



ARCHIVO DEL LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO

LABORATORY FOR THE GEOMETRIC DOCUMENTATION OF
HERITAGE'S ARCHIVE

Sección de proyectos fin de carrera / Undergraduate master
projects section


13

Información general / General information		
AUTOR:	Jonathan GRAJIRENA TELLETXEA	:AUTHOR
TUTOR:	José Manuel VALLE MELÓN Álvaro RODRÍGUEZ MIRANDA	:TUTOR
TITULACION:	Ingeniería Técnica en Topografía. Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (UPV-EHU)	:DEGREE
TITULO:	Documentación geométrica del ninfeo y su entorno (Alfaro, La Rioja)	:TITLE
FECHA:	mayo 2011 / May 2011	:DATE
NUMERO:	LDGP_pfc_013	:NUMBER
IDIOMA:	español / Spanish	:LANGUAGE

Resumen	
TÍTULO:	Documentación geométrica del ninfeo y su entorno (Alfaro, La Rioja)
RESUMEN:	El objetivo consiste en la obtención de un conjunto de planos (planta, alzados y perspectivas) del Ninfeo mediante la restitución de pares estereoscópicos del Ninfeo. De forma auxiliar se ha generado un programa de ordenador que permite calcular una transformación tridimensional de coordenadas.
DESCRIPTORES NATURALES:	patrimonio, fotogrametría
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesouro UNESCO [http://databases.unesco.org/thessp/]) Patrimonio Cultural, Fotogrametría

Abstract	
TITLE:	Geometric documentation of the nymphaeum in Alfaro (La Rioja, Spain)
ABSTRACT:	The main objective is to create a 3D wireframe model with the outline of the components of the Nymphaeum, done by means of stereoscopic photogrammetry. Besides a piece of software conceived to compute a three-dimensional transformation of coordinates was developed.
NATURAL KEYWORDS:	heritage, photogrammetry
CONTROLLED KEYWORDS:	(From the UNESCO's thesaurus [http://databases.unesco.org/thesaurus/]) Cultural Heritage, Photogrammetry

Localización / Placement		
ELEMENTO PATRIMONIAL:	Ninfeo (Alfaro)	:HERITAGE ELEMENT
MUNICIPIO:	Alfaro, La Rioja, España/Spain (Getty TGN: 1061732)	:MUNICIPALITY
COORDENADAS:	EPSG:4326 WGS84/LatLong 42.1798,-1.7597	:COORDINATES

Derechos / Rights		
DERECHOS:	<p>Está permitido citar y extraer el texto, siempre que la fuente sea claramente identificada (respecto a la consideración de “no comercial” ver el apartado “otros derechos”). / Permission is granted to quote and take excerpts from this text, provided that the source of such material is fully acknowledged (for the “non commercial” label see below in “others rights”).</p> 	:RIGHTS
OTROS:	<p>Algunas imágenes y planos corresponden a proyectos de documentación realizados por encargo y, en consecuencia, su uso comercial puede infringir derechos de explotación de los promotores. / Some pictures and plans come for the documentation of commissioned projects, therefore, their use for commercial purposes may be an infringement of the promoters rights.</p>	:OTHERS

Renuncia de responsabilidad / Disclaimer		
DESCARGO:	<p>El uso de la información contenida en este documento se hará bajo la completa responsabilidad del usuario. / The use of the information contained in this document will be under the exclusive responsibility of the user.</p>	:DISCLAIMER

Reutilización / Re-use

REUTILIZACION:	<p>Los siguientes términos corresponden al Real Decreto 1495/2011, de 24 de octubre por el que se desarrolla la Ley 37/2007, de 16 de noviembre, sobre reutilización de la información del sector público, para el ámbito del sector público estatal.</p> <p>"Son de aplicación las siguientes condiciones generales para la reutilización de los documentos sometidos a ellas:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Está prohibido desnaturalizar el sentido de la información.2. Debe citarse la fuente de los documentos objeto de la reutilización. Esta cita podrá realizarse de la siguiente manera: "Origen de los datos: [órgano administrativo, organismo o entidad del sector público estatal de que se trate]".3. Debe mencionarse la fecha de la última actualización de los documentos objeto de la reutilización, siempre cuando estuviera incluida en el documento original.4. No se podrá indicar, insinuar o sugerir que la [órgano administrativo, organismo o entidad del sector público estatal de que se trate] titular de la información reutilizada participa, patrocina o apoya la reutilización que se lleve a cabo con ella.5. Deben conservarse, no alterarse ni suprimirse los metadatos sobre la fecha de actualización y las condiciones de reutilización aplicables incluidos, en su caso, en el documento puesto a disposición para su reutilización." <p style="text-align: center;">/</p> <p>The following terms come from the Royal Decree 1495/2011, of 24th October 2011, whereby the Law 37/2007, of November 16, on the re-use of public sector information, is developed for the public state sector.</p> <p>"The following general terms shall apply to all re-usable document availability methods:</p> <ol style="list-style-type: none">1. The information must not be distorted.2. The original source of re-usable documents must be cited.3. The date of the latest update of re-usable documents must be indicated when it appears in the original document.4. It must not be mentioned or suggested that the public sector agencies, bodies or entities are involved in, sponsor or support the re-use of information being made.5. Metadata indicating the latest update and the applicable terms of re-use included in re-usable documents made available by public agencies or bodies must not be deleted or altered."	:RE-USE
----------------	--	---------

Estructura / Framework		
ID PERMANENTE:	http://hdl.handle.net/10810/10414	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> • ldgp_pfc013_JonathanG.pdf: este documento (incluye 5 planos y otros 4 anexos) / this document (it includes 5 plans and other 4 appendixes). • ldgp_pfc013_foto_00?.jpg: 5 fotografías de documentación (formato JPEG) / 5 photographs (JPEG format). 	:FRAMEWORK

Cita completa recomendada / Recommended full citation		
CITA:	GRAJIRENA TELLETXEA, Jonathan. <i>Documentación geométrica del ninfeo y su entorno (Alfaro, La Rioja)</i> . Proyecto fin de carrera de Ingeniería Técnica en Topografía. Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU). 2011.	:CITATION

DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO (ALFARO, LA RIOJA)



Dirección: José Manuel Valle Melón.
Álvaro Rodríguez Miranda.

Vitoria-Gasteiz, Mayo de 2011

Alumno: Jonathan Grairena Telletxea.



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN PATRIMONIO CONSTRUIDO (UPV-EHU)

Aulario de las Nieves, edificio Intitutos Universitarios
C/ Nieves Cano 33, 01006 Vitoria-Gasteiz. Tfno: 945-013222/013264
e-mail: jm.valle@ehu.es

“DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO (ALFARO, LA RIOJA)”

<u>Índice.</u>	-Pág.-
1-Antecedentes.....	Pág. 3
2-Objetivos del Proyecto.....	Pág.4
3-Emplazamiento del Ninfeo.....	Pág.4
4- Datos arqueológicos.....	Pág.5
5-Ejecución de la Documentación Geométrica del Ninfeo.....	Pág.10
5.1-Esquema de Procesos.....	Pág.10
5.2-Información Previa.....	Pág.11
5.3-Trabajo de Campo Inicial.....	Pág.12
5.3.1-Modelo Volumétrico del Ninfeo.....	Pág.12
5.3.2- Paso Fotogramétrico captura de fotografías.....	Pág.13
5.3.3- Medición de dianas por topografía Clásica.....	Pág.14
5.3.4- Toma de datos GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite).....	Pág.15
5.4-Revisión de campo.....	Pág.15
5.4.1-Completar Modelo.....	Pág.16
5.4.2-Integración de Datos.....	Pág.17
5.5-Dibujo del Modelo Volumétrico.....	Pág.18
5.5.1-Obtener Taquimétrico.....	Pág.18
5.5.2-Restitución del Ninfeo.....	Pág.19
5.5.2.1-Preparación de los datos previa restitución.....	Pág.28
5.5.2.2-Orientación Interna y Externa.....	Pág.31

5.5.2.3-Restitución en Softplotter.....	Pág.42
5.5.3-Cálculo de la observación GNSS.....	Pág.43
5.5.4-Helmert 3D.....	Pág.57
5.5.4.1- Desarrollo práctico del Helmert 3D.....	Pág.57
5.5.5-Realización de planos.....	Pág.65
5.5.5.1-Alzado del Ninfeo.....	Pág.65
5.5.5.2-Planta del Ninfeo.....	Pág.65
5.5.5.3-Sección del Ninfeo.....	Pág.66
5.5.5.4-Perspectiva I-II-III.....	Pág.66
5.5.6-Comparativa de los resultados de una restitución realizada por un usuario sin experiencia y con experiencia.....	Pág.66
5.5.7-Trascendencia de la Información.....	Pág.67
5.5.8-Los Metadatos.....	Pág.68
6-Análisis de Resultados.....	Pág.69
6.1- Topografía Clásica.....	Pág.69
6.2- GNSS.....	Pág.73
6.3-Restitución Digital.....	Pág.74
7-Bibliografía.....	Pág.77
8-Agradecimientos.....	Pág.78

ANEXOS

Anexo I. Características de los instrumentos utilizados (GNSS, E.T., CÁMARA).

Anexo II. Helmert 3D.

Anexo III. Reseñas.

Anexo IV. Planos.

Anexo V. Presupuesto.

“DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO (ALFARO, LA RIOJA)”

1-Antecedentes.

El objetivo de este documento es desarrollar un proyecto final de carrera de Ingeniería Técnica de Topografía, el objeto de estudio y los datos forman parte de un proyecto del Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, perteneciente al Grupo de Investigación en Patrimonio Construido de la UPV/EHU, Vitoria-Gasteiz.



Imagen 1. El Ninfeo y sus alrededores.

Este proyecto ya iniciado por el LDGP en Enero del año 2009 daba la oportunidad de realizar un proyecto fin de carrera dada sus características, y aprovechando los recursos y materiales ofrecidos por dicho laboratorio, y con la ayuda del personal que lo compone, éste es el resultado del mismo.

2-Objetivos del Proyecto.

El proyecto global se centra en la ciudad de Graccurreis, en la documentación de los conjuntos monumentales de la periferia urbana, como son el puente, la presa y el Ninfeo. Para este proyecto final de carrera, nos centraremos en la documentación del Ninfeo, que es la parte que mejor se conserva y más urge por su progresivo deterioro.

En las siguientes páginas se explicarán los procesos seguidos para realizar la documentación. Los objetivos de este proyecto serán por tanto:

- Obtener a partir de la restitución de los pares fotogramétricos y el modelo volumétrico realizados por técnicas topográficas (mediante medidas con estación total) un modelo tridimensional vectorial del Ninfeo.

- Realizar un cálculo del post-proceso y obtener las coordenadas del Ninfeo en el sistema UTM-ETRS-89, Para ello, se utilizará un programa Helmert 3D desarrollado a tal efecto. Este es el sistema de referencia y la proyección cartográfica que se utilizará para dibujar los puntos obtenidos, es el sistema estándar normalizado a nivel de Europa.

- Utilizando como base el modelo tridimensional del apartado anterior se preparará una colección de planos de planta, alzados y perspectivas, que permitirán la correcta interpretación del conjunto histórico.

- Almacenar de forma adecuada toda la información generada para documentar el Ninfeo garantizando su trascendencia a lo largo del tiempo.

3-Emplazamiento del Ninfeo.

Antes de comenzar con los pasos que se han seguido para la documentación del Ninfeo vamos a situar el monumento y sus alrededores, que serán el área de trabajo. El Ninfeo se encuentra en la ciudad de Alfaro, situada en el extremo noreste de la Comunidad Autónoma de La Rioja en un lugar próximo a la desembocadura del Río Alhama, afluente de la margen derecha del Ebro.

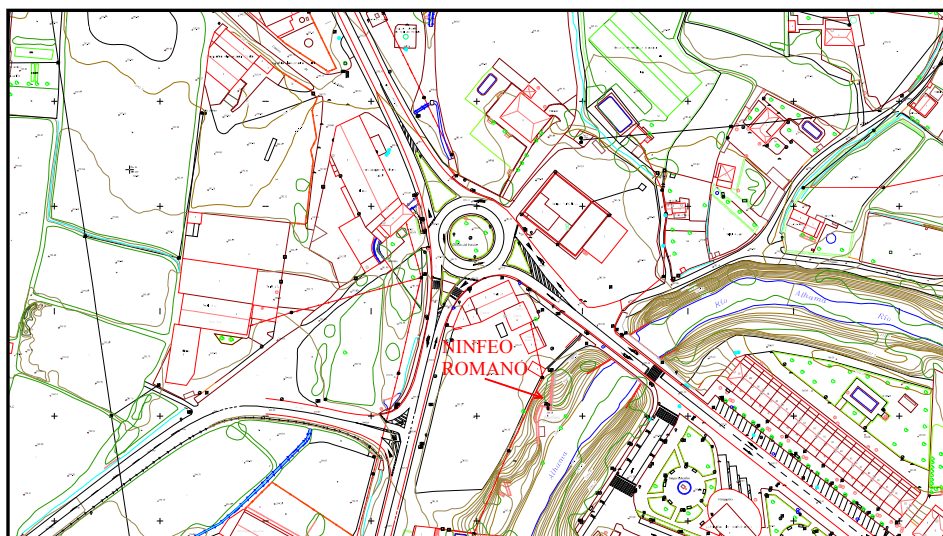


Figura 1. Emplazamiento del Ninfeo. (www.iderioja.org)

4-Datos arqueológicos.

El Ayuntamiento de Alfaro, La Rioja, lleva muchos años trabajando en la excavación, reconstrucción y mantenimiento del Ninfeo y periódicamente se publican libros y revistas en las cuales se cuenta la historia y los trabajos realizados en diferentes zonas de Alfaro. A continuación se citará una descripción que realiza del Ninfeo en uno de los libros publicados en el año 1995, “Conjuntos Monumentales en la Periferia Urbana: Puentes, Presas y Ninfeos.” (Ver Bibliografía).

“El Ninfeo es sin duda la parte mejor conservada de toda la obra. Su parte más cercana al ojo del puente se encuentra deteriorada por su mayor exposición a la acción erosiva de las aguas fluviales, pero conforme nos alejamos de la parte donde debió estar el arco, la obra mantiene todavía buena parte de su alzado.

Para elevar el Ninfeo, sus constructores rebajaron verticalmente la ladera natural de la orilla hasta alcanzar un nivel de gravas, inmediatamente superior al de arcillas sobre las que se asienta la presa, por el que circula gran cantidad de agua del Alhama. Se trata de los niveles de aguas freáticas que descienden desde el Yerga, y cuya presencia fue convenientemente aprovechada, como veremos, para completar el conjunto con la construcción de un Ninfeo o fuente que, a raíz de nuestra excavación y limpieza, volvió a manar tras algunos siglos de abandono.

Funcionalmente, esta manguardía se configura como un gran muro de contención, que sujetaba tanto los estratos naturales como el relleno artificial y que permitió a sus constructores alcanzar, sin dificultad, la cota de la calzada del puente. Este muro se dividió, además, en dos tramos de diferente alineación para acomodarse mejor al curso antiguo del cauce, planificación que ha perdido vigencia en el momento actual después de las numerosas modificaciones topográficas, de diferente índole, a las que se ha visto sometida esta zona del río. La alineación más cercana al arranque del puente tiene una orientación norte-sur ($356^{\circ}47'$), mide 17,10 m. de longitud, si incluimos los sillares que relacionábamos con el revestimiento del puente, y en ella se abre una exedra en la que se localiza el Ninfeo, mientras que el segundo tramo o alineación cuenta en la actualidad con un desarrollo en longitud de 7,43 m. A continuación describiremos la estructura constructiva del muro que configura estas alineaciones, para lo cual diferenciaremos tres partes: el tramo de aguas arriba, la exedra de la fuente y el tramo aguas abajo, donde se documenta el mencionado cambio de orientación.

En la parte de aguas arriba nos ha sido posible apreciar hasta 1,30 m. de la cimentación, compuesta a base de sillarejos de arenisca de forma muy irregular fuertemente trabados por argamasa. Sobre este cimiento, el muro adopta técnicamente una doble configuración, presentando un núcleo interno de *opus caementicium*, similar al descrito para la presa o el puente, relativamente homogéneo en todo su alzado y un revestimiento exterior en el que se combinan hasta tres tipos diferentes de paramento que, desde nuestro punto de vista, evidencian la existencia de otras tantas etapas constructivas, al menos, para esta zona del conjunto.

Directamente sobre la base de cimentación, y en la cara exterior del muro que nos ocupa, se disponen dos hiladas de sillares de arenisca, revestimiento que, lógicamente, debe ponerse en relación con el momento inicial de la obra en su trazado actual. La hilada más baja cuenta actualmente con 7 piezas de 0,50 m. de altura, cuya longitud oscila entre los 1,10 y los 0,59 m., mientras que su anchura no puede medirse porque no es visible. Por su parte, la hilada superior conserva también siete sillares, con una altura de 0,37 m., longitudes de entre 0,88 y 0,35 m. Este mismo tipo de aparejo se aprecia en la exedra de la fuente y en el extremo septentrional (Norte) del estribo y constituye lo que conservamos de la obra original romana. A lo largo de nuestra exposición denominaremos a esta fase constructiva como fase 1.

Encima de estas dos únicas hiladas de sillares, y donde el muro ha conservado el revestimiento exterior, puede apreciarse un segundo tipo de técnica en la que se combinan, trabándose entre sí con argamasa de cal, un aparejo de canto rodados y sillarejo de arenisca junto a un abundante número de piezas regulares, con muestras evidentes de una considerable erosión, que nos indican el reaprovechamiento parcial de elementos constructivos de la fase anterior. Estos materiales se traban, por lo general, sin un orden regular aparente, abandonado por completo la isodomía de las hiladas, con excepción de la zona inmediata a la exedra donde, por la necesidad de adecuarse a la estructura regular de su vano, ya existente, puede apreciarse una cierta nivelación que no trasciende al resto del paño. Denominaremos a esta fase constructiva como fase 2.

El tercer momento constructivo, o fase 3, se aprecia actualmente con especial claridad en la parte septentrional (Norte) del muro, aguas abajo del Ninfeo, si bien es necesario señalar que tras nuestros trabajos de excavación su presencia podía reconocerse con claridad a lo largo de buena parte de la zona alta del paramento que venimos describiendo. Este acusado deterioro se ha debido, una vez más, a la lentitud con la que tradicionalmente se abordan las tareas de conservación del patrimonio excavado, circunstancia que, en este caso se ha visto agravada por la escasa consistencia de este aparejo compuesto, fundamentalmente, por cantos rodados trabados con una argamasa especialmente pobre en cal.

La anchura, en planta, del muro varía notablemente en el desarrollo de este primer tramo, así la parte situada aguas abajo de la exedra mantiene una anchura media en torno a los 0,70 m. frente a los aproximadamente 1,72 m. con los que cuenta toda la alineación situada entre los restos del puente y la fuente. Incremento que obedece, simplemente, al hecho de que en este lugar se construyó una escalera adosada cuya anchura oscila entre los 0,86 y los 1,02 m.

La escalera arrancarían con toda seguridad desde la calzada del puente, pero su parte superior no se nos ha conservado, si bien hay restos de un escalón a la altura del suelo de mortero que formaba parte de la calzada. Su mitad inferior, que es lo que el tiempo y la erosión fluvial nos ha preservado en mejor estado, conecta con el Ninfeo y en ella conservamos testimonio de hasta nueve escalones. La huella del escalón inferior se alinea con la rasante superior de los cimientos de *opus caementicium*, pero el escalón se construyó mediante un sillar de arenisca. Este escalón inferior enlaza directamente con el suelo de la exedra donde se localiza la surgencia, a una cota de -516 cm. Los cuatro escalones siguientes coinciden, en su altura total, con las dos hiladas de sillares de arenisca con las que se apareja el muro del estribo, a razón de dos escalones por hilada.

Hay restos de otros cuatro escalones más, también en arenisca, pero todos ellos se encuentran sumamente deformados por la erosión.

Este acceso tampoco está exento de elementos que evidentemente reparaciones, especialmente señaladas en casos como el segundo escalón en cuya precomposición se emplearon materiales claramente reaprovechados, pero dado su intenso grado de desgaste resulta absolutamente imposible establecer una periodización, aunque parece obvio subrayar que, sin duda, estas continuadas refacciones de la escalera podrían paralelizarse por el alzado del muro.

Esta escalera cumplía la función, como venimos comentando, de permitir el acceso desde la calzada del puente a la exedra donde está la fuente. Esta exedra es de planta más o menos cuadrada y se cubre con bóveda de cañón. La anchura de este vano, definida por la luz del arco de la bóveda es de 2,33 m. y la profundidad es de 2,25 m. en el muro sur, mientras que el muro norte es ligeramente más corto, alcanzando solamente una longitud de 2,05 m. En este muro norte hay que destacar que la hilada inferior lleva una alineación distinta (la orientación de los muros es $85^{\circ}15'$ pero la de la hilada inferior del muro septentrional es ligeramente superior, $95^{\circ}30'$), introduciéndose hacia el interior de la exedra conforme se acerca hacia el exterior del vano. Es también destacable que su extremo exterior sobresale de la jamba, alcanzando esta hilada una longitud total de 2,25 m. El pavimento de la exedra es posterior a la construcción de esta hilada ya que en la losa del ángulo noreste se realizó un engatillado para adaptarse a su último sillar. El muro septentrional, a partir de su segunda hilada, se dispone ya rigurosamente paralelo al muro meridional de la estancia, para permitir el perfecto desarrollo de la bóveda de cañón. Es difícil establecer las razones por las que la hilada inferior del muro septentrional se orienta de forma distinta, pero lo más probable es que obedezca a la existencia de una fase anterior del edificio.

A continuación analizaremos el alzado de los tres muros que definen el vano. Los muros laterales se construyen con sillares de arenisca. El muro meridional tiene un total de cinco hiladas. La primera tiene una altura visible de 0,13 m. pero su altura total no puede precisarse ya que está parcialmente cubierta por el pavimento de la exedra. Las hiladas segunda, tercera, cuarta y quinta miden respectivamente 0,36, 0,26, 0,32 y 0,21 m. La altura total de este muro es de 1,30 m, y su coronamiento sobresale 5 cm. A modo de repisa respecto al intradós de la bóveda en la línea de impostas, con la finalidad, seguramente, de permitir un mejor apoyo para la cimbra en el momento de la construcción. El muro septentrional tiene igualmente cinco hiladas de sillares. La inferior, que no se alinea con el resto y debe corresponder a cimientos tal como hemos visto anteriormente, tiene una altura de 0,29 m. Las restantes tienen una altura de 0,29, 0,27, 0,25 y 0,32 m. respectivamente, siendo la altura total de este muro de 1,44 m. Al igual que el muro meridional presenta en su coronamiento una repisa de 5 cm. de anchura. Los sillares se asientan a hueso en ambos muros y es de destacar que alguno de ellos presente una línea de cinceladura externa en su cara visible. El muro de cierre se construye con cuatro hiladas de sillares de 0,33, 0,34, 0,17 y 0,30 m. de altura, mientras que el tímpano semicircular definido por el arco se hace con *opus caementicium* de cal y canto con algún sillar de arenisca embutido en él. La bóveda es de sillería y en la rosca del arco exterior se cuentan diecisiete dovelas de dimensiones desiguales pero que presentan en el trasdós una línea de rosca incisa sobre ellas a 0,43 m. del arco del intradós.

Detrás del muro de fondo de la exedra, y concebida en principio como obra no destinada a ser vista, existe una pequeña arqueta construida con dos hiladas de sillares de arenisca en cada uno de sus muros laterales, y un paramento de cantos sin mortero en el muro de cierre. Se cubre con bóveda de cañón de ladrillo. Su planta es cuadrada de 1,38 m. de lado, mientras que no es posible medir su altura con seguridad ya que el fondo de la *piscina* es de limo e impide tomar una referencia segura para la base. Esta arqueta cumple la finalidad de captar el agua, ya que esta filtraba a través de la pared de cantos del fondo. Al mismo tiempo servía para decantar el agua antes de su salida. Contaba en sus muros laterales con sendas banquetas construidas también con sillares de arenisca. El agua salía de esta arqueta a la exedra a través de una gran pieza de arenisca de 1,07 m. de ancho por 0,88 m. de alto que tiene cuatro orificios para este fin. La existencia de cuatro pasos, definiendo un total de tres niveles distintos, hay que entenderla como destinada a adaptarse a las variaciones de nivel y precisión de la arqueta de decantación. En efecto, concebida esta como una obra cerrada, la presencia de cuatro *fistulae*, que podría abrirse o cerrarse a voluntad, permitiría aligerar la presión y evitar la ruina de la obra en el caso de que el aporte de agua fuera excesivo. La disposición de tres niveles distintos permitiría abrir la fístula que se considerase oportuna de acuerdo con el nivel interno. El sistema no parece haber previsto las necesarias labores de limpieza y, la acumulación de limo en el interior de la piscina, debió provocar su cegamiento en un momento que desconocemos, lo que obligo a romper este sillar de arenisca, creando en su extremo superior derecho un vano de 0,59 m. de ancho y 0,20 m. de altura.

Tras fluir a través de los caños, el agua pasaba a un *lacus* dispuesto en el interior de la exedra. Esta cubeta estaba construida también con sillares de arenisca y sus dimensiones eran de 0,91 m. en su sentido norte-sur y de 0,83 m. en sentido este-oeste. Del estanque nace un canal, construido con el mismo material, de 1,79 m. de longitud por 0,42 m. de ancho aproximadamente. Es posible que el paso del *lacus* al pequeño canal se hiciese con algún tipo de cerramiento del que parecen percibirse huellas en la configuración del estanque, pero esto es difícil de asegurar. La cubeta y el canal son sin duda las partes más modificadas de la obra, porque la acción del agua ha provocado el deterioro de los sillares y las consiguientes reparaciones de época indeterminada.

Otro problema a analizar consiste en buscar la causa por la que, tanto la arqueta de decantación, como el sillar de arenisca que alojaba las *fistulae*, la cubeta y el canal, estaban descentrados respecto al eje de la exedra, más cercanos a su muro septentrional que al meridional (1,42 m. del centro de sillar respecto al muro meridional y 0,95 m. respecto al septentrional). Además el canal lleva una orientación no coincidente con los muros de la exedra y si, en cambio, con la hilada inferior del muro septentrional que, como hemos visto anteriormente, es divergente respecto al resto de la obra. La no axialidad del sistema hidráulico se justifica por la necesidad de habilitar, en el interior de la exedra, un andén para facilitar la recogida de agua por los visitantes. Este andén se dispone, lógicamente, anejo al muro meridional, ya que esta era la parte a la que se accedía desde la escalera, y tiene una anchura de 1,26 m. Es difícil hacerse idea de la pavimentación original del Ninfeo ya que lo que hoy conservamos no es más que un suelo de tierra y cantos de época incierta. El proceso de excavación permitió además apreciar la existencia de al menos dos sillares de arenisca cubriendo el canal, pero la prudencia se impone a la hora de decidir si esto es original en la obra ya que, como decimos, el interior de la exedra es la parte más modificada por los usos posteriores, puesto que la fuente ha debido abastecer de agua hasta épocas relativamente recientes.

Aguas debajo de la fuente, el muro de la manguardía presenta unas características semejantes al que hemos descrito al sur de la exedra. Consta de una cimentación de *opus caementicium* de cal y cantos de río cuya altura visible es de 0,66 m. localizándose su cota superior en -4,93 m., a la misma altura que el lecho de la hilada de sillares del tramo meridional. Sobre esta cimentación se disponen tres hiladas de sillares de 0,53, 0,32 y 0,32 m. de altura respectivamente. En la primera y segunda hilada los sillares se asientan a hueso, presentando algunos de ellos una cinceladura en su cara visible y corresponden a la primera fase constructiva. La tercera hilada se data de la fase 2 y está aparejada con sillares de peor factura, cementados con mortero de cal. Se alinea con el salmer de arco de la exedra. Sobre ella se dispone ya la fábrica de mortero de la cal deleznable y cantos de río, con algún sillarejo de arenisca embutido en el correspondiente a la fase 3. A 2,35 m. de distancia respecto a la jamba del vano de la fuente, el muro cambia su orientación, la cual pasa a ser suroeste-noreste ($19^{\circ}30'$), formando de este modo la segunda alineación de esta manguardía a la que hacíamos referencia al principio de este apartado. El cambio de alineación no supone una diferente estructura constructiva salvo por el hecho de que en esta parte solo existían las dos hiladas de sillares inferiores, faltando la tercera, de peor técnica constructiva. La unión entre ambas alineaciones es perfecta, hasta el punto que, en la segunda hilada del zócalo, el sillar que coincide con el ángulo de confluencia de las dos alineaciones, ha sido convenientemente tallado para tal fin, formando un diedro en su cara externa. La longitud de esta alineación es de 7,43 m. En lo que a su estado de conservación se refiere hay que decir que se ha visto especialmente afectada por el empuje de las tierras del talud del río, lo que ha provocado la casi desaparición del aparejo más reciente, así como el desplome hacia el exterior del zócalo de sillares.”

5-Ejecución de la documentación geométrica del Ninfeo.

Ahora que estamos ubicados en el monumento histórico a documentar y se tiene una idea de su estructura gracias a la descripción citada se van a explicar los pasos que se han seguido para documentar geométricamente el Ninfeo. En el siguiente apartado los se verán ordenados cronológicamente y de forma esquemática.

5.1-Esquema de procesos.

El esquema de procesos es un diagrama de flujo, que muestra en orden descendente la variación de los trabajos mediante los resultados de la documentación.

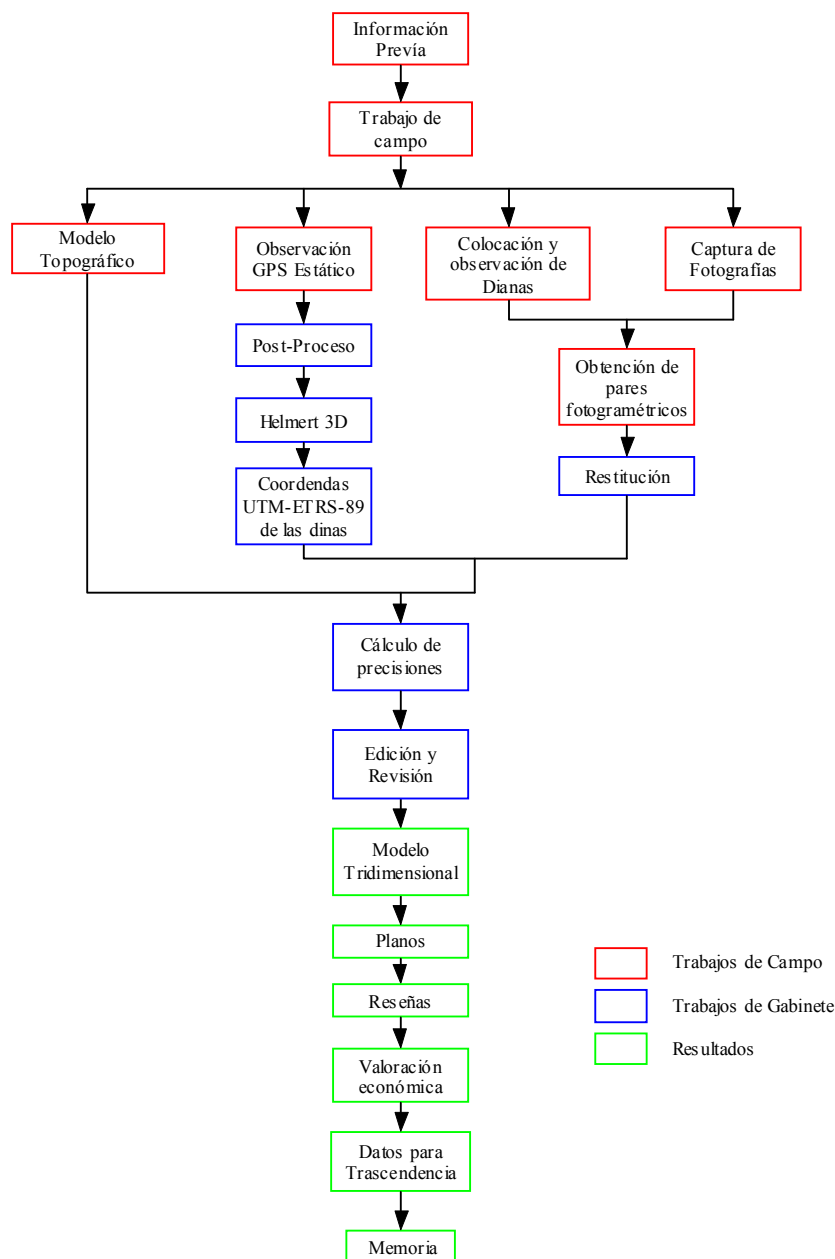


Figura 2. El proceso que se sigue en la redacción de la memoria.

5.2-Información previa.

Como en cualquier trabajo lo primero que hay que hacer es obtener información previa existente. En este caso se ha contado con dos fotografías del Ninfeo y sus alrededores, y un plano en formato vectorial realizado por D. José Manuel Martínez Torrecilla.

Para el estudio previo se ha apoyado en el libro de HERNANDEZ VERA, José Antonio, ARIÑO GIL, Enrique, NUÑEZ MARGEN, Julio y MARTINEZ TORRECILLA, José Manuel. Conjuntos monumentales en la periferia urbana: puentes, presas y Ninfeos. Graccurris nº 4. Año 1995.

Una vez analizada la información existente se deciden las líneas generales por donde va a ir el proyecto. En Junio del 2009 se fue a campo para comenzar con la captura de datos. En este apartado se explicarán cómo se han realizado dichos trabajos.

5.3-Trabajo de campo inicial.

5.3.1-Modelo volumétrico del Ninfeo.

Para realizar estos trabajos se ha utilizado la Estación Total TCR 1205 (para las características técnicas ver Anexo I).

Para el volumétrico se realizaron dos estacionamientos ya que con una única estación fue imposible completarlo. En la figura 3 se muestra la distribución de los clavos o bases que se utilizaron de referencia a la hora de realizar todos los trabajos topográficos.

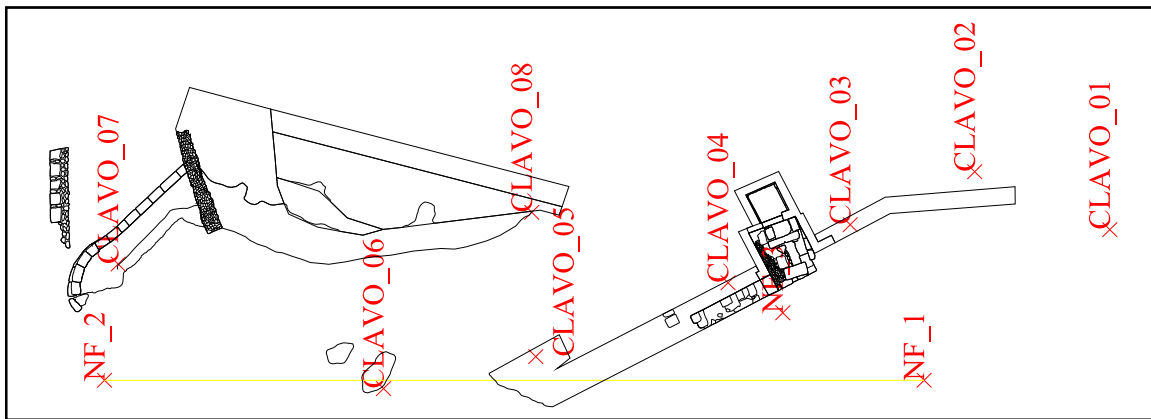


Figura3 situación de los clavos en un plano en planta del conjunto del monumento.

Respecto al sistema de referencia utilizado, hay que decir que, se trabaja con coordenadas relativas para simplificar el proceso de campo. Cuando se realiza el cálculo del post-proceso del GNSS se obtienen las coordenadas de los puntos en el sistema de coordenadas deseadas, por tanto, no supone ningún problema trabajar en coordenadas relativas.



Imagen 2. Estacionamiento en la base NC_1.

La primera base en la que se estaciono fue la base NF_1 y se le dieron unas coordenadas de (1000, 2000, 500) y se observaron las bases NF_2, en círculo directo e inverso dos veces, y la base NF_3, una vez realizadas estas observaciones se radiaron en círculo directo todos los clavos visibles desde esta estación.

Una vez observadas y radiadas todas las bases, se realiza la captura de puntos para el Modelo volumétrico. Un volumétrico no es más que un levantamiento taquimétrico tridimensional de un objeto, en este caso el Ninfeo, en el cual se intentan representar las líneas más significativas del objeto obteniendo una idea general de su estructura

5.3.2-Paso fotogramétrico captura de fotografías.

Siguiendo el orden de los trabajos realizados en campo se explicarán a continuación los trabajos realizados en la técnica fotogramétrica, lo primero que se hizo fue colocar las dianas que preseñalarán el apoyo fotogramétrico, en el Ninfeo y se realizó la captura de las fotografías. Con estos datos lo que se hará es generar un modelo tridimensional del mismo mediante un restituidor digital, este proceso se explicara detalladamente en el apartado 5.5.2.

La captura de las fotografías se realiza con las dianas colocadas, ya que sus coordenadas servirán posteriormente para realizar la orientación Externa. Como se puede deducir la posición de estas dianas no es arbitraria, hay que tener en cuenta la cantidad de fotografías a obtener, para ello, es preciso conocer las características de la cámara fotográfica que se utilizará, el recubrimiento necesario, etc., el criterio a seguir es que en cada par (un conjunto de dos fotografías) tiene que haber como mínimo 3

dianas en común, 4 para tener comprobación, además de que entre ellos sean coplanarios y perpendiculares al objeto y con una relación de distancia de separación ente $1/3$ y $1/10$.

Estas dianas son cuadradas de 4 cm. de lado y plastificados para que aguanten el paso del tiempo por si hay volver a tomar alguna fotografía otra vez, o realizar otros trabajos.

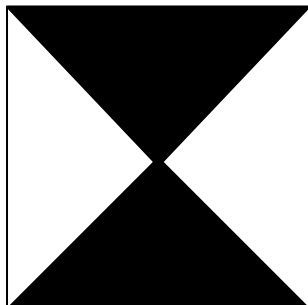


Figura 4. Representación de una diana

En cuanto a las fotografías hay que tener en cuenta que, el conjunto de las mismas debe cubrir completamente las zonas a restituir y cada fotografía debe tomarse teniendo en cuenta los condicionantes geométricos y radiométricos, es decir, que existan suficientes puntos de control para relacionar fotografía y modelo geométrico y, en la parte radiométrica, procurando que la iluminación sea homogénea evitando las sombras proyectadas o los contrastes inadecuados.

5.3.3-Medición de dianas por topografía clásica.

Una vez colocadas las dianas y capturadas las fotografías, el siguiente paso fue la de obtener las coordenadas de las dianas.

Para realizar la medición de las dianas se utilizó la Estación Total que tiene la opción de realizar mediciones sin prisma, lo que facilita la captura de coordenadas de las dianas, ya que visando al centro de las mismas con la cruz filar y midiendo la distancia al mismo queda registrado.

5.3.4-Toma de datos GNSS (sistema Global de Navegación por Satélite).

La toma de datos GNSS se realizó en modo estático con un receptor Topcon HiperPro (para las características técnicas ver anexo I), que consiste en estacionar el receptor durante un tiempo aproximado de 15' registrando datos de la constelación Navstar (GPS) y GLONASS que luego se podrán trabajar en gabinete y finalmente obtener las coordenadas de los puntos en los que se ha estacionado el receptor.

Normalmente es mucho más cómodo trabajar en RTK (Real Time Kinematic) que en post-proceso, ya que las coordenadas de los puntos deseados se obtienen al instante y la precisión que se va a obtener, en este caso, va ser muy parecida.

Para trabajar en RTK con las redes activas, necesitamos las IP's de las bases, para recibir los datos vía Internet, por tanto, si por alguna razón hay problemas de conexión no se podrán obtener las coordenadas. Para mayor seguridad se decide utilizar el método del post-proceso, ya que utilizando este método tenemos la seguridad de que vamos a poder calcular las coordenadas de los puntos.

Obtener puntos con coordenadas UTM-ED-50 es bastante fácil, ya que hasta ahora es el sistema de coordenadas que se ha utilizado a nivel nacional, pero ahora estamos en época de transición al sistema de coordenadas UTM-ETRS-89 y hay municipios que todavía no han realizado el cálculo de sus bases a este último sistema de coordenadas.

Teniendo en cuenta todo esto, resultó mucho más sencillo trabajar en modo estático, ya que en campo no se tuvo que decidir el sistema de coordenadas en el que se quería trabajar. Con definir en gabinete los parámetros de transformación de los mismos, fácilmente se podrá obtener las coordenadas de las bases en los dos sistemas de coordenadas.

5.4-Revisión de campo.

Con lo explicado hasta ahora se daría por terminada la primera fase de campo, ahora si se sigue el orden cronológico de las fases seguidas en la ejecución del proyecto se tendrían que exponer las operaciones ejecutadas en gabinete. Con el fin de agrupar los trabajos realizados en campo e intentando separar los de gabinete, se ha visto conveniente explicar los trabajos de campo realizados a posteriori, para completar y cerrar la documentación del patrimonio, dando así por terminados todas las fases de campo.

5.4.1-Completar Modelo.

Cuando se creó el modelo digital y antes de realizar los planos para su presentación, se vio conveniente volver al Ninfeo para obtener información del suelo en el que se apoya, es decir, un modelo digital del terreno para poder solaparlo con modelo tridimensional obtenido. En este apartado se explicará cómo se realizó este trabajo.

