

**FUNDAMENTOS DE FOTOGRAMETRÍA
PARA IMÁGENES DE CONTACTO Y
DIGITALES**

APROXIMACIÓN A PEDAGOGÍAS INTENSIVAS

**OSCAR DE JESÚS ZAPATA OCAMPO
PROFESOR ASOCIADO U.N.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE DE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS**

2003

TABLA DE CONTENIDO

1.	GENERALIDADES	1
1.1.	CRONOLOGÍA	1
1.2.	APLICACIONES DE LA FOTOGRAMETRÍA Y DE LA FOTOINTERPRETACIÓN.	7
1.2.1.	EN INGENIERÍA	7
1.2.1.1.	Cartografía	7
1.2.1.2.	Diseño de Vías y Líneas Ferroviarias	7
1.2.1.3.	Estudios Hidrológicos para Obras de Paso	7
1.2.1.4.	Líneas de Transmisión y Subtransmisión Eléctrica	7
1.2.1.5.	Localización de Materiales de Construcción	8
1.2.1.6.	Selección de Sitios para Obras de Ingeniería: Túneles, Embalses, Represas	8
1.2.1.7.	Estudios de Valorización de Obras de Ingeniería	8
1.2.1.8.	Evaluación de Recursos Hidroeléctricos	8
1.2.1.9.	Estudios de Navegación y Rectificación de Cauces de Ríos	8
1.2.1.10.	Búsqueda de Aguas Subterráneas	8
1.2.1.11.	Definición y Construcción de Acueductos	9
1.2.1.12.	Planeación y Construcción de Redes de Acueducto y Alcantarillado	9
1.2.1.13.	Estudios de Deformaciones Estructurales en Obras de Ingeniería	9
1.2.1.14.	Estudios de Movimientos Tectónicos y Control de Grandes Movimientos de Masa (Derrumbes, Avalanchas)	9
1.2.1.15.	Estudios de Problemas Erosivos Asociados a Obras de Ingeniería o Asentamientos Humanos.	9
1.2.1.16.	Diseño y Construcción de Aeropuertos.	9
1.2.1.17.	Estudios de Planeación Urbana y Rural	9
1.2.1.18.	Proyección y Desarrollo de Obras de Irrigación: Construcción de Canales de Riego.	9
1.2.1.19.	Prospección y Explotación de Canteras como Materiales de Construcción	9
1.2.1.20.	Construcción de Mapas de Riesgo con Relación a Diferentes Fenómenos Naturales.	9
1.2.1.21.	Definición de Zonas Afectas por Movimientos de Masa o Inestabilidad de Laderas que Generan Riesgo a los Habitantes de Dichas Áreas.	10
1.2.1.22.	Elaboración de Diferentes Tipos de Mapas de Impacto Ambiental	10
1.2.2.	EN LOS RECURSOS AGRÍCOLAS	10
1.2.3.	EN LOS RECURSOS FORESTALES	10
1.2.4.	EN LOS RECURSOS MINERALES	10
1.2.5.	EN LOS RECURSOS HIDRÁULICOS	10
1.2.6.	EN APLICACIONES MILITARES	11
1.2.7.	EN EXPLORACIONES EXTRATERRESTRES	11
1.2.8.	EN APLICACIONES NO TOPOGRÁFICAS	11
1.3.	CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA	11
1.3.1.	SEGÚN EL TIPO DE IMAGEN OBTENIDA Y LA POSICIÓN	

	ESPACIAL DE LA CÁMARA	12
1.3.1.1.	Fotogrametría Aérea	12
1.3.1.2.	Fotogrametría Terrestre	12
1.3.1.3.	Fotogrametría Espacial	12
1.3.1.4.	Fotogrametría No Topográfica	12
1.3.2.	SEGÚN EL TIPO DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA	12
1.3.2.1.	Fotogrametría Métrica	12
1.3.2.1.1.	Análoga	12
1.3.2.1.2.	Analítica	12
1.3.2.1.3.	Digital	12
1.3.2.2.	Fotointerpretación	13
1.4.	LA CÁMARA AÉREA	13
1.4.1.	PARTES DE LA CÁMARA	13
1.4.1.1.	El Almacén de la Cámara	13
1.4.1.2.	El Cuerpo de la Cámara	15
1.4.1.3.	El Cono	15
1.4.1.4.	El Objetivo	15
1.4.1.5.	El Diafragma	15
1.4.1.6.	El Obturador	16
1.4.2.	CLASIFICACIÓN DE LAS CÁMARAS	18
1.4.2.1.	Según su estructura	18
1.4.2.1.1.	Cámaras de Faja Continua	18
1.4.2.1.2.	Cámaras de Bastidor	18
1.4.2.1.3.	Cámaras Panorámicas	19
1.4.2.2.	Según el Ángulo de Proyección del Objetivo (Ángulo de Exposición)	19
1.4.2.2.1.	Cámara de Ángulo Pequeño	19
1.4.2.2.2.	Cámara de Ángulo Normal	19
1.4.2.2.3.	Cámara Gran Angular	20
1.4.2.2.4.	Cámara Supergranangular	20
1.4.2.3.	Según la Longitud Focal	20
1.4.2.3.1.	Cámara de Longitud Focal Corta	20
1.4.2.3.2.	Cámara de Longitud Focal Normal	20
1.4.2.3.3.	Cámara de Longitud Focal Larga	21
1.4.2.4.	Según el Uso	21
1.4.2.4.1.	Cámaras Cartográficas (Métricas)	21
1.4.2.4.2.	Cámara de Reconocimiento	21
1.4.2.4.3.	Cámaras Espaciales	21
1.5.	LA FOTOGRAFÍA AÉREA	21
1.5.1.	CLASIFICACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS	22
1.5.1.1.	En función de la Inclinación del Eje de la Cámara	22
1.5.1.1.1.	Vertical	22
1.5.1.1.2.	Inclinada	22
1.5.1.1.3.	Oblicua	22
1.5.1.1.4.	Convergente	22
1.5.1.1.5.	Muy Inclinada	22
1.5.1.1.6.	Terrestre	22

