

CAPÍTULO 5

LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO



5.1. FOTOGRAMETRÍA: OBJETO Y FUNDAMENTO

Para empezar haré una pequeña introducción sobre que es la fotogrametría, en qué se basa y qué se necesita para llevar a cabo esta técnica para el levantamiento de fachadas de edificios, y por tanto, para el levantamiento de las fachadas del Deposito de Agua de Canteras.

La Fotogrametría, según la Sociedad Americana de Fotogrametría (ASP, 1980ⁱ), actual Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS), se define como: "...arte, ciencia y tecnología de obtener información fiel acerca de objetos físicos y su entorno a través de procesos de grabación, medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos".

A partir de la definición anterior, pueden diferenciarse dos ámbitos: la fotogrametría métrica y la fotogrametría interpretativa (Wolf et al, 2000ⁱⁱ). La fotogrametría interpretativa trata principalmente de reconocer e identificar objetos y juzgar su ámbito, se incluyen la fotointerpretación y la teledetección. La fotointerpretación requiere el análisis de fotografías (fotogramas) fundamentalmente pertenecientes al espectro visible e infrarrojo cercano, mientras que la teledetección utiliza información proveniente de diferentes plataformas sensoriales, con mayores rangos espectrales: visible, infrarrojo (cercano, medio y térmico), radar, etc.

La fotogrametría métrica trata de obtener información métrica bidimensional y tridimensional a partir de imágenes fotográficas. Consiguientemente, esta área estudia las tareas relacionadas con la medición de magnitudes puntuales, lineales y superficiales, así como la reconstrucción espacial de objetos y/o superficies. Por otro lado, en los últimos tiempos la fotogrametría métrica se encarga de generar imágenes corregidas de distorsión y en proyección, aptas para múltiples usos cartográficos o no (p. ej. productos multimedia, visualizaciones animaciones fotorrealistas, estudios medioambientales, levantamientos arquitectónicos y arqueológicos, etc.)

La definición de Fotogrametría dada por la ASPRS en ocasiones se asemeja o solapa con conceptos y definiciones propias de otras disciplinas. Esta coincidencia no es casual, ya que la Fotogrametría se sirve de herramientas procedentes de otras disciplinas,

como por ejemplo el tratamiento digital de imágenes, el análisis de imagen, la visión por ordenador y el reconocimiento de patrones.

5.2. ETAPA DIGITAL: ESTADO ACTUAL Y ÚLTIMAS TENDENCIAS

ETAPA DIGITAL

En las últimas décadas, los dispositivos de adquisición de imagen digital han sufrido una evolución significativa gracias al avance de la microelectrónica y de los semiconductores. El uso de imágenes digitales junto al de fotografías (analógicas) ha sido lenta pero gradual a partir del lanzamiento de satélites al espacio; el primero de ellos fue el "Sputnik" soviético (1957).

El desarrollo experimentado en el hardware y software de los ordenadores, así como la reducción de costos del equipamiento ha facilitado, junto a la introducción de cámaras digitales y de escáneres, el auge de la fotogrametría digital, i. e. la fotogrametría que maneja imágenes digitales. La expansión comercial en fotogrametría digital se produjo a principios de 1990, y, en la actualidad, las ventas de las estaciones fotogramétricas digitales superan a las de los restituidores analíticos.

La fotogrametría digital trabaja con imágenes digitales y pretende automatizar al máximo las tareas que requieren de operadores experimentados. Este cambio en la práctica de la fotogrametría ha quedado reflejado en la siguiente interpretación: "...fotogrametría analítica que se ha modificado para aumentar el grado de automatización".

ESTADO ACTUAL Y ÚLTIMAS TENDENCIAS

Actualmente, la fotogrametría afronta uno de los mayores retos de su historia: automatizar las tareas fotogramétricas convencionales realizadas por un operador experimentado. Dicho grado de automatización viene ligado al desarrollo de los procesos digitales en fotogrametría. La finalidad que se persigue es la automatización de las operaciones de medición, interpretación y reconstrucción de objetos o de superficies. La automatización total no es todavía un hecho real; de momento, sólo es posible la automatización más o menos exitosa de ciertas partes del proceso fotogramétrico.

En estos momentos nos encontramos en una fase de transición de los procedimientos puramente analíticos a los digitales (procedimientos analíticos con implementación de procesado digital de imagen). La fotogrametría clásica, basada en fotografías convencionales, deja paso a sistemas de captación de imágenes digitales y sistemas de teledetección que existen en el mercado. Las cámaras digitales se utilizan ampliamente en tareas de fotogrametría terrestre. Los primeros sensores aerotransportados digitales y métricos ya han salido al mercado. Éstos están destinados a cubrir el espacio métrico entre las cámaras aéreas tradicionales y los satélites artificiales.

La situación actual en el mundo fotogramétrico se caracteriza por una serie de tendencias:

- Sistemas digitales automatizados multitarea y multiproducto, de fácil manejo, compatibles y abiertos. En una misma estación fotogramétrica digital se pueden realizar orientaciones, modelos digitales, ortoimágenes, visualizaciones tridimensionales, triangulaciones, filtros, clasificaciones, videos, etc.
- La integración de datos (alfanuméricos, gráficos y audiovisuales) en Sistemas de Información Geográfica (SIG), de diseño asistido por ordenador (CAD), bases de datos (BD) e internet.

La tendencia en el mercado es el abaratamiento paulatino de los nuevos productos digitales e informáticos y que los programas a nivel usuario sean más amigables y sencillos. Todo ello hace suponer que en un futuro no muy lejano habrá una mayor demanda de productos digitales. Consiguientemente, también bajarán los precios de los mismos.

5.3. TIPOS DE IMÁGENES

Las imágenes fotográficas pueden clasificarse de diversos modos: en función de la posición espacial de la toma (aérea, terrestre; vertical, oblicua, horizontal, inclinada, desviada); en función de la calidad métrica de la cámara (métrica → fotogramas; no métrica → fotografías); en función del tipo de sensor (analógico, digital; rectangular, lineal, puntual); en función del soporte (analógico: película, papel o vidrio; digital), etc.

Desde el punto de vista fotogramétrico, la cualidad que interesa es la calidad geométrica de las imágenes fotográficas. Es este sentido, los fotogramas garantizan la recuperación de la geometría interna de la toma si se disponen datos recientes del

certificado de calibración de la cámara métrica y aparecen impresas las marcas fiduciales en la fotografía.

Cuando se emplean cámaras semimétricas, en las fotografías aparece grabada la malla reticulada (correspondiente a la placa réseau). La placa reticulada (cuadrículada) ofrece dos funciones: por un lado, marcar cruces que hacen de marcas fiduciales; por otro, mantener la película plana. Asimismo, posibilita la corrección de las distorsiones propias de la cámara y la determinación de la orientación interna de la cámara (tras el proceso de calibración).

El concepto de imagen (digital) surge en cuanto se dispone de fotografías/fotogramas digitalizadas/os por medio de un escáner, o cuando la fotografía se adquiere directamente en formato digital. En fotogrametría digital no se habla de “fotografías digitales” sino de “imágenes digitales”; una imagen (digital) como tal es un archivo o fichero con un formato de almacenamiento determinado. El término genérico “imagen fotográfica” se utiliza habitualmente para referir tanto fotografías (fotogramas) en formato analógico como en formato digital.

La diferencia básica entre una imagen adquirida por una cámara digital y una fotografía analógica digitalizada es que, en la primera, el sistema de referencia imagen bidimensional (filas x columnas) siempre es el mismo; en la segunda, la posición y la orientación de la fotografía sobre la mesa de digitalización, y en menor medida el tamaño (resolución) de la imagen, difícilmente se mantiene en digitalizaciones sucesivas.

IMÁGENES DIGITALES

El libro “Elements of Photogrammetry” define imagen digital como una interpretación pictórica compatible con un ordenador en la que la imagen está dividida en una fina rejilla de elementos de imagen o píxeles. La imagen consiste de hecho en una matriz de enteros, conocidos como números digitales, donde cada uno cuantifica la escala de grises o grado de oscuridad, de un elemento particular. Cuando una imagen formada por miles o millones de estos píxeles se visualiza, la apariencia es una imagen de tono continuo. La imagen de la famosa Estatua de la Libertad mostrada en la figura 1.a nos servirá de ejemplo. Esta imagen ha sido dividida en una malla de píxeles de 72 filas por 72 columnas, donde cada píxel se representa mediante un valor desde 0 (negro oscuro) a 255 (blanco brillante). Una porción de la imagen cercana a la boca de la estatua se muestra ampliada en

la figura 1.b, y los números digitales asociados a esa porción están en una tabla en la figura 1.c. destáquese la correspondencia de los números bajos con las zonas oscuras y los números altos con las zonas claras.

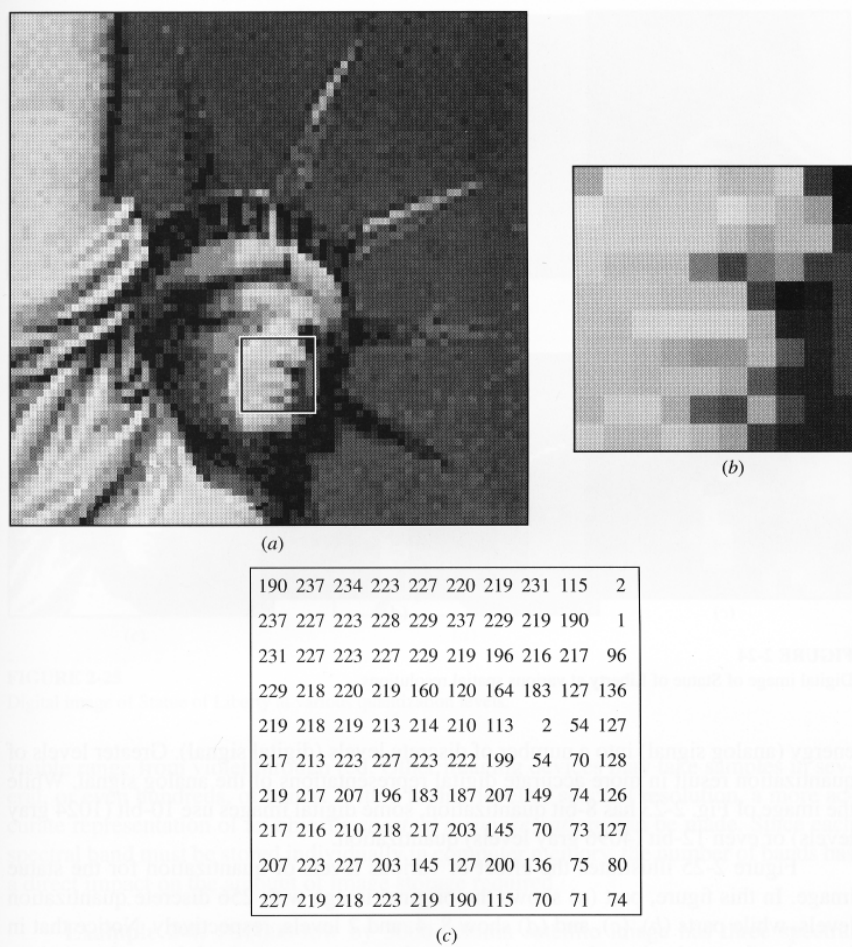


Figura 1

El rango de valores (0 a 255) aparentemente inusual, puede explicarse examinando cómo los ordenadores trabajan con los números. Como los ordenadores operan directamente con el sistema de números binarios, lo más eficiente y conveniente es usar rangos correspondientes a potencias de 2. Los números del rango del 0 a 255 pueden tener espacio en 1 byte, que consta de 8 dígitos binarios, o *bits*. Un valor de 8 bits puede almacenar 2^8 , o 256, valores, que exactamente engloba el rango de 0 a 255 (recuérdese que el 0 también es un valor). La imagen completa de la figura 2.a requeriría un total de $72 \times 72 = 5184$ bytes de memoria del ordenador.

Las imágenes digitales se producen a través de un proceso denominado a un muestreo discreto. En este proceso, una pequeña zona de la imagen (un píxel) es entendida como la cantidad de energía electromagnética emitida por la correspondiente zona de la superficie del objeto. El muestreo discreto de una imagen tiene dos características

fundamentales, la resolución geométrica y la resolución radiométrica. La resolución geométrica (o espacial) se refiere al tamaño físico de un píxel individual, donde tamaños más pequeños de píxeles se corresponden con mayores resoluciones geométricas. Las cuatro imágenes de la 2 muestran la imagen completa de la Estatua de la Libertad y demuestra el efecto de las diferentes resoluciones geométricas en la claridad de imagen. La imagen original de 72x72 píxeles de la figura 2.a y la imagen de media resolución, 36x36 píxeles, de la figura 2.b son fácilmente diferenciables. La imagen de 18x18 píxeles de la figura 2.c apenas es reconocible. En la resolución de 9x9 píxeles de la figura 2.d, uno ve una colección semiorganizada de bloques teniendo un apenas parecido con la imagen original, aunque las toscas posiciones de la cara y del brazo pueden detectarse. Obviamente, la resolución geométrica es importante para reconocer objetos en fotografías digitales.

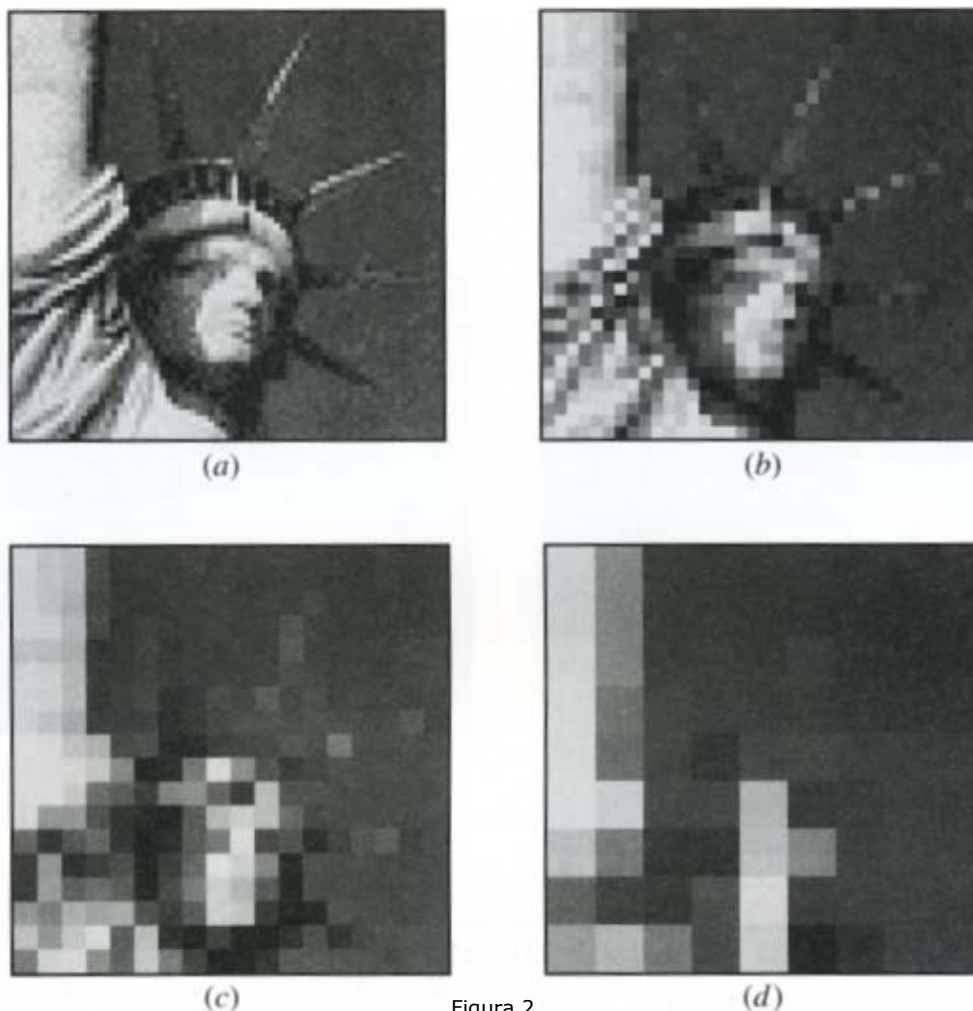


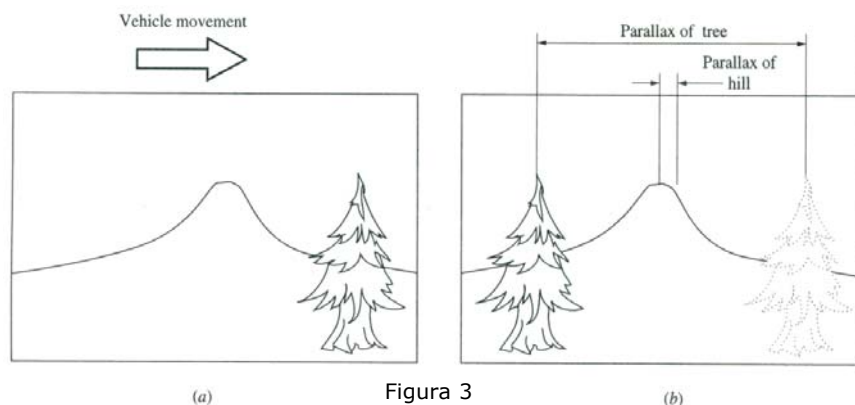
Figura 2

5.4. PARALAJE Y VISIÓN ESTEREOSCÓPICA

5.4.1 PARALAJE

El concepto de paralaje es bien conocido de un modo intuitivo para todo pasajero de un vehículo. Los objetos cercanos (p.e. postes de la luz) se mueven rápidamente mientras que los objetos distantes (p.e. colinas y montañas) parecen moverse con lentitud. Paralaje es el cambio aparente de posición de un objeto debido a un cambio de posición del observador. Podemos cuantificar la noción de paralaje imaginándonos una escena a través de la ventanilla de un coche con un sistema de coordenadas fijado al marco de la ventana con el eje x positivo en la dirección del viaje. Entre T_1 y T_2 , el cambio aparente de un objeto a lo largo de la dirección del eje x sería una medida de paralaje, como se muestra en la figura 3. Si las vistas de la figura 3 fuesen fotografías tomadas en los tiempos T_1 y T_2 , con el sistema de coordenadas descrito anteriormente fijado al marco de la cámara, entonces el paralaje de un objeto particular podría expresarse como:

$$p = x_{\text{izquierda}} - x_{\text{derecha}}$$



Esta situación es idéntica al caso de dos fotografías tomadas consecutivamente a lo largo de un eje paralelo a la fachada de un edificio, con algo de solape de cobertura entre ellas. En la figura 4, el punto A está proyectado sobre las dos fotografías en a_1 y a_2 , con el origen de la coordenada x en los puntos principales O_1 y O_2 .

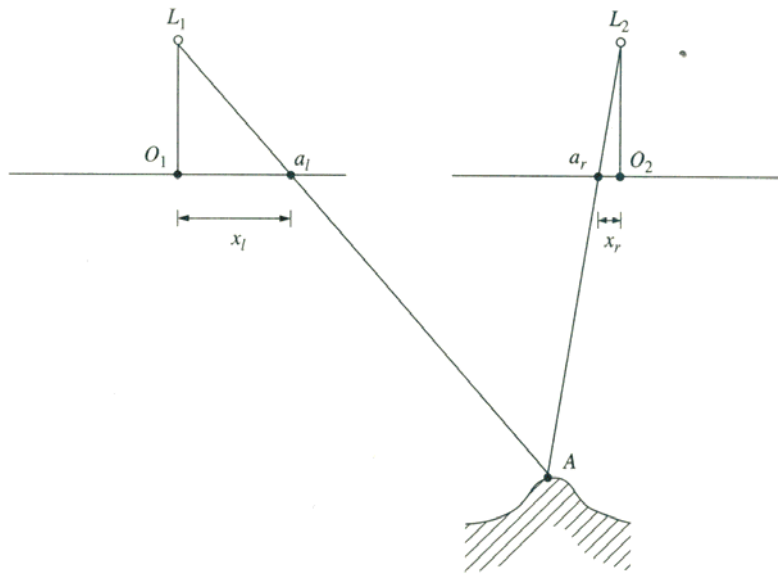


Figura 4

El paralaje en el punto A se expresa por la ecuación [$p = x_{\text{izquierda}} - x_{\text{derecha}}$] y puede mostrarse gráficamente transfiriendo el punto de la imagen de la derecha a la imagen de la izquierda como se muestra en la figura 5.

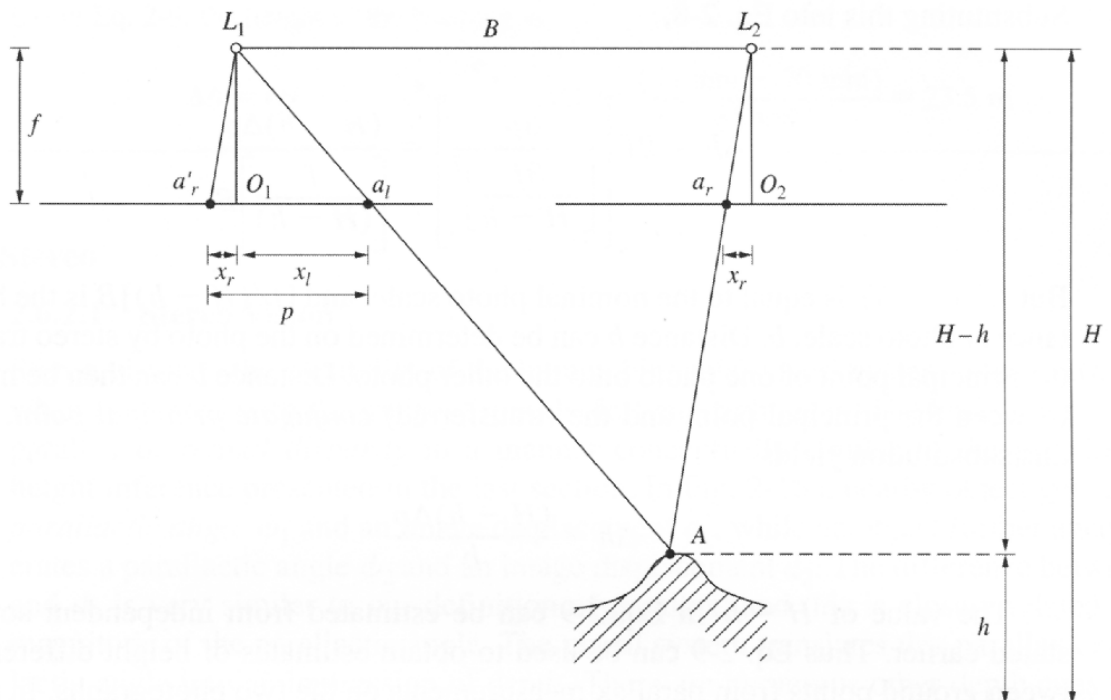


Figura 5

Si asumimos la geometría ideal de la figura 5, entonces podemos usar el paralaje para obtener información sobre la altura del punto A. observando la similitud entre los triángulos (L_1, L_2, A) y (L_1, a_l, a'_l) podemos deducir que:

$$p = X_{izquierda} - X_{derecha}$$

lo que confirma que ya hemos definido intuitivamente que el paralaje y la proximidad están inversamente relacionados. Gran paralaje implica gran proximidad (alta elevación) mientras que poco paralaje implica un objeto distante (bajas elevaciones).

5.4.2 VISION ESTEREOSCOPICA

La visión estereoscópica es la capacidad del sistema visual binocular de los humanos de percibir profundidad con las imágenes de su ojo izquierdo y del derecho. El cerebro interpreta el paralaje o disparidad retinal en una manera conceptualmente similar a los principios de inferencia de alturas expuestos en la última sección. En la figura 6 un objeto cercano genera un ángulo de paralaje ϕ_1 y un desplazamiento de imagen d_1 , mientras que

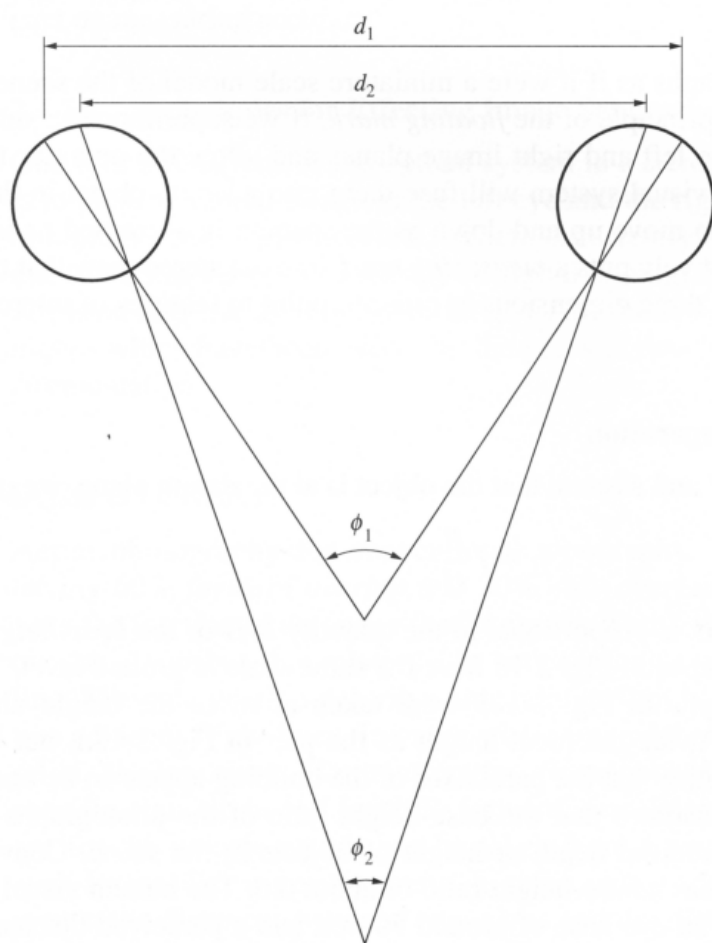


Figura 6

un objeto lejano genera un ángulo de paralaje ϕ_2 y un desplazamiento de imagen d_2 .

