

PRÁCTICO 14

PLANEAMIENTO DE VUELO FOTOGRÁFICO PARA TOMAS DE FOTOGRAFÍAS VERTICALES

Objetivos.

- Comprender las variables en el planeamiento de vuelos
- Realizar un Plan de Vuelo según el equipamiento del Laboratorio de Percepción Remota.
- Uso de GPS en la realización del vuelo.

Material Requerido.

Receptor GPS de 5 y 10 canales, cartas geográficas, impresiones de imágenes de satélite y/o fotografías.

Introducción

La base de un buen proyecto fotogramétrico o de fotointerpretación se inicia con la acertada planeación de la toma de la fotografía que se utilizará en etapas posteriores. La información preliminar que debe recabarse para estos casos puede ser la siguiente:

- El uso que se dará a las fotografías.
- La escala a la cual se presentará el producto final, ya sea para trabajos fotogramétricos o de fotointerpretación, y
- La precisión requerida para el trabajo.

Simultáneamente se recolectan mapas, fotografías, fotomapas o cualquier otro tipo de imágenes existentes de la zona de estudio, para que este material sirva como mapa base para planear el vuelo.

Información básica

Después de obtener los elementos de juicio anteriores, se pueden determinar las características topográficas de la zona de estudio, sus límites, control terrestre utilizable. Con estos datos se inicia el estudio de la información básica para empezar a calcular y determinar el valor de los siguientes elementos importantes:

- Altura de vuelo sobre el plano de referencia (por lo general, el nivel medio del mar).
- Base en el aire.
- Separación entre líneas de vuelo.

Para esto deben conocerse las características del avión como son:

- Velocidad crucero.
- Techo.
- Autonomía de vuelo, etcétera.

Tipo de cámara que se utilizará así como sus características relativas, como son:

- Distancia principal.
- Objetivo.
- Filtro.
- Formato.

Por último, un factor muy importante en la planeación de vuelos es el periodo o época en la cual se planea la toma de fotografías, en relación con las condiciones atmosféricas.

RELACIONES Y FÓRMULAS

Después de conocer los parámetros fundamentales para la planeación de un vuelo se procede a su determinación mediante el cálculo con fórmulas sencillas.

Símbolos

Los símbolos empleados en las formulas de planeación de vuelos corrientemente empleados en fotogrametría son derivados del correspondiente nombre en inglés.

- s = Formato de la fotografía (lado).
- S = Longitud que cubre un lado de la foto en el terreno.
- f = Distancia focal
- c = Distancia principal.
- h = Altitud del terreno sobre el nivel del mar.
- u = Recubrimiento longitudinal (%)
- v = Recubrimiento lateral (%)
- Z = Altura de vuelo.
- b = Base en la fotografía.
- B = Base en el aire.
- A = Distancia entre líneas de vuelo.
- GS = Velocidad del avión con respecto al terreno.
- E = Modulo de escala
- te = Tiempo de exposición.
- I = Intervalo entre exposiciones.
- MIF = Movimiento de la imagen en la fotografía.

Cuando el terreno por fotografiar es plano y horizontal, bastará con calcular la altura de vuelo, la separación entre líneas de vuelo y el intervalo de exposición una vez, y esas mismas condiciones se aplicarán a toda la zona.

La dificultad práctica surge cuando el terreno es ondulado o montañoso, porque, en tal caso, la escala de la imagen no es la misma para todas las fotografías ni es constante dentro de una misma faja y los recubrimientos, la relación base-altura variará de un par estereoscópico a otro.

Por esta razón, se necesita definir un plano **r** como cota de referencia (nivel medio del terreno), un plano alto **a** correspondiente a los puntos más altos del terreno y un plano **b** correspondiente a los puntos más bajos del terreno. A continuación, se presentan esquemáticamente los planos que pueden utilizarse (Fig. 14-1).

Todos los cálculos se podrán efectuar para el plano de referencia **r** si se verifica que para los planos **a** y **b** se cumplan las condiciones mínimas y/o máximas de recubrimiento, escalas, etcétera.