1.5.2.	SEGÚN LA EMULSIÓN DE LA PELÍCULA	26
1.5.2.1.	Fotografía Pancromática	27
1.5.2.2.	Fotografía a Color	27
1.5.2.3.	Fotografía Infrarroja en Blanco y Negro	27
1.5.2.4.	Fotografía en Falso Color	28
1.5.2.5.	Fotografía en Infrarrojo Medio y Lejano (Termografías)	28
1.5.2.6.	Fotografías Tomadas a la Puesta del Sol	28
1.5.2.7.	Fotografía Tomadas al Final de la Noche	28
1.5.3.	IMÁGENES DE RADAR	28
1.5.4.	IMÁGENES DE SATÉLITE	29
1.5.4.1.	Imágenes desde Satélites Tripulados o Conducidas por Cosmonáutas	29
1.5.4.2.	Imágenes desde Satélites no Tripulados	30
1.5.5.	PROPIEDAD DE LA FOTOGRAFÍA	30
1.5.6.	CONSULTA DEL MATERIAL FOTOGRAMÉTRICO	31
1.6.	NITIDEZ DE LA FOTOGRAFÍA	33
1.7.	FUNDAMENTOS GEOMÉTRICOS DE LA FOTOGRAFÍA	33
1.8.	LECTURA COMPLEMENTARIA	34
1.9.	EJERCICIOS Y PROBLEMAS	44
2.	DEFINICIÓN DE ELEMENTOS GEOMÉTRICOS Y DE LA ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA	49
2.1.	DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LA FOTOGRAFÍA	49
2.1.1.	PUNTOS HOMÓLOGOS (P, p)	49
2.1.2.	CENTRO ÓPTICO (L)	49
2.1.3.	RECTA PROYECTANTE O LÍNEA PROYECTA (Pp)	49
2.1.4.	EJE ÓPTICO	49
2.1.5.	LÍNEA NADIRAL	49
2.1.6.	NADIR DE LA FOTO (n)	49
2.1.7.	NADIR TERRESTRE O NADIR EN EL PLANO DEL OBJETO	49
2.1.8.	PLANO PROYECTANTE	49
2.1.9.	LÍNEAS HOMÓLOGAS	49
2.1.10.	PLANO PRINCIPAL (nioLNIO)	50
2.1.11.	LÍNEA PRINCIPAL (nio o NIO)	50
2.1.12.	ISOCENTRO	51
2.1.13.	ESTACIÓN DE EXPOSICIÓN (L ₁ , L ₂)	52
2.1.14.	EXPOSICIÓN	52
2.1.15.	DISTANCIA FOCAL (f)	52
2.1.16.	ALTURA ABSOLUTA DE VUELO (H)	53
2.1.17.	ALTURA DE VUELO RELATIVA AL TERRENO (Z)	53
2.1.18.	COTA (b)	53
2.1.19.	BASE AÉREA (B)	53
2.1.20.	LÍNEA DE VUELO (o ₁ , o ₂ , o ₁ ' , o ₂ ')	54
2.1.21.	ISOLÍNEA	55
2.1.22.	MARCAS FIDUCIALES O DE COLIMACIÓN	55

2.1.23.	EJES	56
2.1.24.	FORMATO	56
2.1.25.	CAMPO ANGULAR	56
2.1.26.	AMPLIACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA FOTOGRAFÍA	56
2.1.27.	TRASLAPO LONGITUDINAL	57
2.2.	ESCALA DE LA FOTO VERTICAL (E)	58
2.2.1.	ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA VERTICAL DE UN TERRENO CON RELIEVE	60
2.2.2.	ESCALA PROMEDIA	61
2.2.3.	MÓDULO ESCALAR (M)	62
2.2.4.	ELEMENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLANO A DETERMINADA ESCALA	62
2.3.	LECTURA COMPLEMENTARIA	62
2.4.	EJERCICIOS Y PROBLEMAS	68
3.	CORRECCIÓN POR RELIEVE O RESTITUCIÓN DE LA FOTOGRAFÍA VERTICAL	77
3.1.	COMPARACIÓN ENTRE MAPA Y FOTOGRAFÍA VERTICAL	77
3.2.	DIRECCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE	79
3.3.	MAGNITUD DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE	80
3.4.	COORDENADAS DEL PUNTO RESTITUÍDO	83
3.5.	LECTURA COMPLEMENTARIA	85
3.6.	EJERCICIOS Y PROBLEMAS	97
4.	ALTIMETRÍA	102
4.1.	LA ESTEREOSCOPIA	102
4.1.1.	LA DOBLE IMAGEN	103
4.1.2.	LA CONVERGENCIA RELATIVA DE LOS EJES ÓPTICOS DE LOS OJOS CUANDO SE OBSERVAN OBJETOS A DISTANCIAS VARIABLES	103
4.2.	DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE PUNTOS	105
4.3.	VISIÓN ESTEREOSCÓPICA	106
4.3.1.	FACTORES QUE AFECTAN LA VISIÓN ESTEREOSCÓPICA	107
4.3.1.1.	La variación de la altura de vuelo entre fotografía consecutivas	107
4.3.1.2.	La falta de alineamiento durante el vuelo	107
4.3.1.3.	La desalineación del estereoscopio en relación a línea de vuelo	108
4.3.1.4.	Paralaje excesiva entre imágenes consecutivas	108
4.3.2.	VISIÓN SEUDOSCÓPICA	108
4.3.3.	EXAGERACIÓN ESTEREOSCÓPICA DEL RELIEVE	109
4.3.3.1.	Factores que intervienen en el fenómeno de la exageración estereoscópica	109
4.4.	EL ESTEREOSCOPIO	110
4.4.1.	CLASES DE ESTEREOSCÓPIOS	110
4.4.1.1.	Estereoscopio de Lentes o de Bolsillo	110
4.4.1.2.	Estereoscopio de Espejos	111