La diferencia entre d_1 y d_2 es muy similar a nuestra definición de paralaje, y está muy relacionada con el ángulo de paralaje. El sistema visual traduce el paralaje o ángulo de paralaje en una impresión de profundidad. Hay otras propiedades que contribuyen a nuestra habilidad de reconocer la proximidad. En la fotogrametría estereoscópica nosotros presentamos al observador con una pareja de imágenes a través de un

sistema de visión que garantiza que cada ojo sólo ve la imagen destinada a él, como se muestra en la figura 7.

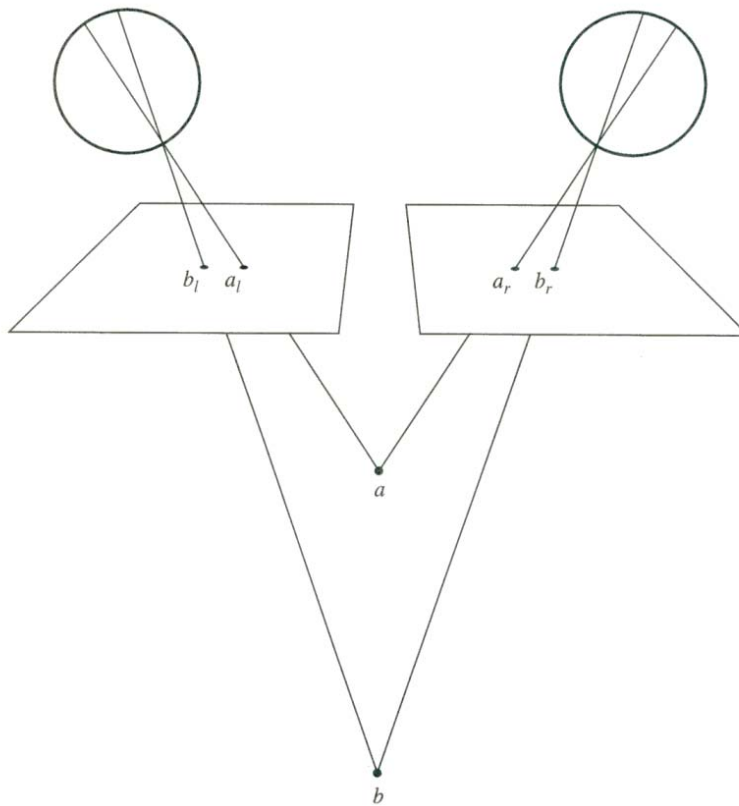


Figura 7

superponemos una pequeña marca de medida tanto al plano de la derecha como al de la izquierda y permitimos ajustar al operador su separación, entonces el sistema visual las fusionará en un simple objeto en el modelo estereoscópico que parece moverse arriba y abajo según que su separación se reduzca o amplíe respectivamente.

El paralaje más grande, correspondiente al punto *a* hace que parezca más cercano para el observador que el punto *b*. El observador percibirá de este modo un modelo tridimensional de los objetos de las fotografías como si fuese un modelo a una escala en miniatura de la escena. La figura 7 también sugiere el principio de la marca flotante. Si nosotros

La marca flotante supone realmente una marca de medida, la cual puede ser posada sobre el modelo tridimensional virtual y obtener así las tres coordenadas espaciales de los puntos de interés del objeto que pretendemos representar gráficamente.

PERCEPCIÓN DE PROFUNDIDAD

Si reorganizamos la ecuación

$$H - h = B \cdot \frac{f}{p}$$

Obtenemos,

$$p = f \cdot \frac{B}{H}$$

y vemos que el paralaje es proporcional a la cantidad B/H o la relación base - altura. Las fotografías simuladas en la figura 8 tienen la misma escala a nivel del suelo.

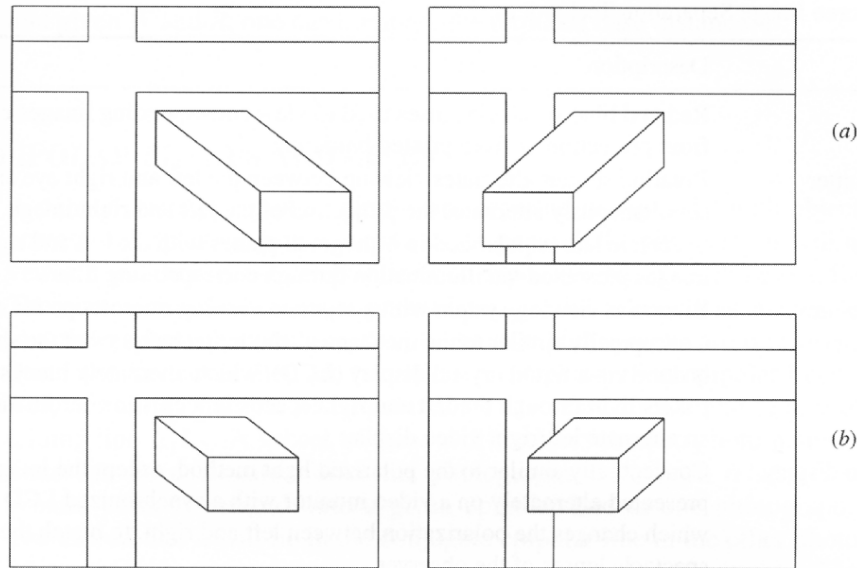


Figura 8

La pareja de fotografías simuladas en la figura 8.b se tomaron al doble de altura sobre el suelo y con una lente con un doble de distancia focal que la pareja en la figura 8.a, pero con la misma distancia en la base. Hay que destacar que el paralaje del edificio parece ser la mitad en la figura 2-18b. Esto demuestra que la relación base - altura en las fotografías influirá directamente sobre la profundidad o la altura de los objetos en la escena. Las fotografías aéreas convencionales usadas para cartografía del terreno tienen una relación base - altura sobre el 0,6. El sistema visual humano, por otro lado, tiene una base ocular en torno a los 70mm y percibe distancia del modelo estéreo de 250 a 500mm (no puede medirse porque es una imagen virtual). De este modo se espera una relación base - altura mucho menor que la establecida en el fotografías aéreas convencionales. Esta diferencia es la causa de la dimensión z en el modelo estereoscópico aparezca exagerada o estirada. Hemos de indicar que esta impresión visual no tiene efectos adversos en la precisión de la medida.

5.5. ECUACIONES DE COLINEALIDAD

La resolución matemática del proceso de orientación relativa de los dos fotogramas que forman el par estereoscópico, necesario para conseguir la visión tridimensional, está basada en las denominadas ecuaciones de colinealidad. Se fundamentan en el siguiente principio (Figura 9):

“El centro óptico de proyección, cualquier punto objeto y su imagen fotográfica, están alineados en el espacio tridimensional”.

Como se puede observar en su formulación matemática, en ellas:

- Se relacionan coordenadas imagen con coordenadas objeto (modelo, terreno).
- Intervienen elementos de una sola imagen
- Su expresión matemática es función no lineal de los parámetros

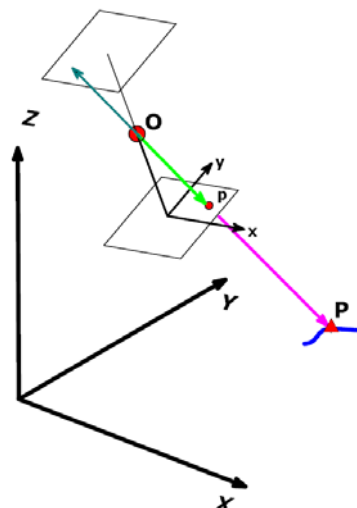


Figura 9

FORMULACIÓN MATEMÁTICA

Consideramos que “O” es el centro de proyección, “P” es un punto del objeto fotografiado y “p” es la imagen de dicho punto sobre la fotografía.

Llamemos (X, Y, Z) al sistema de coordenadas establecido sobre el terreno (objeto) y sea (x, y, z) el sistema de coordenadas imagen, cuyo plano xy coincide con el plano de la imagen y cuyo origen coincide con el centro fiducial del fotograma.

En ellos podemos definir:

- Vector \overline{Op} en espacio imagen:

$$\overline{Op} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix}$$

siendo $x, y, z = 0$, las coordenadas de p ; y f , la distancia focal de la cámara

- Vector \overline{OP} en espacio objeto:

$$\overrightarrow{OP} = \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

siendo X, Y, Z las coordenadas de P , y X_0, Y_0, Z_0 las coordenadas de O en el sistema de coordenadas objeto.

- Vector $\overline{OP'}$ en sistema auxiliar:

(X', Y', Z') , paralelo al sistema (x, y, z) y con el mismo origen que el sistema (X, Y, Z)

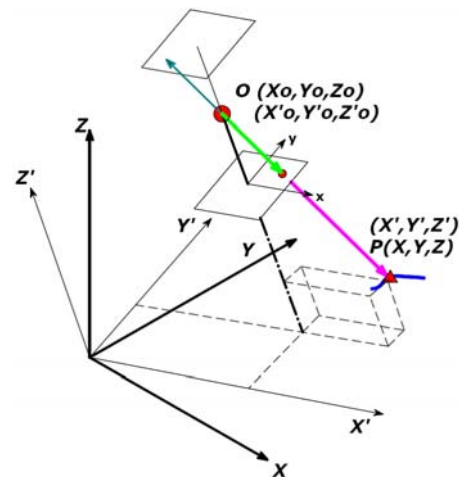


Figura 10

$$\overline{OP'} = R \cdot \overline{OP} \Rightarrow \begin{bmatrix} X' - X'_0 \\ Y' - Y'_0 \\ Z' - Z'_0 \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

siendo R , la matriz de rotación, que permite transformar las coordenadas de un sistema en otro.

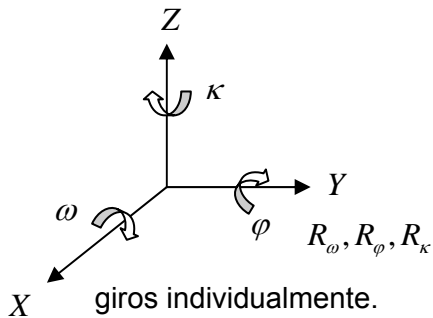
- La condición de colinealidad expresa que:

$\overline{op} = \lambda \cdot \overline{O'P'}$, siendo λ un escalar.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = \lambda \cdot \begin{bmatrix} X' - X'_0 \\ Y' - Y'_0 \\ Z' - Z'_0 \end{bmatrix} = \lambda \cdot R \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

$$R = R_\kappa R_\phi R_\omega = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$

donde ω, φ, κ , son los giros alrededor de los ejes X, Y, Z respectivamente, necesarios para transformar el sistema X, Y, Z en el sistema X', Y', Z'.



$R_\omega, R_\varphi, R_\kappa$ son las matrices de rotación correspondientes a dichos giros individualmente.

siendo,

$$R_{11} = \cos(\kappa) \cos(\varphi)$$

$$R_{12} = \sin(\varphi) \sin(\omega) \cos(\kappa) - \sin(\kappa) \cos(\omega)$$

$$R_{13} = \sin(\varphi) \cos(\omega) \cos(\kappa) + \sin(\omega) \sin(\kappa)$$

$$R_{21} = \sin(\kappa) \cos(\varphi)$$

$$R_{22} = \sin(\kappa) \sin(\omega) \sin(\varphi) + \cos(\kappa) \cos(\omega)$$

$$R_{23} = \sin(\varphi) \cos(\omega) \sin(\kappa) - \sin(\omega) \cos(\kappa)$$

$$R_{31} = -\sin(\varphi)$$

$$R_{32} = \cos(\varphi) \sin(\omega)$$

$$R_{33} = \cos(\varphi) \cos(\omega)$$

- Llamamos:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

- Entonces:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = \lambda \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} x = \lambda \cdot u \\ y = \lambda \cdot v \\ -f = \lambda \cdot w \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \lambda \cdot u \\ y = \lambda \cdot v \\ \lambda = -f / w \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = -f \cdot \frac{u}{w} \\ y = -f \cdot \frac{v}{w} \end{cases}$$

- Desarrollando tendremos:

$$x = -f \cdot \frac{R_{11}(X - X_0) + R_{12}(Y - Y_0) + R_{13}(Z - Z_0)}{R_{31}(X - X_0) + R_{32}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = -f \cdot \frac{R_{21}(X - X_0) + R_{22}(Y - Y_0) + R_{23}(Z - Z_0)}{R_{31}(X - X_0) + R_{32}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$

- Si el punto principal no coincide con el centro fiducial (figura 11):

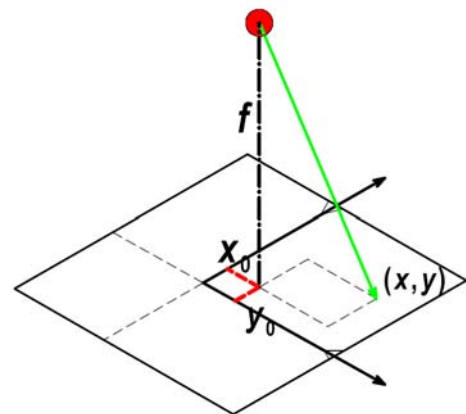


Figura 11

$$x - x_0 = -f \cdot \frac{R_{11}(X - X_0) + R_{12}(Y - Y_0) + R_{13}(Z - Z_0)}{R_{31}(X - X_0) + R_{32}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y - y_0 = -f \cdot \frac{R_{21}(X - X_0) + R_{22}(Y - Y_0) + R_{23}(Z - Z_0)}{R_{31}(X - X_0) + R_{32}(Y - Y_0) + R_{33}(Z - Z_0)}$$

expresión que corresponde a las ecuaciones de colinealidad.

5.6. MATERIAL Y MÉTODOS EMPLEADOS

6.6.1. ESTACIÓN TOTAL LEICA TCR-307

INTRODUCCIÓN

Las modernas estaciones totales electrónicas permiten la medición de puntos de cualquier objeto sin necesidad del empleo del prisma reflector, elemento imprescindible en la medida de puntos del terreno. Ello permite, pues, la medida de puntos inaccesibles mediante los distanciómetros láser sin prisma (reflectorless) implementado en ellas.

Por tanto resultan muy útiles para el levantamiento directo de multitud de puntos de fachadas, secciones, plantas de edificios, etc., con una gran rapidez, y a su vez sirven para el levantamiento de puntos de apoyo necesarios en el proceso de restitución fotogramétrica.

Estas características, unidas a la facilidad de exportación de las coordenadas de los puntos medidos, en archivos de tipo DXF, procesados por programas informáticos de CAD, hacen que este tipo de instrumentos topográficos sean la principal herramienta en los procesos de medición de edificios.



Figura 12

La estación total que se usó para la ayuda del levantamiento de planos en *el Deposito de Agua de Canteras*, corresponde a la serie TCR307, cuyas características se especifican en la siguiente tabla:

Datos técnicos	TC307 / TCR307
Anteojó	
Aumento	30x
Campo visual	1°30' (26m a 1Km)
Iluminación del retículo	Brillante/amortiguada
Medida de ángulos	
Método	Absoluto
Resolución en pantalla	1"(0.5mgon)
Desviación típica	7"
	(2mgon)
Medida de distancias (infrarrojos) Estándar (IR)	
Alcance con prisma GPR1 (Leica)	2500m
Desviación típica	2mm+2ppm
Resolución en pantalla	1mm
Tiempo de medición	
Normal	<1 seg.
Rápida	< 0.5 seg.
Seguimiento	< 0.3 seg.
Alcance con dianas reflectantes	300m
Láser rojo (RL) con prisma GRP1	5000m
Sistema	
Memoria interna	4000 bloques de datos
Interfaz de serie	GSI
Intercambio de datos	IDEX/GSI8&16/formatos flexibles
Funciones	REM/REC/IR-RL/Borrar último bloque
Programas integrados	Replanteo, Taquimetría, Estación Libre, Superficie
Sin reflector (láser visible rojo)	
Tamaño del punto a 50m	12mm, elíptico
Alcance con tablilla de	80m (blanca)

puntería	
Desviación típica	3mm + 2ppm
Tiempo de medición	
Normal	3s+1s/10m (>30m)
Seguimiento	1s+0.3s/10m(>30m)
Clase de láser	2/II
Medidor de inclinación/Compensador	
Método	Compensador electrónico integrado de dos ejes
Rango de trabajo	+/-4'
Plomada láser	
Método	Punto láser
Desviación típica	0.8mm a 1.5m
Peso	
Instrumento	4.2 Kg
Base nivelante (GDF111)	0.6 Kg
Batería (GEB111)	0.18 Kg
Dimensiones (mm)	151 x 203 x 316
Display	
Pantalla	LCD (8 líneas x 24 caracteres)
Tamaño (mm)	40 x 65
Entorno de trabajo	
Temperatura	-20°C a +50°C
Polvo/Agua (IEC529)	IP54
Humedad	95% hum. Rel., sin condensación
Temperatura en almacén	-40°C a +70°C

DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO Y FINALIDAD DE LAS MEDIDAS

Las estaciones totales están compuestas de un distanciómetro (dispositivo que mide distancias) y un teodolito (dispositivo que mide ángulos), ambos electrónicos. Para medir un punto concreto, dispone de un anteojo con un retículo en forma de cruz, que permite hacer puntería. Además poseen una pantalla de cristal líquido donde se reflejan los valores numéricos resultantes de las medidas.

Las estaciones totales miden dos tipos de ángulos, los llamados horizontales (medidos sobre un plano horizontal) y los verticales (medidos sobre un plano vertical), según se muestra esquemáticamente en la figura 13.

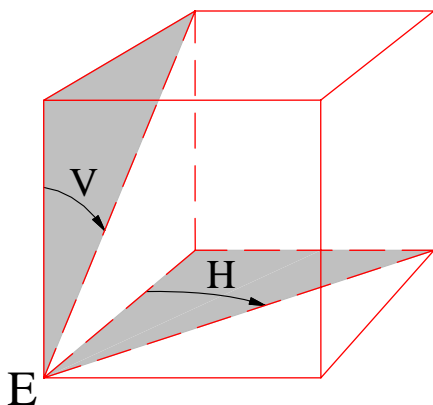
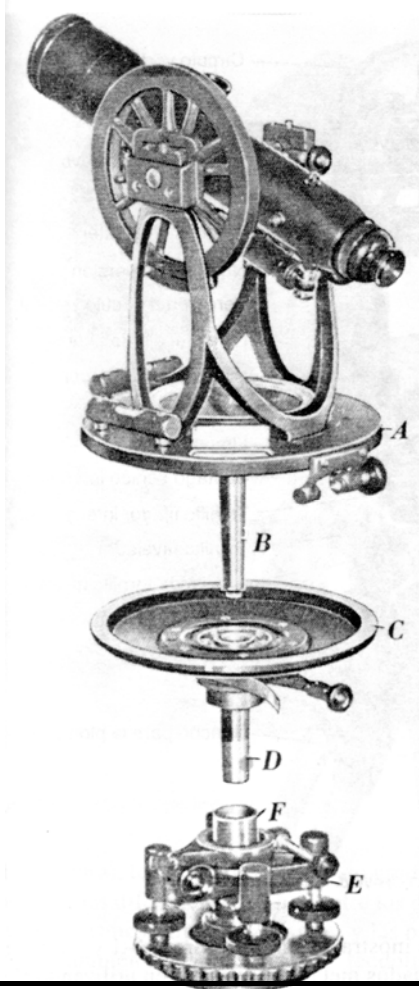


Figura 13

Con las medidas de los dos tipos de ángulos y la distancia, desde el punto donde está estacionado el instrumento hacia el punto que queremos medir, el objetivo es calcular las coordenadas cartesianas tridimensionales (x, y, z) de los puntos medidos, en un sistema de coordenadas establecido por el propio instrumento.

De esta manera, conoceremos la forma y el tamaño del objeto medido, y podremos obtener una representación gráfica del mismo a una escala determinada.

Para comprender mejor el funcionamiento de la estación total, vamos a analizar las partes que componen un taquímetro óptico-mecánico, que sirve de fundamento a los modernos instrumentos electrónicos. En la figura 14, se observa el despiece de un taquímetro óptico-mecánico.



En ella podemos ver, de abajo hacia arriba, la base nivelante E con sus tornillos nivelantes. El eje F de ésta es hueco, y en su interior se inserta el eje D del limbo horizontal C. A su vez el eje D de éste es hueco y en su interior se inserta el eje B de la alidada A. La base nivelante queda rígidamente unida al trípode, por tanto permanece fija. El resto del conjunto puede girar libremente alrededor del eje vertical, pudiendo quedar el limbo horizontal fijo a la base nivelante o fijo a la alidada, según interese.

La alidada se compone de dos soportes que sustentan al limbo vertical y al anteojo. El limbo vertical, permanece fijo al soporte, mientras que el anteojo puede girar libremente alrededor de un eje horizontal.

Por tanto debemos, inicialmente, distinguir los llamados *ejes físicos* del instrumento, eje principal (vertical), eje secundario (horizontal) y eje de colimación (eje óptico del anteojo), según figura 15.

Se ha dicho anteriormente que el instrumento establece el sistema de coordenadas en el cual quedan definidos los puntos medidos. Para entender cómo se establece ese sistema de coordenadas, el elemento clave en el proceso de medición es el limbo horizontal.

Al comentar la figura 14, hemos indicado que el limbo horizontal tiene un movimiento independiente de la base nivelante y de la alidada, pudiendo fijarse a una u otra mediante unos tornillos, en el caso de los taquímetros óptico-mecánicos o mediante una tecla en el caso de una estación total.

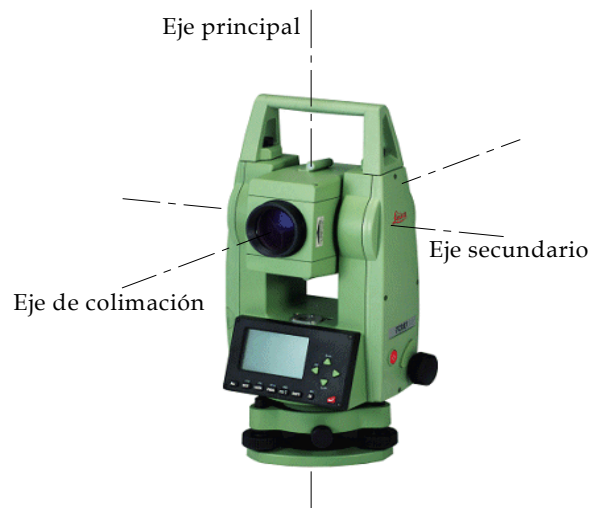


Figura 15
Ejes físicos

Pues bien, el eje Y del sistema de coordenadas de la estación total es aquella dirección del horizonte en la cual fijamos voluntariamente la lectura 0^g del limbo horizontal. Para ello, mediante una combinación de teclas haremos solidario el limbo a la alidada, después puntería hacia algún elemento en la dirección que queremos fijar dicho eje, colocaremos la lectura 0^g en esa dirección y después liberaremos el limbo de la alidada y lo haremos solidario a la base nivelante. Así la lectura 0^g (dirección del eje Y positivo) quedará fija durante todo el proceso de medición, y las coordenadas cartesianas de los puntos medidos quedarán definidas en ese sistema. El eje X positivo será perpendicular al eje Y, formando un triedro dextrógiro y definiendo un plano horizontal.

El eje Z es vertical, y coincide con el eje principal del instrumento. A este sistema de coordenadas le podemos llamar *ejes matemáticos* del instrumento, según figura 16.

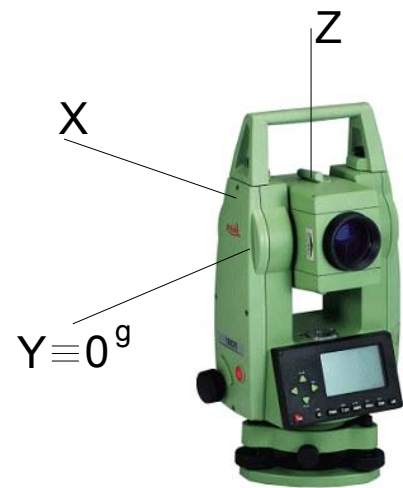


Figura 16
Ejes matemáticos

A la operación de fijar el eje Y (la lectura 0^g) en una dirección determinada, de forma que quede definido el sistema de ejes del instrumento, se le denomina *orientación*.

SOFTWARE LEICA SURVEY OFFICE

El programa Leica Survey Office es el programa que proporciona la marca Leica para la gestión de los datos resultantes de las mediciones.

Las herramientas que hemos utilizado son:

- *Data Exchange Manager* (Gestor de Intercambio de Datos), permite intercambiar datos entre la memoria interna de la estación y el ordenador. Podrá transferir todos los archivos soportados (p. ej. Archivos de listas de códigos, archivos de medición, archivos de coordenadas).
- *Editor de Coordenadas*, permite crear, modificar y guardar listados de coordenadas, que contienen para cada punto el ID (identificación del punto), X, Y y Z.

El software Avance PC es el que transforma los archivos de valores de coordenadas en archivos DXF, de manera que en el programa de dibujo AutoCad se podrá trabajar con los puntos de las mediciones tanto en 3D como en 2D.

Una vez estudiado el funcionamiento del instrumento y cómo se define el sistema de coordenadas, vamos a analizar los parámetros que intervienen en la medición y los cálculos matemáticos necesarios para obtener las coordenadas cartesianas (x ; y ; z) de los puntos de interés a partir de la medida de ángulos y distancias. De esta forma, podremos llegar a la representación gráfica del elemento medido, a una escala determinada.

FÓRMULAS TAQUIMÉTRICAS

Consideremos la estación total colocada sobre un punto O del terreno, próximo al objeto que se quiere medir, según figura 17. Un parámetro importante es la altura del instrumento, i , desde el suelo al eje de giro del anteojo. En nuestro caso estableceremos un valor $i=0$, con lo cual queda definido el plano XY como el plano horizontal que contiene al eje de giro del anteojo.

