-0.028536738	-0.235062167	0.039207284	0.000239560	0.000000000	0.000174362
0.163663977	0.028536738	0.111840319	0.000000000	0.000239560	-0.000061125

### **Matriz A. Bloque 3.**

-0.005764255	-0.157649918	0.035771869	0.000237121	0.000000000	0.000038210
0.161987649	0.005764255	0.024760671	0.000000000	0.000237121	-0.000055202
0.039773821	-0.219322737	0.060844067	0.000239615	0.000000000	-0.000156637
0.177752155	-0.039773821	-0.100447679	0.000000000	0.000239615	-0.000094879
-0.014730395	-0.211137837	-0.024084887	0.000240459	0.000000000	-0.000147066
0.157435099	0.014730395	-0.093978958	0.000000000	0.000240459	0.000037690
-0.001174134	-0.153734715	0.053246721	0.000237711	0.000000000	0.000005242
0.172111213	0.001174134	0.003388328	0.000000000	0.000237711	-0.000082372
0.015125885	-0.159745527	-0.076006744	0.000241779	0.000000000	0.000048116
0.191256154	-0.015125885	0.030579438	0.000000000	0.000241779	0.000119594
-0.037836835	-0.186355910	-0.082025427	0.000241749	0.000000000	-0.000111514
0.197446091	0.037836835	-0.070880558	0.000000000	0.000241749	0.000129048
-0.045657713	-0.188187546	-0.096318944	0.000242415	0.000000000	-0.000114911
0.214035758	0.045657713	-0.072838882	0.000000000	0.000242415	0.000151953

## **Matriz A. Bloque 7.**

## **Matriz A. Bloque 8.**

## **Matriz A. Bloque 9.**

## Matriz A. Bloque 10.

### **Matriz A. Bloque 4.**

-0.010584964	-0.155743838	-0.090894544	0.000252308	0.000000000	-0.000029382
0.207426875	0.010584964	-0.017894204	0.000000000	0.000252308	0.000149248
0.003998941	-0.154031245	0.081357038	0.000249788	0.000000000	-0.000012278
0.196735410	-0.003998941	-0.007552848	0.000000000	0.000249788	-0.000132253
-0.039975552	-0.191363480	0.080701975	0.000250208	0.000000000	0.000123940
0.196044543	0.039975552	0.076115155	0.000000000	0.000250208	-0.000131409
-0.032182126	-0.189787329	0.066370826	0.000250922	0.000000000	0.000121668
0.182327751	0.032182126	0.074507217	0.000000000	0.000250922	-0.000108381
0.022032293	-0.174909715	-0.059246618	0.000252722	0.000000000	0.000093981
0.176503692	-0.022032293	0.057142202	0.000000000	0.000252722	0.000097442
-0.025587782	-0.231982718	0.035840097	0.000251720	0.000000000	0.000179713
0.162019446	0.025587782	0.109704462	0.000000000	0.000251720	-0.000058712
0.030590254	-0.229542937	-0.043530276	0.000253087	0.000000000	0.000177853
0.165991674	-0.030590254	0.107982277	0.000000000	0.000253087	0.000071697

### **Matriz A. Bloque 5.**

0.039355400	-0.177471683	-0.099974606	0.000253294	0.000000000	0.000099710
0.218705697	-0.039355400	0.060488869	0.000000000	0.000253294	0.000164799
-0.064197764	-0.233683631	-0.088959265	0.000251569	0.000000000	-0.000181546
0.205161698	0.064197764	-0.110889274	0.000000000	0.000251569	0.000145642
0.053680252	-0.218286348	0.082773279	0.000249064	0.000000000	-0.000161523
0.198248154	-0.053680252	-0.099651817	0.000000000	0.000249064	-0.000134165
-0.050790351	-0.204436869	0.088354500	0.000249513	0.000000000	0.000143432
0.204463838	0.050790351	0.088331046	0.000000000	0.000249513	-0.000143470
0.008754944	-0.155406398	0.082122495	0.000249481	0.000000000	-0.000026597
0.197549784	-0.008754944	-0.016381439	0.000000000	0.000249481	-0.000133333
0.008055891	-0.155826969	0.067837153	0.000250191	0.000000000	-0.000029711
0.183608453	-0.008055891	-0.018247644	0.000000000	0.000250191	-0.000110453
-0.013532236	-0.162200041	-0.057401072	0.000251980	0.000000000	-0.000059404
0.175102686	0.013532236	-0.036225167	0.000000000	0.000251980	0.000094129
0.065848874	-0.223047508	-0.097991435	0.000252769	0.000000000	0.000169857
0.216150703	-0.065848874	0.103257370	0.000000000	0.000252769	0.000161195
-0.004028854	-0.155443089	0.037400336	0.000250984	0.000000000	0.000027037
0.162763118	0.004028854	0.016552626	0.000000000	0.000250984	-0.000061089
0.003891716	-0.154996541	-0.041728269	0.000252343	0.000000000	0.000023534
0.164991827	-0.003891716	0.014330837	0.000000000	0.000252343	0.000068527

### **Matriz A. Bloque 6.**

-0.019444674	-0.159519198	-0.099577675	0.000252588	0.000000000	-0.000049323
0.218190219	0.019444674	-0.030005406	0.000000000	0.000252588	0.000163687
0.000512480	-0.153665184	0.088228295	0.000248828	0.000000000	-0.000001445
0.204318805	-0.000512480	-0.000892545	0.000000000	0.000248828	-0.000142872
0.056205407	-0.225828417	0.082013419	0.000248796	0.000000000	-0.000170505
0.197433272	-0.056205407	-0.105306215	0.000000000	0.000248796	-0.000132791
0.047374079	-0.228753871	0.067767107	0.000249502	0.000000000	-0.000174419
0.183546638	-0.047374079	-0.107419385	0.000000000	0.000249502	-0.000110035
0.008150015	-0.154731446	-0.097600843	0.000252066	0.000000000	0.000021048
0.215653522	-0.008150015	0.012831152	0.000000000	0.000252066	0.000160106
0.017773835	-0.188337783	0.037414151	0.000250290	0.000000000	-0.000118902
0.162769845	-0.017773835	-0.072997179	0.000000000	0.000250290	-0.000060942
-0.020441236	-0.190949962	-0.041494602	0.000251643	0.000000000	-0.000123965
0.164865271	0.020441236	-0.075696602	0.000000000	0.000251643	0.000067954

## **Matriz A. Bloque 11.**

Matriz A. Bloque 12.

## Matriz A. Bloque 13.

## **Matriz A. Bloque 14.**

**Matriz K**

$$\begin{pmatrix} 0.0052917369210 \\ 0.0034438181291 \\ 0.0074440126567 \\ 0.0040670226020 \\ 0.0050201579517 \\ 0.0048568770402 \\ 0.0101136835642 \\ 0.0063386836057 \\ 0.0103842462478 \\ 0.0070687194019 \\ 0.0066391802491 \\ 0.0055978452780 \\ 0.0045224296308 \\ 0.0041964529052 \\ 0.0055014181641 \\ 0.0069844209796 \\ 0.0071009967967 \\ 0.0055188300454 \\ 0.0084165105127 \\ 0.0092125767806 \\ 0.0086693867713 \\ 0.0065685812266 \\ 0.0089728438313 \\ 0.0071225768010 \\ 0.0085790470599 \\ 0.0065982144724 \\ 0.0136500289855 \\ 0.0061092438382 \\ 0.0064283048862 \\ 0.0026225384927 \\ 0.0053757093929 \\ 0.0087184465909 \\ 0.0080963783164 \\ 0.0020028846072 \\ 0.0055685026992 \\ 0.0027374692526 \\ 0.0088242595340 \\ 0.0090974534997 \\ 0.0097766105277 \\ 0.0058344349785 \\ 0.0050243466639 \\ 0.0038109182909 \\ 0.0093681439206 \\ 0.0039677460486 \\ 0.0098175927859 \\ 0.0048883716102 \\ 0.0101667327492 \\ 0.0049290653117 \\ 0.0010390878654 \\ 0.0009171560125 \\ 0.0074403609038 \\ 0.0015641167300 \\ 0.0079776078137 \\ 0.0033579327638 \\ 0.0074980243856 \end{pmatrix}$$

0.0033864151344
0.0030446379950
0.0042230440189
0.0075851467321
0.0046238205344
0.0051950340700
0.0061384603940
0.0028575846362
0.0050444901157
0.0030682758283
-0.0010183276008
0.0078521382239
0.0020228408067
0.0059766052283
0.0033062163531
0.0055908923068
0.0026057806543
0.0052976036051
0.0023385857565
0.0026261510384
0.0013046136558
0.0043040346882
0.0064313488657
0.0044755900634
0.0024307822795
0.0029898107787
0.0025871799630
0.0002881199142
0.0061750538066
0.0037105378704
0.0066844057769
0.0066552180901
0.0057180541123
0.0061426218968
0.0050554625001
0.0011099748735
0.0070934766194
0.0040299500084
0.0044284617129
0.0016034416122
0.0038270933143

Resultados de la compensación:

Estimador a posteriori var. obs. peso unidad = 0.0000000007772

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

#### FOTOGRAMA 1:

- $d\omega$ = 2 <sup>g</sup> .0611;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0875
- $d\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .1096;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0723
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .4844;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0299
- $dX_L$ = 1.886 m;	EMC = 0.758 m
- $dY_L$ = -3.214 m;	EMC = 1.032 m
- $dZ_L$ = 1.092 m;	EMC = 0.667 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $d\omega$ = 2 <sup>g</sup> .4338;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0921
- $d\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .7293;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0362
- $d\chi$ = -1 <sup>g</sup> .3984;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0160
- $dX_L$ = 0.101 m;	EMC = 0.442 m
- $dY_L$ = -2.391 m;	EMC = 0.984 m
- $dZ_L$ = -0.373 m;	EMC = 0.437 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $d\omega$ = 1 <sup>g</sup> .6931;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0892
- $d\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .8793;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0541
- $d\chi$ = -1 <sup>g</sup> .9396;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0195
- $dX_L$ = -1.357 m;	EMC = 0.626 m
- $dY_L$ = -2.294 m;	EMC = 0.942 m
- $dZ_L$ = 0.133 m;	EMC = 0.411 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .3450;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0976
- $d\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .6903;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0430
- $d\chi$ = 2 <sup>g</sup> .3123;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0221
- $dX_L$ = 1.305 m;	EMC = 0.490 m
- $dY_L$ = 1.735 m;	EMC = 1.069 m
- $dZ_L$ = 1.910 m;	EMC = 0.440 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .6183;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0737
- $d\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .5160;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0261
- $d\chi$ = 1 <sup>g</sup> .2908;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0137
- $dX_L$ = 0.625 m;	EMC = 0.366 m
- $dY_L$ = 2.226 m;	EMC = 0.727 m
- $dZ_L$ = 1.268 m;	EMC = 0.436 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = 1 <sup>g</sup> .7588;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0883
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .9460;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0498
- $d\chi$ = 1 <sup>g</sup> .0279;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0281
- $dX_L$ = 0.423 m;	EMC = 0.525 m
- $dY_L$ = 3.156 m;	EMC = 1.006 m
- $dZ_L$ = 0.763 m;	EMC = 0.507 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = -0.028 m;	EMC = 0.116 m
- $dY$ = -0.174 m;	EMC = 0.178 m
- $dZ$ = 0.298 m;	EMC = 0.326 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = -0.048 m;	EMC = 0.155 m
- $dY$ = -0.303 m;	EMC = 0.142 m
- $dZ$ = 1.543 m;	EMC = 0.569 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = 0.052 m;	EMC = 0.152 m
- $dY$ = -0.655 m;	EMC = 0.249 m
- $dZ$ = 1.452 m;	EMC = 0.477 m

**PUNTO 4:**

- $dX$ = 0.126 m;	EMC = 0.195 m
- $dY$ = -0.298 m;	EMC = 0.108 m
- $dZ$ = 2.637 m;	EMC = 0.821 m

**PUNTO 5:**

- $dX$ = 0.215 m;	EMC = 0.195 m
- $dY$ = -0.076 m;	EMC = 0.116 m
- $dZ$ = 2.638 m;	EMC = 0.826 m

**PUNTO 6:**

- $dX$ = -0.171 m;	EMC = 0.258 m
- $dY$ = -0.505 m;	EMC = 0.143 m
- $dZ$ = 2.648 m;	EMC = 0.850 m

**PUNTO 7:**

- $dX$ = 0.357 m;	EMC = 0.173 m
- $dY$ = -0.036 m;	EMC = 0.149 m
- $dZ$ = 1.773 m;	EMC = 0.667 m

**PUNTO 8:**

- $dX$ = 0.173 m;	EMC = 0.136 m
- $dY$ = -0.056 m;	EMC = 0.204 m
- $dZ$ = 0.345 m;	EMC = 0.398 m

**PUNTO 9:**

- $dX$ = 0.276 m;	EMC = 0.133 m
- $dY$ = 0.090 m;	EMC = 0.171 m
- $dZ$ = 0.474 m;	EMC = 0.389 m

**PUNTO 10:**

- $dX$ = 0.550 m;	EMC = 0.258 m
- $dY$ = 0.053 m;	EMC = 0.142 m
- $dZ$ = 2.725 m;	EMC = 0.854 m

**PUNTO 11:**

- $dX$ = -0.182 m;	EMC = 0.175 m
- $dY$ = 0.125 m;	EMC = 0.178 m
- $dZ$ = -0.510 m;	EMC = 0.395 m

**PUNTO 12:**

- $dX$ = -0.194 m;	EMC = 0.217 m
- $dY$ = 0.101 m;	EMC = 0.276 m
- $dZ$ = 0.485 m;	EMC = 0.422 m

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.000006 m	R(2) = -0.000005 m
R(3) = 0.000006 m	R(4) = -0.000024 m
R(5) = 0.000000 m	R(6) = 0.000013 m
R(7) = -0.000037 m	R(8) = 0.000002 m
R(9) = 0.000014 m	R(10) = 0.000018 m
R(11) = 0.000014 m	R(12) = 0.000000 m
R(13) = -0.000004 m	R(14) = -0.000004 m
R(15) = -0.000013 m	R(16) = 0.000008 m
R(17) = -0.000013 m	R(18) = 0.000007 m
R(19) = -0.000000 m	R(20) = -0.000013 m
R(21) = -0.000001 m	R(22) = 0.000000 m
R(23) = 0.000003 m	R(24) = 0.000005 m
R(25) = 0.000016 m	R(26) = -0.000017 m
R(27) = 0.000028 m	R(28) = -0.000013 m
R(29) = 0.000001 m	R(30) = 0.000018 m
R(31) = -0.000008 m	R(32) = -0.000019 m

R(33) = -0.000012 m	R(34) = 0.000024 m
R(35) = 0.000002 m	R(36) = 0.000004 m
R(37) = 0.000007 m	R(38) = -0.000003 m
R(39) = 0.000007 m	R(40) = 0.000018 m
R(41) = -0.000001 m	R(42) = -0.000018 m
R(43) = -0.000011 m	R(44) = -0.000006 m
R(45) = 0.000024 m	R(46) = 0.000005 m
R(47) = -0.000028 m	R(48) = -0.000001 m
R(49) = 0.000010 m	R(50) = -0.000001 m
R(51) = 0.000004 m	R(52) = -0.000009 m
R(53) = 0.000023 m	R(54) = 0.000012 m
R(55) = -0.000038 m	R(56) = -0.000013 m
R(57) = 0.000000 m	R(58) = -0.000001 m
R(59) = 0.000001 m	R(60) = -0.000003 m
R(61) = 0.000000 m	R(62) = 0.000015 m
R(63) = 0.000008 m	R(64) = 0.000016 m
R(65) = -0.000004 m	R(66) = -0.000022 m
R(67) = -0.000033 m	R(68) = 0.000025 m
R(69) = -0.000000 m	R(70) = 0.000012 m
R(71) = 0.000021 m	R(72) = 0.000001 m
R(73) = 0.000010 m	R(74) = -0.000007 m
R(75) = -0.000000 m	R(76) = 0.000001 m
R(77) = 0.000000 m	R(78) = -0.000007 m
R(79) = -0.000001 m	R(80) = -0.000012 m
R(81) = -0.000000 m	R(82) = -0.000008 m
R(83) = 0.000006 m	R(84) = 0.000002 m
R(85) = -0.000017 m	R(86) = 0.000006 m
R(87) = -0.000029 m	R(88) = -0.000020 m
R(89) = 0.000038 m	R(90) = -0.000002 m
R(91) = -0.000000 m	R(92) = 0.000007 m
R(93) = 0.000001 m	R(94) = 0.000015 m
R(95) = 0.000000 m	R(96) = -0.000007 m

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000028 m

Parámetros de orientación utilizados en la iteración 1:

**FOTOGRAMA 1:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 2^{\circ}.0611 \\ -\varphi &= -2^{\circ}.1096 \\ -\chi &= -0^{\circ}.4844 \\ -X_L &= 42235.935 \text{ m} \\ -Y_L &= 51239.012 \text{ m} \\ -Z_L &= 640.877 \text{ m}\end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 2:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 2^{\circ}.4338 \\ -\varphi &= -2^{\circ}.7293 \\ -\chi &= -1^{\circ}.3984 \\ -X_L &= 42599.343 \text{ m} \\ -Y_L &= 51231.263 \text{ m} \\ -Z_L &= 643.582 \text{ m}\end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 3:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 1^{\circ}.6931 \\ -\varphi &= -2^{\circ}.8793 \\ -\chi &= -1^{\circ}.9396 \\ -X_L &= 42960.321 \text{ m} \\ -Y_L &= 51218.555 \text{ m} \\ -Z_L &= 650.684 \text{ m}\end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 4:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 0^{\circ}.3450 \\ -\varphi &= -1^{\circ}.6903 \\ -\chi &= 2^{\circ}.3123 \\ -X_L &= 42365.577 \text{ m} \\ -Y_L &= 51884.423 \text{ m} \\ -Z_L &= 630.971 \text{ m}\end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 5:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 0^{\circ}.6183 \\ -\varphi &= -1^{\circ}.5160 \\ -\chi &= 1^{\circ}.2908 \\ -X_L &= 42734.766 \text{ m} \\ -Y_L &= 51891.548 \text{ m} \\ -Z_L &= 632.119 \text{ m}\end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 6:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 1^{\circ}.7588 \\ -\varphi &= -0^{\circ}.9460 \\ -\chi &= 1^{\circ}.0279 \\ -X_L &= 43092.165 \text{ m} \\ -Y_L &= 51892.946 \text{ m} \\ -Z_L &= 633.310 \text{ m}\end{aligned}$$

**Coord. terreno aprox. utilizadas en la iteración 1:**

	X(m)	Y(m)	Z(m)
Punto 1	42542.446	50966.751	9.571
Punto 2	42570.799	51320.708	13.067
Punto 3	42270.184	51010.750	1.746
Punto 4	42668.605	51559.851	17.570
Punto 5	42661.421	51618.104	19.317
Punto 6	42333.864	51556.479	16.548
Punto 7	42800.449	51740.271	20.393
Punto 8	42590.552	52117.066	21.386
Punto 9	42791.208	52054.775	22.393
Punto 10	43088.705	51535.267	17.736
Punto 11	42975.750	50996.976	3.625
Punto 12	43142.452	52277.095	23.429

Resultados de la iteración 1:

Estimador var. obs. peso unidad = 0.0000000006656

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

**FOTOGRAMA 1:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .7430;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0808
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .247;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0674
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .050;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0265
- $dX_L$ = -3.166 m;	EMC = 0.705 m
- $dY_L$ = 9.088 m;	EMC = 0.954 m
- $dZ_L$ = -3.189 m;	EMC = 0.615 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .7611;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0848
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .063;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0345
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .002;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0142
- $dX_L$ = -0.756 m;	EMC = 0.412 m
- $dY_L$ = 8.944 m;	EMC = 0.906 m
- $dZ_L$ = -1.495 m;	EMC = 0.405 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .7100;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0817
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .114;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0517
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .074;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0181
- $dX_L$ = 1.081 m;	EMC = 0.585 m
- $dY_L$ = 8.399 m;	EMC = 0.868 m
- $dZ_L$ = -2.025 m;	EMC = 0.385 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .6158;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0908
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .230;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0399
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .025;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0196
- $dX_L$ = -2.989 m;	EMC = 0.457 m
- $dY_L$ = -3.864 m;	EMC = 0.995 m
- $dZ_L$ = -4.819 m;	EMC = 0.408 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .7109;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0687
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .166;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0243
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .032;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0124
- $dX_L$ = -2.487 m;	EMC = 0.343 m
- $dY_L$ = -5.099 m;	EMC = 0.678 m
- $dZ_L$ = -3.345 m;	EMC = 0.406 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .8446;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0818
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .091;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0451
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .123;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0264
- $dX_L$ = -1.312 m;	EMC = 0.481 m
- $dY_L$ = -7.128 m;	EMC = 0.928 m
- $dZ_L$ = -2.218 m;	EMC = 0.472 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = -0.200 m;	EMC = 0.105 m
- $dY$ = 0.996 m;	EMC = 0.163 m
- $dZ$ = -0.696 m;	EMC = 0.302 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = -0.455 m;	EMC = 0.144 m
- $dY$ = 1.492 m;	EMC = 0.131 m
- $dZ$ = -4.590 m;	EMC = 0.527 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = -0.662 m;	EMC = 0.140 m
- $dY$ = 1.191 m;	EMC = 0.227 m
- $dZ$ = -2.487 m;	EMC = 0.434 m

**PUNTO 4:**

- $dX$ = -0.779 m;	EMC = 0.183 m
- $dY$ = 1.805 m;	EMC = 0.100 m
- $dZ$ = -7.647 m;	EMC = 0.761 m

**PUNTO 5:**

- $dX$ = -0.938 m;	EMC = 0.183 m
- $dY$ = 1.443 m;	EMC = 0.107 m
- $dZ$ = -7.656 m;	EMC = 0.764 m

**PUNTO 6:**

- $dX = -0.740$ m;	EMC = 0.243 m
- $dY = 2.041$ m;	EMC = 0.132 m
- $dZ = -8.350$ m;	EMC = 0.787 m

**PUNTO 7:**

- $dX = -0.910$ m;	EMC = 0.162 m
- $dY = 1.562$ m;	EMC = 0.139 m
- $dZ = -5.487$ m;	EMC = 0.619 m

**PUNTO 8:**

- $dX = -0.989$ m;	EMC = 0.127 m
- $dY = 1.822$ m;	EMC = 0.189 m
- $dZ = -1.364$ m;	EMC = 0.371 m

**PUNTO 9:**

- $dX = -0.921$ m;	EMC = 0.124 m
- $dY = 1.750$ m;	EMC = 0.159 m
- $dZ = -1.912$ m;	EMC = 0.361 m

**PUNTO 10:**

- $dX = -0.999$ m;	EMC = 0.241 m
- $dY = 1.597$ m;	EMC = 0.133 m
- $dZ = -7.081$ m;	EMC = 0.795 m

**PUNTO 11:**

- $dX = 0.113$ m;	EMC = 0.162 m
- $dY = 1.307$ m;	EMC = 0.166 m
- $dZ = 0.663$ m;	EMC = 0.373 m

**PUNTO 12:**

- $dX = 0.337$ m;	EMC = 0.202 m
- $dY = 2.459$ m;	EMC = 0.259 m
- $dZ = -0.277$ m;	EMC = 0.399 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.000007 m	R(2) = -0.000022 m
R(3) = -0.000008 m	R(4) = -0.000008 m
R(5) = 0.000000 m	R(6) = 0.000005 m
R(7) = 0.000020 m	R(8) = 0.000004 m
R(9) = -0.000032 m	R(10) = 0.000010 m

R(11) = 0.000019 m	R(12) = 0.000002 m
R(13) = 0.000007 m	R(14) = 0.000010 m
R(15) = 0.000013 m	R(16) = -0.000002 m
R(17) = 0.000015 m	R(18) = 0.000014 m
R(19) = 0.000000 m	R(20) = -0.000005 m
R(21) = 0.000018 m	R(22) = -0.000009 m
R(23) = 0.000013 m	R(24) = -0.000019 m
R(25) = -0.000028 m	R(26) = -0.000003 m
R(27) = -0.000015 m	R(28) = 0.000022 m
R(29) = -0.000000 m	R(30) = -0.000007 m
R(31) = -0.000021 m	R(32) = 0.000019 m
R(33) = 0.000006 m	R(34) = -0.000009 m
R(35) = 0.000033 m	R(36) = -0.000009 m
R(37) = -0.000007 m	R(38) = 0.000023 m
R(39) = -0.000007 m	R(40) = -0.000005 m
R(41) = -0.000000 m	R(42) = 0.000007 m
R(43) = -0.000005 m	R(44) = -0.000013 m
R(45) = -0.000027 m	R(46) = -0.000003 m
R(47) = 0.000014 m	R(48) = -0.000001 m
R(49) = -0.000012 m	R(50) = 0.000004 m
R(51) = -0.000011 m	R(52) = 0.000009 m
R(53) = -0.000018 m	R(54) = 0.000001 m
R(55) = 0.000035 m	R(56) = 0.000002 m
R(57) = -0.000000 m	R(58) = -0.000009 m
R(59) = 0.000005 m	R(60) = 0.000009 m
R(61) = 0.000001 m	R(62) = -0.000017 m
R(63) = 0.000001 m	R(64) = -0.000025 m
R(65) = -0.000001 m	R(66) = 0.000010 m
R(67) = 0.000020 m	R(68) = -0.000008 m
R(69) = 0.000003 m	R(70) = -0.000003 m
R(71) = -0.000007 m	R(72) = -0.000007 m
R(73) = -0.000004 m	R(74) = -0.000004 m
R(75) = 0.000000 m	R(76) = 0.000009 m

$R(77) = 0.000000 \text{ m}$	$R(78) = 0.000010 \text{ m}$
$R(79) = -0.000010 \text{ m}$	$R(80) = 0.000010 \text{ m}$
$R(81) = -0.000003 \text{ m}$	$R(82) = 0.000009 \text{ m}$
$R(83) = -0.000011 \text{ m}$	$R(84) = 0.000002 \text{ m}$
$R(85) = 0.000015 \text{ m}$	$R(86) = -0.000006 \text{ m}$
$R(87) = 0.000015 \text{ m}$	$R(88) = 0.000013 \text{ m}$
$R(89) = -0.000026 \text{ m}$	$R(90) = 0.000011 \text{ m}$
$R(91) = -0.000000 \text{ m}$	$R(92) = -0.000010 \text{ m}$
$R(93) = 0.000005 \text{ m}$	$R(94) = -0.000018 \text{ m}$
$R(95) = 0.000002 \text{ m}$	$R(96) = 0.000008 \text{ m}$

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000026 m

Parámetros de orientación utilizados en la iteración 2:

**FOTOGRAMA 1:**

- $\omega$ =	1°.3181
- $\varphi$ =	-2°.3573
- $\chi$ =	-0°.5352
- $X_L$ =	42232.768 m
- $Y_L$ =	51248.100 m
- $Z_L$ =	637.688 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $\omega$ =	1°.6727
- $\varphi$ =	-2°.7926
- $\chi$ =	-1°.3957
- $X_L$ =	42598.587 m
- $Y_L$ =	51240.207 m
- $Z_L$ =	642.087 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $\omega$ =	0°.9831
- $\varphi$ =	-2°.7644
- $\chi$ =	-1°.8650
- $X_L$ =	42961.402 m
- $Y_L$ =	51226.954 m
- $Z_L$ =	648.659 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $\omega$ =	0°.9608
- $\varphi$ =	-1°.9209
- $\chi$ =	2°.2867
- $X_L$ =	42362.589 m
- $Y_L$ =	51880.559 m
- $Z_L$ =	626.152 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $\omega$ =	1°.3292
- $\varphi$ =	-1°.6828
- $\chi$ =	1°.2580
- $X_L$ =	42732.279 m
- $Y_L$ =	51886.448 m
- $Z_L$ =	628.774 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $\omega$ =	2°.6035
- $\varphi$ =	-1°.0378
- $\chi$ =	0°.9043
- $X_L$ =	43090.854 m
- $Y_L$ =	51885.818 m
- $Z_L$ =	631.091 m

**Coord. terreno aprox. utilizadas en la iteración 2:**

Punto	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	42542.246	50967.748	8.875
2	42570.344	51322.200	8.477
3	42269.522	51011.941	-0.741
4	42667.826	51561.656	9.923
5	42660.483	51619.547	11.660
6	42333.123	51558.520	8.198
7	42799.538	51741.833	14.907
8	42589.563	52118.888	20.022
9	42790.287	52056.525	20.481
10	43087.706	51536.863	10.655
11	42975.863	50998.283	4.289
12	43142.789	52279.554	23.153

Resultados de la iteración 2:

Estimador var. obs. peso unidad = 0.0000000048403

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

**FOTOGRAMA 1:**

- $d\omega$ = 1 <sup>g</sup> .4323;	EMC = 0 <sup>g</sup> .2195
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .313;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1821
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .156;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0705
- $dX_L$ = 5.914 m;	EMC = 1.908 m
- $dY_L$ = -16.770 m;	EMC = 2.574 m
- $dZ_L$ = 6.955 m;	EMC = 1.700 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $d\omega$ = 1 <sup>g</sup> .5014;	EMC = 0 <sup>g</sup> .2296
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .196;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0924
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .207;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0384
- $dX_L$ = 3.152 m;	EMC = 1.105 m
- $dY_L$ = -18.415 m;	EMC = 2.451 m
- $dZ_L$ = 5.539 m;	EMC = 1.131 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $d\omega$ = 1 <sup>g</sup> .2991;	EMC = 0 <sup>g</sup> .2223
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .114;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1391
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .188;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0487
- $dX_L$ = 1.933 m;	EMC = 1.575 m
- $dY_L$ = -17.021 m;	EMC = 2.364 m
- $dZ_L$ = 5.146 m;	EMC = 1.050 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .9015;	EMC = 0 <sup>g</sup> .2482
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .452;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1078
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .141;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0528
- $dX_L$ = 6.725 m;	EMC = 1.230 m
- $dY_L$ = 3.202 m;	EMC = 2.706 m
- $dZ_L$ = 9.949 m;	EMC = 1.122 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = 1 <sup>g</sup> .2775;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1900
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .561;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0655
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .030;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0335
- $dX_L$ = 7.920 m;	EMC = 0.922 m
- $dY_L$ = 7.651 m;	EMC = 1.869 m
- $dZ_L$ = 6.227 m;	EMC = 1.114 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = -1 <sup>g</sup> .5127;	EMC = 0 <sup>g</sup> .2268
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .405;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1235
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .093;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0726
- $dX_L$ = 5.010 m;	EMC = 1.308 m
- $dY_L$ = 10.437 m;	EMC = 2.574 m
- $dZ_L$ = 3.310 m;	EMC = 1.283 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = 1.271 m;	EMC = 0.285 m
- $dY$ = -2.398 m;	EMC = 0.447 m
- $dZ$ = 1.463 m;	EMC = 0.815 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = 1.998 m;	EMC = 0.385 m
- $dY$ = -3.431 m;	EMC = 0.353 m
- $dZ$ = 8.807 m;	EMC = 1.457 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = 2.370 m;	EMC = 0.376 m
- $dY$ = -1.605 m;	EMC = 0.616 m
- $dZ$ = 3.714 m;	EMC = 1.177 m

**PUNTO 4:**

- $dX$ = 2.283 m;	EMC = 0.486 m
- $dY$ = -4.384 m;	EMC = 0.269 m
- $dZ$ = 14.142 m;	EMC = 2.108 m

**PUNTO 5:**

- $dX$ = 2.536 m;	EMC = 0.486 m
- $dY$ = -3.880 m;	EMC = 0.287 m
- $dZ$ = 14.229 m;	EMC = 2.116 m

**PUNTO 6:**

- $dX$ = 3.137 m;	EMC = 0.644 m
- $dY$ = -4.431 m;	EMC = 0.354 m
- $dZ$ = 16.864 m;	EMC = 2.190 m

**PUNTO 7:**

- $dX$ = 2.293 m;	EMC = 0.433 m
- $dY$ = -4.401 m;	EMC = 0.373 m
- $dZ$ = 10.129 m;	EMC = 1.705 m

**PUNTO 8:**

- $dX$ = 3.074 m;	EMC = 0.341 m
- $dY$ = -4.465 m;	EMC = 0.515 m
- $dZ$ = 2.968 m;	EMC = 1.001 m

**PUNTO 9:**

- $dX$ = 2.722 m;	EMC = 0.334 m
- $dY$ = -5.074 m;	EMC = 0.433 m
- $dZ$ = 4.233 m;	EMC = 0.985 m

**PUNTO 10:**

- $dX$ = 1.770 m;	EMC = 0.653 m
- $dY$ = -4.505 m;	EMC = 0.357 m
- $dZ$ = 11.563 m;	EMC = 2.193 m

**PUNTO 11:**

- $dX$ = 0.730 m;	EMC = 0.436 m
- $dY$ = -4.163 m;	EMC = 0.455 m
- $dZ$ = -0.698 m;	EMC = 0.995 m

**PUNTO 12:**

- $dX$ = 0.484 m;	EMC = 0.562 m
- $dY$ = -7.514 m;	EMC = 0.715 m
- $dZ$ = -1.092 m;	EMC = 1.083 m

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.000014 m	R(2) = 0.000047 m
R(3) = 0.000021 m	R(4) = 0.000004 m
R(5) = -0.000000 m	R(6) = -0.000005 m
R(7) = -0.000052 m	R(8) = -0.000014 m
R(9) = 0.000065 m	R(10) = -0.000006 m
R(11) = -0.000034 m	R(12) = -0.000003 m
R(13) = -0.000015 m	R(14) = -0.000024 m
R(15) = -0.000027 m	R(16) = -0.000005 m
R(17) = -0.000041 m	R(18) = -0.000021 m
R(19) = -0.000000 m	R(20) = 0.000005 m
R(21) = -0.000022 m	R(22) = 0.000018 m
R(23) = -0.000022 m	R(24) = 0.000044 m
R(25) = 0.000071 m	R(26) = -0.000010 m
R(27) = 0.000042 m	R(28) = -0.000034 m
R(29) = 0.000000 m	R(30) = 0.000025 m
R(31) = 0.000029 m	R(32) = -0.000046 m
R(33) = -0.000030 m	R(34) = 0.000027 m
R(35) = -0.000052 m	R(36) = 0.000017 m
R(37) = 0.000014 m	R(38) = -0.000040 m
R(39) = 0.000020 m	R(40) = 0.000017 m
R(41) = 0.000000 m	R(42) = -0.000025 m
R(43) = -0.000007 m	R(44) = 0.000017 m
R(45) = 0.000070 m	R(46) = 0.000008 m
R(47) = -0.000047 m	R(48) = 0.000008 m
R(49) = 0.000059 m	R(50) = -0.000021 m
R(51) = 0.000038 m	R(52) = -0.000051 m
R(53) = 0.000027 m	R(54) = 0.000025 m
R(55) = -0.000106 m	R(56) = -0.000036 m
R(57) = 0.000001 m	R(58) = 0.000028 m
R(59) = -0.000015 m	R(60) = -0.000032 m
R(61) = -0.000004 m	R(62) = 0.000089 m
R(63) = -0.000016 m	R(64) = 0.000069 m

$R(65) = -0.000008 \text{ m}$	$R(66) = -0.000029 \text{ m}$
$R(67) = -0.000074 \text{ m}$	$R(68) = 0.000063 \text{ m}$
$R(69) = -0.000020 \text{ m}$	$R(70) = -0.000002 \text{ m}$
$R(71) = 0.000041 \text{ m}$	$R(72) = -0.000006 \text{ m}$
$R(73) = 0.000036 \text{ m}$	$R(74) = -0.000005 \text{ m}$
$R(75) = -0.000000 \text{ m}$	$R(76) = -0.000028 \text{ m}$
$R(77) = -0.000001 \text{ m}$	$R(78) = -0.000021 \text{ m}$
$R(79) = 0.000029 \text{ m}$	$R(80) = -0.000007 \text{ m}$
$R(81) = 0.000014 \text{ m}$	$R(82) = -0.000036 \text{ m}$
$R(83) = 0.000027 \text{ m}$	$R(84) = 0.000006 \text{ m}$
$R(85) = -0.000012 \text{ m}$	$R(86) = 0.000018 \text{ m}$
$R(87) = -0.000067 \text{ m}$	$R(88) = -0.000028 \text{ m}$
$R(89) = 0.000073 \text{ m}$	$R(90) = -0.000003 \text{ m}$
$R(91) = 0.000000 \text{ m}$	$R(92) = 0.000021 \text{ m}$
$R(93) = -0.000014 \text{ m}$	$R(94) = 0.000039 \text{ m}$
$R(95) = -0.000007 \text{ m}$	$R(96) = -0.000052 \text{ m}$

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000070 m

El sistema de ecuaciones planteado no converge a partir de la primera iteración, en consecuencia, cortamos la impresión sucesiva de los resultados alcanzados.

La razón de la falta de convergencia se debe a la inclusión de algún error grosero o equivocación en cualesquiera de los observables tratados. Lógicamente, los valores de las coordenadas terreno no ofrecen error puesto que hasta el momento, todos los cálculos y las compensaciones efectuadas con las coordenadas terreno aproximadas salen correctamente. Los giros aproximados tomados como parámetros de orientación externa de los fotogramas no discrepan tanto de la situación real<sup>8</sup>. Por tanto, la equivocación vendrá asociada a la coordenada imagen de algún punto. De hecho, los residuales de algunos puntos en la compensación inicial y en la primera iteración son muy altos (superiores a  $30\mu$ ), disparándose en la segunda iteración a valores superiores a  $80\mu$ , y así sucesivamente.

---

<sup>8</sup> Si nos atenemos a los resultados obtenidos en las compensaciones anteriores, los giros máximos oscilan en el peor de los casos entre  $\pm 3^9$ .

Con el objeto de detectar el/los error/es grosero/s, en la presente aerotriangulación se reajustó el sistema utilizando únicamente aquellos puntos medidos en más de dos fotogramas (excepto los puntos de apoyo), aumentando de este modo las redundancias del sistema de ecuaciones. Tras el ajuste y la comprobación de que sí se alcanzada la convergencia con el algoritmo mínimo cuadrático, se utilizó un procedimiento robusto de detección de errores groseros: el algoritmo que hace mínimo el sumatorio del valor absoluto de los residuos:

$$\sum |r| = \text{mínimo}$$

Tras el resultado final de dicho ajuste se eliminaron las coordenadas imagen que ofrecían destacados residuos (casualmente coincidió el máximo residuo con una coordenada imagen del punto de apoyo 42516, ello obligó a eliminar del ajuste dicho punto al no existir redundancias), se compensó de nuevo el sistema (haciendo mínimo el sumatorio de los residuos al cuadrado) y se alcanzaron errores medios cuadráticos a posteriori de peso unidad de  $7\mu$ . En el siguiente apartado se muestran los resultados fruto de la compensación. Compruébese la mejoría sufrida tanto en los parámetros de orientación externa como en los valores de las coordenadas terreno compensadas.