Las fórmulas que se estudian a continuación son generales y, al sustituir el subíndice **i** por **O**, **b**, **a** o **r** se obtendrán valores correspondientes a los planos respectivos.

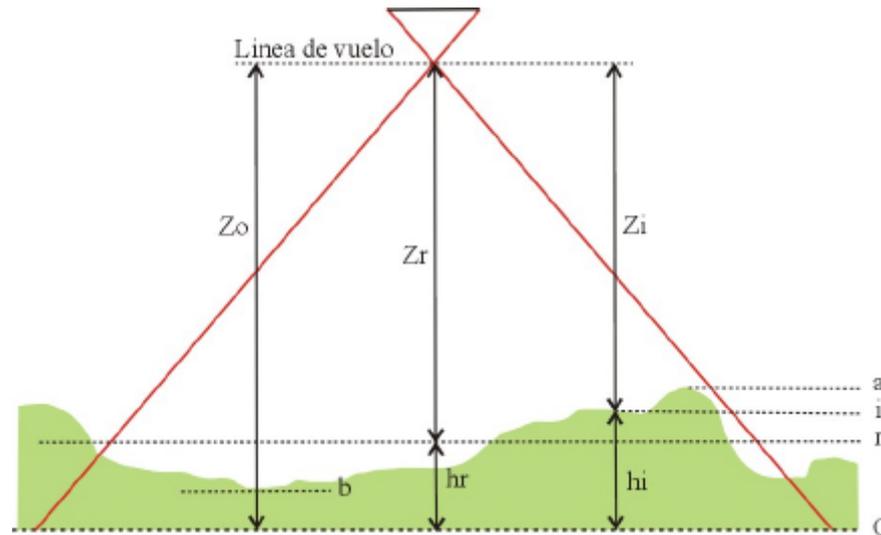


Figura 14-1: Definición de planos de referencia

Determinación de la escala del negativo (E)

La escala más conveniente para la fotografía depende del fin a que éstas se destinen, pero no existe una regla fija que la determine de modo preciso. En general, se debe tener en cuenta que el más pequeño detalle del terreno discernible sobre la fotografía es aquél que tiene sobre ésta una imagen de 0,1 mm y que una ampliación posterior del negativo no modificará esta cantidad; por lo tanto, el mínimo detalle del terreno apreciable sobre la fotografía variará en función de la escala de ésta; por ejemplo: en una fotografía a escala 1: 30.000 el mínimo detalle discernible sobre ella, tendrá en el terreno un tamaño de 3 m, y en una fotografía a escala 1: 10.000 el detalle del terreno tendrá un tamaño de 1 m.

La escala (E) de una fotografía estará determinada por la relación entre la distancia focal (f) y la altura de vuelo del avión sobre el suelo (Z):

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{Z} \Rightarrow E = \frac{Z}{f} \quad (1)$$

Por ejemplo:

- Altura de vuelo = 1040 m
- Distancia focal de la cámara = 80 mm

$$E = \frac{Z}{f} = \frac{1040000\text{mm}(1040\text{m})}{80\text{mm}} = 11000$$

Elección de la distancia focal (f)

La distancia focal (f) es la distancia expresada en milímetros desde el plano focal, donde se proyecta la imagen y en el cual se encuentra el negativo, hasta el foco del objetivo. Es un elemento determinante en la toma de fotografías. Su elección estará supeditada a la altura de vuelo y, como es lógico, a la escala de las fotografías a obtener.

Una distancia focal “normal” es aquella cuya longitud es aproximadamente igual a la diagonal del negativo. Si esta distancia focal es mayor estamos en presencia de un “teleobjetivo”, y si es menor de un “gran angular”

Es aconsejable en todos los casos utilizar un objetivo “normal” a los efectos de minimizar las deformaciones. El “gran angular” abarca mayor superficie (por su mayor ángulo) pero genera una

mayor deformación, y el “teleobjetivo” necesita una mayor altura de vuelo para lograr la misma superficie debido a su menor ángulo.

