

CONTROL DE CALIDAD DE OCLUSIONES EN VUELOS FOTOGRAMÉTRICOS Y LIDAR

V. Bello, R. González, S. Molina
Dirección de Sistemas de Información
Tecnologías y Servicios Agrarios, S.A
C/ Valentin Beato, 6. 28.037 Madrid
smb@tragsa.es

Palabras clave: Oclusión, abatimiento, Ortofoto Verdadera, Ortofoto Convencional, coherencia imagen-LIDAR.

Resumen

La Producción de Ortofotografía Digital en el mercado actual se basa en la corrección de imágenes aéreas a nivel terreno, sin considerar la influencia de los abatimientos que, por efecto de la perspectiva, aparecen en los elementos con altura. Con el fin de lograr un mayor nivel de corrección en las imágenes, es habitual introducir información altimétrica de ciertos elementos artificiales, como puentes y viaductos, en la representación de los modelos digitales de elevación que sirven como base para el cálculo de las ortofotos. El resto de elementos no considerados aparecen proyectados sobre las imágenes, produciendo oclusiones que limitan las aplicaciones de las ortofotos, principalmente en zonas urbanas.

Una planificación adecuada del Vuelo Fotogramétrico, una vez analizada la geometría del sensor, el relieve, la altura de los objetos representados en la imagen y su distribución geográfica, puede llegar a minimizar este efecto. En este artículo se describe el procedimiento de Control de Calidad de Oclusiones desarrollado en Tragsatec, que permite cuantificar sus efectos y analizar gráficamente su influencia sobre el terreno. Se muestran asimismo algunos ejemplos prácticos del procedimiento aplicado tanto en Vuelos Fotogramétricos como LIDAR.

1 Introducción

La ortofoto digital con la que habitualmente trabajamos, actualmente producida en los planes nacionales, autonómicos o regionales, consideran la corrección de las imágenes aéreas a nivel terreno. Conocida la geometría interna de las imágenes (x_c, y_c, f), su orientación exterior en el momento de la captura (X, Y, Z, ω, ϕ, K) y el modelo digital del terreno $H=f(X, Y)$, mediante un modelo matemático de ecuaciones de colinealidad y un modelo de correcciones, que consideren los efectos de la refracción atmosférica $\Delta r=f(K, r, f)$ y la esfericidad $\Delta r=f(f, H_v, R, r)$, así como los parámetros de calibración interna de la cámara (Δf , desplazamiento del punto principal (x_p, y_p), distorsiones radiales $\Delta r=f(k_1, k_2, \dots)$ y por descentramiento $\Delta r'=f(p_1, p_2, \dots)$, normalmente ya consideradas en el procesamiento de las imágenes digitales), obtenemos lo que podemos denominar ortofoto digital convencional (ODC).

La ODC normalmente es corregida en elementos 3D como puentes y viaductos a partir de lo que denominamos MDO, un MDT enriquecido con información de líneas de ruptura artificiales. Sin embargo, esta solución no deja de ser una aproximación al problema de ortorrectificación de imágenes, y aunque son muchas las aplicaciones, presentan ciertas limitaciones en su contenido que no permiten llevar a cabo un análisis íntegro del territorio, limitando la calidad y fiabilidad en la fotointerpretación de las imágenes, principalmente en zonas urbanas, debido a la presencia de zonas ocultas producidas por el abatimiento de los elementos emergentes sobre el territorio, aunque también suelen producirse en zonas rurales, donde las fuertes pendientes del terreno producen un ocultamiento en la línea de vista, y que en definitiva hacen necesario que los estudios se deban completar por procedimientos topográficos convencionales, mucho más lentos y costosos.

Las aplicaciones más extendidas: Control por Teledetección, SIGPAC, Catastro, Registro de la Propiedad, Inventarios (IFN), Registros (RVE) y Mapas Agrícolas y Forestales (MCA, MFE), actualización y mantenimiento de bases cartográficas, ingeniería, urbanismo etc. se verán sin duda favorecidas por una mejora en la calidad de las imágenes, principalmente aquellas que centran su ámbito de actuación en áreas urbanas (planeamientos urbanísticos, parques y jardines, etc.)

El efecto de la oclusión (en ocasiones referido erróneamente como “sombra”), producido principalmente por el abatimiento de los elementos con altura por la naturaleza de la proyección central, desaparece en la ortofoto digital verdadera (ODV), que representa una corrección geométrica rigurosa de las imágenes, contemplando adicionalmente a la corrección convencional, la rectificación de los elementos 3D (edificaciones), normalmente recogidos en un modelo altimétrico específico (Modelo Digital de Edificaciones: MDE, término que se presta a confusión con el genérico de Modelo Digital de Elevaciones, ó DBM: Digital Building Model en terminología anglosajona).

El método de cálculo de la ODV se basa en el mismo modelo matemático empleado en la ODC, pero empleando un Modelo Digital de Superficie sin vegetación (véase problemática en Ref [6]) formado por el MDO junto con el MDE. Las estrategias de cálculo difieren no obstante completamente. Mientras las ODC suelen emplear métodos simplificados de rectificación diferencial (anclaje de puntos), las ODV emplean métodos modernos de visibilidad Z-Buffer (Catmull, 1974; Amhar et al., 1998; Rau et al., 2000; Rau et al., 2002; Sheng et al., 2003; Zhou, 2005), métodos directos de detección de oclusiones basados en el análisis de variación angular de las líneas de vista mediante secuencias de barrido radial circular o espiral del MDS (Habib et al., 2007) o la variante de éste denominado Método de Perfiles Nadirales, método indirecto de detección de oclusiones (desde el MDS al centro de proyección), que integrado en un algoritmo de análisis de visibilidad múltiple, permite resolver el problema en un solo paso ([1] Proyecto DATOS.- [2] Altais LRTO System, 2008).