#### 4.4.2. CASO 2: TOMANDO TODOS LOS PUNTOS EXCEPTO EL PUNTO 42516

Los datos de partida son exactamente los mismos que en el caso anterior, salvo que no figuran las ecuaciones generadas por las coordenadas imagen del punto de apoyo 42516. Los puntos 14, 15 y 16 (Fig. 13) se renombran y pasan a ser los puntos 13, 14 y 15 respectivamente.

Ahora disponemos de: 6 fotogramas, 46 puntos de los que se conocen las coordenadas imagen, 12 puntos con coordenadas terreno aproximadas y 3 puntos de apoyo. Por tanto, el sistema resultante presenta una dimensión:

$$R_{(92,1)} = A_{(92,72)} X_{(72,1)} - K_{(92,1)}$$

Resultados de la compensación:

Estimador a posteriori var. obs. peso unidad = 0.0000000003351

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

**FOTOGRAMA 1:**

- $d\omega$ = 1 <sup>g</sup> .5356;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1137
- $d\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .0315;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0556
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .4941;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0242
- $dX_L$ = 2.258 m;	EMC = 0.655 m
- $dY_L$ = 1.898 m;	EMC = 1.206 m
- $dZ_L$ = 1.106 m;	EMC = 0.450 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $d\omega$ = 1 <sup>g</sup> .8688;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1160
- $d\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .6256;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0334
- $d\chi$ = -1 <sup>g</sup> .3919;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0149
- $dX_L$ = 0.985 m;	EMC = 0.410 m
- $dY_L$ = 3.218 m;	EMC = 1.189 m
- $dZ_L$ = -0.799 m;	EMC = 0.311 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $d\omega$ = 1 <sup>g</sup> .1775;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1099
- $d\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .7498;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0437
- $d\chi$ = -1 <sup>g</sup> .9165;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0160
- $dX_L$ = -0.101 m;	EMC = 0.492 m
- $dY_L$ = 2.884 m;	EMC = 1.130 m
- $dZ_L$ = -0.957 m;	EMC = 0.370 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .6443;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0860
- $d\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .6870;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0299
- $d\chi$ = 2 <sup>g</sup> .2901;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0178
- $dX_L$ = 1.157 m;	EMC = 0.359 m
- $dY_L$ = -0.984 m;	EMC = 0.896 m
- $dZ_L$ = -0.063 m;	EMC = 0.443 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .9309;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0741
- $d\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .5089;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0195
- $d\chi$ = 1 <sup>g</sup> .2759;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0106
- $dX_L$ = 0.538 m;	EMC = 0.279 m
- $dY_L$ = -0.753 m;	EMC = 0.718 m
- $dZ_L$ = -0.616 m;	EMC = 0.444 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = 2 <sup>g</sup> .0956;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0829
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .9375;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0331
- $d\chi$ = 1 <sup>g</sup> .0089;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0202
- $dX_L$ = 0.417 m;	EMC = 0.355 m
- $dY_L$ = -0.212 m;	EMC = 0.882 m
- $dZ_L$ = -1.184 m;	EMC = 0.493 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = -0.226 m;	EMC = 0.155 m
- $dY$ = -0.491 m;	EMC = 0.212 m
- $dZ$ = 1.733 m;	EMC = 0.486 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = -0.254 m;	EMC = 0.145 m
- $dY$ = -0.360 m;	EMC = 0.132 m
- $dZ$ = 0.198 m;	EMC = 0.467 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = -0.376 m;	EMC = 0.232 m
- $dY$ = -0.970 m;	EMC = 0.270 m
- $dZ$ = 2.976 m;	EMC = 0.581 m

**PUNTO 4:**

- $dX$ = -0.068 m;	EMC = 0.157 m
- $dY$ = -0.228 m;	EMC = 0.088 m
- $dZ$ = -0.868 m;	EMC = 0.828 m

**PUNTO 5:**

- $dX$ = -0.020 m;	EMC = 0.157 m
- $dY$ = -0.194 m;	EMC = 0.090 m
- $dZ$ = -0.958 m;	EMC = 0.841 m

**PUNTO 6:**

- $dX$ = -0.439 m;	EMC = 0.217 m
- $dY$ = -0.263 m;	EMC = 0.123 m
- $dZ$ = -0.710 m;	EMC = 0.816 m

**PUNTO 7:**

- $dX$ = 0.190 m;	EMC = 0.133 m
- $dY$ = -0.067 m;	EMC = 0.104 m
- $dZ$ = -0.986 m;	EMC = 0.662 m

**PUNTO 8:**

- $dX$ = 0.054 m;	EMC = 0.100 m
- $dY$ = 0.003 m;	EMC = 0.135 m
- $dZ$ = -0.482 m;	EMC = 0.298 m

**PUNTO 9:**

- $dX$ = 0.164 m;	EMC = 0.098 m
- $dY$ = 0.093 m;	EMC = 0.113 m
- $dZ$ = -0.718 m;	EMC = 0.331 m

**PUNTO 10:**

- $dX$ = 0.326 m;	EMC = 0.194 m
- $dY$ = 0.020 m;	EMC = 0.098 m
- $dZ$ = -0.993 m;	EMC = 0.896 m

**PUNTO 11:**

- $dX$ = -0.165 m;	EMC = 0.132 m
- $dY$ = 0.056 m;	EMC = 0.124 m
- $dZ$ = 0.303 m;	EMC = 0.314 m

**PUNTO 12:**

- $dX$ = -0.142 m;	EMC = 0.143 m
- $dY$ = 0.126 m;	EMC = 0.182 m
- $dZ$ = 0.287 m;	EMC = 0.280 m

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.000004 m	R(2) = -0.000013 m
R(3) = 0.000001 m	R(4) = -0.000032 m
R(5) = 0.000000 m	R(6) = 0.000017 m
R(7) = -0.000012 m	R(8) = 0.000003 m
R(9) = -0.000013 m	R(10) = 0.000021 m
R(11) = 0.000020 m	R(12) = 0.000004 m
R(13) = -0.000007 m	R(14) = 0.000017 m
R(15) = -0.000003 m	R(16) = 0.000025 m
R(17) = -0.000000 m	R(18) = -0.000017 m
R(19) = 0.000006 m	R(20) = 0.000000 m
R(21) = 0.000009 m	R(22) = -0.000005 m
R(23) = -0.000013 m	R(24) = -0.000017 m
R(25) = 0.000008 m	R(26) = -0.000007 m

$R(27) = 0.000000 \text{ m}$	$R(28) = 0.000004 \text{ m}$
$R(29) = 0.000000 \text{ m}$	$R(30) = -0.000001 \text{ m}$
$R(31) = -0.000003 \text{ m}$	$R(32) = 0.000001 \text{ m}$
$R(33) = 0.000004 \text{ m}$	$R(34) = -0.000004 \text{ m}$
$R(35) = 0.000002 \text{ m}$	$R(36) = 0.000007 \text{ m}$
$R(37) = -0.000000 \text{ m}$	$R(38) = -0.000004 \text{ m}$
$R(39) = -0.000002 \text{ m}$	$R(40) = -0.000001 \text{ m}$
$R(41) = 0.000003 \text{ m}$	$R(42) = 0.000004 \text{ m}$
$R(43) = -0.000003 \text{ m}$	$R(44) = -0.000003 \text{ m}$
$R(45) = 0.000005 \text{ m}$	$R(46) = 0.000000 \text{ m}$
$R(47) = -0.000001 \text{ m}$	$R(48) = -0.000004 \text{ m}$
$R(49) = -0.000002 \text{ m}$	$R(50) = 0.000010 \text{ m}$
$R(51) = -0.000003 \text{ m}$	$R(52) = -0.000009 \text{ m}$
$R(53) = 0.000000 \text{ m}$	$R(54) = -0.000006 \text{ m}$
$R(55) = 0.000002 \text{ m}$	$R(56) = -0.000001 \text{ m}$
$R(57) = -0.000001 \text{ m}$	$R(58) = 0.000011 \text{ m}$
$R(59) = -0.000005 \text{ m}$	$R(60) = 0.000007 \text{ m}$
$R(61) = -0.000004 \text{ m}$	$R(62) = -0.000005 \text{ m}$
$R(63) = -0.000007 \text{ m}$	$R(64) = 0.000017 \text{ m}$
$R(65) = 0.000004 \text{ m}$	$R(66) = 0.000003 \text{ m}$
$R(67) = 0.000011 \text{ m}$	$R(68) = -0.000002 \text{ m}$
$R(69) = 0.000003 \text{ m}$	$R(70) = -0.000006 \text{ m}$
$R(71) = -0.000000 \text{ m}$	$R(72) = 0.000006 \text{ m}$
$R(73) = 0.000000 \text{ m}$	$R(74) = -0.000008 \text{ m}$
$R(75) = -0.000003 \text{ m}$	$R(76) = -0.000009 \text{ m}$
$R(77) = 0.000001 \text{ m}$	$R(78) = -0.000002 \text{ m}$
$R(79) = 0.000006 \text{ m}$	$R(80) = -0.000002 \text{ m}$
$R(81) = -0.000010 \text{ m}$	$R(82) = 0.000004 \text{ m}$
$R(83) = -0.000005 \text{ m}$	$R(84) = -0.000014 \text{ m}$
$R(85) = 0.000008 \text{ m}$	$R(86) = 0.000002 \text{ m}$
$R(87) = -0.000000 \text{ m}$	$R(88) = 0.000008 \text{ m}$
$R(89) = 0.000002 \text{ m}$	$R(90) = 0.000010 \text{ m}$
$R(91) = -0.000001 \text{ m}$	$R(92) = -0.000009 \text{ m}$

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000018 m

Parámetros de orientación utilizados en la iteración 1:

**FOTOGRAMA 1:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 1^{\circ}.5356 \\ -\varphi &= -2^{\circ}.0315 \\ -\chi &= -0^{\circ}.4941 \\ -X_L &= 42236.307 \text{ m} \\ -Y_L &= 51244.124 \text{ m} \\ -Z_L &= 640.891 \text{ m}\end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 2:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 1^{\circ}.8688 \\ -\varphi &= -2^{\circ}.6256 \\ -\chi &= -1^{\circ}.3919 \\ -X_L &= 42600.227 \text{ m} \\ -Y_L &= 51236.872 \text{ m} \\ -Z_L &= 643.156 \text{ m}\end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 3:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 1^{\circ}.1775 \\ -\varphi &= -2^{\circ}.7498 \\ -\chi &= -1^{\circ}.9165 \\ -X_L &= 42961.577 \text{ m} \\ -Y_L &= 51223.733 \text{ m} \\ -Z_L &= 649.594 \text{ m}\end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 4:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 0^{\circ}.6443 \\ -\varphi &= -1^{\circ}.6870 \\ -\chi &= 2^{\circ}.2901 \\ -X_L &= 42365.429 \text{ m} \\ -Y_L &= 51881.704 \text{ m} \\ -Z_L &= 628.998 \text{ m}\end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 5:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 0^{\circ}.9309 \\ -\varphi &= -1^{\circ}.5089 \\ -\chi &= 1^{\circ}.2759 \\ -X_L &= 42734.679 \text{ m} \\ -Y_L &= 51888.569 \text{ m} \\ -Z_L &= 630.235 \text{ m}\end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 6:**

$$\begin{aligned}-\omega &= 2^{\circ}.0956 \\ -\varphi &= -0^{\circ}.9375 \\ -\chi &= 1^{\circ}.0089 \\ -X_L &= 43092.159 \text{ m} \\ -Y_L &= 51889.578 \text{ m} \\ -Z_L &= 631.363 \text{ m}\end{aligned}$$

**Coord. terreno aprox. utilizadas en la iteración 1:**

	X(m)	Y(m)	Z(m)
Punto 1	42542.248	50966.434	11.006
Punto 2	42570.593	51320.651	11.722
Punto 3	42269.756	51010.435	3.270
Punto 4	42668.411	51559.921	14.065
Punto 5	42661.186	51617.986	15.721
Punto 6	42333.596	51556.721	13.190
Punto 7	42800.282	51740.240	17.634
Punto 8	42590.433	52117.125	20.559
Punto 9	42791.096	52054.778	21.201
Punto 10	43088.481	51535.234	14.018
Punto 11	42975.767	50996.907	4.438
Punto 12	43142.504	52277.120	23.231

Resultados de la iteración 1:

Estimador var. obs. peso unidad = 0.0000000005770

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

**FOTOGRAMA 1:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .3454;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1500
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .5778;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0723
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0721;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0308
- $dX_L$ = -5.823 m;	EMC = 0.850 m
- $dY_L$ = -1.005 m;	EMC = 1.587 m
- $dZ_L$ = -5.181 m;	EMC = 0.588 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .3896;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1534
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .4287;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0424
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0579;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0200
- $dX_L$ = -4.605 m;	EMC = 0.535 m
- $dY_L$ = -1.996 m;	EMC = 1.564 m
- $dZ_L$ = -1.527 m;	EMC = 0.413 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .3379;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1451
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .2998;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0566
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0024;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0221
- $dX_L$ = -3.555 m;	EMC = 0.650 m
- $dY_L$ = -1.695 m;	EMC = 1.484 m
- $dZ_L$ = 0.353 m;	EMC = 0.490 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0792;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1128
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .3689;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0388
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0186;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0227
- $dX_L$ = -4.176 m;	EMC = 0.471 m
- $dY_L$ = 2.552 m;	EMC = 1.174 m
- $dZ_L$ = -2.438 m;	EMC = 0.583 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .0976;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0972
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .3485;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0253
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0397;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0140
- $dX_L$ = -4.515 m;	EMC = 0.367 m
- $dY_L$ = 0.658 m;	EMC = 0.942 m
- $dZ_L$ = 0.016 m;	EMC = 0.585 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .1997;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1084
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .2486;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0425
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0686;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0268
- $dX_L$ = -3.218 m;	EMC = 0.460 m
- $dY_L$ = -0.642 m;	EMC = 1.151 m
- $dZ_L$ = 2.235 m;	EMC = 0.649 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = -0.238 m;	EMC = 0.203 m
- $dY$ = 2.084 m;	EMC = 0.281 m
- $dZ$ = -4.488 m;	EMC = 0.639 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = -0.352 m;	EMC = 0.191 m
- $dY$ = 1.937 m;	EMC = 0.175 m
- $dZ$ = -2.560 m;	EMC = 0.612 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = -0.060 m;	EMC = 0.306 m
- $dY$ = 2.470 m;	EMC = 0.357 m
- $dZ$ = -6.955 m;	EMC = 0.758 m

**PUNTO 4:**

- $dX$ = -0.647 m;	EMC = 0.206 m
- $dY$ = 1.814 m;	EMC = 0.116 m
- $dZ$ = -0.862 m;	EMC = 1.090 m

**PUNTO 5:**

- $dX$ = -0.733 m;	EMC = 0.206 m
- $dY$ = 1.809 m;	EMC = 0.118 m
- $dZ$ = -0.703 m;	EMC = 1.105 m

**PUNTO 6:**

- $dX = -0.265$ m;	EMC = 0.288 m
- $dY = 1.707$ m;	EMC = 0.161 m
- $dZ = -2.627$ m;	EMC = 1.076 m

**PUNTO 7:**

- $dX = -0.999$ m;	EMC = 0.175 m
- $dY = 1.706$ m;	EMC = 0.136 m
- $dZ = 0.087$ m;	EMC = 0.872 m

**PUNTO 8:**

- $dX = -1.273$ m;	EMC = 0.132 m
- $dY = 1.302$ m;	EMC = 0.179 m
- $dZ = 0.185$ m;	EMC = 0.394 m

**PUNTO 9:**

- $dX = -1.304$ m;	EMC = 0.129 m
- $dY = 1.665$ m;	EMC = 0.150 m
- $dZ = 0.396$ m;	EMC = 0.438 m

**PUNTO 10:**

- $dX = -0.957$ m;	EMC = 0.255 m
- $dY = 1.876$ m;	EMC = 0.130 m
- $dZ = 0.991$ m;	EMC = 1.179 m

**PUNTO 11:**

- $dX = -0.323$ m;	EMC = 0.174 m
- $dY = 1.694$ m;	EMC = 0.167 m
- $dZ = -0.973$ m;	EMC = 0.422 m

**PUNTO 12:**

- $dX = -0.345$ m;	EMC = 0.190 m
- $dY = 2.735$ m;	EMC = 0.244 m
- $dZ = 0.661$ m;	EMC = 0.374 m

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.000001 m	R(2) = -0.000002 m
R(3) = 0.000002 m	R(4) = -0.000006 m
R(5) = 0.000000 m	R(6) = 0.000004 m
R(7) = -0.000007 m	R(8) = -0.000001 m
R(9) = 0.000002 m	R(10) = 0.000004 m

$R(11) = 0.000001 \text{ m}$	$R(12) = 0.000002 \text{ m}$
$R(13) = -0.000003 \text{ m}$	$R(14) = -0.000002 \text{ m}$
$R(15) = -0.000005 \text{ m}$	$R(16) = 0.000002 \text{ m}$
$R(17) = 0.000000 \text{ m}$	$R(18) = -0.000004 \text{ m}$
$R(19) = -0.000004 \text{ m}$	$R(20) = -0.000008 \text{ m}$
$R(21) = -0.000001 \text{ m}$	$R(22) = -0.000010 \text{ m}$
$R(23) = 0.000003 \text{ m}$	$R(24) = 0.000009 \text{ m}$
$R(25) = 0.000011 \text{ m}$	$R(26) = -0.000000 \text{ m}$
$R(27) = 0.000000 \text{ m}$	$R(28) = 0.000006 \text{ m}$
$R(29) = -0.000000 \text{ m}$	$R(30) = 0.000006 \text{ m}$
$R(31) = 0.000009 \text{ m}$	$R(32) = -0.000002 \text{ m}$
$R(33) = 0.000001 \text{ m}$	$R(34) = 0.000004 \text{ m}$
$R(35) = 0.000002 \text{ m}$	$R(38) = -0.000006 \text{ m}$
$R(39) = -0.000010 \text{ m}$	$R(40) = -0.000005 \text{ m}$
$R(41) = 0.000001 \text{ m}$	$R(42) = 0.000002 \text{ m}$
$R(43) = -0.000004 \text{ m}$	$R(44) = 0.000003 \text{ m}$
$R(45) = -0.000022 \text{ m}$	$R(46) = 0.000007 \text{ m}$
$R(47) = -0.000020 \text{ m}$	$R(48) = 0.000016 \text{ m}$
$R(49) = 0.000019 \text{ m}$	$R(50) = 0.000001 \text{ m}$
$R(51) = 0.000007 \text{ m}$	$R(52) = 0.000009 \text{ m}$
$R(53) = -0.000000 \text{ m}$	$R(54) = -0.000012 \text{ m}$
$R(55) = 0.000012 \text{ m}$	$R(56) = 0.000018 \text{ m}$
$R(57) = 0.000006 \text{ m}$	$R(58) = -0.000040 \text{ m}$
$R(59) = 0.000020 \text{ m}$	$R(60) = -0.000027 \text{ m}$
$R(61) = 0.000015 \text{ m}$	$R(62) = 0.000007 \text{ m}$
$R(63) = 0.000016 \text{ m}$	$R(64) = -0.000026 \text{ m}$
$R(65) = 0.000000 \text{ m}$	$R(66) = 0.000014 \text{ m}$
$R(67) = -0.000005 \text{ m}$	$R(68) = -0.000002 \text{ m}$
$R(69) = -0.000011 \text{ m}$	$R(70) = -0.000009 \text{ m}$
$R(71) = 0.000000 \text{ m}$	$R(72) = 0.000012 \text{ m}$
$R(73) = 0.000001 \text{ m}$	$R(74) = 0.000019 \text{ m}$
$R(75) = -0.000022 \text{ m}$	$R(76) = 0.000004 \text{ m}$
$R(77) = -0.000014 \text{ m}$	$R(78) = 0.000008 \text{ m}$