Para comenzar con el registro de información se intentó estacionar en la base NF_1, pero, como había pasado más de un año desde la primera visita a campo, fue imposible localizarla. Por tanto, se tuvo que buscar una solución a este problema y se observó que los clavos todavía estaban en perfecto estado, por tanto, se decidió realizar una intersección inversa. Para ello se estacionó en un punto arbitrario que se llamó EL-2, y se realizaron las lecturas de los clavos CLAVO_02, CLAVO_03, CLAVO_04. La precisión obtenida en el estacionamiento fue de X=1mm, Y=0mm y Z=3mm.

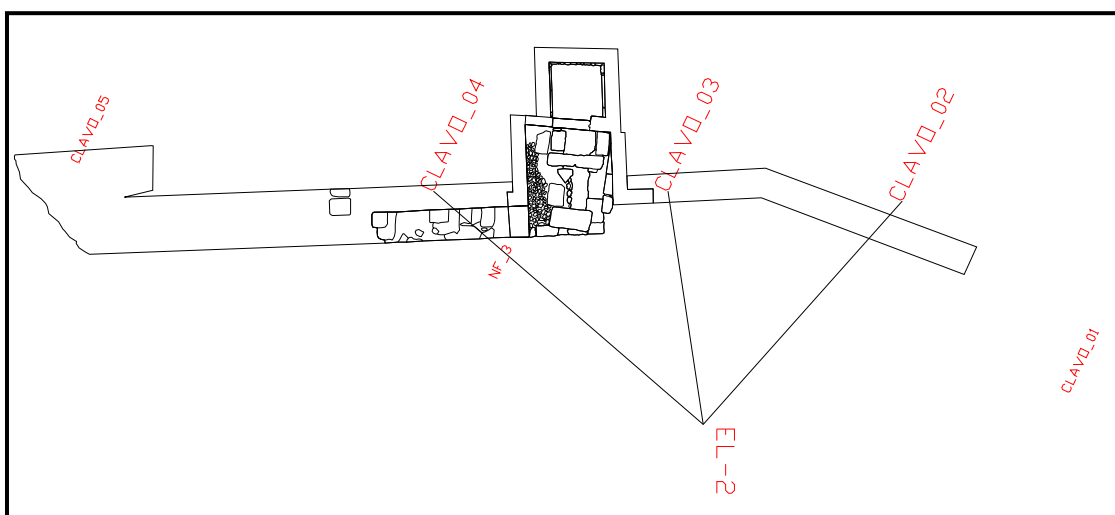


Figura 5. Estacionamiento y visuales realizadas en la intersección inversa.

Una vez estacionado, se midieron los puntos del taquimétrico de la parte delantera del Ninfeo hasta la cabeza del talud donde va a parar a la parte del río, en total se cogieron 19 puntos. Se aprovechó también para tomar el canal que cruza dicha zona, desde la boca del Ninfeo más o menos perpendicular a la alineación de la misma hasta el talud, dando salida a las aguas recogidas hasta el río.

También se completó la parte del modelo geométrico que no se pudo restituir por métodos fotogramétricos, en total fueron 9 piedras o sillares, cada una de ellas con varias caras, ya que el modelo geométrico es tridimensional, la codificación utilizada fue la siguiente:

S1-1 siendo; S1: Número de Sillar.
-1: Número de Punto.



Imagen 3. Los sillares marcados son los capturados por topografía clásica.

5.4.2-Integración de datos.

Como ya se ha comentado, antes de comenzar la documentación geométrica se disponía de documentación que se utilizó para planificar el proyecto. Ahora el objetivo es que esta información se pueda integrar al proyecto y analizar las diferencias, si es que las hay, respecto a los trabajos realizados en esta campaña. Por tanto, con el fin de enlazar el plano en planta inicial con el modelo generado, se tomaron puntos característicos del monumento, que se localizaron en el plano y así poder solapar un plano con otro. Lo que se explicará en este apartado es como se obtuvieron dichos puntos.

Lo primero que se hizo fue estacionamos en el CLAVO_03 y se realizó una intersección inversa. Las coordenadas obtenidas en la intersección, se compararon con coordenadas que se obtuvieron en la primera fase de campo y las precisiones obtenidas fueron los siguientes X: 1mm, Y: 0mm, Z: 3mm.

El siguiente paso fue capturar los puntos necesarios que nos permitirán generar el solape, en total fueron 14 puntos.

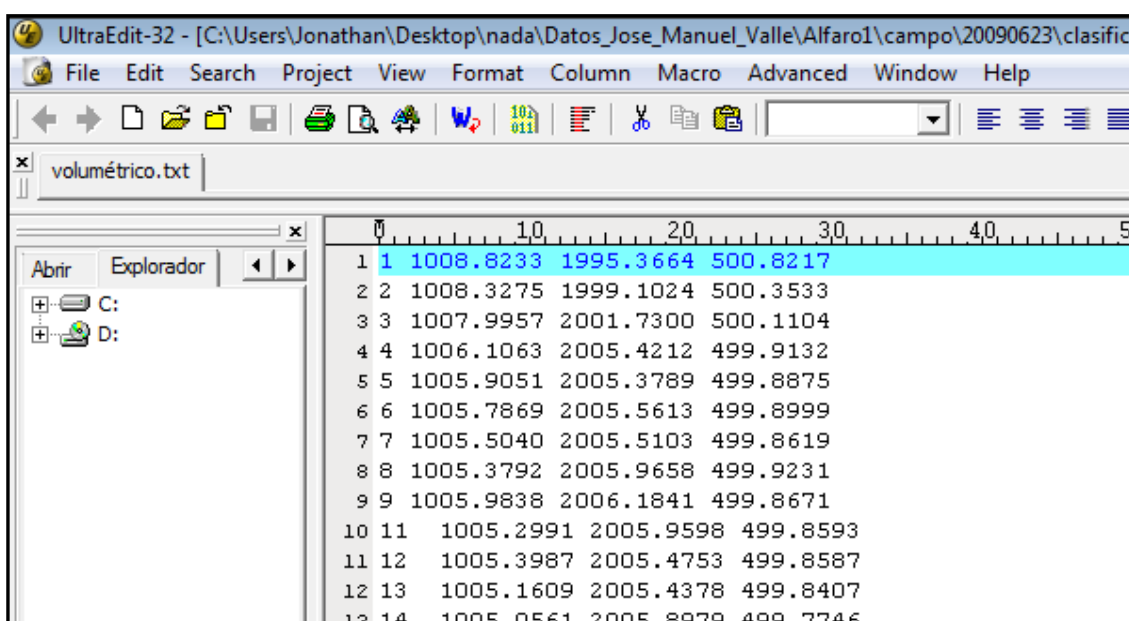
Con esto se dieron por terminados todos los trabajos que se tuvieron que realizar en campo para conseguir los objetivos del proyecto.

5.5-Dibujo del modelo volumétrico.

Una vez explicados todos los trabajos realizados en campo, se va a explicar cómo se ha ejecutado el trabajo de gabinete hasta obtener los planos, la transformación de las coordenadas y su almacenamiento para que trascienda de forma adecuada durante el paso del tiempo.

5.5.1-Obtener taquimétrico.

Para dibujar el Modelo volumétrico y el taquimétrico el proceso a seguir consiste en descargar el fichero de la estación total, una vez hecho esto se genera un fichero con el número de punto, coordenadas X, Y, Z y comentario, que es el formato que lee el programa CAD que se va a utilizar. En este caso el programa utilizado fue AutoCAD y el fichero generado fue el siguiente.



		X	Y	Z
1	1	1008.8233	1995.3664	500.8217
2	2	1008.3275	1999.1024	500.3533
3	3	1007.9957	2001.7300	500.1104
4	4	1006.1063	2005.4212	499.9132
5	5	1005.9051	2005.3789	499.8875
6	6	1005.7869	2005.5613	499.8999
7	7	1005.5040	2005.5103	499.8619
8	8	1005.3792	2005.9658	499.9231
9	9	1005.9838	2006.1841	499.8671
10	11	1005.2991	2005.9598	499.8593
11	12	1005.3987	2005.4753	499.8587
12	13	1005.1609	2005.4378	499.8407
13	14	1005.0561	2005.8979	499.7746

Figura 6. Fichero ASCII genera para introducirlo en el programa CAD.

Como se puede observar el fichero no contiene comentarios, porque en campo no se cogieron, este campo no es obligatorio para realizar los planos, pero es muy interesante para generar el modelo adecuadamente. Una vez creado el fichero se tuvieron que volcar estos puntos en el AutoCAD y unir cada punto con el que le correspondía con el orden seguido a la hora de la captura en campo, para ello viene bien tener un croquis, a falta de los códigos. El resultado final obtenido es el siguiente.



Figura 7. El resultado del volumétrico.

5.5.2- Restitución del Ninfeo.

El objetivo de este proyecto es documentar el patrimonio histórico que es el Ninfeo, hay muchas formas de documentar teniendo en cuenta la finalidad de nuestra documentación. En este caso, como se ha comentado al inicio se ha decidido realizar una restitución fotogramétrica para generar un modelo tridimensional del Ninfeo.

Antes de realizar una descripción de los trabajos de restitución se van a explicar los conceptos teóricos necesarios para realizar este trabajo de forma correcta. En la página Web de “mappinginteractivo” (ver bibliografía), se explican todos los conceptos matemáticos y su desarrollo de la fotogrametría analítica, que son los mismos que se utilizan en la fotogrametría digital. Los desarrollos matemáticos y conceptos teóricos utilizados en las siguientes páginas han sido obtenidos de la página anteriormente comentada.

La fotogrametría digital, surge como consecuencia del gran desarrollo de la informática, que permitió realizar todos los procesos fotogramétricos mediante el uso de ordenadores. Con la fotogrametría digital crecen las posibilidades de explotación de las imágenes, a la vez que se simplifican las tecnologías, permitiendo con ello la generación automática de modelos de elevación del terreno, ortoimágenes y estereortoimágenes, generación y visualización de modelos tridimensionales etc. Para llevar a cabo la restitución digital, las imágenes digitales son introducidas en el ordenador, y mediante visualización en pantalla de las mismas, el usuario selecciona y “pincha” los puntos necesarios para realizar el proceso de orientación en forma matemática. La salida en la fotogrametría digital puede ser en formato raster o formato vectorial.

La imagen digital es una cuadrícula de números enteros (denominados comúnmente como píxeles) cuya posición dentro de la cuadrícula está asociada a una posición geométrica del escenario representado, ordenados en forma matricial. El origen de coordenadas (filas y columnas) se encuentra en la parte superior izquierda.

Ahora vamos a ver los tratamientos que se le aplican a las imágenes antes de trabajar con ellas y como se genera el modelo, previa restitución. Para obtener el modelo tridimensional se sigue el método general de la Fotogrametría que consiste en realizar una orientación interna y externa, esta última se puede dividir en dos pasos, pero nosotros en el programa utilizado (El Softplotter) hemos realizado en un único paso, por tanto, es este último el que explicaremos.

Con independencia de si la orientación externa se realiza en uno o dos pasos, en general puede decirse que las fases son básicamente:

1. Medición de coordenadas, obteniéndose las Foto-coordenadas.
2. Reconstrucción de los haces de rayos: obtención de las coordenadas imagen, tras realizar las correspondientes correcciones debidas a las distorsiones.
3. Cálculo y determinación de todos los elementos de orientación para los dos fotogramas.
4. Cálculo de las coordenadas terreno.

Los dos primeros pasos son comunes para cualquiera de los dos métodos elegidos para la restitución analítica.

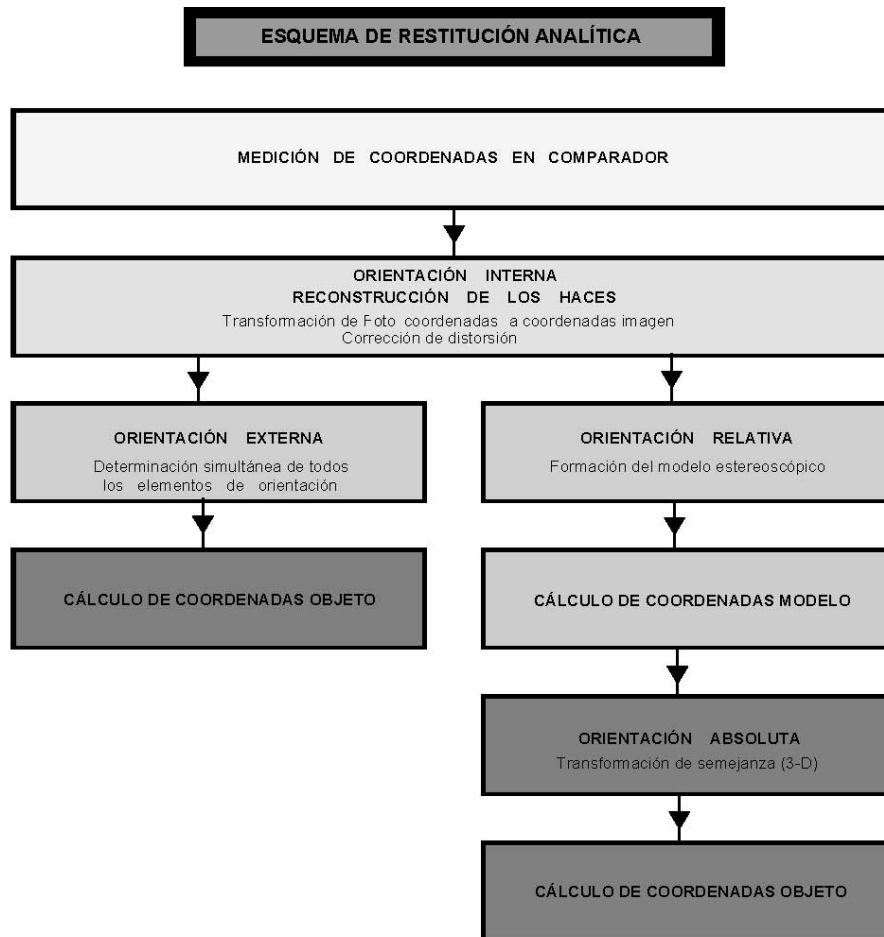


Figura 8. Esquema de la restitución analítica que conceptualmente igual a la digital.

Los sistemas usados en fotogrametría son cartesianos y responden al conjunto de coordenadas que se pueden obtener de un mismo punto del terreno a lo largo de todo el proceso fotogramétrico de restitución.

Por lo tanto, nos encontraremos siempre y cuando realicemos dos tomas fotográficas de un objeto, los siguientes tipos de coordenadas:

-Foto-coordenadas. (x_K, y_K) .

-Coordenadas imagen (x', y', c) (x'', y'', c) . Coordenadas de la imagen de un punto respecto al sistema definido por las marcas fiduciales del fotograma y el eje principal, correspondiendo (x', y') al fotograma izquierdo y (x'', y'') al fotograma derecho.

-Coordenadas terreno (X, Y, Z) . Coordenadas de un punto restituído en el sistema definido por los puntos de apoyos, es decir sistema absoluto de coordenadas

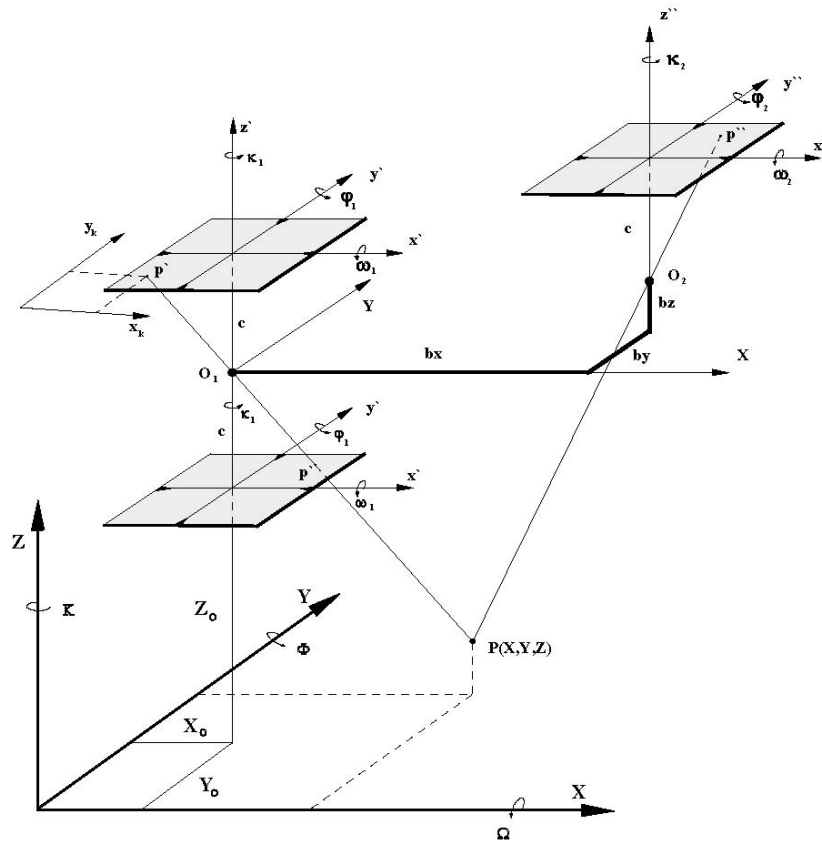


Figura 9. Representación de los distintos sistemas de coordenadas que vamos a utilizar

Sistema de coordenadas y giros utilizados en la (Figura 9):

Foto-Coordenadas de la imagen izquierda /derecha: (x', y') (x'', y'')

Distancia focal: c

Punto del terreno; puntos imagen: P, p', p''

Centros de proyección: O_1, O_2

Componentes de la base: bx, by, bz

Origen del sistema modelo con respecto al sistema terreno: (X_o, Y_o, Z_o)

Coordenadas en el sistema de puntos de apoyos (terreno): (X, Y, Z)

Inclinación transversal: ω_1, ω_2

Giro del modelo alrededor de los ejes terreno: Ω, Φ, K

Giro alrededor del eje Z: κ_1, κ_2

Una vez obtenidas las foto-coordenadas, el paso siguiente es obtener las coordenadas imagen de la perspectiva de los mismos puntos medidos en el imagen, para que con ellas y unida a la distancia principal (focal) de la toma, podamos reconstruir cualquier rayo de la perspectiva definida por la toma fotogramétrica (se va a reconstruir el haz de rayos definido por los puntos imagen y el centro de proyección).

Hay que considerar ciertas fuentes de error del proceso fotogramétrico, que hacen que los puntos imagen no aparezcan en las posiciones teóricas.

Estas son:

El punto principal no coincide con el centro fiducial.

El objetivo está afectado de distorsión.

Para la obtención de las coordenadas imagen de la perspectiva, deberemos considerar las anteriores causas de forma que la primera nos fuerzan a la realización de una transformación de coordenadas y la última a corregir las coordenadas ya transformadas, a partir de las expresiones aproximadas que valoran dichas correcciones.

Con la transformación de las foto-coordenadas, se pretende obtener las coordenadas transformadas del punto (x_T, y_T) a partir de las coordenadas (x_K, y_K) .

Apliquemos la fórmula general de una transformación bidimensional afín

$$\begin{aligned}x_F &= \lambda_x x_K \cos \alpha - \lambda_y y_K (\cos \alpha \sin \beta + \sin \alpha \cos \beta) + T_X \\y_F &= \lambda_x x_K \sin \alpha + \lambda_y y_K (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta) + T_Y\end{aligned}$$

Donde T_X, T_Y el desplazamiento del sistema O_F con respecto al O_K . La expresión anterior puede expresarse en función de los parámetros a, b, c, d.

$$\begin{aligned}x_F &= a x_K - b y_K + T_X \\y_F &= c x_K + d y_K + T_Y\end{aligned}$$

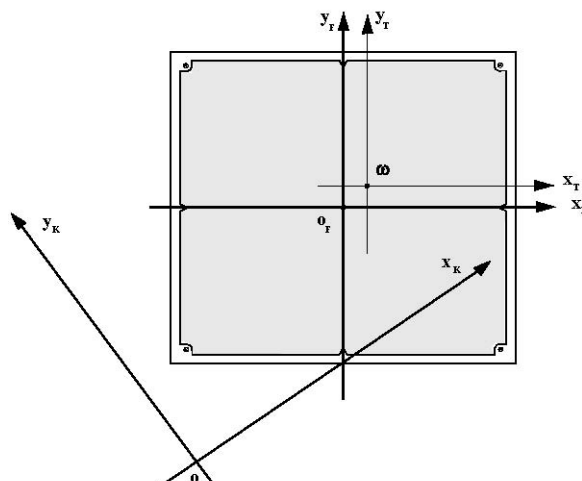


Figura 10. Cambio de sistemas en la Orientación Interna.

En forma matricial, las ecuaciones anteriores son:

$$\begin{bmatrix} x_F \\ y_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & -b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_K \\ y_K \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix}$$

Las coordenadas transformadas serán:

$$x_T = x_F - x_\omega$$

$$y_T = y_F - y_\omega$$

Siendo (x_ω, y_ω) valores obtenidos por la calibración de la cámara (para el certificado de calibración de la cámara, ver anexo I).

La determinación de los parámetros de la transformación se obtienen por aplicación de la metodología de mínimos cuadrados, tras la medición de las coordenadas de las marcas fiduciales.

El siguiente paso será calcular la distorsión radial, en el certificado de calibración de la cámara métrica viene la curva de distorsión radial correspondiente a cada una de las cuatro semidiagonales, marcando la distorsión radial en función de la distancia al punto principal de simetría.

De la tabla de distorsión de las cuatro semidiagonales pueden obtenerse en un gráfico las cuatro curvas de distorsión parecidas a la de la imagen de aquí abajo.

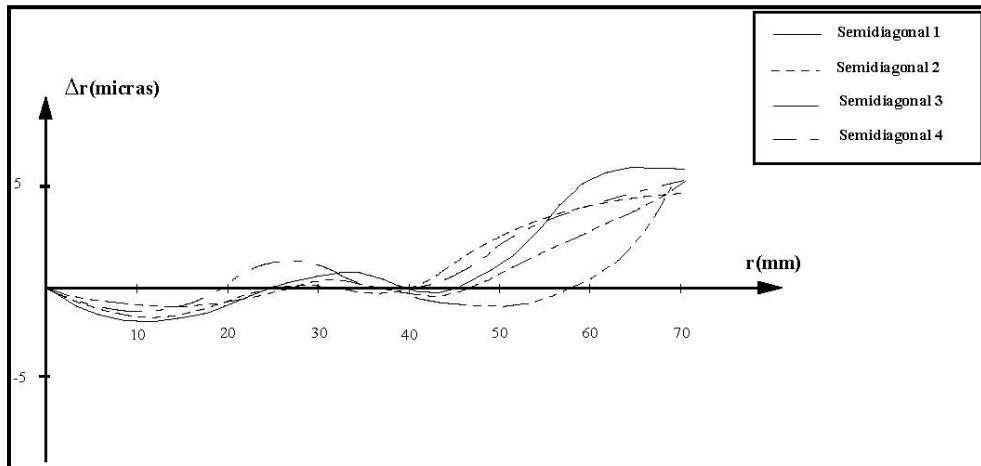


Figura 11. Un gráfico de distorsiones no corresponde a la cámara utilizada.

Las cuatro curvas suelen ser bastante coincidentes, tomándose la curva media para obtener los valores de la distorsión radial.

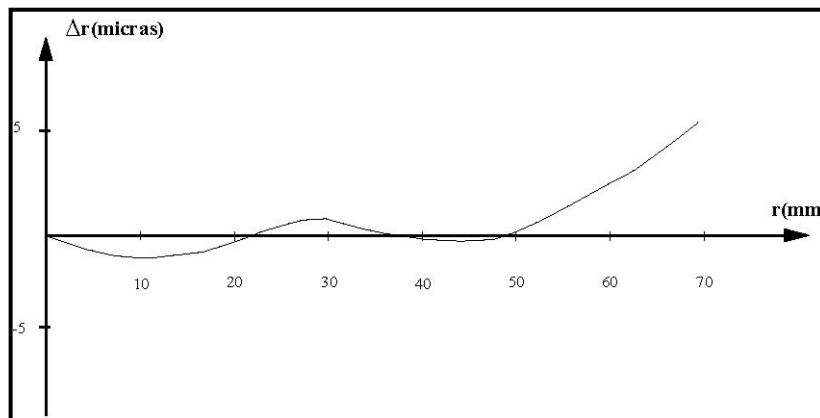


Figura 12. Curva media de distorsión.

La corrección por distorsión que se lleva a cabo es la radial, no la tangencial. Para cada punto tendremos una distancia al punto principal de simetría y a esa distancia le corresponde un valor en la curva de distorsión radial (Δr).

De la figura 13 se pueden obtener las siguientes relaciones:

$$x' = x_T + \Delta x_T = \frac{\Delta r}{r} x_T + x_T$$

$$y' = y_T + \Delta y_T = \frac{\Delta r}{r} y_T + y_T$$

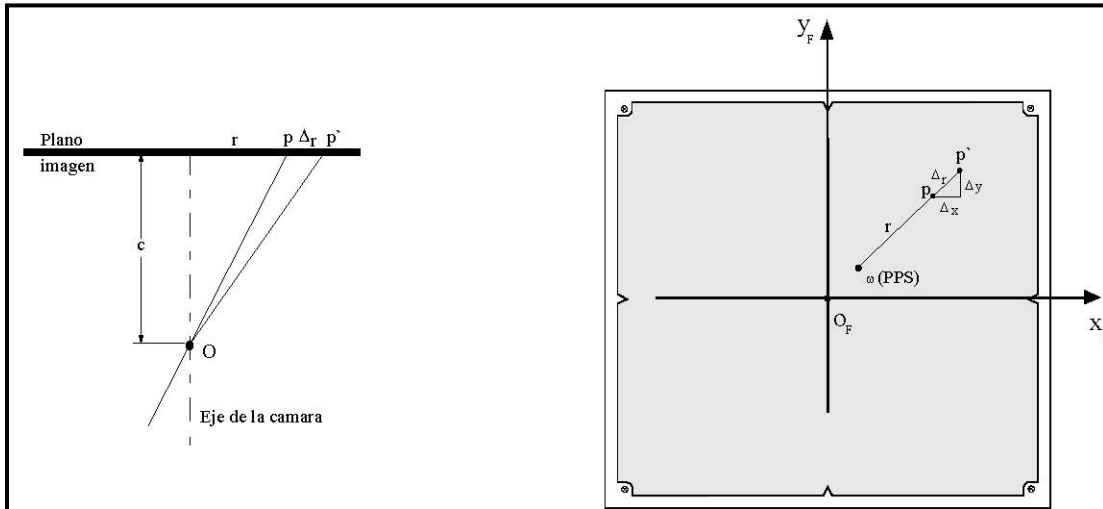


Figura 13. Corrección que se realiza por la distorsión.

El cálculo de la distorsión (Δr) radial se realizará por el método de aproximación a un polinomio de la distorsión radial de la lente. Este método consiste en aproximar la curva de distorsión a un polinomio de la forma:

$$\Delta r = a_1 r + a_2 r^3 + a_3 r^5 + a_4 r^7$$

Donde Δr es la distorsión radial de la lente, “ r ” es la distancia radial al punto principal. Los coeficientes a_1, a_2, a_3, a_4 definen la forma de la curva. Los valores de estos coeficientes se obtienen por aplicación de la metodología de mínimos cuadrados.

Una vez obtenidas las coordenadas imagen de los puntos proyectados y para poder realizar el proceso inverso de la perspectiva, es decir, obtener las coordenadas terreno de dichos puntos, es necesario situar los centros de proyección y los planos de la imagen en la misma posición espacial que cuando se realizaron las tomas, referenciando dichas posiciones al sistema de coordenadas absoluto del terreno. No sólo se pretende que la posición relativa entre las perspectivas se mantenga, sino a su vez, se obliga a que la intersección de los rayos homólogos se realice precisamente en el punto a restituir.

Se pretende desarrollar un proceso analítico de restitución de puntos cuyas imágenes se encuentran en dos tomas fotogramétricas. Para ello deberemos conocer los parámetros de orientación externa de las dos perspectivas obtenidas en el proceso fotogramétrico, lo cual se consigue por medio de aplicar condiciones de colinealidad.

Llamamos condición de colinealidad a la condición que obliga a que se encuentren en la misma recta el centro de proyección, el punto imagen y el punto del terreno proyectado. De tal forma que si conseguimos esta condición en las dos perspectivas, queda asegurada la intersección de rayos homólogos en el punto del terreno prefijado.

5.5.2.1-Preparación de los datos previa restitución.

La restitución fotogramétrica no solo consiste en cargar las imágenes a un Software y dibujar encima de ellas, primero hay que preparar la información que nos pedirá el programa para realizar las orientaciones, que son necesarias. Para generar un modelos en el cual se restituirá, es decir, con la ayuda de un programa informático CAD se trazarán líneas definiendo en modelo en dicho formato, primero hay que tener claro el orden en que se han tomado las imágenes, ya que para generar los modelos se tienen que introducir las imágenes de dos en dos y estas tiene que ser consecutivas, por tanto, lo primero que se hizo fue generar un croquis con la distribución de las imágenes, el croquis se dibujó a mano alzada y en sucio, por tanto, aquí abajo se muestra la distribución de las imágenes en el modelo restituido.

- Distribución de las fotos del frente.

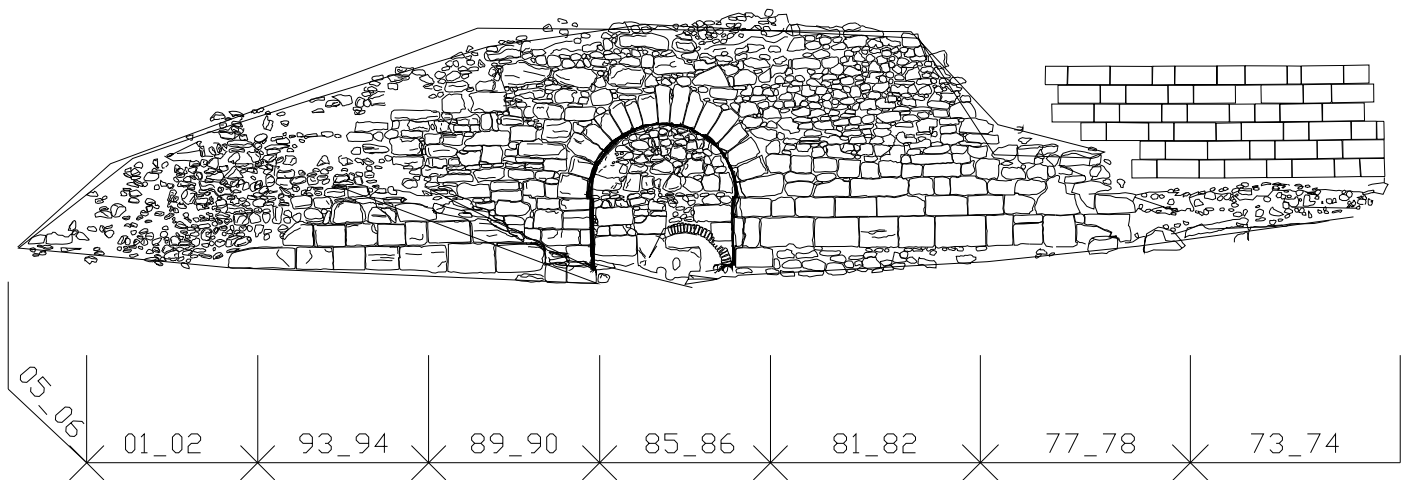


Figura 15. Distribución de las fotografías para realizar la restitución del frente.

➤ Distribución de las fotos de la escalera.

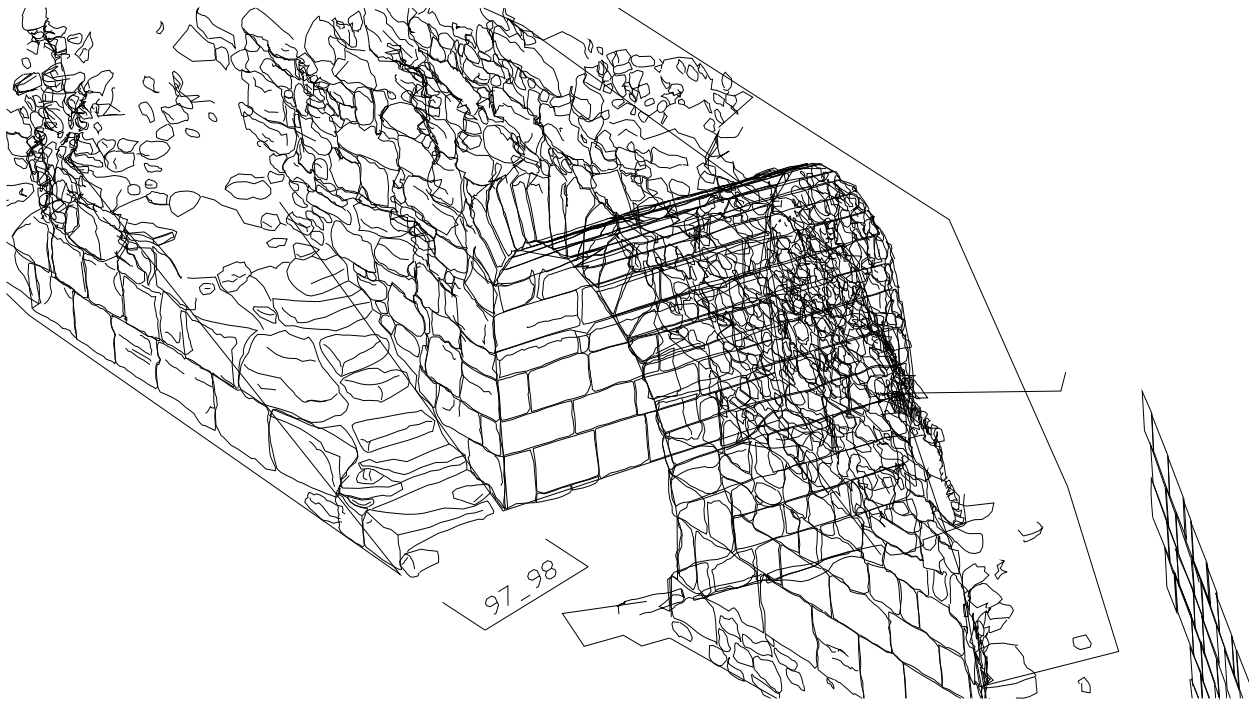


Figura 16. Distribución de las fotografías para realizar la restitución de la escalera.

➤ Distribución de las fotos de la fuente.

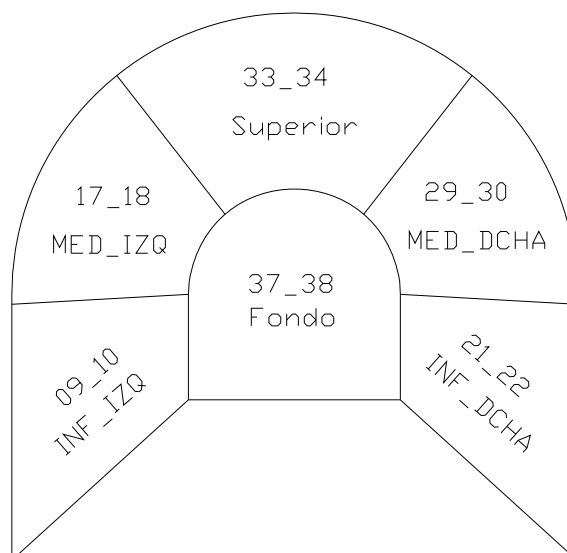


Figura 17. Distribución de las fotografías para realizar la restitución de la fuente y el arco.

Ahora una vez definida la distribución de las imágenes hay que generar unos ficheros con coordenadas XYZ de las dianas que aparecen en las fotografías.

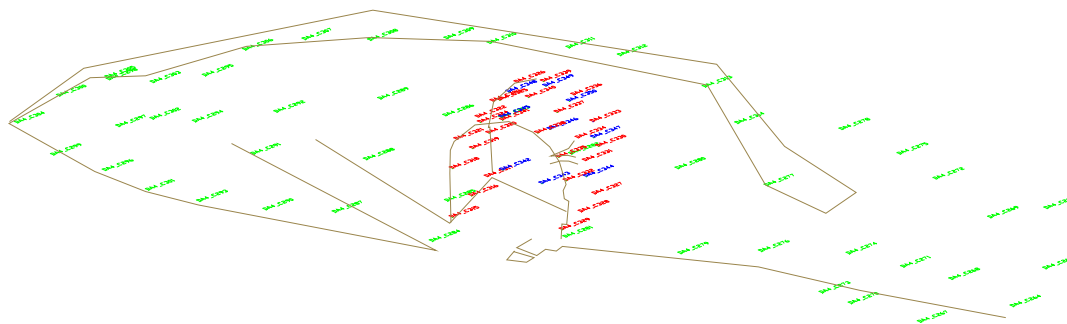


Figura 18. Modelo de la distribución de las dianas en el Ninfeo.

- Dianas que pertenecen al alzado principal.
- Dianas que pertenecen al arco del Ninfeo.
- Dianas pertenecientes al fondo del Ninfeo.

Como se trata de un modelo tridimensional, el Ninfeo consta de planos con distinta orientación, no se puede dibujar el Ninfeo cogiendo un único plano de referencia. Esto se traduce en que hay que generar los modelos de cada parte en distintos sistemas de coordenadas y luego unir todas las partes restituidas, así se generará el modelo tridimensional.

Para obtener los distintos sistemas de coordenadas se echará mano del Modelo volumétrico y las dianas (la imagen.7) y con el programa Helmer 3D que se ha desarrollado, se va crear un sistema de coordenadas para cada plano que compone el Ninfeo, esto hace que las coordenadas de las dianas varíen respecto a las obtenidas en campo y estas son las que utilizaremos para orientar los modelos.

En total generamos 8 sistemas de coordenadas distintos, que luego habrá que unir, uno para la parte frontal del Ninfeo, otro para el fondo de la fuente y otro para el arco, este último lo dividimos en cinco partes distintas.

NOMBRE DIANA	X	Y	Z
DA4_C264	22.4540	0.6108	-0.0530
DA4_C265	22.6161	1.0480	-1.1311
DA4_C266	22.6445	2.3586	-1.1165
DA4_C267	20.7612	0.1987	0.6653
DA4_C268	20.8130	0.6668	-0.5619
DA4_C269	21.1874	1.7193	-1.4927
DA4_C270	19.0533	0.1386	0.3683
DA4_C271	19.6363	0.6218	-0.7484
DA4_C272	19.7676	2.1231	-1.8653
DA4_C273	18.1323	-0.0136	-0.1449
DA4_C274	18.3966	0.6408	-0.7823
DA4_C275	18.8292	2.3755	-2.1114
DA4_C276	16.0869	-0.0292	-1.4401
DA4_C277	16.2176	1.4249	-1.4244
DA4_C278	17.3244	2.4506	-2.4968
DA4_C279	14.3965	-0.3396	-1.2268
DA4_C280	14.3462	1.4972	-1.1908
DA4_C281	11.9885	-0.3536	-0.9085
DA4_C282	12.1196	1.4716	-0.8910
DA4_C283	10.6609	2.0400	-0.6803
DA4_C284	9.6205	-0.4812	0.2685
DA4_C285	9.5127	0.0458	-0.5752
DA4_C286	9.4809	1.8856	-0.5526
DA4_C287	7.6147	-0.1414	0.5930
DA4_C288	7.7921	0.6577	-0.3922
DA4_C289	8.0905	2.0142	-0.4238
DA4_C290	6.1584	-0.3163	0.7689
DA4_C291	5.9302	0.8706	0.8572
DA4_C292	6.1260	1.5887	0.2575
DA4_C293	4.7788	-0.3415	0.9681
DA4_C294	4.5299	1.2178	0.6857
DA4_C295	4.5032	2.0262	0.2214
DA4_C296	2.6217	-0.1478	0.8843
DA4_C297	2.9540	0.8955	0.9485
DA4_C298	2.4677	1.6068	0.4343
DA4_C299	1.3083	-0.1935	0.5901

Figura 19. Fichero ASCII con las coordenadas de las dianas según el SCP seleccionado.

En la Figura 19 se puede ver uno de los ficheros que se crea, las cabeceras y los espacios de este fichero han sido modificados para entender los datos obtenidos, el fichero original es sin cabeceras y cada columna separada por un tabulador.

5.5.2.2-Orientación Interna y Externa.

Una vez creados los datos de partida, es hora de comenzar con Softplotter, el programa de restitución. Nada más arrancarlo aparece la siguiente pantalla, De las opciones posibles se desarrollarán las que se han aplicado en este proyecto.

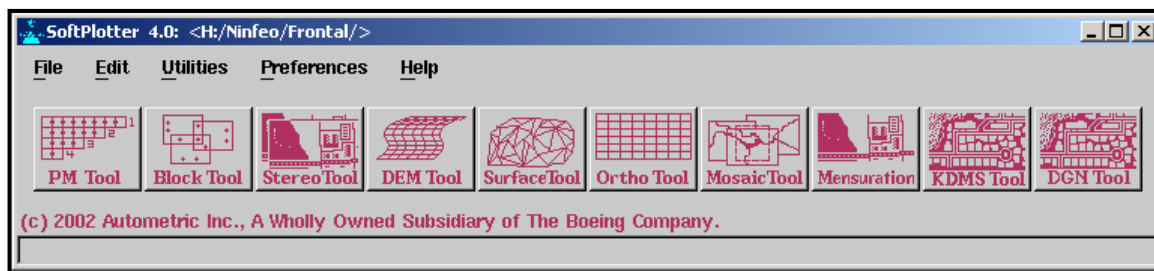


Figura 20. Pantalla inicial del programa SOFTPLOTTER.