Las ODV resuelven el problema de la oclusión (si en alguna de las tomas fotográficas aparece la zona ocluida), pero tienen además unas propiedades métricas que las caracterizan y las hacen idóneas para ciertas aplicaciones. La ausencia de los abatimientos permite en estas imágenes una coincidencia imagen – vector, por lo que a la ganancia de información y mejora de interpretación se une la ventaja de ofrecer una coherencia visual, al tratarse ambas fuentes de información como una proyección de Helmert u ortogonal, que permite una digitalización directa sobre los elementos representados en la imagen (mono-restitución). Es por ello que se empleen principalmente en aplicaciones urbanas, simplificando enormemente los trabajos cartográficos.

La dificultad que entraña la producción de ODV, básicamente originada por la obtención de un MDS de calidad, y que la hace inabordable económicamente de manera extensiva, nos obliga a introducir una variante sobre las ODC, que minimice el efecto del abatimiento al generar ortofoto digital convencional en áreas urbanas, y por tanto de la oclusión, y que denominamos ODU.

Hay que buscar por tanto una solución de máxima nadiralidad o verticalidad, que se logra con una geometría óptima de sensor (un menor FOV produce un menor abatimiento), con una configuración adecuada de vuelo, función de la trama urbanística y del terreno, un recubrimiento óptimo (longitudinal y de especial relevancia, el transversal, función del FOV) y una utilización de la zona óptima de las fotografías en el cálculo de las ortofotos (zona central de todas las fotografías planificadas). Pero, ¿cual es el límite técnico admisible y razonable, en términos económicos, de la zona óptima de una fotografía capturada con una cámara específica, para una determinada configuración de vuelo, en una zona urbana concreta?

El establecimiento de unos controles de calidad previos sobre la planificación del vuelo nos permitirá optimizar nuestra programación, en cuanto a dirección de vuelo y recubrimientos, para cada cámara, de manera que se obtenga una ODU en base a unas tolerancias preestablecidas de % de visibilidad/oclusión, oclusión promedio y máxima oclusión permitida, según las necesidades y aplicaciones de cada proyecto. Y nos permitirá asimismo controlar y validar los vuelos ya realizados, analizar y localizar geográficamente zonas problemáticas y alternativas, y buscar la mejor solución para minimizar la oclusión.



Figura 1: Detalle de Orto-Rectificación Verdadera en un edificio de Aranjuez.
Vuelo realizado con UltraCamD, GSD: 4cm

2 Fundamentos Técnicos

El concepto de oclusión no difiere con el tipo de cámara, ya sea analógica o digital, matricial o de barrido. Su magnitud depende del FOV y de los recubrimientos planteados en el vuelo. En cámaras digitales matriciales el FOV es distinto en sentido longitudinal y transversal debido a su formato rectangular, el ángulo de apertura es variable y la dirección del rayo perspectivo abarca todo el plano de la fotografía, mientras que en los sensores lineales, solo cabe considerar un FOV lateral y la dirección del rayo donde puede oscilar el ángulo de apertura está limitada a un determinado ángulo de barrido (nadiral, anterior y posterior). Por tanto, dependiendo del tipo de

cámara, el comportamiento de los abatimientos y por tanto la aparición de oclusiones será distinta, produciéndose de manera radial y en todas las direcciones para el ámbito de ortofoto cubierto por cada imagen en el caso de cámaras matriciales, y perpendicularmente a la dirección de vuelo en el caso del sensor lineal nadiral, habitualmente empleado en el cálculo de la ortofoto.

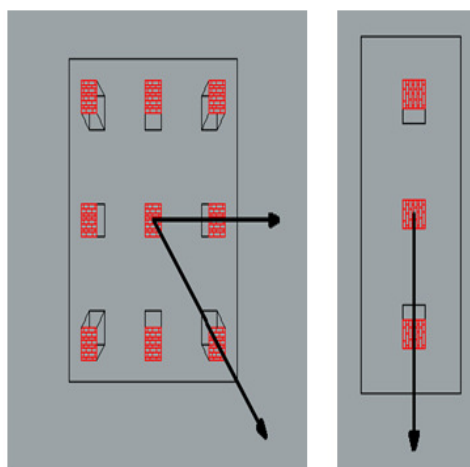


Figura 2: Oclusión en vuelo fotogramétrico con cámara matricial y lineal:
Los abatimientos se producen en la dirección radial y transversal, respectivamente.