$R(79) = -0.000021 \text{ m}$	$R(80) = 0.000008 \text{ m}$
$R(81) = -0.000001 \text{ m}$	$R(82) = -0.000008 \text{ m}$
$R(83) = -0.000004 \text{ m}$	$R(84) = 0.000007 \text{ m}$
$R(85) = 0.000007 \text{ m}$	$R(86) = 0.000002 \text{ m}$
$R(87) = -0.000000 \text{ m}$	$R(88) = -0.000019 \text{ m}$
$R(89) = 0.000011 \text{ m}$	$R(90) = -0.000021 \text{ m}$
$R(91) = 0.000008 \text{ m}$	$R(92) = 0.000031 \text{ m}$

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000024 m

Parámetros de orientación utilizados en la iteración 2:

**FOTOGRAMA 1:**

$$\begin{aligned} -\omega &= 1^{\circ}.8810 \\ -\varphi &= -2^{\circ}.6093 \\ -\chi &= -0^{\circ}.5662 \\ -X_L &= 42230.484 \text{ m} \\ -Y_L &= 51243.118 \text{ m} \\ -Z_L &= 635.711 \text{ m} \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 2:**

$$\begin{aligned} -\omega &= 2^{\circ}.2584 \\ -\varphi &= -3^{\circ}.0544 \\ -\chi &= -1^{\circ}.4499 \\ -X_L &= 42595.622 \text{ m} \\ -Y_L &= 51234.876 \text{ m} \\ -Z_L &= 641.630 \text{ m} \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 3:**

$$\begin{aligned} -\omega &= 1^{\circ}.5154 \\ -\varphi &= -3^{\circ}.0495 \\ -\chi &= -1^{\circ}.9189 \\ -X_L &= 42958.022 \text{ m} \\ -Y_L &= 51222.038 \text{ m} \\ -Z_L &= 649.948 \text{ m} \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 4:**

$$\begin{aligned} -\omega &= 0^{\circ}.5651 \\ -\varphi &= -2^{\circ}.0559 \\ -\chi &= 2^{\circ}.3087 \\ -X_L &= 42361.252 \text{ m} \\ -Y_L &= 51884.256 \text{ m} \\ -Z_L &= 626.560 \text{ m} \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 5:**

$$\begin{aligned} -\omega &= 1^{\circ}.0285 \\ -\varphi &= -1^{\circ}.8574 \\ -\chi &= 1^{\circ}.3156 \\ -X_L &= 42730.164 \text{ m} \\ -Y_L &= 51889.228 \text{ m} \\ -Z_L &= 630.251 \text{ m} \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 6:**

$$\begin{aligned} -\omega &= 2^{\circ}.2953 \\ -\varphi &= -1^{\circ}.1861 \\ -\chi &= 0^{\circ}.9403 \\ -X_L &= 43088.941 \text{ m} \\ -Y_L &= 51888.936 \text{ m} \\ -Z_L &= 633.598 \text{ m} \end{aligned}$$

**Coord. terreno aprox. utilizadas en la iteración 2:**

Punto	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	42542.248	50968.518	6.519
2	42570.242	51322.588	9.162
3	42269.697	51012.905	-3.685
4	42667.764	51561.735	13.203
5	42660.453	51619.795	15.018
6	42333.332	51558.428	10.563
7	42799.283	51741.946	17.721
8	42589.160	52118.427	20.744
9	42789.792	52056.443	21.598
10	43087.524	51537.110	15.009
11	42975.444	50998.600	3.465
12	43142.159	52279.856	23.892

Resultados de la iteración 2:

Estimador var. obs. peso unidad = 0.0000000003176

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

**FOTOGRAMA 1:**

$$\begin{aligned}
 -d\omega &= -0^g.2826; & \text{EMC} &= 0^g.1105 \\
 -d\varphi &= 0^g.4843; & \text{EMC} &= 0^g.0540 \\
 -d\chi &= -0^g.0317; & \text{EMC} &= 0^g.0229 \\
 -dX_L &= 7.018 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.634 \text{ m} \\
 -dY_L &= -1.296 \text{ m}; & \text{EMC} &= 1.169 \text{ m} \\
 -dZ_L &= 5.549 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.443 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 2:**

$$\begin{aligned}
 -d\omega &= -0^g.2864; & \text{EMC} &= 0^g.1130 \\
 -d\varphi &= 0^g.4619; & \text{EMC} &= 0^g.0317 \\
 -d\chi &= -0^g.0178; & \text{EMC} &= 0^g.0148 \\
 -dX_L &= 6.829 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.401 \text{ m} \\
 -dY_L &= -1.528 \text{ m}; & \text{EMC} &= 1.153 \text{ m} \\
 -dZ_L &= 2.782 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.308 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 3:**

$$\begin{aligned}
 -d\omega &= -0^g.2992; & \text{EMC} &= 0^g.1069 \\
 -d\varphi &= 0^g.4625; & \text{EMC} &= 0^g.0422 \\
 -d\chi &= -0^g.0019; & \text{EMC} &= 0^g.0163 \\
 -dX_L &= 6.835 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.487 \text{ m} \\
 -dY_L &= -1.530 \text{ m}; & \text{EMC} &= 1.095 \text{ m} \\
 -dZ_L &= 0.162 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.366 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .1133;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0848
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .3826;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0290
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0015;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0170
- $dX_L$ = 6.214 m;	EMC = 0.352 m
- $dY_L$ = -5.705 m;	EMC = 0.881 m
- $dZ_L$ = 2.707 m;	EMC = 0.431 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .1281;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0731
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .4690;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0192
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0927;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0105
- $dX_L$ = 7.336 m;	EMC = 0.279 m
- $dY_L$ = -3.221 m;	EMC = 0.706 m
- $dZ_L$ = -0.263 m;	EMC = 0.433 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .2549;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0816
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .3324;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0320
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0227;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0204
- $dX_L$ = 5.137 m;	EMC = 0.346 m
- $dY_L$ = -2.000 m;	EMC = 0.867 m
- $dZ_L$ = -2.867 m;	EMC = 0.483 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = 2.038 m;	EMC = 0.151 m
- $dY$ = -4.255 m;	EMC = 0.207 m
- $dZ$ = 4.401 m;	EMC = 0.471 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = 2.221 m;	EMC = 0.142 m
- $dY$ = -4.287 m;	EMC = 0.130 m
- $dZ$ = 2.744 m;	EMC = 0.461 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = 2.002 m;	EMC = 0.224 m
- $dY$ = -4.156 m;	EMC = 0.263 m
- $dZ$ = 6.158 m;	EMC = 0.561 m

**PUNTO 4:**

- $dX = 2.296$ m;	EMC = 0.154 m
- $dY = -4.406$ m;	EMC = 0.086 m
- $dZ = 1.015$ m;	EMC = 0.812 m

**PUNTO 5:**

- $dX = 2.363$ m;	EMC = 0.154 m
- $dY = -4.463$ m;	EMC = 0.087 m
- $dZ = 0.894$ m;	EMC = 0.823 m

**PUNTO 6:**

- $dX = 2.423$ m;	EMC = 0.213 m
- $dY = -4.100$ m;	EMC = 0.120 m
- $dZ = 3.411$ m;	EMC = 0.802 m

**PUNTO 7:**

- $dX = 2.447$ m;	EMC = 0.131 m
- $dY = -4.535$ m;	EMC = 0.101 m
- $dZ = 0.029$ m;	EMC = 0.648 m

**PUNTO 8:**

- $dX = 3.148$ m;	EMC = 0.098 m
- $dY = -4.148$ m;	EMC = 0.132 m
- $dZ = -0.008$ m;	EMC = 0.290 m

**PUNTO 9:**

- $dX = 2.920$ m;	EMC = 0.097 m
- $dY = -4.860$ m;	EMC = 0.111 m
- $dZ = -0.100$ m;	EMC = 0.323 m

**PUNTO 10:**

- $dX = 2.037$ m;	EMC = 0.192 m
- $dY = -4.715$ m;	EMC = 0.097 m
- $dZ = -1.636$ m;	EMC = 0.880 m

**PUNTO 11:**

- $dX = 1.997$ m;	EMC = 0.131 m
- $dY = -4.431$ m;	EMC = 0.123 m
- $dZ = 1.088$ m;	EMC = 0.307 m

**PUNTO 12:**

- $dX = 1.590$ m;	EMC = 0.145 m
- $dY = -6.807$ m;	EMC = 0.182 m
- $dZ = -1.311$ m;	EMC = 0.279 m

Residuos del ajuste:

R(1) = -0.000000 m	R(2) = -0.000002 m
R(3) = 0.000001 m	R(4) = -0.000005 m
R(5) = 0.000000 m	R(6) = 0.000002 m
R(7) = 0.000001 m	R(8) = -0.000002 m
R(9) = -0.000006 m	R(10) = 0.000005 m
R(11) = 0.000004 m	R(12) = 0.000000 m
R(13) = 0.000000 m	R(14) = 0.000006 m
R(15) = -0.000002 m	R(16) = 0.000007 m
R(17) = 0.000000 m	R(18) = -0.000002 m
R(19) = 0.000008 m	R(20) = 0.000002 m
R(21) = 0.000003 m	R(22) = 0.000001 m
R(23) = -0.000007 m	R(24) = -0.000008 m
R(25) = -0.000003 m	R(26) = -0.000000 m
R(27) = 0.000000 m	R(28) = 0.000000 m
R(29) = 0.000001 m	R(30) = -0.000006 m
R(31) = -0.000008 m	R(32) = 0.000004 m
R(33) = -0.000000 m	R(34) = -0.000004 m
R(35) = 0.000001 m	R(36) = -0.000003 m
R(37) = 0.000000 m	R(38) = -0.000000 m
R(39) = 0.000004 m	R(40) = 0.000004 m
R(41) = 0.000004 m	R(42) = -0.000000 m
R(43) = -0.000000 m	R(44) = 0.000000 m
R(45) = 0.000015 m	R(46) = -0.000004 m
R(47) = 0.000010 m	R(48) = -0.000010 m
R(49) = -0.000009 m	R(50) = 0.000010 m
R(51) = -0.000005 m	R(52) = -0.000013 m
R(53) = 0.000000 m	R(54) = 0.000005 m
R(55) = -0.000005 m	R(56) = -0.000016 m
R(57) = -0.000006 m	R(58) = 0.000028 m
R(59) = -0.000013 m	R(60) = 0.000021 m
R(61) = -0.000011 m	R(62) = -0.000008 m
R(63) = -0.000007 m	R(64) = 0.000017 m
R(65) = -0.000004 m	R(66) = -0.000012 m
R(67) = 0.000005 m	R(68) = -0.000002 m
R(69) = 0.000007 m	R(70) = 0.000001 m

$R(71) = -0.000000 \text{ m}$	$R(72) = -0.000005 \text{ m}$
$R(73) = -0.000001 \text{ m}$	$R(74) = -0.000017 \text{ m}$
$R(75) = 0.000010 \text{ m}$	$R(76) = 0.000004 \text{ m}$
$R(77) = 0.000015 \text{ m}$	$R(78) = 0.000001 \text{ m}$
$R(79) = 0.000017 \text{ m}$	$R(80) = -0.000007 \text{ m}$
$R(81) = 0.000003 \text{ m}$	$R(82) = 0.000008 \text{ m}$
$R(83) = -0.000007 \text{ m}$	$R(84) = -0.000007 \text{ m}$
$R(85) = 0.000000 \text{ m}$	$R(86) = 0.000005 \text{ m}$
$R(87) = 0.000000 \text{ m}$	$R(88) = 0.000017 \text{ m}$
$R(89) = -0.000005 \text{ m}$	$R(90) = 0.000012 \text{ m}$
$R(91) = -0.000008 \text{ m}$	$R(92) = -0.000028 \text{ m}$

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000018 m

Parámetros de orientación utilizados en la iteración 3:

**FOTOGRAMA 1:**

- $\omega$ =	1°.5984
- $\varphi$ =	-2°.1250
- $\chi$ =	-0°.5979
- $X_L$ =	42237.502 m
- $Y_L$ =	51241.822 m
- $Z_L$ =	641.260 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $\omega$ =	1°.9720
- $\varphi$ =	-2°.5924
- $\chi$ =	-1°.4676
- $X_L$ =	42602.452 m
- $Y_L$ =	51233.349 m
- $Z_L$ =	644.411 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $\omega$ =	1°.2162
- $\varphi$ =	-2°.5870
- $\chi$ =	-1°.9208
- $X_L$ =	42964.857 m
- $Y_L$ =	51220.508 m
- $Z_L$ =	650.109 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $\omega$ =	0°.6784
- $\varphi$ =	-1°.6733
- $\chi$ =	2°.3102
- $X_L$ =	42367.466 m
- $Y_L$ =	51878.551 m
- $Z_L$ =	629.266 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $\omega$ =	0°.9004
- $\varphi$ =	-1°.3884
- $\chi$ =	1°.2229
- $X_L$ =	42737.500 m
- $Y_L$ =	51886.007 m
- $Z_L$ =	629.988 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $\omega$ =	2°.0404
- $\varphi$ =	-0°.8537
- $\chi$ =	0°.9630
- $X_L$ =	43094.078 m
- $Y_L$ =	51886.936 m
- $Z_L$ =	630.731 m

**Coord. terreno aprox. utilizadas en la iteración 3:**

	X(m)	Y(m)	Z(m)
Punto 1	42544.047	50964.263	10.919
Punto 2	42572.463	51318.301	11.905
Punto 3	42271.699	51008.750	2.474
Punto 4	42670.060	51557.329	14.218
Punto 5	42662.816	51615.332	15.912
Punto 6	42335.755	51554.327	13.974
Punto 7	42801.730	51737.411	17.751
Punto 8	42592.307	52114.279	20.736
Punto 9	42792.711	52051.583	21.497
Punto 10	43089.561	51532.396	13.372
Punto 11	42977.440	50994.169	4.553
Punto 12	43143.749	52273.048	22.581

Resultados de la iteración 3:

Estimador var. obs. peso unidad = 0.0000000003121

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

**FOTOGRAMA 1:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .2135;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1107
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .3573;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0533
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0302;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0227
- $dX_L$ = -7.419 m;	EMC = 0.626 m
- $dY_L$ = 1.801 m;	EMC = 1.170 m
- $dZ_L$ = -4.624 m;	EMC = 0.433 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .2149;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1132
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .3482;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0311
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0189;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0148
- $dX_L$ = -7.544 m;	EMC = 0.392 m
- $dY_L$ = 2.019 m;	EMC = 1.155 m
- $dZ_L$ = -2.546 m;	EMC = 0.301 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .2301;	EMC = 0 <sup>g</sup> .1071
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .3468;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0417
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0029;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0163
- $dX_L$ = -7.712 m;	EMC = 0.476 m
- $dY_L$ = 1.980 m;	EMC = 1.095 m
- $dZ_L$ = -0.609 m;	EMC = 0.359 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .0455;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0825
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .2975;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0284
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0322;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0165
- $dX_L$ = -7.220 m;	EMC = 0.344 m
- $dY_L$ = 3.410 m;	EMC = 0.858 m
- $dZ_L$ = -1.965 m;	EMC = 0.432 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .1721;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0713
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .3436;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0183
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0703;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0102
- $dX_L$ = -7.875 m;	EMC = 0.267 m
- $dY_L$ = 2.304 m;	EMC = 0.691 m
- $dZ_L$ = 0.201 m;	EMC = 0.431 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = 0 <sup>g</sup> .3063;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0795
- $d\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .2031;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0311
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0516;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0196
- $dX_L$ = -5.787 m;	EMC = 0.337 m
- $dY_L$ = 0.855 m;	EMC = 0.843 m
- $dZ_L$ = 2.061 m;	EMC = 0.476 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = -3.868 m;	EMC = 0.149 m
- $dY$ = 4.208 m;	EMC = 0.205 m
- $dZ$ = -3.455 m;	EMC = 0.471 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = -4.056 m;	EMC = 0.140 m
- $dY$ = 4.052 m;	EMC = 0.128 m
- $dZ$ = -2.222 m;	EMC = 0.449 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = -3.697 m;	EMC = 0.224 m
- $dY$ = 4.084 m;	EMC = 0.261 m
- $dZ$ = -4.748 m;	EMC = 0.557 m

**PUNTO 4:**

- $dX$ = -4.183 m;	EMC = 0.151 m
- $dY$ = 4.051 m;	EMC = 0.085 m
- $dZ$ = -0.965 m;	EMC = 0.801 m

**PUNTO 5:**

- $dX = -4.238$ m;	EMC = 0.151 m
- $dY = 4.044$ m;	EMC = 0.087 m
- $dZ = -0.838$ m;	EMC = 0.813 m

**PUNTO 6:**

- $dX = -4.116$ m;	EMC = 0.211 m
- $dY = 3.752$ m;	EMC = 0.118 m
- $dZ = -2.674$ m;	EMC = 0.792 m

**PUNTO 7:**

- $dX = -4.302$ m;	EMC = 0.128 m
- $dY = 4.033$ m;	EMC = 0.101 m
- $dZ = -0.145$ m;	EMC = 0.642 m

**PUNTO 8:**

- $dX = -4.861$ m;	EMC = 0.097 m
- $dY = 3.765$ m;	EMC = 0.132 m
- $dZ = 0.193$ m;	EMC = 0.290 m

**PUNTO 9:**

- $dX = -4.630$ m;	EMC = 0.095 m
- $dY = 4.304$ m;	EMC = 0.110 m
- $dZ = 0.274$ m;	EMC = 0.323 m

**PUNTO 10:**

- $dX = -4.137$ m;	EMC = 0.186 m
- $dY = 4.318$ m;	EMC = 0.096 m
- $dZ = 1.025$ m;	EMC = 0.865 m

**PUNTO 11:**

- $dX = -4.083$ m;	EMC = 0.127 m
- $dY = 4.366$ m;	EMC = 0.122 m
- $dZ = -0.898$ m;	EMC = 0.312 m

**PUNTO 12:**

- $dX = -3.326$ m;	EMC = 0.139 m
- $dY = 6.009$ m;	EMC = 0.179 m
- $dZ = 0.866$ m;	EMC = 0.276 m