4.4.1.3.	Estereoscopio de Puentes	113
4.4.1.4.	Estereoscopio de Lentes Zoom	113
4.5.	LA PARALAJE ESTEREOSCÓPICA	113
4.6.	TEOREMA FUNDAMENTAL DE LA ALTIMETRÍA	116
4.6.1.	OTRA FORMA DEL TEOREMA FUNDAMENTAL DE LA ALTIMETRÍA	119
4.6.2.	OTRA FORMA DE DEFINIR LA PARALAJE	121
4.6.3.	MEDICIÓN DE LA BASE DE VISIÓN ESTEREOSCÓPICA	121
4.6.4.	USO DE LA BARRA DE PARALAJE	122
4.6.5.	ORIENTACIÓN DEL PAR ESTEREOSCÓPICO DE FOTOGRAFÍAS	124
4.6.6.	OBSERVACIÓN DE PUNTOS Y MEDICIONES CON LA BARRA DE PARALAJE	126
4.6.7.	LAS MARCAS FLOTANTES	126
4.6.8.	FORMAS DE DETERMINAR LA PARALAJE	128
4.6.8.1.	Con la escala milimétrica	128
4.6.8.2.	Con la barra de paralaje	129
4.6.9.	CÁLCULO DE COTAS	129
4.6.9.1.	Conociendo la Base Aérea	129
4.6.9.2.	A partir de una Cota conocida (h_r)	129
4.7.	OTRA FORMA DE EXPRESAR LA ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA VERTICAL	130
4.7.1.	PARALAJE CORRESPONDIENTE A LA ESCALA DE UN MAPA ELABORADO POR TRIANGULACIÓN RADIAL	131
4.8.	EJERCICIOS Y PROBLEMAS	131
5.	FOTOGRAMETRÍA DIGITAL	139
5.1.	DEFINICIÓN	139
5.2.	RELACIONES DE LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL	139
5.2.1.	FOTOGRAMETRÍA ANALÍTICA	139
5.2.2.	FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE	139
5.2.3.	TELEDETECCIÓN	139
5.2.4.	MANEJO DE IMÁGENES DIGITALES	139
5.2.5.	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	140
5.3.	VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL	140
5.4.	SISTEMAS Y ESTACIONES FOTOGRAMÉTRICAS DIGITALES (SFD Y EFD)	141
5.4.1.	DEFINICIONES	141
5.4.1.1.	Sistemas Fotogramétrico Digital (SFD) (Digital Photogrametric Systems (DPS))	141
5.4.1.2.	Estación Fotogramétrica Digital (EFD) (Digital Photogrametric Workstation (DPWS))	141
5.4.1.2.1.	Elementos que componen una Estación Fotogramétrica Digital	141
5.4.1.3.	Visión Estereoscópica en la Fotografía Digital	142
5.4.1.3.1.	División de Pantalla	142