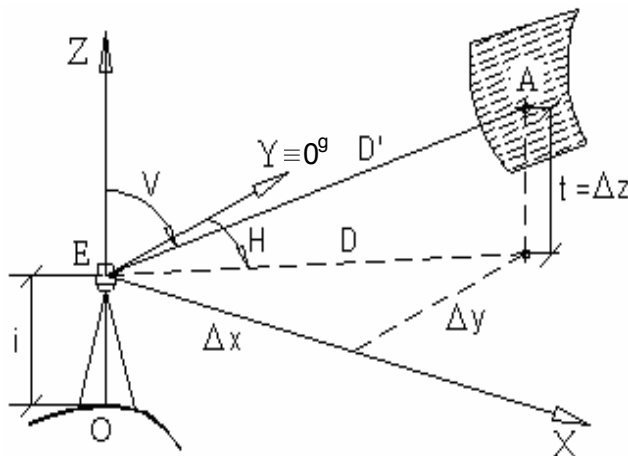


Figura 17

El sistema de referencia que establece la estación total sobre el terreno queda definido de la siguiente forma:

- el origen es el punto E, intersección del eje principal (vertical) con el eje de giro del anteojo.
- el eje Z es el eje principal (vertical) del instrumento.
- el eje Y es aquella dirección donde apunta el anteojo de la estación total cuando la lectura del ángulo horizontal es cero grados.
- el eje X ortogonal a ambos, en un sistema dextrógiro.

Para medir el punto A, se visa con el anteojo, y el instrumento mide el ángulo vertical V, el ángulo horizontal H y la distancia geométrica D'. Con estas mediciones se pueden calcular las coordenadas relativas del punto A respecto del punto E, mediante las expresiones siguientes:

$$\begin{aligned} D &= D' \operatorname{sen} V & \Delta x &= D \operatorname{sen} H \\ t &= D \cot g V & \Rightarrow \Delta y &= D \cos H \\ t &= \Delta z & \Delta z &= t \end{aligned}$$

Asignadas al punto de estación E unas coordenadas arbitrarias ($x_E; y_E; z_E$), que se introducen desde el teclado, podemos calcular las coordenadas de A en ese sistema de referencia:

$$\begin{aligned} x_A &= x_E + \Delta x \\ y_A &= y_E + \Delta y \\ z_A &= z_E + \Delta z \end{aligned}$$

ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE COORDENADAS ADECUADO AL LEVANTAMIENTO

El paso previo a la medición es el establecimiento del sistema de coordenadas (orientación del instrumento). Cuando nos situamos frente a una fachada, montamos la estación sobre su trípode y la encendemos con su botón interruptor, la lectura 0^g (eje Y) estará en una dirección cualquiera, con seguridad en una dirección que no nos interesa. Se trata de cambiar esa orientación.

Para el levantamiento de elementos arquitectónicos tales como fachadas de edificios, es necesario establecer un sistema de coordenadas adecuado, es decir, que ayude a la obtención de una representación gráfica lo más directa posible y sin ningún tipo de transformación. Con este criterio, suele ser común establecer el sistema de coordenadas de forma que la fachada quede paralela al plano XZ (figura 19) siendo, por tanto, el eje Y perpendicular a la fachada. Para conseguir este sistema con la mayor exactitud posible, es necesario realizar dos operaciones previas, con ayuda de dos opciones que llevan implementadas las estaciones totales.

Para ello es necesario, aunque no imprescindible, colocar sobre la fachada al menos dos marcas de señalización similares a las que se indican en la figura 18, de dimensiones

máximas 5 cm. x 5 cm., con objeto de hacer puntería con gran precisión y poder medir dos puntos perfectamente definidos.

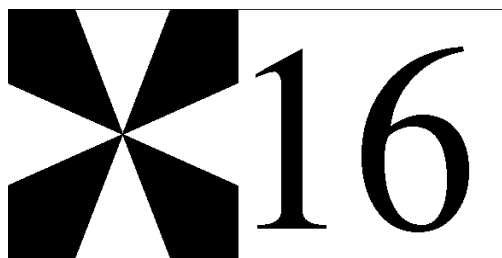
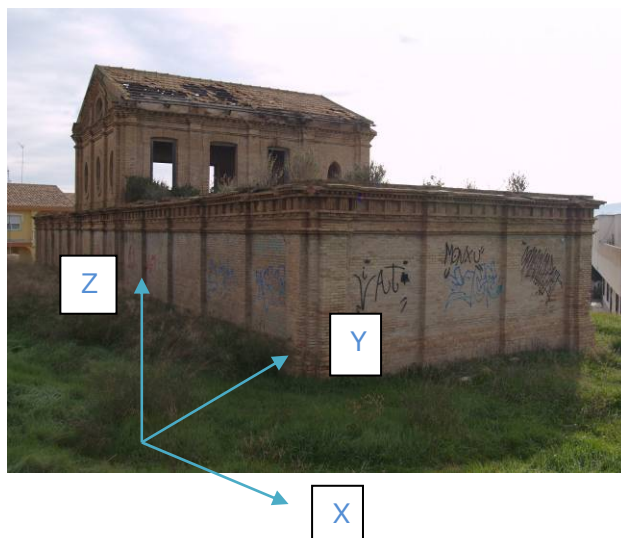


Figura 18
Marca de señalización



En caso de no utilizar estas marcas, se elegirán puntos *correspondientes* a elementos propios de la fachada a los que se pueda hacer puntería

Estas dos marcas, o los dos puntos elegidos, deben colocarse en los laterales de la fachada y a una altura diferente, de forma que queden sobre un mismo plano, según el relieve que presente la fachada.

Una vez hecho esto, estamos en condiciones de estacionar el instrumento frente a la fachada, montado sobre su trípode y perfectamente nivelado (figuras 20.a y 20.b).



Figura 20.a



Figura 20.b

La primera función que vamos a emplear en la estación total, para conseguir el sistema de coordenadas deseado, se denomina habitualmente *distancia de enlace* o *distancia entre puntos*. Esta función se utiliza en Topografía clásica para el levantamiento de perfiles del terreno. El objetivo de esta función es obtener la distancia horizontal y la distancia vertical que existe entre ambas marcas, tras medir a ellas con la estación, figura

21. Como la estación trabaja siempre con coordenadas cartesianas, nos pedirá que le introduzcamos unas coordenadas del punto de estación. Estas pueden ser valores cualesquiera, pues lo que nos interesa es la posición relativa de ambas marcas. Por la misma razón, la orientación del eje Y puede ser cualquiera. También nos pedirá una altura de instrumento, valor que puede ser 0 por simplificar, pero que igualmente es arbitrario en este caso. Tras emplear esta función tendremos los valores $(\Delta x, \Delta z)$.

A la marca o punto situado más a la izquierda (mirando hacia la fachada), le vamos a dar unas coordenadas (x, y, z) arbitrarias, pero de forma que la parte de la fachada que queda a la izquierda de la marca no pueda obtener una coordenada X negativa y que la parte de la fachada que queda por debajo de dicha marca no pueda obtener una coordenada Z negativa, simplemente por la comodidad de no trabajar con números negativos. Igualmente ocurre con la coordenada Y. Valores de ejemplo podrían ser (10, 10, 10), etc. Para conseguir el sistema de coordenadas deseado, las coordenadas de la marca situada más hacia la derecha deberán ser $(10+\Delta x; 10; 10+\Delta z)$. Ambos puntos, que físicamente están sobre un mismo plano en la fachada, matemáticamente están sobre un plano paralelo al plano XZ, por tener la misma coordenada Y.

Una vez que ya tenemos las coordenadas de ambas marcas, podemos aplicar la segunda función, llamada *estación libre*. Recordemos que tras aplicar la primera función, la estación sigue orientada en una dirección que no nos interesa (el eje Y del sistema de coordenadas todavía no es perpendicular a la fachada). La función *estación libre* nos va a permitir que el instrumento gire el sistema de coordenadas inicial, alrededor del eje Z, y lo coloque de forma que el eje Y quede perpendicular a la fachada (perpendicular al plano que contiene a la recta definida por las dos marcas) y además calcule su posición, es decir, va a calcular las coordenadas del punto E (x_E, y_E, z_E) , según figura 17, en dicho sistema. Así, la estación total queda preparada para medir el resto de puntos necesarios sobre la fachada, de forma que las coordenadas de todos ellos estarán en el mismo sistema de referencia, el definido por las dos marcas.

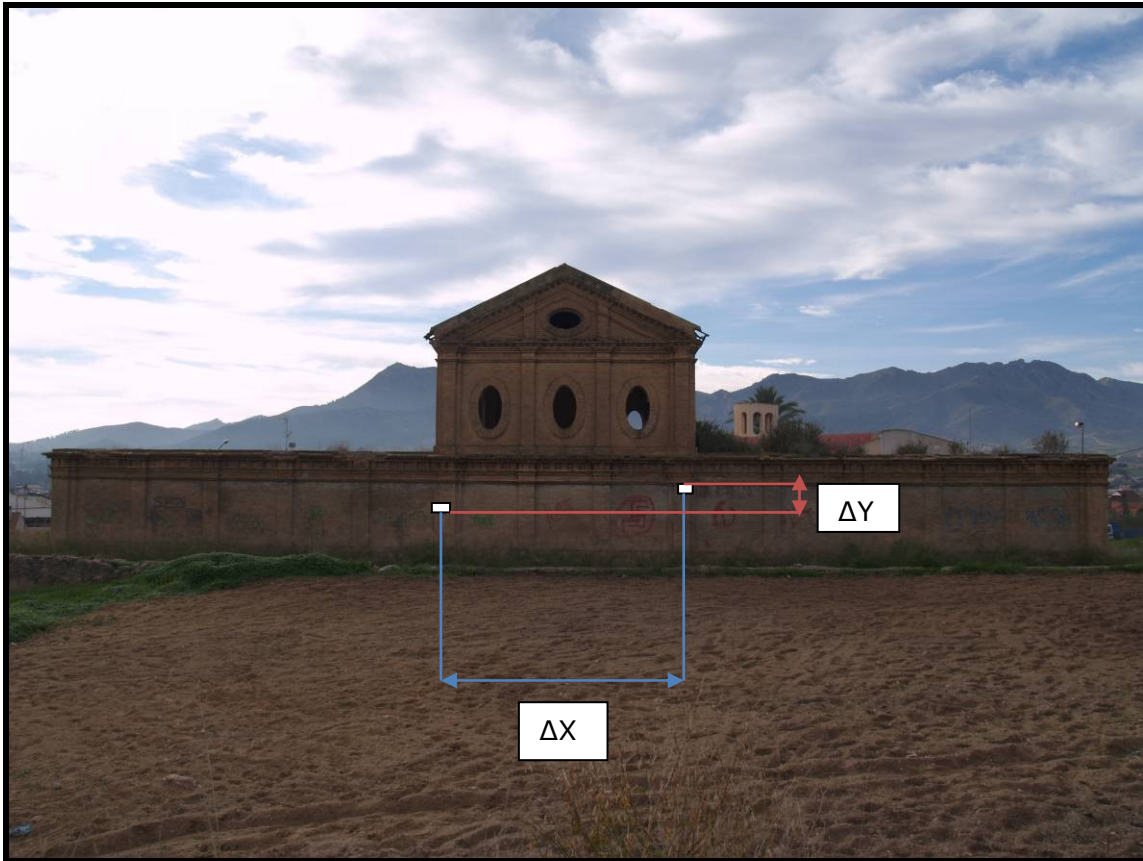


Figura 21
Distancia entre puntos

Para aplicar la función *estación libre*, hemos de asignar un nombre a las dos marcas (caracteres alfanuméricos) e introducirlos en la memoria de la estación con sus respectivas coordenadas. Nos pedirá una altura de instrumento, valor que en este caso siempre será 0, para que las coordenadas que calcule sean las del punto E de la figura 17, (punto de intersección de los ejes físicos y de los ejes matemáticos). Después tendremos que medir a ambos puntos, identificándolos previamente con su nombre en la pantalla de la estación. Así, el sistema de coordenadas quedará como en la figura 19, y el instrumento dispuesto para empezar a medir todos los puntos de interés sobre la fachada (Figura 21.b).



Figura 21.b

Si fuera necesario levantar el interior del edificio, de forma que todas las medidas del interior estén en el mismo sistema de coordenadas que las medidas del exterior, podemos emplear el método de estación libre para “introducir” el sistema de coordenadas en el interior. Para ello deberíamos marcar dos puntos sobre el suelo frente a la fachada y medirlos con el prisma reflector, como se hace en Topografía clásica, para obtener sus coordenadas. Una vez hecho esto, abriríamos la puerta de entrada al edificio y colocaríamos la estación de forma que desde esa nueva posición se pudiera hacer estación libre a esos dos puntos exteriores. Así tendríamos nuevamente definido el mismo sistema de coordenadas que antes y calculadas las coordenadas del nuevo punto de estación. Ahora podríamos poner más marcas en el interior y medir a ellas para obtener sus coordenadas. De esta forma podremos medir la planta, secciones y demás elementos de interés.

De esta forma, y gracias a esta metodología, desde cualquier posición del instrumento, fuera o dentro del edificio, podremos reproducir el sistema de coordenadas inicial (y único) siempre y cuando seamos capaces de medir al menos a dos marcas o puntos, aplicando la función de estación libre. Finalmente habremos obtenido las coordenadas de multitud de puntos del edificio en un único sistema tridimensional, que podrán ser tratados con cualquier programa de dibujo por ordenador para obtener las representaciones gráficas definitivas.

A continuación, vamos a exponer los cálculos necesarios para obtener las coordenadas del punto de estación y el giro del sistema de coordenadas, alrededor del eje Z, por el método de estación libre.

ESTACIONAMIENTO LIBRE

El método de estación libre es una función implementada en algunas estaciones totales, que permite el cálculo de las coordenadas (X_E, Y_E, Z_E) del punto E de estación y la desorientación θ_0 del limbo horizontal (acimut de la lectura 0^g), a partir de la medición de distancias, lecturas de ángulo horizontal y de ángulo vertical, desde el punto E de estación hacia, al menos, dos puntos A y B de coordenadas (X, Y, Z) conocidas. Como sabemos, dos puntos de coordenadas conocidas definen un sistema de referencia, siendo fácil calcular la distancia D_A^B y el acimut θ_A^B .

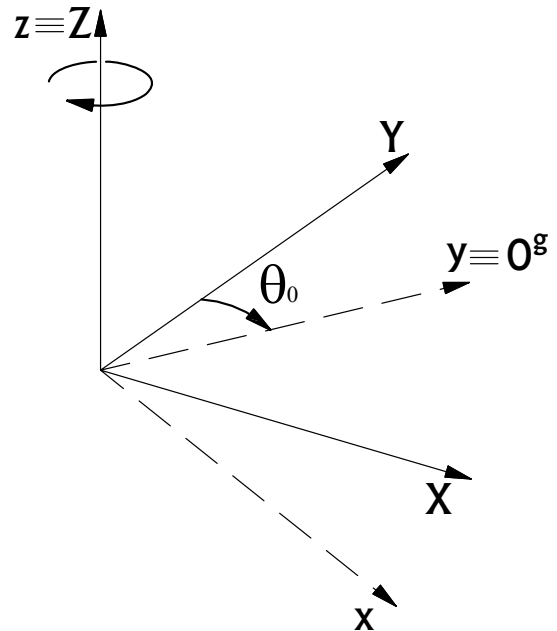


Figura 22

Cuando se coloca la estación total sobre el punto E y se conecta, la lectura 0^g del limbo horizontal apuntará, en general, hacia una dirección arbitraria, que formará un ángulo θ_0 con el sistema de coordenadas que definen los puntos A y B. Como ya sabemos, esa dirección de la lectura 0^g define el eje y del sistema de coordenadas local establecido por la estación total sobre el terreno. El eje z de dicho sistema es paralelo al eje Z del sistema definido por A y B. Por tanto, el sistema de coordenadas (x, y, z) de la estación total es un sistema girado un ángulo θ_0 , alrededor del eje $z \equiv Z$, respecto del sistema (X, Y, Z) , figura 22.

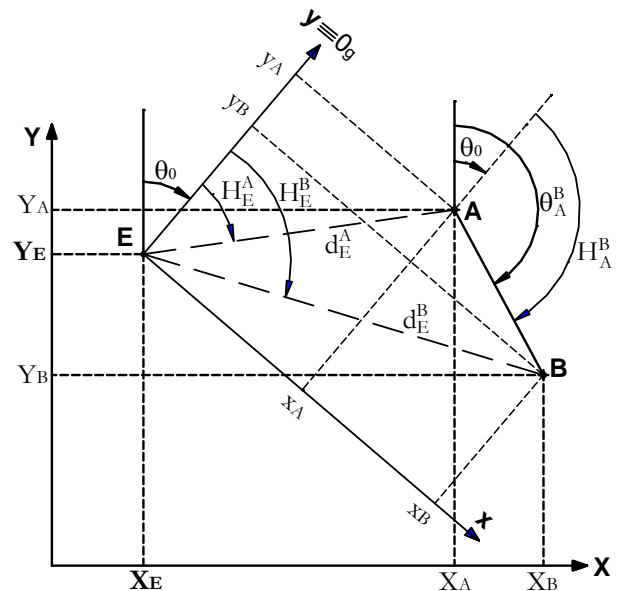


Figura 23

Dada la coincidencia de estos dos ejes, el análisis que sigue se realizará sobre el plano X,Y.

Por tanto, colocada la estación total en el punto E (cuyas coordenadas queremos calcular), figura 23, y conocidas las coordenadas de A(X_A, Y_A, Z_A) y B(X_B, Y_B, Z_B), medimos las distancias geométricas $(d_E^A)'$ y $(d_E^B)'$; los ángulos horizontales L_E^A y L_E^B ; y los ángulos verticales V_E^A y V_E^B ; así como la altura de instrumento i (valor igual a 0 si no se emplea prisma) y las alturas de prisma m_A y m_B (valores iguales a cero en caso de no utilizar prisma). A partir de aquí podremos calcular las distancias en proyección horizontal,

$$\begin{aligned} d_E^A &= (d_E^A)' \operatorname{sen} V_E^A \\ d_E^B &= (d_E^B)' \operatorname{sen} V_E^B \end{aligned} \quad (0.1)$$

El cálculo de las coordenadas planimétricas (X,Y) del punto E se realiza teniendo en cuenta que se trata de una transformación bidimensional de semejanza, también llamada transformación bidimensional conforme o transformación Helmert 2D. Para ello consideremos un nuevo sistema de referencia (x,y,z) con origen en el punto de estación E, y cuyo eje de ordenadas y coincide con la dirección de la lectura 0^g del limbo horizontal de la estación total colocada en E. La secuencia de cálculos es la siguiente:

1.- Cálculo de la distancia $(D_A^B)'$, del vector AB en el espacio, según las coordenadas de los puntos.

$$\begin{aligned} \Delta X_A^B &= X_B - X_A \\ \Delta Y_A^B &= Y_B - Y_A \\ \Delta Z_A^B &= Z_B - Z_A \end{aligned} \quad (0.2)$$

$$(D_A^B)' = \sqrt{(\Delta X_A^B)^2 + (\Delta Y_A^B)^2 + (\Delta Z_A^B)^2} \quad (0.3)$$

siendo dicha distancia en proyección horizontal,

$$D_A^B = \sqrt{(\Delta X_A^B)^2 + (\Delta Y_A^B)^2} \quad (0.4)$$

2.- En el triángulo EAB, sobre el plano XY, el ángulo en E puede ser calculado de dos formas distintas:

- por diferencia de lecturas:

$$\hat{E} = L_E^B - L_E^A \quad (0.5)$$

- aplicando el teorema del coseno, a partir de la longitud de los 3 lados:

$$\hat{E} = \arccos\left(\frac{(d_E^A)^2 + (d_E^B)^2 - (D_A^B)^2}{2d_E^A d_E^B}\right) \quad (0.6)$$

En general, ambos valores del ángulo en E no coincidirán, debido a los errores en la medición de las distancias $(d_E^A)'$ y $(d_E^B)'$ en el sistema (x,y,z) . Como la distancia D_A^B , establecida en el sistema (X,Y,Z) , es fija, puesto que ha sido calculada mediante las coordenadas de los puntos, la no coincidencia de los dos valores angulares anteriores indica que las distancias medidas en el sistema (x,y,z) están definidas a una escala distinta a las distancias medidas en el sistema (X,Y,Z) . Ello hace necesario homogeneizar la escala de distancias en ambos sistemas, calculando un factor de escala q , que transforme las distancias medidas en el sistema (x,y,z) a distancias en el sistema (X,Y,Z) . Antes, vamos a calcular la distancia $(d_A^B)'$, en el espacio, en el sistema (x,y,z) .

$$\begin{cases} x_A = \Delta x_E^A = x_A - x_E = d_E^A \text{sen} L_E^A \\ y_A = \Delta y_E^A = y_A - y_E = d_E^A \text{cos} L_E^A \\ z_A = \Delta z_E^A = z_A - z_E = d_E^A \text{cot} g V_E^A \end{cases} \quad \begin{cases} x_B = \Delta x_E^B = x_B - x_E = d_E^B \text{sen} L_E^B \\ y_B = \Delta y_E^B = y_B - y_E = d_E^B \text{cos} L_E^B \\ z_B = \Delta z_E^B = z_B - z_E = d_E^B \text{cot} g V_E^B \end{cases} \quad (0.7)$$

$$\begin{aligned} \Delta x_A^B &= x_B - x_A \\ \Delta y_A^B &= y_B - y_A \\ \Delta z_A^B &= z_B - z_A \end{aligned} \quad (0.8)$$

$$(d_A^B)' = \sqrt{(\Delta x_A^B)^2 + (\Delta y_A^B)^2 + (\Delta z_A^B)^2} \quad (0.9)$$

3.- El factor de escala q , que permite transformar las distancias medidas en el sistema (x,y,z) a distancias en el sistema (X,Y,Z) será:

$$q = \frac{(D_A^B)'}{(d_A^B)'} \quad (0.10)$$

4.- Cálculo de la desorientación del limbo horizontal (acimut de la lectura 0^g)

$$\theta_0 = \theta_A^B - L_A^B \quad (0.11)$$

siendo,

$$\theta_A^B = \arctg\left(\frac{\Delta X_A^B}{\Delta Y_A^B}\right) + C \quad (0.12)$$

C= constante según el cuadrante de B respecto de A, en el sistema (X,Y).

$$L_A^B = \arctg\left(\frac{\Delta x_A^B}{\Delta y_A^B}\right) + C' \quad (0.13)$$

C'= constante según el cuadrante de B respecto de A, en el sistema (x,y).

Si en la expresión que calcula θ_0 se obtiene un valor negativo, significa que el ángulo se está considerando en sentido contrario a las agujas del reloj y, por tanto, tendremos que sumarle 400^g .

5.- Para el cálculo de las coordenadas de E, en el sistema (X,Y,Z), observamos la figura 11, y tenemos,

$$\begin{aligned} X_A - X_E &= qx_A \cos \theta_0 + qy_A \operatorname{sen} \theta_0 \\ Y_A - Y_E &= -qx_A \operatorname{sen} \theta_0 + qy_A \cos \theta_0 \\ Z_A - Z_E &= qz_A - qz_E \end{aligned} \quad (0.14)$$

puesto que la coordenada Z sólo se ve afectada por el cambio de escala.

Según (1.7),

$$\begin{aligned}x_A &= x_A - x_E \\y_A &= y_A - y_E \\z_A &= z_A - z_E\end{aligned}\quad (0.15)$$

puesto que $x_E = 0$; $y_E = 0$; $z_E = 0$. De aquí, podemos expresar (1.14) en forma matricial,

$$\begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{pmatrix} = q \begin{pmatrix} \cos \theta_0 & \operatorname{sen} \theta_0 & 0 \\ -\operatorname{sen} \theta_0 & \cos \theta_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{pmatrix}\quad (0.16)$$

de donde podemos despejar las coordenadas del punto E

$$\begin{pmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} - q \begin{pmatrix} \cos \theta_0 & \operatorname{sen} \theta_0 & 0 \\ -\operatorname{sen} \theta_0 & \cos \theta_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{pmatrix}\quad (0.17)$$

Realizando el mismo análisis para el punto B, obtendríamos

$$\begin{pmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{pmatrix} - q \begin{pmatrix} \cos \theta_0 & \operatorname{sen} \theta_0 & 0 \\ -\operatorname{sen} \theta_0 & \cos \theta_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{pmatrix}\quad (0.18)$$

valores que, lógicamente, deberían coincidir con los de la expresión (1.17). En caso de que exista una ligera diferencia, se calculará la media aritmética de los dos valores de cada coordenada.

5.6.2. CÁMARA SEMIMÉTRICA BRÓNICA SQi-Ai

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Tipo: Cámara réflex de un solo objetivo, con obturador en éste para formato 6 x 6 cm, con objetivo intercambiable, respaldo para película, y sistemas de visor y pantalla de enfoque.

Tamaño del fotograma: 55.6 x 55.6 mm

- Película:** Película en rollo de 120/220/135 y película en paquete Polaroid Land, con respaldos exclusivos para película.
- Objetivo:** Tipo intercambiable. Objetivo estándar Zenzanon-PS de 80mm y F2.8; 6 elementos en 5 grupos; con recubrimiento antirreflejos de capas múltiples; ángulo de visión 50.7°; apertura mínima F22; ajustes intermedios de diafragma; enfoque helicoidal desde infinito hasta 80 cm.
- Tamaño de los filtros:** Diámetro 67 mm para objetivos Zenzanon-S/PS de 65 a 250mm; diámetro 95mm para objetivos Zenzanon-S/PS de 40mm y Zenzanon-S de 500mm; diámetro 77mm para objetivo Zenzanon-PS de 50mm; y diámetro 122mm para objetivo Zenzanon-PS de 50mm.
- Montura del objetivo:** Montura exclusiva de bayoneta Bronica SQ de cuatro uñas.
- Enfoque:** Sistema helicoidal de enfoque incorporado en cada objetivo; ángulo de enfoque de 171° para objetivos estándar.
- Obturador:** Obturador de lámina entre objetivos, de control electrónico, SEIKO#0; velocidades de obturación de 16 seg. a 1/500 de seg.; T (exposición prolongada); B (exposición con lámpara); con bloqueo de disparador. Ajustes de un paso con visor S para nivel de cintura y visor prismático S. Ajustes de medio paso con visor S MF y visor pentaprisma S ME. Variación continua con visor pentaprisma S AE.
- Diafragma:** Acción totalmente automática con reapertura instantánea; graduaciones de escala de apertura equidistante; con medios pasos; previsualización de la profundidad de campo.
- Bobinado de la película:** Palanca de bobinado de la película; un giro completo hacia delante o acción de bobinado por trinquete.
- Exposiciones múltiples:** Son posibles exposiciones múltiples con la palanca situada en el cuerpo principal de la cámara; indicador de exposiciones múltiples en el visor.
- Bloqueo del espejo:** El espejo puede bloquearse con la palanca situada en el cuerpo principal de la cámara; se puede disparar con bloqueo del espejo continuo o para un solo fotograma.
- Respaldo para película:** Tipo intercambiable de carga con luz natural; respaldos exclusivos para películas en rollo de 120, 220 y 135, y para películas en paquete Polaroid Land; con disco de sensibilidad de la película y disco de compensación de exposición; se acopla a visores con fotómetro incorporado, cuando se montan.
- Visor:** Sistema de visor intercambiable; 94% del campo de visión real (no varía cuando se cambia el visor).