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.000001 m	R(2) = -0.000001 m
R(3) = 0.000002 m	R(4) = -0.000005 m
R(5) = 0.000000 m	R(6) = 0.000003 m
R(7) = -0.000001 m	R(8) = -0.000002 m
R(9) = -0.000002 m	R(10) = 0.000004 m
R(11) = 0.000000 m	R(12) = 0.000002 m
R(13) = -0.000002 m	R(14) = -0.000004 m
R(15) = -0.000004 m	R(16) = 0.000003 m
R(17) = 0.000000 m	R(18) = -0.000003 m
R(19) = -0.000000 m	R(20) = -0.000004 m
R(21) = 0.000001 m	R(22) = -0.000005 m
R(23) = 0.000005 m	R(24) = 0.000004 m
R(25) = 0.000005 m	R(26) = 0.000005 m
R(27) = 0.000000 m	R(28) = 0.000005 m
R(29) = -0.000004 m	R(30) = 0.000001 m
R(31) = 0.000013 m	R(32) = -0.000005 m
R(33) = 0.000001 m	R(34) = 0.000005 m
R(35) = 0.000002 m	R(36) = 0.000002 m
R(37) = 0.000000 m	R(38) = -0.000004 m
R(39) = -0.000014 m	R(40) = -0.000006 m
R(41) = -0.000001 m	R(42) = 0.000002 m
R(43) = -0.000000 m	R(44) = 0.000005 m
R(45) = -0.000005 m	R(46) = -0.000001 m
R(47) = -0.000011 m	R(48) = -0.000001 m
R(49) = 0.000003 m	R(50) = 0.000007 m
R(51) = -0.000001 m	R(52) = -0.000000 m
R(53) = -0.000000 m	R(54) = -0.000006 m
R(55) = 0.000007 m	R(56) = 0.000015 m
R(57) = 0.000007 m	R(58) = -0.000013 m
R(59) = 0.000005 m	R(60) = -0.000024 m
R(61) = 0.000012 m	R(62) = 0.000015 m
R(63) = 0.000007 m	R(64) = -0.000004 m
R(65) = 0.000000 m	R(66) = 0.000010 m
R(67) = 0.000004 m	R(68) = -0.000011 m

R(69) = 0.000001 m	R(70) = -0.000012 m
R(71) = 0.000000 m	R(72) = 0.000006 m
R(73) = 0.000001 m	R(74) = 0.000022 m
R(75) = -0.000014 m	R(76) = 0.000004 m
R(77) = -0.000016 m	R(78) = -0.000006 m
R(79) = -0.000021 m	R(80) = 0.000014 m
R(81) = 0.000008 m	R(82) = -0.000009 m
R(83) = -0.000005 m	R(84) = 0.000008 m
R(85) = 0.000002 m	R(86) = 0.000008 m
R(87) = -0.000000 m	R(88) = -0.000022 m
R(89) = 0.000007 m	R(90) = -0.000018 m
R(91) = 0.000008 m	R(92) = 0.000018 m

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000018 m

Parámetros de orientación utilizados en la iteración 4:

**FOTOGRAMA 1:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .8120
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .4823
- $\chi$ = -0 <sup>g</sup> .5676
- $X_L$ = 42230.083 m
- $Y_L$ = 51243.623 m
- $Z_L$ = 636.636 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $\omega$ = 2 <sup>g</sup> .1868
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .9406
- $\chi$ = -1 <sup>g</sup> .4487
- $X_L$ = 42594.907 m
- $Y_L$ = 51235.368 m
- $Z_L$ = 641.865 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .4464
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .9338
- $\chi$ = -1 <sup>g</sup> .9179
- $X_L$ = 42957.145 m
- $Y_L$ = 51222.488 m
- $Z_L$ = 649.500 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $\omega$ = 0 <sup>g</sup> .7238
- $\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .9708
- $\chi$ = 2 <sup>g</sup> .3424
- $X_L$ = 42360.247 m
- $Y_L$ = 51881.961 m
- $Z_L$ = 627.301 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .0726
- $\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .7320
- $\chi$ = 1 <sup>g</sup> .2933
- $X_L$ = 42729.625 m
- $Y_L$ = 51888.311 m
- $Z_L$ = 630.189 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $\omega$ = 2 <sup>g</sup> .3467
- $\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .0568
- $\chi$ = 0 <sup>g</sup> .9114
- $X_L$ = 43088.291 m
- $Y_L$ = 51887.791 m
- $Z_L$ = 632.792 m

**Coord. terreno aprox. utilizadas en la iteración 4:**

Punto	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	42540.179	50968.471	7.465
2	42568.407	51322.353	9.683
3	42268.002	51012.834	-2.274
4	42665.877	51561.380	13.253
5	42658.578	51619.376	15.073
6	42331.639	51558.079	11.300
7	42797.428	51741.444	17.605
8	42587.446	52118.044	20.929
9	42788.082	52055.887	21.771
10	43085.424	51536.713	14.398
11	42973.357	50998.535	3.655
12	43140.423	52279.057	23.447

Resultados de la iteración 4:

Estimador var. obs. peso unidad = 0.0000000001187

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

**FOTOGRAMA 1:**

$$\begin{aligned}
 - d\omega &= -0^g.1640; & \text{EMC} &= 0^g.0676 \\
 - d\varphi &= 0^g.2714; & \text{EMC} &= 0^g.0330 \\
 - d\chi &= -0^g.0164; & \text{EMC} &= 0^g.0140 \\
 - dX_L &= 6.624 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.387 \text{ m} \\
 - dY_L &= -1.557 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.716 \text{ m} \\
 - dZ_L &= 3.460 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.270 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 2:**

$$\begin{aligned}
 - d\omega &= -0^g.1658; & \text{EMC} &= 0^g.0692 \\
 - d\varphi &= 0^g.2633; & \text{EMC} &= 0^g.0193 \\
 - d\chi &= -0^g.0079; & \text{EMC} &= 0^g.0091 \\
 - dX_L &= 6.698 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.245 \text{ m} \\
 - dY_L &= -1.677 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.706 \text{ m} \\
 - dZ_L &= 1.888 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.188 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 3:**

$$\begin{aligned}
 - d\omega &= -0^g.1757; & \text{EMC} &= 0^g.0654 \\
 - d\varphi &= 0^g.2627; & \text{EMC} &= 0^g.0258 \\
 - d\chi &= 0^g.0036; & \text{EMC} &= 0^g.0099 \\
 - dX_L &= 6.821 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.298 \text{ m} \\
 - dY_L &= -1.631 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.670 \text{ m} \\
 - dZ_L &= 0.415 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.223 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0145;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0518
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .2216;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0177
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0140;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0104
- $dX_L$ = 6.338 m;	EMC = 0.215 m
- $dY_L$ = -3.006 m;	EMC = 0.538 m
- $dZ_L$ = 1.508 m;	EMC = 0.265 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .1178;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0446
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .2608;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0117
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0477;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0064
- $dX_L$ = 6.893 m;	EMC = 0.170 m
- $dY_L$ = -2.034 m;	EMC = 0.431 m
- $dZ_L$ = -0.129 m;	EMC = 0.265 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .2099;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0498
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .1621;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0195
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0384;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0124
- $dX_L$ = 5.421 m;	EMC = 0.211 m
- $dY_L$ = -1.026 m;	EMC = 0.529 m
- $dZ_L$ = -1.544 m;	EMC = 0.295 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = 3.949 m;	EMC = 0.092 m
- $dY$ = -3.365 m;	EMC = 0.127 m
- $dZ$ = 2.599 m;	EMC = 0.289 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = 4.051 m;	EMC = 0.087 m
- $dY$ = -3.249 m;	EMC = 0.079 m
- $dZ$ = 1.652 m;	EMC = 0.281 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = 3.821 m;	EMC = 0.138 m
- $dY$ = -3.300 m;	EMC = 0.161 m
- $dZ$ = 3.581 m;	EMC = 0.343 m

**PUNTO 4:**

- $dX$ = 4.118 m;	EMC = 0.094 m
- $dY$ = -3.240 m;	EMC = 0.053 m
- $dZ$ = 0.686 m;	EMC = 0.496 m

**PUNTO 5:**

- $dX = 4.152$ m;	EMC = 0.094 m
- $dY = -3.240$ m;	EMC = 0.053 m
- $dZ = 0.595$ m;	EMC = 0.503 m

**PUNTO 6:**

- $dX = 4.075$ m;	EMC = 0.131 m
- $dY = -3.051$ m;	EMC = 0.073 m
- $dZ = 1.990$ m;	EMC = 0.490 m

**PUNTO 7:**

- $dX = 4.198$ m;	EMC = 0.080 m
- $dY = -3.222$ m;	EMC = 0.062 m
- $dZ = 0.083$ m;	EMC = 0.396 m

**PUNTO 8:**

- $dX = 4.567$ m;	EMC = 0.060 m
- $dY = -3.009$ m;	EMC = 0.081 m
- $dZ = -0.124$ m;	EMC = 0.177 m

**PUNTO 9:**

- $dX = 4.420$ m;	EMC = 0.059 m
- $dY = -3.403$ m;	EMC = 0.068 m
- $dZ = -0.180$ m;	EMC = 0.198 m

**PUNTO 10:**

- $dX = 4.084$ m;	EMC = 0.117 m
- $dY = -3.401$ m;	EMC = 0.059 m
- $dZ = -0.818$ m;	EMC = 0.537 m

**PUNTO 11:**

- $dX = 4.096$ m;	EMC = 0.080 m
- $dY = -3.440$ m;	EMC = 0.075 m
- $dZ = 0.677$ m;	EMC = 0.189 m

**PUNTO 12:**

- $dX = 3.496$ m;	EMC = 0.088 m
- $dY = -4.596$ m;	EMC = 0.111 m
- $dZ = -0.684$ m;	EMC = 0.170 m

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.000000 m	R(2) = -0.000002 m
R(3) = 0.000001 m	R(4) = -0.000005 m
R(5) = 0.000000 m	R(6) = 0.000003 m
R(7) = 0.000001 m	R(8) = -0.000002 m
R(9) = -0.000005 m	R(10) = 0.000005 m
R(11) = 0.000003 m	R(12) = 0.000001 m
R(13) = -0.000000 m	R(14) = 0.000003 m
R(15) = -0.000002 m	R(16) = 0.000006 m
R(17) = 0.000000 m	R(18) = -0.000002 m
R(19) = 0.000006 m	R(20) = 0.000000 m
R(21) = 0.000003 m	R(22) = -0.000000 m
R(23) = -0.000004 m	R(24) = -0.000005 m
R(25) = -0.000001 m	R(26) = 0.000002 m
R(27) = 0.000000 m	R(28) = 0.000001 m
R(29) = -0.000001 m	R(30) = -0.000004 m
R(31) = -0.000002 m	R(32) = 0.000001 m
R(33) = 0.000000 m	R(34) = -0.000001 m
R(35) = 0.000001 m	R(36) = -0.000001 m
R(37) = 0.000000 m	R(38) = -0.000001 m
R(39) = -0.000002 m	R(40) = 0.000001 m
R(41) = 0.000002 m	R(42) = 0.000001 m
R(43) = 0.000000 m	R(44) = 0.000002 m
R(45) = 0.000011 m	R(46) = -0.000004 m
R(47) = 0.000005 m	R(48) = -0.000009 m
R(49) = -0.000007 m	R(50) = 0.000009 m
R(51) = -0.000004 m	R(52) = -0.000010 m
R(53) = 0.000000 m	R(54) = 0.000003 m
R(55) = -0.000002 m	R(56) = -0.000008 m
R(57) = -0.000003 m	R(58) = 0.000019 m
R(59) = -0.000009 m	R(60) = 0.000009 m
R(61) = -0.000005 m	R(62) = -0.000001 m
R(63) = -0.000004 m	R(64) = 0.000013 m
R(65) = -0.000003 m	R(66) = -0.000006 m
R(67) = 0.000005 m	R(68) = -0.000005 m

R(69) = 0.000006 m	R(70) = -0.000002 m
R(71) = -0.000000 m	R(72) = -0.000003 m
R(73) = -0.000000 m	R(74) = -0.000006 m
R(75) = 0.000004 m	R(76) = 0.000004 m
R(77) = 0.000007 m	R(78) = -0.000003 m
R(79) = 0.000006 m	R(80) = -0.000001 m
R(81) = 0.000005 m	R(82) = 0.000004 m
R(83) = -0.000006 m	R(84) = -0.000002 m
R(85) = 0.000000 m	R(86) = 0.000006 m
R(87) = 0.000000 m	R(88) = 0.000006 m
R(89) = -0.000002 m	R(90) = 0.000003 m
R(91) = -0.000003 m	R(92) = -0.000016 m

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000011 m

Parámetros de orientación utilizados en la iteración 14:

**FOTOGRAMA 1:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .7258
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .3414
- $\chi$ = -0 <sup>g</sup> .5769
- $X_L$ = 42233.414 m
- $Y_L$ = 51242.772 m
- $Z_L$ = 638.454 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $\omega$ = 2 <sup>g</sup> .0996
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .8033
- $\chi$ = -1 <sup>g</sup> .4533
- $X_L$ = 42598.291 m
- $Y_L$ = 51234.452 m
- $Z_L$ = 642.864 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .3537
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .7969
- $\chi$ = -1 <sup>g</sup> .9160
- $X_L$ = 42960.600 m
- $Y_L$ = 51221.599 m
- $Z_L$ = 649.734 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $\omega$ = 0 <sup>g</sup> .7064
- $\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .8553
- $\chi$ = 2 <sup>g</sup> .3323
- $X_L$ = 42363.447 m
- $Y_L$ = 51880.468 m
- $Z_L$ = 628.059 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .0053
- $\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .5970
- $\chi$ = 1 <sup>g</sup> .2684
- $X_L$ = 42733.096 m
- $Y_L$ = 51887.267 m
- $Z_L$ = 630.098 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $\omega$ = 2 <sup>g</sup> .2336
- $\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .9733
- $\chi$ = 0 <sup>g</sup> .9331
- $X_L$ = 43090.983 m
- $Y_L$ = 51887.255 m
- $Z_L$ = 631.975 m

**Coord. terreno aprox. utilizadas en la iteración 14:**

Punto	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	42542.128	50966.659	8.826
2	42570.408	51320.612	10.550
3	42269.877	51011.061	-0.402
4	42667.915	51559.648	13.617
5	42660.634	51617.646	15.388
6	42333.648	51556.452	12.336
7	42799.505	51739.726	17.652
8	42589.719	52116.428	20.846
9	42790.268	52054.069	21.664
10	43087.447	51534.896	13.978
11	42975.394	50996.682	4.009
12	43142.117	52276.619	23.079

Resultados de la iteración 14:

Estimador var. obs. peso unidad = 0.0000000000421

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

**FOTOGRAMA 1:**

$$\begin{aligned}
 - d\omega &= -0^g.0113; & \text{EMC} &= 0^g.0404 \\
 - d\varphi &= 0^g.0187; & \text{EMC} &= 0^g.0196 \\
 - d\chi &= -0^g.0012; & \text{EMC} &= 0^g.0083 \\
 - dX_L &= 0.464 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.230 \text{ m} \\
 - dY_L &= -0.102 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.428 \text{ m} \\
 - dZ_L &= 0.237 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.160 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 2:**

$$\begin{aligned}
 - d\omega &= -0^g.0114; & \text{EMC} &= 0^g.0414 \\
 - d\varphi &= 0^g.0181; & \text{EMC} &= 0^g.0115 \\
 - d\chi &= -0^g.0006; & \text{EMC} &= 0^g.0054 \\
 - dX_L &= 0.468 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.145 \text{ m} \\
 - dY_L &= -0.111 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.422 \text{ m} \\
 - dZ_L &= 0.129 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.111 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 3:**

$$\begin{aligned}
 - d\omega &= -0^g.0120; & \text{EMC} &= 0^g.0391 \\
 - d\varphi &= 0^g.0181; & \text{EMC} &= 0^g.0153 \\
 - d\chi &= 0^g.0002; & \text{EMC} &= 0^g.0059 \\
 - dX_L &= 0.476 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.176 \text{ m} \\
 - dY_L &= -0.108 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.400 \text{ m} \\
 - dZ_L &= 0.027 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.132 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0006;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0306
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0153;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0105
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0009;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0062
- $dX_L$ = 0.444 m;	EMC = 0.127 m
- $dY_L$ = -0.207 m;	EMC = 0.318 m
- $dZ_L$ = 0.104 m;	EMC = 0.158 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0079;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0264
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0180;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0069
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .3400;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0038
- $dX_L$ = 0.483 m;	EMC = 0.100 m
- $dY_L$ = -0.138 m;	EMC = 0.256 m
- $dZ_L$ = -0.009 m;	EMC = 0.158 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0143;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0295
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0112;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0116
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0025;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0073
- $dX_L$ = 0.382 m;	EMC = 0.125 m
- $dY_L$ = -0.069 m;	EMC = 0.313 m
- $dZ_L$ = -0.106 m;	EMC = 0.176 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = 0.279 m;	EMC = 0.055 m
- $dY$ = -0.226 m;	EMC = 0.076 m
- $dZ$ = 0.178 m;	EMC = 0.172 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = 0.286 m;	EMC = 0.052 m
- $dY$ = -0.219 m;	EMC = 0.047 m
- $dZ$ = 0.113 m;	EMC = 0.167 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = 0.270 m;	EMC = 0.082 m
- $dY$ = -0.222 m;	EMC = 0.096 m
- $dZ$ = 0.246 m;	EMC = 0.204 m

**PUNTO 4:**

- $dX$ = 0.291 m;	EMC = 0.056 m
- $dY$ = -0.219 m;	EMC = 0.031 m
- $dZ$ = 0.047 m;	EMC = 0.295 m

**PUNTO 5:**

- $dX = 0.293$ m;	EMC = 0.056 m
- $dY = -0.219$ m;	EMC = 0.032 m
- $dZ = 0.041$ m;	EMC = 0.299 m

**PUNTO 6:**

- $dX = 0.288$ m;	EMC = 0.078 m
- $dY = -0.206$ m;	EMC = 0.044 m
- $dZ = 0.137$ m;	EMC = 0.292 m

**PUNTO 7:**

- $dX = 0.297$ m;	EMC = 0.047 m
- $dY = -0.218$ m;	EMC = 0.037 m
- $dZ = 0.005$ m;	EMC = 0.236 m

**PUNTO 8:**

- $dX = 0.322$ m;	EMC = 0.036 m
- $dY = -0.203$ m;	EMC = 0.048 m
- $dZ = -0.008$ m;	EMC = 0.106 m

**PUNTO 9:**

- $dX = 0.313$ m;	EMC = 0.035 m
- $dY = -0.230$ m;	EMC = 0.040 m
- $dZ = -0.012$ m;	EMC = 0.118 m

**PUNTO 10:**

- $dX = 0.288$ m;	EMC = 0.069 m
- $dY = -0.230$ m;	EMC = 0.035 m
- $dZ = -0.057$ m;	EMC = 0.319 m

**PUNTO 11:**

- $dX = 0.288$ m;	EMC = 0.047 m
- $dY = -0.232$ m;	EMC = 0.045 m
- $dZ = 0.046$ m;	EMC = 0.113 m

**PUNTO 12:**

- $dX = 0.250$ m;	EMC = 0.052 m
- $dY = -0.313$ m;	EMC = 0.066 m
- $dZ = -0.047$ m;	EMC = 0.101 m

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.000001 m	R(2) = -0.000002 m
R(3) = 0.000001 m	R(4) = -0.000005 m
R(5) = 0.000000 m	R(6) = 0.000003 m
R(7) = 0.000000 m	R(8) = -0.000002 m
R(9) = -0.000004 m	R(10) = 0.000004 m
R(11) = 0.000002 m	R(12) = 0.000001 m
R(13) = -0.000001 m	R(14) = 0.000000 m
R(15) = -0.000003 m	R(16) = 0.000005 m
R(17) = 0.000000 m	R(18) = -0.000003 m
R(19) = 0.000003 m	R(20) = -0.000002 m
R(21) = 0.000002 m	R(22) = -0.000003 m
R(23) = -0.000001 m	R(24) = -0.000002 m
R(25) = 0.000002 m	R(26) = 0.000003 m
R(27) = 0.000000 m	R(28) = 0.000003 m
R(29) = -0.000002 m	R(30) = -0.000002 m
R(31) = 0.000003 m	R(32) = -0.000001 m
R(33) = 0.000001 m	R(34) = 0.000001 m
R(35) = 0.000001 m	R(36) = 0.000000 m
R(37) = 0.000000 m	R(38) = -0.000003 m
R(39) = -0.000006 m	R(40) = -0.000002 m
R(41) = 0.000001 m	R(42) = 0.000001 m
R(43) = -0.000000 m	R(44) = 0.000003 m
R(45) = 0.000004 m	R(46) = -0.000002 m
R(47) = -0.000002 m	R(48) = -0.000005 m
R(49) = -0.000002 m	R(50) = 0.000008 m
R(51) = -0.000003 m	R(52) = -0.000006 m
R(53) = -0.000000 m	R(54) = -0.000001 m
R(55) = 0.000002 m	R(56) = 0.000001 m
R(57) = 0.000001 m	R(58) = 0.000005 m
R(59) = -0.000003 m	R(60) = -0.000003 m
R(61) = 0.000001 m	R(62) = 0.000004 m
R(63) = 0.000000 m	R(64) = 0.000005 m
R(65) = -0.000001 m	R(66) = -0.000000 m
R(67) = 0.000004 m	R(68) = -0.000007 m
R(69) = 0.000003 m	R(70) = -0.000005 m