Determinación de la altura de vuelo (Z)

Se entiende como tal la altura de vuelo sobre el suelo (altura relativa) por ser ella la que condiciona la escala de la fotografía. Si se llama Z_0 la altura de vuelo del avión sobre el nivel del mar, h_i la altura sobre el nivel del mar del terreno fotografiado, la altura de vuelo Z sobre el suelo será:

$$Z = Z_0 - h_i \quad (2)$$

La altura de vuelo se debe establecer durante la etapa de planificación del vuelo y ella dependerá, además de las exigencias de carácter operativo, de la escala a que se pretenda obtener las fotografías teniendo en cuenta la distancia focal (f) de la o las cámaras aéreas disponibles. Por lo tanto, teniendo en cuenta la ecuación (1), será:

$$Z = E \times f \quad (3)$$

Superficie cubierta en el terreno por cada foto sin superposición (S)

Si el negativo es un cuadrado de lado l , contendrá la imagen de un cuadrado del terreno de lado L cuya longitud, llamando E a la escala del negativo, será:

$$S = l \times E$$

En el caso de negativos que no sean cuadrados (Ej.: 6x4.5 cm, formato medio) se tendrá que calcular para cada uno de los lados en forma separada.

Ejemplo:

- negativo 6x4.5 cm
- escala 1/11000

$$\text{Largo } l_1 = 0.06m \times 11000 = 660m$$

$$\text{Ancho } l_2 = 0.045m \times 11000 = 495m$$

Luego la superficie S cubierta por un fotograma será:

$$S = l_1 \times l_2 = 660m \times 495m = 326700m^2 = 32,67Ha$$

Recubrimiento

Los vuelos fotográficos deben ser realizados de manera tal que todo punto del terreno figure por lo menos en dos fotografías consecutivas, de modo de poder ser examinadas estereoscópicamente, a cuyo fin han de recubrirse en el sentido de vuelo una cierta magnitud, llamada *superposición longitudinal* $u\%$ (Fig. 14-2). Además, cuando se trate de fotografiar una amplia zona de terreno, generalmente no podrá cubrirse en un solo recorrido del avión y será preciso efectuar dos o más en direcciones sensiblemente paralelos y equidistantes, de modo que, para evitar que quede algún espacio sin fotografiar, se recubran también lateralmente otra cierta magnitud, llamada *superposición lateral* $v\%$ (Fig. 14-3).

A los efectos de asegurar el cubrimiento total del área a fotografiar y que las fotografías permitan el examen estereoscópico, para la determinación de los datos relativos al planeamiento de vuelo, se considerará:

1. Superposición longitudinal $u = 60 \%$.
2. Superposición lateral $v = 30 \%$.
3. A fin de compensar un posible error lateral, se agregará un recorrido (línea de vuelo) al número total de los calculados para cubrir la zona.
4. A fin de compensar un posible error longitudinal, se agregarán cuatro fotografías al total de los calculados como necesarios para cada recorrido (dos al comienzo y dos al final de cada recorrido)

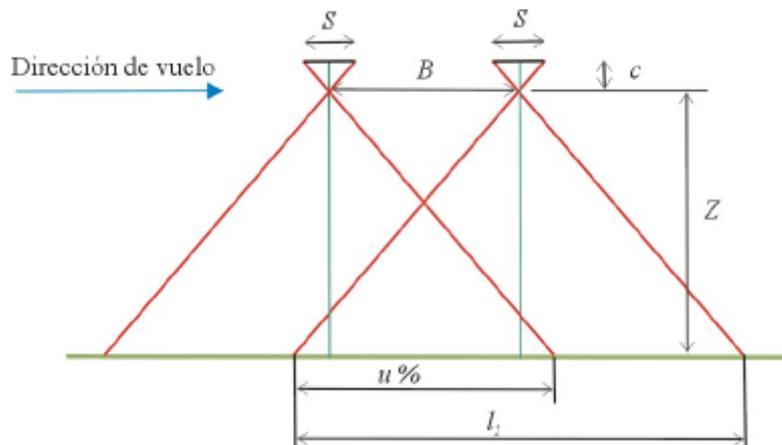


Figura 14-2: Recubrimiento longitudinal (u)