Pantalla de enfoque: Tipo intercambiable; pantalla estándar de microprisma/imagen partida; pantallas opcionales son las de imagen partida, microprisma, mate, de película, microprisma/imagen partida (para película de 135) y mate (para película de 135).

Sincronización de flash: Posición X (hasta 1/500 de seg.); control de flash automático basado en mediciones directas de la luz en el plano de la película con unidades opcionales de flash electrónico compatible y Adaptador Sistema SCA y Sistema SCA-300.

Comprobación de las pilas: Cuando se pulsa el botón de comprobación se enciende un piloto LED rojo delante de la zona central, fuera de la zona de pantalla; el piloto sirve también como señal de cierre del obturador.

Pilas: Cuatro pilas alcalino-manganeso (LR44) de 1.5V.

Dimensiones: 92mm de anchura x 109mm de altura x 179mm de longitud (con objetivo estándar, respaldo SQ-i 120 y visor S para nivel de cintura)

Peso: 1515 g. (con objetivo estándar, respaldo SQ-i y visor S para nivel de cintura).



Figura 24



TIPO DE PELÍCULA EMPLEADO

En este caso se empleó un carrete de las siguientes características:

- FUJICHROME (diapositiva).
- VELVIA FOR PROFESSIONALS RVP 120
- ISO 50

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

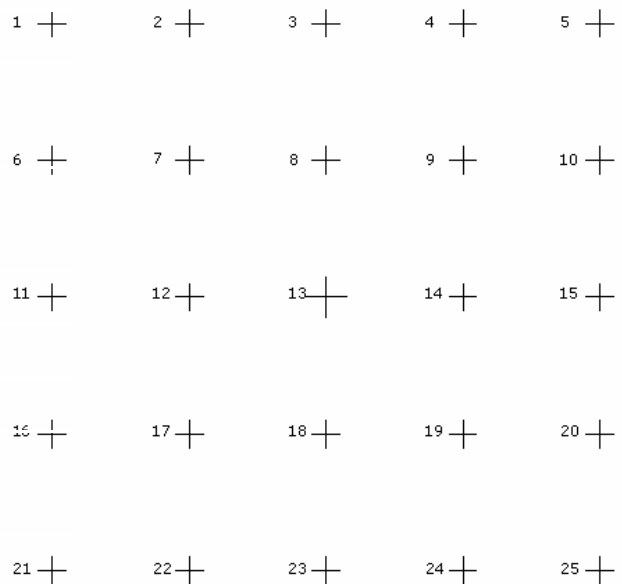
Longitud focal: 41.1133150 mm

Punto principal: $x_0 = (-0.2028420)$ mm

$y_0 = (0.0639510)$ mm

Marcas fiduciales de la placa reseau (coordenadas en mm):

	X	Y
1	- 20.0000000	20.0000000
2	- 10.0000000	20.0000000
3	0.0000000	20.0000000
4	10.0000000	20.0000000
5	20.0000000	20.0000000
6	- 20.0000000	10.0000000
7	- 10.0000000	10.0000000
8	0.0000000	10.0000000
9	10.0000000	10.0000000
10	20.0000000	10.0000000
11	- 20.0000000	0.0000000
12	- 10.0000000	0.0000000
13	0.0000000	0.0000000



14	10.0000000	0.0000000
15	20.0000000	0.0000000
16	- 20.0000000	- 10.0000000
17	- 10.0000000	- 10.0000000
18	0.0000000	- 10.0000000
19	10.0000000	10.0000000
20	20.0000000	10.0000000
21	20.0000000	20.0000000
22	10.0000000	20.0000000
23	0.0000000	20.0000000
24	10.0000000	20.0000000
25	20.0000000	20.0000000

Distorsión (valores en mm):

Radio	Distorsión
0.0000000	0.0000000
1.0000000	0.0126987
2.0000000	0.0251496
3.0000000	0.0371079
4.0000000	0.0483342
5.0000000	0.0585981
6.0000000	0.0676804
7.0000000	0.0753765
8.0000000	0.0814988
9.0000000	0.0858798
10.0000000	0.0883752
11.0000000	0.0888663
12.0000000	0.0872631
13.0000000	0.0835074
14.0000000	0.0775752
15.0000000	0.0694799
16.0000000	0.0592752

17.0000000	0.0470575
18.0000000	0.0329696
19.0000000	0.0172028
20.0000000	0.0000000
21.0000000	-0.0183411
22.0000000	-0.0374656
23.0000000	-0.0569582
24.0000000	-0.0763406
25.0000000	-0.0950683
26.0000000	-0.1125281
27.0000000	-0.1280349
28.0000000	-0.1408291
29.0000000	-0.1500734
30.0000000	-0.1548504
31.0000000	-0.1541593
32.0000000	-0.1469131
33.0000000	-0.1319361
34.0000000	-0.1079606
35.0000000	-0.0736240
36.0000000	-0.0274665
37.0000000	0.0320726
38.0000000	0.1066569
39.0000000	0.1980565
40.0000000	0.3081504

5.6.3. ESCANER DE PELÍCULA POLAROID “Epson Perfection V750 Pro”

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS



El punto de referencia del escaneado en alta calidad de fotografías, diapositivas y negativos. Epson Perfection V700 Photo es el escáner ideal para entusiastas de la fotografía y fotógrafos aficionados avanzados. Gracias al sistema de lente dual exclusivo de Epson combinado con la tecnología DIGITAL ICE, consigue una excepcional calidad de escaneado de fotografías, diapositivas y negativos.

Escaneado perfecto

Con el Epson Perfection V700 Photo puede lograr ampliaciones detalladas y nítidas con una inmejorable reproducción de los tonos, gracias al sistema de lentes dual exclusivo de Epson para el escaneado de películas de 6400 ppp y densidad óptica de 4,0 DMax.

No sólo puede escanear sus imágenes favoritas y crear ampliaciones a gran escala muy detalladas, sino que, gracias a su mayor capacidad, velocidad y flexibilidad, el Perfection V700 Photo está estableciendo un nuevo estándar en el escaneado plano de reproducciones fotográficas profesionales.

La calidad de escaneado está asistida además por una luz móvil de la unidad de transparencia que asegura la mayor fuente de luz más brillante posible para un escaneado suave de imágenes y una definición más nítida. Un piloto móvil azul le permite ver el avance del escaneado.

Tecnología exclusiva

El sistema de lentes dual exclusivo de Epson le permite escanear varios formatos de películas con una alta resolución de 6400 ppp. Puede además realizar escaneado de cualquier documento (opaco) a una resolución óptica de hasta 4800 ppp, lo que le permite no comprometer la calidad de sus escaneados y cuando realice ampliaciones incluso de películas de 35 mm, aparecerán con gran detalle y nitidez. La densidad óptica de 4,0 DMax le proporciona una reproducción inmejorable de luces y sombras por lo que no tendrá que preocuparse de la pérdida de las sombras sutiles que ofrecen el mejor resultado.

Mayor flexibilidad

Escanea todos los tipos de diapositivas y negativos, incluido medio formato y gran formato de hasta 4" x 5" y escanea gran volumen para ahorrarle tiempo y esfuerzo. Puede escanear:

- 24 fotogramas de un negativo de 35 mm
- 12 fotogramas de diapositivas de 35 mm
- Dos fotogramas de 6 x 20 cm (máx.) de negativo de medio formato (120/220)
- Dos fotogramas de negativo de gran formato de 4" x 5"

Restaura todos sus recuerdos

La tecnología DIGITAL ICE elimina automáticamente los arañazos y las motas de polvo de fotografías, diapositivas y negativos dañados, ahorrándole horas de edición de imágenes después del escaneado. Epson Easy Photo Fix™ también le permite restaurar las fotografías descoloridas en un sólo paso.

Software incluido

Epson Perfection V700 Photo está equipado con un avanzado software de edición de imágenes. Epson Creativity Suite le proporciona una herramienta fácil de utilizar para recuperar y visualizar imágenes, mientras que SilverFast® SE6 y Adobe® Photoshop® Elements 3.0 permiten controlar totalmente la creatividad sus imágenes.

** El área de escaneado efectivo es de 9,1" x 5,7" de película con DIGITAL ICE.*

Información técnica

General

-Tipo:	Escaner de sobremesa
-Tamaño max. Soporte compatible:	216 x 297 mm
- Anchura:	30.8 cm

-Profundidad:	50.3 cm
-Altura:	15.3 cm
-Peso:	6.6 kg
-Compatibilidad:	PC, Mac

Escáner

-Tipo de entrada:	Color
-Profundidad de escala de grises:	16 bits (64 k niveles de gris)
-Profundidad de escala de grises (extrema):	16 bits (64 k niveles de gris)
-Profundidad de color:	color 48 bits
-Profundidad de color (extrema):	color 48 bits
-Resolución óptica:	6400 ppp x 9600 ppp
Resolución interpolada:	12800 ppp x 12800 ppp
-Modo de exploración:	una sola pasada
-Tipo de elemento de exploración:	CCD
-Tipo de lámpara/ fuente de luz:	Lámpara fluorescente con cátodo frío de gas de xenón
-Gama de densidad de exploración:	4.0 D
-Datos de velocidad de escáner:	11segundos/exploración-blanco y negro A4- 300ppp 12 segundos / exploración - color - A4 - 300 ppp 20 segundos / exploración - color - A4 - 600 ppp 35 segundos / exploración - película (negativos) - 35mm - 2.400 ppp 36 segundos / exploración - película (positivos) - 35mm

Tratamiento soporte

-Tamaño máximo documento:	216mm (letter A Size) x 297 mm (A4)
-Tipo de soporte admitido:	transparencias, papel normal, película
-Tipo de alimentador de soportes:	carga manual

Expansión / Conectividad

-Interfaces:	1 x USB – 4 PIN USB tipo B 1 x IEEE 1394 (FireWire) – 6 PIN FireWire
--------------	---

Diverso

-Accesorios incluidos:	Adaptador de transparencias, soporte para película.
------------------------	---

Alimentación

- Voltaje necesario: CA 120 / 230V
- Consumo energético en funcionamiento
(en espera): 32 vatios (19 vatios)

Software / Requisitos del sistema

- Software incluido: SilverFast Ai 6, Adobe Photoshop Elements 3.0, ABBYY FineReader 6.0 Sprint Plus
- Sistema operativo requerido: Microsoft Windows XP Home Edition, Microsoft Windows 98 Second Edition / Windows ME, Microsoft Windows 2000 Professional / XP Professional, Apple MacOS X 10.2 o posterior, Microsoft Windows XP Professional x64 Edition

Garantía del fabricante

- Servicio y mantenimiento: 1 año de garantía
- Detalles de Servicio y Mantenimiento: Garantía limitada – 1 año

Parametros de entorno

- Temperatura mínima de funcionamiento: 5°C
- Temperatura máxima de funcionamiento: 35°C
- Ambito de humedad de funcionamiento: 10 – 80 %

5.7. ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL Digi 3D



Figura 26

Para realizar el levantamiento fotogramétrico de las fachadas y puerta del Deposito de Agua de Canteras hemos utilizado la cámara semimétrica Bronica SQi (anteriormente descrita), es en principio una cámara no métrica pero transformada a métrica, la cual incorpora en el cuerpo una placa de vidrio reticulado (réseau) por delante del plano de la película. La misión de la placa es corregir la distorsión de la imagen en el momento de la toma, así como posibles distorsiones ulteriores, el número de marcas fiduciales o cruces que posee la cámara es de 5x5.

La toma fotográfica se debe realizar lo más perpendicular posible al plano que nos interesa, y se deben realizar dos tomas a una distancia entre ellas de $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{8}$ de la distancia al objeto fotografiado. Las dos tomas, la fotografía izquierda y la fotografía derecha, con el solapamiento correspondiente (entre el 60 y 80%) es lo que se denomina "par estereoscópico".

En el momento de la toma fotográfica se debe tener en cuenta la iluminación, siempre hemos de fijarnos que no existan zonas con sombras, ya que éstas saldrán oscuras en las fotografías, con la consecuencia de tener zonas negras en nuestro par estereoscópico sobre las cuales no se podrá trabajar, por lo tanto hemos de tomar la precaución de medir exactamente los tiempos de exposición necesarios y contar siempre con una buena iluminación.

Con los fotogramas revelados y pasados a diapositiva digitalizándolos con el escáner de la marca Epson Perfection V750 Pro, de alta resolución ya se puede empezar a trabajar.

Los requisitos mínimos de la aplicación más exigente, DIGI3D, son los siguientes:

- Procesador: Pentium 3 ó Pentium 4. No soporta procesadores AMD.
- Memoria principal: 500 Mb. Recomendado 1,5 Gb ó 2 Gb
- Disco duro: Para la instalación de 100 a 800 Mb. Se recomiendan 80 Gb o más.

- Tarjetas gráficas: Soporta prácticamente todas las tarjetas gráficas duales (con dos salidas de monitos) que soporten DirectX 9.0, recomendando aquellas que permitan profundidades de color de 24 bits. Recomendación: Matrox Millenium G550.
- Monitores: Dos monitores, uno de ellos de CRT de 21" y el secundario de TFT ó CRT como mínimo de 16". La resolución mínima del monitor secundario deberá ser de 800x600 píxeles, recomendando profundidad de color de 24 bits.
- Tarjeta de sonido: Se recomienda tarjeta de sonido para la comunicación acústica del programa con el usuario.
- Dispositivo de entrada: Ratón + Ratón3D ó manivelas de codificadores. (Figura 29)



Figura 28



Figura 29



Digi3D es una completa Estación de Fotogrametría Digital que permite el registro de entidades geográficas a partir de imágenes aéreas, cámaras cónicas analógicas y digitales Leica ADS40, Intergraph Digital Mapping Camera System, Vexcel UltraCamD, de satélite (Ikonos, QuickBird) y procedentes de Fotogrametría terrestre. Digi3D es el standard en España, con más de 500 licencias instaladas por todo el país y en el extranjero como en Portugal, Perú, Colombia, India, Indonesia, ...

Es una aplicación **todo en uno** lo que permite que una pequeña empresa pueda competir con las grandes empresas por que dispone de todas las herramientas necesarias para emprender cualquier tipo de trabajo, no únicamente el proceso de resitución digital, sino abarcando temas como generación automática de puntos mediante correlación, triangulación/curvado, generación de recintos topológicos (para catastros, y modelos de datos elaborados ó para generación de mapas temáticos), generación de ortofotos, corrección radiométrica automática, transformaciones espaciales, ...

El interface de usuario es muy intuitivo, el usuario aprende rápidamente a manejarse con el programa, dando curvas de aprendizaje rápidas. El programa es facilmente configurable por parte del usuario permitiendo configuraciones desde un único monitor hasta 16 monitores con diferentes resoluciones y mostrando vistas estereoscópicas en todos ellos. El interface de usuario está implementado en español, inglés e italiano y se puede traducir a cualquier idioma con muy poco esfuerzo.

Ámpliamente utilizado en empresas públicas, privadas y universidades. Existen compañías con hasta 50 licencias.

Las características de la estación de fotogrametría digital DIGI3D versión 2007 utilizada son las siguientes:

- Movimiento de las imágenes suave. El sistema mueve las imágenes manteniendo los índices centrados en la pantalla, y el movimiento de las imágenes es suave, permitiendo movernos por todo el modelo sin ninguna interrupción. La sensación del operador es la de estar sentado ante un restituidor analítico.
- Configuración de múltiples monitores. La estación de Fotogrametría Digital Digi3D utiliza un ordenador con dos monitores. En uno de ellos se visualiza la información estereoscópica y en el otro se visualizan los menús, asistentes, vistas ortogonales y el resto de información.
- Múltiples dispositivos de visualización 3D
 - Estereóscopos de cualquier tipo

- Monitor ZScreen™ con gafas pasivas (figura 28)
- Gafas CristalEyes™
- Gafas Eye3D
- Gafas SimulEyes
- etc
- Múltiples dispositivos de entrada
 - Ratones convencionales
 - Ratones 3D
 - Manivelas de diferentes fabricantes (Rest2, Rest3, Rest4, TopoL, Diap, Altek, Sec-pc)
 - JoySticks de fuerza
 - etc
- Múltiples formatos de archivos gráficos
 - TIFF en sus diversas versiones
 - BMP
 - JPG
 - Mister SID
- Digi3D emplea de forma nativa sistemas estándar del mercado, no necesitando convertir las imágenes a un formato intermedio que implican aumento de espacio en disco y la pérdida de tiempo en transformaciones de formatos.
- Creación de fichero de cámaras fotogramétricas con incorporación de los datos del certificado de calibración (focal, coordenadas de las marcas fiduciales, distorsiones radiales, esquema de medida de puntos de aerotriangulación, etc.).
- Orientación Interna (manual o automática por correlación). Con ajuste de la transformación afín por mínimos cuadrados.
- Orientación Relativa (manual o automática por correlación). Cálculo de la orientación relativa mediante las ecuaciones de colinealidad dejando la cámara izquierda fija y obteniendo para la cámara derecha la base y los giros correspondientes. El ajuste de las ecuaciones se realiza por mínimos cuadrados obteniéndose las paralajes residuales. Además, se emplean estimadores robustos para la detección de errores groseros.
- Orientación Absoluta (manual con ayudas por correlación). El programa almacena las fotocoordenadas de todos los puntos que se miden en cada foto así como una instantánea de la imagen de la foto. Si se precisa medir el mismo punto en otro modelo el programa fijará la fotografía en las fotocoordenadas almacenadas y presentará la instantánea para ayudar en su medida, buscando su

homólogo por correlación. A partir del segundo punto, el programa busca todos los puntos de apoyo que entren en el modelo, moviéndose a ellos para proceder a su medida. Para calcular se obtienen los parámetros aproximados de la orientación absoluta mediante la matriz de Rodríguez, siendo introducidos en la linealización de la matriz de Euler, ajustándose todo el sistema de ecuaciones por mínimos cuadrados.

- Medida de Aerotriangulación (con ayudas por correlación). El programa dispone de una herramienta de medida de modelos para realizar el cálculo de aerotriangulación, tanto por haces como por modelos independientes. Dispone de ayudas en la medición similares a las que se emplean en la orientación absoluta, como almacenar instantáneas de los puntos medidos, recordar las fotocoordenadas y buscar los puntos homólogos por correlación. También dispone de un sistema automático de numeración de los puntos de aerotriangulación. Se generan de forma nativa archivos para trabajar con PatM y PatB.
- Generación automática de reseñas. Se dispone de un generador automático de reseñas en formato "html" que se puede personalizar y en el que se presentan las instantáneas de los puntos de apoyo y de aerotriangulación y sus coordenadas terreno.
- Importación de formatos
 - Importar absolutas de PatM y .MOD
 - Importar absolutas desde un archivo
 - Importar de PatB fotocoordenadas y coordenadas terreno
 - Importar de PatB orientaciones
 - Importar de PatB orientaciones (en grupo)
 - Importar internas de Digi21
 - Importar orientaciones de DIAP
 - Importar orientaciones externas
 - Importar orientaciones externas con centros de proyección y giros
 - Importar relativa y absoluta desde un archivo en un sólo paso con fotocoordenadas
 - Importar relativas desde un archivo
- Exportación
 - Exportar archivos .job y .mod para Kork
 - Exportar datos de aerotriangulación para AeroSys
 - Exportar orientaciones a formato PatB y a formato de centro de proyección y giros

- Correlación entre pasadas
Tanto en Orientación Absoluta como en Aerotriangulación.
- Completamente configurable
Se permiten configurar desde un único e intuitivo cuadro de diálogo absolutamente todos los parámetros internos del programa.
- Aceleración de manivelas
Dispone de una opción que permite moverse rápidamente por el modelo si detecta que el operador mueve las manivelas a una velocidad rápida.
- Barras de herramientas de usuario
El usuario puede automatizar tareas creando barras de herramientas propias. Tantas barras y con tantos botones como sea capaz de imaginar.
- DigiNG (Digi de Nueva Generación) integrado.
- Superimposición vectorial.
- Formatos soportados
 - BIN de Digi
 - Ascii de Digi
 - DXF
 - DGN
 - Shp (ArcInfo)
 - Kork

5.8. DESARROLLO DEL PROCESO FOTOGRAMETRICO

5.8.1. ARCHIVO DE CÁMARA CALIBRADA *.cam

El programa DIGI3D requiere, para la restitución fotogramétrica, los dos archivos correspondientes a la imagen izquierda e imagen derecha, así como los archivos correspondientes a las características de la cámara y las coordenadas de los puntos de apoyo, que pasamos a descubrir a continuación:

Posición Panel: Un valor numérico que indica la posición del panel. Puede tener los siguientes valores:

Valor	Significado
0	Izquierda
1	Arriba
2	Derecha
3	Abajo

Focal: Valor de la focal de la lente.

Punto Principal: Coordenadas del punto de mejor simetría.

Fiducial x: Coordenadas de las diferentes marcas fiduciales de la cámara. Puede haber cualquier número de marcas fiduciales. El valor x puede ir desde 1 hasta n y no se puede saltar ningún valor.

Cuando el programa analiza el archivo de cámara comienza a buscar la fiducial Fiducial1 y después la fiducial Fiducial2 y así sucesivamente hasta que no encuentra una fiducial x. Si por ejemplo tenemos una fiducial 1,2,3 y 5, el programa sólo cargará las fiduciales 1, 2 y 3 ya que al ir a leer las coordenadas de la fiducial 4 y al no encontrar ninguna línea que la defina determinará que se han acabado las coordenadas de marcas fiduciales y no leerá la fiducial Fiducial5.

PreIx: Coordenadas de los distintos puntos de relativa. A estas coordenadas nos llevará el programa cuando realicemos una orientación de relativa. Una vez estemos haciendo la orientación de relativa podremos añadir interactivamente nuevos puntos de relativa.

Si vas a realizar la Orientación Relativa de varios modelos de forma automática, debes indicar solamente 6 puntos. Además debes introducir una coordenada Y que no sea muy grande, con el fin de que no esté cerca del borde del fotograma, pues puede darse el caso de que no encuentre puntos homólogos en la imagen derecha .

Paerox: Sufijo de numeración de punto y coordenadas X,Y del esquema de puntos de Aerotriangulación.

Distorsion x: Especifica las distorsiones radiales de la cámara. Tiene dos parámetros:

Radio.- Especifica el radio de la medida de distorsión.

Distorsión.- Especifica el valor de distorsión para el radio especificado.

Los valores de las distorsiones/radios de distorsión se introducirán en las mismas unidades que el resto de medidas en el archivo de cámara. Nótese que en la mayoría de los certificados de calibración de cámaras, los radios se dan en milímetros y los valores de distorsión en micras. Debiéndose poner aquí todos en las mismas unidades (normalmente en milímetros).

5.8.2. ARCHIVO DE PUNTOS DE APOYO

Un archivo de puntos para el restituidor digital tiene un formato muy sencillo: Es un archivo ASCII con varias líneas cada una de las cuales indica el número de punto y las Coordenadas Terreno de éste. Se puede añadir un comentario detrás de la Coordenada Z.

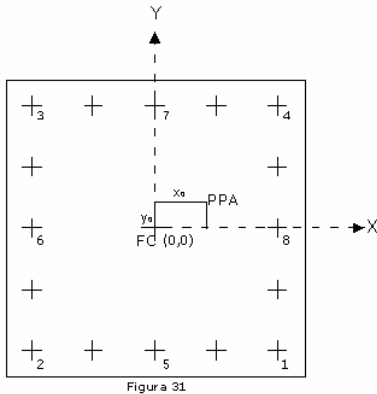
Se admiten como separadores de campo el espacio, tabulador, comillas y coma.

El identificador de un punto tiene que ser numérico.

Nombre Pto.	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
-------------	----------	----------	----------

5.8.3. ORIENTACIÓN INTERNA

SISTEMA DE COORDENADAS IMAGEN, PLACA RESEAU, MARCAS FIDUCIALES



De todas las cruces de la placa reseau, sólo se utilizan 8 como marcas fiduciales para el proceso de orientación interna, designadas con los números correspondientes a la figura 31.

En la cruz central se establece el origen del sistema de coordenadas imagen.

El eje óptico de la cámara pasa a través del centro de perspectiva (realmente el punto de cabeza en la cola del sistema de las lentes) e intersecta al plano de la imagen en el punto llamado punto principal o punto principal de autocolimación, PPA. La distancia desde el centro de perspectiva hasta el plano de la imagen a lo largo del eje óptico es la distancia principal, PD. Para cámaras aéreas y otras de enfoque fijo, la distancia principal es igual a la distancia focal f . Para las cámaras de objeto cercano, la distancia principal es mayor que la distancia focal y cambia según el enfoque.