R(71) = 0.000000 m	R(72) = 0.000001 m
R(73) = 0.000000 m	R(74) = 0.000004 m
R(75) = -0.000004 m	R(76) = 0.000005 m
R(77) = -0.000002 m	R(78) = -0.000003 m
R(79) = -0.000004 m	R(80) = 0.000004 m
R(81) = 0.000005 m	R(82) = -0.000001 m
R(83) = -0.000006 m	R(84) = 0.000002 m
R(85) = 0.000001 m	R(86) = 0.000006 m
R(87) = -0.000000 m	R(88) = -0.000004 m
R(89) = 0.000002 m	R(90) = -0.000006 m
R(91) = 0.000001 m	R(92) = -0.000002 m

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000006 m

Parámetros de orientación utilizados en la iteración 24:

**FOTOGRAMA 1:**

- $\omega$ =	1°.7199
- $\varphi$ =	-2°.3315
- $\chi$ =	-0°.5775
- $X_L$ =	42233.659 m
- $Y_L$ =	51242.718 m
- $Z_L$ =	638.578 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $\omega$ =	2°.0937
- $\varphi$ =	-2°.7938
- $\chi$ =	-1°.4536
- $X_L$ =	42598.538 m
- $Y_L$ =	51234.393 m
- $Z_L$ =	642.932 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $\omega$ =	1°.3474
- $\varphi$ =	-2°.7874
- $\chi$ =	-1°.9159
- $X_L$ =	42960.851 m
- $Y_L$ =	51221.541 m
- $Z_L$ =	649.748 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $\omega$ =	0°.7061
- $\varphi$ =	-1°.8473
- $\chi$ =	2°.3318
- $X_L$ =	42363.681 m
- $Y_L$ =	51880.359 m
- $Z_L$ =	628.114 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $\omega$ =	1°.0012
- $\varphi$ =	-1°.5875
- $\chi$ =	1°.2667
- $X_L$ =	42733.350 m
- $Y_L$ =	51887.194 m
- $Z_L$ =	630.094 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $\omega$ =	2°.2261
- $\varphi$ =	-0°.9674
- $\chi$ =	0°.9344
- $X_L$ =	43091.185 m
- $Y_L$ =	51887.219 m
- $Z_L$ =	631.919 m

**Coord. terreno aprox. utilizadas en la iteración 24:**

Punto	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	42542.275	50966.539	8.920
2	42570.559	51320.496	10.610
3	42270.020	51010.944	-0.272
4	42668.068	51559.532	13.642
5	42660.788	51617.530	15.409
6	42333.800	51556.343	12.408
7	42799.661	51739.611	17.654
8	42589.888	52116.321	20.842
9	42790.433	52053.947	21.657
10	43087.599	51534.774	13.948
11	42975.545	50996.559	4.034
12	43142.248	52276.454	23.054

Resultados de la iteración 24:

Estimador var. obs. peso unidad = 0.0000000000442

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

**FOTOGRAMA 1:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0008;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0414
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0013;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0201
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0085
- $dX_L$ = 0.032 m;	EMC = 0.236 m
- $dY_L$ = -0.007 m;	EMC = 0.438 m
- $dZ_L$ = 0.016 m;	EMC = 0.164 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0008;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0424
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0012;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0117
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0056
- $dX_L$ = 0.032 m;	EMC = 0.149 m
- $dY_L$ = -0.008 m;	EMC = 0.432 m
- $dZ_L$ = 0.009 m;	EMC = 0.114 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0008;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0401
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0012;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0157
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0061
- $dX_L$ = 0.033 m;	EMC = 0.181 m
- $dY_L$ = -0.007 m;	EMC = 0.410 m
- $dZ_L$ = 0.002 m;	EMC = 0.136 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0313
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0010;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0108
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0063
- $dX_L$ = 0.030 m;	EMC = 0.130 m
- $dY_L$ = -0.014 m;	EMC = 0.326 m
- $dZ_L$ = 0.007 m;	EMC = 0.162 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0005;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0270
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0012;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0070
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0002;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0039
- $dX_L$ = 0.033 m;	EMC = 0.102 m
- $dY_L$ = -0.010 m;	EMC = 0.262 m
- $dZ_L$ = -0.001 m;	EMC = 0.162 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0010;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0302
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0008;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0118
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0002;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0075
- $dX_L$ = 0.026 m;	EMC = 0.128 m
- $dY_L$ = -0.005 m;	EMC = 0.320 m
- $dZ_L$ = -0.007 m;	EMC = 0.180 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = 0.019 m;	EMC = 0.056 m
- $dY$ = -0.016 m;	EMC = 0.077 m
- $dZ$ = 0.012 m;	EMC = 0.176 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = 0.020 m;	EMC = 0.053 m
- $dY$ = -0.015 m;	EMC = 0.048 m
- $dZ$ = 0.008 m;	EMC = 0.171 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = 0.019 m;	EMC = 0.084 m
- $dY$ = -0.015 m;	EMC = 0.098 m
- $dZ$ = 0.017 m;	EMC = 0.209 m

**PUNTO 4:**

- $dX$ = 0.020 m;	EMC = 0.057 m
- $dY$ = -0.015 m;	EMC = 0.032 m
- $dZ$ = 0.003 m;	EMC = 0.302 m

**PUNTO 5:**

- $dX = 0.020$ m;	EMC = 0.057 m
- $dY = -0.015$ m;	EMC = 0.033 m
- $dZ = 0.003$ m;	EMC = 0.306 m

**PUNTO 6:**

- $dX = 0.020$ m;	EMC = 0.079 m
- $dY = -0.014$ m;	EMC = 0.045 m
- $dZ = 0.009$ m;	EMC = 0.299 m

**PUNTO 7:**

- $dX = 0.020$ m;	EMC = 0.049 m
- $dY = -0.015$ m;	EMC = 0.038 m
- $dZ = 0.000$ m;	EMC = 0.242 m

**PUNTO 8:**

- $dX = 0.022$ m;	EMC = 0.037 m
- $dY = -0.014$ m;	EMC = 0.049 m
- $dZ = -0.001$ m;	EMC = 0.109 m

**PUNTO 9:**

- $dX = 0.021$ m;	EMC = 0.036 m
- $dY = -0.016$ m;	EMC = 0.041 m
- $dZ = -0.001$ m;	EMC = 0.121 m

**PUNTO 10:**

- $dX = 0.020$ m;	EMC = 0.071 m
- $dY = -0.016$ m;	EMC = 0.036 m
- $dZ = -0.004$ m;	EMC = 0.327 m

**PUNTO 11:**

- $dX = 0.020$ m;	EMC = 0.048 m
- $dY = -0.016$ m;	EMC = 0.046 m
- $dZ = 0.003$ m;	EMC = 0.116 m

**PUNTO 12:**

- $dX = 0.017$ m;	EMC = 0.053 m
- $dY = -0.021$ m;	EMC = 0.068 m
- $dZ = -0.003$ m;	EMC = 0.104 m

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.000001 m	R(2) = -0.000001 m
R(3) = 0.000001 m	R(4) = -0.000005 m
R(5) = 0.000000 m	R(6) = 0.000003 m
R(7) = -0.000000 m	R(8) = -0.000002 m
R(9) = -0.000004 m	R(10) = 0.000004 m
R(11) = 0.000002 m	R(12) = 0.000001 m
R(13) = -0.000001 m	R(14) = 0.000000 m
R(15) = -0.000003 m	R(16) = 0.000005 m
R(17) = 0.000000 m	R(18) = -0.000003 m
R(19) = 0.000003 m	R(20) = -0.000002 m
R(21) = 0.000002 m	R(22) = -0.000003 m
R(23) = -0.000000 m	R(24) = -0.000001 m
R(25) = 0.000002 m	R(26) = 0.000003 m
R(27) = 0.000000 m	R(28) = 0.000003 m
R(29) = -0.000002 m	R(30) = -0.000002 m
R(31) = 0.000004 m	R(32) = -0.000001 m
R(33) = 0.000001 m	R(34) = 0.000001 m
R(35) = 0.000001 m	R(36) = 0.000000 m
R(37) = 0.000000 m	R(38) = -0.000003 m
R(39) = -0.000006 m	R(40) = -0.000002 m
R(41) = 0.000001 m	R(42) = 0.000001 m
R(43) = -0.000000 m	R(44) = 0.000003 m
R(45) = 0.000003 m	R(46) = -0.000002 m
R(47) = -0.000002 m	R(48) = -0.000005 m
R(49) = -0.000002 m	R(50) = 0.000007 m
R(51) = -0.000002 m	R(52) = -0.000005 m
R(53) = -0.000000 m	R(54) = -0.000001 m
R(55) = 0.000002 m	R(56) = 0.000002 m
R(57) = 0.000001 m	R(58) = 0.000004 m
R(59) = -0.000002 m	R(60) = -0.000004 m
R(61) = 0.000002 m	R(62) = 0.000004 m
R(63) = 0.000001 m	R(64) = 0.000005 m
R(65) = -0.000001 m	R(66) = 0.000000 m
R(67) = 0.000004 m	R(68) = -0.000007 m
R(69) = 0.000003 m	R(70) = -0.000006 m

R(71) = 0.000000 m	R(72) = 0.000001 m
R(73) = 0.000000 m	R(74) = 0.000005 m
R(75) = -0.000004 m	R(76) = 0.000005 m
R(77) = -0.000002 m	R(78) = -0.000003 m
R(79) = -0.000004 m	R(80) = 0.000004 m
R(81) = 0.000005 m	R(82) = -0.000001 m
R(83) = -0.000005 m	R(84) = 0.000002 m
R(85) = 0.000001 m	R(86) = 0.000007 m
R(87) = -0.000000 m	R(88) = -0.000005 m
R(89) = 0.000002 m	R(90) = -0.000007 m
R(91) = 0.000001 m	R(92) = -0.000001 m

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000007 m

Parámetros de orientación utilizados en la iteración 34:

**FOTOGRAMA 1:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .7194
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .3309
- $\chi$ = -0 <sup>g</sup> .5776
- $X_L$ = 42233.675 m
- $Y_L$ = 51242.714 m
- $Z_L$ = 638.587 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $\omega$ = 2 <sup>g</sup> .0932
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .7931
- $\chi$ = -1 <sup>g</sup> .4537
- $X_L$ = 42598.555 m
- $Y_L$ = 51234.389 m
- $Z_L$ = 642.937 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .3470
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .7867
- $\chi$ = -1 <sup>g</sup> .9159
- $X_L$ = 42960.868 m
- $Y_L$ = 51221.537 m
- $Z_L$ = 649.749 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $\omega$ = 0 <sup>g</sup> .7061
- $\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .8467
- $\chi$ = 2 <sup>g</sup> .3318
- $X_L$ = 42363.697 m
- $Y_L$ = 51880.352 m
- $Z_L$ = 628.118 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .0009
- $\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .5869
- $\chi$ = 1 <sup>g</sup> .2665
- $X_L$ = 42733.368 m
- $Y_L$ = 51887.189 m
- $Z_L$ = 630.093 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $\omega$ = 2 <sup>g</sup> .2256
- $\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .9670
- $\chi$ = 0 <sup>g</sup> .9345
- $X_L$ = 43091.198 m
- $Y_L$ = 51887.216 m
- $Z_L$ = 631.915 m

**Coord. terreno aprox. utilizadas en la iteración 34:**

	X(m)	Y(m)	Z(m)
Punto 1	42542.285	50966.531	8.927
Punto 2	42570.569	51320.488	10.614
Punto 3	42270.029	51010.936	-0.263
Punto 4	42668.079	51559.524	13.643
Punto 5	42660.799	51617.522	15.411
Punto 6	42333.811	51556.336	12.413
Punto 7	42799.672	51739.603	17.655
Punto 8	42589.900	52116.314	20.842
Punto 9	42790.444	52053.939	21.657
Punto 10	43087.609	51534.766	13.946
Punto 11	42975.556	50996.551	4.035
Punto 12	43142.257	52276.443	23.052

Resultados de la iteración 34:

Estimador var. obs. peso unidad = 0.0000000000444

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

**FOTOGRAMA 1:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0415
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0201
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0086
- $dX_L$ = 0.002 m;	EMC = 0.236 m
- $dY_L$ = -0.000 m;	EMC = 0.439 m
- $dZ_L$ = 0.001 m;	EMC = 0.164 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0425
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0118
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0056
- $dX_L$ = 0.002 m;	EMC = 0.149 m
- $dY_L$ = -0.001 m;	EMC = 0.433 m
- $dZ_L$ = 0.001 m;	EMC = 0.114 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0402
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0157
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0061
- $dX_L$ = 0.002 m;	EMC = 0.181 m
- $dY_L$ = -0.001 m;	EMC = 0.411 m
- $dZ_L$ = 0.000 m;	EMC = 0.136 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0314
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0108
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0063
- $dX_L$ = 0.002 m;	EMC = 0.131 m
- $dY_L$ = -0.001 m;	EMC = 0.327 m
- $dZ_L$ = 0.000 m;	EMC = 0.162 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0271
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0070
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0039
- $dX_L$ = 0.002 m;	EMC = 0.102 m
- $dY_L$ = -0.001 m;	EMC = 0.262 m
- $dZ_L$ = -0.000 m;	EMC = 0.162 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0302
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0001;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0119
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0075
- $dX_L$ = 0.002 m;	EMC = 0.128 m
- $dY_L$ = -0.000 m;	EMC = 0.321 m
- $dZ_L$ = -0.000 m;	EMC = 0.180 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = 0.001 m;	EMC = 0.056 m
- $dY$ = -0.001 m;	EMC = 0.077 m
- $dZ$ = 0.001 m;	EMC = 0.177 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = 0.001 m;	EMC = 0.053 m
- $dY$ = -0.001 m;	EMC = 0.048 m
- $dZ$ = 0.001 m;	EMC = 0.171 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = 0.001 m;	EMC = 0.084 m
- $dY$ = -0.001 m;	EMC = 0.098 m
- $dZ$ = 0.001 m;	EMC = 0.210 m

**PUNTO 4:**

- $dX$ = 0.001 m;	EMC = 0.057 m
- $dY$ = -0.001 m;	EMC = 0.032 m
- $dZ$ = 0.000 m;	EMC = 0.303 m

**PUNTO 5:**

- $dX = 0.001$ m;	EMC = 0.057 m
- $dY = -0.001$ m;	EMC = 0.033 m
- $dZ = 0.000$ m;	EMC = 0.307 m

**PUNTO 6:**

- $dX = 0.001$ m;	EMC = 0.080 m
- $dY = -0.001$ m;	EMC = 0.045 m
- $dZ = 0.001$ m;	EMC = 0.299 m

**PUNTO 7:**

- $dX = 0.001$ m;	EMC = 0.049 m
- $dY = -0.001$ m;	EMC = 0.038 m
- $dZ = 0.000$ m;	EMC = 0.242 m

**PUNTO 8:**

- $dX = 0.002$ m;	EMC = 0.037 m
- $dY = -0.001$ m;	EMC = 0.050 m
- $dZ = -0.000$ m;	EMC = 0.109 m

**PUNTO 9:**

- $dX = 0.001$ m;	EMC = 0.036 m
- $dY = -0.001$ m;	EMC = 0.042 m
- $dZ = -0.000$ m;	EMC = 0.121 m

**PUNTO 10:**

- $dX = 0.001$ m;	EMC = 0.071 m
- $dY = -0.001$ m;	EMC = 0.036 m
- $dZ = -0.000$ m;	EMC = 0.327 m

**PUNTO 11:**

- $dX = 0.001$ m;	EMC = 0.048 m
- $dY = -0.001$ m;	EMC = 0.046 m
- $dZ = 0.000$ m;	EMC = 0.116 m

**PUNTO 12:**

- $dX = 0.001$ m;	EMC = 0.053 m
- $dY = -0.001$ m;	EMC = 0.068 m
- $dZ = -0.000$ m;	EMC = 0.104 m

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.000001 m	R(2) = -0.000001 m
R(3) = 0.000001 m	R(4) = -0.000005 m
R(5) = 0.000000 m	R(6) = 0.000003 m
R(7) = -0.000000 m	R(8) = -0.000002 m
R(9) = -0.000004 m	R(10) = 0.000004 m
R(11) = 0.000002 m	R(12) = 0.000001 m
R(13) = -0.000001 m	R(14) = 0.000000 m
R(15) = -0.000003 m	R(16) = 0.000005 m
R(17) = 0.000000 m	R(18) = -0.000003 m
R(19) = 0.000003 m	R(20) = -0.000002 m
R(21) = 0.000002 m	R(22) = -0.000003 m
R(23) = -0.000000 m	R(24) = -0.000001 m
R(25) = 0.000002 m	R(26) = 0.000003 m
R(27) = 0.000000 m	R(28) = 0.000003 m
R(29) = -0.000002 m	R(30) = -0.000002 m
R(31) = 0.000004 m	R(32) = -0.000001 m
R(33) = 0.000001 m	R(34) = 0.000001 m
R(35) = 0.000001 m	R(36) = 0.000000 m
R(37) = 0.000000 m	R(38) = -0.000003 m
R(39) = -0.000006 m	R(40) = -0.000002 m
R(41) = 0.000001 m	R(42) = 0.000001 m
R(43) = -0.000000 m	R(44) = 0.000003 m
R(45) = 0.000003 m	R(46) = -0.000002 m
R(47) = -0.000002 m	R(48) = -0.000005 m
R(49) = -0.000002 m	R(50) = 0.000007 m
R(51) = -0.000002 m	R(52) = -0.000005 m
R(53) = -0.000000 m	R(54) = -0.000001 m
R(55) = 0.000002 m	R(56) = 0.000002 m
R(57) = 0.000001 m	R(58) = 0.000004 m
R(59) = -0.000002 m	R(60) = -0.000004 m
R(61) = 0.000002 m	R(62) = 0.000004 m
R(63) = 0.000001 m	R(64) = 0.000004 m
R(65) = -0.000001 m	R(66) = 0.000000 m
R(67) = 0.000004 m	R(68) = -0.000007 m
R(69) = 0.000003 m	R(70) = -0.000006 m

$R(71) = 0.000000 \text{ m}$	$R(72) = 0.000001 \text{ m}$
$R(73) = 0.000000 \text{ m}$	$R(74) = 0.000005 \text{ m}$
$R(75) = -0.000004 \text{ m}$	$R(76) = 0.000005 \text{ m}$
$R(77) = -0.000002 \text{ m}$	$R(78) = -0.000003 \text{ m}$
$R(79) = -0.000004 \text{ m}$	$R(80) = 0.000004 \text{ m}$
$R(81) = 0.000005 \text{ m}$	$R(82) = -0.000001 \text{ m}$
$R(83) = -0.000005 \text{ m}$	$R(84) = 0.000002 \text{ m}$
$R(85) = 0.000001 \text{ m}$	$R(86) = 0.000007 \text{ m}$
$R(87) = -0.000000 \text{ m}$	$R(88) = -0.000005 \text{ m}$
$R(89) = 0.000002 \text{ m}$	$R(90) = -0.000007 \text{ m}$
$R(91) = 0.000001 \text{ m}$	$R(92) = -0.000001 \text{ m}$