La geometría de los sensores LIDAR no difiere sustancialmente a la de la cámara aérea, y los planteamientos matemáticos en el cálculo de oclusiones pueden ser válidos a priori en los vuelos donde se empleen. Distintas consideraciones habrá que tener en cuenta si son sensores de barrido lateral (de espejo oscilante, polígono rotacional ó fibra óptica) o circular. Los primeros presentan una geometría externa que se puede asemejar a la de los sensores digitales de barrido, donde cada punto terreno queda determinado conociendo la orientación del sensor en el instante de emisión del pulso (X, Y, Z, ω, ϕ, K), el ángulo de escaneo α y la distancia obtenida r . La diferencia estriba en el propio concepto de oclusión, que en el caso del LIDAR está condicionada a la penetración del haz láser, y en el patrón de barrido, discreto en el caso del LIDAR y continuo, aunque a una determinada resolución, en el caso de la cámara. Los segundos se pueden asemejar a la geometría externa de un sensor digital matricial, considerando que todos los puntos de la imagen tuvieran el mismo ángulo de apertura. La particularidad de este sistema es que el avance del avión lo asemeja también a un sensor de empuje con una vista delantera y otra trasera, aunque circular en lugar de lateral, lo que lo convierte en un sistema óptimo para evitar oclusiones en elementos singulares o aislados no penetrables.

Este estudio está centrado en las cámaras digitales matriciales y LIDAR laterales, y en la hipótesis de la representación única de los elementos, aunque también podría ser aplicado imponiendo una condición de visibilidad múltiple que permitiría hacer un estudio detallado de la información que verdaderamente se podría extraer de todas las imágenes aéreas de un determinado vuelo empleadas o no en la producción de la ortoimagen.

2.1 Método Aproximado

El concepto de oclusión es sobradamente conocido. Para el caso de fotografía estrictamente vertical (Figura 3), el desplazamiento terreno dp (en valor equivalente a la oclusión) producido por la perspectiva de un elemento de altura h se puede determinar en función del ángulo de apertura α como $dp = h \times \tan \alpha$, que en términos de distancia del elemento al punto Nadir terreno D y altura de vuelo, se puede expresar como:

$$dp = D \times h_e / (Hv_m - h_e)$$

Consideremos la siguiente nomenclatura:

- O: Centro Perspectivo
- E: Elemento sobre el terreno
- e': Representación en la imagen del elemento E
- α : ángulo de incidencia
- h_e : Altura del elemento E sobre el terreno
- D: Distancia del extremo visto del elemento desde el Nadir
- dp: Oclusión que produce el elemento E
- Hv_m : Altura media de vuelo sobre el terreno

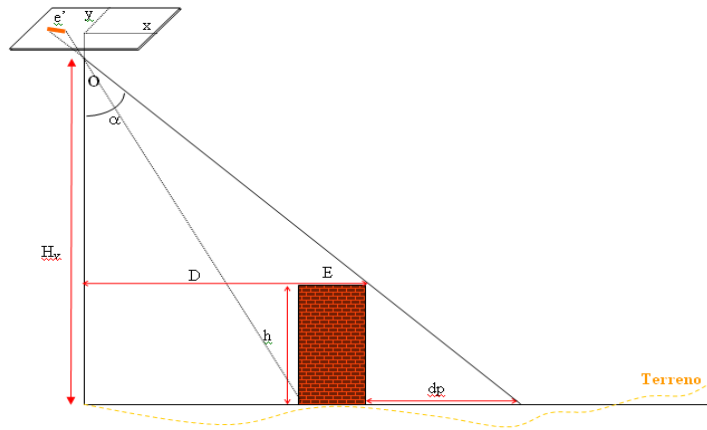


Figura 3: Oclusión en fotografía aérea vertical (terreno con cota constante).

Si determinamos los valores de esta expresión en función de la distancia al nadir D y de la altura de los elementos h_e para una determinada altura media de vuelo sobre el terreno H_v , obtenemos unos resultados de oclusión crecientes a medida que aumenta la distancia D (Tabla 1). Estas oclusiones se acentúan ligeramente cuanto menor es la altura de vuelo.

$H_v: 1216 \text{ m}$		$D \text{ (m)}$									
$h_e \text{ (m)}$		92	184	276	368	460	552	644	736	828	920
	3	0,23	0,46	0,68	0,91	1,14	1,37	1,59	1,82	2,05	2,28
	6	0,46	0,91	1,37	1,82	2,28	2,74	3,19	3,65	4,11	4,56
	9	0,69	1,37	2,06	2,74	3,43	4,12	4,8	5,49	6,17	6,86
	12	0,92	1,83	2,75	3,67	4,58	5,5	6,42	7,34	8,25	9,17
	15	1,15	2,3	3,45	4,6	5,75	6,89	8,04	9,19	10,34	11,49
	18	1,38	2,76	4,15	5,53	6,91	8,29	9,68	11,06	12,44	13,82
	20	1,54	3,08	4,62	6,15	7,69	9,23	10,77	12,31	13,85	15,38

Tabla 1: Ejemplo de cálculo de oclusión en fotografía aérea vertical analógica. $F=153 \text{ mm}$ $E_v: 1:8.000$

Representando los desplazamientos como porcentaje de distancia al punto nadir terreno, observamos como a medida que aumenta la escala de vuelo, los abatimientos son cada vez más acentuados, motivo por el cual tradicionalmente se dice que en vuelos bajos las oclusiones son mayores.