En concreto las opciones de Block Tool, Stereo Tool y por último el DGN Tool. En el Block Tool se procesan las orientaciones, interna y la triangulación, en el Stereo Tool cargamos las imágenes con las que se genera la visión estereoscópica y en el apartado DGN Tool bajo el programa Microstation se restituye el modelo digital.

➤ Block tool.

Al iniciar este apartado aparece la siguiente ventana, por cada par cargado hay que generar un Block, y cada block se genera en un directorio distinto. Por cada directorio, el programa por defecto, genera 10 carpetas.

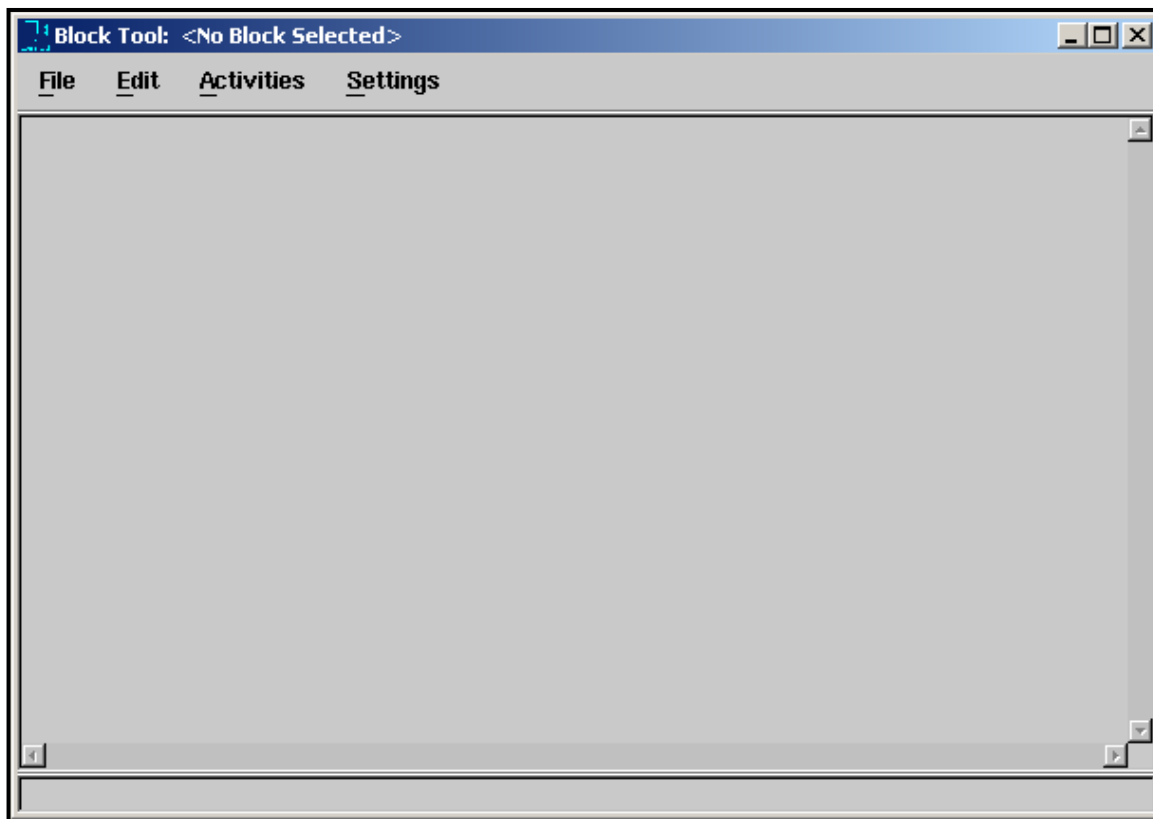


Figura 21. Pantalla donde el usuario crea un Block.

El programa pide el nombre del Block que se va a generar y el sensor con el que se han obtenido las imágenes que posteriormente se van a cargar al programa. Hay que definir también el marco de referencia en el que se va a trabajar, en este caso en cartesianas pero podrían ser geodésicas o una proyección. En la pantalla de creación de un nuevo bloque, el programa se pedirá el nombre del bloque, el sistema de proyección, y las desviaciones (sigmas) que se estiman en la captura de:

- Píxel de las imágenes
- Giros (ω, φ, κ) de las imágenes
- Puntos de apoyo.

De los parámetros que se establezcan en esta ventana dependerá la flexibilidad que el programa aplicará a cada parámetro en el cálculo matemático.

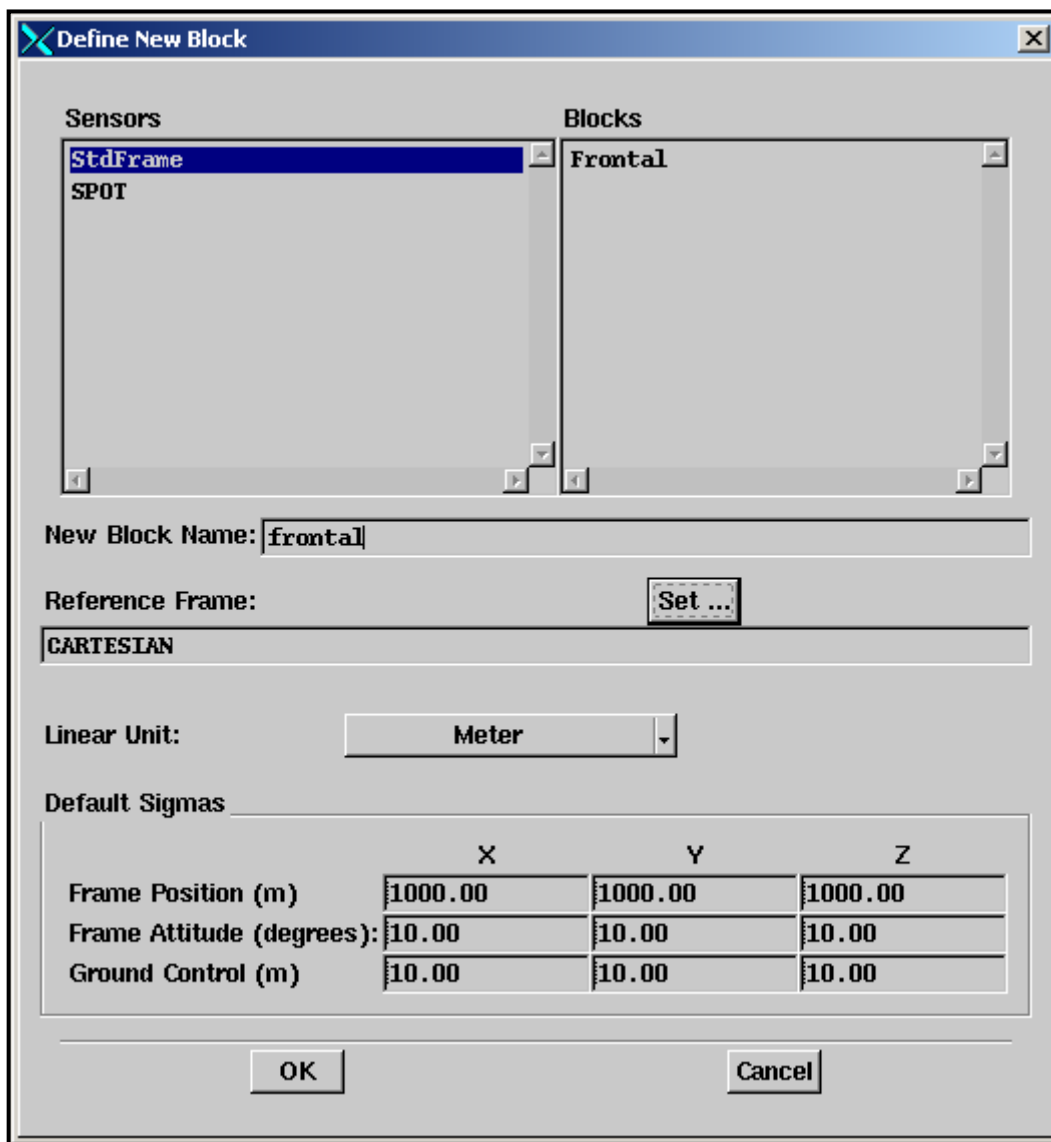


Figura 22. Pantalla donde se definen los parámetros iniciales.

Ahora se cargan todas las imágenes que se necesitan para generar el modelo. Aunque a la hora de restituir se cogen imágenes de dos en dos, aquí se cargaran todas las imágenes que forman cada plano, como se ha explicado en el apartado anterior. Este proceso hay que realizarlo con las distintas partes que se ha dividido en Ninfeo pero, por no ser repetitivos solo se explicará una vez ya que en todos los casos los procesos seguidos son iguales.

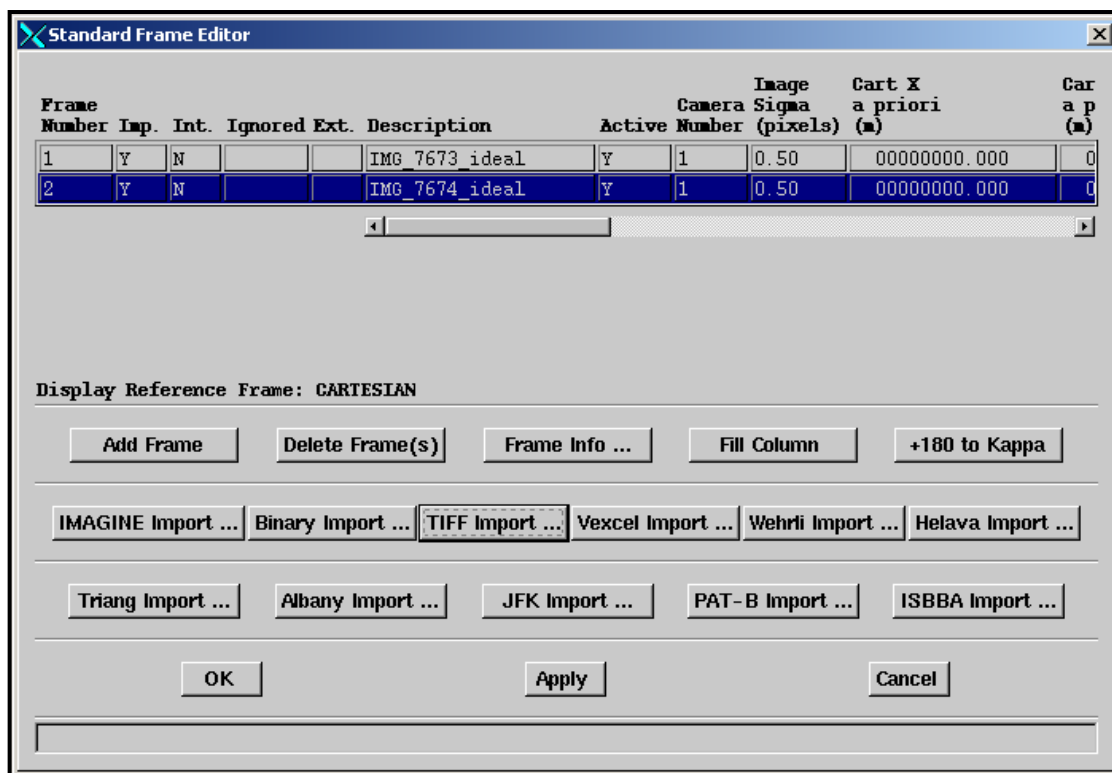


Figura 23. Pantalla donde el usuario selecciona las imágenes que generan un bloque.

Como se puede ver en la Figura 23 se puede trabajar con una serie de formatos de imagen, en este caso se trabajará con el formato TIFF. Para trabajar con las imágenes lo ideal es que sean ortogonales al objeto fotografiado, por tanto, antes de continuar se tiene que comentar que los errores debido a la distorsiones y el punto principal de las imágenes se corrigieron en otro Software, ya que, los resultados obtenidos en éste último programa han sido mejores que los obtenidos con el Softplotter.

La rectificación de la imagen consiste en eliminar el desfase que hay entre el punto principal y el centro fiducial de la imagen y en corregir la distorsión radial, es decir, por la proyección cónica la imagen sufre unas deformaciones haciendo que no se proyecte verticalmente la imagen al plano de la cámara, con lo cual sufre un desplazamiento que es mayor cuanto más nos alejemos del punto principal.

Una vez corregido esto hay que introducir al programa los parámetros de la cámara de fotos.

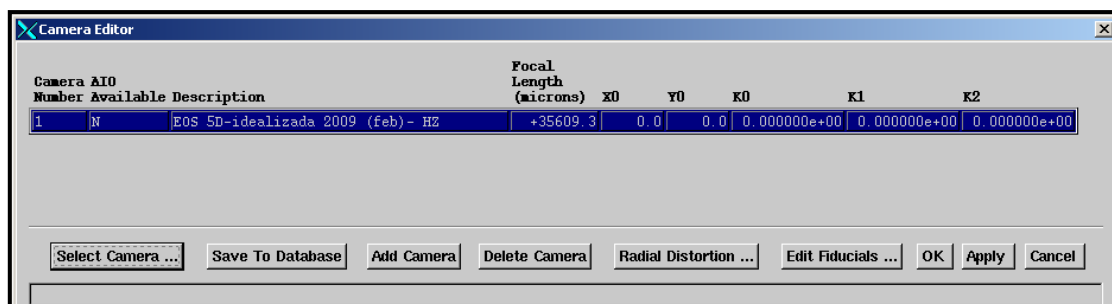


Figura 24. Selección de los parámetros de la cámara.

Como podemos ver en la figura 24, tenemos dos opciones de introducir las características técnicas de la cámara, la primera y más cómoda es con un fichero ya almacenado con estos datos previamente (para ver con más detalle las características técnicas de la cámara ver anexo I), y la segunda y que ahora veremos es introduciendo manualmente.

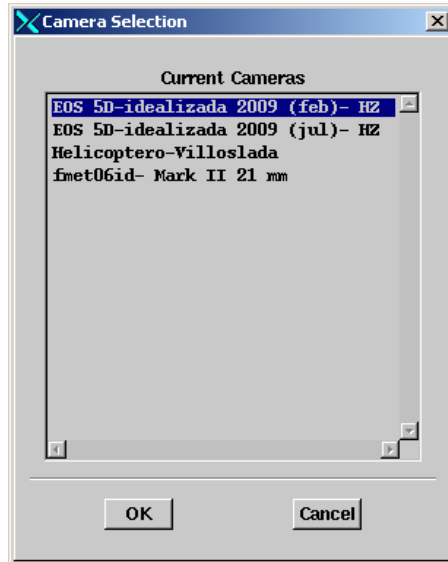


Figura 25. Listado de las características técnicas de las cámaras almacenadas.

Los datos que hay que introducir al Software son la posición de punto fiducial respecto al punto principal y los valores (K_0 , K_1 y K_2) que se utilizarán para calcular los valores de la distorsión.

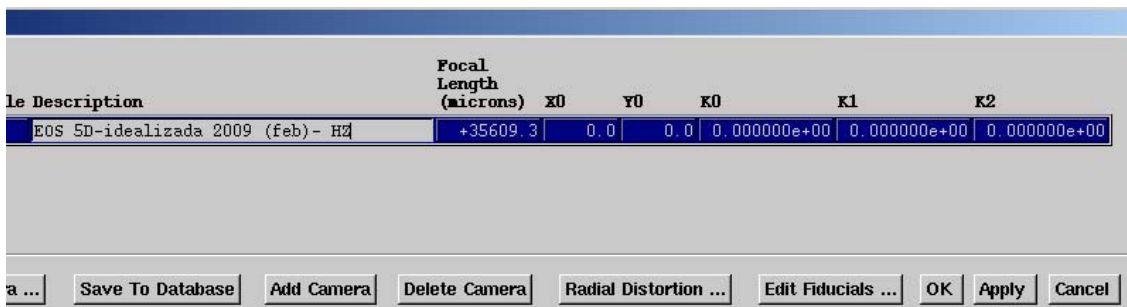


Figura 26. Aquí es donde se introducen los valores de K_0, K_1 , etc y se define el nombre de la cámara.

Una vez hecho esto, el programa genera automáticamente un proyecto, ahora hay que realizar la orientación interna la triangulación para generar la visión estereoscópica.

Por tanto, lo primero que se hace es la orientación interna, esto es, generar un sistema de coordenadas.

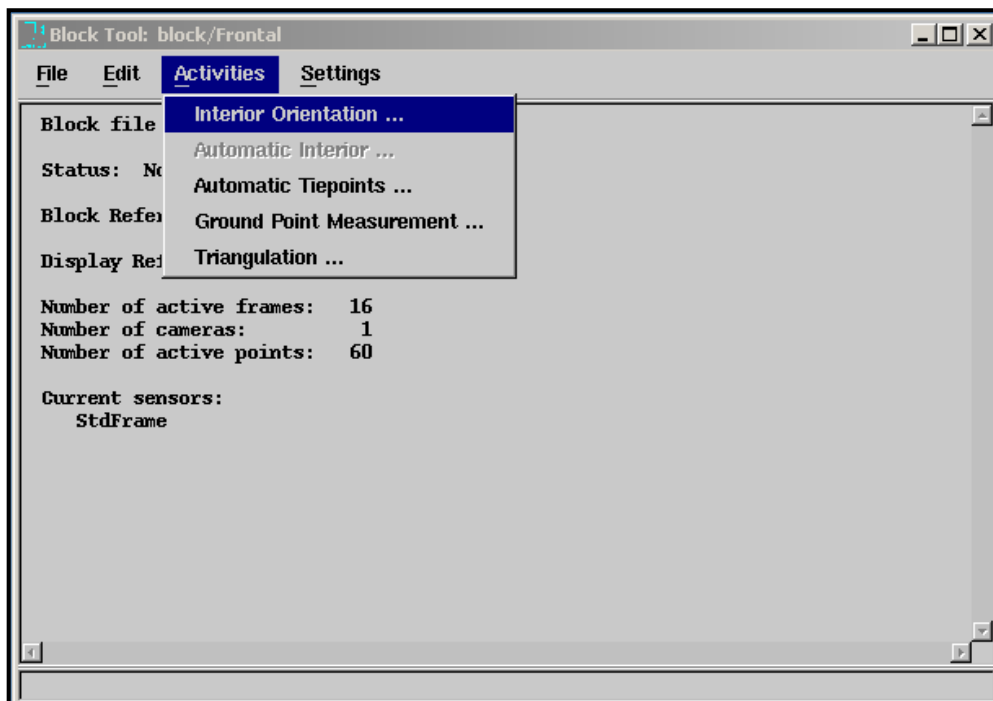


Figura 27. Pantalla donde el usuario comienza a realizar las orientaciones, interna y externa.

La orientación interna se realizar imagen a imagen, por tanto, hay que elegir la foto con la que se quiere realizar la orientación.

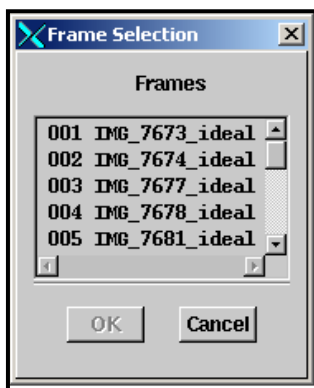


Figura 28. Donde el usuario escoge las imágenes para generar un modelo.

Una vez seleccionada la imagen hay que pinchar las cuatro esquinas de la imagen, como si fueran marcas fiduciales.

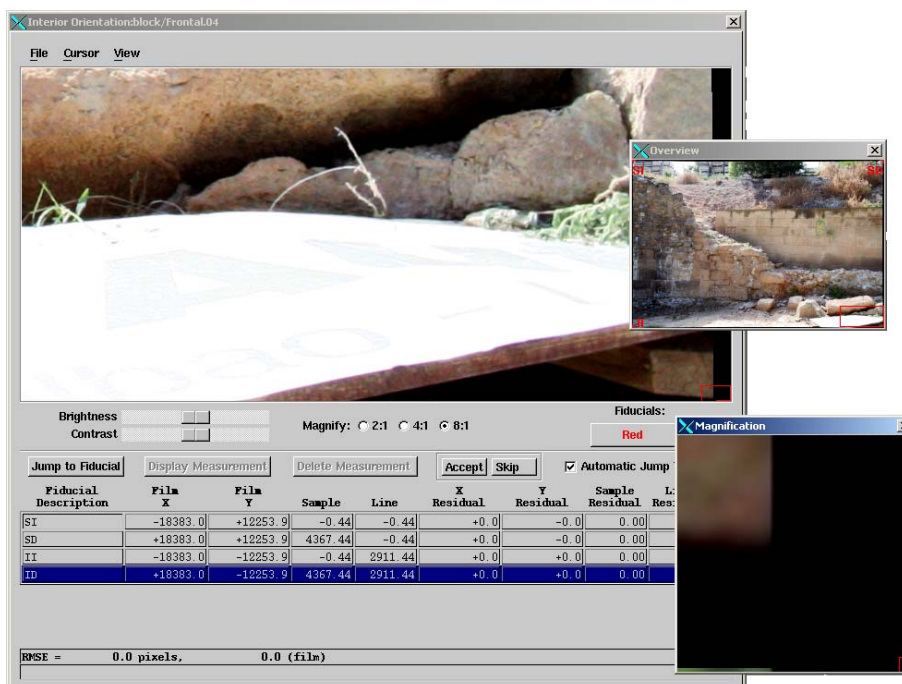


Figura 29. Donde el usuario realiza la orientación interna.

Terminado este proceso se continuará con la orientación externa, que consiste en relacionar las coordenadas obtenidas de las dianas con la estación total y las obtenidas en la orientación interna.

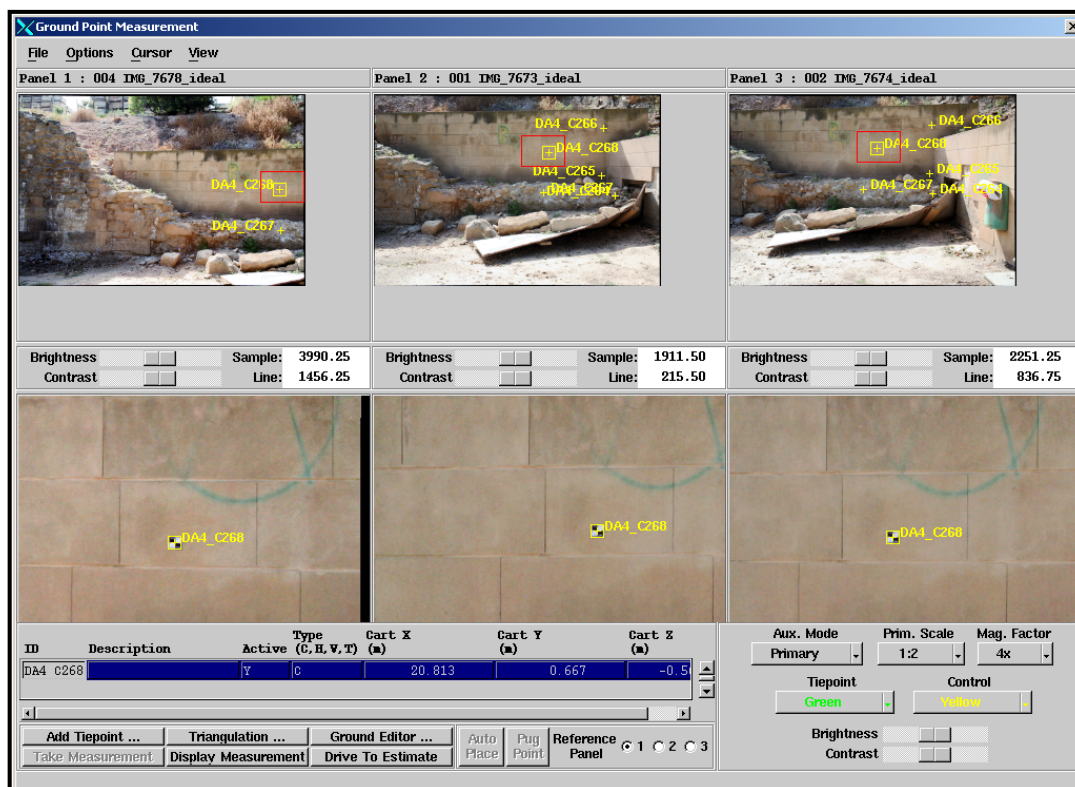


Figura 30. Donde el usuario realiza la orientación externa.

Como se puede observar en la Figura 28 a la hora de realizar la orientación externa se puede visualizar 3 imágenes, aunque si trabajamos con pares fotogramétricos no es de mucha utilidad, en la parte superior de la ventana se verán las imágenes al completo y para que el usuario pueda seleccionar mejor las dianas se puede realizar un Zoom, que se pueden ver en la parte de debajo de la ventana. Por último, darse cuenta que en la parte inferior izquierda de la ventana aparecen las coordenadas las dianas que se han cargado en del fichero ASCII.

Una vez terminado este proceso de marcado de puntos de apoyo sobre las imágenes queda realizar un ajuste, ya que las coordenadas de las dianas restituidas y las insertadas del fichero ASCII no son exactamente igual.

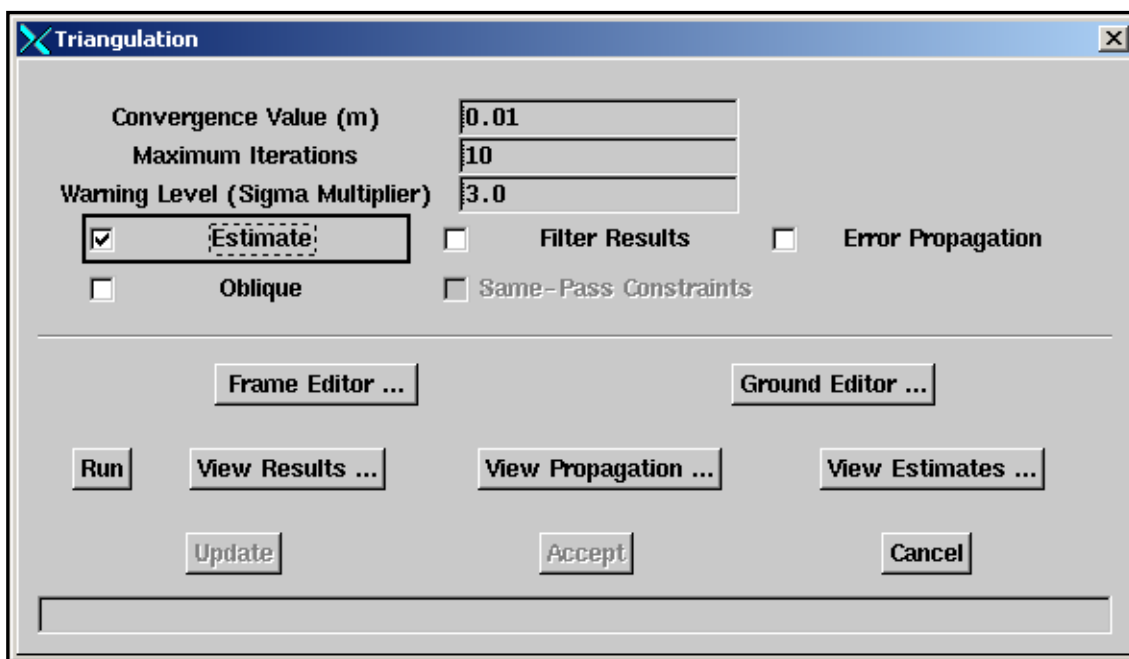


Figura 31. Aquí se realiza el ajuste de triangulación.

-Convergence Value→ valor de convergencia. Es el valor que se desea que tome la corrección que realiza a las coordenadas en cada iteración. El programa calculará todas las iteraciones necesarias hasta que las correcciones aplicadas sean inferiores al valor establecido.

-Maximum iterations→ número máximo de iteraciones.

- Warning Level (Sigma multiplier)→ Se establece un valor de multiplicación de la desviación típica resultante. Si algún punto supera este valor el programa lo indicará.

Una vez que se pulsa la opción Run calcula la triangulación, en el caso de que no se obtenga solución posible o no sea de la satisfacción del usuario, se cambiarán los sigmas que hay al inicio del programa predefinidos y se realizará otra vez la triangulación. Si finalmente no fuera aceptable sería necesario revisar todo el proceso, comenzando por los datos de campo y continuando por la orientación interna y los datos de la cámara.

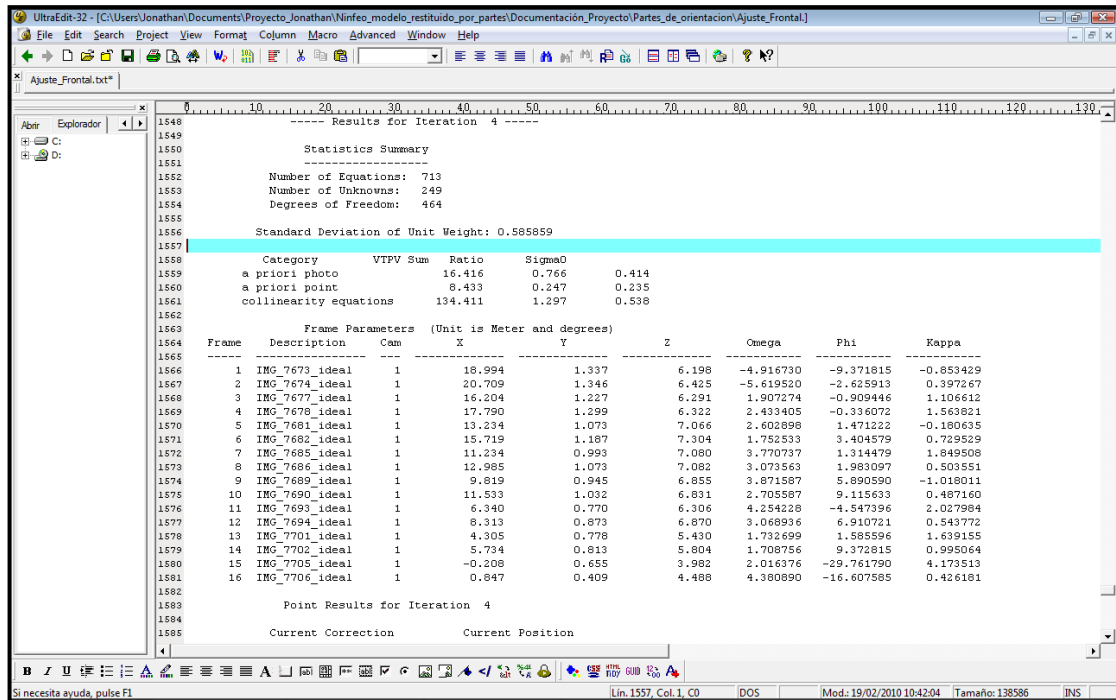


Figura 32. Resultado obtenidos después de realizar la triangulación.

Una vez terminado el ajuste por triangulación y viendo que es aceptable, lo que se hace es generar el modelo estereoscópico, para ello se utilizará el método de la polarización que no es más que dos imágenes se proyectan mediante un dispositivo equipado con filtros polarizados en las lentes (las gafas polarizadas), estas lentes están girados 90° una respecto a la otra. Se obtendrá así un modelo tridimensional, para ello, en el programa se irá a la opción del menú “Stereo Tool”.

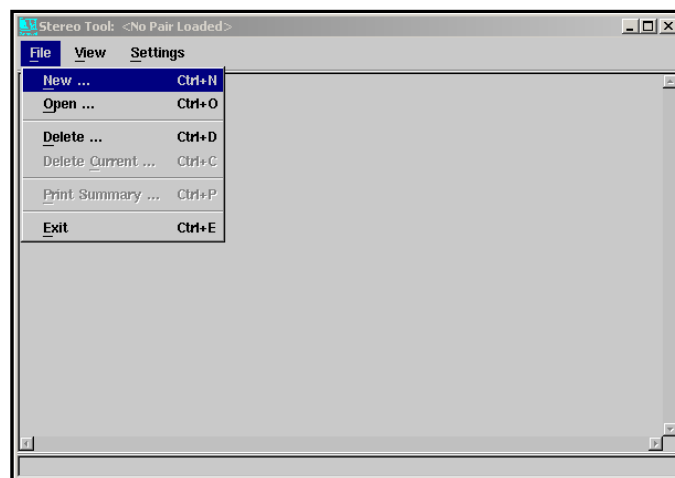


Figura 33. Menú para la generación visión estereoscópica

Para ello, hay que crear un trabajo en el cual se escogerán las dos imágenes que formarán el modelo. Es muy importante haber realizado el esquema indicando como están ordenadas las fotografías, como se ha mostrado en el apartado anterior.

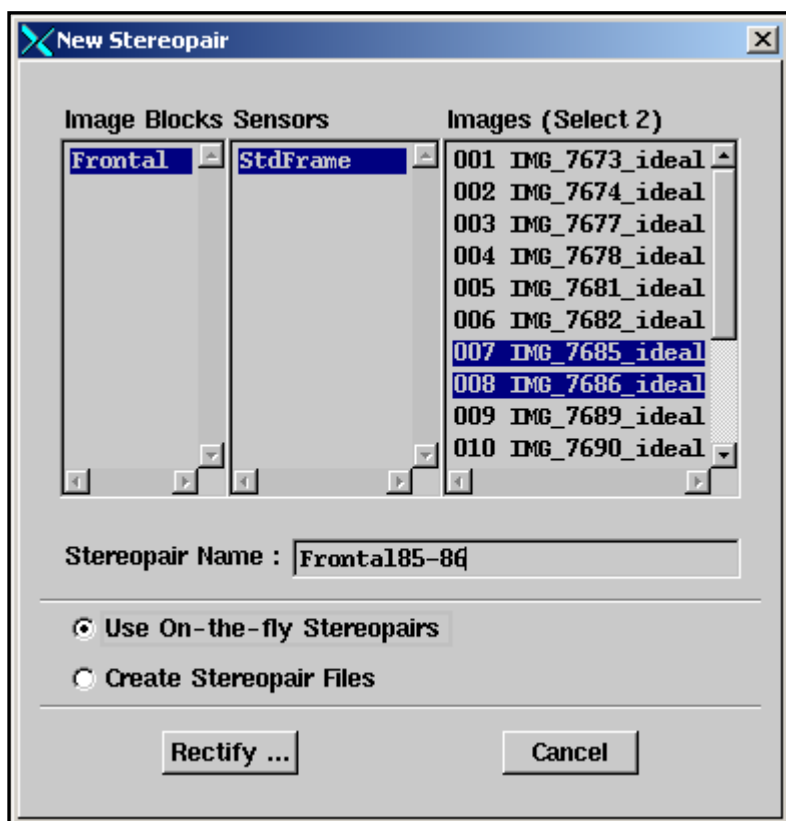


Figura 34. Selección de las imágenes con las que se genera la visión estereoscópica.

Cuando se realiza la selección de imágenes, el programa visualiza los datos que ha necesitado para generar del par y luego está la opción de ver el resultado obtenido, para ver cómo ha generado el modelo.

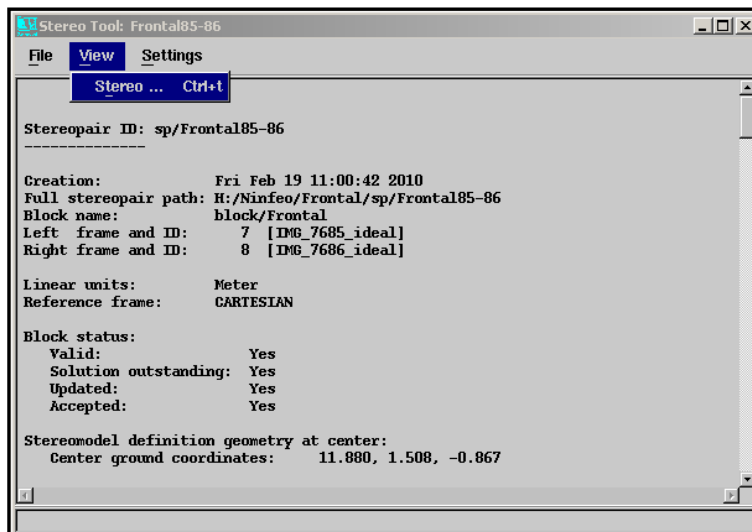


Figura 35. Datos del modelo generado.

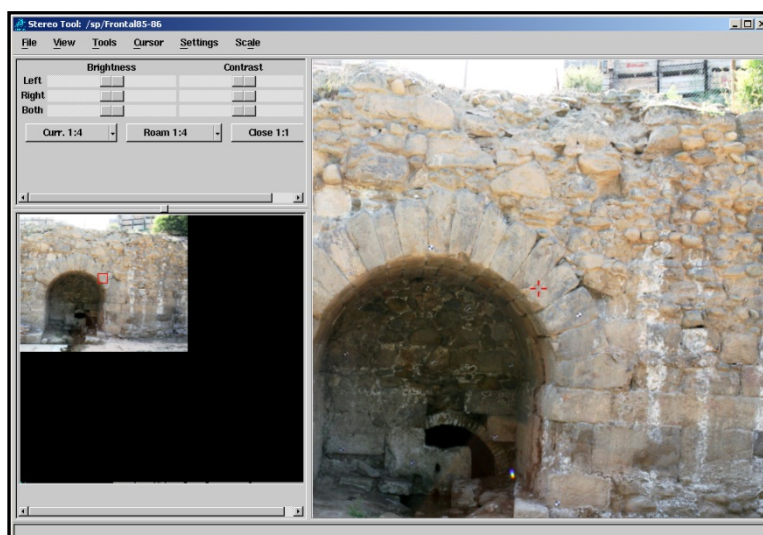


Figura 36. Ventana donde se realiza la restitución.

5.5.2.3-Restitución en Softplotter.

La última fase consiste en restituir el modelo, es decir, crear un fichero vectorial del modelo generado. Para ello, hay que ir a la pantalla de “DGN Tool”. El Software “SoftPlotter” utiliza como programa base Microstation, que es un programa CAD y se utiliza como entidad principal la polilínea 3D. Al ser de Microstation el fichero resultante tiene la extensión “.dgn”.

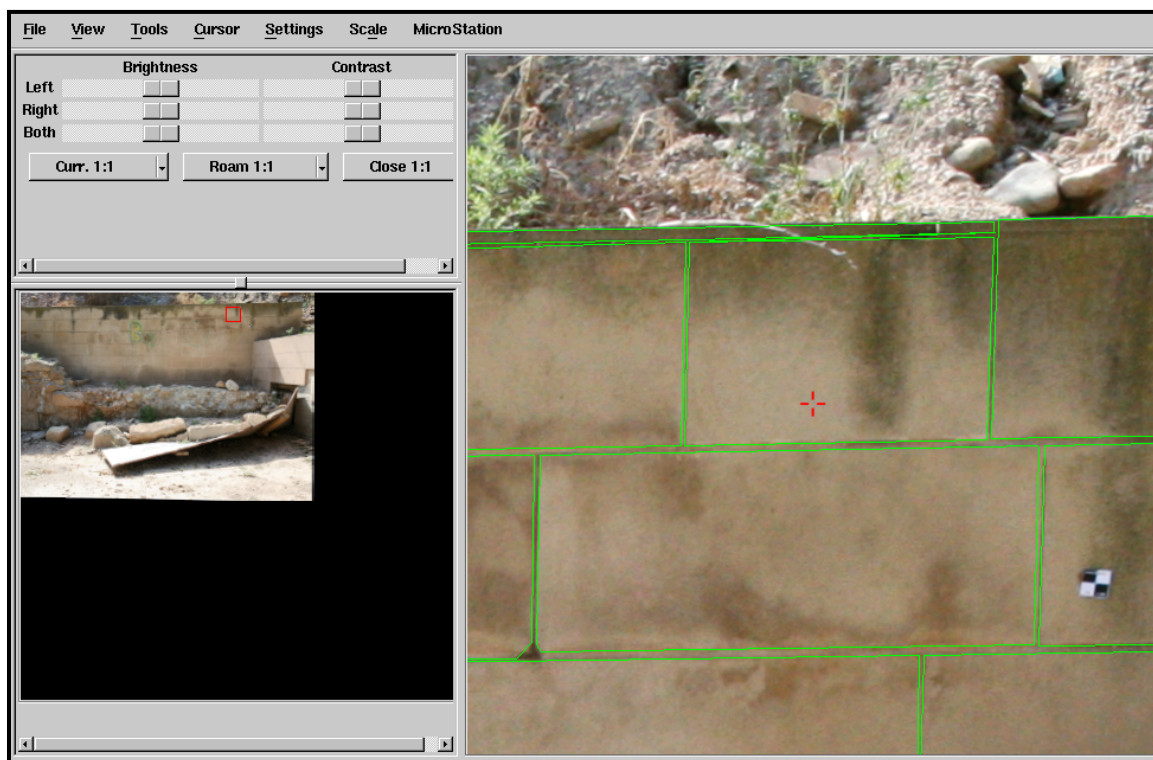


Figura 37. Parte del modelo restituido.

5.5.3-Cálculo de la observación GNSS.

Para terminar de procesar los datos obtenidos en campo, se calculan las coordenadas de las bases visadas en modo estático. En este apartado se explicarán todos los pasos seguidos desde la descarga de los ficheros hasta obtener las coordenadas de los puntos.

Como se ha dicho lo primero es descargar todos los archivos que contiene el GNSS y que pertenezcan al trabajo, como se han realizado tres observaciones habrá un total de 6 ficheros (2 por cada observación).