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000007 m

Parámetros de orientación utilizados en la iteración 38:

**FOTOGRAMA 1:**

- $\omega$ =	1°.7194
- $\varphi$ =	-2°.3308
- $\chi$ =	-0°.5776
- $X_L$ =	42233.676 m
- $Y_L$ =	51242.714 m
- $Z_L$ =	638.587 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $\omega$ =	2°.0932
- $\varphi$ =	-2°.7931
- $\chi$ =	-1°.4537
- $X_L$ =	42598.556 m
- $Y_L$ =	51234.389 m
- $Z_L$ =	642.937 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $\omega$ =	1°.3469
- $\varphi$ =	-2°.7867
- $\chi$ =	-1°.9159
- $X_L$ =	42960.869 m
- $Y_L$ =	51221.537 m
- $Z_L$ =	649.749 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $\omega$ =	0°.7061
- $\varphi$ =	-1°.8467
- $\chi$ =	2°.3318
- $X_L$ =	42363.698 m
- $Y_L$ =	51880.351 m
- $Z_L$ =	628.118 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $\omega$ =	1°.0009
- $\varphi$ =	-1°.5868
- $\chi$ =	1°.2665
- $X_L$ =	42733.369 m
- $Y_L$ =	51887.188 m
- $Z_L$ =	630.093 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $\omega$ =	2°.2255
- $\varphi$ =	-0°.9670
- $\chi$ =	0°.9345
- $X_L$ =	43091.199 m
- $Y_L$ =	51887.216 m
- $Z_L$ =	631.915 m

**Coord. terreno aprox. utilizadas en la iteración 38:**

Punto	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	42542.285	50966.530	8.927
2	42570.570	51320.488	10.614
3	42270.030	51010.935	-0.263
4	42668.079	51559.524	13.643
5	42660.799	51617.522	15.411
6	42333.811	51556.335	12.413
7	42799.673	51739.602	17.655
8	42589.901	52116.314	20.842
9	42790.445	52053.939	21.657
10	43087.610	51534.766	13.946
11	42975.556	50996.550	4.035
12	43142.258	52276.442	23.052

Resultados de la iteración 38:

Estimador var. obs. peso unidad = 0.0000000000444

Correcciones a las incógnitas y errores medios cuadráticos:

**FOTOGRAMA 1:**

$$\begin{aligned}
 - d\omega &= -0^g.0000; & \text{EMC} &= 0^g.0415 \\
 - d\varphi &= 0^g.0000; & \text{EMC} &= 0^g.0201 \\
 - d\chi &= -0^g.0000; & \text{EMC} &= 0^g.0086 \\
 - dX_L &= 0.001 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.236 \text{ m} \\
 - dY_L &= -0.000 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.439 \text{ m} \\
 - dZ_L &= 0.000 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.164 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 2:**

$$\begin{aligned}
 - d\omega &= -0^g.0000; & \text{EMC} &= 0^g.0425 \\
 - d\varphi &= 0^g.0000; & \text{EMC} &= 0^g.0118 \\
 - d\chi &= -0^g.0000; & \text{EMC} &= 0^g.0056 \\
 - dX_L &= 0.001 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.149 \text{ m} \\
 - dY_L &= -0.000 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.433 \text{ m} \\
 - dZ_L &= 0.000 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.114 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 3:**

$$\begin{aligned}
 - d\omega &= -0^g.0000; & \text{EMC} &= 0^g.0402 \\
 - d\varphi &= 0^g.0000; & \text{EMC} &= 0^g.0158 \\
 - d\chi &= 0^g.0000; & \text{EMC} &= 0^g.0061 \\
 - dX_L &= 0.001 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.181 \text{ m} \\
 - dY_L &= -0.000 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.411 \text{ m} \\
 - dZ_L &= 0.000 \text{ m}; & \text{EMC} &= 0.136 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**FOTOGRAMA 4:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0314
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0108
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0063
- $dX_L$ = 0.001 m;	EMC = 0.131 m
- $dY_L$ = -0.000 m;	EMC = 0.327 m
- $dZ_L$ = 0.000 m;	EMC = 0.162 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0271
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0070
- $d\chi$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0039
- $dX_L$ = 0.001 m;	EMC = 0.102 m
- $dY_L$ = -0.000 m;	EMC = 0.262 m
- $dZ_L$ = -0.000 m;	EMC = 0.162 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $d\omega$ = -0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0302
- $d\varphi$ = 0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0119
- $d\chi$ = 0 <sup>g</sup> .0000;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0075
- $dX_L$ = 0.001 m;	EMC = 0.128 m
- $dY_L$ = -0.000 m;	EMC = 0.321 m
- $dZ_L$ = -0.000 m;	EMC = 0.180 m

**PUNTO 1:**

- $dX$ = 0.000 m;	EMC = 0.056 m
- $dY$ = -0.000 m;	EMC = 0.077 m
- $dZ$ = 0.000 m;	EMC = 0.177 m

**PUNTO 2:**

- $dX$ = 0.000 m;	EMC = 0.053 m
- $dY$ = -0.000 m;	EMC = 0.048 m
- $dZ$ = 0.000 m;	EMC = 0.171 m

**PUNTO 3:**

- $dX$ = 0.000 m;	EMC = 0.084 m
- $dY$ = -0.000 m;	EMC = 0.098 m
- $dZ$ = 0.000 m;	EMC = 0.210 m

**PUNTO 4:**

- $dX$ = 0.000 m;	EMC = 0.057 m
- $dY$ = -0.000 m;	EMC = 0.032 m
- $dZ$ = 0.000 m;	EMC = 0.303 m

**PUNTO 5:**

- $dX$ = 0.000 m;	EMC = 0.057 m
- $dY$ = -0.000 m;	EMC = 0.033 m
- $dZ$ = 0.000 m;	EMC = 0.307 m

**PUNTO 6:**

- $dX$ = 0.000 m;	EMC = 0.080 m
- $dY$ = -0.000 m;	EMC = 0.045 m
- $dZ$ = 0.000 m;	EMC = 0.299 m

**PUNTO 7:**

- $dX$ = 0.000 m;	EMC = 0.049 m
- $dY$ = -0.000 m;	EMC = 0.038 m
- $dZ$ = 0.000 m;	EMC = 0.242 m

**PUNTO 8:**

- $dX$ = 0.001 m;	EMC = 0.037 m
- $dY$ = -0.000 m;	EMC = 0.050 m
- $dZ$ = -0.000 m;	EMC = 0.109 m

**PUNTO 9:**

- $dX$ = 0.001 m;	EMC = 0.036 m
- $dY$ = -0.000 m;	EMC = 0.042 m
- $dZ$ = -0.000 m;	EMC = 0.121 m

**PUNTO 10:**

- $dX$ = 0.000 m;	EMC = 0.071 m
- $dY$ = -0.000 m;	EMC = 0.036 m
- $dZ$ = -0.000 m;	EMC = 0.327 m

**PUNTO 11:**

- $dX$ = 0.000 m;	EMC = 0.048 m
- $dY$ = -0.000 m;	EMC = 0.046 m
- $dZ$ = 0.000 m;	EMC = 0.116 m

**PUNTO 12:**

- $dX$ = 0.000 m;	EMC = 0.053 m
- $dY$ = -0.001 m;	EMC = 0.068 m
- $dZ$ = -0.000 m;	EMC = 0.104 m

Residuos del ajuste:

R(1) = 0.000001 m	R(2) = -0.000001 m
R(3) = 0.000001 m	R(4) = -0.000005 m
R(5) = 0.000000 m	R(6) = 0.000003 m
R(7) = -0.000000 m	R(8) = -0.000002 m
R(9) = -0.000004 m	R(10) = 0.000004 m
R(11) = 0.000002 m	R(12) = 0.000001 m
R(13) = -0.000001 m	R(14) = 0.000000 m
R(15) = -0.000003 m	R(16) = 0.000005 m
R(17) = 0.000000 m	R(18) = -0.000003 m
R(19) = 0.000003 m	R(20) = -0.000002 m
R(21) = 0.000002 m	R(22) = -0.000003 m
R(23) = -0.000000 m	R(24) = -0.000001 m
R(25) = 0.000002 m	R(26) = 0.000003 m
R(27) = 0.000000 m	R(28) = 0.000003 m
R(29) = -0.000002 m	R(30) = -0.000002 m
R(31) = 0.000004 m	R(32) = -0.000001 m
R(33) = 0.000001 m	R(34) = 0.000001 m
R(35) = 0.000001 m	R(36) = 0.000000 m
R(37) = 0.000000 m	R(38) = -0.000003 m
R(39) = -0.000006 m	R(40) = -0.000002 m
R(41) = 0.000001 m	R(42) = 0.000001 m
R(43) = -0.000000 m	R(44) = 0.000003 m
R(45) = 0.000003 m	R(46) = -0.000002 m
R(47) = -0.000002 m	R(48) = -0.000005 m
R(49) = -0.000002 m	R(50) = 0.000007 m
R(51) = -0.000002 m	R(52) = -0.000005 m
R(53) = -0.000000 m	R(54) = -0.000001 m
R(55) = 0.000002 m	R(56) = 0.000002 m
R(57) = 0.000001 m	R(58) = 0.000004 m
R(59) = -0.000002 m	R(60) = -0.000004 m
R(61) = 0.000002 m	R(62) = 0.000004 m
R(63) = 0.000001 m	R(64) = 0.000004 m
R(65) = -0.000001 m	R(66) = 0.000000 m
R(67) = 0.000004 m	R(68) = -0.000007 m
R(69) = 0.000003 m	R(70) = -0.000006 m

R(71) = 0.000000 m	R(72) = 0.000001 m
R(73) = 0.000000 m	R(74) = 0.000005 m
R(75) = -0.000004 m	R(76) = 0.000005 m
R(77) = -0.000002 m	R(78) = -0.000003 m
R(79) = -0.000004 m	R(80) = 0.000004 m
R(81) = 0.000005 m	R(82) = -0.000001 m
R(83) = -0.000005 m	R(84) = 0.000002 m
R(85) = 0.000001 m	R(86) = 0.000007 m
R(87) = -0.000000 m	R(88) = -0.000005 m
R(89) = 0.000002 m	R(90) = -0.000007 m
R(91) = 0.000001 m	R(92) = -0.000001 m

Error medio cuadrático de las coordenadas imagen: 0.000007 m

Resultados alcanzados después de la iteración 38:

**FOTOGRAMA 1:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .7194;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0415
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .3308;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0201
- $\chi$ = -0 <sup>g</sup> .5776;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0086
- $X_L$ = 42233.677 m;	EMC = 0.236 m
- $Y_L$ = 51242.714 m;	EMC = 0.439 m
- $Z_L$ = 638.588 m;	EMC = 0.164 m

**FOTOGRAMA 2:**

- $\omega$ = 2 <sup>g</sup> .0932;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0425
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .7931;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0118
- $\chi$ = -1 <sup>g</sup> .4537;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0056
- $X_L$ = 42598.557 m;	EMC = 0.149 m
- $Y_L$ = 51234.389 m;	EMC = 0.433 m
- $Z_L$ = 642.937 m;	EMC = 0.114 m

**FOTOGRAMA 3:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .3469;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0402
- $\varphi$ = -2 <sup>g</sup> .7867;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0158
- $\chi$ = -1 <sup>g</sup> .9159;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0061
- $X_L$ = 42960.870 m;	EMC = 0.181 m
- $Y_L$ = 51221.537 m;	EMC = 0.411 m
- $Z_L$ = 649.749 m;	EMC = 0.136 m

**FOTOGRAMA 4:**

- $\omega$ = 0 <sup>g</sup> .7061;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0314
- $\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .8467;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0108
- $\chi$ = 2 <sup>g</sup> .3318;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0063
- $X_L$ = 42363.699 m;	EMC = 0.131 m
- $Y_L$ = 51880.351 m;	EMC = 0.327 m
- $Z_L$ = 628.118 m;	EMC = 0.162 m

**FOTOGRAMA 5:**

- $\omega$ = 1 <sup>g</sup> .0008;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0271
- $\varphi$ = -1 <sup>g</sup> .5868;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0070
- $\chi$ = 1 <sup>g</sup> .2665;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0039
- $X_L$ = 42733.369 m;	EMC = 0.102 m
- $Y_L$ = 51887.188 m;	EMC = 0.262 m
- $Z_L$ = 630.093 m;	EMC = 0.162 m

**FOTOGRAMA 6:**

- $\omega$ = 2 <sup>g</sup> .2255;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0302
- $\varphi$ = -0 <sup>g</sup> .9669;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0119
- $\chi$ = 0 <sup>g</sup> .9345;	EMC = 0 <sup>g</sup> .0075
- $X_L$ = 43091.200 m;	EMC = 0.128 m
- $Y_L$ = 51887.216 m;	EMC = 0.321 m
- $Z_L$ = 631.915 m;	EMC = 0.180 m

Coordenadas terreno compensadas:

**PUNTO 1:**

- $X$ = 42542.286 m;	EMC = 0.056 m
- $Y$ = 50966.530 m;	EMC = 0.077 m
- $Z$ = 8.927 m;	EMC = 0.177 m

**PUNTO 2:**

- $X$ = 42570.570 m;	EMC = 0.053 m
- $Y$ = 51320.488 m;	EMC = 0.048 m
- $Z$ = 10.614 m;	EMC = 0.171 m

**PUNTO 3:**

- $X$ = 42270.030 m;	EMC = 0.084 m
- $Y$ = 51010.935 m;	EMC = 0.098 m
- $Z$ = -0.262 m;	EMC = 0.210 m

**PUNTO 4:**

- $X$ = 42668.080 m;	EMC = 0.057 m
- $Y$ = 51559.523 m;	EMC = 0.032 m
- $Z$ = 13.643 m;	EMC = 0.303 m

**PUNTO 5:**

- $X$ = 42660.800 m;	EMC = 0.057 m
- $Y$ = 51617.522 m;	EMC = 0.033 m
- $Z$ = 15.411 m;	EMC = 0.307 m

**PUNTO 6:**

- $X$ = 42333.812 m;	EMC = 0.080 m
- $Y$ = 51556.335 m;	EMC = 0.045 m
- $Z$ = 12.413 m;	EMC = 0.299 m

**PUNTO 7:**

- $X$ = 42799.673 m;	EMC = 0.049 m
- $Y$ = 51739.602 m;	EMC = 0.038 m
- $Z$ = 17.655 m;	EMC = 0.242 m

**PUNTO 8:**

- $X$ = 42589.901 m;	EMC = 0.037 m
- $Y$ = 52116.313 m;	EMC = 0.050 m
- $Z$ = 20.842 m;	EMC = 0.109 m

**PUNTO 9:**

- $X$ = 42790.446 m;	EMC = 0.036 m
- $Y$ = 52053.938 m;	EMC = 0.042 m
- $Z$ = 21.657 m;	EMC = 0.121 m

**PUNTO 10:**

- $X$ = 43087.610 m;	EMC = 0.071 m
- $Y$ = 51534.765 m;	EMC = 0.036 m
- $Z$ = 13.946 m;	EMC = 0.327 m

**PUNTO 11:**

- $X$ = 42975.557 m;	EMC = 0.048 m
- $Y$ = 50996.550 m;	EMC = 0.046 m
- $Z$ = 4.035 m;	EMC = 0.116 m

**PUNTO 12:**

- $X$ = 43142.258 m;	EMC = 0.053 m
- $Y$ = 52276.442 m;	EMC = 0.068 m
- $Z$ = 23.052 m;	EMC = 0.104 m

En el proceso de compensación, iteración y convergencia del sistema de ecuaciones encontramos varias fases: una primera, que incluye la compensación inicial y las tres primeras iteraciones, en la que los EMC de los parámetros de orientación externa son bastante grandes (en giros  $\leq 15^\circ$  y en coordenadas  $\leq 1 \text{ m}$ ), además, las correcciones a los parámetros de orientación también son enormes (en coordenadas de metros y en giros inferiores al medio grado –excepto en la compensación inicial que son de grado–).

En una segunda fase, iteraciones 4-12, las correcciones y los EMC de los parámetros de orientación externa son menores y disminuyen progresivamente, hasta llegar a la iteración 12 en que se produce una estabilización de los EMC (permaneciendo prácticamente sin variación hasta el final del proceso). No obstante, es esa iteración aun se continúan produciendo correcciones de  $3^\circ$  en giros y de  $0.8 \text{ m}$  en coordenadas.

En otra fase, que incluye las iteraciones 20-28, las correcciones a los parámetros de orientación externa son inferiores a  $40^\circ$  en giros e inferiores al decímetro en coordenadas, disminuyendo poco a poco hasta que en la iteración 29 (inicio de la fase final), las correcciones angulares son sólo de segundos y las correcciones de coordenadas son únicamente de milímetros.

Con respecto a las coordenadas terreno de los puntos densificados, se aprecia que las precisiones aumentan aproximadamente 3x, estabilizándose sus EMC a partir de la iteración 12. También se observa que las correcciones a dichas coordenadas son siempre de menor magnitud que las correcciones a las coordenadas de los centros de proyección.