5.4.1.3.2.	Polarización con Gafas Activas	143
5.4.1.3.3.	Polarización con Gafas Pasivas	143
5.4.2.	FUNCIONES DE UN SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL (SFD)	144
5.4.2.1.	Entrada de Datos	144
5.4.2.2.	Almacenamiento de Datos	144
5.4.2.3.	Sistema de Visualización	144
5.4.2.4.	Tratamiento de Imágenes de Gran Tamaño	144
5.4.2.5.	Aplicación de Sistemas de Medición	144
5.4.2.6.	Identificación de Puntos Homólogos	144
5.4.2.7.	Orientación	144
5.4.2.8.	Restitución o Generación	144
5.4.2.9.	Generación de Curvas de Nivel Automáticamente	144
5.4.2.10.	Generación de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE)	144
5.4.2.11.	Generación de Ortofotografías	144
5.4.2.12.	Generación de Mosaicos de Ortofotografías y de Ortomapas	144
5.4.2.13.	Visualización	144
5.4.2.14.	Control de Calidad, Comprobaciones y Chequeos	145
5.4.2.15.	Comunicación con Sistemas de Información	145
5.4.2.16.	Vuelos Simulados	145
5.4.2.17.	Procesamiento de Imágenes a partir de diversos tipos de Sensores Remotos	145
5.4.2.18.	Producción y Edición	145
5.4.3.	SECUENCIA DE TRABAJO EN LOS SISTEMAS FOTOGRAMÉTRICOS DIGITALES	145
5.5.	CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES FOTOGRAMÉTRICAS DIGITALES	146
5.5.1.	ESTACIÓN ESTÉREO	146
5.5.1.1.	Sistemas de Alto Rendimiento	146
5.5.1.2.	Sistemas de Bajo Rendimiento	146
5.5.2.	ESTACIÓN MONO	146
5.5.3.	ESTACIÓN DE AEROTRIANGULACIÓN	146
5.5.4.	ESTACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO (MDT)	146
5.5.5.	PRECISIÓN DE LAS ESTACIONES FOTOGRAMÉTRICAS DIGITALES (EFD)	146
5.6.	TIPOS DE RESTITUIDORES FOTOGREMÁTRICOS DIGITALES	147
5.7.	FUENTES DE ADQUISIÓN DE IMÁGENES DIGITALES	147
5.7.1.	CONCEPTOS BÁSICOS	148
5.7.1.1.	Cámaras métricas analógicas	148
5.7.1.2.	Tipos de Resoluciones	149
5.7.1.2.1.	Resolución Espectral	149
5.7.1.2.2.	Resolución Radiométrica	149
5.7.1.2.3.	Resolución Espacial	149
5.7.1.2.4.	Resolución Temporal	149
5.7.1.3.	Los Sensores	150

5.7.1.3.1.	Sensores Tipo Solid State	150
5.7.1.3.2.	Sensores Electroópticos	150
5.7.1.3.3.	Criterios de Clasificación	150
5.7.1.3.3.1.	Número de Bandas	150
5.7.1.3.3.1.1.	Sensores Monespectrales	151
5.7.1.3.3.1.2.	Sensores Multiespectrales	151
5.7.1.3.3.2.	Formato de Salida de la Imagen	151
5.7.1.3.3.2.1.	Sensores Analógicos	151
5.7.1.3.3.2.2.	Sensores Digitales	151
5.7.1.3.3.3.	Fuentes de Emisión energética	151
5.7.1.3.3.3.1.	Sensores Pasivos	151
5.7.1.3.3.3.2.	Sensores Activos	151
5.7.1.3.3.4.	Según la dimensión del Área Sensible (Formato de la Imagen)	151
5.7.1.3.3.4.1.	Sensores Matriciales	151
5.7.1.3.3.4.2.	Sensores Lineales	151
5.7.1.3.4.	Elementos Geométricos y Propiedades de los Sensores	
	Electro-Ópticos	151
5.7.1.3.4.1.	Geometría de la superficie y lectura del sensor	152
5.7.1.3.4.2.	Respuesta Espectral	152
5.7.1.3.4.3.	Ruido	152
5.7.1.3.4.3.1.	Ruido Fotónico	152
5.7.1.3.4.3.2.	Ruido del Circuito	152
5.7.1.3.4.3.3.	Relación Señal / Ruido	152
5.7.1.3.4.3.4.	Rango Dinámico	152
5.7.1.3.4.3.5.	Uniformidad de Respuesta Radiométrica	152
5.7.1.3.4.3.6.	Señales Falsas	153
5.7.1.3.4.3.6.1.	Blemishes	153
5.7.1.3.4.3.6.2.	Blooming	153
5.7.1.3.4.3.6.3.	Oscuridad Actual	153
5.7.1.3.4.4.	Linealidad	153
5.7.1.4.	Sistemas Espaciales de Captación de Imágenes	
	Estereoscópicas	153
5.7.1.4.1.	ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emisión and Reflection Radiometer)	153
5.7.1.4.2.	ERS (Uropean Remote Sensing Satellite)	153
5.7.1.4.3.	IRS (Indian Remote Sensing)	154
5.7.4.4.	LANDSAT	154
5.7.1.4.5.	NOAA (Nacional Oceanic and Atmospheric Administration Satellite)	154
5.7.1.4.6.	MOS	154
5.7.1.4.7.	SPOT (Système Provatoire d' Observation de la Terre)	155
5.7.1.4.8.	CBERS (China Brasil Earth Resouces Satellite)	155
5.7.1.4.9.	MOMS	155
5.7.1.4.10.	IKONOS	156
5.7.1.5.	Dispositivo de Carga Charge Couple Divice (CCD) o Cámara CCD	156
5.7.1.5.1.	Elementos de una Cámara CCD	156