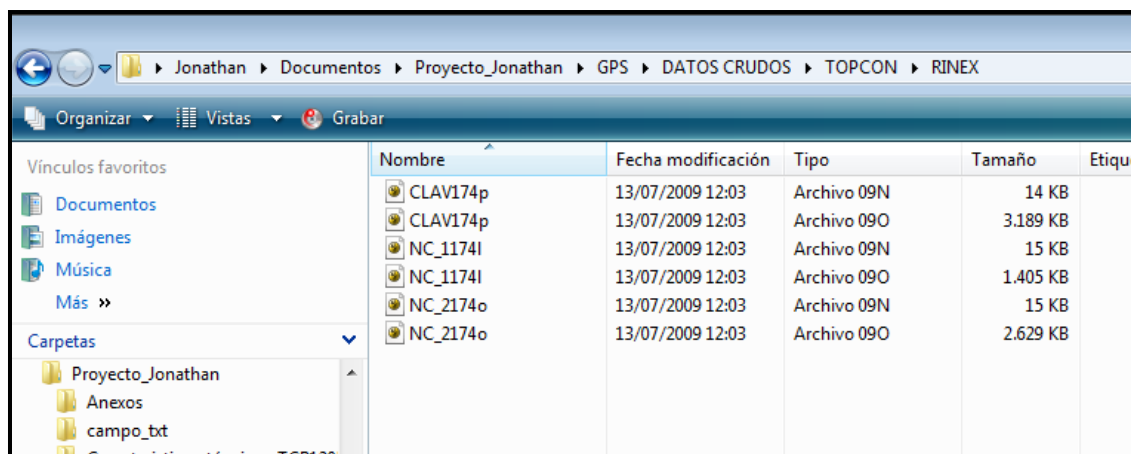


Figura 38. Listado de ficheros descargados de campo.

Para obtener las coordenadas de estos puntos observados, se utilizarán las redes geodésicas activas que ya están en funcionamiento desde hace algunos años para todos los usuarios y es gratuito.

Las redes activas no son más que receptores GNSS que ha puesto cada Comunidad Autónoma de forma permanente en unos puntos de coordenadas conocidas obteniendo datos constantemente. Esto facilita el trabajo, ya que, no se tiene que ir a ninguna base de coordenadas conocidas para estacionar el GNSS, porque se utilizaran los datos RINEX obtenidas por las bases de las redes activas para calcular las coordenadas de los puntos en los que se estacionaran los receptores.

Por tanto, como ya se ha comentado para realizar el cálculo en Post-Proceso, aparte de las observaciones realizadas en campo, se necesitan las observaciones desde puntos con coordenadas conocidas a la misma hora que nosotros hemos realizado la observación.

La razón de esto es que mediante estas últimas observaciones se genera una triangulación con la cual el programa es capaz de calcular las coordenadas deseadas.

Para realizar este cálculo se utilizará el programa Pinnacle. De aquí en adelante se explicará la metodología empleada paso a paso.

Antes de comenzar con el cálculo se descargarán los datos crudos de las tres bases que se utilizarán como referencia en el cálculo, la descarga se realizará por

Internet, cada comunidad autónoma dispone de una página Web donde, pone a disposición del usuario la descarga de los datos obtenidos con cada estación, para ello con conocer el día y las horas exactas de observación (en nuestro caso día 29 de Junio del 2009 de 11h a13h y de 14h a16h) se realiza el pedido. Las páginas Web a las que hemos accedido son las siguientes:

<http://www.iderioja.larioja.org/index.php?id=20&lang=es>

<http://www.navarra.es/AppsExt/RGAN/ficheros.aspx>

Ahora el siguiente paso es obtener las coordenadas de los puntos observados, en el mercado existen una gran variedad de programas para realizar este tipo de cálculos pero en definitiva todos hacen lo mismo.

El primer paso será generar un trabajo.

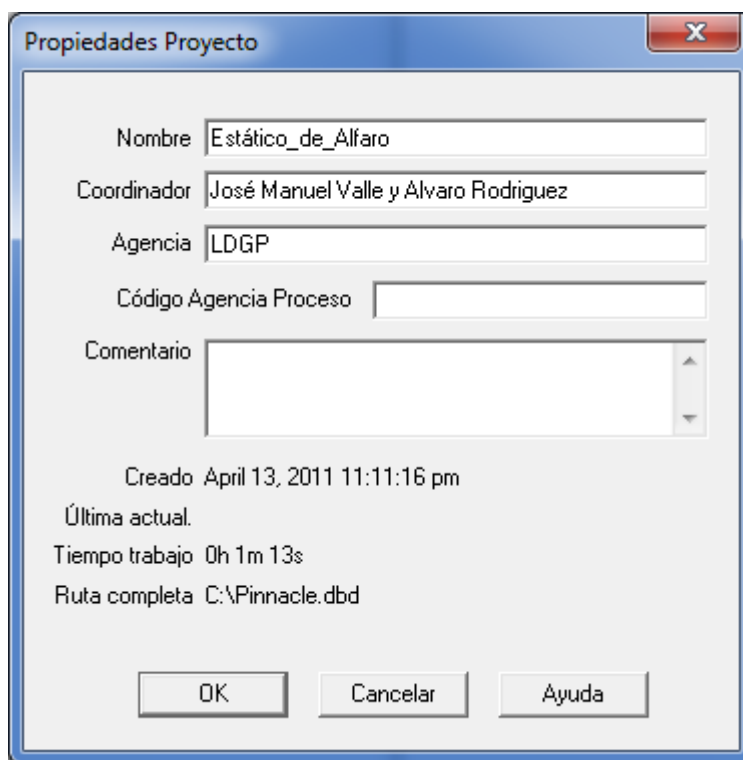


Figura 39. Propiedades del proyecto.

Una vez creado el trabajo se genera una red, donde se realizan todos los cálculos del Post-Proceso.

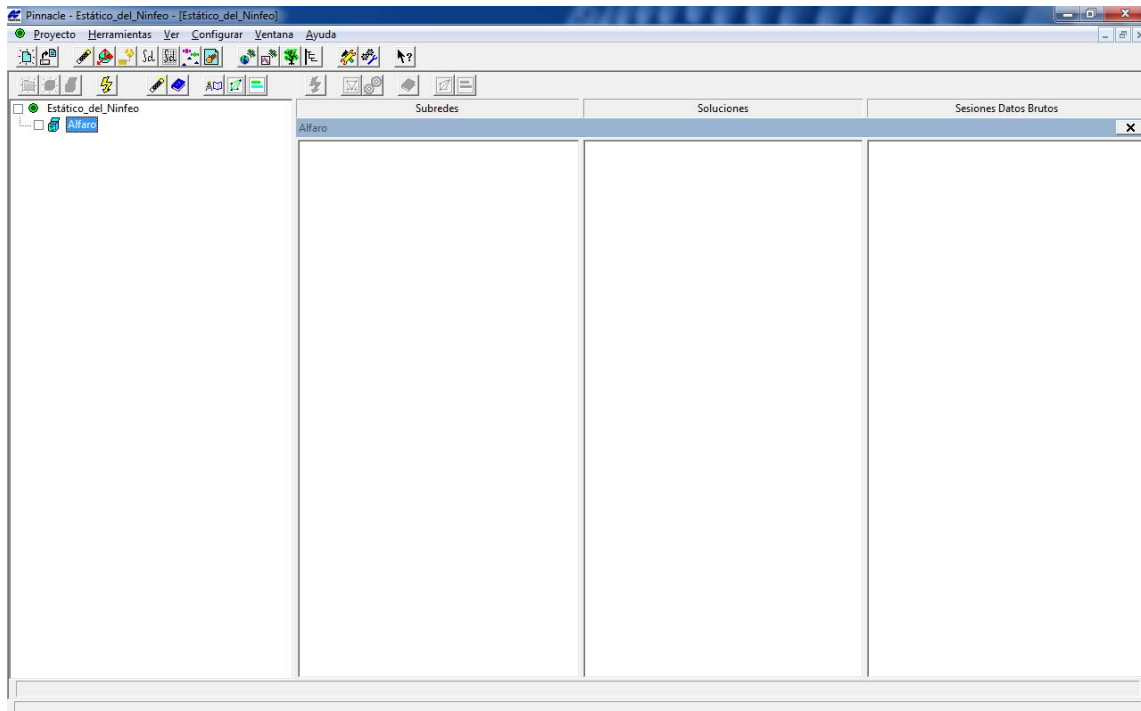


Figura 40. Las tres columnas que se crean una vez generado una red.

Una vez creado la red, se introducen en la misma los datos necesarios para trabajar, es decir, los datos RINEX de las observaciones realizadas en campo y los datos capturados las estaciones permanentes, que se han descargado previamente desde internet.

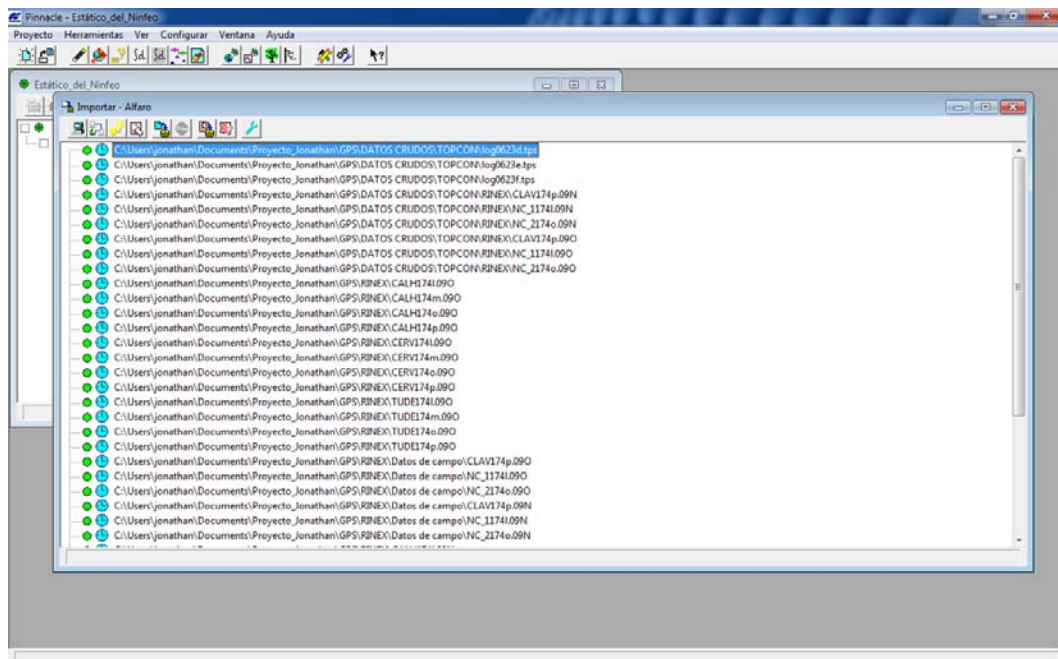


Figura 41. La ventana donde se importan todas las visuales realizadas como las descargadas de internet.

Una vez importados las observaciones, se genera una sesión en la red que si se despliega aparecen los puntos de los cuales se tienen observaciones.

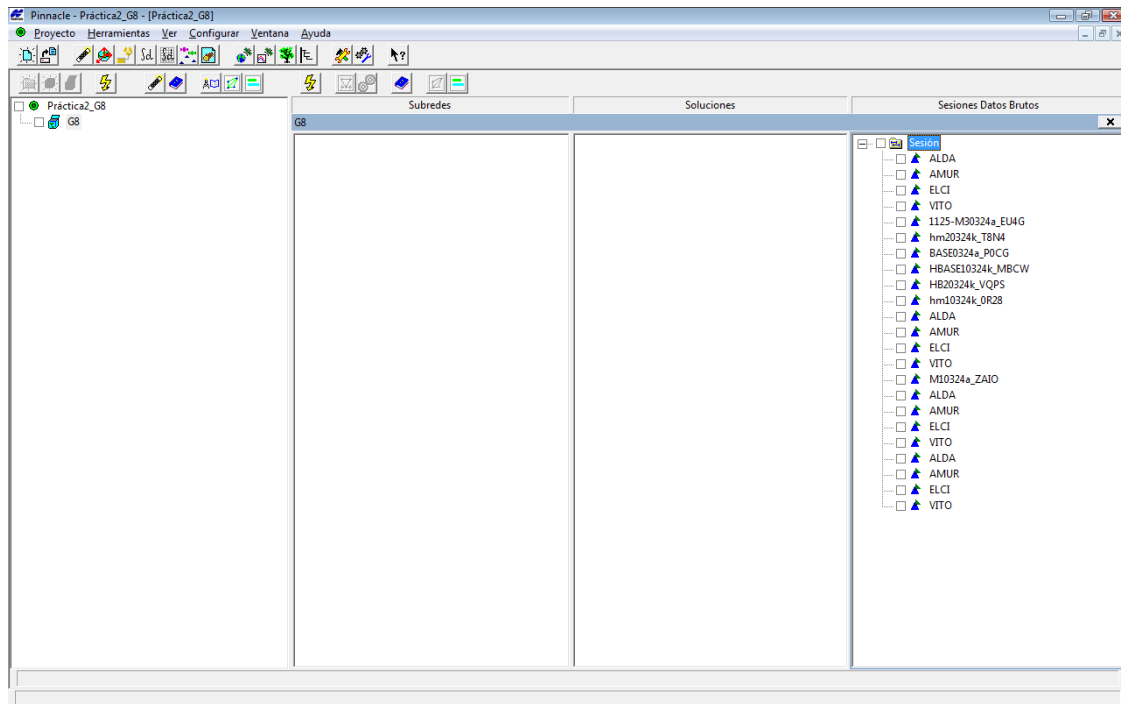


Figura 42. Aquí se visualizan todas las observaciones descargadas en el apartado anterior.

Ahora hay que mirar a la libreta de campo en la cual se habrán apuntado los datos de alturas de antena, tipo de antena y nombre de la estación.

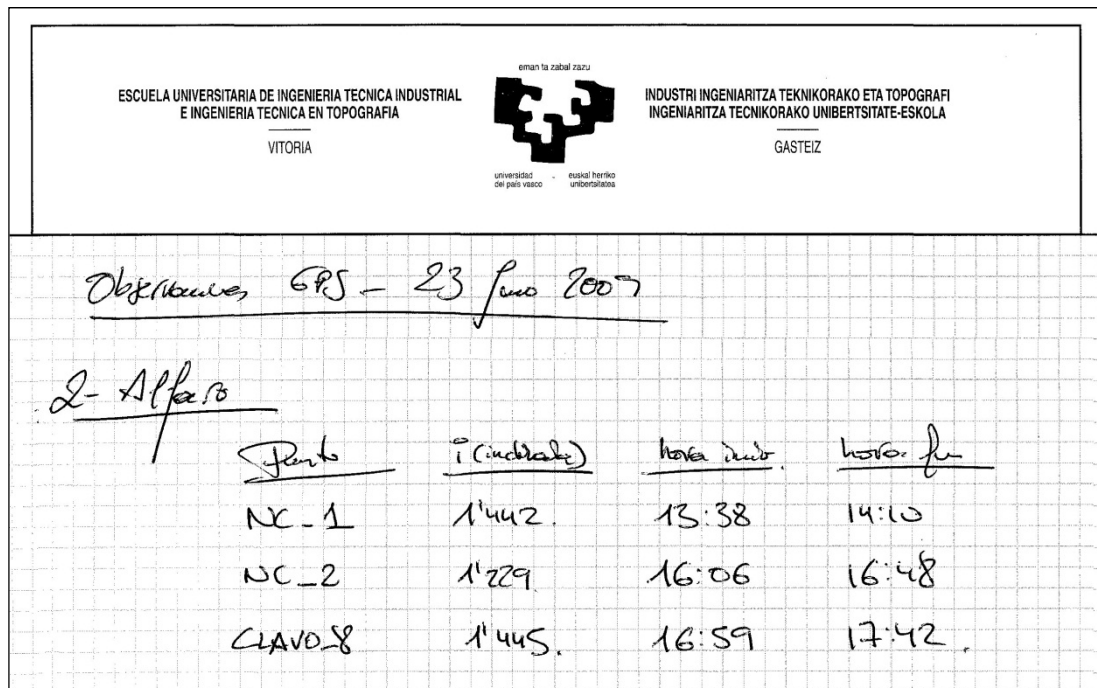


Figura 43. Los datos anotados en campo, como son la hora y altura de las antenas.

Si el software no tiene introducidos todos los off-sets de las antenas utilizadas a la hora de realizar las observaciones se generarán nuevas antenas y se introducirán sus valores.

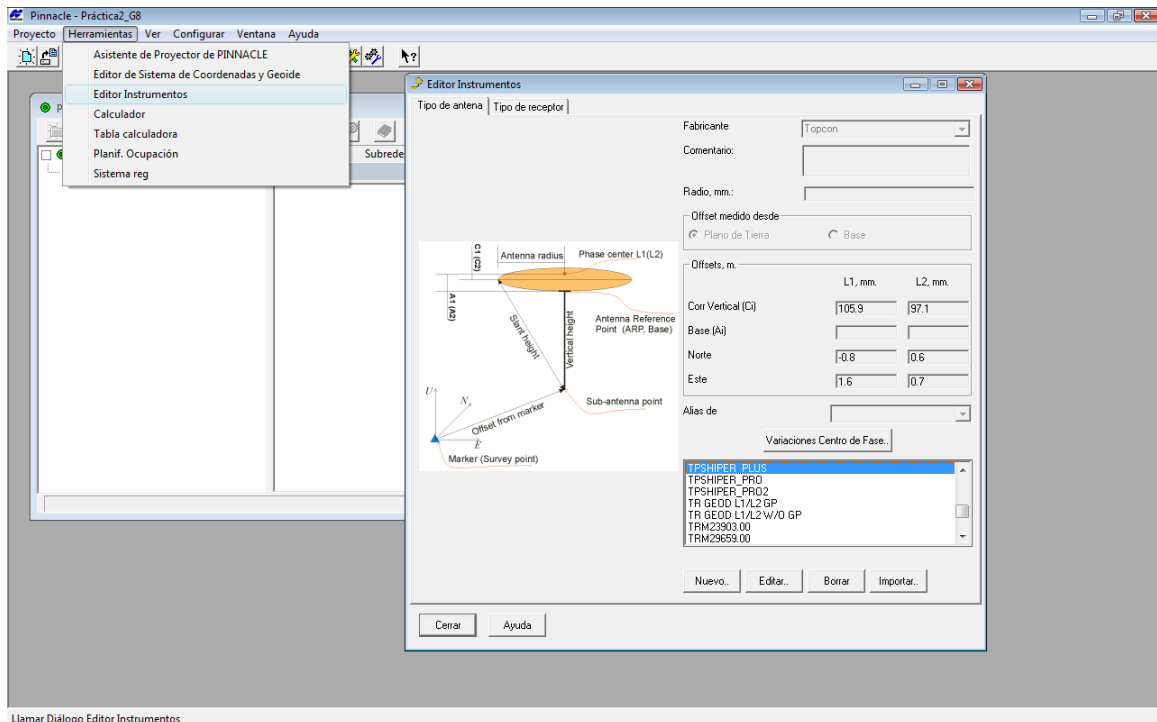


Figura 44. Aquí se pueden observar las distintas antenas de las que disponemos por defecto en Pinnacle.

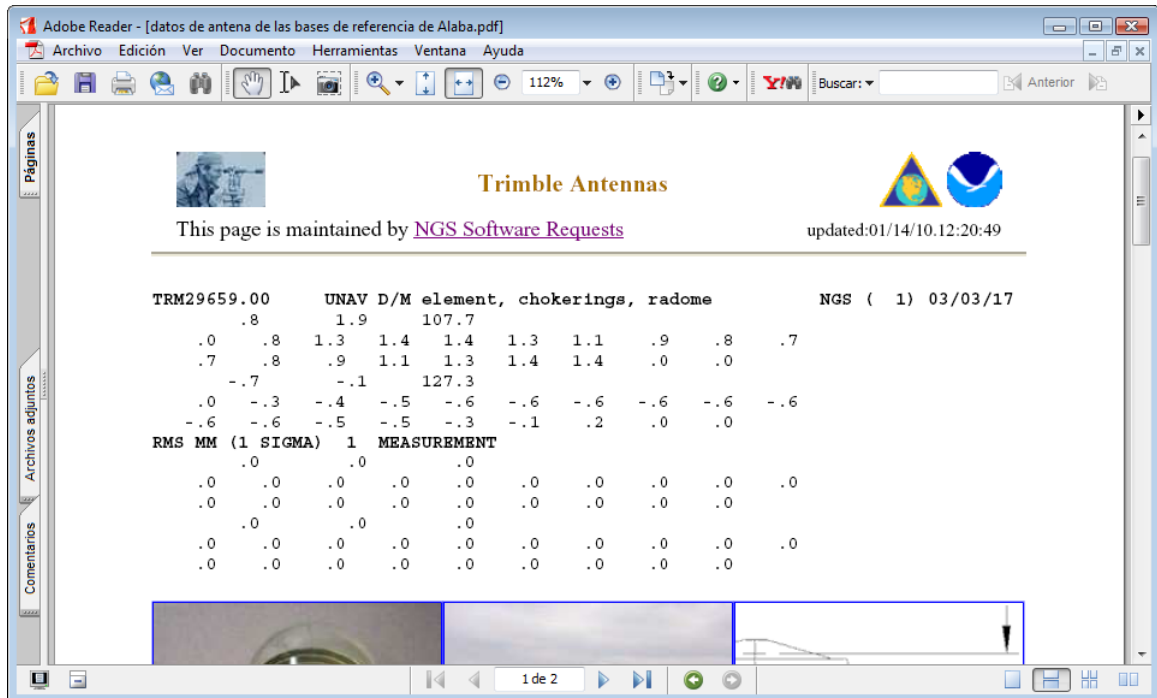


Figura 45. Fichero descargado de internet donde se detallan los parámetros de las antenas.

Con estos datos rellenarán los datos necesarios que pide Pinnacle.

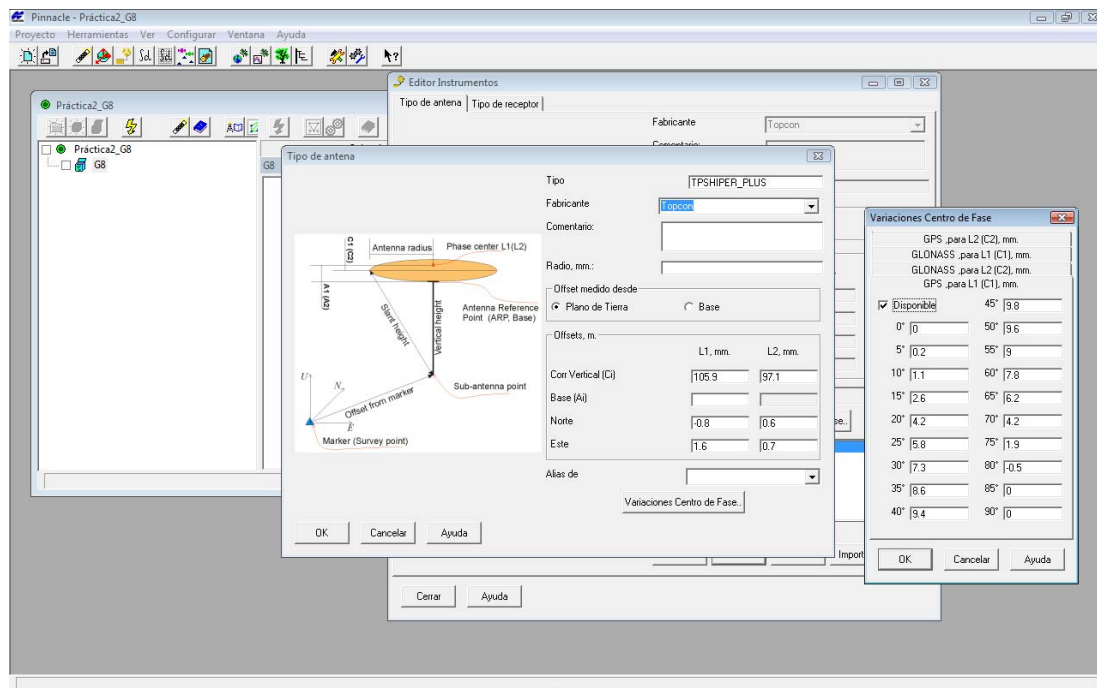


Figura 46. Donde se configura los parámetros de las antenas.

Una vez hecho esto se continúa con el cálculo de la red. El siguiente paso será “listar las ocupaciones” de tal forma que se puedan modificar si es preciso, el tipo de antena, su altura y el nombre del punto. Cabe comentar que se pueden medir las alturas de antena, desde Base o desde Plano de tierra. Si se mide desde la base significa que se le da una altura vertical a esa base, sin embargo si se mide a plano de tierra la altura introducida es la inclinada, esto habrá que especificárselo al programa.

Nombre Ocup...	tipo antena	altura medida ...	Nombre punto	hora inicio	hora fin	Offset vertical	Offset este	Offset norte	X	Y	Z	Comentario
▲ CALH	LEIATS04GG	0(vertical)	CALH	23/06/2009 11:...	23/06/2009 11:...	0	0	0	4722455.908	-164502.236	4270173.576	
▲ CALH	LEIATS04GG	0(vertical)	CALH	23/06/2009 14:...	23/06/2009 14:...	0	0	0	4722455.557	-164500.749	4270171.456	
▲ CALH	LEIATS04GG	0(vertical)	CALH	23/06/2009 15:...	23/06/2009 15:...	0	0	0	4722456.008	-164501.671	4270171.407	
▲ CERV	LEIATS04GG	0(vertical)	CERV	23/06/2009 11:...	23/06/2009 11:...	0	0	0	4744256.084	-160966.671	4246702.739	
▲ CERV	LEIATS04GG	0(vertical)	CERV	23/06/2009 14:...	23/06/2009 14:...	0	0	0	4744257.604	-160965.576	4246700.001	
▲ CERV	LEIATS04GG	0(vertical)	CERV	23/06/2009 15:...	23/06/2009 15:...	0	0	0	4744256.902	-160966.105	4246699.533	
▲ TUDE	LEIAXI202GG	0(vertical)	TUDE	23/06/2009 11:...	23/06/2009 11:...	0	0	0	4741784.092	-132735.076	4249843.822	
▲ TUDE	LEIAXI202GG	0(vertical)	TUDE	23/06/2009 14:...	23/06/2009 14:...	0	0	0	4741785.134	-132734.506	4249841.018	
▲ TUDE	LEIAXI202GG	0(vertical)	TUDE	23/06/2009 15:...	23/06/2009 15:...	0	0	0	4741783.639	-132734.492	4249840.128	
▲ NC_1	JPSLEGANT_E	0(vertical)	NC_1	23/06/2009 11:...	23/06/2009 12:...	0	0	0	4731629.427	-145366.048	4260655.862	
▲ NC_2	JPSLEGANT_E	0(vertical)	NC_2	23/06/2009 14:...	23/06/2009 14:...	0	0	0	4731651.592	-145384.854	4260628.385	
▲ CLAVO_8	JPSLEGANT_E	0(vertical)	CLAVO8	23/06/2009 15:...	23/06/2009 15:...	0	0	0	4731639.005	-145382.29	4260647.208	
▲ CALH	LEIATS04GG	0(vertical)	CALH	23/06/2009 12:...	23/06/2009 12:...	0	0	0	4722455.276	-164502.342	4270171.951	
▲ CERV	LEIATS04GG	0(vertical)	CERV	23/06/2009 12:...	23/06/2009 12:...	0	0	0	4744255.604	-160966.507	4246700.163	
▲ TUDE	LEIAXI202GG	0(vertical)	TUDE	23/06/2009 12:...	23/06/2009 12:...	0	0	0	4741784.11	-132735.144	4249841.918	

Figura 47. Pantalla donde a cada observación se le asigna su antena y altura de la misma.

Una vez introducidos todos los datos se realiza el cálculo de todos los vectores que se generan en la observación, para ello con arrastrar la carpeta de la celda de la derecha de la red a la del centro vale. Sale una ventana como la de aquí abajo.

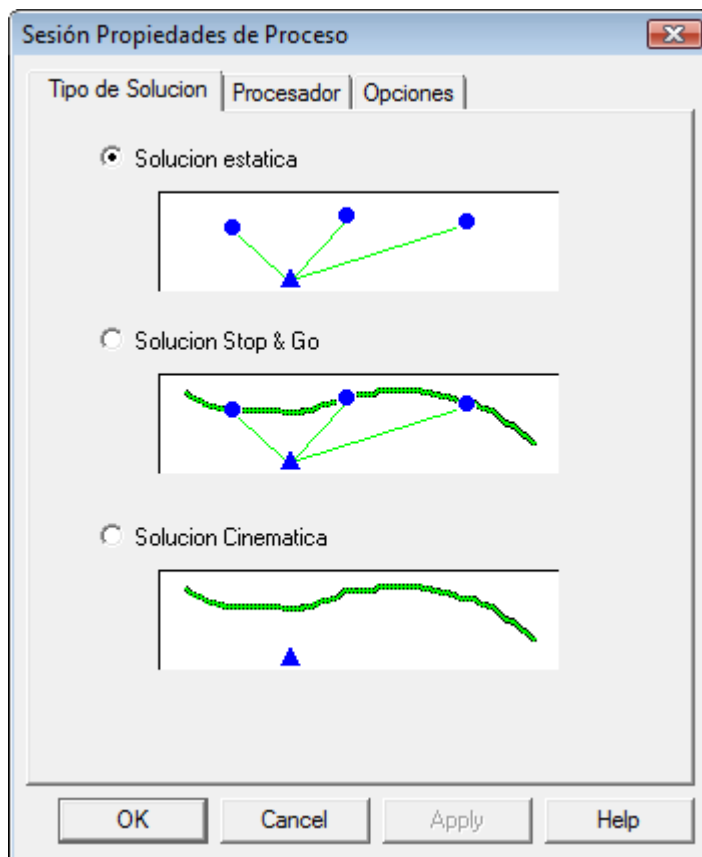


Figura 48. Las distintas opciones de cálculo que disponemos.

Según el tipo de cálculo que se desee realizar se selecciona una u otra opción, en este caso se realizará el cálculo en estático. Con esto el programa genera dos subcarpetas en la que se introducen los vectores resultantes de la observación y las ocupaciones realizadas.

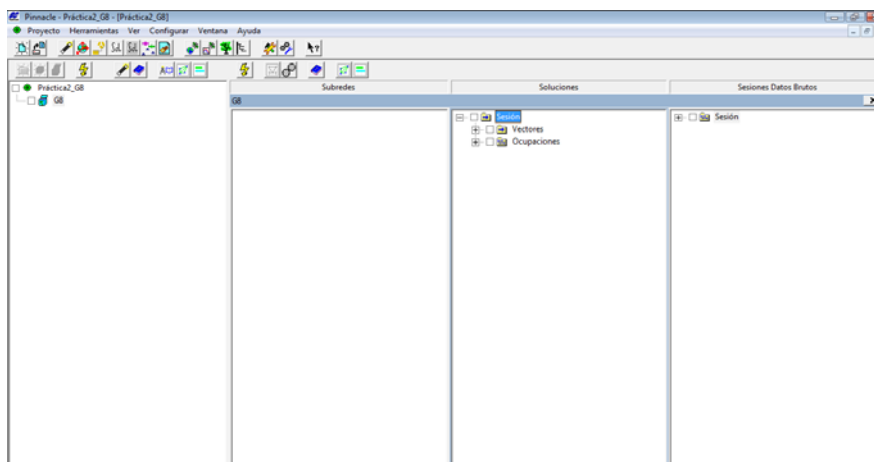


Figura 49. Ya nos ha generado todos los vectores posibles de la observación.

Ahora con la opción “efectuar proceso”, que está en el botón izquierdo del ratón empieza a calcular los vectores, es decir, los incrementos de X, Y, Z de todas las visuales posibles. Si algún vector falla y se tiene redundancia de datos, se pueden seguir tres pasos para solucionar el problema.

Primero se intentará subir o bajar la máscara de elevación, esto dependerá del gráfico de las observaciones.

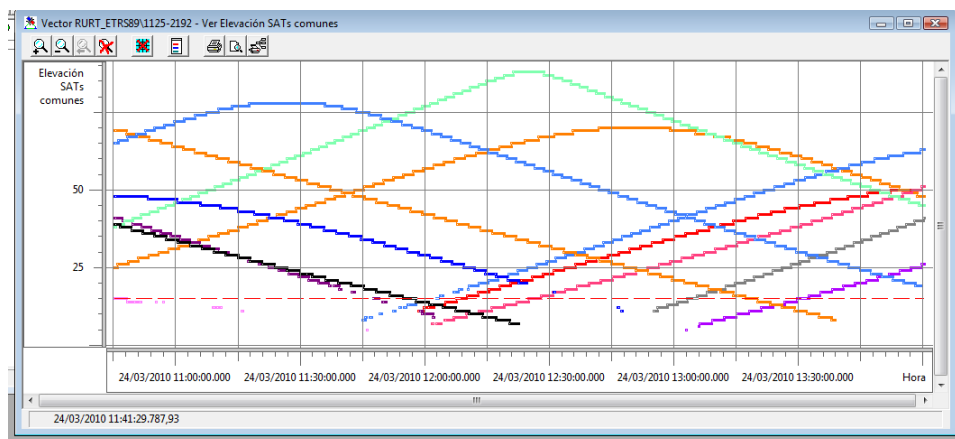


Figura 50. Gráfico de las observaciones.

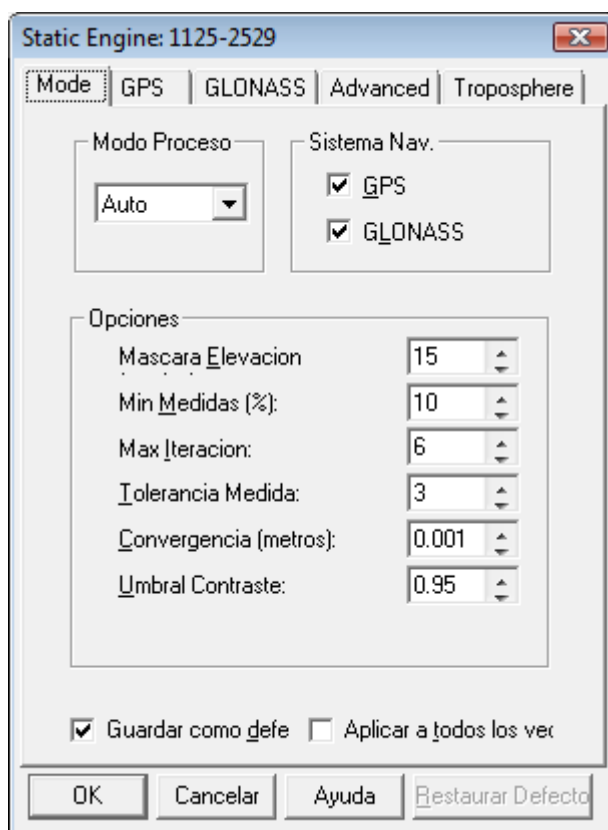


Figura 51. Cambio de la máscara de elevación.

Y se vuelve a efectuar el proceso, en el caso de que siga dando error, el siguiente paso será eliminar los satélites, que bien su señal no está durante toda la ocupación o que estén muy cerca de la máscara de elevación.

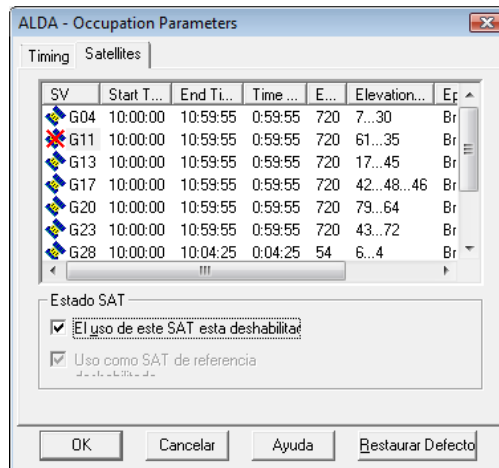


Figura 52. Los parámetros de la ocupación de una base.

Una vez eliminados todos los satélites que fallan se vuelve a efectuar el proceso, y si todavía no se consigue una solución fija de los vectores no quedará más opción que deshabilitarlos del cálculo.

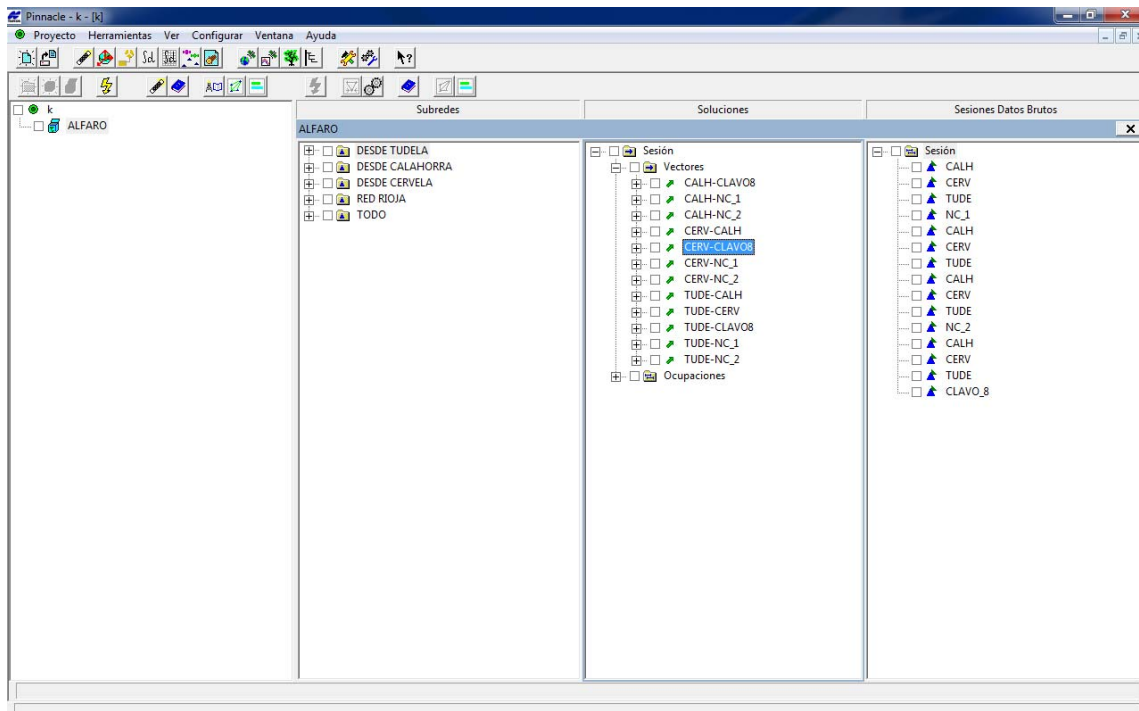


Figura 53. Ya nos ha generado el cálculo de todas las redes.

Una vez que se han corregido y/o borrado los vectores erróneos se va a calcular como de bien esta la red. Con esto lo que se quiere decir es lo siguiente, hasta ahora se ha comprobado que los vectores, es decir, la línea resultante de unir las bases observadas y las bases de referencia, están bien individualmente, pero ahora hay que ver qué pasa cuando se unen todas estas líneas o vectores. Al tener sobreabundancia de datos se llegará a una base por dos o más líneas bases distintas, como una triangulación y tiene que intersectar perfectamente, sino el ajuste dará errores.

Para ello, se arrastra la sesión de la columna del medio a la columna de la derecha. En esta columna se generan dos carpetas dentro de la sesión en las cuales aparecerán los puntos, es decir, las bases en la que se ha estacionado y los vectores resultantes del cálculo de la red.

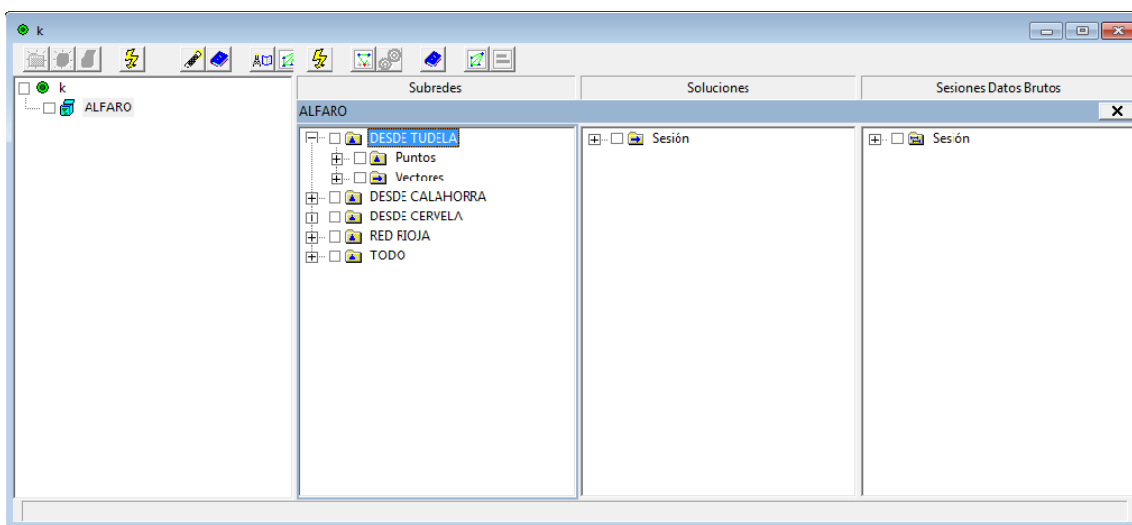


Figura 54. Se pueden observar las dos carpetas por red que crea el Pinnacle.