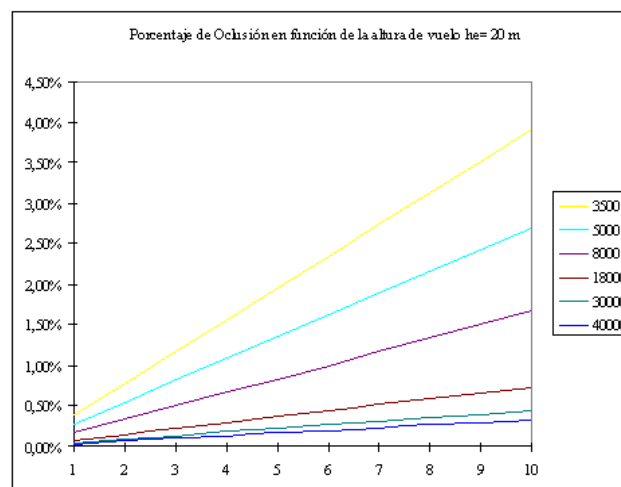


Figura 4: Porcentaje de oclusión en función de la escala de vuelo y una altura $h_e = 20 \text{ m}$. El eje x representa la distancia al nadir $D/10$, mientras el eje y indica el porcentaje de oclusión respecto a la distancia máxima.

Considerando ahora una gráfica de los desplazamientos de manera circular, encontramos que su comportamiento es radial y que crece con la distancia a nadir. Si nos centramos en el extremo de la fotografía (Figura 5), observamos el comportamiento creciente y radial de la oclusión en función de la altura de los elementos para las distintas escalas.

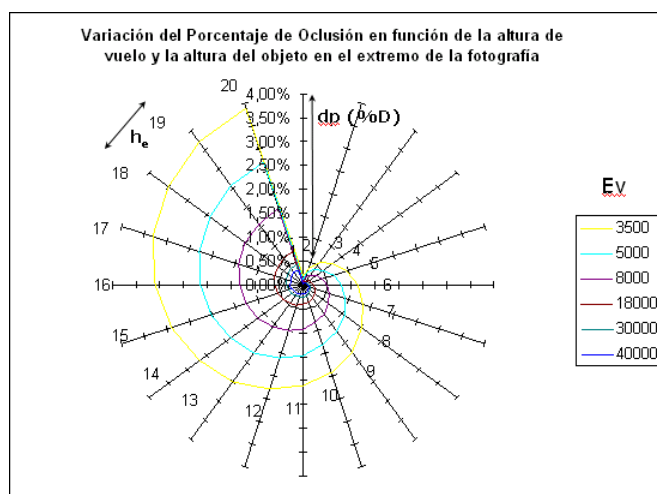


Figura 5: Variación del porcentaje de oclusión en función de la altura de vuelo y del objeto en el extremo de la fotografía.

Nótese que en el estudio se han considerado los elementos con altura h_e sobre un plano medio de referencia. Los cálculos se realizan, a efectos prácticos, considerando la altura media del terreno cubierto por la fotografía, es decir, se tiene en cuenta una escala media de la fotografía. En estas condiciones, conocida la posición planimétrica de los elementos de estudio (manzanas o edificios), se pueden determinar las oclusiones para una altura media de edificación, que puede establecerse por núcleo o zona de estudio. Si se conoce la altura real de determinados elementos singulares, se puede obtener de una forma más precisa la influencia del abatimiento sobre cada uno de ellos.



Figura 6: Efecto real de oclusión sobre la ortofoto convencional mediante la rectificación de un edificio. Vuelo realizado con UltraCamD, GSD: 4cm

2.2 Método Riguroso

El planteamiento anterior no considera ni el relieve ni la inclinación de la fotografía aérea. Es válido para realizar el control de calidad aproximado sobre la planificación de un vuelo, sin embargo no deja de ser una aproximación del problema por no tener en cuenta la influencia del relieve. Además, una vez realizado el vuelo, la geometría real a tener en cuenta en la fotografía es la de una imagen inclinada.

La falta de verticalidad de la cámara no tiene influencia en el cálculo de la oclusión, sino en su distribución sobre la fotografía. Si la cámara va montada sobre una plataforma giroestabilizada (valores típicos de inclinación del eje

óptico $< 0,3^\circ$), puede no obstante considerarse despreciable y equivalente a la de una fotografía vertical. El método simplificado considera que el desplazamiento se produce radialmente desde el punto nadir, que coincide en este caso sobre la imagen con el punto principal, mientras que en fotografía inclinada, debe considerarse asimismo el desplazamiento por inclinación del eje principal, que es radial desde el isocentro, positivo en puntos por encima del eje de inclinación, y negativo para puntos por debajo del mismo ([3] J. Otero, 1990).

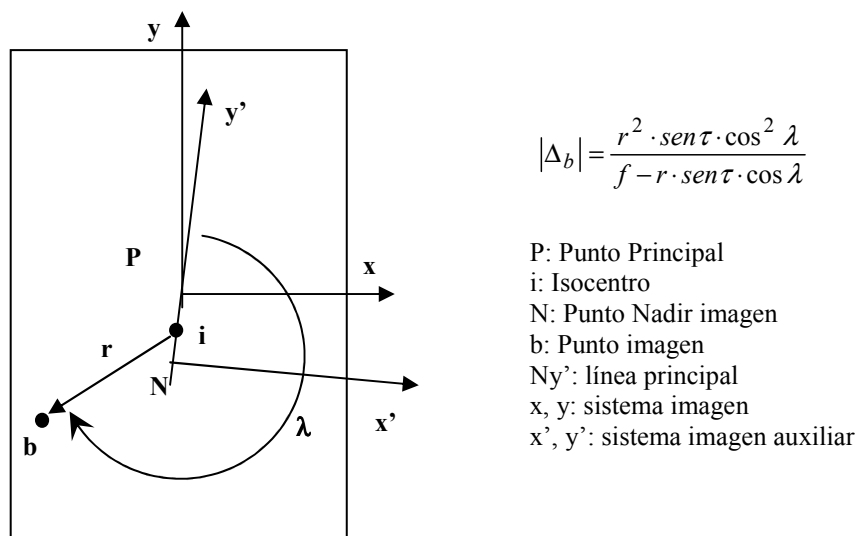


Figura 7: Geometría de la fotografía inclinada.