5.7.1.5.1.1.	La Iluminación	156
5.7.1.5.1.2.	La Estabilidad Temporal	157
5.7.1.5.1.3.	La Características Espectrales de Iluminación	157
5.7.1.5.1.4.	La Distribución de la Intensidad de Luz	157
5.7.1.5.1.5.	Los Objetos	157
5.7.1.5.1.6.	Sistema Óptico	157
5.7.1.5.1.7.	El Sensor	157
5.7.1.5.2.	Ventajas de las Cámaras CCD	157
5.7.1.6.	Los Escáneres	158
5.7.1.6.1.	Clases de Escáner según el tipo de Fotodetector	158
5.7.1.6.1.1.	Charge Couple Detector (CCD)	158
5.7.1.6.1.2.	Fotomultiplicador	158
5.7.1.6.2.	Elementos Componentes	158
5.7.1.6.2.1.	El Sensor	158
5.7.1.6.2.2.	La Transmitancia	158
5.7.1.6.2.3.	La Densidad de la Película	158
5.7.1.6.2.3.	Componentes Electrónicos	158
5.7.1.6.3.	Características Técnicas	158
5.7.1.6.3.1.	Velocidad	159
5.7.1.6.3.2.	Ruido de la Imagen	159
5.7.1.6.3.3.	Formato de Almacenamiento y Compresión de Datos	159
5.7.1.6.3.4.	Color	159
5.7.1.6.3.5.	Iluminación	159
5.7.1.6.3.6.	Rango Dinámico	159
5.7.1.6.3.7.	Resolución Geométrica	159
5.7.1.6.3.8.	Resolución Radiométrica	159
5.7.1.6.4.	Tipos de Escáner	159
5.7.1.6.4.1.	Sensores de Banda	159
5.7.1.6.4.2.	Sensores de Matriz Cuadrada	159
5.7.1.6.4.3.	Sensores Simples	159
5.7.1.6.5.	Calibración del Escáner	159
5.7.1.6.5.1.	Calibración Radiométrica	160
5.7.1.6.5.2.	Calibración Geométrica	160
5.7.1.6.6.	Modelos de Escáneres	160
5.8.	NOCIONES ACERCA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	161
5.8.1.	BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS	162
5.8.2.	MODELOS DE DATOS Y TIPOS DE SIG	162
5.8.2.1.	SIG Vectoriales	162
5.8.2.2.	SIG Raster	164
5.8.2.3.	SIG Orientados a Objetos	165
5.9	LECTURAS COMPLEMENTARIAS	166
5.10.	EJERCICIOS Y PROBLEMAS	206
6.	PLANEACIÓN DE UN PROYECTO DE VUELO AEROFOTOGRAMÉTRICO	213

6.1.	FASES	213
6.1.1.	DEFINICIÓN	213
6.1.2.	PLANEACIÓN	213
6.1.3.	VALORACIÓN	213
6.2.	ELEMENTOS	213
6.2.1.	ÁREA DEL TERRENO	213
6.2.2.	ALTURA ABSOLUTA DE VUELO (H)	213
6.2.3.	ALTURA DE VUELO RELATIVA AL TERRENO (Z)	213
6.2.4.	BASE AÉREA (B)	213
6.2.5.	INTERVALO ENTRE EXPOSICIONES (t)	213
6.2.6.	SEPARACIÓN ENTRE LAS LÍNEAS DE VUELO (A)	213
6.2.7.	NÚMERO DE LÍNEAS DE VUELO (n')	213
6.2.8.	RELACIÓN B / Z	213
6.2.9.	CORRIMIENTO DE LA IMAGEN (e)	213
6.2.10.	TIEMPO NETO DE VUELO (T')	213
6.2.11.	NÚMERO DE FOTOS POR LÍNEA (n)	213
6.2.12.	NÚMERO NETO DE FOTOS DEL PROYECTO DE VUELO (N)	214
6.3.	FACTORES QUE AFECTAN EL PROYECTO DE VUELO	214
6.3.1.	LA FOTOGRAFÍA	214
6.3.2.	LA ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA	215
6.3.3.	VARIACIÓN ESCALAR PERMISIBLE	215
6.3.4.	DESPLAZAMIENTO DEBIDO AL RELIEVE	216
6.3.5.	DERIVA HORIZONTAL (DRIFT) Y DERIVA ANGULAR (CRAB)	216
6.3.6.	INCLINACIÓN DE LA FOTOGRAFÍA (TILT)	217
6.3.7.	ALTURA DE VUELO RELATIVA AL TERRENO	217
6.3.8.	DIRECCIÓN DE LA LÍNEA DE VUELO	218
6.3.9.	LA RELACIÓN B / Z	218
6.3.10.	EL TIEMPO	218
6.3.11.	LA HORA DE VUELO	219
6.3.12.	EL AVION	219
6.4.	CONROL FOTOGRÁFICO	219
6.4.1.	FOTOIDENTIFICACIÓN	219
6.4.2.	DETERMINACIÓN DE COORDENADAS TERRESTRES	221
6.4.3.	CONTROL TERRESTRE EN FUNCIÓN DE LA ESCALA DEL MAPA	221
6.4.4.	TRIANGULACIÓN AÉREA	222
6.4.4.1.	Aerotriangulación Analógica	222
6.4.4.2.	Aerotriangulación Analítica	222
6.4.4.2.1.	Aerotriangulación por Polígonos	223
6.4.4.2.2.	Aerotriangulación por Modelos Independientes	223
6.4.4.3.	Procedimiento Operativo de la Aerotriangulación	223
6.4.4.3.1.	Planeación	
6.4.4.3.2.	Adquisición de la Información	223
6.4.4.3.3.	Procesamiento de la Información	224
6.5.	EJEMPLO DE CÁLCULO DE UN PROYECTO DE VUELO	224
6.5.1.	ÁREA DE TERRENO A CUBRIR CON EL VUELO	