Ahora se realiza el ajuste libre de la red que consiste en conocer la integridad de la red, errores relativos, sin tener en cuenta ninguna coordenadas de referencia de ningún tipo.

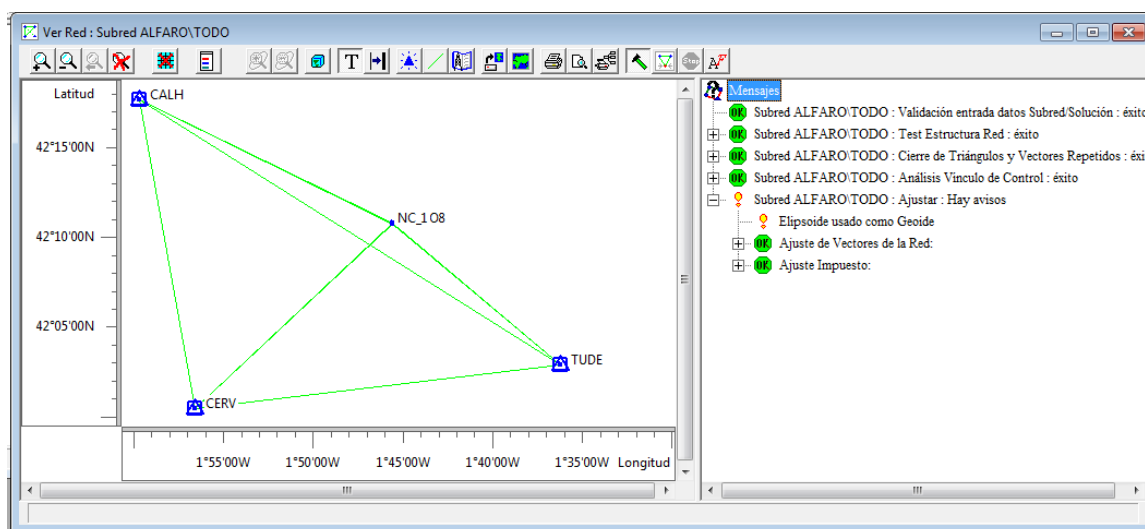


Figura 55. El gráfico del ajuste de la red.

Una vez realizado el ajuste libre, Pinnacle dará los resultados del mismo. En el caso de que se produzca algún error en algún cierre de triángulo, saldrá un símbolo de advertencia de color naranja. Para evitar esos errores se examina la red y se desactivarán del ajuste los vectores que dan error y hacen que el cálculo no entre en tolerancia. Una vez hecho esto se vuelve a calcular la red, obteniendo unos resultados del ajuste libre de la red.

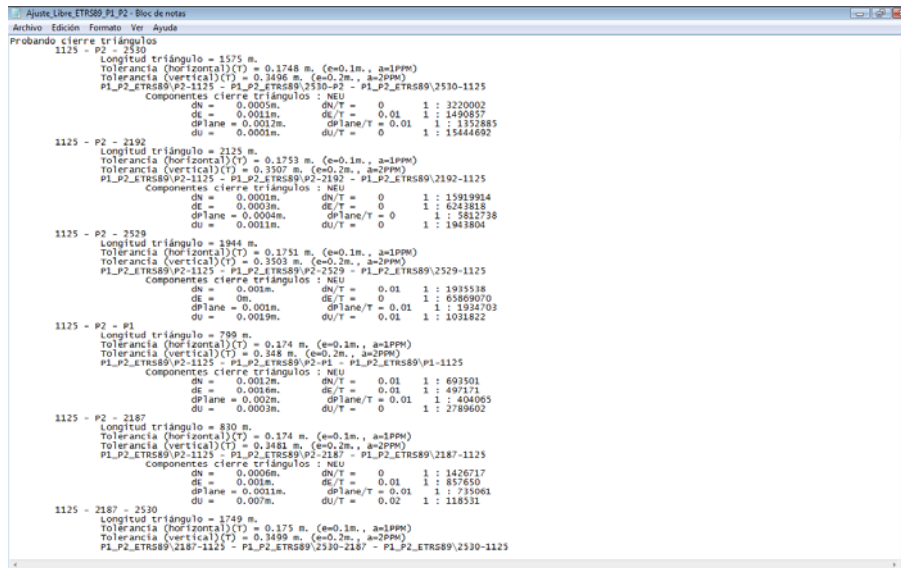


Figura 56. Resultados obtenidos en el ajuste libre.

Ahora el siguiente paso es hacer un ajuste forzado. Todos los cálculos de coordenadas que realiza Pinnacle los realiza en coordenadas geocéntricas y luego si lo deseamos los puede proyectar al sistema de coordenadas que queramos, en este caso son coordenadas UTM y utilizan un sistema de referencia ETRS89, por tanto, tenemos que generar un sistema de proyección UTM que tenga el Datum de ETRS89.

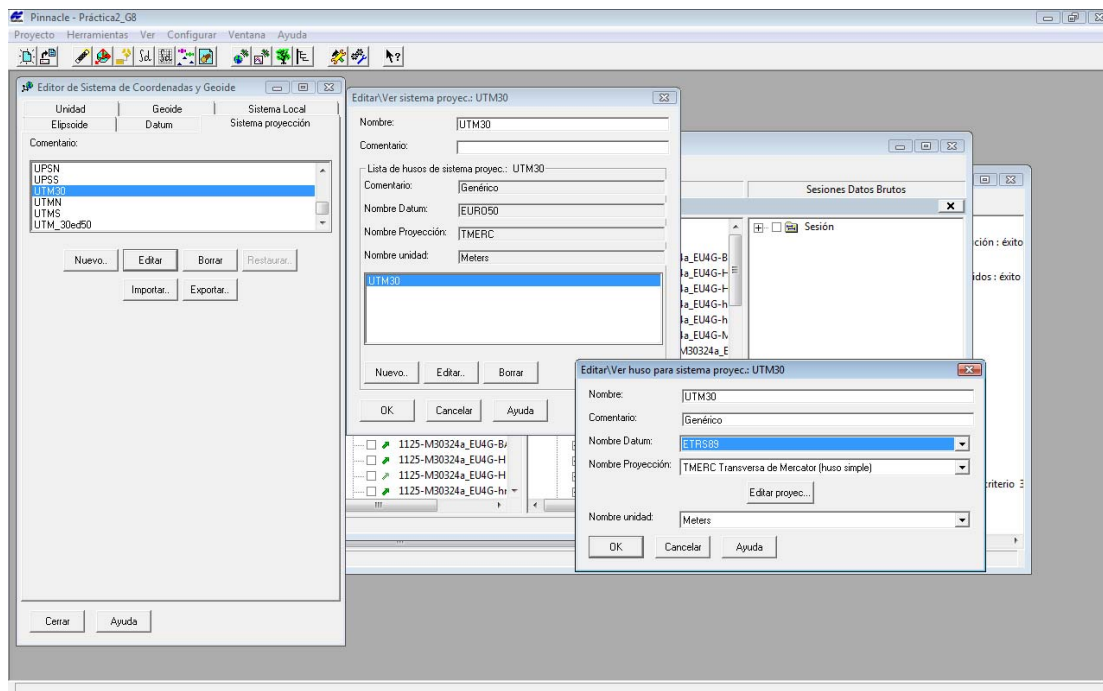


Figura 57. Aquí es donde se define la proyección que se va a utilizar.

Una vez generado el sistema de proyección se cogen las coordenadas de las bases permanentes como bases de coordenadas conocidas y ajustaremos nuestra red a dichas coordenadas.

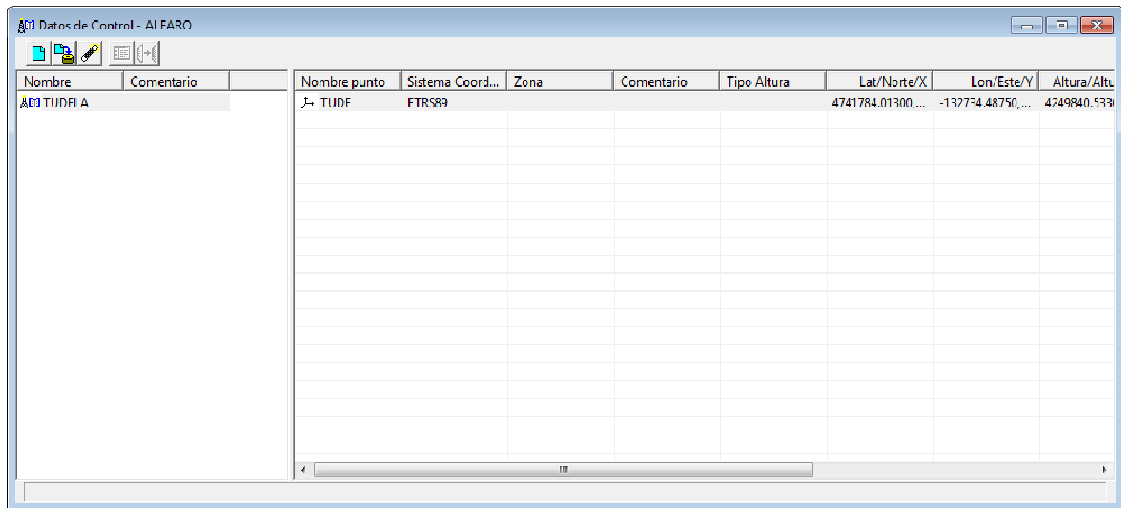


Figura 58. A cada punto se le asigna su sistema de referencia original.

El siguiente paso será vincular los puntos utilizados para ajustar la red con sus coordenadas en el sistema de referencia deseado.

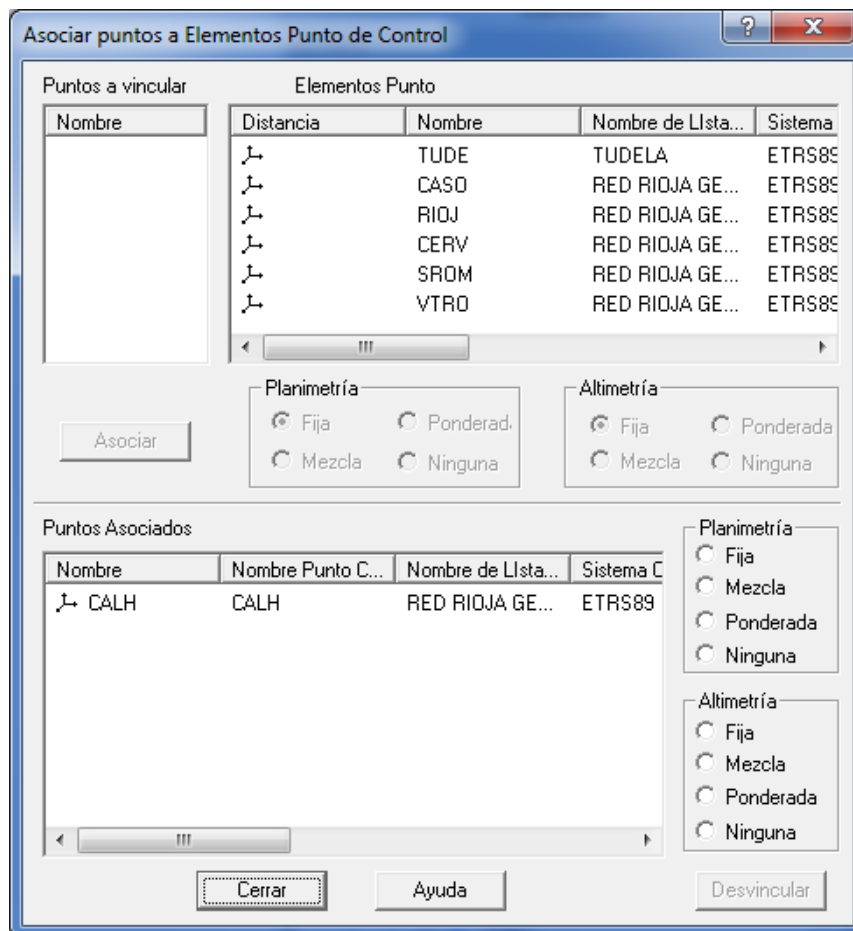


Figura 59. Los puntos de control que queremos utilizar para realizar el ajuste forzado.

Una vez vinculados estos puntos se calcula otra vez el ajuste y se comprueban los errores obtenidos, una vez comprobado que todo está bien se visualiza el “report”, que es donde se ven las coordenadas de todos los puntos en el sistema deseado.

Cuando se selecciona la opción “report” hay que indicar a Pinnacle en que sistema de coordenadas se quiere visualizar los datos, por defecto, el Pinnacle trabaja con coordenadas Geocéntricas y luego el usuario elige. La opción XYZ es para que visualice las coordenadas Geocéntricas, con la opción BLH se muestran las coordenadas en Longitud, Latitud y altura elipsoidal, con la opción Proyección nos muestra las coordenadas en la proyección definida con anterioridad por el usuario.

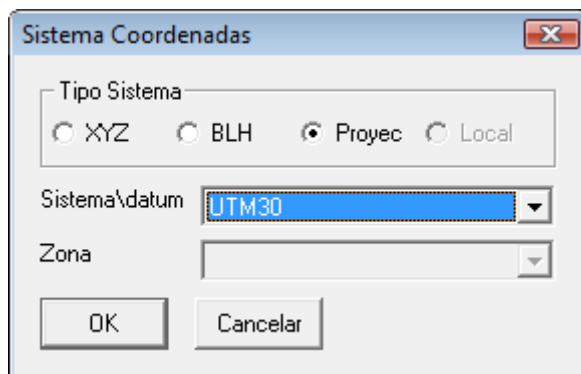


Figura 60. Los diferentes sistemas en las que podemos visualizar los resultados.

Las coordenadas resultantes de los clavos observados son las siguientes, dependiendo de qué base se ha cogido como fija para el cálculos los resultados varían, aunque como se puede apreciar no más de 2 centímetros.

- Coordenadas obtenidas desde la base de Tudela.

NOMBRRE	E	N	Z			
CLAVO8	4670473,865	602414,030	342,077	5,7	5,2	11,5
NC_1	4670487,366	602429,499	337,695	4,6	3,2	13,7
NC_2	4670451,816	602412,539	337,897	5	4,1	11,7
TUDE	4656112,362	615573,431	342,057	0	0	0

- Coordenadas obtenidas desde la base de Calahorra.

NOMBRRE	E	N	Z			
CALH	4683013,124	582843,994	411,411	0	0	0
CLAVO8	4670473,871	602414,030	342,074	7,9	6,4	13,3
NC_1	4670487,371	602429,493	337,671	6,4	4,5	19,6
NC_2	4670451,819	602412,544	337,891	7,5	5,7	15,5

- Coordenadas obtenidas desde la base de Cervera.

NOMBRRE	E	N	Z			
CERV	4651138,763	587510,155	723,339	0	0	0
CLAVO8	4670473,876	602414,019	342,035	8,1	7	13,9
NC_1	4670487,353	602429,514	337,630	9,3	7	32,7
NC_2	4670451,814	602412,537	337,872	6,4	5,6	15,6

- Coordenadas obtenidas utilizando bases de La Red de La Rioja.

NOMBRE	E	N	Z			
CALH	4683013,124	582843,994	411,411	0	0	0
CERV	4651138,763	587510,155	723,339	0	0	0
CLAVO8	4670473,873	602414,025	342,056	7,2	6	12,1
NC_1	4670487,366	602429,499	337,658	6,6	4,7	21
NC_2	4670451,816	602412,541	337,882	6,1	5	13,8

- Coordenadas obtenidas utilizando bases de la Red de La Rioja y Navarra.

NOMBRE	E	N	Z			
CALH	4683013,124	582843,994	411,41128	0	0	0
CERV	4651138,763	587510,155	723,33868	0	0	0
CLAVO8	4670473,87	602414,029	342,06559	5,3	4,6	9,9
NC_1	4670487,366	602429,499	337,6806	4,8	3,4	14,7
NC_2	4670451,816	602412,54	337,88913	4,9	4	11,1
TUDE	4656112,362	615573,431	342,05734	0	0	0

Se darán como buenas las coordenadas de las bases obtenidas en el ajuste con las tres bases permanentes.

Name	Northing(m)	Easting(m)	ELIP h (m)	s(N)	s(E)	s(U)
CALH	4683013,124	582843,994	411,411	0	0	0
CERV	4651138,763	587510,155	723,339	0	0	0
CLAVO8	4670473,870	602414,029	342,066	5,3	4,6	9,9
NC_1	4670487,366	602429,499	337,681	4,8	3,4	14,7
NC_2	4670451,816	602412,540	337,889	4,9	4	11,1
TUDE	4656112,362	615573,431	342,057	0	0	0

5.5.4-Helmert 3D.

Una vez realizada la restitución del modelo y como se han calculado las coordenadas de tres bases en dos sistemas de coordenadas UTM-ETRS-89 y UTM-ED-50, lo siguiente que se va a hacer es obtener las coordenadas de todos los puntos radiados en el sistema UTM-ETRS-89. Como ya se ha comentado cuando se fue a campo a la hora de capturar los datos, se estacionó en coordenadas relativas y, por tanto, todos los datos registrados en el proceso están en coordenadas relativas.

Ahora lo que se hará será lo siguiente, apoyándonos en estos 3 bases se van a obtener los 7 parámetros de transformación, es decir, 3 rotaciones, 3 traslaciones y el cambio de escala, que permitirá pasar todos los puntos medidos en campo a coordenadas UTM-ETRS-89. Este tipo de transformación tridimensional de semejanza recibe el nombre de Helmert 3D.

5.5.4.1- Desarrollo práctico del Helmert 3D.

Para este proyecto se ha creado un programa en Visual Basic para el cálculo del Helmert 3D. El lenguaje que se utiliza es el Basic, es un lenguaje orientado a objetos, por tanto, se han generado en Excel unas tablas que simulan los pasos que sigue el programa.

En las siguientes páginas se explicaran todas las operaciones seguidas y los resultados obtenidos:

Hay 3 puntos de coordenadas conocidas en ambos sistema, que son el número mínimos de coordenadas que necesitamos para poder realizar esta transformación, que serán los datos de partida:

DATOS DE PARTIDA						
Nombre	Coordenadas UTM			Coordenadas Locales		
	X	Y	Z	x	y	z
1	602414,029	4670473,870	342,066	1008,1434	2018,8652	504,4156
2	602429,499	4670487,366	337,681	1000	2000	500
3	602412,540	4670451,816	337,889	1000	2039,411	500,449

El siguiente paso será obtener las coordenadas de los centroides de ambos sistemas. Para ello se suman todas las coordenadas X, Y y Z de los dos sistemas:

	X	Y	Z	x	y	z
Σ	1807256,068	14011413,052	1017,635	3008,143	6058,276	1504,865

Si se dividen los resultados obtenidos entre el número de puntos empleados en la suma, en este caso 3, se obtienen las coordenadas de los centroides:

Coordenadas de los Centroides					
X	Y	Z	x	y	z
602418,689	4670471,017	339,212	1002,714	2019,425	501,622

Ahora se calculan las nuevas coordenadas de todos los puntos respecto al centroide, utilizando este método se reducirán las incógnitas a 4, ya que desaparecen las traslaciones, aunque al terminar el proceso habrá que calcularlas.

Nombre	Coordenadas Terreno respecto al centroide			Coordenadas modelo respecto al centroide		
	X	Y	Z	x	y	z
1	-4,660	2,853	2,854	5,429	-0,560	2,794
2	10,810	16,349	-1,531	-2,714	-19,425	-1,622
3	-6,150	-19,201	-1,323	-2,714	19,986	-1,173
Σ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Lógicamente el sumatorio de estas coordenadas tiene que dar 0. Ahora se va a calcular el valor aproximado de la primera incógnita que será λ (factor de escala), para ello se calculan las distancias de cada punto respecto el origen del centroide de cada sistema.

D	d	Dxd	d ²
6,16429304	6,131390521	37,79568791	37,59394972
19,65891675	19,68105345	386,9081912	387,3438648
20,20539946	20,2031525	408,2127667	408,1673711

832,9166458	833,1051856	F. Escala	0,99977369
-------------	-------------	-----------	------------

Por último queda calcular los valores aproximado del resto de las incógnitas, Ω , Φ , κ que son omega, fi y kappa respectivamente. A las dos primeras se les dará un valor inicial 0, ya que los giros que se sufren en estas dos direcciones en este caso son muy pequeñas y, aunque hay que calcularlas, este valor no se aleja mucho de la realidad. El problema está en el giro Kappa, ya que puede tener valores de 0^º a 400^º, por tanto, hay que introducir un valor bastante aproximado, sino el Helmert no podrá resolver las incógnitas adecuadamente.

Para obtener el valor aproximado de Kappa lo que se hace es calcular un mismo azimut (normalmente con la distancia más larga) en los dos sistemas y se resta el azimut de terreno – azimut de campo.

	Azimut pto 1-2 en (rad)
S. Terreno	0,717360911
S.Modelo	1,163296016

Todos los valores angulares están en radianes, ya que a la hora de operar con Excel es la forma más sencilla. Realizando la resta de estos dos acimutes se puede ver que los valores iniciales aproximados de las incógnitas son:

omega	0
fi	0
kappa	2,695657548

El siguiente paso será crear la matriz de rotación con las fórmulas que ya se han visto en el apartado anterior.

Matriz de Rotación

-0,902207747	-0,431301728	0
0,431301728	-0,902207747	0
0	0	1

Con la matriz de rotación y el factor de escala calculados, se podrán obtener las coordenadas aproximadas de los puntos.

Coordenadas Aprox.

1	-4,655356695	2,846280821	2,793434342
2	10,82477114	16,35129092	-1,621166365
3	-6,169414443	-19,19757174	-1,172267978

Teniendo estas coordenadas se puede generar la matriz L de los términos independientes:

-0,005
0,006
0,060
-0,015
-0,003
0,090
0,020
-0,004
-0,150

Ahora se creará la matriz A, para generar esta matriz se utilizan las formulas explicadas en el apartado anterior donde se linealizan las 3 coordenadas de cada punto realizando derivadas parciales de cada una de ellas respecto a cada incógnita, a esta linealización se le llama desarrollo de Taylor.

Matriz A

-4,656410486	0	2,793434342	-2,846280821
2,846925108	-2,793434342	0	-4,655356695
2,794066667	2,846280821	4,655356695	0
10,82722144	0	-1,621166365	-16,35129092
16,35499221	1,621166365	0	10,82477114
-1,621533333	16,35129092	-10,82477114	0
-6,170810957	0	-1,172267978	19,19757174
-19,20191732	1,172267978	0	-6,169414443
-1,172533333	-19,19757174	6,169414443	0

Una vez obtenidas estas dos matrices se resolverá la ecuación:

$$[X] = ([A]^t * [A])^{-1} * ([A]^t * [L])$$

Siendo: [X] los valores que se quieren hallar.

Matriz A Transpuesta

-4,65641	2,84693	2,79407	10,82722	16,35499	-1,62153	-6,17081	-19,20192	-1,17253
0,00000	-2,79343	2,84628	0,00000	1,62117	16,35129	0,00000	1,17227	-19,19757
2,79343	0,00000	4,65536	-1,62117	0,00000	-10,82477	-1,17227	0,00000	6,16941
-2,84628	-4,65536	0,00000	-16,35129	10,82477	0,00000	19,19757	-6,16941	0,00000

Matriz A*At

833,1051856	3,55271E-15	0	1,42109E-14
3,55271E-15	655,818458	-282,1863059	23,32098115
0	-282,1863059	188,7153587	-3,947434336
1,42109E-14	23,32098115	-3,947434336	820,9224807

matriz (A*At)-1

0,001200329	-1,67132E-20	-2,54185E-20	-2,04261E-20
-1,67132E-20	0,004282741	0,006402087	-9,08806E-05
-2,54185E-20	0,006402087	0,014869726	-0,000110371
-2,04261E-20	-9,08806E-05	-0,000110371	0,001220193

Matriz (At*L)

-0,016767092
4,503706579
-1,632825728
0,605394017

X=(A*At)-1*(At*L)

F escala	0,000
Omega	0,0088
Fi	0,0045
Kappa	0,0005

Ahora, hay que sumar a los valores iniciales de las incógnitas los resultados obtenidos en la matriz X. Ahora estos serán los valores de la siguiente iteración.

(1º Iteración)

Valores de la 1º Iteración de los parámetros	
omega	0,008779699
fi	0,004486634
kappa	2,696167162
F. Escala	0,999753564

Con estos valores se calculará la matriz de rotación.

Matriz de Rotación		
-0,902418345	-0,430837558	0,004486619
0,430789742	-0,902409618	-0,008779498
0,007831305	-0,00598999	0,999951394

Ahora como en el caso anterior se calculan las coordenadas aproximadas para obtener la matriz L.

Coordenadas Aprox.			
1	-4,644133159	2,819033274	2,839102256
2	10,80883687	16,37050438	-1,525978227
3	-6,164703714	-19,18953765	-1,313124029

Matriz L
-0,016
0,034
0,015
0,001
-0,022
-0,005
0,015
-0,012
-0,010

Se obtiene la matriz A como en el caso anterior pero con los nuevos datos de partida.

Matriz A

-4,645277921	0	2,814242888	-2,843822144
2,819728156	-2,839102256	-0,040773566	-4,656645396
2,839802084	2,819033274	4,643954168	-0,028125228
10,81150121	0	-1,669645663	-16,35631135
16,37453965	1,525978227	0,094897112	10,81515798
-1,526354375	16,37050438	-10,80842029	0,168344366
-6,166223291	0	-1,144597225	19,2001335
-19,1942678	1,313124029	-0,054123546	-6,158512586
-1,313447709	-19,18953765	6,164466118	-0,140219138

Ahora se obtendrá otra vez el valor de la matriz [X].

Matriz A Transpuesta

-4,64528	2,81973	2,83980	10,81150	16,37454	-1,52635	-6,16622	-19,19427	-1,31345
0,00000	-2,83910	2,81903	0,00000	1,52598	16,37050	0,00000	1,31312	-19,18954
2,81424	-0,04077	4,64395	-1,66965	0,09490	-10,80842	-1,14460	-0,05412	6,16447
-2,84382	-4,65665	-0,02813	-16,35631	10,81516	0,16834	19,20013	-6,15851	-0,14022

Matriz $A^t \cdot A$

833,1051856	-7,10543E-15	0	-3,18079E-14
-7,10543E-15	656,2921232	-281,9515846	27,00483385
0	-281,9515846	188,4202817	-3,935390679
-3,18079E-14	27,00483385	-3,935390679	820,8894297

matriz $(A^t \cdot A)^{-1}$

0,001200329	3,2273E-20	4,92475E-20	4,56848E-20
3,2273E-20	0,004276477	0,006397011	-0,000110016
4,92475E-20	0,006397011	0,014876847	-0,000139122
4,56848E-20	-0,000110016	-0,000139122	0,001221143

Matriz $(A^t \cdot L)$

0,01625205
-0,005196752
-0,000666107
0,001175783

$$X = (A \cdot A^t)^{-1} \cdot (A^t \cdot L)$$

F escala	0,000
Omega	0,0000
Fi	0,0000
Kappa	0,0000

El valor de los diferenciales de las incógnitas ha sido 0, esto quiere decir que los valores de las incógnitas introducidos al inicio del cálculo son correctas, el proceso de mínimos cuadrados consiste en iterar hasta que estos valores den 0 (como en este caso) o de una iteración a otra no varíen los valores obtenidos.

Para terminar hay que obtener el valor de las incógnitas que quedan, las traslaciones. Para ello, se necesita el sumatorio de las coordenadas X, Y y Z de ambos sistemas de coordenadas, el factor de escala y la matriz de rotación, estos dos valores tiene que ser los últimos del cálculo del Helmert 3D.

Sumatorio			
X	1807256,068	x	3008,1434
Y	14011413,05	y	6058,2762
Z	1017,63532	z	1504,8646

n	3
---	---

F. escala	0,999753564
-----------	-------------

Matriz de Rotación

-0,902418345	-0,430837558	0,00448662
0,430789742	-0,902409618	-0,008779497
0,007831306	-0,005989989	0,999951394

Cálculo de Traslaciones

Tx	604190,914
Ty	4671865,467
Tz	-158,019

Una vez calculados todos estos valores, se imprimirán en un fichero ASCII todos los datos obtenidos en cada iteración como el resultado final. La ubicación y el nombre del fichero de salida los introducirá al inicio del programa el usuario.

Los resultados obtenidos en sí no tienen ninguna utilidad si no se aplican en ningún lado. Lo único que se ha obtenido hasta ahora son los valores de los parámetros para pasar de un sistema de coordenadas a otro, pero el objetivo es pasar una nube de puntos que está en un sistema de coordenadas a otro y la relación entre estos dos sistemas son los parámetros calculados. Por tanto, lo que queda es introducir la nube de puntos y aplicar estos parámetros utilizando la siguiente fórmula:

$$X_n = \lambda * [(a_{n,1} * x_n) * (a_{n+1,1} * y_n) * (a_{n+2,1} * z_n)] + T_x$$

$$Y_n = \lambda * [(a_{n,2} * x_n) * (a_{n+1,2} * y_n) * (a_{n+2,2} * z_n)] + T_y$$

$$Z_n = \lambda * [(a_{n,3} * x_n) * (a_{n+1,3} * y_n) * (a_{n+2,3} * z_n)] + T_z$$

Estas fórmulas son para un punto, por tanto, aplicaremos estas tres fórmulas a cada punto de la nube de puntos. Hacer este trabajo manualmente es algo costoso pero el programa una vez programado lo hace de forma cómoda y sencilla.

5.5.5-Realización de Planos.

Hasta ahora se han explicado los distintos trabajos que se han realizado para obtener el modelo tridimensional del Ninfeo. Ahora queda generar la documentación del mismo. Esta documentación tiene una parte escrita y otra gráfica, la escrita consiste en una memoria, anexos, etc. y la gráfica son los planos.

En este apartado se explicará cómo se ha realizado la parte de la documentación gráfica, el objetivo es que cualquier persona que quiera consultar este proyecto se capaz de entenderlo y visualizarlo de forma correcta.

Para ello, se han generado un total de 6 planos que son los siguientes:

- Alzado del Ninfeo.
- Planta del Ninfeo.
- Sección del Ninfeo.
- Perspectiva I-II-III

Ahora se va a describir lo que se puede ver en cada plano.

5.5.5.1-Alzado del Ninfeo.

Lo que se muestra en este plano, es un alzado general de todo lo que se ha restituido del Ninfeo y los muros que lo rodean. Como es un modelo tridimensional se ha querido darle algo de profundidad, para ello se ha utilizado la técnica de Cromadepth, que con las gafas adecuados da una sensación de profundidad, estas gafas lo que hacen es traer al frente todo lo que está en color rojo y el resto de colores los ubica a diferentes profundidades de acuerdo con su posición en el arco iris (rojo, naranja, amarillo, verde, azul), por eso está dividido el Ninfeo en distintos colores.

5.5.5.2-Planta del Ninfeo.

El este plano hay tres capas superpuestas, por un lado está la planta del Ninfeo restituido, por otro el volumétrico y por último el dibujo arqueológico. El modelo volumétrico respecto al modelo restituido se encuentra en el mismo sistema por lo que no hay problemas entre ellas, el problema está en el dibujo arqueológico. La parte del Ninfeo cuadra bastante bien pero en lo que son los estribos del puente se han tenido que escalar y rotar las distintas partes del dibujo por separado y aun así no se ha conseguido que se ajuste bien al modelo.

Para realizar estos ajustes se han utilizado unos puntos tomados en campo. Ahora quedaría comprobar si realmente los puntos utilizados para los giros, etc. hacen referencia a los puntos que se tienen en el croquis, por si el error es debido a una mala identificación de los puntos en el croquis.

5.5.5.3-Sección del Ninfeo.

Se ha generado una sección del Ninfeo para que se pudieran ver las piedras que se obtuvieron con la estación total son las que se encuentran justo debajo del arco del Ninfeo y la arqueta, que aunque estaba ya cubierta para cuando se fue a medir la segunda vez se pudo obtener el diámetro y su posición.

5.5.5.4-Perspectivas I-II-III.

Se han agrupado todas las perspectivas en este apartado, del modelo construido se generan 3 puntos de vista en los cuales se aprecian tridimensionalmente los distintos apartados del mismo.

5.5.6-Comparativa de los resultados de una restitución realizada por un usuario sin experiencia y con experiencia.

El objetivo de este apartado es demostrar que con el tiempo la pericia de la persona que restituye mejora y que los resultados obtenidos son más fiables. En este caso la restitución ha sido realizada por mí (con la supervisión de los profesores Álvaro Rodríguez Miranda y Ane Lopetegui Galarraga). Hay una parte del muro del Ninfeo que está construido por bloques prefabricados, reconstruido, generando un plano casi vertical. Esa zona se ha restituido dos veces la primera vez al inicio (sin ninguna experiencia) y la segunda después de llevar unas semanas restituyendo.

Para ver la comparativa se han generado dos tablas de las dos restituciones con los puntos y coordenadas que definen ambos planos. Se sabe que el plano que forma estos ladrillos prefabricados es casi vertical, por tanto, para analizar los errores cometidos se utilizará la desviación típica y estándar.

A la hora de restituir, cuando se realiza el posado de un punto en X e Y es mucho más fácil y raro cometer errores graseros, el problema está en la profundidad, como la visión estereoscópica no está entrenada a realizar el “posado” de forma correcta es complicado, con estas tablas lo que se hará es demostrar que esa pericia se va cogiendo con el tiempo y los resultados obtenidos son mucho más fiables.

Como ya se ha comentado antes se va a analizar la desviación típica y la estándar de las dos restituciones, para eso se cogerán las coordenadas Z de los puntos que definen cada modelo, ya que teóricamente si el plano es vertical la desviación de estas coordenadas tiene que ser muy parecida a 0. Las desviaciones son un índice que expresa como de cerca o lejos se encuentran los puntos medidos respecto a la media de dichas medidas, que en un plano vertical tienen que ser 0.

Esta es la tabla de resultados:

Restitución Inicial	Restitución Final	Datos Analizados
474	316	Número de puntos
-0,017	0,002	Promedio
-0,168	-0,020	Valor mínimo
0,017	0,021	valor máximo
0,020387182	0,006548522	desviación estándar
0,015398646	0,005020329	desviación Típica

A continuación se van a explicar las conclusiones que se pueden obtener de cada dato que se refleja en la tabla. Como se puede ver, el primer dato es el número de puntos utilizado para realizar cada modelo, por tanto, la primera conclusión está clara, somos capaces de dibujar un mismo objeto utilizando menos puntos y eso conlleva a que los posibles errores que se cometan se reduzcan.

En la segunda fila tenemos la media de todos los puntos dibujados. Ya es un claro indicativo, que demuestra, que la última restitución está mucho mejor que la primera, ya que, la media de la coordenada Z de todos los puntos de una pared totalmente vertical es 0 (ya que el eje Z del sistema de coordenadas tiene su origen en un punto de la pared), por tanto, cuanto más se acerque a cero es mejor.

Con los valores mínimos y máximos pasa lo mismo al ser una pared casi vertical los valores de la coordenada Z mínimos y máximos deberían de estar muy cerca del 0 y como se puede ver en los resultado obtenidos, son mejores en la última restitución, ya que varían 4 cm respecto a la restitución inicial que era de casi 20 cm.

Y por último, para terminar de analizar los resultados nos queda la desviación estándar y típica. Como ya hemos comentado son un indicativo de cómo de cerca o lejos están todo los valores respecto a la media de los mismo, por tanto, al ser un plano vertical cuanto más cerca del cero estén estos resultados mejor estará representado el muro. En este caso también se puede apreciar claramente que la restitución final está mejor que el inicial.

Con lo que se ha explicado hasta ahora se puede ver que los resultados obtenidos en la restitución final son mucho mejor que al inicio. Se puede decir entonces que cuando más tiempo se esté restituyendo la pericia mejora y los resultados obtenidos serán mejores, es obvio que esta mejora no es infinita, ya que, una vez terminado el proceso de formación los resultados son igual de buenos siempre.

5.5.7-Trascendencia de la Información.

Una vez obtenidos todos los documentos necesarios para documentar el Ninfeo, hay que pensar en cómo almacenar todo esta información para futuras consultas. En este apartado se explicará cómo se van a almacenar todos los datos.

No hay ninguna normativa estandarizada que defina como hay que estructurar y almacenar los datos obtenidos en la documentación del patrimonio, por tanto, se seguirán las recomendaciones expuestas por el Dr. José Manuel Valle Melón en su Tesis Doctoral “Documentación Geométrica del Patrimonio: Propuesta conceptual y metodológica”.

Aunque en la Tesis Doctoral desarrolla ampliamente las diferentes opciones de cómo se debiera de almacenar los datos de la documentación del patrimonio, aquí se mostrará en que formatos se ha almacenado los documentos obtenidos.

Formatos no propietario para la consecución de la accesibilidad de la Información	
Memoria	PDF
Mapas y Planos	DXF
Imágenes	PNG

Como explica el Dr. José Manuel Valle Melón en su Tesis Doctoral “ La utilización, o no, de programas comerciales privativos en los procesos de generación de documentación es una decisión que cada persona, laboratorio o empresa debe tomar en función de sus políticas o recursos, pero lo que no es aceptable es la emisión de informes en soporte digital en formatos cerrados o propietario, debido a que hipoteca el futuro de los mismos al obligar a disponer de esos programas a quien pueda necesitarlos en el futuro.”

Por tanto, se ha almacenado la información en formatos no propietario que su disponibilidad sea total en el futuro. A parte de esto, se ha generados metadatos de la documentación gráfica del patrimonio que ya está incorporado en las mismas imágenes.

5.5.8- Los metadatos.

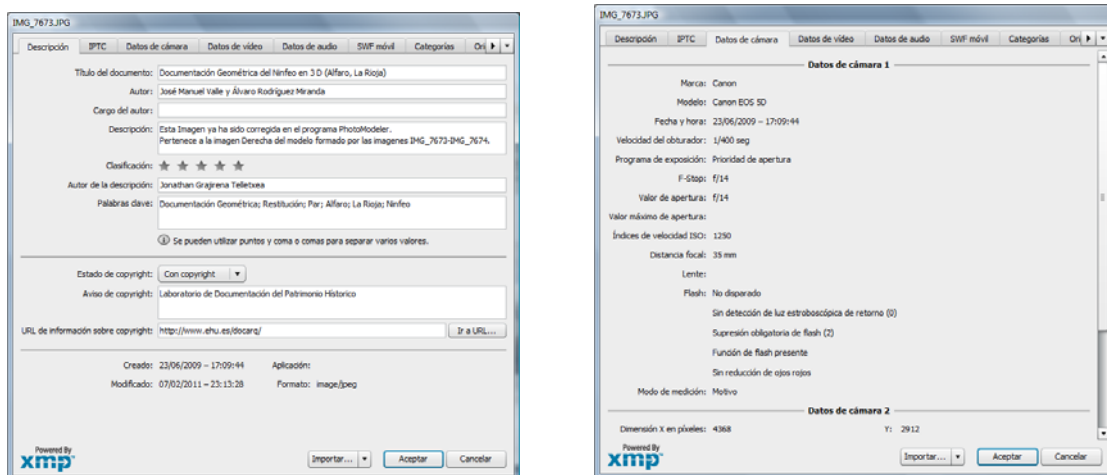


Figura 61. Formato en el que se han introducido los metadatos.

Para que todos los trabajos realizados durante el proceso de la documentación del patrimonio sean de utilidad es un requisito imprescindible que estén debidamente documentados.

A parte de las reseñas y la memoria hay una colección de imágenes que se han utilizado para obtener el modelo tridimensional. Estas imágenes tienen poca capacidad de documentar por sí solas, por tanto, en la mayoría de los casos se acompañan de metadatos, que son información alfanumérica que está relacionada con la imagen, pueden estar insertados en la propia imagen o como en este caso ir acompañados de un fichero ASCII en el cual aparecen datos relativos a la cámara, día, fecha, autor, copyright, relación con otras imágenes, etc. que hace que esta imagen obtenga mayor peso documental que es la finalidad última de este proyecto.

6-Análisis de resultados.

Para realizar la documentación geométrica del Ninfeo se han empleado 3 métodos distintos, uno por Topografía Clásica, el segundo GNSS y por último la restitución. Ahora se verán las precisiones que se han obtenido en cada uno de estos métodos, así se podrá calcular la precisión del modelo tridimensional generado.

6.2-Topografía Clásica.

Lo primero que se hace es calcular la precisión obtenida con la estación total, ya que es el primer método que se ha utilizado a la hora de trabajar, y son las observaciones que cogemos de referencia para comparar con el resto de los métodos, ya sea, el GNSS y la restitución.

Los errores cometidos con la estación total dependen de la metodología utilizada, en este caso para obtener las coordenadas de las dianas se ha utilizado la radiación.

El método de la radiación consiste en estacionar en un punto o base de coordenadas conocidas y realizar lecturas de ángulos y de distancias a otros puntos obteniendo su posición respecto al punto estacionado, como es un método sin comprobación se aconseja realizar observaciones en círculo directo e inverso.

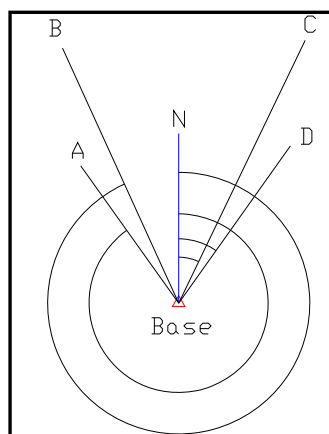


Figura 62. Esquema general de una radiación.