Considerar la inclinación de la fotografía supone volver al caso de fotografía estrictamente vertical (rectificada), imagen donde se cumplirían exactamente los cálculos anteriores en el caso de terreno llano. Sin embargo, a efectos prácticos, lo que interesa no es localizar sobre la fotografía los valores de la oclusión, sino determinarlos para los elementos definidos en un mapa con la mayor precisión, por lo que para no introducir errores en el cálculo, se debería tener en cuenta la influencia del relieve, que afecta tanto a la distribución de los abatimientos sobre la fotografía, alejándolos del punto nadir en elementos situados por encima del plano medio de referencia, y aproximándolos para elementos por debajo del mismo, como a su magnitud, con la simple consideración de la altura del terreno He o escala local en la base del elemento del que se está calculando la oclusión:

$$dp = D * h_e / (H_v - He - h_e)$$

siendo en este caso H_v la altura de vuelo.

Para la aplicación del método propuesto se requiere por tanto, disponer de un MDT para la determinación de He . De esta manera, conocida la posición 3D de los elementos de estudio (restitución de elementos cota alero), podría determinarse la altura he de cada elemento por diferencia entre la cartografía y el MDT, y determinarse de esta manera el valor exacto de la oclusión del elemento. Si solo se dispone de cartografía 2D, el método pierde todo rigor al tener que realizarse nuevamente los cálculos con un valor medio de altura de edificación, aunque con la mejora sobre el método aproximado de hacer la corrección de la escala local al poder determinar He con el MDT.

En el caso del vuelo LIDAR, se necesita la misma información para aplicar el método en el control de la planificación, aunque se puede aplicar a posteriori sin necesidad de disponer de información vectorial empleando la nube de puntos clasificada como MDE (clase Building) y como MDT (clase Ground). De esta manera para los puntos que definen cada edificio se les calcula su altura sobre el terreno como diferencia entre el MDE y el MDT, considerando además en el cálculo la cota de los puntos sobre el MDT.

El método riguroso de cálculo de oclusiones se completa con la consideración de la pendiente local del terreno donde se sitúa el elemento de estudio. Si la pendiente es favorable a la proyección ($i < 0$), el efecto de la oclusión sobre el terreno se verá reducido. Si por el contrario la pendiente es desfavorable ($i > 0$), el efecto se verá incrementado. Téngase en cuenta que el valor de la oclusión puede llegar a quedar limitado por la distancia respecto del siguiente elemento en la dirección donde se produce la misma, si este segundo elemento no queda ocluido por el primero.

La determinación del ángulo de inclinación i requiere igualmente la disponibilidad de un MDT, conocer la dirección de la oclusión (dirección nadiral desde el elemento) y un cálculo inicial de dp para el caso de pendiente igual a cero. De esta manera proyectando sobre el MDT el vector oclusión se podría estimar el valor de i y corregir dp por la pendiente local.

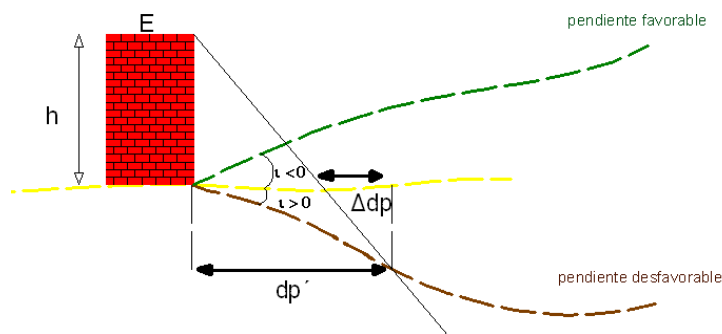


Figura 8: Oclusión en fotografía aérea vertical (considerando la pendiente local del terreno).

$$\Delta dp = dp \times Ki \text{ siendo } Ki = \frac{\operatorname{tg} \alpha * \operatorname{tgi}}{(1 - \operatorname{tg} \alpha * \operatorname{tgi})}$$

3 Método práctico de cálculo y clasificación

A continuación se describe un sencillo procedimiento que puede implementarse en cualquier herramienta GIS del mercado. A la hora de hacer los cálculos, hay que distinguir la fuente de los datos - el método de obtención de la oclusión dependerá de si es un vuelo fotográfico o un vuelo LIDAR - y la información disponible - en función de la cual podremos aplicar el método aproximado o riguroso -. Por simplificar el problema, no se ha contemplado en este procedimiento la corrección por la pendiente local del terreno.

En el caso de un vuelo fotográfico matricial, el vector oclusión está en la dirección de la recta que une el punto que representa el elemento con el nadir. Para el vuelo LIDAR la dirección del vector oclusión para cualquier punto puede considerarse en dirección perpendicular a la trayectoria proyectada sobre el terreno, despreciando la falta de paralelismo en los patrones de barrido de diente de sierra.