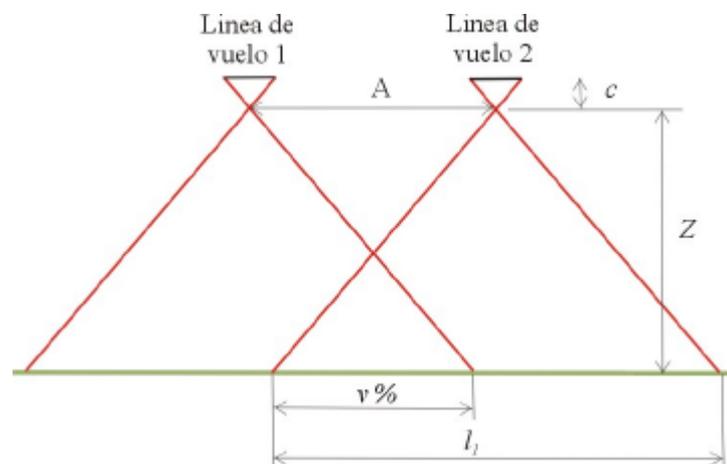


Figura 14-3: Recubrimiento lateral (v)

Base en el aire (B)

La base, llamada también avance útil sobre el terreno, es la **distancia entre dos exposiciones** (Fig. 14-2), o sea, la distancia (B) existente entre los puntos de toma de dos fotografías consecutivas que corresponde a la relación de superposición $u \%$ de las vistas.

$$B = l_2 \times \left(1 - \frac{v}{100} \right)$$

Ejemplo:

- lado de la fotografía en el terreno 495 m
- superposición longitudinal 60 %

$$B = 495m \times \left(1 - \frac{60}{100}\right) = 198m$$

Distancia entre líneas de vuelo (A)

Llamando I al lado de un fotograma cuadrado, E a la escala del mismo y v la superposición lateral entre recorridos; la separación lateral (A) entre los mismos, será:

$$A = I_1 \times \left(1 - \frac{v}{100}\right)$$

Ejemplo:

- lado de la fotografía en el terreno 660 m
- superposición lateral 60 %

$$A = 660m \times \left(1 - \frac{60}{100}\right) = 396m$$

Intervalo de toma (I) - Intervalo entre exposiciones

Es, el tiempo que debe transcurrir entre una toma y la siguiente para que se produzca la requerida superposición longitudinal. Teniendo en cuenta la relación entre el espacio, la velocidad y el tiempo, y, llamando B a la base o distancia entre los dos puntos de toma, V a la velocidad resultante del avión e I al intervalo de toma, resulta:

$$I = \frac{B}{V}$$

Ejemplo:

- distancia entre dos exposiciones (B) 198 m
- velocidad del avión 110 millas/h = 49.16 m/seg