La radiación de un punto lleva acompañados dos errores, pues dos magnitudes son las que se miden, ángulo y distancia:

1º El error total acimutal (E_a): afecta al ángulo y hará que el punto se desplace hacia un lado o hacia otro de la visual correcta. Este error angular, a cierta distancia D (que será la media de las distancias observadas) se traduce en un desplazamiento planimétrico (X, Y) del punto radiado. Este desplazamiento se conoce como Error Transversal:

$$(E_t = D * E_a(\text{radianes}))$$

2º Respecto a la distancia, se comete un error lineal, la medida puede contener error y ser más largo o más corta de la real. El error Lineal:

$$(\text{relativo}/100) * D. \text{ Donde ErrorRelativo} = \text{Raíz}(E_v^2 + E_{\text{lectura}}^2)$$

Resumiendo, al radiar un punto nuestros errores pueden hacer que el punto esté:

- A la izquierda o derecha de su posición real.
- Un poco más lejos o un poco más cerca de su posición real.
- O mezcla de todo un poco que es lo normal.

Si se toma el error transversal y error lineal como ejes de una elipse se obtendrá lo que se conoce como elipse de tolerancia.

Para calcular el error cometido se cogerá como distancia de observación la distancia más larga radiada, así se garantiza que todas las medidas estarán por debajo de este error.

Medición Angular		Tipo 1201	Tipo 1202	Tipo 1203	Tipo 1205
Precisión (desviación estándar, ISO 17123-3)	Hz, V	1" (0.3 mgon)	2" (0.6 mgon)	3" (1 mgon)	5" (1.5 mgon)
	Resolución de pantalla:	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)
Método	Absoluto, continuo, diametral				
Compensador	Rango de Trabajo	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)
	Precisión	0.5" (0.2 mgon)	0.5" (0.2 mgon)	1.0" (0.3 mgon)	1.5" (0.5 mgon)
	Método	Compensador de doble eje centrado			

Medición de distancias (IR)		
Alcance (condiciones atmosféricas medias)	Prisma Circular (GPR1):	3000 m
	Prisma 360° (GRZ4):	1500 m
	Miniprisma (GMP101):	1200 m
	Diana Reflectante (60 mm x 60 mm):	250 m
	Mínima distancia medible:	1.5 m
Precisión / Tiempo Medición (desviación estándar, ISO 17123-4)	Modo Estándar:	2 mm + 2 ppm / tip. 1.5 s
	Modo Rápido:	5 mm + 2 ppm / tip. 0.8 s
	Modo Tracking:	5 mm + 2 ppm / tip. < 0.15 s
	Resolución pantalla:	0.1 mm
Método	Medición de fase (coaxial, láser infrarrojo invisible)	

Puntero R100/R300 medición distancias sin prisma (LR)		
Alcance (condiciones atmosféricas medias)	PuntoPreciso R100:	170 m/100 m (Carta Kodak Gris reflexivo 90% / 18% reflexivo)
	PuntoPreciso R300:	500 m/300 m (Carta Kodak Gris reflexivo 90% / 18% reflexivo)
	Mínima distancia medible:	1.5 m
	Largo Alcance al prisma circular (GPR1):	1000 m - 7500 m
Precisión / Tiempo Medición (desviación estándar, ISO 17123-4)	Sin prisma < 500 m:	3 mm + 2 ppm / tip. 3 - 6 s, max. 12 s
	Sin prisma > 500 m:	5 mm + 2 ppm / tip. 3 - 6 s, max. 12 s
	Largo Alcance:	5 mm + 2 ppm / tip. 2.5 s, max. 12 s
Tamaño del punto láser	A 20 m:	Aprox. 7 mm x 14 mm
	A 100 m:	Aprox. 12 mm x 40 mm
Método	PuntoPreciso R100:	Medición de fase (coaxial, láser rojo visible)
	PuntoPreciso R300:	Sistema de Análisis (coaxial, láser rojo visible)

Figura 63. Características de la ficha técnica de las estaciones totales de Leica.

Las características de la estación que se ha utilizado es del tipo 1205, como se puede ver la precisión angular del instrumento es de 1,5^{mgon} tanto en lecturas horizontales como en verticales. Las mediciones con la estación total se han realizado tanto con prisma como con el láser, por tanto, se calcularán dos precisiones distintas, una para cada tipo de observación. En el caso de la medición sin prisma al ser distancias inferiores a 500m la precisión es de 3mm + 2ppm, y en la medición con prisma es de 2mm + 2ppm.

Con esta información se procederá al cálculo de la tolerancia de las observaciones realizadas con esta Estación Total, para ello, lo primero que se tendrá que hacer es calcular el error transversal y el longitudinal que serán el semieje mayor y menor de la elipse de tolerancia.

Para calcular el error transversal se tiene que calcular el error angular, que no es más que la suma cuadrática de los errores de verticalidad, puntería, lectura y distancia:

$$\text{Error de Verticalidad: } 2,25\text{mgon} / 12=0,187 \text{ mgon}$$

$$\text{Error de distancias: } 0,025 \times 636620 / 50(\text{dist. Max. Aprox.})=318.31 \text{ mgon}$$

$$\text{Error de puntería: } 30\text{cc} / 30 \times (1 + 4 \times 30 / 100)= 22 \text{ mgon}$$

$$\text{Error de Lectura: } 1.5 \text{ mgon}$$

$$\text{Error angular: } 3\text{c}18\text{cc}$$

Si se observa este error angular se puede ver que es bastante grande, pero tiene su explicación, ya que, cuando se van a obtener coordenadas de puntos que se encuentran muy cerca de donde se estaciona se comente mayor error en la determinación de su posición.

Este problema viene a raíz del error de distancia, ya que la distancia máxima radiada actúa como denominador y esto hace que cuanto más grande sea la distancia observada más se reduce el error de distancia, que es el que más destaca por mucho de todos los errores cometidos.

Ahora con el error angular calculado se obtiene el error transversal:

$$Et=50m * 4,99*10^{-4}(\text{radianes})$$

El error transversal se queda en 0,025 metros, que son 2,5 centímetros.

Ahora se calcula el error longitudinal, en este caso hay que calcular dos errores distintos uno cometido con la medición sin prisma y el otro cometido con la medición con prisma.

El error cometido en la medición sin prisma es de 2 milímetros, si se tienen en cuenta las características técnicas de la estación, tenemos 2mm de error más 2mm por millón de milímetros (ppm) que nos da un error total de 2,1mm.

Por otro lado, el error en la medición sin prisma es de 3 milímetros por la misma proporcionalidad del caso anterior.

Ahora para obtener el cálculo de la precisión total será la componente cuadrática de ambos errores, vamos a destacar dos precisiones una con medición con prisma y otra sin ella:

Error Total (medición con prisma) = 2,5 centímetros.

Error Total (medición sin prisma) = 2,5 centímetros.

Como se puede observar el error final es exactamente el misma utilizando la medición con o sin prisma, esta se debe a que las distancias de medición son muy cortas.

6.1-GNSS.

Para conocer la precisión que se ha obtenido en la observación con GNSS se van a utilizar las coordenadas calculadas usando el método de la radiación, con la Estación Total, de aquí en adelante estas serán las coordenadas de referencia para el cálculo de la precisión de los demás métodos empleados.

Se ha generado una tabla Excel con las coordenadas de los puntos medidos en la observación estática, y se ha comparado con las coordenadas obtenidas con la estación total, el resultado es el que se puede observar seguidamente:

Bases	Observación Estática			Estación Total		
	X	Y	Z	X	Y	Z
CLAVO8	602414,029	4670473,87	342,06559	602414,077	4670473,861	292,042
NC_1	602429,499	4670487,37	337,6806	602429,530	4670487,413	287,677
NC_2	602412,54	4670451,82	337,88913	602412,557	4670451,853	287,890

Precisión del GNSS		
X	Y	Z
-0,048	0,008	0,024
-0,031	-0,046	0,004
-0,017	-0,037	-0,001

Promedio de los errores de la observación GNSS en las tres observaciones realizadas

-0,032	-0,025	0,009
--------	--------	-------

A simple vista puede parecer que los errores son excesivos pero hay que tener en cuenta que estamos comparando los resultados obtenidos con coordenadas que de antemano tienen una incertidumbre de 2 cm.

6.3-Restitución digital.

Para terminar se va a calcular el error cometido en la restitución. Los errores que se producen a la hora de restituir son debidos al posicionamiento del cursor en el punto deseado, es decir, no es cuantificable y es arbitrario. Pero lo que si se pueden calcular son los cometidos en las orientaciones, por ello, se realizará una comparación de coordenadas de las dianas obtenidas en campo y las restituidas, los valores de las mismas serán el error.

<u>NOMBRE</u>	<u>Medición de las dianas en campo</u>			<u>Medición de las dianas en el restituidor</u>			<u>Errores</u>		
	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>	<u>x</u>	<u>y</u>	<u>z</u>	<u>ex</u>	<u>ey</u>	<u>ez</u>
DA4_C264	1008,917	1995,262	501,064	1008,941	1995,274	501,057	0,024	0,012	-0,007
DA4_C265	1009,987	1995,475	501,502	1010,004	1995,485	501,498	0,017	0,010	-0,004
DA4_C266	1009,983	1995,443	502,812	1010,001	1995,455	502,808	0,019	0,012	-0,004
DA4_C267	1007,667	1996,610	500,652	1007,689	1996,622	500,644	0,022	0,012	-0,008
DA4_C268	1008,839	1996,978	501,120	1008,863	1996,989	501,116	0,024	0,011	-0,004
DA4_C269	1009,842	1996,942	502,173	1009,860	1996,952	502,169	0,018	0,010	-0,004
DA4_C270	1007,367	1998,318	500,592	1007,389	1998,328	500,583	0,022	0,010	-0,009
DA4_C271	1008,616	1998,148	501,075	1008,638	1998,160	501,070	0,023	0,012	-0,005
DA4_C272	1009,711	1998,404	502,577	1009,728	1998,412	502,573	0,017	0,008	-0,004
DA4_C273	1007,538	1999,358	500,440	1007,538	1999,358	500,440	0,000	0,000	0,000
DA4_C274	1008,227	1999,326	501,094	1008,244	1999,334	501,088	0,017	0,008	-0,006
DA4_C275	1009,624	1999,370	502,829	1009,637	1999,376	502,825	0,013	0,006	-0,004
DA4_C276	1008,062	2001,722	500,424	1008,074	2001,727	500,421	0,012	0,005	-0,003
DA4_C277	1008,092	2001,593	501,878	1008,105	2001,600	501,875	0,014	0,007	-0,003
DA4_C278	1009,476	2000,916	502,904	1009,486	2000,922	502,900	0,010	0,006	-0,004
DA4_C279	1007,288	2003,239	500,114	1007,295	2003,241	500,113	0,007	0,002	-0,001
DA4_C280	1007,237	2003,275	501,951	1007,246	2003,278	501,946	0,009	0,004	-0,005
DA4_C281	1006,171	2005,397	500,100	1006,184	2005,401	500,096	0,013	0,005	-0,004
DA4_C282	1006,199	2005,267	501,925	1006,209	2005,270	501,922	0,010	0,003	-0,003
DA4_C283	1005,506	2006,568	502,494	1005,514	2006,573	502,491	0,008	0,005	-0,002
DA4_C284	1004,261	2007,225	499,972	1004,269	2007,233	499,968	0,008	0,008	-0,004
DA4_C285	1005,018	2007,612	500,499	1005,024	2007,619	500,497	0,006	0,007	-0,002
DA4_C286	1004,986	2007,635	502,339	1004,987	2007,636	502,339	0,001	0,001	0,000
DA4_C287	1003,275	2009,001	500,312	1003,275	2009,002	500,308	0,000	0,001	-0,004
DA4_C288	1004,262	2009,169	501,111	1004,265	2009,171	501,111	0,003	0,002	0,000
DA4_C289	1004,393	2008,899	502,468	1004,396	2008,800	502,466	0,003	-0,099	-0,002
DA4_C290	1002,615	2010,312	500,137	1002,615	2010,310	500,136	0,000	-0,002	-0,001
DA4_C291	1002,455	2010,496	501,324	1002,452	2010,498	501,323	-0,003	0,002	-0,001
DA4_C292	1003,085	2010,516	502,042	1003,085	2010,516	502,042	0,000	0,000	0,000
DA4_C293	1001,960	2011,542	500,112	1001,957	2011,544	500,111	-0,003	0,002	-0,001
DA4_C294	1002,141	2011,872	501,671	1002,138	2011,869	501,673	-0,003	-0,003	0,002
DA4_C296	1001,307	2013,599	500,306	1001,302	2013,604	500,309	-0,005	0,005	0,003
DA4_C297	1001,359	2013,265	501,349	1001,351	2013,263	501,352	-0,008	-0,002	0,003
DA4_C298	1001,678	2013,897	502,060	1001,670	2013,893	502,066	-0,008	-0,004	0,006
DA4_C299	1001,138	2014,935	500,260	1001,128	2014,936	500,265	-0,010	0,001	0,005
DA4_C300	1001,528	2015,197	501,339	1001,522	2015,201	501,345	-0,005	0,004	0,006

Documentación Geométrica del Ninfeo y su Entorno (Alfaro, La Rioja).

DA4_C301	1001,526	2012,571	500,150	1001,516	2012,571	500,154	-0,010	0,000	0,004
DA4_C302	1001,700	2012,634	501,613	1001,696	2012,633	501,615	-0,004	-0,001	0,002
DA4_C303	1001,834	2012,779	502,313	1001,830	2012,777	502,316	-0,004	-0,002	0,003
DA4_C304	1001,256	2016,131	500,535	1001,250	2016,126	500,542	-0,006	-0,005	0,007
DA4_C305	1001,648	2013,908	502,116	1001,644	2013,906	502,122	-0,004	-0,002	0,006
DA4_C306	1003,380	2011,765	502,896	1003,380	2011,763	502,900	0,000	-0,002	0,004
DA4_C307	1003,945	2010,637	503,321	1003,943	2010,631	503,319	-0,002	-0,006	-0,002
DA4_C308	1004,264	2009,064	503,716	1004,266	2009,063	503,716	0,002	-0,001	0,000
DA4_C309	1005,101	2007,735	503,938	1005,096	2007,729	503,931	-0,005	-0,006	-0,007
DA4_C310	1005,360	2006,753	504,077	1005,364	2006,753	504,073	0,004	0,000	-0,004
DA4_C311	1006,379	2005,547	504,073	1006,381	2005,546	504,068	0,002	-0,001	-0,005
DA4_C312	1006,760	2004,457	504,148	1006,767	2004,457	504,144	0,007	0,000	-0,003
DA4_C313	1007,493	2002,764	503,801	1007,502	2002,766	503,797	0,009	0,003	-0,004
DA4_C314	1007,829	2002,174	503,108	1007,839	2002,177	503,103	0,010	0,003	-0,005
DA4_C315	1005,148	2007,616	500,112	1005,154	2007,620	500,111	0,006	0,004	-0,001
DA4_C316	1006,096	2008,093	500,148	1006,103	2008,103	500,151	0,007	0,010	0,003
DA4_C317	1006,888	2008,497	500,202	1006,897	2008,508	500,206	0,009	0,011	0,004
DA4_C318	1005,158	2007,627	501,158	1005,163	2007,632	501,158	0,005	0,005	0,000
DA4_C319	1006,169	2008,145	501,131	1006,176	2008,155	501,133	0,007	0,010	0,002
DA4_C320	1006,962	2008,533	501,108	1006,972	2008,544	501,109	0,010	0,011	0,001
DA4_C321	1005,179	2007,520	501,815	1005,181	2007,518	501,815	0,002	-0,002	0,000
DA4_C322	1006,223	2008,040	501,825	1006,224	2008,042	501,826	0,001	0,002	0,001
DA4_C323	1006,995	2008,452	501,814	1007,001	2008,462	501,815	0,006	0,010	0,001
DA4_C324	1005,355	2007,025	502,287	1005,386	2007,020	502,285	0,031	-0,005	-0,002
DA4_C325	1006,411	2007,616	502,272	1006,441	2007,625	502,268	0,030	0,009	-0,004
DA4_C326	1007,258	2008,036	502,279	1007,259	2008,036	502,281	0,001	0,000	0,002
DA4_C327	1007,825	2006,360	500,247	1007,835	2006,368	500,247	0,010	0,008	0,000
DA4_C328	1007,174	2006,048	500,148	1007,180	2006,058	500,147	0,006	0,010	-0,001
DA4_C329	1006,191	2005,528	500,214	1006,198	2005,538	500,207	0,007	0,010	-0,007
DA4_C330	1007,882	2006,320	501,271	1007,887	2006,323	501,270	0,005	0,003	-0,001
DA4_C331	1007,237	2005,998	501,249	1007,243	2006,003	501,247	0,006	0,005	-0,002
DA4_C332	1006,278	2005,510	501,252	1006,280	2005,513	501,244	0,002	0,003	-0,008
DA4_C333	1007,837	2006,438	501,779	1007,840	2006,437	501,779	0,004	-0,001	0,000
DA4_C334	1007,108	2006,071	501,754	1007,112	2006,073	501,751	0,004	0,002	-0,003
DA4_C335	1006,150	2005,595	501,766	1006,150	2005,601	501,760	0,000	0,006	-0,006
DA4_C336	1007,720	2006,872	502,249	1007,721	2006,876	502,251	0,001	0,004	0,002
DA4_C337	1006,897	2006,462	502,240	1006,904	2006,467	502,238	0,007	0,005	-0,002
DA4_C338	1005,931	2005,972	502,231	1005,932	2005,977	502,225	0,001	0,005	-0,006
DA4_C339	1007,446	2007,469	502,425	1007,452	2007,474	502,428	0,006	0,005	0,003
DA4_C340	1006,677	2007,066	502,433	1006,679	2007,075	502,441	0,002	0,009	0,008
DA4_C341	1005,561	2006,602	502,414	1005,558	2006,617	502,428	-0,003	0,015	0,014
DA4_C342	1007,193	2008,382	500,297	1007,197	2008,390	500,300	0,004	0,009	0,003
DA4_C343	1007,505	2007,570	500,174	1007,511	2007,570	500,176	0,006	0,000	0,002
DA4_C344	1007,842	2006,639	500,526	1007,848	2006,644	500,527	0,006	0,005	0,001
DA4_C345	1007,552	2007,383	501,392	1007,555	2007,381	501,391	0,003	-0,002	-0,001
DA4_C347	1007,910	2006,499	501,393	1007,913	2006,502	501,393	0,003	0,003	0,000
DA4_C349	1007,534	2007,495	502,292	1007,536	2007,493	502,294	0,002	-0,002	0,002
DA4_C350	1007,734	2007,021	502,060	1007,738	2007,018	502,060	0,004	-0,003	0,000

Sumatorio de los errores	0,477	0,214	-0,075
--------------------------	-------	-------	--------

Suma al cuadrado de los errores	0,009	0,013	0,001
---------------------------------	-------	-------	-------

	X-Y	Z
E. Medio Cuadrático	0,022	0,001

$$\text{Error Total del modelo} = \sqrt{(0,022)^2 + (0,001)^2} = 2,2 \text{ centímetros.}$$

Una vez calculados los errores accidentales cometidos con cada método se calcula el error que tiene el modelo tridimensional, para ello, habrá que realizar la suma cuadrática de todos los errores que han intervenido en la obtención del mismo, en este caso, para generar el modelo han intervenido los errores producidos con la estación total, en la captura de coordenadas de las dianas y la orientación externa del modelo, por tanto, el error total del modelo será el siguiente:

$$\text{Error total del Modelo} = \sqrt{(\text{error_de_estación})^2 + (\text{error_de_restitución})^2} = \sqrt{(0,025)^2 + (0,022)^2} = 3,3 \text{ centímetros.}$$

7-Bibliografía.

HERNANDEZ VERA, José Antonio, ARIÑO GIL, Enrique, NUÑEZ MARGEN, Julio y MARTINEZ TORRECILLA, José Manuel. Conjuntos monumentales en la periferia urbana: Puentes, Presas y Ninfeos. Graccurreis nº 4. Año 1995.

<http://www.iderioja.larioja.org/index.php?id=20&long=es>.

http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=414.

<http://www.navarra.es/AppExt/RGAN/estación.aspx#est>.

PERÉZ, J.A. (2001). Apuntes de Fotogrametría II, Mérida.

PÈREZ, J.A. (2001). TRANSFORMACIONES DE COORDENADAS, Madrid.
ISBN: 84-95279-45-2.

VALLE, J.M. (2007). Tesis Doctoral. Documentación Geométrica del Patrimonio: Propuesta conceptual y metodológica. Ed. Universidad de La Rioja ISBN:978-84-694-1081-3.

VALLE, J.M. y MARTÍNEZ, M^a.P. (2003). Prácticas de Fotogrametría I.
ISBN: 84-607-9665-5

8-Agradecimientos.

Para terminar quisiera agradecer a todas las personas que me han apoyado y ayudado a superar todas las dificultades que he ido encontrando durante todo el camino hasta llegar aquí.

Primero quisiera agradecer a José Manuel Valle, por darme la oportunidad de realizar el proyecto fin de carrera en el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, agradecer su paciencia guiándome para el correcto desarrollo del mismo y estar abierto a las diversas ideas y expectativas que me he planteado a lo largo del proyecto.

En segundo lugar quisiera agradecer al tutor Álvaro Rodríguez Miranda, por guiarme y aconsejarme con su conocimiento y experiencia a llevar a buen puerto este proyecto, pudiendo resolver muchos de los problemas matemáticos y técnicos de esté gracias a su ayuda.

También quisiera agradecer a Ane Lopetegi por su colaboración en las tareas de restitución, agradecer también a todos los integrantes pasados y presentes del Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, por el hecho de aportar su experiencia y ayuda que me han surgido en las diversas fases del proyecto.

Del mismo modo, agradecer a Francisco Madrid por el hecho de haber aceptado formar parte del tribunal del proyecto, valorando su dedicación a la hora de calificar el proyecto fin de carrera realizado.

Por último, no me quiero olvidar de mis padres y de la familia en general, por la confianza depositada en mí y haber hecho posible mi trayectoria a lo largo de toda la carrera. Agradecer el apoyo mostrado a los familiares, y a los compañeros de clase que han compartido conmigo todas las experiencias vividas a lo largo de la carrera.

JONATHAN GRAJIRENA TELLETXEA

ANEXO I

CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Certificado de Verificación y Control

Nº de Certificado 300647080
Fecha 19.02.2010

Leica Geosystems, s.l.
Autov. Fuencarral-Alcobendas
Km 15'700, nº 24
Edif. Europa 1, Portal 3, 1º
28108 ALCOBENDAS (Madrid)
Teléfono (+34) 91 744 0740
Fax (+34) 91 744 0741
www.leica-geosystems.com

UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO
E.U.I.T. Ind. e Ing.Tec.Topog.
NIEVES CANO, 12

01006 VITORIA

Número de cliente 50198
Instrumento TCR1205 R300, taquímetro + EDM sin ref.
Nº de Serie 213379
Técnico 120003

Proceso de Verificación y Control:

El instrumento ha sido verificado y controlado conforme a los procedimientos establecidos por Leica Geosystems, S.L. según el manual del instrumento en cuestión.

Resultados:

Temperatura durante la verificación (°C): 24

	Entrada	Tolerancia	Salida	Incertidumbre
Desviación Hz (Gon)	0.0015	0.0015	0.0015	0.0008
Desviación Vt (Gon)	0.0020	0.0015	0.0015	0.0009
Desviación distancia (mm) (Distanciómetro infrarrojo)	2	2mm + 2ppm	2	1.5
Desviación distancia (mm) (Distanciómetro láser)	3	3mm + 2ppm	3	2

Patrones empleados:

Ángulos:

Colimador de ejes: Wild n°24ncertidumbre asociado con el patrón: 0.0005 gon)

Distancia:

La base de distancias ha sido calibrada por el Centro Español de Metrología con un taquímetro electrónico de 0,01 mm de resolución, con trazabilidad a patrones nacionales

Comentarios:

Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron las mediciones y poseen trazabilidad a patrones nacionales o a patrones extranjeros

No se permite la reproducción parcial de este certificado sin la aprobación por Leica Geosystems, s.l. Este documento no tiene carácter de calibración.



Leica
Conectame

Camera Viewer ✕

Cameras in Project

- 20090219_5D [35.00] [Default]
- 20090219_5D [35.00] - Idealized

New Delete

Copy Set as Default

Load from disk... Library...

Name
20090219_5D [35.00] - Idealized

Calibration

Type
Idealized

Focal Length
35.6093

Format Size
W: 36.7660 H: 24.5079

Principal Point
X: 18.3830 Y: 12.2539

Lens Distortion
K1: 0.000e+000 P1: 0.000e+000
K2: 0.000e+000 P2: 0.000e+000
K3: 0.000e+000

Calibration Quality Values
Overall Residual RMS: 0.1083
Maximum Residual: 0.4023
Photo Coverage (%): 89

Used by Photos
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,1

Image Size
W: 4368 H: 2912

Fiducials
Type: No Fiducials
Fiducials: mm
Modify...

EXIF Fields
Make: Canon_idealized
Model: Canon EOS 5D_idealized
Focal Length
35.0000
Format Size
W: 35.9410 H: 23.9268

OK Cancel Help

ANEXO II

HELMERT 3D

ÍNDICE

- Introducción..... Pág.1

- Descripción del Programa.....Pág.1

- Teoría del Método del Helmert 3D.....Pág.6

- Tipología de ángulos.....Pág.20

- Tipos de ficheros.....Pág.20
 - Fichero 1.....Pág.20

 - Fichero 2.....Pág.20

 - Fichero Salida.....Pág.21

 - Fichero Transformado.....Pág.28

- Organigrama.....Pág.30

- Ordinogramas.....Pág.32

Introducción

En esta fase del proyecto se ha confeccionado un programa informático que posibilita la transformación de coordenadas de una nube de puntos entre 2 sistemas de coordenadas.

Para ello, se necesitan dos ficheros de entrada, uno son las coordenadas de los puntos en sistema original y la otra son coordenadas de los mismos puntos en sistema de destino, con esto calculará los parámetros de transformación del sistema inicial al final e imprimirá dichos valores en un fichero ASCII que se creará con la opción “Fichero de Salida”.

Una vez obtenidos estos valores, para que terminar con el programa se introducirá un fichero de puntos con coordenadas en el sistema de coordenadas inicial, X, Y, Z y aplicando los parámetros de transformación calculados en el apartado anterior creará otro fichero ASCII, con los mismos puntos pero con las coordenadas ya transformadas.

Descripción Del Programa

A continuación se realizará una descripción detallada del programa y se explicarán las distintas opciones que tiene, como el procedimiento adecuado para introducir los datos y su posterior cálculo.

Se inicia con una pantalla inicial, donde aparece el nombre del software con los logos de la universidad del País Vasco y el Laboratorio de Documentación Geométrica del Patrimonio, Grupo de Investigación del Patrimonio Construido, que es donde se ha creado este programa. Aparte de esto aparece una representación gráfica de cálculo de la transformación Tridimensional de semejanza, Helmert 3D. En la parte inferior derecha de la ventana aparecen más datos como son, el autor, la fecha y el tutor.

Debajo del dibujo del Helmert 3D tenemos una botón donde pone “Iniciar Programa” es donde el usuario accede al programa en sí, si el usuario deseara salir del programa tiene el aspa en la parte superior derecha dentro del marco para poder hacerlo.

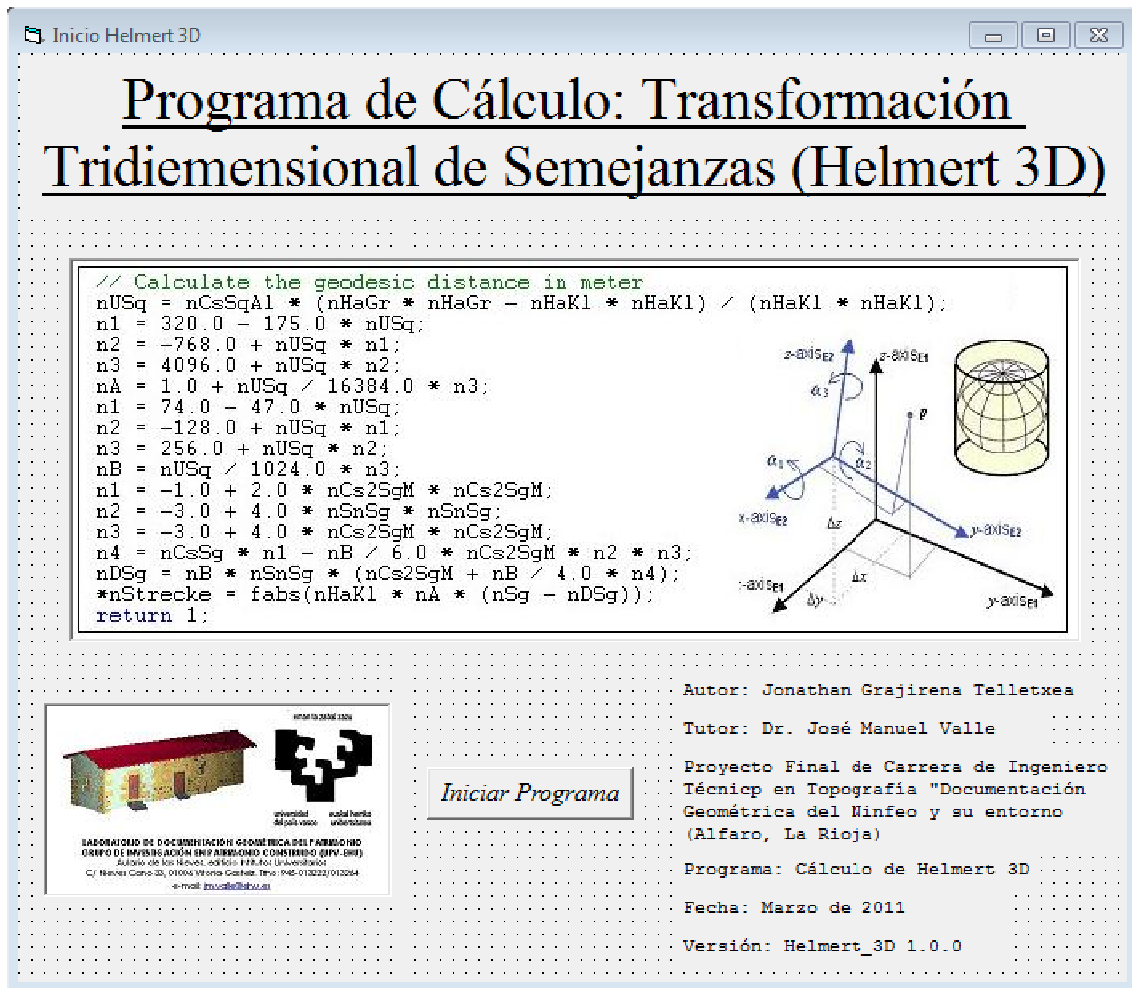


Figura 1. Pantalla de inicio del Programa.

Una vez pulsado el botón de “Iniciar Programa”, se visualiza la segunda ventana donde se seleccionarán los ficheros necesarios para ejecutar el cálculo.

Para calcular los parámetros de transformación el programa necesita como mínimo 3 puntos de coordenadas conocidas en los dos sistemas de coordenadas.

El primer fichero que se selecciona es el de coordenadas reales, es decir, las coordenadas de los puntos en el sistema al que se quiere pasar, este fichero tiene que estar separa por comas y el texto entre comas dobles (de estos ficheros hablaremos más extensamente en apartados posteriores). El segundo fichero, es el fichero de coordenadas de los mismos puntos pero en relativas.

Una vez hecho esto, el usuario tendrá que introducir el nombre del fichero en el que quiere que se le impriman los parámetros de transformación. Cuando pulsa el botón “Fichero de Salida” le saldrá una ventana con el formato de Windows donde podrá seleccionar gráficamente en que directorio y con qué nombre quiere almacenar el fichero ASCII.

Una vez se han seleccionado los ficheros de los puntos lo siguiente que hay que indicar al programa es si se tienen datos de partida o no. El objetivo del cálculo es obtener los giros y las traslaciones que hay entre un sistema de coordenadas y otro, normalmente se suelen poner como valores iniciales, todos los giros a cero, que es lo que el programa hace por defecto, pero si el usuario tuviera noción de dichos datos los podría introducir en las cajas correspondientes activando la pestaña de “Si tengo valores aproximados”, y el programa utilizará estos valores para el cálculo, reduciendo así el número de iteraciones que tiene que realizar.

Una vez que seleccionados todos los ficheros y los valores aproximados, en el caso de que se conocieran, queda un último dato muy importante por introducir y es el giro Kappa. En este caso de los giros Omega y Fi no importa tener los valores aproximados, ya que al tener una vertical aproximadamente igual, los giros son muy cercanos a cero por la geometría que representan, pero en el caso de Kappa es distinto. Si estamos trabajando en fotogrametría aérea no afecta mucho introducir un valor aproximado a cero, pero si trabajamos con fotogrametría terrestre los giros en Kappa son mayores y si no se introduce un valor aproximado, este programa no es capaz de obtener un resultado.

Cuando se hayan introducido todos los valores el siguiente paso será pulsar el botón “Calcular” con esto el programa realiza el cálculo de los parámetros de transformación.

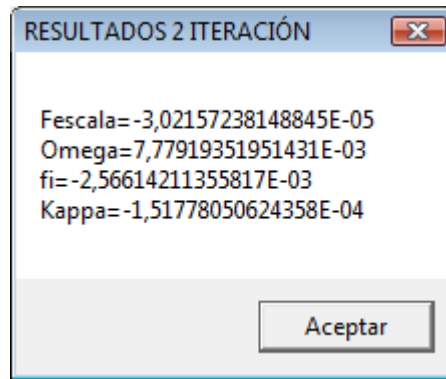


Figura 3. Resultados del cálculo.

Si se pulsa el botón “Aceptar” saldrá un mensaje como el que se ve en la Figura4.

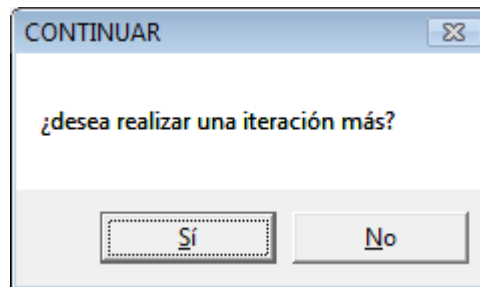


Figura 4. Mensaje para continuar el cálculo o terminar.

Viendo los resultados obtenidos se decidirá si se quiere realizar otra iteración o se quiere finalizar el cálculo. Si se pulsa el botón “Sí” el programa realizara una iteración más y mostrará el mensaje con las nuevas diferenciales, si por el contrario se pulsado “No” el programa se quedará en el segundo formulario.

Una vez terminado el cálculo, el usuario tendrá la opción de introducir un fichero de puntos en coordenadas origen y los transformará en coordenadas destino, aplicando los parámetros calculados en el apartado anterior. Estas coordenadas destino se almacenarán en otro archivo que el usuario previamente creará.

La Teoría Del Método Del Helmert 3D

Ahora vamos a exponer los procedimientos que utiliza el programa para realizar los cálculos. El procedimiento a seguir se basa en el libro de Juan Antonio Pérez “*Transformación de coordenadas*”, la descripción de los cálculos que se explica en el manual de usuario se ha obtenido de este libro.

Como su nombre indica, una Transformación conforme tridimensional de coordenadas comprende la conversión de un sistema tridimensional a otro sin que varíe la verdadera forma del objeto después de realizar la transformación.

Partiendo de los sistemas de la figura 30, se quiere transformar las coordenadas de puntos del sistema (x, y, z) al sistema (X, Y, Z) . Como puede observarse en esta figura, los dos sistemas de coordenadas no son paralelos necesitando la transformación, el uso de siete parámetros de transformación independientes:

- Tres rotaciones (Ω, Φ, K).
- Un factor de escala (λ).
- Tres traslaciones (T_x, T_y, T_z).

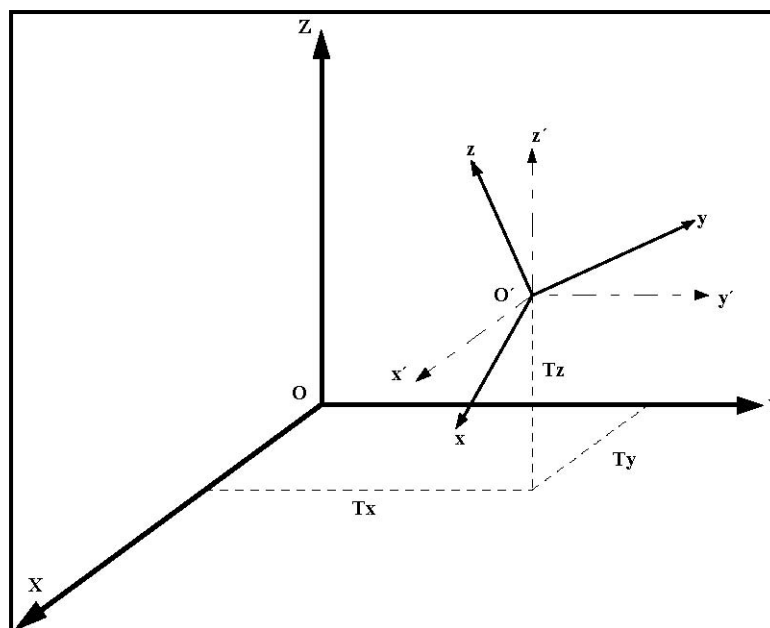


Figura 5. Representación de los dos sistema uno respecto al otro.

El valor de dichas incógnitas se puede obtener de muchas formas distintas, nosotros utilizaremos el método de los centroides, con este método lo que conseguimos es reducir las incógnitas a 4 ya que las traslaciones las obviamos, aunque al final del proceso las tengamos que calcular, y obtenemos una matriz de rotación y unas coordenadas aproximadas de los puntos, con estas coordenadas obtenemos la matriz A . Una vez obtenida esta matriz mediante mínimos cuadrados resolveremos el sistema.

Comenzaremos calculando la matriz de rotación, nosotros utilizaremos la matriz de Euler. Las ecuaciones de rotación serán deducidas según una secuencia de tres rotaciones independientes de dos dimensiones, ya que cada giro producirá variaciones en las coordenadas (x', y', z') de un punto cualquiera, teniendo en cuenta que la coordenada que se mide en el eje entorno al cual se efectúe el giro, no variará con este. Estas rotaciones, ilustradas en la figura son:

-Primera rotación (Ω): rotación alrededor del eje x' , la cual convierte las coordenadas (x', y', z') en $(x_\Omega, y_\Omega, z_\Omega)$.

-Segunda rotación (Φ): rotación alrededor del eje y_Ω , la cual convierte las coordenadas $(x_\Omega, y_\Omega, z_\Omega)$ en (x_Φ, y_Φ, z_Φ) .

-Tercera rotación (K): rotación alrededor del eje z_Φ , la cual convierte las coordenadas (x_Φ, y_Φ, z_Φ) en $(x_K, y_K, z_K) \equiv (x, y, z)$.

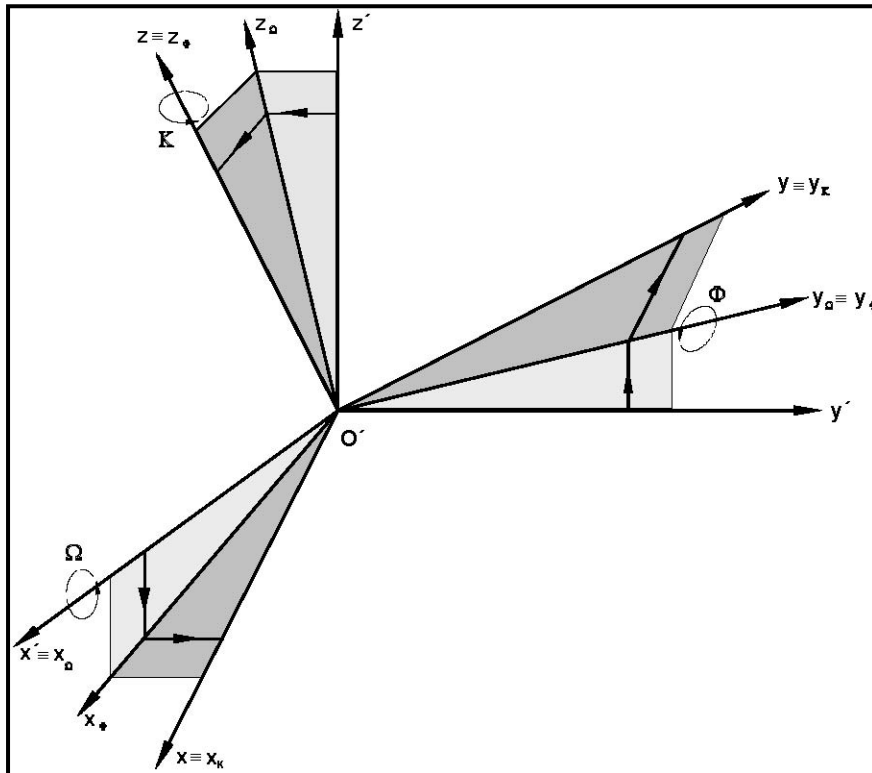


Figura 6. Giros a realizar respecto a cada eje.

Se convendrá en definir una rotación positiva en el sentido de las agujas del reloj cuando se observa desde el origen a la dirección positiva del eje entorno al cual se realiza el giro.