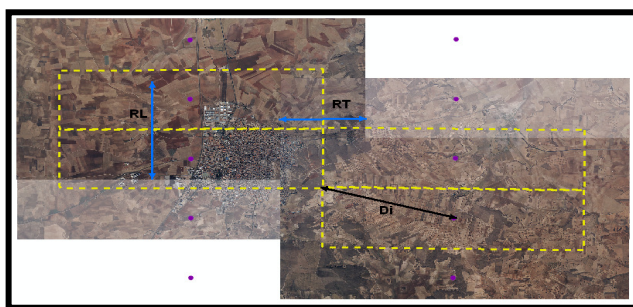
3.1 Vuelo Fotográfico:

La información de partida con la que contamos para realizar el control de calidad sobre la planificación del vuelo o sobre su posterior ejecución es:

- MDT de la zona.
- Planificación/Procesado de vuelo (Id Foto, X, Y, Hv).
- Cartografía vectorial 2D/3D.

El método de cálculo propuesto es el siguiente:

- Para cada Foto i , se calcula la altura de vuelo media sobre el terreno. Para ello proyectamos el marco de la fotografía sobre el terreno, y determinamos la cota media de los puntos del MDT incluidos en el marco. La altura de vuelo media sobre el terreno para la fotografía i la obtenemos restando este valor a la altura de vuelo planificada (o real obtenida del procesado de la trayectoria).
- Se determina la altura de los edificios. Partiendo de la cartografía 3D se extraen las coordenadas de todos los puntos que definen las edificaciones. Las coordenadas planas obtenidas de estos puntos (X,Y) se proyectan sobre el MDT, obteniendo de esta forma la altura del edificio mediante el promedio de las diferencias entre la cota de los puntos 3D del edificio (cota alero) menos su correspondiente cota terreno, o si se prefiere, se mantiene la altura de cada punto. Si solo se dispone de cartografía 2D, se le asigna una altura media a los edificios.
- Se calculan las distancias D_i a los puntos nadir más cercanos de cada fotografía i desde cada centroide (topología de polígono) o vértice (topología de punto). El radio de búsqueda mínimo se establece en función de la geometría del vuelo, así como del formato y resolución de la imagen, con un margen de seguridad que absorba las diferencias de escala. Es conveniente no ampliarlo demasiado para optimizar el cálculo, aunque no obstante, si se quiere analizar la influencia de la oclusión en múltiples imágenes, es necesario incrementarlo para localizarlas. Por ejemplo, para un vuelo de 10 cm de GSD realizado con UltraCamD (Formato de imagen : 11500 filas * 7500 columnas) con recubrimiento 60%-30%, el cálculo sería:



$$Di^2 = \left(\frac{100 - RT}{2} * 1150 \right)^2 + ((100 - RL) * 750)^2$$

$Di = 502 \text{ metros}$

Figura 9: Fórmula para calcular el radio de búsqueda más óptimo.

Es interesante almacenar para cada punto, además de la distancia al punto nadiral más cercano, como atributos del punto, el identificador de la imagen, lo que nos permitirá obtener además del valor de la oclusión, su dirección, y en el caso de análisis múltiple, consultar desde qué fotografía se podría resolver la oclusión. El resultado es una cobertura formada por los puntos que componen la geometría de los edificios con información asociada de su altura (he), su cota terreno (He , necesaria si se emplea el método riguroso), la distancia al punto nadir y el identificador de la imagen de referencia.

- Finalmente se calculan las oclusiones y se le asigna a cada punto su valor de oclusión. Esta cobertura es posteriormente analizada y clasificada en función de los rangos de tolerancia establecidos en el proyecto.

Este método ha sido puesto en práctica por primera vez por la Diputación de Málaga (Área de Infraestructura, Obras y Urbanismo: Servicio de Información Territorial) en el proyecto de Vuelo Digital de 65.000 Has de núcleos urbanos de la Provincia de Málaga para la obtención de ortofotografías y cartografía en el año 2006/2007, permitiendo controlar de manera eficaz el vuelo ejecutado inicialmente en 2006 para el porcentaje de cumplimiento de oclusión fijado, y optimizar la planificación de los vuelos que posteriormente se realizaron en 2007 a través de una base de datos y los informes gráficos generados. En la Figura 10 se muestra un ejemplo de clasificación y representación de oclusiones para el vuelo planificado sobre el núcleo de Rincón de la Victoria donde se empleó el método aproximado y una altura media de edificación proporcionada por Diputación.

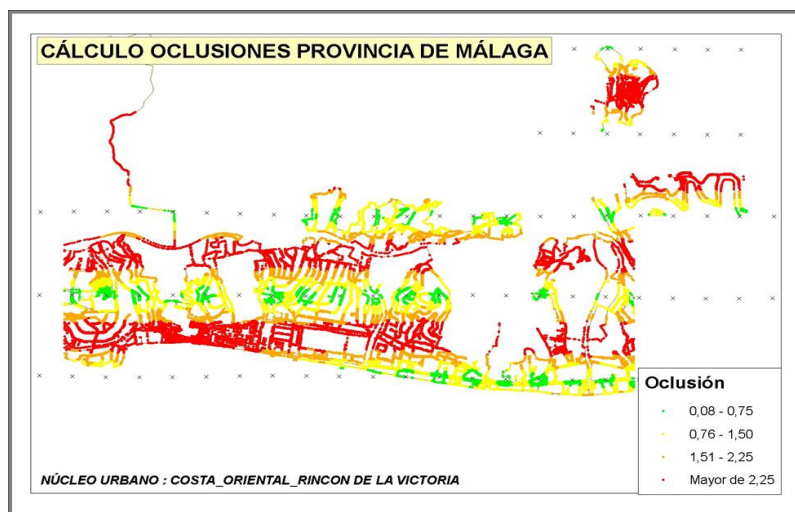


Figura 10: Método aproximado para la determinación de oclusiones.
Control de la planificación del vuelo (he aproximada de 10m).