	PROYECTADO	224
6.5.2.	ALTURA DE VUELO RELATIVA AL TERRENO (Z)	224
6.5.3.	ALTURA ABSOLUTA DE VUELO (H)	224
6.5.4.	BASE AÉREA (B)	225
6.5.5.	RELACIÓN B / Z	226
6.5.6.	CORRIMIENTO DE LA IMAGEN (e)	226
6.5.7.	SEPARACIÓN	226
6.5.8.	NÚMERO DE LÍNEAS DE VUELO EN BARRIDO A LO LARGO DE LA MAYOR DIMENSIÓN DEL TERRENO (n')	226
6.5.9.	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE EXPOSICIONES (t)	226
6.5.10.	TIEMPO NETO DE VUELO (t')	226
6.5.11.	NUMERO NETO DE FOTOGRAFÍAS POR LÍNEA (n)	227
6.5.12.	NUMERO TOTAL DE FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO DE VUELO (N)	227
6.6.	LECTURA COMPLEMENTARIA	
	227	
6.7.	EJERCICIOS Y PROBLEMAS	236
7.	SOLUCIÓN EJERCICIOS Y PROBLEMAS	249
7.1.	SOLUCIONARIO CAPÍTULO 1.	249
7.2.	SOLUCIONARIO CAPÍTULO 2.	254
7.3.	SOLUCIONARIO CAPÍTULO 3.	266
7.4.	SOLUCIONARIO CAPÍTULO 4.	272
7.5.	SOLUCIONARIO CAPÍTULO 5.	283
7.6.	SOLUCIONARIO CAPÍTULO 6	291
	BIBLIOGRAFÍA	305

TABLA DE FIGURAS

CAPITULO 1.

FIG.		PÁG
1.1.	CÁMARA AÉREA DEFINIDA POR TRES ELEMENTOS GEOMÉTRICOS	14
1.2.	ESQUEMA DE LA CÁMARA FOTOGRÁFICA	15
1.3.	ELEMENTOS DE LA CÁMARA AÉREA (DE BASTIDOR) CORTE ESQUEMÁTICO (CÁMARA RMY 30/23 ZEISS JENA)	16
1.4.	DIAFRAGMA	17
1.5.	OBTURADOR DE HOJAS	17
1.6.	OBTURADOR DE DISCOS ZEISS	18
1.7.	CAMPO ANGULAR (ÁNGULO DE PROYECCIÓN DEL OBJETIVO)	19
1.8.	CLASIFICACIÓN DE LAS CÁMARAS SEGÚN EL ÁNGULO DE DE PROYECCIÓN DEL OBJETIVO (ÁNGULO DE EXPOSICIÓN)	20
1.9.	FOTO VERTICAL	23
1.10.	FOTO INCLINADA	24
1.11.	FOTO OBLICUA	25
1.12.	PLANCHA ESCALA 1:50.000 I.G.A.C.	32
1.13.	FUNDAMENTOS GEOMÉTRICOS DE LA FOTOGRAFÍA	34

CAPITULO 2.

FIG.		PÁG
2.1.	FOTO INCLINADA TERRENO SIN RELIEVE	50
2.2.	FOTO INCLINADA TERRENO SIN RELIEVE	51
2.3.	PLANO DEL NEGATIVO Y PLANO DE LA FOTO	52
2.4.	BASE AÉREA	53
2.5.	IMAGEN DE LA BASE AÉREA Y TRASLAPO LONGITUDINAL	54
2.6.	IMAGEN DE LA BSE AÉREA EN FOTOS CONSECUTIVAS	55
2.7.	PLANO DE LA FOTO	56
2.8.	TRASLAPO LONGITUDINAL	57
2.9.	ESCALA DE LA FOTO VERTICAL	58
2.10.	ESCALA DE LA FOTO VERTICAL TERRENO SIN RELIEVE	60
2.11.	ESCALA DE FOTOGRAFÍA VERTICAL TERRENO CON RELIEVE	61

CAPITULO 3.

FIG.		PÁG
3.1.	DIRECCIÓN Y SENTIDO DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE EN UNA FOTOGRAFÍA VERTICAL	78
3.2.	DIRECCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE EN FOTOGRAFÍA INCLINADA	79
3.3.	MAGNITUD DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE EN FOTO VERTICAL	81
3.4.	MAGNITUD DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE EN FOTO VERTICAL (CORTE VERTICAL)	82
3.5.	COORDENADAS FOTOGRÁFICAS DE UN PUNTO ANTES Y DESPUÉS DE LA RESTITUCIÓN	83

CAPITULO 4.

FIG.		PÁG
4.1.	ÁNGULO PARALÍTICO	103
4.2.	APRECIACIÓN DE LAS ALTURAS RELATIVAS DE LOS OBJETOS FOTOGRAFIADOS POR UNA CÁMARA AÉREA	104
4.3.	DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE PUNTOS	105
4.4.	VISIÓN ESTEROSCÓPICA	106
4.5.	VISIÓN SEUDOSCÓPICA. DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE DE "a" CON RELACIÓN A "b"	108
4.6.	RELACIONES ENRE b, Z, f Y b, s, m .	109
4.7.	ESTEREOSCOPIO DE LENTES O DE BOLSILLO	111
4.8.	ESQUEMA ESTEREOSCOPIO DE ESPEJOS	112
4.9.	ESTEREOSCOPIO DE ESPEJOS MODELO N2 ZEISS	112
4.10.	LA PARALAJE EN X EN FOTOGRAFÍAS VERTICALES PARA UN PUNTO A.	114
4.11.	LA PARALAJE EN X EN FOTOGRAFÍAS VERTICALES A IGUAL ALGURA PARA UN PUNTO A. CORTE VERTICAL.	114
4.12.	LA PARALAJE EN Y EN FOTOGRAFÍAS VERTICALES PARA UN PUNTO A	115
4.13.	LA PARALAJE ESTEREOSCÓPICA DE UN PUNTO DEL TERRENO	117
4.14.	BASE DE VISIÓN ESTEREOSCÓPICA	121
4.15.	BARRA DE PARALAJE	123
4.16.	ORIENTACIÓN DEL PAR ESTEREOSCÓPICO DE FOTOGRAFÍAS	125
4.17.	MOVIMIENTO VERTICAL DE LA MARCA FLOTANTE	128

CAPITULO 5.