$$I = \frac{198m}{49.16m/s} = 4.02seg$$

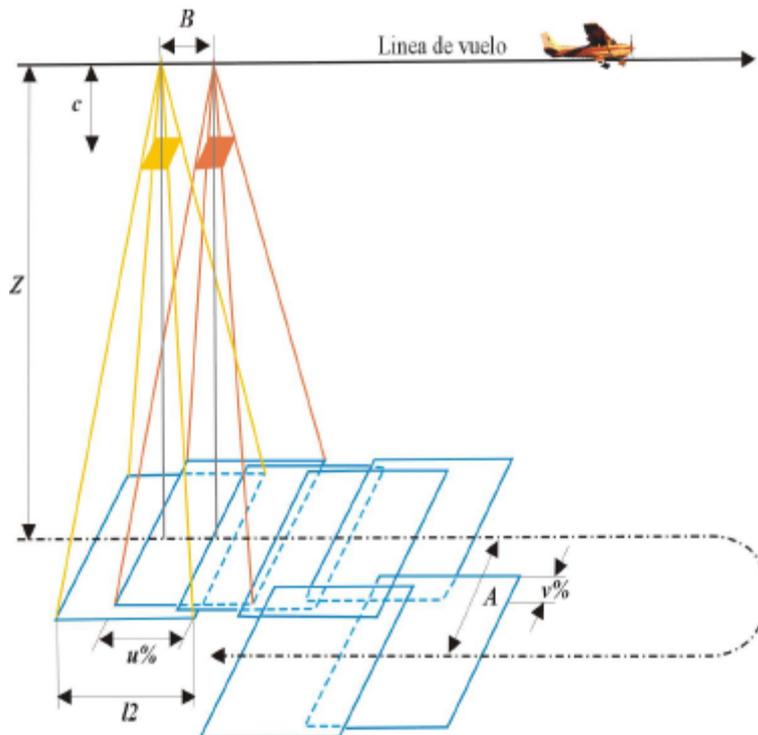


Figura 14-4: Planeamiento del vuelo

Número de fotografías por línea de vuelo (NFLV)

El número teórico de fotografías por línea de vuelo se obtiene al dividir la longitud de ésta entre la base en el aire (**B**). Al número de fotografías obtenido se suman las fotografías que, en general, se toman al principio (2) y al final (2) de cada línea para cerciorarse de que la cámara esté funcionando bien cuando se tomen las fotografías de la zona de interés.

$$NFLV = \frac{\text{Longitud.de.la.linea}}{B} + 4$$

Número de líneas de vuelo (NLV)

Es la cantidad de líneas de vuelo necesarias para cubrir totalmente el área a fotografiar con la correspondiente superposición lateral. Se agrega una línea adicional a fin de compensar un posible error.

$$NLV = \frac{\text{Ancho.del.terreno}}{A} + 1$$

Número total de fotografías (NTF)

Es el total de fotografías necesarias para cubrir el área.

$$NTF = NFLV \times NLV$$

Tiempo de vuelo sobre el objetivo (t)

El tiempo de vuelo (t) sobre el objetivo se calcula teniendo en cuenta el intervalo de toma (I) y el número total de fotografías (NTF).

$$t = I \times NTF$$

Tiempo total de vuelo (T)

Para calcular el tiempo total de vuelo, se deberá sumar al tiempo de vuelo sobre el objetivo (t) el empleado para ir y volver de la base (aeropuerto) al objetivo, así como también el necesario para terminar un recorrido e iniciar el próximo. Todo esto depende fundamentalmente del tipo de avión que se utilice.

Cantidad de película (Nr)

Siendo NTF el número total de fotografías necesarias para cubrir el área a fotografiar, y siendo epr la cantidad de exposiciones por rollo, la cantidad de película Nr necesaria estará dada por:

$$Nr = \frac{NTF}{epr}$$

En algunos casos es conveniente realizar el inicio de la línea con un rollo Nuevo, si es que al rollo anterior le quedasen pocas exposiciones. De esta manera se evita un cambio de rollo en medio de la línea de vuelo. En estos casos se debe tener en cuenta llevar rollos extra.

NOTA:

Todos los cálculos vistos hasta ahora pueden agruparse en tablas, las cuales agilizan los cálculos previos y permiten sobre la marcha reformular determinados parámetros en función de algún imprevisto.

Ej.: Cámara de formato medio Mamiya 645Pro

Mamiya 645 Pro (6 x 4.5)

Datos técnicos de un recubrimiento aerofotogramétrico con cámara de formato medio, negativo 6x4.5cm.

Superposiciones longitudinales y laterales de 60% y 40% respectivamente.