3.2 Vuelo Lidar:

La fuente de información necesaria para realizar el control de planificación de los vuelos LIDAR es análoga a la del vuelo fotogramétrico. En el caso del LIDAR, sin embargo, contamos con la ventaja de disponer de una información muy rica una vez realizado el vuelo, que nos permite emplear el método riguroso de una forma muy eficaz.

La información de partida con la que contamos es:

- MDT de la zona.
- Planificación/Procesado de vuelo (Id Foto, X, Y, Hv).
- Cartografía vectorial 2D/3D.

Una vez realizado el vuelo podremos contar además con la información de las alturas de las edificaciones (o mejor dicho, de los puntos que representan cada edificación en la clase Building) obtenidas por diferencia entre el MDE y el MDT (clase Ground).

El método de cálculo propuesto es el siguiente:

- Se determina la altura de los edificios por un procedimiento análogo al caso de vuelo fotogramétrico.
- Se calculan las distancias mínimas D_i a la trayectoria de vuelo proyectada desde cada centroide o vértice (perpendicular desde el edificio a la línea de la trayectoria), almacenándola como atributo del punto. El radio de búsqueda mínimo se establece en función del FOV y la altura de vuelo planificada descontando la mitad del recubrimiento lateral.
- Se calculan las oclusiones y se le asigna a cada punto (edificio) un valor de oclusión.

Este método es también válido en el caso del sensor digital lineal. Nos permite realizar un control siempre aproximado de la oclusión, ya que en el caso del LIDAR, habrá que tener en cuenta otros factores como la resolución de la nube de puntos. Si el distanciamiento entre puntos LIDAR en sentido transversal es menor que el valor de la oclusión dp , el resultado del control será fiable (i.e, se está produciendo la oclusión). En caso contrario, no se puede garantizar que en la zona determinada de oclusión se fuera a producir un impacto.

Una vez realizado el vuelo, podemos determinar de manera más precisa la influencia de las oclusiones determinando la altura sobre el terreno de cada punto clasificado como edificio, mediante el empleo del método riguroso. En la Figura 12 se muestra un ejemplo de clasificación y representación de oclusiones para el vuelo LIDAR realizado sobre el núcleo urbano de Quero (Toledo) con el sensor ALS50-II. Para poder comprobar las diferencias entre el método aproximado y el riguroso, se han realizado los cálculos asimismo con la consideración de una altura media de los puntos de la clase Building ($he=5m$) en lugar de emplear la altura real sobre el terreno. En ambos casos, se ha considerado la influencia del relieve (He). Puesto que el vuelo se hizo combinado con la cámara matricial DMC (recubrimientos 60%-60%), se ha aprovechado esta misma información para el cálculo de oclusiones del vuelo fotográfico (Figura 11), y al igual que en el caso LIDAR, se han aplicado los métodos aproximado y riguroso. La representación se ha realizado en intervalos de 0,5 m. Nótese la desviación en la escala de representación de las oclusiones en el caso del vuelo fotográfico y LIDAR, provocada por la presencia real de alturas de edificio mayores de 5 m, y la ligera disminución de los valores de oclusión en el caso del vuelo LIDAR, debido a la disminución de las distancias D_i en el sistema de captura de barrido lateral. Los puntos representados en las líneas de vuelo corresponden con los centros de proyección del vuelo fotográfico (las trayectorias Cámara-LIDAR son equivalentes con la diferencia del vector “Punto Nodal – Cabeza de Sensor” y los errores propios de observación y cálculo de las trayectorias).

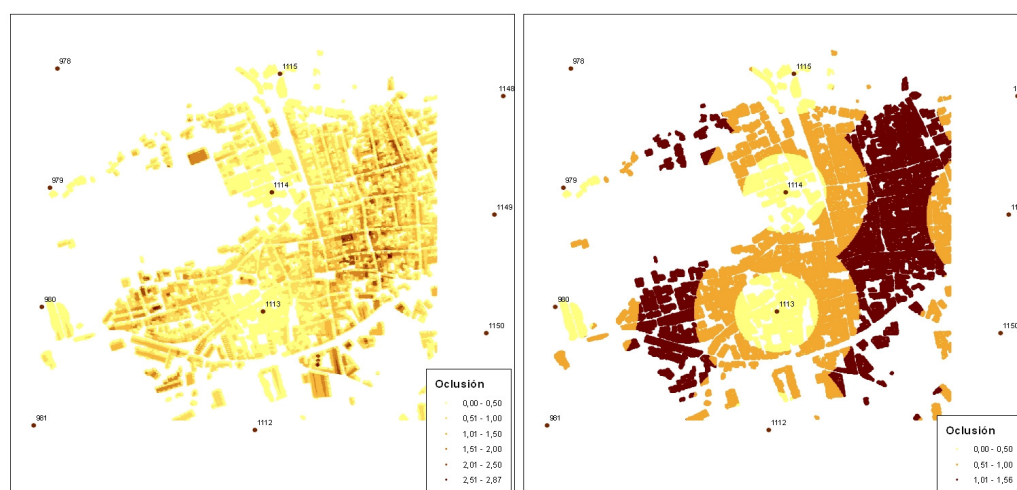


Figura 11: Método riguroso y aproximado ($he=5m$) para la determinación de oclusiones fotográficas en un Vuelo Fotogramétrico combinado con LIDAR realizado sobre el núcleo urbano de Quero (Toledo).