Comenzaremos con la primera rotación (Ω), efectuando sobre el sistema de coordenadas tridimensional (x', y, z') el giro Ω , el nuevo sistema (Fig. 3) pasará ser $(x_\Omega, y_\Omega, z_\Omega)$.

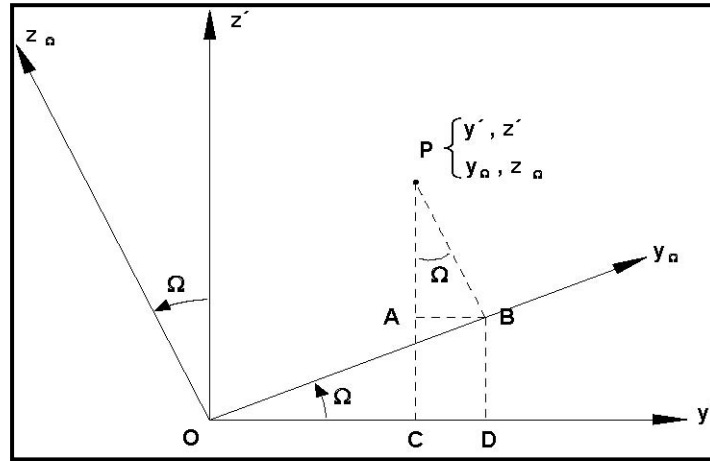


Figura 7. Giro en el eje X.

De la figura anterior se deducen las expresiones siguientes:

$$\begin{aligned} \overline{OC} &= \overline{OD} - \overline{DC} = \overline{OD} - \overline{AB} & \overline{CP} &= \overline{PA} + \overline{CA} = \overline{PA} + \overline{BD} \\ \overline{OC} &= \overline{OB} \cos \Omega - \overline{PB} \operatorname{sen} \Omega & \overline{CP} &= \overline{PB} \cos \Omega + \overline{OB} \operatorname{sen} \Omega \\ y' &= y_{\Omega} \cos \Omega - z_{\Omega} \operatorname{sen} \Omega & z' &= z_{\Omega} \cos \Omega + y_{\Omega} \operatorname{sen} \Omega \end{aligned}$$

Expresando estas en forma matricial se llega a:

$$\begin{bmatrix} y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Omega & -\operatorname{sen} \Omega \\ \operatorname{sen} \Omega & \cos \Omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{\Omega} \\ z_{\Omega} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} y' \\ z' \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} y_{\Omega} \\ z_{\Omega} \end{bmatrix}$$

Despejando de la expresión anterior:

$$\begin{bmatrix} y_{\Omega} \\ z_{\Omega} \end{bmatrix} = [A]^{-1} \begin{bmatrix} y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Omega & \operatorname{sen} \Omega \\ -\operatorname{sen} \Omega & \cos \Omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y' \\ z' \end{bmatrix}$$

Las coordenadas del nuevo sistema de coordenadas una vez realizado el giro Ω son:

$$\begin{aligned} x_{\Omega} &= x' \\ y_{\Omega} &= y' \cos \Omega + z' \operatorname{sen} \Omega \\ z_{\Omega} &= -y' \operatorname{sen} \Omega + z' \cos \Omega \end{aligned}$$

Expresado estas en forma matricial, tendremos:

$$\begin{bmatrix} x_{\Omega} \\ y_{\Omega} \\ z_{\Omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Omega & \operatorname{sen} \Omega \\ 0 & -\operatorname{sen} \Omega & \cos \Omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$$

Una vez finalizado el cálculo de la primera rotación continuamos con la segunda (Φ). Si giramos el sistema $(x_\Omega, y_\Omega, z_\Omega)$ la cantidad Φ , este pasará (Fig. 33) a ser el nuevo sistema de coordenadas tridimensional (x_Φ, y_Φ, z_Φ) .

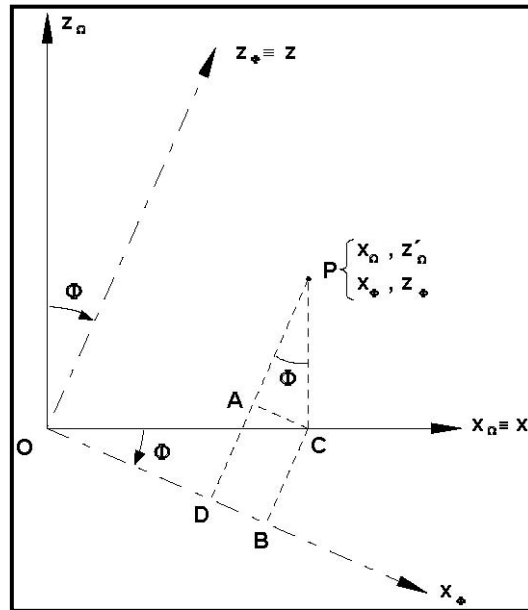


Figura 8. Giro en el eje Y.

De la figura 8 se deducen las expresiones:

$$\begin{aligned} \overline{OD} &= \overline{OB} - \overline{DB} = \overline{OB} - \overline{AC} & \overline{PD} &= \overline{PA} + \overline{AD} = \overline{PA} + \overline{CB} \\ \overline{OD} &= \overline{OC} \cos\Phi - \overline{PC} \operatorname{sen}\Phi & \overline{PD} &= \overline{PC} \cos\Phi + \overline{OC} \operatorname{sen}\Phi \\ x_\Phi &= x_\Omega \cos\Phi - z_\Omega \operatorname{sen}\Phi & z_\Phi &= z_\Omega \cos\Phi + x_\Omega \operatorname{sen}\Phi \end{aligned}$$

Las nuevas coordenadas del punto P que se obtienen una vez efectuado el giro son:

$$\begin{aligned} x_\Phi &= x_\Omega \cos\Phi - z_\Omega \operatorname{sen}\Phi \\ y_\Phi &= y_\Omega \\ z_\Phi &= z_\Omega \cos\Phi + x_\Omega \operatorname{sen}\Phi \end{aligned}$$

Expresado en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} x_\Phi \\ y_\Phi \\ z_\Phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Phi & 0 & -\operatorname{sen}\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \operatorname{sen}\Phi & 0 & \cos\Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\Omega \\ y_\Omega \\ z_\Omega \end{bmatrix}$$

Para terminar con la matriz de rotación vamos con esta última rotación alrededor del eje z_Φ convertirá las coordenadas (x_Φ, y_Φ, z_Φ) en (x_K, y_K, z_K) que a su vez coincidirán con las del sistema (x, y, z) .

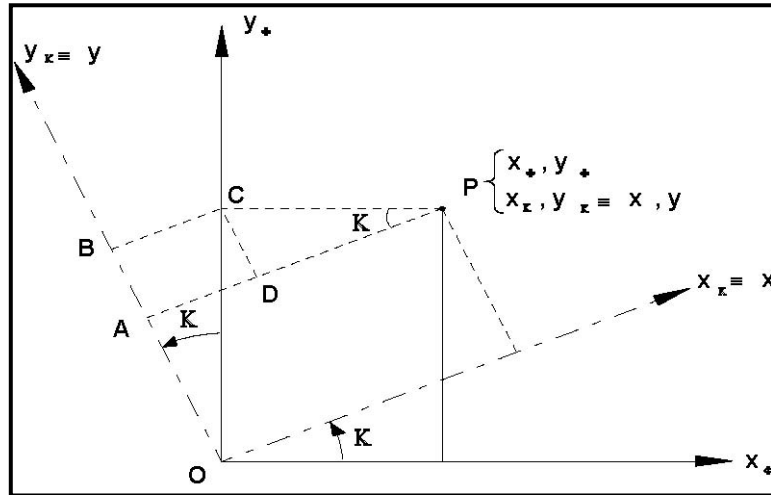


Figura 9. Giro del eje Z

De la figura 34 se deducen las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \overline{PA} &= \overline{AD} + \overline{DP} = \overline{BC} + \overline{DP} & \overline{OA} &= \overline{OB} - \overline{AB} = \overline{OB} - \overline{CD} \\ \overline{PA} &= \overline{OC} \operatorname{sen} K + \overline{CP} \operatorname{cos} K & \overline{OA} &= \overline{OC} \operatorname{cos} K - \overline{CP} \operatorname{sen} K \\ y_K &= y_\phi \operatorname{sen} K + x_\phi \operatorname{cos} K & z_K &= y_\phi \operatorname{cos} K - x_\phi \operatorname{sen} K \end{aligned}$$

En el nuevo sistema girado el punto P tiene las siguientes coordenadas:

$$\begin{aligned} x_K &\equiv X = x_\phi \operatorname{cos} K + y_\phi \operatorname{sen} K \\ y_K &\equiv Y = -x_\phi \operatorname{sen} K + y_\phi \operatorname{cos} K \\ z_K &\equiv Z = z_\phi \end{aligned}$$

Expresando esta en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} x_K \\ y_K \\ z_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{cos} K & \operatorname{sen} K & 0 \\ -\operatorname{sen} K & \operatorname{cos} K & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\phi \\ y_\phi \\ z_\phi \end{bmatrix}$$

Sustituyendo cada una de las rotaciones obtenidas anteriormente llegamos a:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{cos} K & \operatorname{sen} K & 0 \\ -\operatorname{sen} K & \operatorname{cos} K & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \operatorname{cos} \Phi & 0 & -\operatorname{sen} \Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \operatorname{sen} \Phi & 0 & \operatorname{cos} \Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \operatorname{cos} \Omega & \operatorname{sen} \Omega \\ 0 & -\operatorname{sen} \Omega & \operatorname{cos} \Omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$$

Llamando R_K, R_Φ, R_Ω a las matrices de rotación de los giros K, Φ, Ω .

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_K R_\Phi R_\Omega \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \text{ Siendo, } R = R_K R_\Phi R_\Omega$$

Desarrollando el producto de las tres matrices de rotación tendremos:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Phi \cos K & \cos \Omega \sin K + \sin \Omega \sin \Phi \cos K & \sin \Omega \sin K - \cos \Omega \sin \Phi \cos K \\ -\cos \Phi \sin K & \cos \Omega \cos K - \sin \Omega \sin \Phi \sin K & \sin \Omega \cos K + \cos \Omega \sin \Phi \sin K \\ \sin \Phi & -\sin \Omega \cos \Phi & \cos \Omega \cos \Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$$

La matriz de rotación R es una matriz ortogonal (ya que está formada por tres matrices ortogonales), por tanto la matriz inversa igual a la traspuesta.

$$\mathbf{R}^{-1} = \mathbf{R}^T$$

Usando esta propiedad podremos escribir la expresión de coordenadas (x', y', z') en términos de coordenadas (x, y, z), llegando a:

$$\mathbf{X}' = \mathbf{R}^T \mathbf{X}$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \mathbf{R}^T \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Dónde:

$$\begin{array}{lll} a_{11} = \cos \Phi \cos K & a_{12} = -\cos \Phi \sin K & a_{13} = \sin \Phi \\ a_{21} = \cos \Omega \sin K + \sin \Omega \sin \Phi \cos K & a_{22} = \cos \Omega \cos K - \sin \Omega \sin \Phi \sin K & a_{23} = -\sin \Omega \cos \Phi \\ a_{31} = \sin \Omega \sin K - \cos \Omega \sin \Phi \cos K & a_{32} = \sin \Omega \cos K + \cos \Omega \sin \Phi \sin K & a_{33} = \cos \Omega \cos \Phi \end{array}$$

Si considerando el caso más completo o general de la transformación de semejanza tridimensional, ejes girados, trasladados y con diferentes unidades de medida, la expresión final resultante sería:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}$$

Los elementos de la matriz de rotación $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{33}$ no son lineales, es decir, vienen expresados en función del seno y coseno de los ángulos de rotación. Como ya hemos comentado anteriormente para resolver este sistema de ecuaciones vamos a emplear el método de los mínimos cuadrados, este método implica que las ecuaciones sean lineales, por tanto debemos buscar la metodología adecuada que permita la linealización de esas ecuaciones.

Para linealizar una relación de observación que no es lineal, se debe partir de unos valores conocidos y suficientemente aproximados, por tanto, lo que hacemos es considerar los giros Φ , Ω , ya que los giros que se pueden producir longitudinal y transversalmente no son muy grandes y no supone alejarse de la realidad en el caso normal de la fotogrametría. Sin embargo, el giro entorno al eje Z puede tener cualquier valor entre 0° y 400° , por tanto, tendremos que calcular un mismo acimut en los dos sistema y el valor de la resta de esos acimuts será el valor del giro κ .

Otra de las consecuencias de la linealización es que la matriz A ya no es ortogonal, ya que los valores que han tomado los senos y los cósenos son aproximados. Este hecho supone que su determinante no sea igual a la unidad.

Por estos motivos, al aplicar esta transformación al modelo instrumental surgirán en él deformaciones inevitables, tanto mayores cuanto más se aleje de los supuestos teóricos considerados para la linealización. Este hecho supone que la solución venga dada por un procedimiento iterativo.

Por tanto, partiendo de la expresión general anteriormente deducida donde los coeficientes de la matriz de rotación vienen dados por los valores:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \cos \Phi \cos K & a_{12} &= -\cos \Phi \sin K & a_{13} &= \sin \Phi \\ a_{21} &= \cos \Omega \sin K + \sin \Omega \sin \Phi \cos K & a_{22} &= \cos \Omega \cos K - \sin \Omega \sin \Phi \sin K & a_{23} &= -\sin \Omega \cos \Phi \\ a_{31} &= \sin \Omega \sin K - \cos \Omega \sin \Phi \cos K & a_{32} &= \sin \Omega \cos K + \cos \Omega \sin \Phi \sin K & a_{33} &= \cos \Omega \cos \Phi \end{aligned}$$

$$X_p = (X_p)_0 + \left(\frac{\partial X_p}{\partial \lambda}\right)_0 d\lambda + \left(\frac{\partial X_p}{\partial \Omega}\right)_0 d\Omega + \left(\frac{\partial X_p}{\partial \Phi}\right)_0 d\Phi + \left(\frac{\partial X_p}{\partial K}\right)_0 dK + \left(\frac{\partial X_p}{\partial T_x}\right)_0 dT_x + \left(\frac{\partial X_p}{\partial T_y}\right)_0 dT_y + \left(\frac{\partial X_p}{\partial T_z}\right)_0 dT_z$$

$$Y_p = (Y_p)_0 + \left(\frac{\partial Y_p}{\partial \lambda}\right)_0 d\lambda + \left(\frac{\partial Y_p}{\partial \Omega}\right)_0 d\Omega + \left(\frac{\partial Y_p}{\partial \Phi}\right)_0 d\Phi + \left(\frac{\partial Y_p}{\partial K}\right)_0 dK + \left(\frac{\partial Y_p}{\partial T_x}\right)_0 dT_x + \left(\frac{\partial Y_p}{\partial T_y}\right)_0 dT_y + \left(\frac{\partial Y_p}{\partial T_z}\right)_0 dT_z$$

$$Z_p = (Z_p)_0 + \left(\frac{\partial Z_p}{\partial \lambda}\right)_0 d\lambda + \left(\frac{\partial Z_p}{\partial \Omega}\right)_0 d\Omega + \left(\frac{\partial Z_p}{\partial \Phi}\right)_0 d\Phi + \left(\frac{\partial Z_p}{\partial K}\right)_0 dK + \left(\frac{\partial Z_p}{\partial T_x}\right)_0 dT_x + \left(\frac{\partial Z_p}{\partial T_y}\right)_0 dT_y + \left(\frac{\partial Z_p}{\partial T_z}\right)_0 dT_z$$

Dónde:

$(X_p)_0$, $(Y_p)_0$, $(Z_p)_0$ son los valores obtenidos en la expresión general para los valores aproximados de los parámetros (p.e., $\Omega=0$, $\Phi=0$, $K=$ dif. Azimut)

$$\left(\frac{\partial X_p}{\partial \lambda}\right)_0, \left(\frac{\partial X_p}{\partial \Omega}\right)_0, \dots, \left(\frac{\partial Z_p}{\partial T_z}\right)_0 \text{ on las derivadas parciales de la función}$$

Con respecto a los parámetros desconocidos, evaluados para la aproximación estimada.

Los valores de las derivadas parciales son respectivamente:

$$\frac{\partial X}{\partial \lambda} = x a_{11} + y a_{12} + z a_{13} = r_{11}$$

$$\frac{\partial X}{\partial \Omega} = 0 = r_{12}$$

$$\frac{\partial X}{\partial \Phi} = \lambda [-x (\text{sen } \Phi \cos K) + y (\text{sen } \Phi \text{sen } K) + z \cos \Phi] = r_{13}$$

$$\frac{\partial X}{\partial K} = \lambda [-x (\cos \Phi \text{sen } K) - y (\cos \Phi \cos K)] = \lambda [x a_{12} - y a_{11}] = r_{14}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial \lambda} = x a_{21} + y a_{22} + z a_{23} = r_{21}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Y}{\partial \Omega} &= \lambda [x (-\text{sen } \Omega \text{sen } K + \cos \Omega \text{sen } \Phi \cos K) + y (-\text{sen } \Omega \cos K - \cos \Omega \text{sen } \Phi \text{sen } K) + z (-\cos \Omega \cos \Phi)] = \\ &= -\lambda (x a_{31} + y a_{32} + z a_{33}) = r_{22} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial \Phi} = \lambda [x (\text{sen } \Omega \cos \Phi \cos K) + y (-\text{sen } \Omega \cos \Phi \text{sen } K) + z (\text{sen } \Omega \text{sen } \Phi)] = r_{23}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial K} = \lambda [x (\cos \Omega \cos K - \text{sen } \Omega \text{sen } \Phi \text{sen } K) + y (-\cos \Omega \text{sen } K - \text{sen } \Omega \text{sen } \Phi \cos K)] = \lambda [x a_{22} - y a_{21}] = r_{24}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \lambda} = x a_{31} + y a_{32} + z a_{33} = r_{31}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial \Omega} &= \lambda [x (\cos \Omega \text{sen } K + \text{sen } \Omega \text{sen } \Phi \cos K) + y (\cos \Omega \cos K - \text{sen } \Omega \text{sen } \Phi \text{sen } K) + z (-\text{sen } \Omega \cos \Phi)] = \\ &= \lambda (x a_{21} + y a_{22} + z a_{23}) = r_{32} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \Phi} = \lambda [x (-\cos \Omega \cos \Phi \cos K) + y (\cos \Omega \cos \Phi \text{sen } K) + z (-\cos \Omega \text{sen } \Phi)] = r_{33}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial K} = \lambda [x (\text{sen } \Omega \cos K + \cos \Omega \text{sen } \Phi \text{sen } K) + y (-\text{sen } \Omega \text{sen } K + \cos \Omega \text{sen } \Phi \cos K)] = \lambda [x a_{32} - y a_{31}] = r_{34}$$

Una vez visto como se genera la matriz de rotación y viendo cómo se linealizan los valores angulares, que es el proceso más complicado, se van a recordar las incógnitas a determinar:

- Tres giros (Ω , Φ , K).
- Tres desplazamientos (T_x , T_y , T_z).
- Factor de escala (λ)

Para determinar estas siete incógnitas bastará conocer las coordenadas de dos puntos en sistema de referencia (X , Y , Z) y en el sistema arbitrario (x , y , z), así como la altitud de un tercer punto en ambos sistemas (Z) y (z).

Al determinar los siete parámetros con este número de puntos mencionados, no se tendría comprobación de los resultados, por eso normalmente y para este tipo de transformación se emplean un número de puntos $n \geq 3$.

Una vez linealizada la matriz de rotación se continuará con el cálculo, el siguiente paso es obtener las coordenadas del centroide, para ello, partiendo de la expresión general y conociendo las coordenadas en ambos sistemas de una serie de puntos, se podrán determinar las coordenadas del centroide.

$$P_i \quad (x_i, y_i, z_i) \quad (X_i, Y_i, Z_i) \quad i = 1, 2, 3, n \quad (n \geq 3)$$

X_1	Y_1	Z_1	x_1	y_1	z_1
X_2	Y_2	Z_2	x_2	y_2	z_2
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
X_n	Y_n	Z_n	x_n	y_n	z_n
$\sum_{i=1}^n X_i$	$\sum_{i=1}^n Y_i$	$\sum_{i=1}^n Z_i$	$\sum_{i=1}^n x_i$	$\sum_{i=1}^n y_i$	$\sum_{i=1}^n z_i$

$$X_G = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad Y_G = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad Z_G = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n} \quad x_G = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad y_G = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad z_G = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n}$$

Resultando las coordenadas de **n** puntos en los dos sistemas, con origen el centro de gravedad:

$X'_1 = X_1 - X_G$	$Y'_1 = Y_1 - Y_G$	$Z'_1 = Z_1 - Z_G$	$x'_1 = x_1 - x_G$	$y'_1 = y_1 - y_G$	$z'_1 = z_1 - z_G$
$X'_2 = X_2 - X_G$	$Y'_2 = Y_2 - Y_G$	$Z'_2 = Z_2 - Z_G$	$x'_2 = x_2 - x_G$	$y'_2 = y_2 - y_G$	$z'_2 = z_2 - z_G$
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
$X'_n = X_n - X_G$	$Y'_n = Y_n - Y_G$	$Z'_n = Z_n - Z_G$	$x'_n = x_n - x_G$	$y'_n = y_n - y_G$	$z'_n = z_n - z_G$
$\sum_{i=1}^n X'_i = 0$	$\sum_{i=1}^n Y'_i = 0$	$\sum_{i=1}^n Z'_i = 0$	$\sum_{i=1}^n x'_i = 0$	$\sum_{i=1}^n y'_i = 0$	$\sum_{i=1}^n z'_i = 0$

Al referir las coordenadas de ambos sistemas a sus respectivos centroides se ha conseguido eliminar las traslaciones, quedando las ecuaciones de la expresión general reducidas a la expresión siguiente:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$$

El sistema de ecuaciones linealizadas para los “n” puntos será de la forma:

Pto 1:

$$r_{11}^1 d\lambda + r_{12}^1 d\Omega + r_{13}^1 d\Phi + r_{14}^1 dK = X'_1 - (X'_1)_0$$

$$r_{21}^1 d\lambda + r_{22}^1 d\Omega + r_{23}^1 d\Phi + r_{24}^1 dK = Y'_1 - (Y'_1)_0$$

$$r_{31}^1 d\lambda + r_{32}^1 d\Omega + r_{33}^1 d\Phi + r_{34}^1 dK = Z'_1 - (Z'_1)_0$$

Pto 2:

$$r_{11}^2 d\lambda + r_{12}^2 d\Omega + r_{13}^2 d\Phi + r_{14}^2 dK = X'_2 - (X'_2)_0$$

$$r_{21}^2 d\lambda + r_{22}^2 d\Omega + r_{23}^2 d\Phi + r_{24}^2 dK = Y'_2 - (Y'_2)_0$$

$$r_{31}^2 d\lambda + r_{32}^2 d\Omega + r_{33}^2 d\Phi + r_{34}^2 dK = Z'_2 - (Z'_2)_0$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

Pto n:

$$r_{11}^n d\lambda + r_{12}^n d\Omega + r_{13}^n d\Phi + r_{14}^n dK = X'_n - (X'_n)_0$$

$$r_{21}^n d\lambda + r_{22}^n d\Omega + r_{23}^n d\Phi + r_{24}^n dK = Y'_n - (Y'_n)_0$$

$$r_{31}^n d\lambda + r_{32}^n d\Omega + r_{33}^n d\Phi + r_{34}^n dK = Z'_n - (Z'_n)_0$$

Dónde:

$$\left(\frac{\partial X'}{\partial T_x}\right), \left(\frac{\partial X'}{\partial T_y}\right), \left(\frac{\partial X'}{\partial T_z}\right), \left(\frac{\partial Y'}{\partial T_x}\right), \dots, \left(\frac{\partial Z'}{\partial T_z}\right) = 0$$

$$r_{11} = \left(\frac{\partial X'}{\partial \lambda}\right), r_{12} = \left(\frac{\partial X'}{\partial \Omega}\right), \dots, r_{34} = \left(\frac{\partial Z'}{\partial K}\right)$$

Los parámetros introducidos para el cálculo son valores de la primera aproximación:

Giros (pueden obtenerse) a partir de:

$$\Omega_a = 0; \Phi_a = 0; K_a = 0$$

$$\left. \begin{matrix} \alpha = \arctg\left(\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\right) \\ \beta = \arctg\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right) \end{matrix} \right\} \Rightarrow K_a = (\alpha - \beta), \Omega_a = 0; \Phi_a = 0$$

El factor de escala se puede calcular:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (d_i^j D_i^j)}{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (d_i^j)^2}$$

Expresando el sistema de ecuaciones para n puntos en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{r}_{11}^1 & \mathbf{r}_{12}^1 & \mathbf{r}_{13}^1 & \mathbf{r}_{14}^1 \\ \mathbf{r}_{21}^1 & \mathbf{r}_{22}^1 & \mathbf{r}_{23}^1 & \mathbf{r}_{24}^1 \\ \mathbf{r}_{31}^1 & \mathbf{r}_{32}^1 & \mathbf{r}_{33}^1 & \mathbf{r}_{34}^1 \\ \mathbf{r}_{11}^2 & \mathbf{r}_{12}^2 & \mathbf{r}_{13}^2 & \mathbf{r}_{14}^2 \\ \mathbf{r}_{21}^2 & \mathbf{r}_{22}^2 & \mathbf{r}_{23}^2 & \mathbf{r}_{24}^2 \\ \mathbf{r}_{31}^2 & \mathbf{r}_{32}^2 & \mathbf{r}_{33}^2 & \mathbf{r}_{34}^2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mathbf{r}_{11}^n & \mathbf{r}_{12}^n & \mathbf{r}_{13}^n & \mathbf{r}_{14}^n \\ \mathbf{r}_{21}^n & \mathbf{r}_{22}^n & \mathbf{r}_{23}^n & \mathbf{r}_{24}^n \\ \mathbf{r}_{31}^n & \mathbf{r}_{32}^n & \mathbf{r}_{33}^n & \mathbf{r}_{34}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\lambda \\ d\Omega \\ d\Phi \\ dK \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{X}'_1 - (\mathbf{X}'_1)_0 \\ \mathbf{Y}'_1 - (\mathbf{Y}'_1)_0 \\ \mathbf{Z}'_1 - (\mathbf{Z}'_1)_0 \\ \mathbf{X}'_2 - (\mathbf{X}'_2)_0 \\ \mathbf{Y}'_2 - (\mathbf{Y}'_2)_0 \\ \mathbf{Z}'_2 - (\mathbf{Z}'_2)_0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{X}'_n - (\mathbf{X}'_n)_0 \\ \mathbf{Y}'_n - (\mathbf{Y}'_n)_0 \\ \mathbf{Z}'_n - (\mathbf{Z}'_n)_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{X_1} \\ \mathbf{V}_{Y_1} \\ \mathbf{V}_{Z_1} \\ \mathbf{V}_{X_2} \\ \mathbf{V}_{Y_2} \\ \mathbf{V}_{Z_2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{V}_{X_n} \\ \mathbf{V}_{Y_n} \\ \mathbf{V}_{Z_n} \end{bmatrix}$$

$$[A] \quad [X] - [L] = [V]$$

$$(3n, 4) \quad (4,1) \quad (3n, 1) \quad (3n, 1)$$

Con esto ya se han generado las ecuaciones que se quieren resolver con sus incógnitas, ahora para dar una única solución a este sistema de ecuaciones se utilizarán los mínimos cuadrados y mediante un proceso iterativo se obtendrán las cuatro incógnitas (factor de escala y tres giros).

Para ello los criterios que se seguirán serán los siguientes:

- El valor máximo de cualquier residuo (V) será el mínimo posible.
- La suma cuadrática de los residuos será el mínimo.

Siguiendo los dos criterios anteriormente comentados se tendrá que:

$$[V] = [A]*[X]-[L]$$

$$[V]^t = [X]^t*[A]^t-[L]^t$$

$$[V]*[V]^t = ([X]^t*[A]^t-[L]^t)*([A]*[X]-[L])$$

$$[V]*[V]^t = ([X]^t*[A]^t*[A]*[X]) - ([X]^t*[A]^t*[L]) - ([L]^t*[A]*[X]) + ([L]^t*[L])$$

$$[V]*[V]^t = ([X]^t*[A]^t*[A]*[X]) - ([X]^t*[A]^t*[L]) - ([X]^t*[A]^t*[L])^t + ([L]^t*[L])$$

$$[V]*[V]^t = ([X]^t*[A]^t*[A]*[X]) - (2*[X]^t*[A]^t*[L]) + ([L]^t*[L])$$

$$d([V]*[V]^t) / dx = 0 = 2*[A]^t*[A]*[X] - 2*[A]^t*[L]$$

$$[X] = ([A]^t*[A])^{-1} * ([A]^t*[L])$$

La matriz A y la matriz L ya están generadas, por tanto, resolviendo la ecuación que anterior se puede obtener la matriz X, que son los valores de las diferenciales de las incógnitas, sumando los resultados obtenidos en la matriz X a los valores iniciales de los mismos, se obtendrán los nuevos resultados de las incógnitas. Como se han utilizado valores aproximados de las incógnitas para el primer cálculo se tendrá que realizar un proceso iterativo hasta que las diferenciales de las mismas sean 0 o muy parecidas a la iteración anterior.

Una vez hecho esto solo faltará obtener los valores de las translaciones que se calcularán con las siguientes formulas:

$$T_x = \frac{\sum_{i=1}^n X_i - \lambda \left(a_{11} \sum_{i=1}^n x_i + a_{12} \sum_{i=1}^n y_i + a_{13} \sum_{i=1}^n z_i \right)}{n}$$

$$T_y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \lambda \left(a_{21} \sum_{i=1}^n x_i + a_{22} \sum_{i=1}^n y_i + a_{23} \sum_{i=1}^n z_i \right)}{n}$$

$$T_z = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i - \lambda \left(a_{31} \sum_{i=1}^n x_i + a_{32} \sum_{i=1}^n y_i + a_{33} \sum_{i=1}^n z_i \right)}{n}$$

Con esto se da por terminado el cálculo del Helmert 3D. Ahora quedaría calcular la precisión obtenida en dicha transformación.

Para cada punto P_i ($i=1, 2, 3, \dots, n; n \geq 3$) de posición conocida en ambos sistemas que van a intervenir en la resolución de los parámetros de la transformación tridimensional de coordenadas, pueden escribirse tres ecuaciones que relacionan:

Las coordenadas del sistema de referencia; datos (X, Y).

Las coordenadas medidas en el sistema arbitrario (x, y).

Los parámetros a determinar indirectamente ($\lambda, \Omega, \Phi, K, T_x, T_y, T_z$).

Resueltos los parámetros de la transformación e introduciéndolos en las ecuaciones generales así como los puntos utilizados en la determinación de las incógnitas P_i , (X_i, Y_i, Z_i) , (x_i, y_i, z_i) , $(i=1, 2, \dots, n; n \geq 3)$ que han servido para su determinación, se obtendrán unos nuevos valores del sistema de referencia (X_i^c, Y_i^c, Z_i^c) , que no coincidirán con los datos de partida (supuestos estos sin error). Pueden determinarse fácilmente los residuos de la transformación, restando a estos valores, que se llamarán los calculados en la transformación a los de partida, resultando:

$$V_x = X_i^c - X_i \quad V_y = Y_i^c - Y_i \quad V_z = Z_i^c - Z_i$$

El error medio cuadrático de las coordenadas, puede obtenerse de la expresión:

$$\sigma_{xyz} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{x_i}^2 + V_{y_i}^2 + V_{z_i}^2)}{l - m}}$$

dónde:

- $\sum_{i=1}^n (V_{x_i}^2 + V_{y_i}^2 + V_{z_i}^2)$ suma de los residuos (en X, Y, Z) al cuadrado de todos los puntos que han intervenido en el cálculo de los parámetros.
- l es el número de relaciones de observación (número de ecuaciones) que intervienen en el proceso de cálculo de los parámetros, es decir, $l = 3n$.
- m, es el número de relaciones de observación mínimas que se necesitan para resolver los parámetros, en esta transformación $m=7$.

Por tanto:

$$\sigma_{xyz} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{x_i}^2 + V_{y_i}^2 + V_{z_i}^2)}{3n - 7}}$$

Tipología De Los Ángulos

El tipo de ángulo que se utiliza en el programa es el centesimal (c). El grado centesimal, también llamado gon se obtiene al dividir un ángulo recto en cien unidades. La circunferencia se divide así, en 400 grados centesimales. Un grado centesimal equivale a nueve décimos de grado sexagesimal. Se representa como una "g" minúscula en superíndice colocada tras la cifra.

Sus divisores son:

- 1 grado centesimal = 100 minutos centesimales
- 1 minuto centesimal = 100 segundos centesimales

Hay que tener en cuenta, que en Visual Basic cuando se hacen cálculos con ángulos, se tienen que realizar en radianes. Es esta la razón por la cual cuando se hagan alguno de esos cálculos se hará la transformación de grados centesimales (^{cc}) a radianes. Para ello hay que tener en cuenta la siguiente relación:

$$2\pi \text{ rad} = 400^{\text{g}}$$

Tipos De Fichero

Una vez visto cómo funciona el programa y las unidades que en las que trabaja, se van a describir los ficheros que necesita, tanto de entrada como de salida, para realizar todas las operaciones y obtener los resultados deseados.

➤ Fichero 1

El fichero 1 se le llama al fichero que contiene las coordenadas de los puntos que definen el sistema final, es decir, al sistema que se quiere pasar la nube de puntos que se han capturado en campo.

Este fichero está formado por número de punto, coordenada X, coordenada Y, coordenada Z y comentario, son los campos más comunes que tiene un fichero de puntos de topografía.

Estos campos tienen que estar separados por tabulador y el comentario tiene que estar entre comillas dobles.

NºPunto	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z	Código
---------	----------	----------	----------	--------

NºPunto	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z	Código
1	1000	602414.029	4670473.870	342.066
2	1001	602429.499	4670487.366	337.681
3	1002	602412.540	4670451.816	337.889

Figura 10. Estructura del fichero 1.

➤ Fichero 2

Fichero 2 se le llama al fichero que contiene las coordenadas de los puntos que definen el sistema origen, es decir, al sistema en el que se ha obtenido la nube de puntos que se han capturado en campo.

Transformación Tridimensional De Semejanzas (Helmert 3d) Método De Centroide.

Este fichero está formado por número de punto, coordenada X, coordenada Y, coordenada Z y comentario, son los campos más comunes que tiene un fichero de puntos de topografía.

Estos campos tienen que estar separados por tabulador y el comentario tiene que estar entre comillas dobles.

NºPunto Coord. X Coord. Y Coord. Z Código

NºPunto	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z	Código
1	1000	1008.143	2018.865	504.415
2	1001	1000.000	2000.000	500.000
3	1002	1000.000	2039.411	500.449

Figura 11. Estructura del fichero 2.

➤ Fichero De Salida

El fichero de salida, es el fichero que imprime el programa con todos los valores de las matrices e incógnitas que ha calculado, el fichero estará en formato ASCII y el usuario decide donde quiere que se cree este fichero y su nombre.

El formato de grabación es el que se puede ver a continuación:

```

-----
                        Datos de Partida
-----
COORDENADAS DESTINO
-----
X                Y                Z
-----
602414,029  4670473,87  342,066
602429,499  4670487,366  337,681
602412,54   4670451,816  337,889
-----
COORDENADAS LOCALES
-----
X                Y                Z
-----
1008,143    2018,865    504,415
1000        2000        500
1000        2039,411    500,449
-----
                        ITERACIÓN NÚMERO=1
-----
-----
                        MATRIZ ROTACIÓN
    
```

Documentación Geométrica del Ninfeo y su Entorno (Alfaro, La Rioja)
 Transformación Tridimensional De Semejanzas (Helmert 3d) Método De Centroide.

```
-----
-0,902560487160476  -0,430563081344237  0,0000000000000000
0,430563081344237  -0,902560487160476  0,0000000000000000
0,0000000000000000  0,0000000000000000  1,0000000000000000
-----
```

VALOR INICIAL DE LAS INCOGNITAS

```
-----
FACTOR ESCALA      OMEGA      FI      KAPPA
-----
0,99977793      0,00000000      0,00000000      2,69647610
-----
```

MATRIZ A

```
-----
-4,658441185  0,000000000  2,793046272  -2,842486797
2,843118174  -2,793046272  0,000000000  -4,657406676
2,793666667  2,842486797  4,657406676  0,000000000
10,813681392  0,000000000  -1,620973281  -16,360212642
16,363846593  1,620973281  0,000000000  10,811279977
-1,621333333  16,360212642  -10,811279977  0,000000000
-6,155240207  0,000000000  -1,172072991  19,202699439
-19,206964767  1,172072991  0,000000000  -6,153873301
-1,172333333  -19,202699439  6,153873301  0,000000000
-----
```

RESULTADOS

```
-----
Dif. Escala      Dif. Omega      Dif.fi      Dif. Kappa
-0,00001998      2,84311817      2,793666667  -0,00007157
-----
```

ITERACIÓN NÚMERO=2

MATRIZ ROTACIÓN

```
-----
-0,902529523322094  -0,430627605497592  -0,000570013512647
0,430623044042885  -0,902512042419014  -0,005983914095202
0,003091284332335  0,002331380236371  0,999981933765154
-----
```

VALOR INICIAL DE LAS INCOGNITAS

```
-----
FACTOR ESCALA      OMEGA      FI      KAPPA
-----
0,99975795      0,00598395      -0,000570014  2,69640453
-----
```

MATRIZ A

```
-----
-4,659829365  0,000000000  2,790335386  -2,842762842
-----
```

Documentación Geométrica del Ninfeo y su Entorno (Alfaro, La Rioja)

Transformación Tridimensional De Semejanzas (Helmert 3d) Método De Centroide.

2,826699485	-2,807296282	-0,027877274	-4,657017084
2,807975957	2,826015278	4,658618038	-0,028155943
10,815774931	0,000000000	-1,614777504	-16,359109263
16,372444698	1,516857057	0,064705013	10,812096973
-1,517224303	16,368481722	-10,812963359	0,054708650
-6,155945566	0,000000000	-1,175557882	19,201872105
-19,199144183	1,290439226	-0,036827739	-6,155079889
-1,290751654	-19,194497000	6,154345321	-0,026552707

RESULTADOS

Dif. Escala	Dif. Omega	Dif.fi	Dif. Kappa
-0,00003022	2,82669948	2,807975957	-0,00015178

ITERACIÓN NÚMERO=3

MATRIZ ROTACIÓN

-0,902529523322094	-0,430627605497592	-0,000570013512647
0,430623044042885	-0,902512042419014	-0,005983914095202
0,003091284332335	0,002331380236371	0,999981933765154

VALOR INICIAL DE LAS INCOGNITAS

FACTOR ESCALA	OMEGA	FI	KAPPA
0,99975795	0,00598395	-0,000570014	2,69640453

MATRIZ A

-4,659829365	0,000000000	2,790335386	-2,842762842
2,826699485	-2,807296282	-0,027877274	-4,657017084
2,807975957	2,826015278	4,658618038	-0,028155943
10,815774931	0,000000000	-1,614777504	-16,359109263
16,372444698	1,516857057	0,064705013	10,812096973
-1,517224303	16,368481722	-10,812963359	0,054708650
-6,155945566	0,000000000	-1,175557882	19,201872105
-19,199144183	1,290439226	-0,036827739	-6,155079889
-1,290751654	-19,194497000	6,154345321	-0,026552707

RESULTADOS

Dif. Escala	Dif. Omega	Dif.fi	Dif. Kappa
-0,00003022	2,82669948	2,807975957	-0,00015178

RESULTADO DE LAS TRASLACIONES

TX	TY	TZ
604193,145	4671864,445	-170,085

Datos de Partida

COORDENADAS DESTINO

X	Y	Z
602414,029	4670473,87	342,066
602429,499	4670487,366	337,681
602412,54	4670451,816	337,889

COORDENADAS LOCALES

X	Y	Z
1008,143	2018,865	504,415
1000	2000	500
1000	2039,411	500,449

ITERACIÓN NÚMERO=1

MATRIZ ROTACIÓN

-0,902560487160476	-0,430563081344237	0,000000000000000
0,430563081344237	-0,902560487160476	0,000000000000000
0,000000000000000	0,000000000000000	1,000000000000000

VALOR INICIAL DE LAS INCOGNITAS

FACTOR ESCALA	OMEGA	FI	KAPPA
0,99977793	0,00000000	0,000000000	2,69647610

MATRIZ A

-4,658441185	0,000000000	2,793046272	-2,842486797
2,843118174	-2,793046272	0,000000000	-4,657406676
2,793666667	2,842486797	4,657406676	0,000000000
10,813681392	0,000000000	-1,620973281	-16,360212642
16,363846593	1,620973281	0,000000000	10,811279977
-1,621333333	16,360212642	-10,811279977	0,000000000
-6,155240207	0,000000000	-1,172072991	19,202699439
-19,206964767	1,172072991	0,000000000	-6,153873301
-1,172333333	-19,202699439	6,153873301	0,000000000

Documentación Geométrica del Ninfeo y su Entorno (Alfaro, La Rioja)
 Transformación Tridimensional De Semejanzas (Helmert 3d) Método De Centroide.