Escala	Altura de vuelo				Dimensión del terreno		Área (Ha.)	Dist. entre líneas de vuelo (m)	Dist. entre fotos (m)	Nro. fotos por Km
	f=55 mm		f=80 mm							
	(m)	pies	(m)	pies	(m)	(m)				
1000	55	180	80	262	45	60	0	36	18	55,6
2000	110	361	160	525	90	120	1	72	36	27,8
3000	165	541	240	787	135	180	2	108	54	18,5
4000	220	722	320	1050	180	240	4	144	72	13,9
Etc.										

Mamiya 645 Pro (6x4.5)

Intervalos de tiempo entre exposiciones consecutivas (en segundos) con cámara de formato medio.

Escala	Velocidad del avión (Millas/h - Km/h - m/seg.)										
	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
1:	112,63	120,67	128,72	136,76	144,81	152,85	160,90	168,94	176,99	185,03	193,08
	31,28	33,52	35,75	37,99	40,22	42,46	44,69	46,93	49,16	51,40	53,63
1000	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
2000	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
3000	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0
4000	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3
Etc.											

Escala	Tamaño del píxel (m)									
	Positivo 20x30					Positivo 15x20				
	1200 dpi	600 dpi	400 dpi	300 dpi	200 dpi	1200 dpi	600 dpi	400 dpi	300 dpi	200 dpi
1000	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
2000	0,01	0,02	0,03	0,03	0,05	0,01	0,03	0,04	0,05	0,08
3000	0,01	0,03	0,04	0,05	0,08	0,02	0,04	0,06	0,08	0,11
4000	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,03	0,05	0,08	0,10	0,15
Etc.										

Escala del positivo	
20x30	15x20
200	300
400	601
600	901
800	1201
Etc.	

PLAN DE TRABAJO

La forma corriente de llevar a cabo el trabajo será la de cubrir la superficie con una serie de recorridos paralelos (líneas de vuelo) y equidistantes debidamente superpuestos en forma transversal, así como las fotografías correspondientes a cada recorrido deberán estar debidamente superpuestas en forma longitudinal.

Una vez fijada la dirección de los recorridos, se dibujan las líneas de vuelo sobre la carta que se disponga de la zona en que se va a trabajar. (Ver Fig. 14-5).

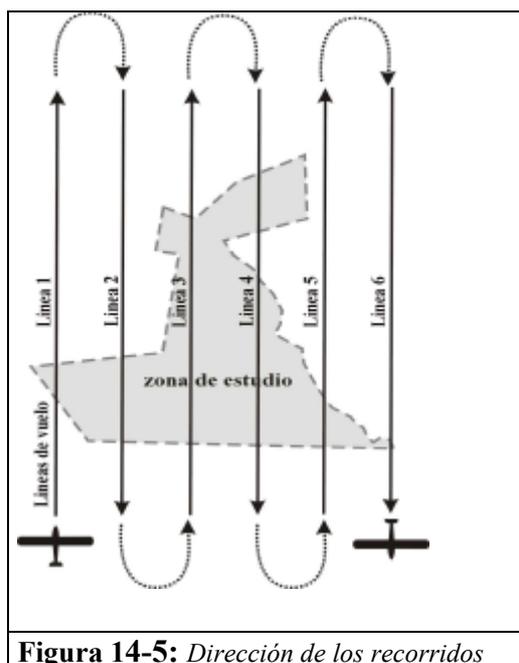


Figura 14-5: Dirección de los recorridos

PLANEACIÓN DEL VUELO

Cuando se va a realizar el vuelo es necesario entregar a los encargados la información básica que servirá para después ejecutar los cálculos. Por lo general, estos datos son los siguientes:

- Descripción de la zona: Límites, características topográficas, clima, etcétera.
- Cámara aérea: Tipo, Objetivo, Distancia focal, Tiempo de exposición, Formato, Capacidad del almacén
- Avión: Tipo y marca, Velocidad crucero, Velocidad mínima, Techo, Autonomía.
- Película: Marca, Sensibilidad, Longitud del rollo, Filtro
- Características de las fotografías: Escala, Recubrimiento longitudinal (u), Recubrimiento lateral (v), Época del año escogida, Hora del día deseada, Tiempo de exposición.