Las marcas fiduciales en el plano de la imagen proporciona posiciones fijas de referencia visibles en la imagen. La intersección de las líneas que resultan al unir marcas fiduciales opuestas (o especificación similar) define un punto conocido como el centro fiducial, FC. Este punto es cercano al punto principal, pero raramente coinciden. El sistema de coordenadas de la imagen se define por tener su origen en el FC, con la dirección del eje x explícitamente definida hacia un lado de las marcas fiduciales, o mediante la bisección de las líneas que unen las marcas fiduciales de la esquina, etc. El eje y entonces forma ángulo recto con el eje x para formar un sistema ortogonal de coordenadas. El desplazamiento del PPA respecto al FC se determinan durante la calibración de la cámara y se refieren como (x_0, y_0) . La figura 31 muestra la relación entre estos elementos. Cuando queremos extender

las coordenadas de un punto de coordenadas de imagen 2-D a coordenadas sensor 3-D, se convierte en $(x - x_0, y - y_0, -f)$, con origen implícito en el centro de perspectiva.

TRANSFORMACIÓN AFÍN

La orientación interna en la fotogrametría analítica es el paso que matemáticamente recrea la geometría que existe en la cámara cuando una fotografía particular se tomó. Esto requiere información sobre la calibración de la cámara. El proceso empieza con coordenadas conocidas de puntos fiduciales y las coordenadas de esos mismos puntos sobre la imagen (coordenadas píxels), medidos directamente sobre la pantalla del ordenador con el ratón.

Una transformación bidimensional (normalmente afín) se usa para relacionar las coordenadas píxeles de la imagen con las del sistema fiducial, así como corregir la distorsión de la película. La información referente a la distorsión de la lente y la posición del punto principal, obtenida de la calibración de la cámara, se usan entonces para refinar las coordenadas, de tal modo que estén correctamente relacionadas con el punto principal y libres de distorsión del objetivo.

DESCRIPCIÓN DE LOS ARCHIVOS DIGI *.INN

Una vez realizada la Orientación Interna, se guardan los datos correspondientes a la misma en un archivo de texto, con extensión INN y con el mismo nombre que la imagen. Si la imagen es xxx.tif, el archivo de Orientación Interna será xxx.inn. Dicho archivo contiene los siguientes datos:

Cadena de texto: Esta cadena en este tipo de archivos siempre es RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA.

Parámetros: En la Orientación Interna se aplica una Transformación Afín. En este archivo se escriben dos juegos de parámetros, correspondientes a:

Paso de Fotocoordenadas a Coordenadas Píxel.

Paso de Coordenadas Píxel a Fotocoordenadas.

Datos cámara: Esta fila contiene las coordenadas del Punto Principal y la distancia focal de la cámara.

Posición Panel: Posición de los relojes en la imagen, tal y como está definido en el archivo de cámara.

Datos: Son los datos con los que se ha calculado la Transformación Afín. Están en los siguientes campos:

Fiducial: Número de marca fiducial

Coordenadas Fiducial: Fotocoordenadas, X e Y, de las marcas fiduciales. Son las especificadas en el archivo Coordenadas

Medidas Coordenadas Píxel de las punterías efectuadas a las marcas fiduciales.

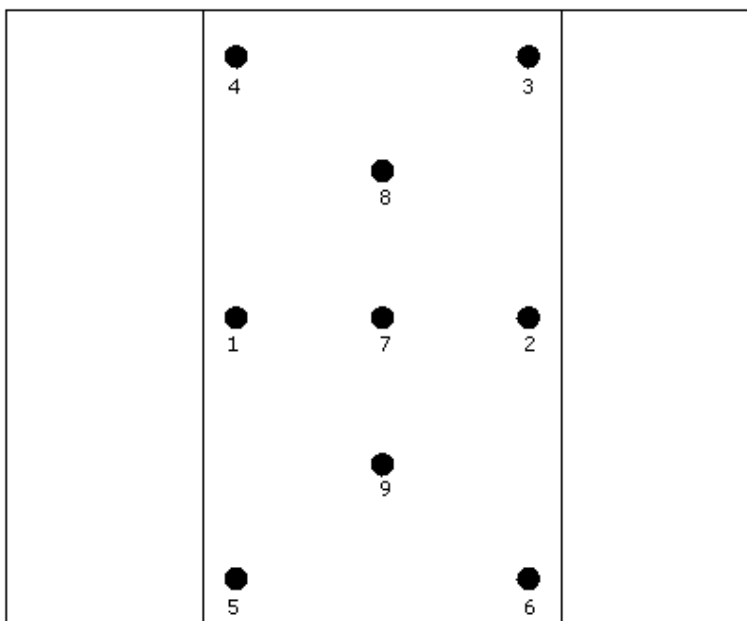
Ex, Ey Error en X, Y, respectivamente, de la Orientación Interna. Se expresan en las mismas las Fotocoordenadas.

Nombre de la fotografía Especifica el nombre del archivo de Orientación Interna, y en qué directorio se almacena.

Fecha Escribe la fecha y la hora de creación del archivo de Orientación Interna.

5.8.4. ORIENTACIÓN RELATIVA

La orientación relativa es el proceso que determina la posición espacial de las dos fotografías que existía en el momento en que se tomaron. Esto supone definir previamente ciertos elementos de la orientación externa y calcular los restantes.



Los parámetros de la orientación externa resultantes no serán los valores actuales que existían cuando se tomaron las fotografías; sin embargo, serán corregidos en “sentido relativo” entre ambas fotografías. En este proceso es una práctica común fijar cinco elementos de la orientación externa de la foto izquierda (ω , φ , κ , X_L , Y_L) dándoles valores cero. Además, el valor Z_L de la

foto izquierda se ^{Figura 32} iguala a f (distancia focal) y X_L de la foto derecha se iguala a la base b (distancia entre ambos centros de proyección). Con estos valores previos se pueden calcular valores iniciales aproximados del resto de parámetros (ω , φ , κ , Y_L , Z_L) de la foto derecha.

Para calcular los parámetros definitivos se toman entre 6 y 9 puntos bien distribuidos sobre la zona de solape de ambas fotos, denominados puntos de Von Grubber, y estableciendo la condición de colinealidad en todos ellos simultáneamente, se genera y resuelve un sistema de ecuaciones lineales por el método de mínimos cuadrados, que da como resultado los valores definitivos de esos parámetros iniciales aproximados de la foto derecha.

DESCRIPCIÓN DE LOS ARCHIVOS DIGI *.REL

Una vez realizada la Orientación Relativa, se guardan los datos correspondientes a la misma en un archivo de texto, con extensión REL y con los nombres de las imágenes del modelo formado. Si las imágenes son xxx.tif y yyy.tif, el archivo de Orientación Relativa será xxx-yyy.rel. El archivo de Orientación Relativa contiene los siguientes datos:

Cadena de texto Esta cadena en este tipo de archivos siempre es RESULTADOS DE ORIENTACIÓN RELATIVA.

Focal Distancia focal de la cámara, especificada en el archivo de cámara.

Coordenadas Punto Principal Fotocoordenadas del Punto Principal, especificadas en el archivo de cámara.

Parámetros de la imagen izquierda Se escriben los siguientes parámetros: bxi, byi, bzi Base del fotograma izquierdo. Las unidades son las mismas de las Coordenadas Modelo.

Matriz de rotación matriz de rotación de la imagen izquierda

Parámetros de la imagen derecha Se escriben los siguientes parámetros: bxi, byi, bzi Base del fotograma derecho. Las unidades son las mismas de las Coordenadas Modelo.

Matriz de rotación matriz de rotación de la imagen derecha

Coordenadas Modelo punto inicial En esta línea se escriben las Coordenadas Modelo del punto que se visualizará al entrar en Digi3D. Por defecto se trata del primer punto al que se haya hecho puntería.

Datos

Son los datos con los que se ha calculado la Orientación Relativa. Están en los siguientes campos:

N Número de punto medido.

xFizq, yFizq Fotocoordenadas X e Y, correspondientes a la imagen izquierda, de los puntos medidos.

xFder, yFder Fotocoordenadas X e Y, correspondientes a la imagen derecha, de los puntos medidos.

xMod, yMod, zMod Coordenadas Modelo X, Y, Z de los puntos medidos.

Residuos Son los datos con los que se ha calculado la Orientación Relativa. Están en los siguientes campos:

N Número de punto medido.

vXizq, vYizq Residuos en X e Y, correspondientes a la imagen izquierda, de los puntos medidos.

vXder, vYder Residuos en X e Y, correspondientes a la imagen derecha, de los puntos medidos.

py(micras) Paralaje en los puntos medidos.

Puntos medidos Es el número de puntos medidos antes de iniciar el cálculo. Por lo tanto son 6*Número de puntos por zona indicados en la configuración de la Orientación Relativa Automática.

Puntos rechazados Es el número de puntos medidos que son rechazados durante el cálculo de la Orientación Relativa de forma automática. Para excluirlos del cálculo se utilizan estimadores robustos.

Número de iteraciones Número de iteraciones realizadas en el cálculo de la Orientación Relativa.

Giro de la cámara izquierda Giros Omega, Phi y Kappa correspondientes a la imagen izquierda.

Giro de la cámara derecha Giros Omega, Phi y Kappa correspondientes a la imagen derecha.

Nombre del modelo Especifica el nombre del modelo.

Fecha Escribe la fecha y la hora de creación del archivo de Orientación Relativa.

5.8.5. ORIENTACIÓN ABSOLUTA

SISTEMA DE COORDENADAS TERRENO

Para un pequeño modelo estereoscópico, como el calculado de un par estereoscópico, la orientación analítica absoluta puede realizarse usando una transformación de coordenadas tridimensionales. Esta transformación entre dos sistemas de coordenadas espaciales (modelo y terreno), consta de siete parámetros: tres traslaciones, tres rotaciones y un factor de escala. Esto requiere un mínimo de dos puntos planimétricos de control y tres altimétricos, pero puntos adicionales de control proporcionan redundancia, lo que permite obtener una solución por el método de mínimos cuadrados.

En el proceso de cálculo de la orientación absoluta, las coordenadas del modelo estereoscópico de los puntos de control están relacionadas con sus coordenadas

tridimensionales en un sistema con base en el terreno. Es importante, para el sistema con base en el terreno, ser un sistema verdadero de coordenadas cartesianas, ya que la transformación de coordenadas tridimensionales conformes está basada en ejes ortogonales rectos.

Una vez que los parámetros de la transformación han sido calculados, pueden aplicarse a los puntos libres del modelo estereoscópico, incluyendo las coordenadas X_L , Y_L y Z_L de las fotografías derecha e izquierda. Esto da las coordenadas de todos los puntos del modelo estereoscópico en el sistema con base en el terreno.

DESCRIPCIÓN DE LOS ARCHIVOS DIGI *.ABS

Una vez realizada la Orientación Absoluta, se guardan los datos correspondientes a la misma en un archivo de texto, con extensión ABS y con los nombres de las imágenes que forman el modelo separados por un guión. Si el modelo está formado por las imágenes xxx.tif e yyy.tif, el archivo de Orientación Absoluta será xxx-yyy.abs. Dicho archivo contiene los siguientes datos:

Cadena de texto Esta cadena en este tipo de archivos siempre es RESULTADOS DE ORIENTACIÓN ABSOLUTA.

Parámetros de Orientación Absoluta En la Orientación Absoluta se aplica. En este archivo se escriben los siguientes parámetros:

Coordenadas Terreno X, Y, Z. del punto de vista de la imagen izquierda.

Matriz de rotación

Giros Omega, Phi y Kappa.

Cadena de texto La cadena es RESULTADOS DE ORIENTACIÓN EXTERNA.

Cadena de texto La cadena es IMAGEN IZQUIERDA.

Parámetros de Orientación Externa de la imagen izquierda Se escriben los siguientes parámetros:

Coordenadas Terreno X, Y, Z. del punto de vista de la imagen izquierda.

Matriz de rotación de la imagen izquierda.

Giros Omega, Phi y Kappa.

Cadena de texto La cadena es IMAGEN DERECHA.

Parámetros de Orientación Externa de la imagen derecha Se escriben los siguientes parámetros:

Coordenadas Terreno X, Y, Z. del punto de vista de la imagen derecha.

Matriz de rotación de la imagen derecha.

Giros Omega, Fi y Kappa.

Datos Son los datos con los que se ha calculado la Orientación Absoluta. Están en los siguientes campos:

Punto Número de punto de apoyo

Coordenadas Puntos de Apoyo Coordenadas Terreno, X, Y, Z, de los puntos de apoyo. Las coordenadas son las especificadas en el archivo de puntos.

Coordenadas Medidas Coordenadas Modelo, x, y, z de los posados efectuadas a los puntos de apoyo.

Ex, Ey, Ez Error en X, Y, Z, respectivamente, de la Orientación Absoluta. Se expresa en las mismas

unidades que las Coordenadas Terreno.

EM Error medio cuadrático del cálculo de la Orientación Absoluta.

Nombre del modelo Especifica el nombre del archivo de Orientación Absoluta, y en qué directorio se almacena.

Fecha Escribe la fecha y la hora de creación del archivo de Orientación Absoluta.

5.8.6. ORIENTACIÓN EXTERNA

DESCRIPCIÓN DE LOS ARCHIVOS DIGI *.ORI

Una vez realizada la Orientación Externa de una imagen, se guardan los datos correspondientes a la misma en un archivo de texto, con extensión ORI y con el mismo nombre que la imagen. Si la imagen es xxx.tif, el archivo de Orientación Externa será xxx.ori. Al realizar la Orientación Absoluta de un par estereoscópico se crean dos archivos ORI, uno para cada imagen del par.

El archivo de Orientación Externa contiene los siguientes datos:

Cadena de texto Esta cadena en este tipo de archivos siempre es [Orientacion]

Cadena de texto Esta cadena es Modo=Externa.

Cadena de texto Esta cadena es [Interna]

Parámetros de Orientación Interna Se escriben los siguientes parámetros:

m0, m1 Parámetros matemáticos de la Transformación Afín relativos a los factores de escala y al giro. Esta Transformación Afín es la correspondiente al paso de Fotocoordenadas a Coordenadas Píxel.

desp Parámetros matemáticos de la Transformación Afín relativos a las traslaciones. Esta Transformación Afín es la correspondiente al paso de Fotocoordenadas a Coordenadas Píxel.

Focal Distancia focal de la cámara, especificada en el archivo de cámara.

Punto principal Fotocoordenadas del Punto Principal, especificadas en el archivo de cámara.

Cadena de texto Esta cadena es [Externa]

Parámetros de Orientación Externa Se escriben los siguientes parámetros:

m0, m1, m2 Matriz de rotación de la imagen.

Centro Proyección Coordenadas Terreno del Centro de Proyección (o Punto de Vista), de la cámara.

ZMedia Cota media del terreno. Este dato se introduce porque los archivos ORI se utilizan para calcular Ortofotografías con Digi21.

5.9. PARES ESTEREOSCÓPICOS REALIZADOS

5.9.1. FACHADA PRINCIPAL

IMAGEN DERECHA



IMAGEN IZQUIERDA



ARCHIVO DE CÁMARA

[Camara]

PosicionPanel=	0	
Focal=	41.1133150	
PuntoPrincipal=	-0.202842	0.063951
Fiducial1=	20	-20
Fiducial2=	-20	-20
Fiducial3=	-20	20
Fiducial4=	20	20
Fiducial5=	0	-20
Fiducial6=	-20	0
Fiducial7=	0	20
Fiducial8=	20	0
PRel1=	0	0
PRel2=	20	0
PRel3=	20	20
PRel4=	0	20
PRel5=	0	-20
PRel6=	20	-20
PRel7=	10	0
PRel8=	10	12

PReI9=	10	-12
TipoValorDistorsion=	0	
Distorsion1=	0	0.000
Distorsion2=	1	0.0126987
Distorsion3=	2	0.0251496
Distorsion4=	3	0.0371079
Distorsion5=	4	0.0483342
Distorsion6=	5	0.0585981
Distorsion7=	6	0.0676804
Distorsion8=	7	0.0753765
Distorsion9=	8	0.0814988
Distorsion10=	9	0.0858798
Distorsion11=	10	0.0883752
Distorsion12=	11	0.0888663
Distorsion13=	12	0.0872631
Distorsion14=	13	0.0835074

ARCHIVO DE PUNTOS DE APOYO

Z03	10.3045	11.82928	5.07332
Z15	15.31585	11.04516	5.3555
Z18	16.37645	11.93551	4.96338
Z25	13.55063	13.41245	4.84756
Z27	12.32097	14.20512	4.84103
Z34	10.3681	14.79629	5.14098
Z44	12.96889	16.84931	4.93477
Z45	15.5388	15.21176	5.14845
Z46	12.94264	9.40005	4.88014
P1	10	10	5
P2	15.989	11.051	5

ARCHIVOS DE ORIENTACIÓN

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA IZQUIERDA

0.005253491232198 0.000062078449262 -27.538
0.000079884292655 -0.005289812067891 28.171

190.315647004363800 2.233444229136667 5177.949
2.874058784512714 -189.008904296703410 5403.737

-0.202842000000000 0.063951000000000 41.113315000000000

Fiducial -Coord Fiducial- -Coordenadas Medidas- -Ex- -Ey-

1	20.000	-20.000	8940.335	9239.919	-0.004	-0.008
2	-20.000	-20.000	1325.683	9125.870	0.007	-0.003
3	-20.000	20.000	1417.243	1566.336	-0.005	0.001
4	20.000	20.000	9028.777	1681.527	0.001	0.003
5	0.000	-20.000	5133.019	9185.778	0.001	0.010
6	-20.000	0.000	1372.907	5346.093	-0.007	-0.001
7	0.000	20.000	5221.031	1622.638	0.008	-0.005
8	20.000	0.000	8984.598	5461.739	-0.002	0.003

EM.= 0.006

Nombre de la fotografía: C:\Deposito\fachadap\img005_izq.in
Fecha: 23/5/2007 10:31

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA DERECHA

0.005249397877321 0.000059145018807 -27.398
0.000075478171881 -0.005287659304930 28.105

190.467405863082750 2.130469769757176 5158.607
2.718808222779737 -189.089186420226720 5388.866

-0.202842000000000 0.063951000000000 41.113315000000000

Fiducial	-Coordenadas	Fiducial-	-Coordenadas	Medidas-	-Ex-	-Ey-
1	20.000	-20.000	8925.122	9226.168	0.001	0.006
2	-20.000	-20.000	1306.769	9116.781	-0.001	0.003
3	-20.000	20.000	1391.487	1554.351	0.002	0.009
4	20.000	20.000	9010.873	1662.209	-0.002	0.004
5	0.000	-20.000	5115.946	9171.471	0.000	0.004
6	-20.000	0.000	1349.588	5331.886	-0.002	-0.014
7	0.000	20.000	5201.133	1607.163	0.000	0.000
8	20.000	0.000	8967.937	5440.897	0.000	-0.012

EM.= 0.007

Nombre de la fotografía: C:\Deposito\fachadap\img006_der.in
Fecha: 23/5/2007 10:35

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN ABSOLUTA

ABSOLUTE ORIENTATION

11.434 6.538 21.464

0.290784784828378

0.999706702671384 0.007235670350793 -0.023111765585598 Omega: -0.9065

-0.007562011639577 0.999872500570340 -0.014064088423293 Phi: 1.4648

0.023007055741052 0.014234734904098 0.999633956860379 Kappa: 0.4815

POINT	-XT-	-YT-	-ZT-	-xi-	-yi-	-zi-	-Ex-	-Ey-	-Ez-
P1	10.00	10.00	5.00	-6.337	11.043	-56.629	0.004	0.006	-0.007
P2	15.99	11.05	5.00	14.226	14.855	-57.272	0.003	-0.009	0.027
Z03	10.30	11.83	5.07	-5.293	17.328	-56.426	-0.007	0.011	-0.025

Z15	15.32	11.05	5.36	11.947	14.844	-56.007	0.001	-0.011	0.030
Z18	16.38	11.94	4.96	15.531	17.804	-57.051	0.007	0.022	-0.095
Z25	13.55	13.41	4.85	5.768	22.870	-57.708	0.004	0.002	0.025
Z27	12.32	14.21	4.84	1.553	25.552	-57.585	-0.005	0.006	-0.000
Z34	10.37	14.80	5.14	-5.163	27.553	-56.416	-0.002	0.005	-0.004
Z44	12.97	16.85	4.93	3.715	34.711	-57.443	-0.004	-0.008	-0.000
Z45	15.54	15.21	5.15	12.613	29.177	-56.913	-0.006	-0.015	0.023
Z46	12.94	9.40	4.88	3.777	9.091	-57.359	0.006	-0.008	0.026

EM.= 0.024

Model name: C:\Deposito\fachadap\img005_izq-img006_der.abs2

Date: 19/6/2007 10:31

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN RELATIVA

41.113 41.113
-0.203 0.064 -0.203 0.064

0.000	0.000	0.000
1.0000000000000000	0.0000000000000000	0.0000000000000000
0.0000000000000000	1.0000000000000000	0.0000000000000000
0.0000000000000000	0.0000000000000000	1.0000000000000000

12.161	0.071	-2.187
0.999990219258265	0.004303500690493	-0.001020426192587
-0.004296089266369	0.999965157709844	0.007157302798014
0.001051192096134	-0.007152848952270	0.999973865532016

4.107 0.897 -42.424

N	-xFizq-	-yFizq-	-xFder-	-yFder-	-xMod-	-yMod-	-zMod-
1	3.980	0.871	-8.181	0.583	4.107	0.897	-42.424
2	24.584	0.906	13.588	0.543	25.465	0.945	-42.586
3	10.544	19.885	1.943	20.239	14.581	27.490	-56.856
4	-2.994	18.086	-11.954	18.432	-4.202	25.378	-57.699
5	-10.029	1.141	-23.122	0.935	-10.210	1.162	-41.853
6	25.498	-1.318	14.460	-1.831	26.213	-1.360	-42.266
7	8.351	0.947	-3.622	0.650	8.585	0.975	-42.264
8	14.583	8.616	7.351	8.530	23.512	13.894	-66.287
9	14.734	-0.654	3.090	-1.077	15.132	-0.675	-42.222
10	-4.413	11.902	-13.657	12.077	-6.070	16.383	-56.555
11	-9.986	7.506	-18.140	7.485	-15.873	11.927	-65.349
12	10.289	10.714	1.696	10.783	14.314	14.918	-57.195

N	-vXizq-	-vVizq-	-vXder-	-vYder--	-py- (micras)
1	-0.0	1.9	-0.0	-1.8	-3.7
2	0.0	-5.9	0.0	5.6	11.6
3	0.6	7.1	-0.6	-6.9	-14.0
4	0.2	2.9	-0.2	-2.9	-5.8
5	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0
6	-0.1	5.5	0.1	-5.2	-10.8
7	0.0	-1.4	0.0	1.3	2.6
8	-0.0	-1.3	0.0	1.3	2.6
9	-0.0	3.4	0.0	-3.3	-6.7

10	-0.4	-7.5	0.4	7.3	14.8
11	0.1	2.6	-0.1	-2.6	-5.2
12	-0.4	-8.6	0.4	8.3	16.8

Puntos medidos: 12
Puntos rechazados: 0
Desviación típica: 8.8 micras
Número de iteraciones: 2

Giros de la cámara izquierda:
Omega: 0.0000 gon Phi: 0.0000 gon Kappa: 0.0000 gon

Giros de la cámara derecha:
Omega: 0.4554 gon Phi: 0.0669 gon Kappa: 0.2735 gon

Nombre del modelo: img005_izq
Fecha: 23/5/2007 19:15

5.9.2. FACHADA LATERAL SUPERIOR

IMAGEN DERECHA



IMAGEN IZQUIERDA



ARCHIVO DE CÁMARA

El mismo que para la Fachada Principal.