# CAPÍTULO 5

## RESULTADOS Y ANÁLISIS



## 5.1. LISTADOS DE COORDENADAS COMPENSADAS

### Aerotriangulación planimétrica (Modelos Independientes)

#### *Sistema ligado*

##### *De bloque 'libre' a terreno compensadas*

#### **PUNTO 105003**

X = 42542.900 m; EMC = 0.083 m  
Y = 50967.113 m; EMC = 0.083 m

#### **PUNTO 105007**

X = 42571.095 m; EMC = 0.086 m  
Y = 51321.163 m; EMC = 0.086 m

#### **PUNTO 128011**

X = 42668.642 m; EMC = 0.088 m  
Y = 51560.309 m; EMC = 0.088 m

#### **PUNTO 128012**

X = 42661.398 m; EMC = 0.088 m  
Y = 51618.374 m; EMC = 0.088 m

#### **PUNTO 127009**

X = 42334.368 m; EMC = 0.099 m  
Y = 51557.215 m; EMC = 0.099 m

#### **PUNTO 205202**

X = 42800.188 m; EMC = 0.091 m  
Y = 51740.458 m; EMC = 0.091 m

#### **PUNTO 205204**

X = 42790.943 m; EMC = 0.080 m  
Y = 52054.806 m; EMC = 0.080 m

#### **PUNTO 127108**

X = 43088.061 m; EMC = 0.095 m  
Y = 51535.265 m; EMC = 0.095 m

##### *De terreno aproximadas a terreno compensadas*

X = 42542.481 m; EMC = 0.038 m  
Y = 50966.918 m; EMC = 0.038 m

X = 42570.836 m; EMC = 0.040 m  
Y = 51321.003 m; EMC = 0.040 m

X = 42668.459 m; EMC = 0.041 m  
Y = 51560.141 m; EMC = 0.041 m

X = 42661.186 m; EMC = 0.041 m  
Y = 51618.173 m; EMC = 0.041 m

X = 42334.008 m; EMC = 0.046 m  
Y = 51556.967 m; EMC = 0.046 m

X = 42800.086 m; EMC = 0.042 m  
Y = 51740.293 m; EMC = 0.042 m

X = 42790.938 m; EMC = 0.037 m  
Y = 52054.676 m; EMC = 0.037 m

X = 43088.120 m; EMC = 0.044 m  
Y = 51535.213 m; EMC = 0.044 m

**Sistema libre**

**PUNTO 105003**

X = 42542.899 m; EMC = 0.082 m  
Y = 50967.114 m; EMC = 0.082 m

**PUNTO 105007**

X = 42571.098 m; EMC = 0.080 m  
Y = 51321.155 m; EMC = 0.080 m

**PUNTO 128011**

X = 42668.646 m; EMC = 0.082 m  
Y = 51560.291 m; EMC = 0.082 m

**PUNTO 128012**

X = 42661.402 m; EMC = 0.082 m  
Y = 51618.355 m; EMC = 0.082 m

**PUNTO 127009**

X = 42334.372 m; EMC = 0.093 m  
Y = 51557.200 m; EMC = 0.093 m

**PUNTO 205202**

X = 42800.193 m; EMC = 0.084 m  
Y = 51740.443 m; EMC = 0.084 m

**PUNTO 205204**

X = 42790.944 m; EMC = 0.077 m  
Y = 52054.800 m; EMC = 0.077 m

**PUNTO 127108**

X = 43088.077 m; EMC = 0.090 m  
Y = 51535.240 m; EMC = 0.090 m

**PUNTO 42516**

dX = 0.063 m; EMC = 0.060 m  
dY = 0.041 m; EMC = 0.060 m

**PUNTO 42911**

dX = -0.033 m; EMC = 0.059 m  
dY = -0.090 m; EMC = 0.059 m

**PUNTO 42878**

dX = 0.022 m; EMC = 0.061 m  
dY = 0.036 m; EMC = 0.061 m

**PUNTO 42862**

dX = -0.053 m; EMC = 0.061 m  
dY = 0.013 m; EMC = 0.061 m

### Aerotriangulación tridimensional (Modelos Independientes)

<b>Sistema ligado</b>	<b>Sistema libre</b>
<b>PUNTO 105003</b> X = 42542.471 m; EMC = 0.058 m Y = 50966.921 m; EMC = 0.058 m Z = 9.256 m; EMC = 0.067 m	X = 42542.471 m; EMC = 0.067 m Y = 50966.925 m; EMC = 0.067 m Z = 9.253 m; EMC = 0.077 m
<b>PUNTO 105007</b> X = 42570.819 m; EMC = 0.059 m Y = 51321.019 m; EMC = 0.060 m Z = 11.144 m; EMC = 0.165 m	X = 42570.826 m; EMC = 0.065 m Y = 51321.022 m; EMC = 0.066 m Z = 11.147 m; EMC = 0.174 m
<b>PUNTO 1002</b> X = 42599.157 m; EMC = 0.117 m Y = 51234.308 m; EMC = 0.256 m Z = 643.680 m; EMC = 0.141 m	X = 42599.158 m; EMC = 0.130 m Y = 51234.301 m; EMC = 0.273 m Z = 643.679 m; EMC = 0.151 m
<b>PUNTO 128011</b> X = 42668.441 m; EMC = 0.060 m Y = 51560.172 m; EMC = 0.062 m Z = 14.299 m; EMC = 0.249 m	X = 42668.453 m; EMC = 0.065 m Y = 51560.172 m; EMC = 0.067 m Z = 14.307 m; EMC = 0.264 m
<b>PUNTO 128012</b> X = 42661.168 m; EMC = 0.060 m Y = 51618.204 m; EMC = 0.062 m Z = 16.042 m; EMC = 0.250 m	X = 42661.180 m; EMC = 0.066 m Y = 51618.204 m; EMC = 0.067 m Z = 16.050 m; EMC = 0.265 m
<b>PUNTO 127009</b> X = 42333.993 m; EMC = 0.069 m Y = 51556.998 m; EMC = 0.069 m Z = 13.201 m; EMC = 0.274 m	X = 42334.007 m; EMC = 0.076 m Y = 51556.997 m; EMC = 0.076 m Z = 13.210 m; EMC = 0.290 m
<b>PUNTO 205202</b> X = 42800.066 m; EMC = 0.062 m Y = 51740.314 m; EMC = 0.064 m Z = 18.149 m; EMC = 0.190 m	X = 42800.075 m; EMC = 0.067 m Y = 51740.317 m; EMC = 0.068 m Z = 18.154 m; EMC = 0.200 m
<b>PUNTO 1007</b> X = 42734.003 m; EMC = 0.099 m Y = 51888.751 m; EMC = 0.223 m Z = 630.493 m; EMC = 0.154 m	X = 42734.010 m; EMC = 0.115 m Y = 51888.761 m; EMC = 0.238 m Z = 630.497 m; EMC = 0.163 m

**PUNTO 205204**

X = 42790.925 m;	EMC = 0.055 m	X = 42790.928 m;	EMC = 0.062 m
Y = 52054.684 m;	EMC = 0.056 m	Y = 52054.687 m;	EMC = 0.063 m
Z = 21.744 m;	EMC = 0.091 m	Z = 21.745 m;	EMC = 0.098 m

**PUNTO 127108**

X = 43088.102 m;	EMC = 0.066 m	X = 43088.117 m;	EMC = 0.073 m
Y = 51535.238 m;	EMC = 0.066 m	Y = 51535.237 m;	EMC = 0.073 m
Z = 14.427 m;	EMC = 0.224 m	Z = 14.437 m;	EMC = 0.240 m

**PUNTO 42516**

dX = -0.014 m;	EMC = 0.049 m
dY = 0.030 m;	EMC = 0.049 m
dZ = -0.003 m;	EMC = 0.052 m

**PUNTO 42911**

dX = 0.025 m;	EMC = 0.048 m
dY = -0.018 m;	EMC = 0.048 m
dZ = 0.004 m;	EMC = 0.052 m

**PUNTO 42878**

dX = -0.018 m;	EMC = 0.050 m
dY = -0.011 m;	EMC = 0.049 m
dZ = 0.003 m;	EMC = 0.052 m

**PUNTO 42862**

dX = 0.008 m;	EMC = 0.050 m
dY = -0.001 m;	EMC = 0.049 m
dZ = -0.004 m;	EMC = 0.052 m

**Aerotriangulación por el Método de los Haces de Rayos**

**PUNTO 105003**

X = 42542.286 m;	EMC = 0.056 m
Y = 50966.530 m;	EMC = 0.077 m
Z = 8.927 m;	EMC = 0.177 m

**PUNTO 105007**

X = 42570.570 m;	EMC = 0.053 m
Y = 51320.488 m;	EMC = 0.048 m
Z = 10.614 m;	EMC = 0.171 m

**PUNTO 1002**

X = 42598.557 m; EMC = 0.149 m  
Y = 51234.389 m; EMC = 0.433 m  
Z = 642.937 m; EMC = 0.114 m

**PUNTO 128011**

X = 42668.080 m; EMC = 0.057 m  
Y = 51559.523 m; EMC = 0.032 m  
Z = 13.643 m; EMC = 0.303 m

**PUNTO 128012**

X = 42660.800 m; EMC = 0.057 m  
Y = 51617.522 m; EMC = 0.033 m  
Z = 15.411 m; EMC = 0.307 m

**PUNTO 127009**

X = 42333.812 m; EMC = 0.080 m  
Y = 51556.335 m; EMC = 0.045 m  
Z = 12.413 m; EMC = 0.299 m

**PUNTO 205202**

X = 42799.673 m; EMC = 0.049 m  
Y = 51739.602 m; EMC = 0.038 m  
Z = 17.655 m; EMC = 0.242 m

**PUNTO 1007**

X = 42733.369 m; EMC = 0.102 m  
Y = 51887.188 m; EMC = 0.262 m  
Z = 630.093 m; EMC = 0.162 m

**PUNTO 205204**

X = 42790.446 m; EMC = 0.036 m  
Y = 52053.938 m; EMC = 0.042 m  
Z = 21.657 m; EMC = 0.121 m

**PUNTO 127108**

X = 43087.610 m; EMC = 0.071 m  
Y = 51534.765 m; EMC = 0.036 m  
Z = 13.946 m; EMC = 0.327 m

## COORDENADAS DE PUNTOS AISLADOS, DENSIFICADOS Y CENTROS DE PROYECCIÓN

### Aerotriangulación planimétrica (Modelos Independientes)

PUNTOS	<i>Sistema ligado</i>		<i>Sistema ligado</i>		<i>Sistema libre</i>	
	De bloque 'libre' a terreno compensadas	Y <sub>T</sub> (m)	De terreno aproximadas a terreno compensadas	Y <sub>T</sub> (m)	De bloque 'libre' a terreno compensadas	Y <sub>T</sub> (m)
101001	42270.237	51011.425	42270.134	51011.350	42270.277	51011.430
1001	42257.366	51260.330	42234.035	51242.176	42257.398	51260.320
1002	42622.537	51251.632	42599.226	51233.572	42622.548	51251.635
101014	42975.868	50996.614	42975.957	50996.840	42975.867	50996.645
1003	42985.072	51238.883	42961.688	51220.844	42985.062	51238.900
1006	42386.812	51900.303	42364.222	51882.666	42386.814	51900.260
201201	42590.531	52117.358	42590.322	52117.122	42590.513	52117.309
1007	42756.591	51906.813	42734.117	51889.343	42756.570	51906.782
1008	43114.079	51907.122	43091.715	51889.814	43114.038	51907.104
201309	43142.538	52276.967	43142.596	52277.033	43142.482	52276.929

### Aerotriangulación tridimensional (Modelos Independientes)

PUNTO	<i>Sistema ligado</i>			<i>Sistema libre</i>		
	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)	Z <sub>T</sub> (m)	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)	Z <sub>T</sub> (m)
101001	42270.130	51011.352	0.164	42270.131	51011.371	0.164
1001	42233.898	51242.849	639.442	42233.907	51242.854	639.435
101014	42975.970	50996.862	4.161	42975.958	50996.861	4.160
1003	42961.567	51221.545	650.376	42961.562	51221.529	650.368
1006	42364.075	51883.346	628.077	42364.100	51883.337	628.081
201201	42590.295	52117.179	19.825	42590.323	52117.169	19.843
1008	43091.584	51890.515	631.700	43091.597	51890.484	631.704
201309	43142.578	52277.110	21.671	43142.602	52277.082	21.692

### Aerotriangulación por el Método de los Haces de Rayos

PUNTO	X <sub>T</sub> (m)	Y <sub>T</sub> (m)	Z <sub>T</sub> (m)
101001	42270.030	51010.935	-0.262
1001	42233.677	51242.714	638.588
101014	42975.557	50996.550	4.035
1003	42960.870	51221.537	649.749
1006	42363.699	51880.351	628.118
201201	42589.901	52116.313	20.842
1008	43091.200	51887.216	631.915
201309	43142.258	52276.442	23.052

## 5.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las precisiones obtenidas en los parámetros de transformación o de orientación externa, y en las correcciones a las coordenadas terreno aproximadas vienen caracterizadas por los errores medios cuadráticos (EMC).

### Método de los Modelos Independientes:

#### *Aerotriangulación tridimensional: sistema libre*

Analizando los resultados del sistema libre (con peso unidad) se observa que las coordenadas de los puntos de apoyo se pueden corregir en cantidades centimétricas en planimetría ( $\leq 3 \text{ cm}$ ) y milimétricas en altimetría ( $\leq 4 \text{ mm}$ ). Además, los EMC indican que las precisiones de las coordenadas de los puntos de apoyo son muy superiores a las del resto de los puntos. Además, destaca la homogeneidad que se alcanza en los errores de las tres componentes (X, Y, Z) con valores aproximadamente de  $5 \text{ cm}$ . No obstante, estos resultados muestran que las coordenadas de los puntos de apoyo no son exactas y que, por tanto, son corregibles<sup>9</sup>.

Las coordenadas terreno de los puntos dobles, triples y cuádruples ofrecen grandes disparidades en los EMC, sobre todo en la componente altimétrica; los centros de proyección de ambas pasadas presentan mayores errores en la componente Y que en las componentes X y Z.

#### *Aerotriangulación tridimensional: sistema ligado*

Los resultados obtenidos son prácticamente idénticos a los obtenidos en el sistema libre: las discrepancias son como máximo del orden del centímetro.

Al dejar fijas las coordenadas de los puntos de apoyo los EMC obtenidos en el sistema ligado son ligeramente inferiores a los del caso de sistema libre (contrariamente a lo que cabría esperar). El comportamiento de los errores alcanzados en las coordenadas es igual al comentado en el caso anterior.

#### *Aerotriangulación planimétrica: sistema ligado*

Gracias a la resolución del sistema ligado utilizando dos tipos de observables distintos (coordenadas bloque 'libre' y coordenadas terreno aproximadas), se puede apreciar la ventaja que supone el disponer de coordenadas que se encuentren cerca de las posiciones espaciales definitivas. En el primer caso (que

<sup>9</sup> Si quisieramos alcanzar la máxima precisión en el sistema de ecuaciones, dichas coordenadas se corregirían para eliminar los sistematismos y se volvería a resolver desde el inicio el sistema de ecuaciones. Otra cuestión totalmente distinta es si podemos oficialmente variar dichas coordenadas.

emplea las coordenadas modelo bloque ‘libre’) como las coordenadas terreno a hallar se encuentran teóricamente muy alejadas y no orientadas con respecto a la realidad física, una única compensación planimétrica no es suficiente para alcanzar resultados aceptables (véanse los valores de las coordenadas terreno compensadas tras el ajuste). Todo lo contrario sucede en el segundo caso (en el que se utilizan las coordenadas terreno aproximadas), puesto que las coordenadas terreno compensadas que se obtienen son mucho más precisas que en el primer caso.

En el bloque fotogramétrico estudiado, los EMC correspondientes a las coordenadas de los puntos de paso siguiendo el segundo caso son casi la mitad que los ocurridos en el primer caso. Además, los valores de las coordenadas terreno compensadas son correctas si las comparamos con las coordenadas obtenidas a partir de compensaciones tridimensionales (las discrepancias encontradas son inferiores a 3 cm). Sin embargo, resulta paradójico comprobar que se alcanzan elevadas precisiones en las coordenadas terreno de los puntos de paso, mientras que se obtienen unas precisiones muy bajas en los parámetros de transformación translacionales por modelo estereoscópico.

La resolución planimétrica del bloque ‘libre’ (por medio de un sistema libre o ligado) requiere obviamente una compensación altimétrica adicional a la compensación planimétrica. Procediendo de este modo salvamos la introducción de posibles errores acumulativos en el sistema de ecuaciones por el hecho de no pasar de bloque ‘libre’ a coordenadas terreno aproximadas.

#### *Aerotriangulación planimétrica: sistema libre*

La resolución de este sistema de ecuaciones también confirma, al igual que sucede en el caso de aerotriangulación tridimensional sistema libre, que las coordenadas de los puntos de apoyo ofrecen mayores precisiones que las de los puntos de paso, así como que dichas coordenadas también se pueden corregir.

El análisis de resultados de la aerotriangulación planimétrica (sistema ligado) en el que se emplean las coordenadas bloque ‘libre’ es extrapolable a lo que sucede en esta compensación, si bien, los EMC de las coordenadas de los puntos de paso mejoran ligeramente y los EMC de los puntos de apoyo muestran valores que rondan los 6 cm.

#### **Método de los Haces de Rayos:**

La calidad de los datos iniciales es fundamental para obtener resultados de precisión. Los errores que se cometan en la medición de las coordenadas imagen se transmiten íntegramente a los resultados finales, bien sean las coordenadas terreno de los puntos medidos o los parámetros de orientación externa de los fotogramas.

En el capítulo anterior se comprueba la sensibilidad de este método en lo que respecta a su posible resolución: la eliminación de un único punto del sistema de ecuaciones (aunque desafortunadamente fuese punto de apoyo) permitió la convergencia del sistema.

La calidad del ajuste, medida a partir del estimador medio cuadrático de peso unidad, alcanza un valor global de  $7 \mu$ . Este valor (estimador) entra dentro de lo previsible para casos de aerotriangulación como el tratado: empleo de puntos naturales, no introducción en el ajuste de parámetros adicionales, etc.

Los EMC de las coordenadas de los puntos de paso y centros de proyección vuelven a reflejar comportamientos parecidos a los resultados logrados en las aerotriangulaciones tridimensionales por el método de los modelos independientes: en los puntos de paso se obtienen mayores precisiones planimétricas que altimétricas, mientras que en los centros de proyección los errores en la componente Y son superiores al resto de las componentes.

En el bloque fotogramétrico tratado, a posteriori, puede extrapolarse que las precisiones que se logran en las coordenadas planimétricas de los puntos de paso son mejores empleando el método de los haces de rayos que el método de los modelos independientes; con las coordenadas altimétricas de los puntos de paso sucede lo contrario. También parece cierto que la compensación tridimensional (bien sea de un sistema libre o ligado) por el método de los modelos independientes ofrece mayor homogeneización e igualdad de errores tanto en los parámetros alcanzados como en las coordenadas planimétricas.

### **Puntos aislados, densificados y centros de proyección: análisis de resultados**

A la vista de los resultados tenemos que:

- El método de los haces de rayos determina para cada punto compensado la precisión obtenida a través de los EMC de cada una de las componentes. Las precisiones planimétricas de las coordenadas de los puntos son muy superiores a las coordenadas altimétricas.
- Las coordenadas terreno calculadas de cualquier punto son bastante fiables si se utiliza el método tridimensional de los modelos independientes.
- Si se eligiese un método de compensación que requiriese de los modelos independientes en su simplificación planimétrica únicamente, y se quisiera obtener suficiente precisión en las coordenadas de los puntos de paso y de los centros de proyección, habría que calcularse las coordenadas terreno aproximadas de los puntos previamente a la fase de compensación. Esto último no haría falta si se realizase un ciclo de compensaciones planimétricas–altimétricas.



## BIBLIOGRAFÍA

- 📖 American Society of Photogrammetry, *Manual of Photogrammetry*, Cuarta edición, 1980.
- 📖 Chueca Pazos, M. , *Topografía*, Tomo II. Editorial Dossat, 1982.
- 📖 Guillem Picó, S. , Herráez Boquera, J., *Restitución Analítica, (Método de la determinación simultánea de todos los elementos de orientación)*, SPUPV-91.499.
- 📖 Herráez Boquera, J., Guillem Picó, S., *Aerotriangulación. Método de los modelos independientes*. SPUPV-92.75.
- 📖 Kraus, K., *Photogrammetry. Volume I, Fundamentals and Standard Processes*, Cuarta edición. Editorial Dümmler, 1993.
- 📖 Kraus, K., *Photogrammetry. Volume II, Advanced Methods and Applications*, Cuarta edición. Editorial Dümmler, 1997.
- 📖 Lerma García, J.L., *Problemas de Fotogrametría I*. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, 1999.
- 📖 Lerma García, J.L., *Problemas de Fotogrametría II*. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, 1999.
- 📖 Lerma García, J.L., *Problemas de Fotogrametría III*. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, 1999.
- 📖 Moffit, F.H., Mikhail, E.M., *Photogrammetry*, Tercera Edición. Editorial Harper & Row, 1980.
- 📖 Richards, J.A., *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*, Segunda Edición. Editorial Springer-Verlag, 1993.
- 📖 Zhizhuo, W., *Principles of Photogrammetry (With Remote Sensing)*. Press of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping. Publishing House of Surveying and Mapping, Beijing, 1990.
- 📖 Wolf, P.R., *Elements of Photogrammetry, with air photo interpretation and remote sensing*, Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill, 1983.