CÁLCULOS

Los datos para realizar el vuelo deben presentarse sobre un mapa topográfico, fotográfico, fotomosaico, imagen satelital o algún otro tipo de esquema de la zona. Deben proporcionar la siguiente información:

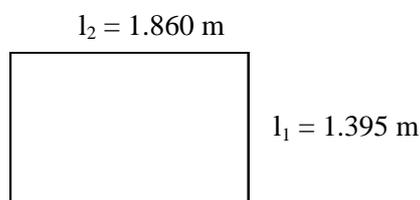
- Área por fotografiar. Se puede calcular sobre un mapa o imagen.
- Longitud del lado de la foto. Se calcula el lado de la foto en el terreno y en el mapa.
- Área cubierta por cada fotografía.
- Altura de vuelo sobre el terreno.
- Base en el aire.
- Separación entre líneas de vuelo.
- Intervalo entre exposiciones (I). Se calcula con la fórmula antes descrita teniendo en cuenta las conversiones para obtener los resultados en fracción de segundos.
- Dirección de las líneas de vuelo (rumbo). Debe procurarse que el rumbo sea paralelo a las curvas de nivel predominantes para tener menor variación en la escala entre fotos de una misma faja.
- Ubicación de las líneas de vuelo. Después de que se escogió el rumbo, se ubicarán las líneas de vuelo necesarias para cubrir la zona en un mapa o fotomosaico.
- Número de líneas de vuelo. Se calcula mediante la fórmula antes descrita.
- Longitud de las líneas de vuelo. Después que las líneas de vuelo se han ubicado sobre un mapa topográfico, fotomosaico o imagen satelital se puede de medir su longitud.
- Número total de fotografías.
- Altura de vuelo relativa (sobre el terreno) y absoluta (sobre el nivel del mar).
- Tiempo de vuelo para tomar fotografías. (Agregar 5 o 6 minutos por cada cambio de línea de vuelo).
- Tiempo de vuelo al aeropuerto más cercano. Se calcula al dividir la distancia del aeropuerto a la zona de trabajo entre la velocidad crucero del avión.
- Tiempo total de vuelo. si este dato es mayor o igual que la autonomía de vuelo de avión habrá que realizar uno o más viajes para reabastecimiento.

Ejemplo:

Propiedad:	UBS Brinson
Lote:	“El Chimango”
Ubicación:	Virasoro, Pcia. de Corrientes
Superficie aprox.:	5.000 Has.
Objetivo del trabajo:	Creación de un fotomosaico referenciado para su posterior uso en un Sistema de Información Geográfica (GIS).
Tamaño de píxel requerido:	50 cm
Cámara:	Mamiya 645pro, formato medio, 6x4.5 cm
Objetivo:	Normal (80 mm), con filtro UV.
Avión:	Cessna 172, autonomía 4 hs, vel. crucero 220 km/h,

En función de estos datos se determina lo siguiente:

Altura de vuelo: 2560 m (8400 pies)



Área cubierta por cada fotografía sin superposición = 276 has.

Escala Neg.: 1 : 31.000

Escala Posit.: ampliación 20x30cm → 1 : 6.200
 ampliación 15x20cm → 1 : 9.300

Tamaño del píxel:	20x30	escaneando a 600 dpi →	0.26 m
		escaneando a 300 dpi →	0.52 m
	15x20	escaneando a 600 dpi →	0.39 m
		escaneando a 300 dpi →	0.78 m

Distancia entre líneas: 1.116 m

Cubrimiento longitudinal y lateral: 40 %

Distancia entre fotos (40% rec. long.): 837 m

Nro. de fotos por Km: 1.2

Intervalo de tiempo entre fotos: 100 millas/h → 12.5 seg.
 110 millas/h → 11.4 seg.

Tiempo max. de exposición admisible: 100 millas/h → 1/29 seg.
 110 millas/h → 1/32 seg.