ARCHIVO DE PUNTOS DE APOYO

P6	15.019	11.738	5
P5	10	10	5
Z86	8.29659	9.95229	4.96257
Z68	10.99523	9.84511	4.99163
Z72	13.18845	9.75576	4.99153
Z73	14.89941	9.96969	4.98581
Z69	10.55826	11.62579	5.01617
Z71	12.50091	11.63718	5.0196
Z75	13.52276	12.53207	5.41189
Z76	11.48195	12.53571	5.41557
Z82	15.42404	14.33428	1.95714
Z85	7.23206	14.33885	1.94259

ARCHIVOS DE ORIENTACIÓN

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA IZQUIERDA

0.005263775760766 0.000023871768316 -27.186
0.000042732331296 -0.005295447670593 27.837

189.970745365076080 0.856384181700732 5140.680
1.532994627167833 -188.834536173507330 5298.244

-0.202842000000000 0.063951000000000 41.113315000000000

Fiducial	-Coord	Fiducial-	-Coord	Medidas-	-Ex-	-Ey-
1	20.000	-20.000	8923.772	9104.261	-0.004	-0.007
2	-20.000	-20.000	1324.116	9042.838	0.000	-0.008
3	-20.000	20.000	1359.146	1490.527	-0.004	-0.002
4	20.000	20.000	8957.451	1551.027	-0.001	-0.006
5	0.000	-20.000	5122.961	9074.629	0.003	-0.002
6	-20.000	0.000	1341.225	5270.298	0.000	0.014
7	0.000	20.000	5157.018	1520.036	0.004	-0.008
8	20.000	0.000	8939.754	5332.336	0.002	0.018

EM.= 0.009

Nombre de la fotografía: C:\Deposito\img002_IZQ_ori.in
Fecha: 3/5/2007 18:42

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA DERECHA

0.005264329928723 0.000018914678604 -27.001
0.000036161978600 -0.005296844533975 27.399

189.953039517027920 0.678309636872417 5110.278
1.296824497308620 -188.787015470713270 5207.554

-0.202842000000000 0.063951000000000 41.113315000000000

Fiducial	-Coord	Fiducial-	-Coord	Medidas-	-Ex-	-Ey-
1	20.000	-20.000	8896.279	9009.768	-0.003	0.003
2	-20.000	-20.000	1297.658	8957.934	-0.000	0.003
3	-20.000	20.000	1325.121	1406.992	-0.002	0.006
4	20.000	20.000	8922.822	1458.514	0.000	0.004
5	0.000	-20.000	5095.495	8985.414	0.006	0.011
6	-20.000	0.000	1311.961	5178.184	-0.004	-0.018
7	0.000	20.000	5122.884	1433.176	0.005	0.007
8	20.000	0.000	8910.002	5230.450	-0.003	-0.016

EM.= 0.010

Nombre de la fotografía: C:\Deposito\img001_DER_ori.in
Fecha: 3/5/2007 18:44

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN RELATIVA

41.113 41.113
-0.203 0.064 -0.203 0.064

0.000 0.000 0.000
1.0000000000000000 0.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 1.0000000000000000 0.0000000000000000
0.0000000000000000 0.0000000000000000 1.0000000000000000

6.477 -0.092 0.286
0.999606390371732 0.007138057930228 -0.027131392462989
-0.006928558188853 0.999945514758992 0.007807854686081
0.027185647121592 -0.007616800007876 0.999601383026364

1.691 0.345 -34.765

N	-xFizq-	-yFizq-	-xFder-	-yFder-	-xMod-	-yMod-	-zMod-
1	1.999	0.409	-4.477	0.229	1.691	0.345	-34.765
2	19.403	0.840	12.868	0.557	16.408	0.716	-34.766
3	17.808	12.649	13.194	12.321	19.820	14.078	-45.759
4	-12.065	12.549	-16.323	12.189	-13.464	14.005	-45.880
5	-2.132	-2.847	-8.533	-2.950	-1.810	-2.416	-34.912
6	22.919	-4.241	16.270	-4.574	19.068	-3.530	-34.206
7	10.883	0.106	4.340	-0.131	9.222	0.090	-34.839
8	11.058	7.899	4.529	7.601	9.328	6.661	-34.682
9	11.102	-4.877	4.512	-5.097	9.390	-4.127	-34.773

N	-vXizq-	-vVizq-	-vXder-	-vYder--	-py- (micras)
1	0.0	0.8	-0.0	-0.8	-1.6
2	-0.1	-6.5	0.1	6.5	12.9
3	0.0	0.4	0.0	-0.4	-0.8
4	-0.0	-0.7	-0.0	0.8	1.5
5	-0.0	-1.9	0.1	1.9	3.8

6	0.0	1.5	-0.0	-1.5	-3.0
7	0.0	0.3	-0.0	-0.3	-0.5
8	0.0	3.0	-0.0	-3.1	-6.1
9	0.1	2.9	-0.1	-2.9	-5.9

Puntos medidos: 9

Puntos rechazados: 0

Desviación típica: 5.8 micras

Número de iteraciones: 7

Giros de la cámara izquierda:

Omega: 0.0000 gon Phi: 0.0000 gon Kappa: 0.0000 gon

Giros de la cámara derecha:

Omega: 0.4851 gon Phi: 1.7309 gon Kappa: 0.4413 gon

Nombre del modelo: img002_IZQ_ori

Fecha: 3/5/2007 19:10

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN ABSOLUTA

10.554 11.024 14.396
0.270015574443317
0.999978758526345 -0.006285130158551 0.001726161927424 Omega: 2.2373
0.006220585545257 0.999362749851232 0.035148236445925 Phi: -0.1239
-0.001945973171385 -0.035136752107652 0.999380619103523 Kappa: -0.3960

POINT	-XT-	-YT-	-ZT-	-xi-	-yi-	-zi-	-Ex-	-Ey-	-Ez-
P6	15.02	11.74	5.00	16.632	3.900	-34.649	-0.003	-0.037	-0.001
P5	10.00	10.00	5.00	-2.069	-2.532	-34.923	0.016	-0.006	0.003
Z86	8.30	9.95	4.96	-8.379	-2.668	-35.219	0.017	-0.004	0.040
Z68	11.00	9.85	4.99	1.608	-3.081	-34.955	0.018	-0.019	-0.000
Z72	13.19	9.76	4.99	9.775	-3.446	-34.923	0.005	-0.023	-0.008
Z73	14.90	9.97	4.99	16.154	-3.104	-34.942	-0.005	0.088	-0.002
Z69	10.56	11.63	5.02	-0.000	3.483	-34.605	0.026	-0.010	-0.009
Z71	12.50	11.64	5.02	7.212	3.535	-34.603	0.022	-0.025	-0.002
Z82	15.42	14.33	1.96	18.367	13.914	-45.730	-0.044	-0.041	0.043
Z85	7.23	14.34	1.94	-11.952	13.675	-45.456	-0.051	0.076	-0.064

EM.= 0.038

Model name: C:\Deposito\img002_IZQ_ori-img001_DER_ori.abs2

Date: 3/5/2007 19:25

5.9.3. FACHADA LATERAL

IMAGEN DERECHA



IMAGEN IZQUIERDA



ARCHIVO DE CÁMARA

El mismo que para la fachada principal.

ARCHIVO DE PUNTOS DE APOYO

Z49	9.44199	10.09853	5.25667
Z50	9.51301	11.50012	5.32903
Z53	10.74303	10.90709	5.01294
Z54	11.4914	10.98278	5.12718
Z55	11.57943	11.98084	5.24254
Z58	13.21062	11.70395	5.19528
Z60	12.55714	11.21461	5.00858
Z61	13.40847	9.67382	5.18401
Z63	14.37317	10.26522	4.98409
Z64	14.97154	11.50892	5.31327
Z65	15.14942	11.70799	5.30561

ARCHIVOS DE ORIENTACIÓN

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA IZQUIERDA

0.005260629820937 0.000011001308834 -26.890
0.000026400176827 -0.005294136207275 27.408

190.089324991657380 0.395008985096723 5100.619
0.947915126502452 -188.886256896602280 5202.570

-0.202842000000000 0.063951000000000 41.113315000000000

Fiducial	-Coord	Fiducial-	-Coord	Medidas-	-Ex-	-Ey-
1	20.000	-20.000	8895.501	8999.371	-0.005	0.001
2	-20.000	-20.000	1290.334	8961.465	0.003	0.001
3	-20.000	20.000	1307.724	1406.265	-0.005	0.002
4	20.000	20.000	8910.016	1444.585	0.002	0.004
5	0.000	-20.000	5092.178	8980.895	0.003	0.003
6	-20.000	0.000	1299.134	5182.963	-0.002	-0.003
7	0.000	20.000	5107.673	1424.530	0.004	-0.002
8	20.000	0.000	8902.393	5220.486	0.000	-0.006

EM.= 0.004

Nombre de la fotografía: C:\Deposito\laterallimg003_izq.in
Fecha: 4/6/2007 13:01

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA DERECHA

0.005255331190934 0.000067341758062 -27.275
0.000086179717958 -0.005292935828774 26.774

190.243272876699020 2.420455654364546 5124.142

3.097545885739101 -188.891654491487290 5141.784

-0.202842000000000 0.063951000000000 41.113315000000000

Fiducial	-Coord	Fiducial-	-Cood	Medidas-	-Ex-	-Ey-
1	20.000	-20.000	8881.615	8980.463	-0.005	-0.006
2	-20.000	-20.000	1270.169	8856.004	0.004	-0.009
3	-20.000	20.000	1368.516	1301.663	-0.004	-0.002
4	20.000	20.000	8977.335	1424.801	0.001	-0.006
5	0.000	-20.000	5075.390	8919.187	0.002	-0.002
6	-20.000	0.000	1319.702	5082.923	-0.002	0.016
7	0.000	20.000	5171.779	1362.200	0.004	-0.009
8	20.000	0.000	8928.628	5207.032	0.002	0.017

EM.= 0.009

Nombre de la fotografía: C:\Deposito\laterallimg004_der.in

Fecha: 4/6/2007 13:03

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN RELATIVA

41.113 41.113
-0.203 0.064 -0.203 0.064

0.000 0.000 0.000
1.000000000000000 0.000000000000000 0.000000000000000
0.000000000000000 1.000000000000000 0.000000000000000
0.000000000000000 0.000000000000000 1.000000000000000

9.310 0.459 -1.891
0.999904780940406 0.013799603148081 0.000002339577982
-0.013796151207569 0.999658420226094 -0.022197051221455
-0.000308649276743 0.022194905361941 0.999753615103041

1.029 -0.265 -42.842

N	-xFizq-	-yFizq-	-xFder-	-yFder-	-xMod-	-yMod-	-zMod-
1	0.988	-0.255	-8.322	0.302	1.029	-0.265	-42.842
2	17.714	0.072	9.096	0.395	18.290	0.073	-42.450
3	19.427	8.004	10.965	8.712	19.865	8.185	-42.040
4	-7.373	7.165	-17.463	8.216	-7.372	7.164	-41.108
5	-7.645	-4.602	-17.596	-4.124	-7.795	-4.692	-41.920
6	19.688	-4.492	11.028	-4.396	20.239	-4.617	-42.265
7	4.927	-1.367	-4.090	-0.916	5.202	-1.445	-43.413
8	4.359	3.226	-4.677	3.897	4.579	3.387	-43.194
9	5.708	-3.477	-3.321	-3.124	6.014	-3.662	-43.316

N	-vXizq-	-vVizq-	-vXder-	-vYder--	-py- (micras)
1	0.1	-1.0	-0.0	1.0	2.0
2	-0.1	1.1	0.0	-1.1	-2.2
3	0.0	-0.8	0.0	0.8	1.6
4	0.0	-0.5	0.0	0.5	0.9
5	-0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.2
6	0.1	-0.7	-0.0	0.7	1.3

7	-0.1	0.9	0.0	-0.9	-1.7
8	-0.1	1.8	0.0	-1.7	-3.5
9	0.1	-0.8	-0.0	0.8	1.6

Puntos medidos: 9
Puntos rechazados: 0
Desviación típica: 2.0 micras
Número de iteraciones: 7

Giros de la cámara izquierda:
Omega: 0.0000 gon Phi: 0.0000 gon Kappa: 0.0000 gon

Giros de la cámara derecha:
Omega: -1.4131 gon Phi: -0.0196 gon Kappa: 0.8783 gon

Nombre del modelo: img003_izq
Fecha: 4/6/2007 13:15

RESULTADOS DE LA ORIENTACIÓN ABSOLUTA

11.207	10.762	14.266	
0.213470915615657			
0.999788992468846	0.019721358969263	0.005747916016763	Omega: 1.4079
-0.019843362327898	0.999560944156304	0.022003633538178	Phi: -0.3381
-0.005311450805012	-0.022113048585939	0.999741367340865	Kappa: 1.2634

POINT	-XT-	-YT-	-ZT-	-xi-	-yi-	-zi-	-Ex-	-Ey-	-Ez-
Z49	9.44	10.10	5.26	-8.022	-2.364	-42.304	0.009	0.006	-0.001
Z50	9.51	11.50	5.33	-7.817	4.263	-41.857	0.008	-0.008	0.007
Z53	10.74	10.91	5.01	-1.957	1.576	-43.340	0.000	0.004	0.002
Z54	11.49	10.98	5.13	1.570	1.994	-42.733	-0.007	0.003	-0.008
Z55	11.58	11.98	5.24	1.894	6.701	-42.150	-0.008	-0.005	0.006
Z58	13.21	11.70	5.20	9.539	5.509	-42.297	-0.004	0.006	-0.007
Z60	12.56	11.21	5.01	6.543	3.198	-43.238	-0.007	0.001	-0.007
Z61	13.41	9.67	5.18	10.699	-3.894	-42.609	-0.013	-0.012	0.005
Z63	14.37	10.27	4.98	15.067	-1.050	-43.443	0.008	-0.005	0.002
Z64	14.97	11.51	5.31	17.775	4.762	-41.767	0.002	0.002	0.004
Z65	15.15	11.71	5.31	18.569	5.704	-41.776	0.007	0.004	0.003

EM.= 0.007

Model name: C:\Deposito\lateral\img003_izq-img004_der.abs2
Date: 4/6/2007 13:28

5.10. DIBUJO EN AUTOCAD: EXPORTAR A DXF

Finalizada la restitución fotogramétrica en Digi3D, el dibujo obtenido en la restitución se puede exportar, en 2D o 3D, a formato DXF, para ser tratado en un programa de dibujo por ordenador, en nuestro caso AutoCAD.

FACHADA PRINCIPAL

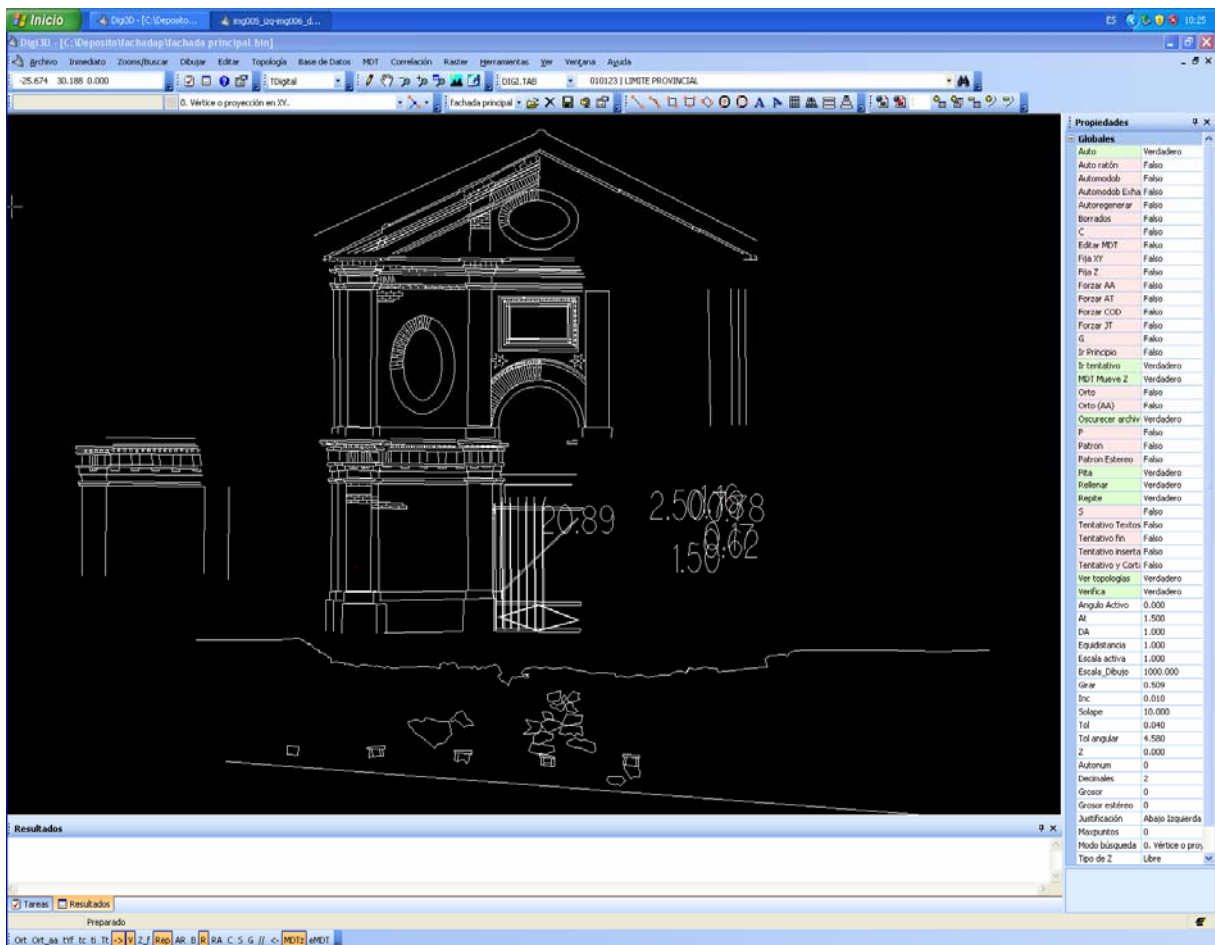


Figura 33: Dibujo vectorial exportado de Digi

Este dibujo de líneas blancas de la Fachada Principal (Figura 33) fue el exportado desde Digi3D en DXF para terminarlo en Autocad.

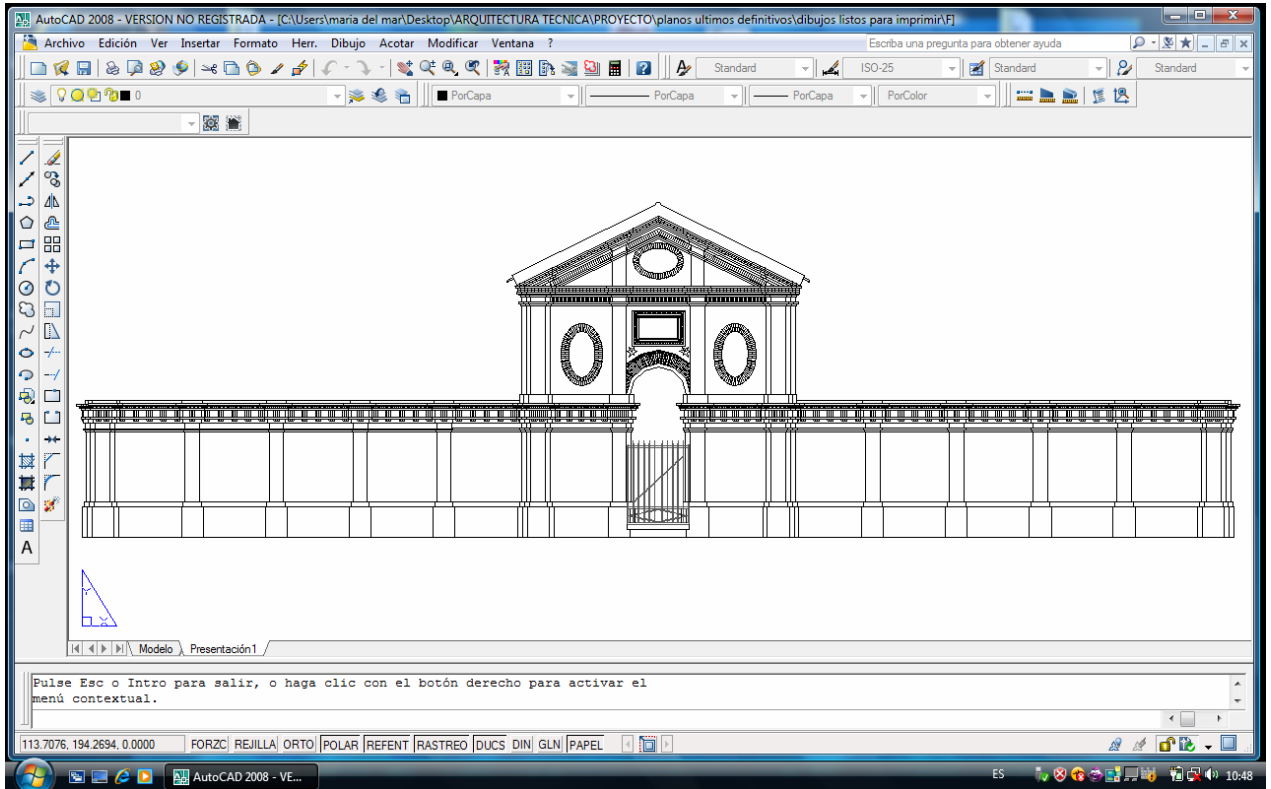


Figura 34: Dibujo vectorial acabado.

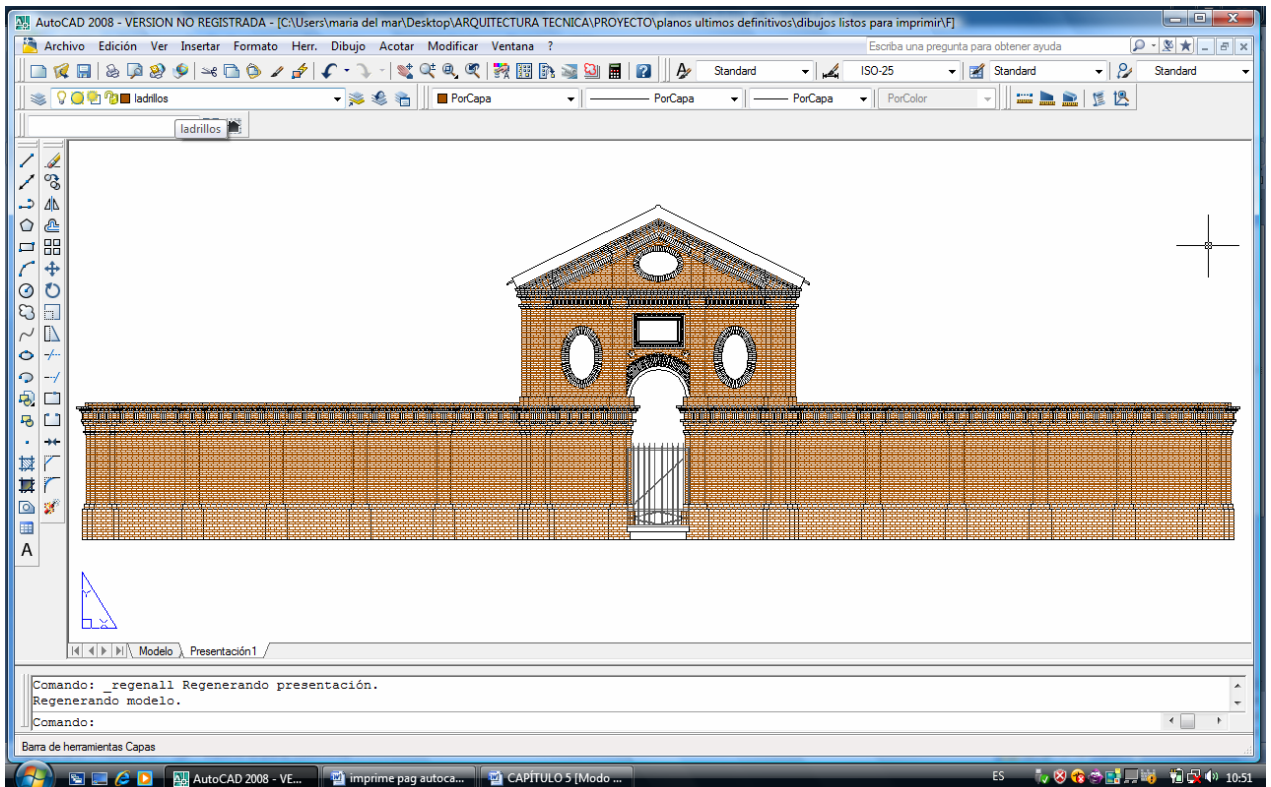


Figura 35: Dibujo sombreado

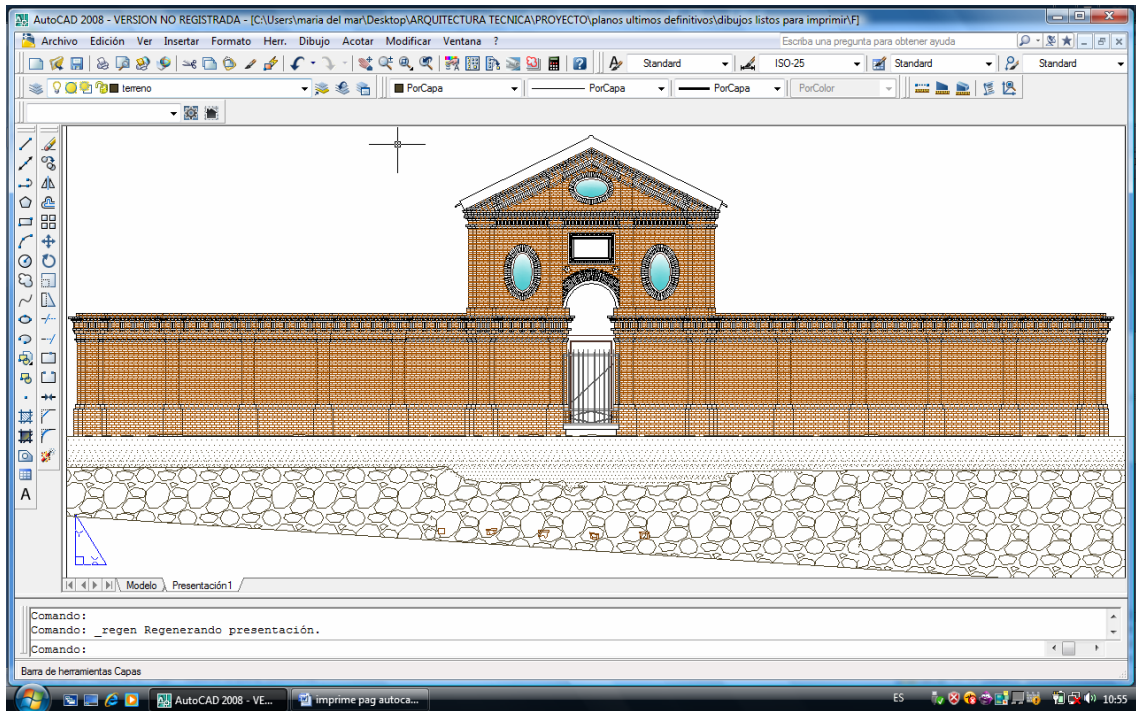


Figura 36: Fachada completa.