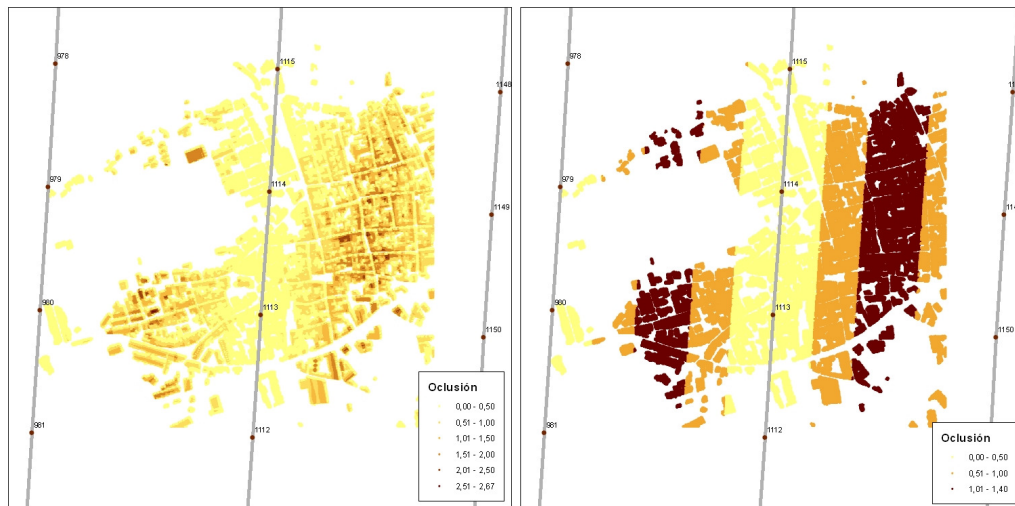


Figura 12: Método riguroso y aproximado (he 5m) para la determinación de oclusiones LIDAR en un Vuelo Fotogramétrico combinado con LIDAR realizado sobre el núcleo urbano de Quero (Toledo).

4 Conclusiones

La producción de ortofotografía digital en áreas urbanas eliminando las oclusiones resulta compleja y requiere de la utilización de metodologías de ortorrectificación específicas y costosas. La solución hoy por hoy pasa por emplear métodos convencionales de cálculo, realizando un control de calidad de oclusión previo a la realización del vuelo que permita minimizar los efectos de dicha oclusión.

Ante la gran carencia en el mercado de herramientas comerciales específicas de control de calidad, se ha definido un procedimiento sencillo de implementar en soluciones GIS que permite analizar mediante métodos aproximados y rigurosos la influencia de la oclusión tanto en vuelos fotogramétricos como LIDAR.

Es necesario establecer en las especificaciones técnicas de los vuelos las tolerancias máximas admisibles en valores absolutos de oclusión (oclusión media y máxima) y para unos porcentajes o niveles de cumplimiento (% de oclusión), buscando una solución equilibrada razonable entre la calidad y el coste de realización del vuelo. Los métodos de control deberían ser siempre objetivos mediante la aplicación de este u otro procedimiento conocido por la empresa a priori, y las tolerancias fijadas en función de la calidad de los datos disponibles para la realización de los controles.

El método propuesto permite detectar zonas críticas, analizar su influencia y buscar alternativas de manera analítica y gráfica, permitiendo optimizar la planificación de los vuelos en zonas urbanas. La consideración de líneas de ruptura en la capa vectorial de entrada con información de altura de desnivel en zonas de máxima pendiente permitiría además detectar posibles oclusiones o áreas de baja resolución de imagen o pérdida de densidad de datos LIDAR en zonas rústicas.

Bibliografía y Referencias

- [1] Memoria del Proyecto DATOS “Desarrollo de un software para la generación de ortoimágenes verdaderas como base de información territorial urbana” (FIT-340001-2006-41). Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2004-2007).
- [2] R. Antequera, P. Andrinal, R. González, S. Breit, J. Delgado, J. L. Pérez, M. Ureña, S. Molina. Development of an integrated system of true ortho-rectification. The Altas LRTO System. ISPRS2008, Jul. 2008- Beijing.
- [3] G. Brandstätter, J. Otero, P. Romero, M.J Sevilla. VI Curso de Geodesia Superior. 1990 Madrid.
- [4] Comisión Técnica PNOA. Especificaciones Técnicas para el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) 2007.
- [5] Molina, S. Análisis de Precisiones. Influencia del Sensor. Jornadas Técnicas del Plan Nacional de Ortofotografía, May. 2008. Dpto de Fotogrametría, Tragsatec.
- [6] Valbuena, R., Fernández de Sevilla, T. Lidar and true-orthorectification of infrared aerial imagery of high Pinus sylvestris forest in mountainous relief. SilviLaser 2008, Sept. 17-19, 2008 – Edinburgh, UK