Nota:

Se utilizó como base una imagen Landsat TM georeferenciada, donde con el uso de un GIS se procedió a cotejar la información calculada (Fig. 14-6). Se ubicaron los puntos de inicio y final de cada línea de vuelo utilizando coordenadas de Gauss-Kruger. Una vez ubicados estos puntos se marcaron las líneas de vuelo y se creó una zona buffer alrededor de las mismas para verificar el recubrimiento total.

Las coordenadas de los puntos de inicio y fin de las líneas de vuelo se cargaron en un GPS Magellan, y se configuró cada línea de vuelo como una “ruta” a fin de navegar con el GPS en el momento de las tomas.

En el mismo SIG se ubicaron, a modo de guía las rutas, caminos y demás accidentes topográficos relevantes, como así también aeródromos y pistas de aterrizaje alternativas.

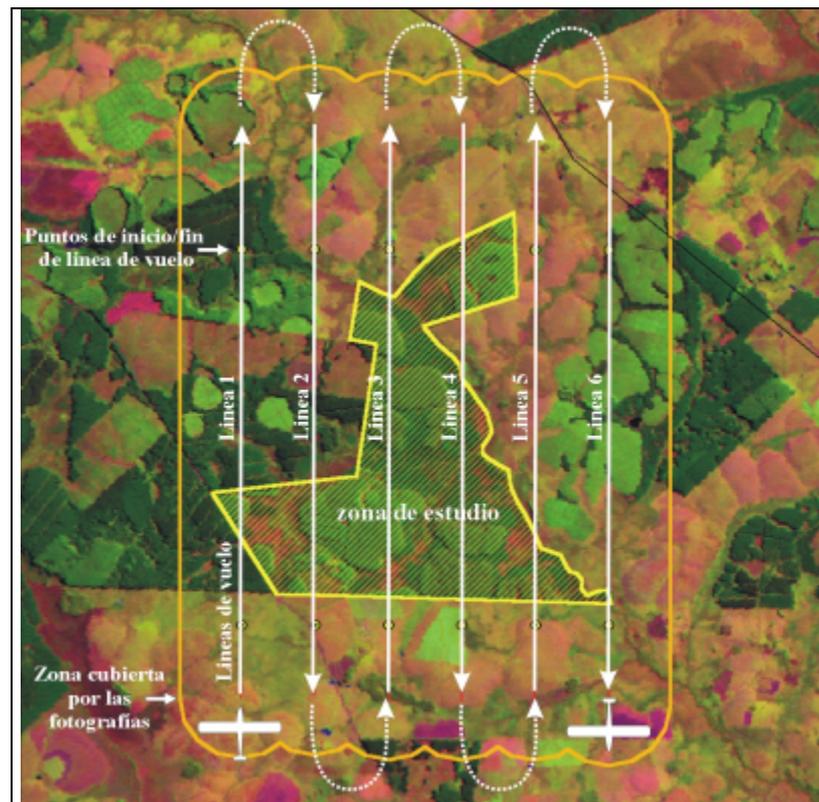


Figura 14-6: Plan de vuelo

Actividades a realizar

Calcular el tamaño del píxel (en el terreno), al digitalizar una fotografía escala 1: 20000 a 300, 600 y 1200 dpi.

Si el objetivo de un trabajo es obtener una resolución espacial de 50 cm. y se cuenta con fotografías 1:50000. ¿A cuánta resolución será necesario digitalizarlas?

¿Que tamaño en megabytes (MB) como mínimo tendrá un fotomosaico en colores de 24 bits (8 por canal), de 1 metro x 1 metro a 1200 dpi?

Considere el campo Las Marias (INTA), realice un plan de vuelo para obtener positivos de 20x30 cm. con escala 1:20000, con superposición de 60 % y 30 %, con cámara Mamiya 645 Pro con objetivo normal de 80 mm.

Si son necesarios otros datos fíjelos usted mismo.