RESULTADOS

Dif. Escala	Dif. Omega	Dif.fi	Dif. Kappa
-0,00001998	2,84311817	2,793666667	-0,00007157

ITERACIÓN NÚMERO=2

MATRIZ ROTACIÓN

-0,902529523322094	-0,430627605497592	-0,000570013512647	
0,430623044042885	-0,902512042419014	-0,005983914095202	
0,003091284332335	0,002331380236371	0,999981933765154	

VALOR INICIAL DE LAS INCOGNITAS

FACTOR ESCALA	OMEGA	FI	KAPPA
0,99975795	0,00598395	-0,000570014	2,69640453

MATRIZ A

-4,659829365	0,000000000	2,790335386	-2,842762842
2,826699485	-2,807296282	-0,027877274	-4,657017084
2,807975957	2,826015278	4,658618038	-0,028155943
10,815774931	0,000000000	-1,614777504	-16,359109263
16,372444698	1,516857057	0,064705013	10,812096973
-1,517224303	16,368481722	-10,812963359	0,054708650
-6,155945566	0,000000000	-1,175557882	19,201872105
-19,199144183	1,290439226	-0,036827739	-6,155079889
-1,290751654	-19,194497000	6,154345321	-0,026552707

RESULTADOS

Dif. Escala	Dif. Omega	Dif.fi	Dif. Kappa
-0,00003022	2,82669948	2,807975957	-0,00015178

ITERACIÓN NÚMERO=3

MATRIZ ROTACIÓN

Documentación Geométrica del Ninfeo y su Entorno (Alfaro, La Rioja)

Transformación Tridimensional De Semejanzas (Helmert 3d) Método De Centroide.

-0,902529523322094 -0,430627605497592 -0,000570013512647
 0,430623044042885 -0,902512042419014 -0,005983914095202
 0,003091284332335 0,002331380236371 0,999981933765154

 VALOR INICIAL DE LAS INCOGNITAS

FACTOR ESCALA	OMEGA	FI	KAPPA
0,99975795	0,00598395	-0,000570014	2,69640453

 MATRIZ A

-4,659829365	0,000000000	2,790335386	-2,842762842
2,826699485	-2,807296282	-0,027877274	-4,657017084
2,807975957	2,826015278	4,658618038	-0,028155943
10,815774931	0,000000000	-1,614777504	-16,359109263
16,372444698	1,516857057	0,064705013	10,812096973
-1,517224303	16,368481722	-10,812963359	0,054708650
-6,155945566	0,000000000	-1,175557882	19,201872105
-19,199144183	1,290439226	-0,036827739	-6,155079889
-1,290751654	-19,194497000	6,154345321	-0,026552707

 RESULTADOS

Dif. Escala	Dif. Omega	Dif.fi	Dif. Kappa
-0,00003022	2,82669948	2,807975957	-0,00015178

 RESULTADO DE LAS TRASLACIONES

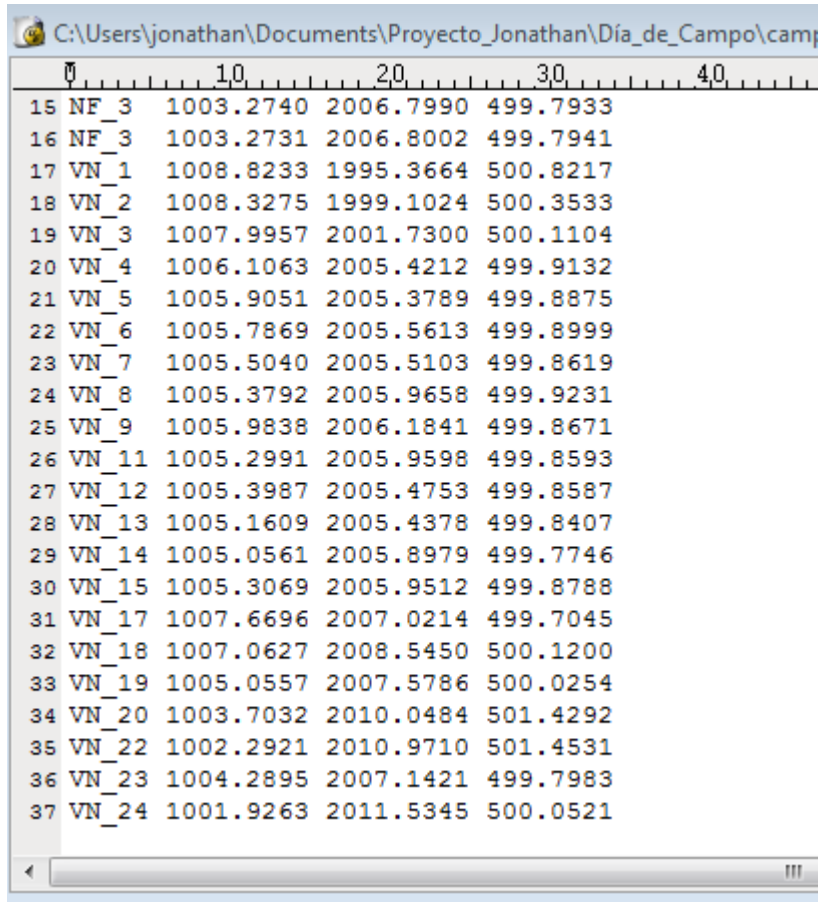
TX	TY	TZ
604193,145	4671864,445	-170,085

➤ Fichero Transformado

El objetivo del programa es transformar un listado de puntos de un sistema de coordenadas a otro, por tanto, el cálculo de los parámetros de transformación es un paso intermedio. Para finalizar, el programa nos pedirá que introduzcamos un fichero de puntos de entrada y que creamos otro de salida en el que almacenará los mismo puntos pero ya transformados.

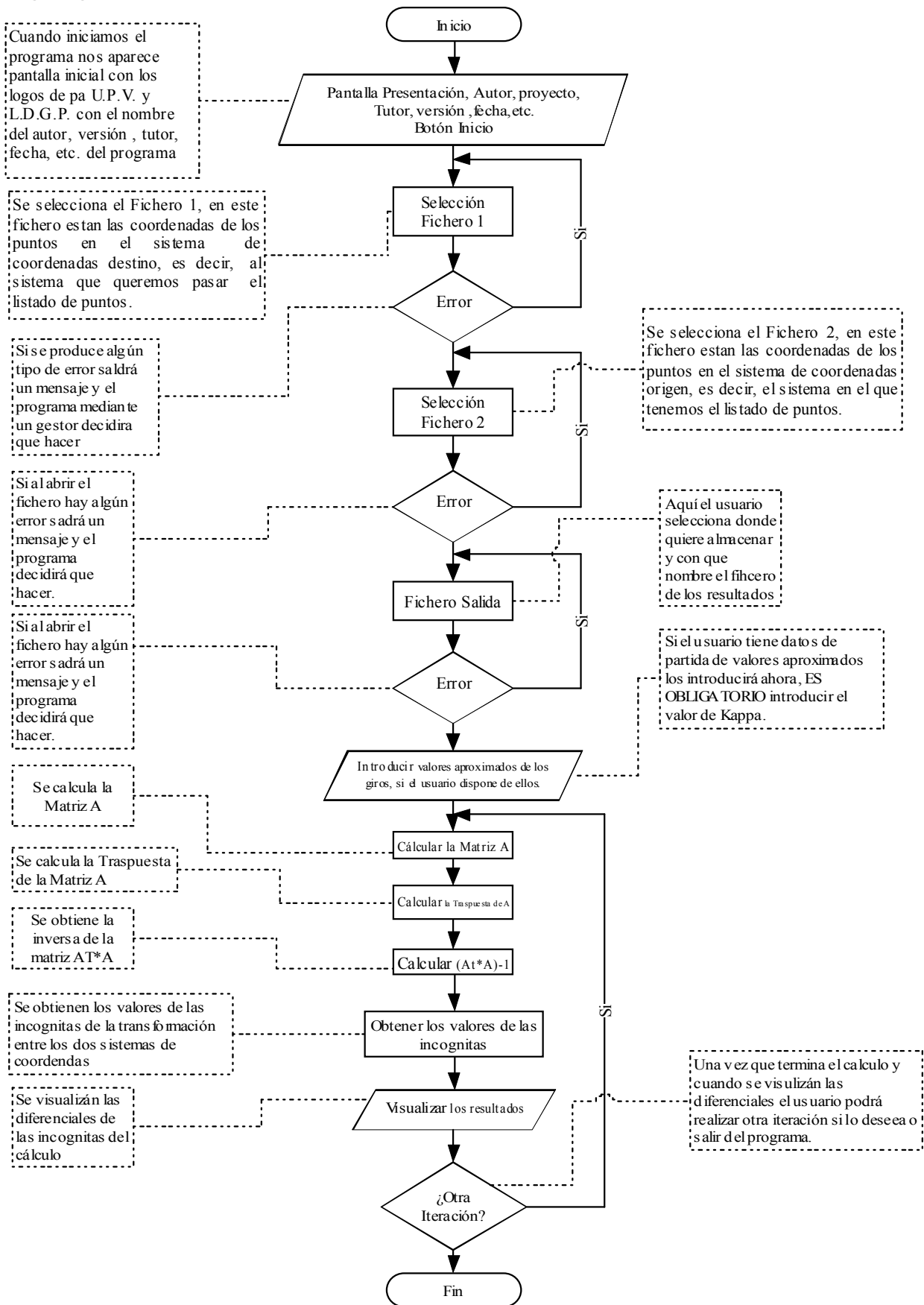
En este caso el formato del fichero de entrada a transformar será el mismo que los 2 anteriores con Número de puntos, coordenada X, coordenada Y, coordenadas Z y comentario. El formato del fichero de salida transformado será igual que el de entrada.

NºPunto	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z	Código
---------	----------	----------	----------	--------



		10	20	30	40
15	NF_3	1003.2740	2006.7990	499.7933	
16	NF_3	1003.2731	2006.8002	499.7941	
17	VN_1	1008.8233	1995.3664	500.8217	
18	VN_2	1008.3275	1999.1024	500.3533	
19	VN_3	1007.9957	2001.7300	500.1104	
20	VN_4	1006.1063	2005.4212	499.9132	
21	VN_5	1005.9051	2005.3789	499.8875	
22	VN_6	1005.7869	2005.5613	499.8999	
23	VN_7	1005.5040	2005.5103	499.8619	
24	VN_8	1005.3792	2005.9658	499.9231	
25	VN_9	1005.9838	2006.1841	499.8671	
26	VN_11	1005.2991	2005.9598	499.8593	
27	VN_12	1005.3987	2005.4753	499.8587	
28	VN_13	1005.1609	2005.4378	499.8407	
29	VN_14	1005.0561	2005.8979	499.7746	
30	VN_15	1005.3069	2005.9512	499.8788	
31	VN_17	1007.6696	2007.0214	499.7045	
32	VN_18	1007.0627	2008.5450	500.1200	
33	VN_19	1005.0557	2007.5786	500.0254	
34	VN_20	1003.7032	2010.0484	501.4292	
35	VN_22	1002.2921	2010.9710	501.4531	
36	VN_23	1004.2895	2007.1421	499.7983	
37	VN_24	1001.9263	2011.5345	500.0521	

Organigrama



ANEXO III

RESEÑAS



DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO. Alfaro (La Rioja)

Clavo n°: Clavo1	Coordenadas locales	Coordenadas U.T.M. ETRS-89
Fecha: Febrero 2011	X = 1007,330	X =602426,785
Localidad: Alfaro.	Y = 1991,101	Y =4670498,593
Provincia: La Rioja	Z = 500,345	Z =290,195

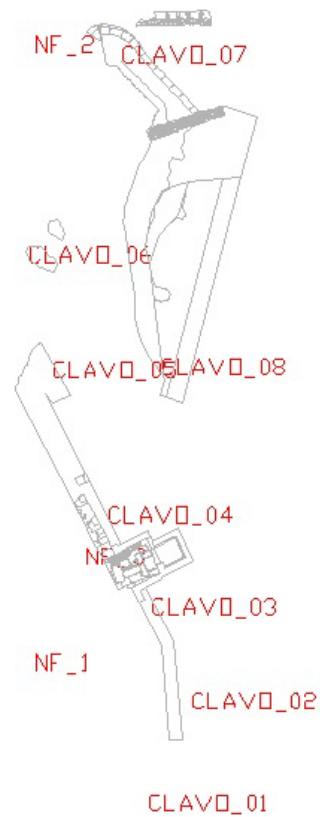
Huso 30

k = 0,99977369031310

Reseña Literal:

Clavo de acero insertado en la parte superior de la muralla, en el centro de un sillar que forma parte del lienzo interior.

RESEÑA GRÁFICA:





DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO Alfaro (La Rioja)

Clavo n°: Clavo2

Fecha: Febrero 2011

Localidad: Alfaro.

Provincia: La Rioja

Coordenadas locales **Coordenadas U.T.M.
ETRS-89**

X = 1010.077

X = 602421.450

Y = 1997.531

Y = 4670493.948

Z = 503.357

Z = 291.141

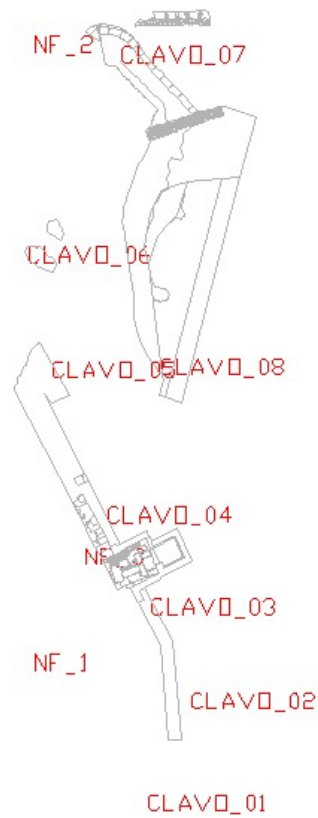
Huso 30

k = 0,99977369031310

Reseña Literal:

Clavo de acero con arandela situado encima del muro prefabricado.

RESEÑA GRÁFICA:





DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO. Alfaro (La Rioja)

Clavo nº: Clavo3	Coordenadas locales	Coordenadas U.T.M. ETRS-89
Fecha: Febrero 2011	X = 1007.510	X =602421.174
Localidad: Alfaro.	Y = 2003.445	Y =4670487.435
Provincia: La Rioja	Z = 504.177	Z =291.906

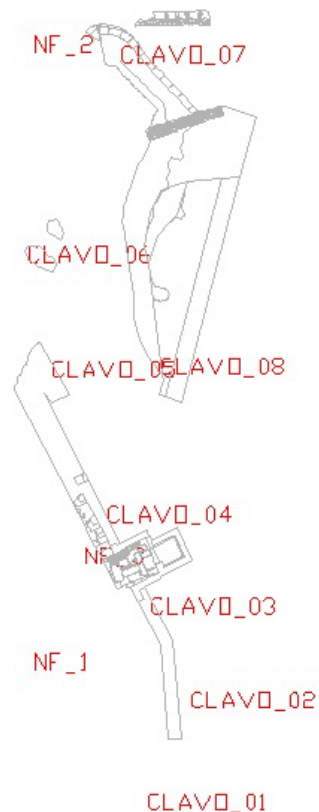
Huso 30

k = 0,99977369031310

Reseña Literal:

Clavo de acero con arandela insertado en la parte final del muro prefabricado con la intersección con el Ninfío.

RESEÑA GRÁFICA:





DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFTEO Y SU ENTORNO. Alfaro (La Rioja)

Clavo n°: Clavo4

Fecha: Febrero 2011

Localidad: Alfaro.

Provincia: La Rioja

Coordenadas locales **Coordenadas U.T.M.
ETRS-89**

X = 1004.697

X = 602421.173

Y = 2009.254

Y = 4670480.915

Z = 504.080

Z = 291.745

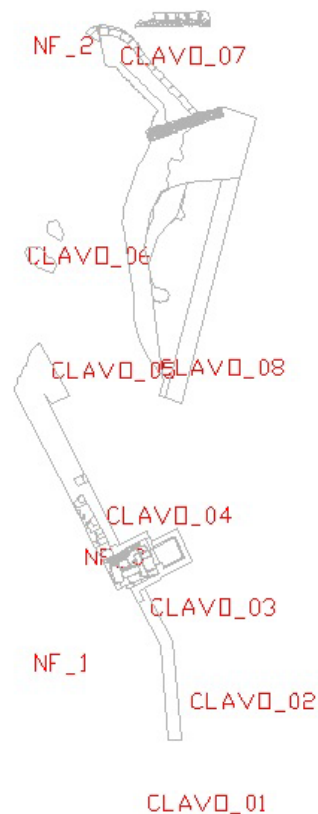
Huso 30

k = 0,99977369031310

Reseña Literal:

Clavo de acero con arandela situado en la parte superior del Ninfteo a la altura del arco de la fuente.

RESEÑA GRÁFICA:





DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO. Alfaro (La Rioja)

Clavo n°: Clavo5

Fecha: Febrero 2011

Localidad: Alfaro.

Provincia: La Rioja

Coordenadas locales **Coordenadas U.T.M.
ETRS-89**

X = 1001.143

X =602420.384

Y = 2018.411

Y =4670471.050

Z = 501.693

Z =289.233

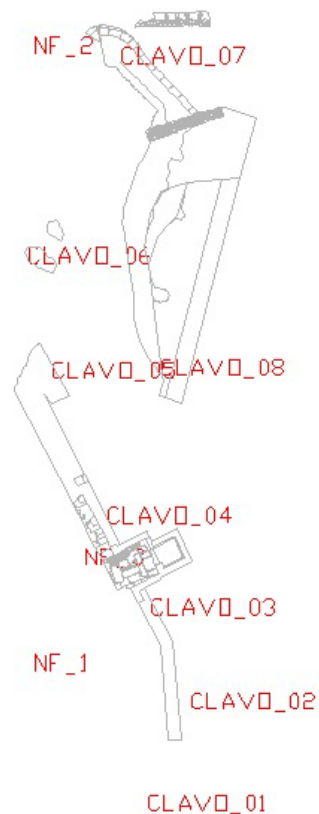
Huso 30

k = 0,99977369031310

Reseña Literal:

Clavo de acero con arandela situado al final del Ninfeo en la parte superior, siendo el inicio la parte del muro prefabricado.

RESEÑA GRÁFICA:





DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFECO Y SU ENTORNO. Alfaro (La Rioja)

Clavo n°: Clavo6	Coordenadas locales	Coordenadas U.T.M. ETRS-89
Fecha: Febrero 2011	X = 999.584	X =602418.612
Localidad: Alfaro.	Y = 2025.657	Y =4670463.781
Provincia: La Rioja	Z = 501.352	Z =288.809

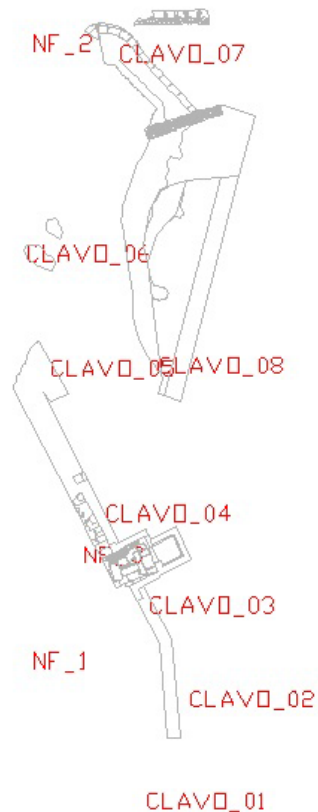
Huso 30

k = 0,99977369031310

Reseña Literal:

Clavo de acero con arandela situado en la parte superior del estribo del puente ya desaparecido.

RESEÑA GRÁFICA:





DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFTEO Y SU ENTORNO. Alfaro (La Rioja)

Clavo n°: Clavo7

Fecha: Febrero 2011

Localidad: Alfaro.

Provincia: La Rioja

Coordenadas locales **Coordenadas U.T.M.
ETRS-89**

X = 1005.508

X =602407.652

Y = 2038.304

Y =4670454.886

Z = 502.130

Z =289.447

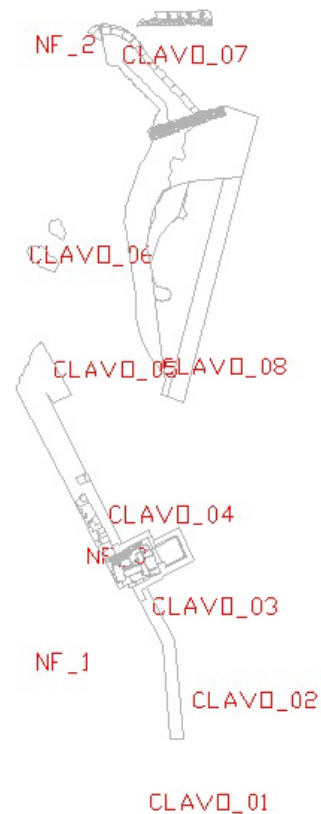
Huso 30

k = 0,99977369031310

Reseña Literal:

Clavo de acero con arandela situado en la parte superior del muro que está a continuación del Ninfteo, siguiendo el camino estrecho paralelo al río.

RESEÑA GRÁFICA:





DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO. Alfaro (La Rioja)

Clavo n°: Clavo8

Fecha: Febrero 2011

Localidad: Alfaro.

Provincia: La Rioja

Coordenadas locales **Coordenadas U.T.M.
ETRS-89**

X = 1008.143

X =602414.030

Y = 2018.865

Y =4670473.870

Z = 504.416

Z =292.086

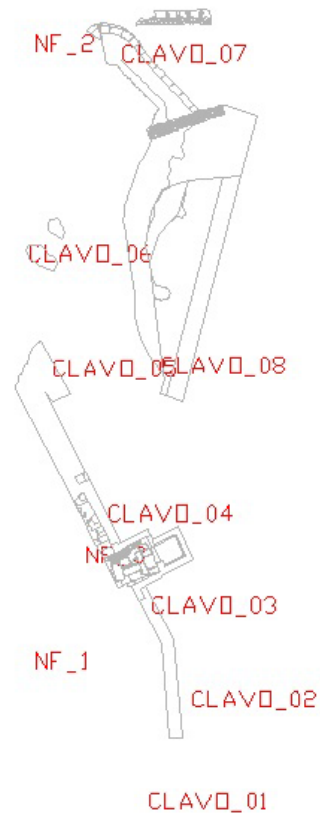
Huso 30

k = 0,99977369031310

Reseña Literal:

Clavo de acero con arandela insertado en el empedrado situado sobre la fuente.

RESEÑA GRÁFICA:





DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO. Alfaro (La Rioja)

Clavo n°: NC_1

Fecha: Febrero 2011

Localidad: Alfaro.

Provincia: La Rioja

Coordenadas locales **Coordenadas U.T.M.
ETRS-89**

X = 1000.000

X = 602429.500

Y = 2000.000

Y = 4670487.400

Z = 500.000

Z = 287.702

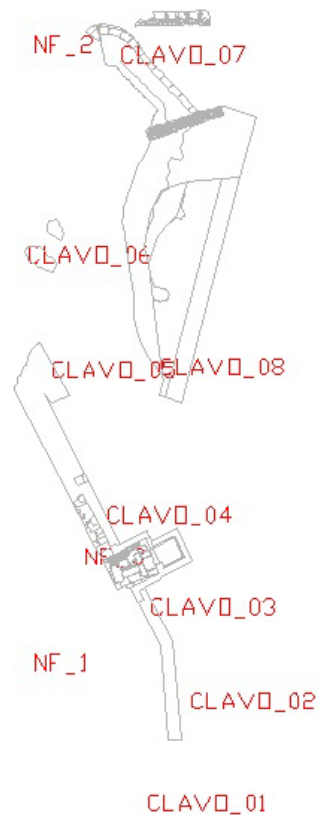
Huso 30

k = 0,99977369031310

Reseña Literal:

Clavo de acero insertado en una estaca enterrada completamente, frente a la fuente, con una buena visión del conjunto interior

RESEÑA GRÁFICA:





DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO. Alfaro (La Rioja)

Clavo n°: NC_2

Fecha: Febrero 2011

Localidad: Alfaro.

Provincia: La Rioja

Coordenadas locales **Coordenadas U.T.M.
ETRS-89**

X = 1000.000

X =602412.442

Y = 2039.411

Y =4670451.869

Z = 500.449

Z =287.970

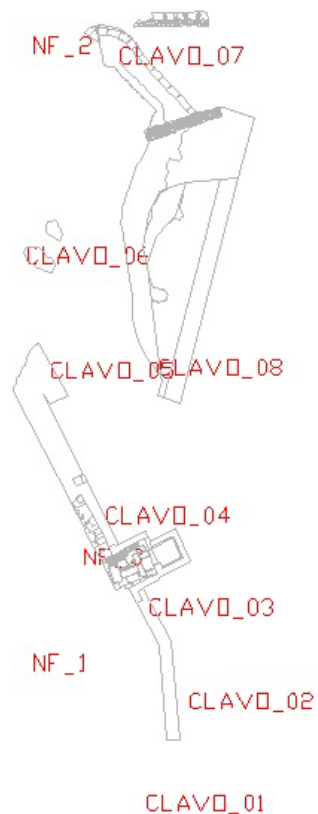
Huso 30

k = 0,99977369031310

Reseña Literal:

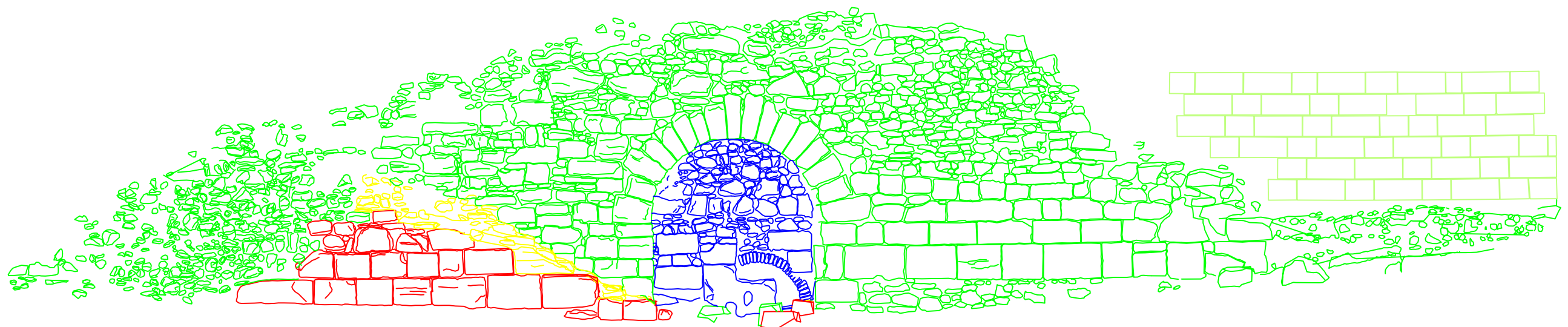
Esquina superior de un tocho de perfil metálico empotrado en un mazacote de hormigón, situado en el extremo del conjunto aguas arriba.


RESEÑA GRÁFICA:

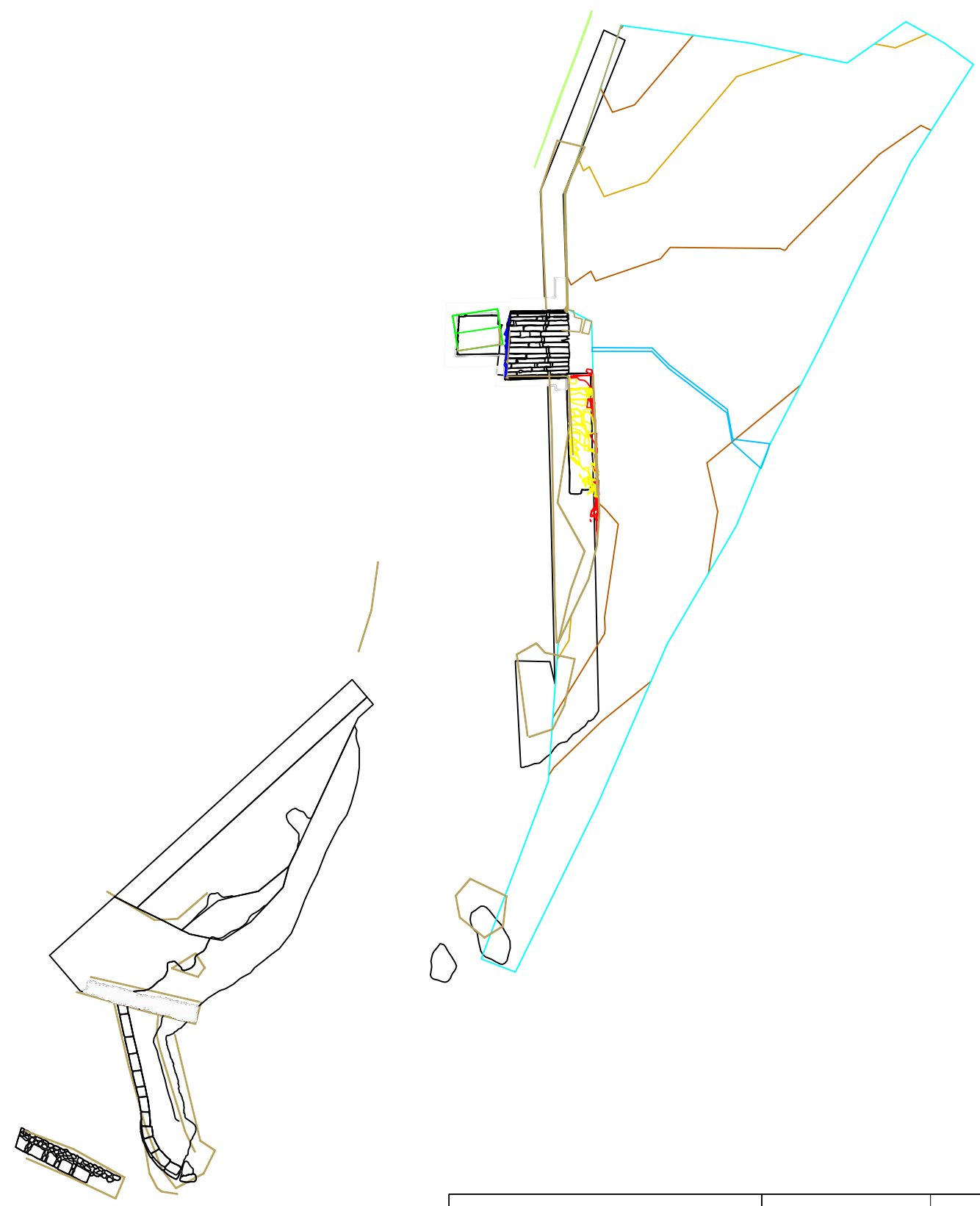


ANEXO IV

PLANOS



DOCUMENTO : PLANO EN ALZADO	PLANO N°: 1	PROYECTO DE FIN DE CARRERA : DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO (ALFARO, LA RIOJA)	
LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO. Grupo de investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU		AUTOR : JONATHAN GRAJIRENA TELLETXEA	
		ESCALA : 1/100	FECHA : FEBRERO 2011

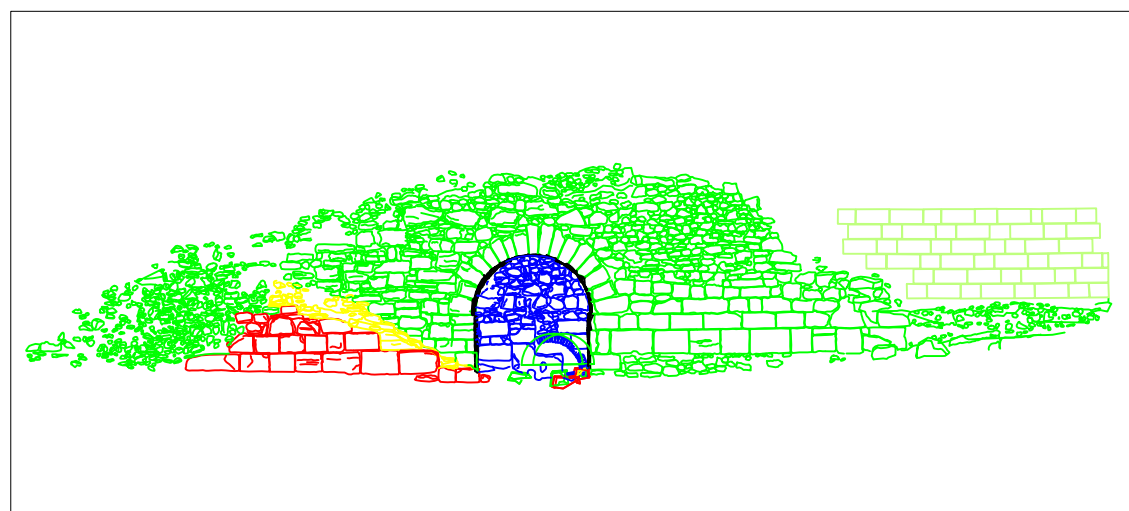



LEYENDA	
	CONTORNO
	CV
	CVD
	VOLUMETRICO
	CANAL
	PLANO ARQUEOLÓGICO INICIAL
	ARQUETA
	ESCALERA
	MURO PREFABRICADO
	FONDO DEL NINFEO

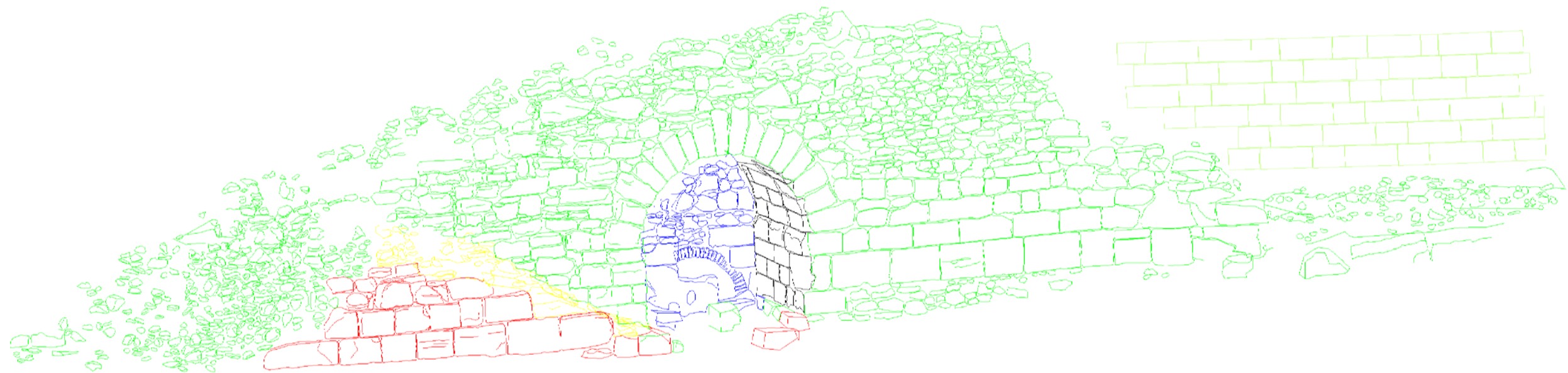
DOCUMENTO : PLANO EN PLANTA	PLANO N°: 2	PROYECTO DE FIN DE CARRERA : DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO (ALFARO, LA RIOJA)	
LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO. Grupo de investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU		AUTOR : JONATHAN GRAJIRENA TELLETXEA	
		ESCALA : 1/100	





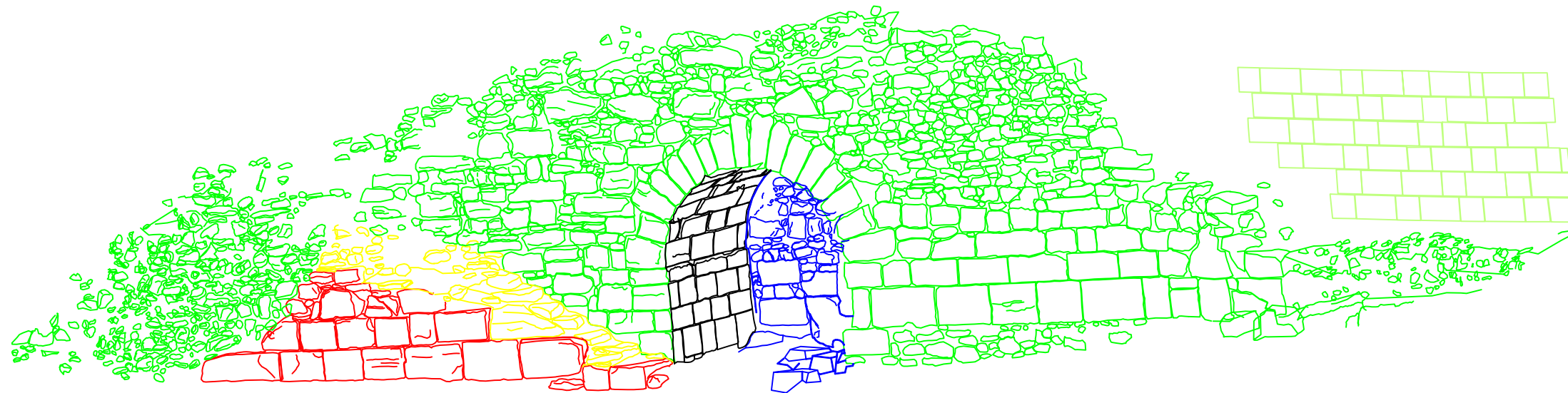
ALZADO DEL NINFEO



DOCUMENTO : PLANO EN SECCIÓN	PLANO N°: 3	PROYECTO DE FIN DE CARRERA : DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO (ALFARO, LA RIOJA)	
LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO. Grupo de investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU		AUTOR : JONATHAN GRAJIRENA TELLETXEA	
		ESCALA : 1/100	



DOCUMENTO : PRESPECTIVA I	PLANO N°: 4	PROYECTO DE FIN DE CARRERA : DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y SU ENTORNO (ALFARO, LA RIOJA)	
LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO. Grupo de investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU		AUTOR : JONATHAN GRAJIRENA TELLETXEA	 
		ESCALA : S / N	FECHA : FEBRERO 2011



DOCUMENTO : PERSPECTIVA II

PLANO N°: 5

PROYECTO DE FIN DE CARRERA : DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL NINFEO Y
SU ENTORNO (ALFARO, LA RIOJA)

LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO.
Grupo de investigación en Patrimonio Construido. UPV-EHU

AUTOR : JONATHAN GRAJIRENA TELLETXEA

ESCALA : S / N FECHA : FEBRERO 2011



ANEXO V

PRESUPUESTO

3 Topógrafos+coche+ET+GPS a 170 Km de Álava			
	€/día		
3 Topógrafo	400,70		
1 GPS	23,60		
1 Estación total	11,60		
1 Camara de Fotos	21,36		
Material vario	5,48		
Dieta+HE+desplaz	120,27		
Oficina (1equipo)	418,03		
TOTAL	1001,04		
BI (15%)	150,16		
IVA (16%)	160,17		
TOTAL	1311,37		

Datos de partida para el presupuesto

Mano de obra		
	€/hora	€/día
Topografo	16,70	133,57
Auxiliar	10,10	80,82

aidos del convenio de ingeniería

Instrumentación						
	Camara de Fot	ET	GPS	COCHE		
P Compra	800,00	14000,00	28000,00	Coste fijo	Precio (sin iva)	17241,3793
P Venta	200,00	3000,00	5000,00		Amortización en 7 años	2584,91
Valor a amortizar	600,00	11000,00	23000,00		Seguro	2000,00
Años	6,67	6,67	6,67		ITV	45
Amortización	1274,36	1649,18	3448,28		Imp circ	70,00
Seguro (5%)	30,00	550,00	1150,00		Coste total fijo	4699,91
revisión+Cert	93,00	93,00	93,00	Coste variable	Combustible (1€ litro)	2400,00
Porte	40,00	40,00	40,00		Revisiones	400,00
Reparaciones (2%)	12,00	220,00	460,00		Neumáticos	400,00
Mantenimiento	200	300	800		Reparaciones	300,00
TOTAL €/año	1649,36	2852,18	5991,28		Coste total variable	3500,00
Días	220,00	220,00	220,00		Total año	8199,91
€/día	7,50	12,96	27,23		Días	220
					Total €/día	37,27
					Total €/Km	0,27
					CF día	21,36
					CV Km	0,12

Material de campo			
	Precio	Unidades	Total
Chalecos	15	3	45
Cinta 50 m	43	2	86
Flexometro 5m	10	1	10
Portatil	689,66	1	689,66

Pintura	6	10	60
Jalón	21	4	84
Mira telescópica	96	2	192
Telefono móvil	40	1	40
Total €/año			1206,66
Días			220
€/dia			5,48

Trabajo de gabinete

OFICINA	Ordenador	Ploter	Programa	Moviliario
Precio Compra	1400	2500	6370	1000
Precio Venta	0	0	0	0
Años de Amortización	4	6,67	3,03	10
Coste de Amortización	350	374,81	2102,31	100

	€/Año	Días	€/Dia
Amortización año ar	2927,12	235	12,46
Alquiler	12000,00	235	51,06
Comunidad	2400,00	235	10,21
Seguro	350,00	235	1,49
Telefono	480,00	235	2,04
Consumibles	1000,00	235	4,26
TOTAL	19157,12		81,52

1 Topógrafos en oficina			
	€/dia	as trabajad	TOTAL
Topógrafo	133,57		
Coste oficina	81,52		
TOTAL	215,09		
BI (15%)	32,26		
IVA (16%)	34,41		
TOTAL	281,76	10	2817,65

Coste Total de Trabajo realizado campo+Gabinete

	€/trabajo
Coste Total	4129,01



LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido -GPAC- (UPV-EHU)



UPV EHU

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos Universitarios
C/ Nieves Cano 33, 01006 Vitoria-Gasteiz (España-Spain).
Tfno: +34 945 013222 / 013264
e-mail: ldgp@ehu.es web: <http://www.ldgp.es>