FIG.		PÁG
5.1.	ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL (EFD)	142
5.2.	VISIÓN ESTEREOSCÓPICA DIGITAL. DIVISIÓN DE PANTALLA	143
5.3.	ESQUEMA DE FLUJO DE TRABAJO EN LOS SISTEMAS FOTOGRAMÉTRICOS DIGITALES (SFD)	145
5.4.	ESCÁNER ULTRA SCAN 5000 DE VEXCEL IMAGING GMBH (AUSTRIA)	161
5.5.	FORMACIÓN DE LÍNEAS EN LA TOPOLOGÍA ARCONODO	163
5.6.	FORMACIÓN DE POLÍGONOS EN LA TOPOLOGÍA ARCONODO	164
5.7.	ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN EL MODELO DE DATOS RASTER	165
5.8.	MODELO SIG DE DATOS ORIENTADO A OBJETOS	166

CAPITULO 6.

FIG.		PÁG
6.1.	RECUBRIMIENTO LONGITUDINAL	215
6.2.	VARIACIÓN DE LA ESCALA EN FUNCIÓN DE LA VARIACIÓN DE COTAS	216
6.3.	DERIVA HORIZONTAL (DRIFT) Y DERIVA ANGULAR (CRAB)	218
6.4.	BANDA DE CONTROL FOTOGRÁFICO	222
6.5.	ELEMENTOS DE UN PROYECTO DE VUELO AEROFOTOGRAMÉTRICO	225

1. GENERALIDADES

1.1. CRONOLOGÍA.

384 a.c. – 322 a.c. Aristóteles, plantea la posibilidad de conservar la forma del sol y de la luna, al ser observados a través de un orificio sin una forma determinada.

Siglo III a.c. Euclides, enuncia que dada la posición diferente de cada uno de los ojos estos obtienen imágenes distintas del mismo objeto.

965 – 1038 Alhazan, presenta una descripción de la cámara oscura, la cual es utilizada para la observación de los eclipses de sol.

1452 – 1519 Leonardo Da Vinci, hace descripción y definición de la cámara oscura la cual solo se conoce hacia finales del siglo XVIII. Retoma el principio planteado por Euclides en el siglo III a.c., acerca de las diferentes imágenes obtenidas del mismo objeto por cada uno de los ojos.

1501 – 1576 Giralamo Cardan, menciona la posibilidad de colocar una lente en el orificio de la conocida cámara negra. No obstante se conserva la imagen invertida proyectada.

1553 León Battista Alberti, en su libro “Magias Naturales” hace su particular descripción de la cámara oscura.

1727 Federico Schulse, confirma la alteración de las sales de plata por acción de la luz.

1771 - 1834 Alois Senefelder, inventa la litografía permitiendo la reproducción de imágenes trazadas con tinta sobre una superficie de piedra calcárea.

1822 Joseph Niepce, obtiene las primeras imágenes permanentes en placas sensibles, sobre un papel impregnado en cloruro de plata y ácido nítrico donde los tintes están invertidos. Se descubre de esta manera un negativo. El otro inconveniente es que no se logra fijar la imagen en el papel.

1833 William H. Fox Talbot, realizan unos croquis con la ayuda de la cámara oscura. Un año después preparando papales impregnados en una solución de sal corriente y luego de secarlos los impregna con una solución de nitrato de plata y obtiene así imágenes por contacto que lava con agua salada y yoduro de potasio.

1838 Charles Wheastone, construye un instrumento de visión que se denomina estereoscopio el cual permite ver, por cada ojo, una imagen distinta en dos dimensiones y genera en el cerebro una tercera imagen tridimensional.

1839 Francois Dominique Arago, el siete de enero, se hace público el descubrimiento de la invención de la fotografía que se le atribuye a Louis Daguerre, quien modifica el contrato de asociación firmado con Joseph N Niepce en 1829, en el que se vinculaban los adelantos sobre imágenes en superficies sensibles. Es Daguerre quien logra fijar las imágenes con sal de mar y mercurio. El invento lo bautiza con el nombre de “daguerrotipo”. William Talbot, queriendo dejar clara la antigüedad de sus avances en ese sentido envía copia de los resultados obtenidos al Royal Institute. A 30 de enero de 1839 dicta una conferencia que titula “Algunas notas sobre el arte del dibujo fotogénico o el procedimiento por el cual los objetos naturales pueden dibujarse así mismos, sin la ayuda del lápiz del artista.”. Talbot asegura haber descubierto el negativo y los positivos de imágenes en superficies sensibles o la fotografía como actualmente se concibe.

1840 William Talbot, descubre la imagen latente, consistente en un procedimiento que reduce la toma de una foto de una hora a unos cuantos minutos, lo que denomina “calotype”.

1840, se obtiene un daguerrotipo (fotografía) con imagen de la Luna.