FACHADA LATERAL SUPERIOR

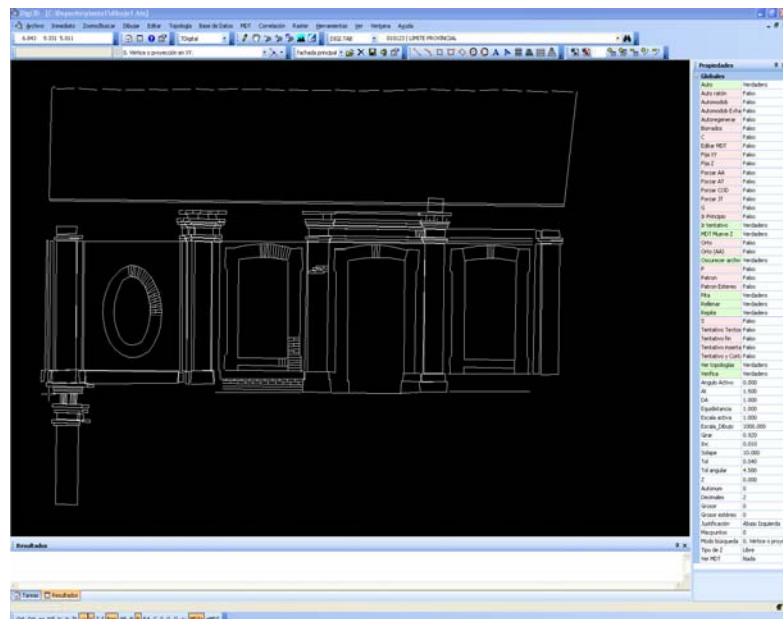


Figura 37: Dibujo vectorial exportado de Digi

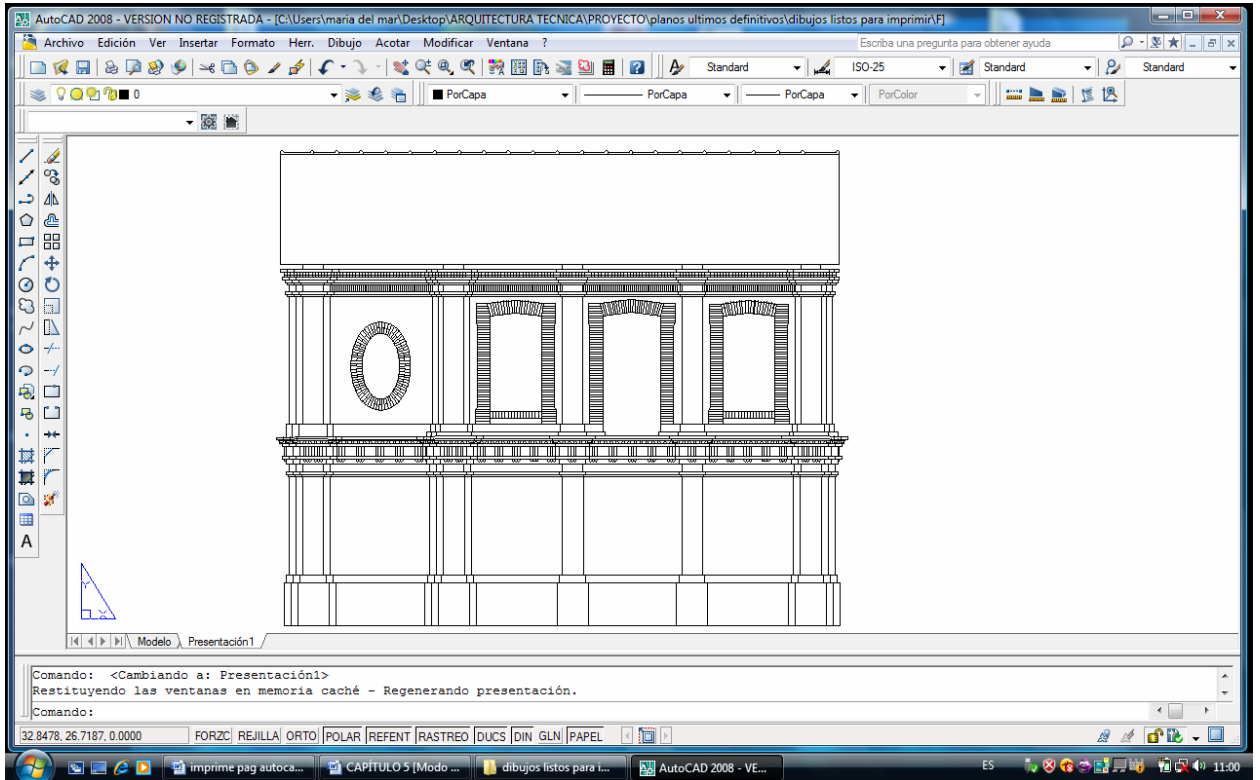


Figura 38: Dibujo vectorial acabado.

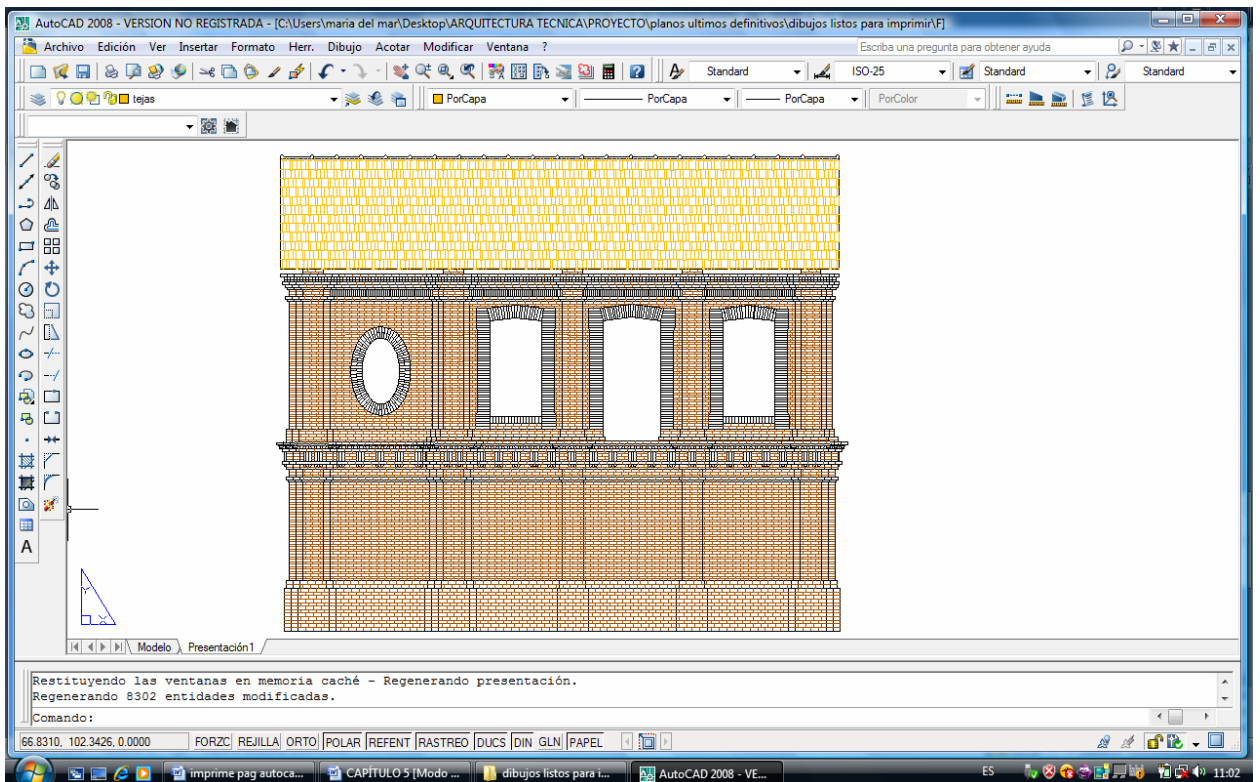


Figura 39: Dibujo sombreado.

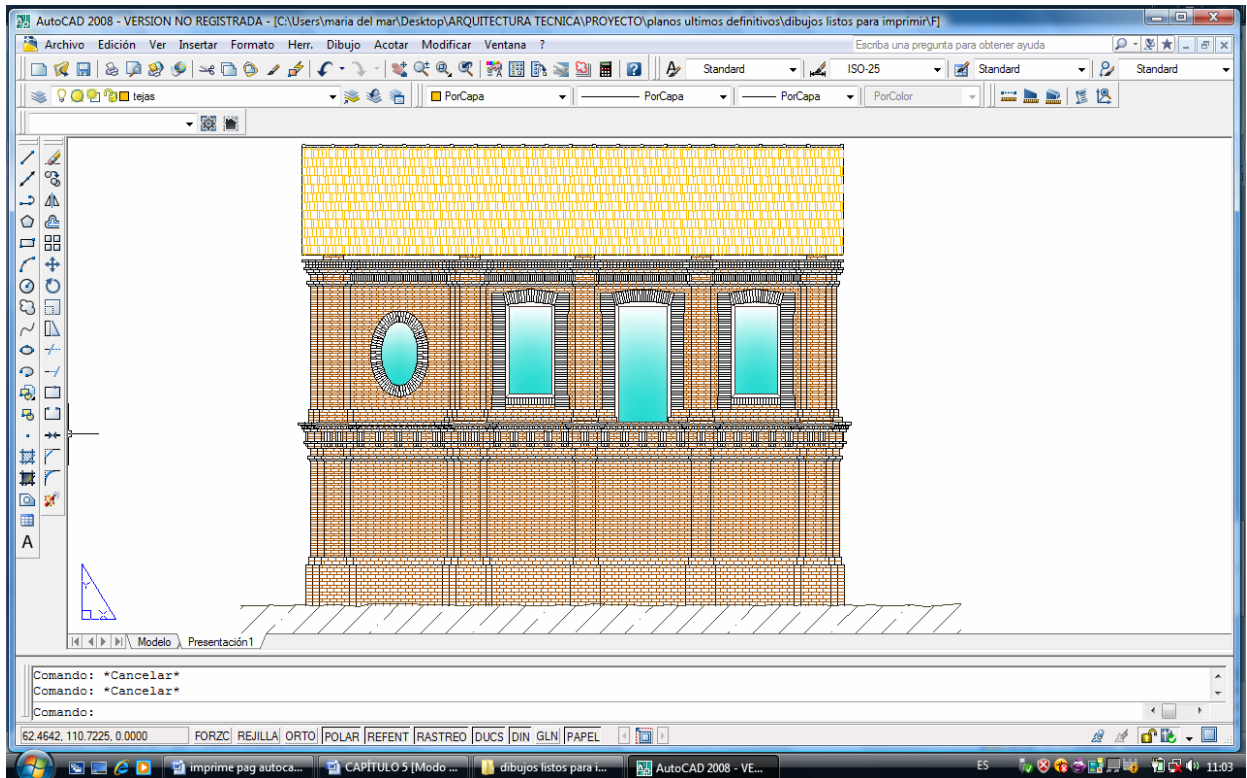


Figura 40, fachada lateral completa.

FACHADA LATERAL INFERIOR

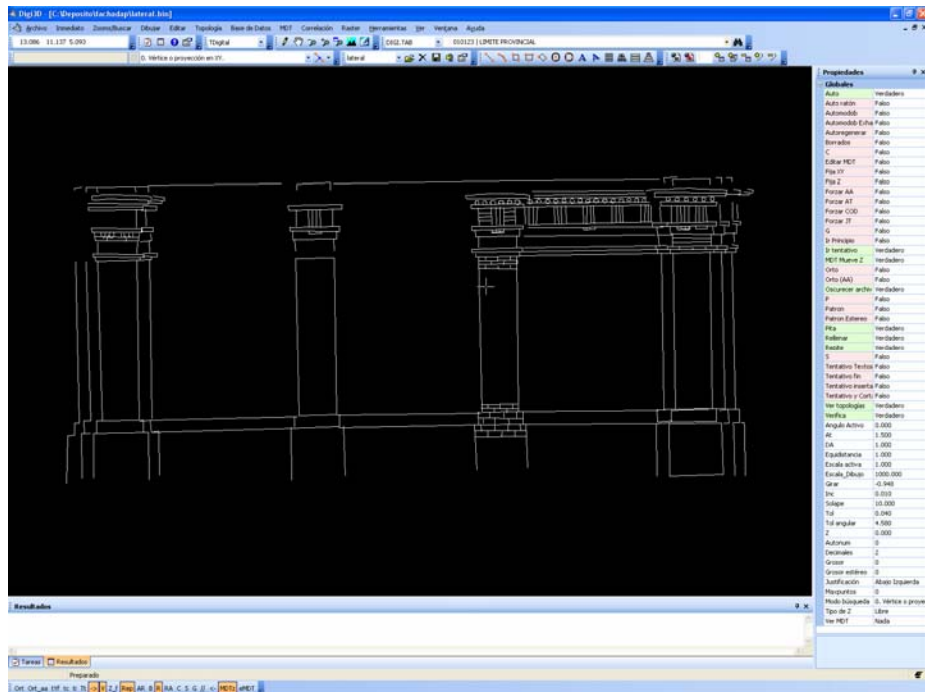


Figura 41: Dibujo vectorial exportado de Digi

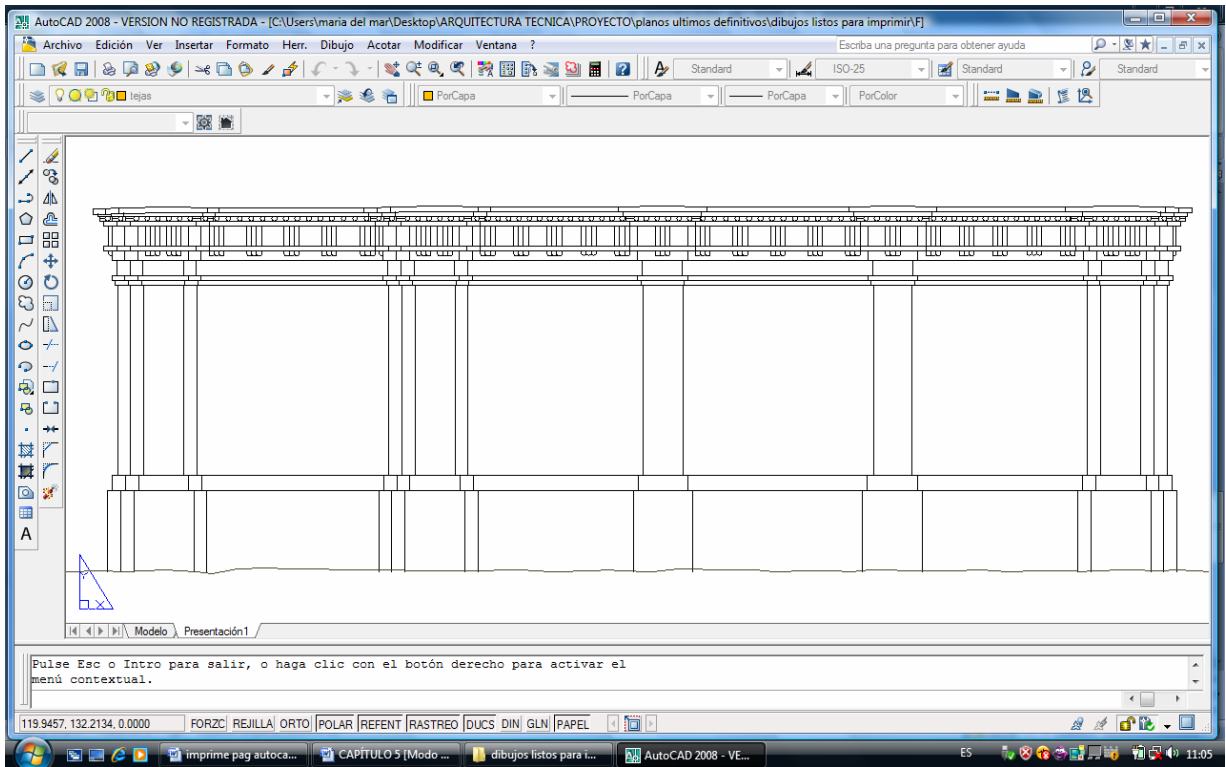


Figura 42: Dibujo vectorial acabado.

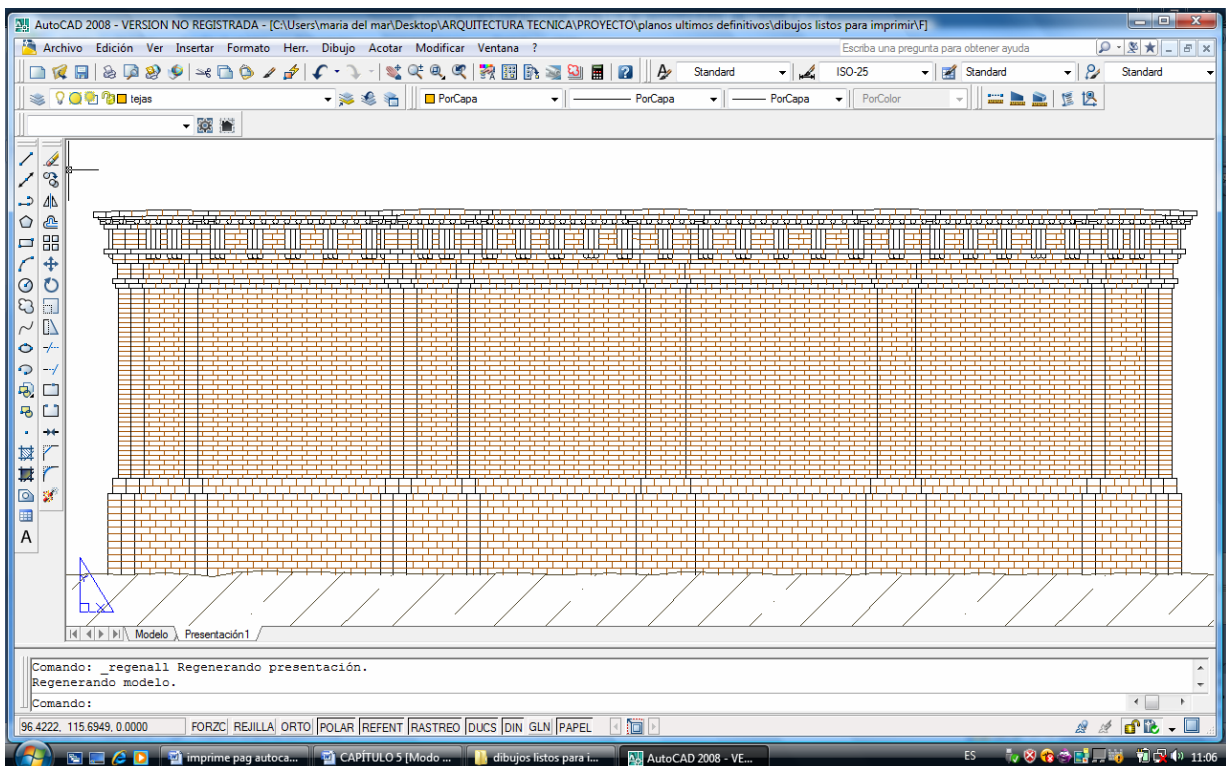


Figura 43: Dibujo sombreado.

5.11. RECTIFICACIÓN DE IMÁGENES CON ASRIX

Como complemento a la restitución fotogramétrica tridimensional con Digi3D, se ha utilizado en este proyecto otra técnica de restitución bidimensional, denominada rectificación. Para ello se ha empleado el software comercial ASRix (<http://nickerson.icomos.org/asrix/>).

La técnica empleada en este programa, basada en la creación de imágenes rectificadas sobre un plano del elemento fotografiado. Es una imagen digital transformada, que muestra en proyección ortogonal uno de los planos de la escena fotografiada. La transformación de una imagen fotográfica en imagen rectificada sobre un plano supone el paso de una proyección perspectiva a una proyección ortogonal, este proceso se denomina rectificación diferencial. Una imagen rectificada sobre un plano geoméricamente hablando, es equivalente a un plano/mapa (planimétrico), consecuentemente sobre ella podemos medir ángulos, distancias y áreas del mismo modo que hacemos en los planos.

Los requerimientos en este programa son :

- Imagen digital en formato BMP.
- Un mínimo de cuatro puntos medidos en cada plano que se procese.

Una vez que la imagen ha sido rectificada, se importa desde AutoCAD como imagen raster de fondo y sobre ella se obtiene el dibujo sectorizado con las herramientas de dibujo de AutoCAD.

La realización de las tomas fotográficas se han tomado lo más ortogonalmente posible al plano fotografiado, para de esta forma obtener una mejor calidad de imagen rectificada.

Ejemplo de rectificación cercha compuesta:

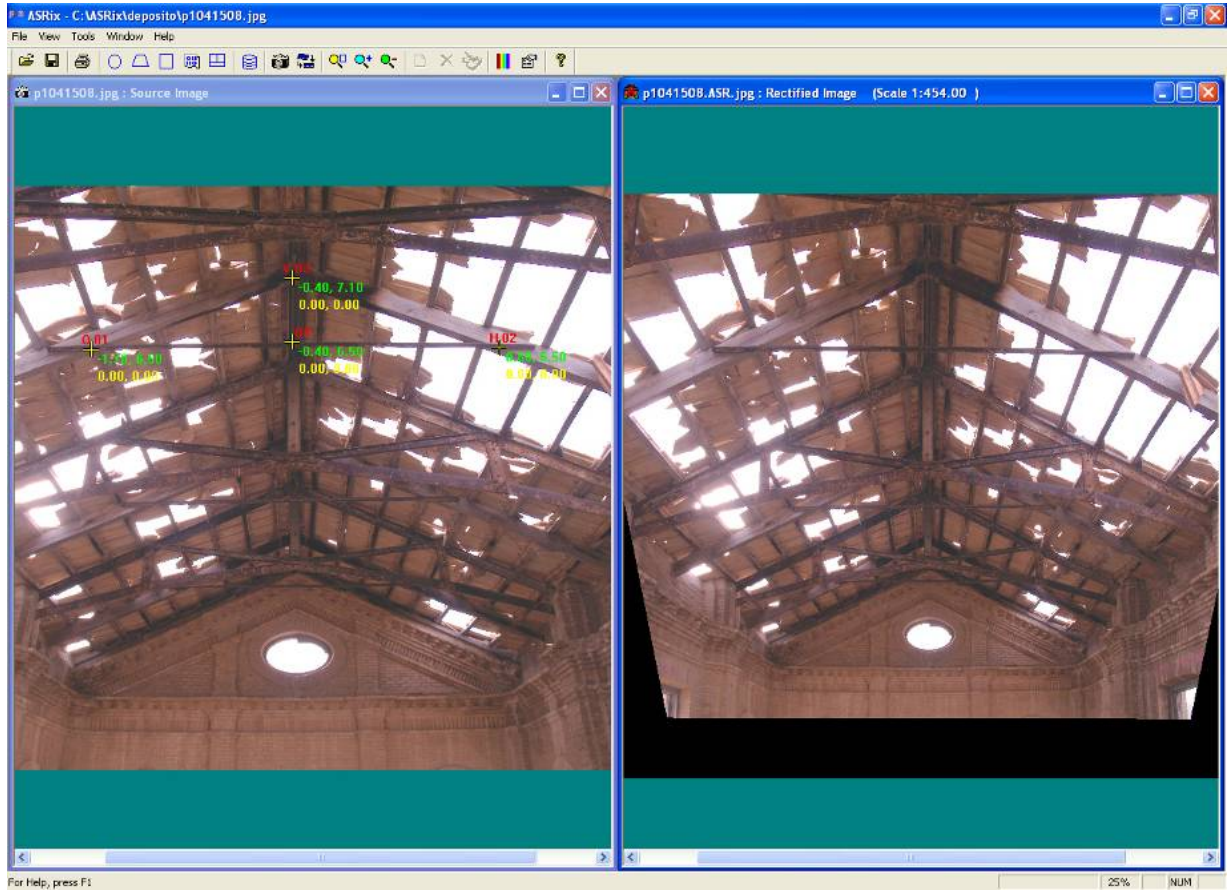


Imagen original

Imagen rectificada

Figura 44:(Pantalla de ASRix)

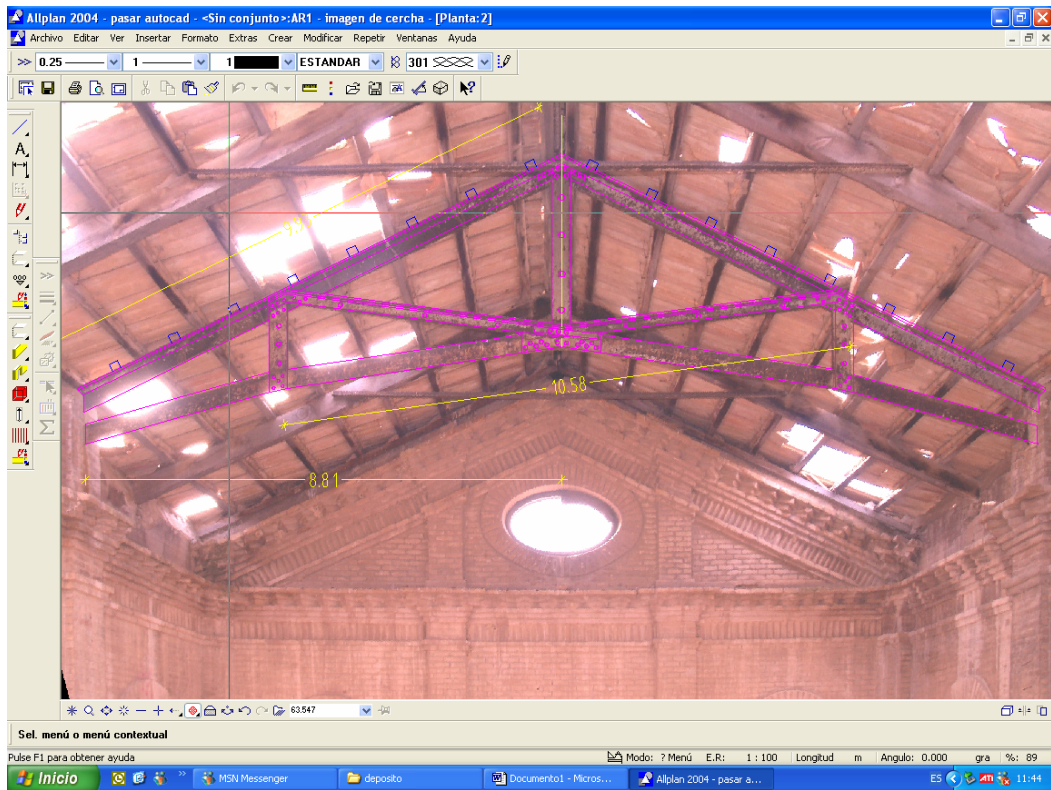


Figura 45: Imagen rectificada con superposición del dibujo vectorial.

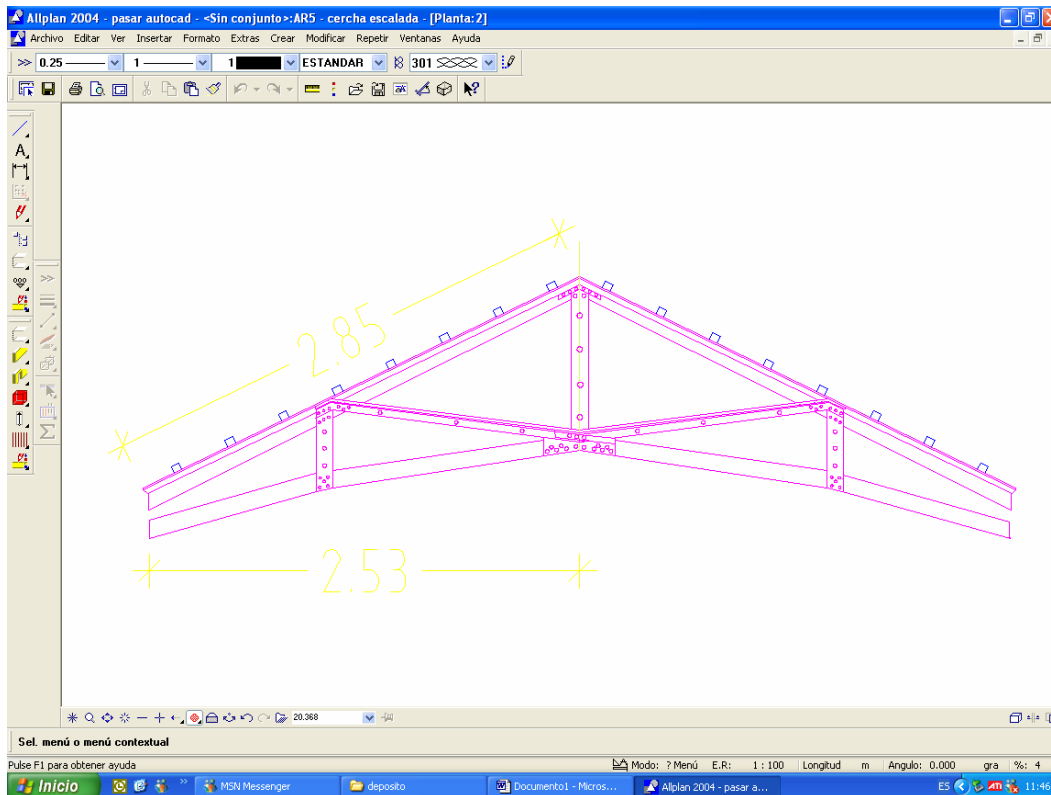


Figura 46: Dibujo vectorial completo (Allplan)

Ejemplo de rectificación en las cercha sencilla:

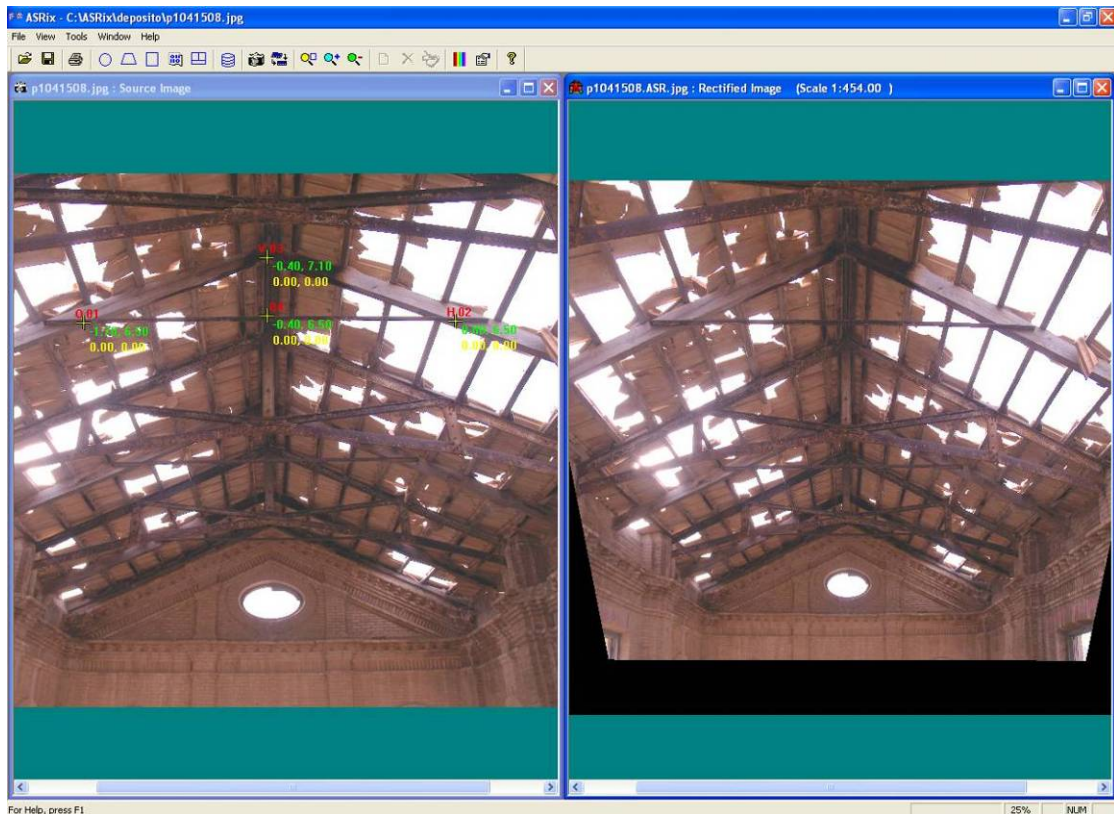


Imagen original

Imagen rectificada

Figura 47 (Pantalla de ASRix)

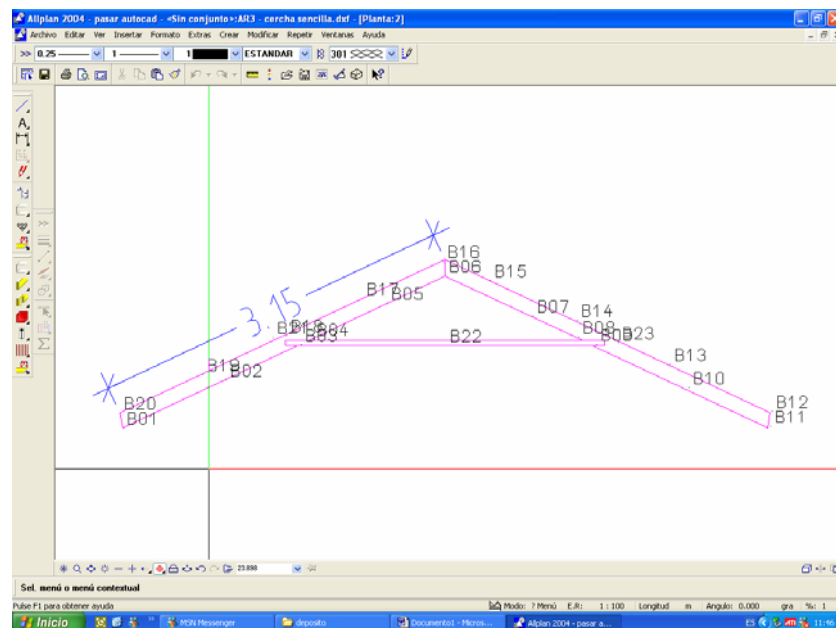


Figura 48: Dibujo vectorial completo (Allplan)

5.12. REALIZACIÓN DE ANAGLIFOS

Los anaglifos son la forma más sencilla de ver los objetos (fachadas, detalles...) en 3-D sin necesidad de complicados aparatos. Con ellos se perciben mejor las características del objeto, y lo único que se necesita son unas gafas especiales. Además se pueden llevar a cualquier lugar sin complicaciones y escribir y dibujar sobre ellos.

La sensación del espacio tridimensional se logra al percibir dos imágenes un poco distintas (una por cada ojo) e integrarlas en nuestro cerebro, para que lo que veamos sea solo una y tridimensional.

Los cascos de Realidad Virtual, poseen dos pequeñas pantallas (una por cada ojo) y en las cuales se proyectan las imágenes independientes que deseamos utilizar.

En los anaglifos, las imágenes de cada ojo son teñidas de colores complementarios (verde y rojo) (azul y rojo) y se deben utilizar gafas con los mismos colores. Al ser complementarios los colores, la imagen azul o verde se ve de color negro con el filtro rojo y las imágenes rojas se ven de color negro con el filtro verde o azul, de esta manera cada ojo ve la imagen del color complementario y "camufla" o disimula la de su propio color.

Este efecto también se logra con gafas polarizadas e imágenes polarizadas en sentido contrario (a 90 grados con relación al lente de las gafas).

IMÁGENES PARALELAS

Las imágenes paralelas son fotografías o imágenes generadas con una separación entre tomas de 6.5 a 7 cm.

Al colocarse una al lado de la otra e intentar observar la imagen derecha con el ojo derecho y la izquierda con el ojo izquierdo, nuestro cerebro genera una tercera imagen en el centro de las dos anteriores y con una profundidad de campo mayor que las originales.

CÓMO SE GENERAN LOS ANAGLIFOS

En el dibujo siguiente (Figura 49) se muestra un cubo cromático donde tendrían cabida todos los colores que se pueden mostrar partiendo de los primarios: El Rojo, el Verde y el Azul. Si empezamos en el Negro (ausencia de color) y nos movemos por las aristas del cubo hacia el Rojo, el Azul o el Verde lo que hacemos es aumentar la intensidad de ese

color. Si nos movemos por la diagonal hacia el blanco estamos atravesando la escala de los grises (que se caracterizan porque todos tienen la misma "cantidad" de Rojo, Azul y Verde). Cuanto más posibles divisiones podamos hacer en cada eje, más tonalidades tendremos. Así, por ejemplo, un fichero JPG se caracteriza por poder guardar por cada píxel 24 bits de color repartiendo 8 bits para cada uno de los primarios, lo que en sistema decimal quiere decir que podemos variar cada uno de ellos en una gama entre 0 y 255.

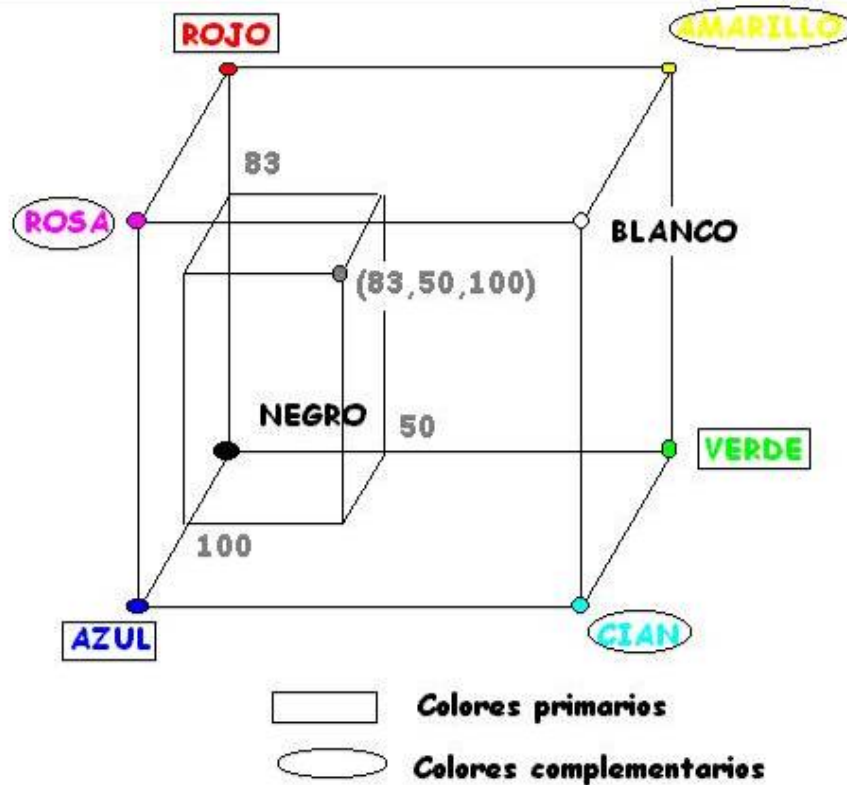


Figura 49

Cuando queremos representar un color determinado en modo RGB (Red,Green,Blue), deberemos poner tres cifras que pueden variar entre el 0 y el 255. El Rojo intenso sería el (255,0,0), el Azul el (0,0,255), el Blanco el (255,255,255), y un color cualquiera podría ser el (83,50,100).

En total podemos representar 256x256x256 colores (16.777.216). Como curiosidad, una foto en blanco y negro sólo utiliza 256 colores de esos 16 millones.

Una vez que ya conocemos esta representación de los colores se puede avanzar un poco más explicando lo que son los colores complementarios. En el cubo multicolor son complementarios cada vértice con su opuesto. De ahí que los colores complementarios serían: (Negro, Blanco), (Rojo, Cian), (Azul, Amarillo), (Verde, Rosa).

Analizando un par de ellos, por ejemplo el (Rojo, Cian). Su representación en el cubo sería ((255,0,0),(0,255,255)). Si sumamos cada uno de sus componentes nos dará, el (255,255,255), es decir, el Blanco. Esto también ocurre con los demás. La suma de las partes es igual al total.

Aunque parezca mentira, un anaglifo se basa en esta propiedad: "La suma de las partes es igual al total". Unas gafas Rojo-Cian típicas están formadas por dos cristales con colores complementarios, al igual que el sistema ColorCode, basado en gafas Amarillo-Azul. La idea es simple. Queremos ver una foto, mezcla de dos, perdiendo la mínima información. Lo que un ojo no ve, lo ve el otro. El ojo izquierdo ve sólo la información de la foto izquierda y el derecho de la derecha. Veámoslo con un ejemplo:



Figura 50

A esta imagen inicial (Figura 50) le vamos a quitar toda la información de Verde y Azul, dejando sólo la de Rojo (Para todos los puntos $(R1,G1,B1) \rightarrow (R1,0,0)$). El resultado es:

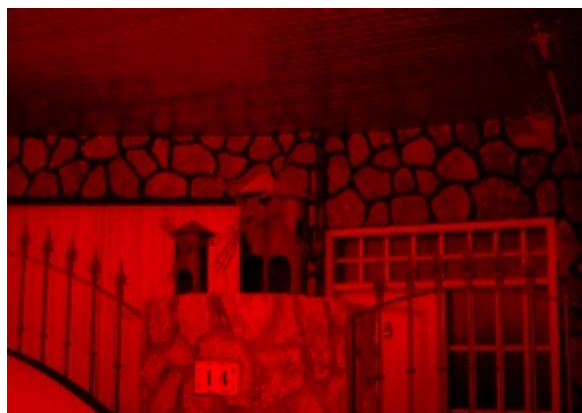


Figura 51

Si lo miramos con unas gafas para anaglifos y miramos sólo con el filtro rojo veremos la imagen perfectamente, sin embargo con el ojo con el filtro cian no la veremos apenas.

Ahora le vamos a quitar toda la información de Rojo, dejando sólo la de Verde y Azul (Para todos los puntos $(R2,G2,B2) \rightarrow (0,G2,B2)$) (Figura 52). El resultado es:



Figura 52

Si lo miramos con unas gafas para anaglifos y miramos sólo con el filtro cian veremos la imagen perfectamente, sin embargo con el ojo con el filtro rojo no se ve casi nada.

Si la primera foto fuera la de la izquierda del par y la segunda la de la derecha, podríamos mezclarlas, ya que en una sólo tenemos la información del Rojo $(R1,0,0)$ y en la segunda del Verde y el Azul $(0,G2,B2)$, luego el resultado es $(R1,G2,B2)$ mezcla de las dos fotos. Si las dos fotos fueran iguales, al componer el anaglifo volveríamos a obtener la foto inicial $(R1,0,0)+(0,G1,B1) \rightarrow (R1,G1,B1)$



Figura 53

En ColorCode quedaría (R1,G1,B2):



Figura 54

En Verde y Rosa (suelen ser más bien Verde y Rojo) (R2,G1,B2):



Figura 55

GAFAS POLARIZADAS

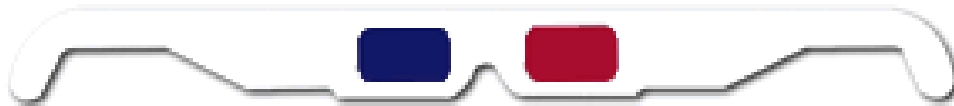


Figura 56

Para visualizar imágenes con el sistema de anaglifos, se utilizan gafas como la que ves en la figura 55. Se debe utilizar un par de colores complementarios, de allí que existan gafas con los colores rojo y verde, y otras con el rojo y el azul. Al ser complementarios, el filtro rojo permite que la imagen azul o verde se aprecie de color negro y el filtro verde o azul

hace a las imágenes rojas verse de color negro, de esta manera cada ojo ve la imagen del color complementario y "camufla" o disimula la de su propio color. El color rojo va siempre en el ojo izquierdo.

Ejemplos de anáglifos:



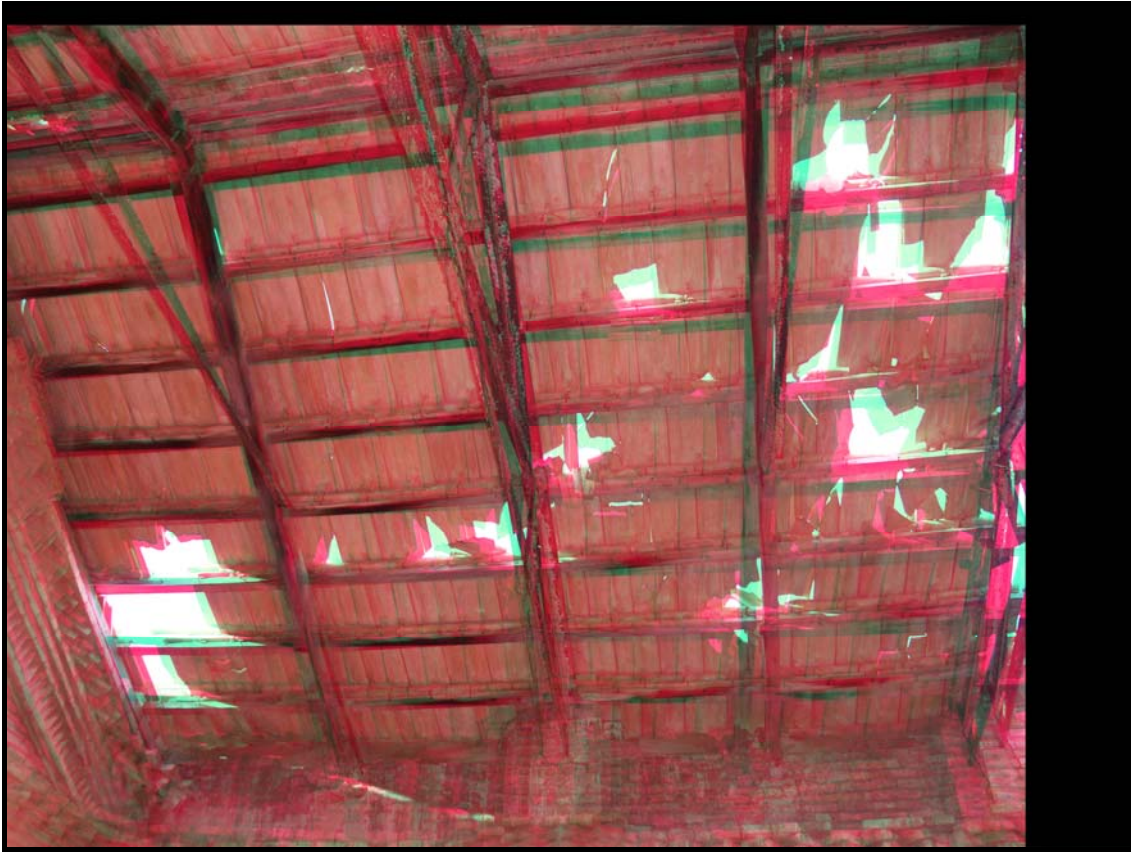
Anaglifo 1, en color



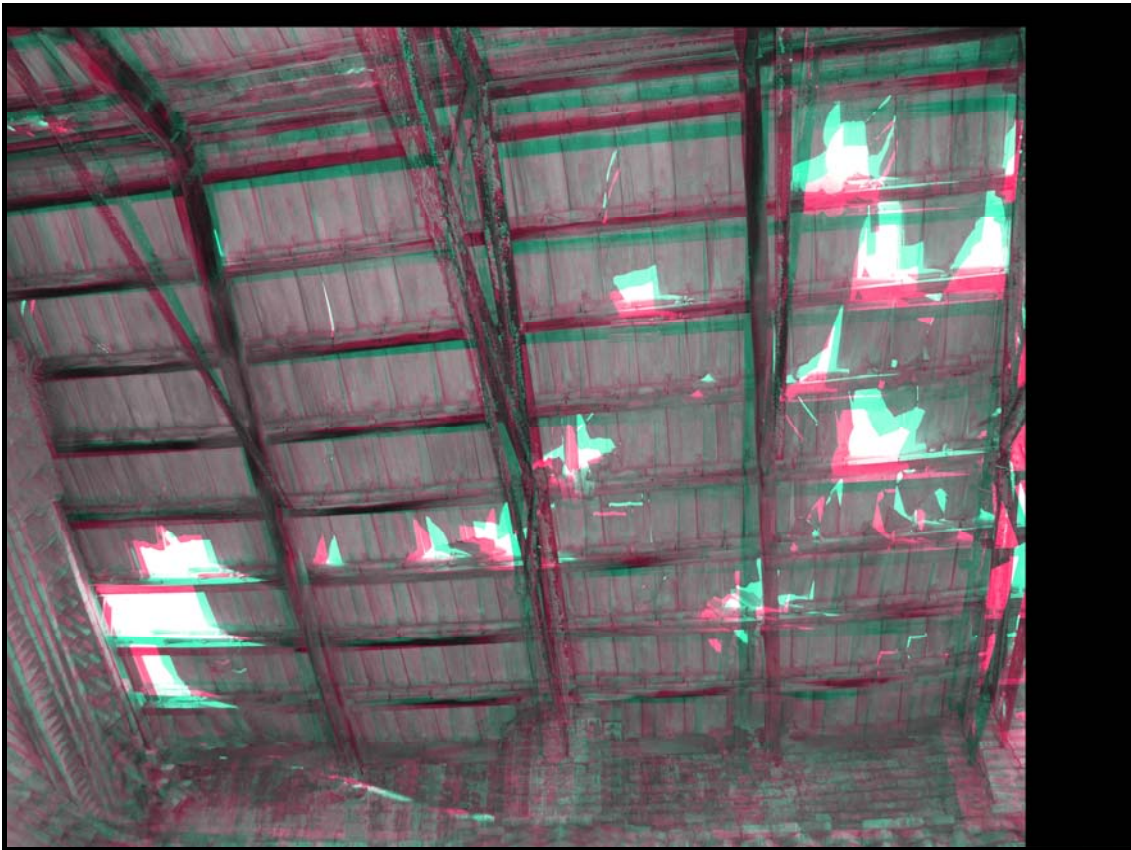
Anaglifo 2, en color



Anaglifo 2, en blanco y negro.



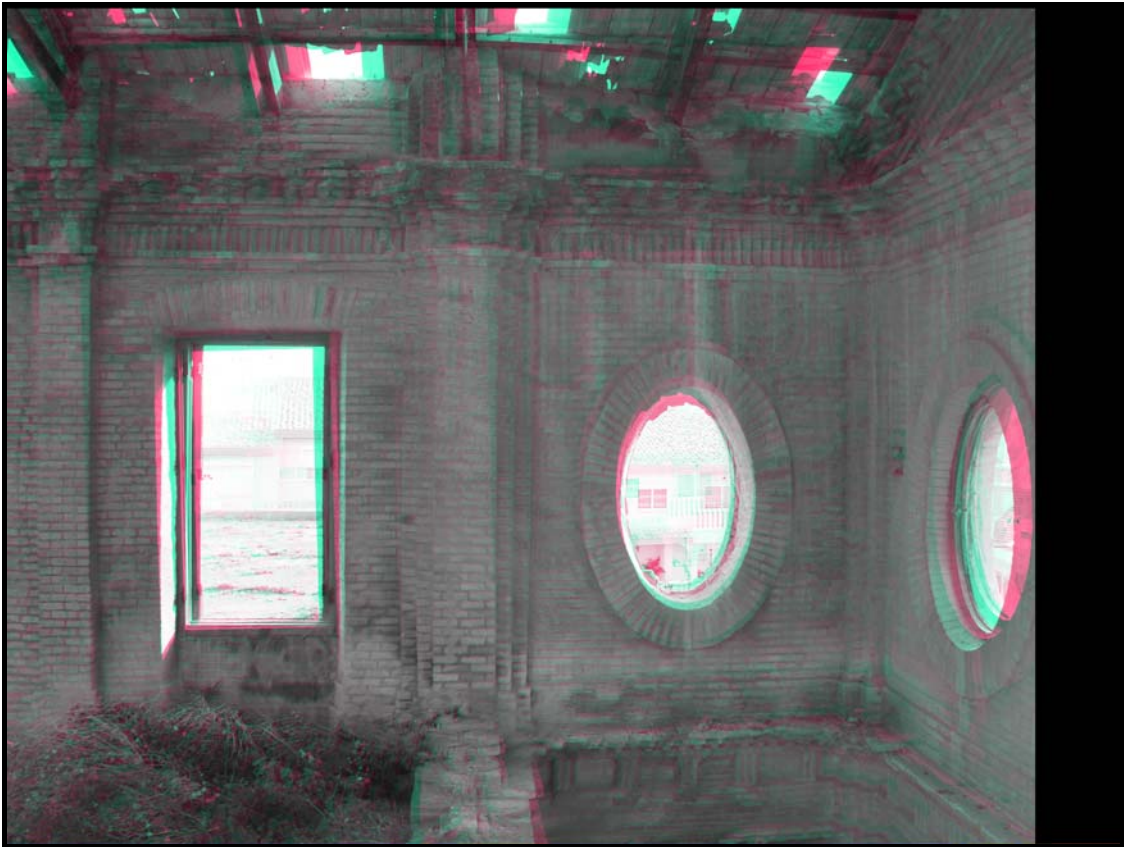
Anaglifo 3, en color.



Anaglifo 3, en blanco y negro.



Anaglifo 4, en color.



Anaglifo 4, en blanco y negro.



Anaglifo 5, en color.



Anaglifo 5, en blanco y negro.