1845, se obtiene un daguerrotipo (fotografía) del Sol.

1851 Aimé Laussedat, inicia las investigaciones para probar la utilidad de la fotografía con fines topográficos. Es considerado el PADRE DE LA FOTOGRAMETRÍA, la cual definió como “Metrofotografía”. Crea el primer aparato apropiado para ejecutar levantamientos fotogramétricos y el primer método de restitución por intersección.

1857, se obtienen imágenes de Júpiter, Saturno y el Sol.

1858 Félix Tournachon “Nadar”, obtiene la primera foto desde un globo cautivo de una parte de la ciudad de Paris entre el Arco de la Estrella y las Tullerías.

1861 Aimé Laussedat, ejecuta las primeras pruebas fotogramétricas para levantar un plano topográfico y el calculo de distintas medidas de un monumento.

1861 La Academia de Ciencias de Madrid , convoca al concurso “Aplicaciones de la fotografía al levantamiento de planos”, el cual es ganado por Aimé Laussedat, quien presento el levantamiento de la Villa de Buc (Versalles).

1863 Antonio Terrero, presenta sus primeros estudios sobre la fotogrametría.

1867 Aimé Laussedat, presenta el primer fototeodolito (combinación de teodolito y cámara fotográfica) y enseña el primer plano de Paris levantado por medio de fotografías terrestres. La posición de los detalles sobre los planos se obtuvo por intersección de las direcciones leídas con fotografías tomadas desde diferentes sitios. Para aplicar este método es necesario poder identificar determinados detalles comunes a dos fotografías consecutivas lo que se hacía a veces difícil, lo cual se superó con la aparición del estereoscopismo (toma de fotos con una zona común a un par fotográfico observable con un estereoscopio).

1873 Enrique Deville, realiza un levantamiento fotogramétrico de una región de Canadá.

1886 Antonio Terrero, Ejecuta el primer levantamiento en una región española: Torres de Quevedo en el barranco de Vista Hermosa (Madrid) a escala 1: 1000, con un fotogramétero de su invención.

1888 George Eatsman, saca al mercado la primera cámara Kodak de rollo portátil.

1891 Lippman, descubre la fotografía a color.

1892 Federico Stolze, determina el principio de “la marca flotante”.

1893 Meydenbauer, introduce la utilización de la palabra “fotogrametría”, al llamar la atención hacia el empleo de nuevos métodos de levantamientos terrestres por medio de fotografías.

1895 Enrique Deville, publica uno de los libros clásicos de la fotogrametría: “Photographic Surveyng.”.

1898 Teodoro Scheimpflug, realiza la invención del doble proyector, obtiene fotomapas a partir de fotografías aéreas, establece la teoría de la transformación y de la triangulación radial.

1899 Iriarte y Navarro, publican la primera obra teórica escrita en español titulada: “Topografía Fotográfica”.

1900 Teodoro Scheimpflug, resuelve inconvenientes de la fotografía aérea, empleando una cámara de ocho lentes sostenida en la canasta de un globo. Con siete fotos oblicuas y una vertical formaba una sola foto de gran campo angular. La determinación de la posición del globo en el momento de la toma de la foto es superada a la par del invento de los globos dirigibles y su utilización en la toma de fotografías con fines fotogramétricos.

1901 Carlos Pulfrich, inicia la estereoscopía métrica con su invento del estereocomparador, que marca el arranque de una nueva era para la fotogrametría.

1903 los hermanos Wringht, inventan el aeroplano.

1907 José María Torroja, elabora la primera tesis doctoral sobre fotogrametría titulada “Fotografía teórica y práctica.”.

1909 Von Orel, inventa el “estereoautógrafo”, prototipo que da inicio a una serie de instrumentos que permitieron la mecanización en la cartografía a partir de fotografías.

1909 los hermanos Wringht, obtienen la primera foto aérea tomada desde un aeroplano, cuando se sobrevolaba sobre la región de Conocelli, Italia.

1913 Tardivo, publica datos sobre el empleo cartográfico de fotografías tomadas desde un avión y presenta además un fotomosaico de la ciudad de Bangasi en Libia.

1915 Oscar Messter, desarrolla la cámara para la toma de las fotos en serie.

1916 José María Torroja, funda la Sociedad Estereográfica Española, que se convierte en la primera entidad privada de fotogrametría. Realiza trabajos como el levantamiento escala 1: 1000 de las minas de Cardona y del puente de Toledo siendo este último levantamiento la primera aplicación de la fotogrametría a la arquitectura en España.

1930, La fotogrametría es aplicada al levantamiento de grandes áreas. Es medida una extensión de 40.000 millas cuadradas en el Valle del Tennessee.

1930, por iniciativa de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede de Bogotá se traen al país los primeros instrumentos para fotogrametría aérea y hacen visita los primeros expertos en el tema.

1935, se realiza la primera importación de aparatos fotogramétricos para el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

1938, se ejecuta la elaboración del plano de la ciudad de Bogotá, con motivo del cuarto centenario de su fundación. Se inicia en firme la realización del mapa de Colombia escala 1: 100.000 con ayuda de fotografías aéreas.

1940, el gran desarrollo de la fotogrametría se da en su utilización con fines bélicos. La ofensiva alemana sobre territorio francés, fue preparada luego de un análisis intenso de reconocimiento aéreo de todas las instalaciones militares, principales edificios gubernamentales, aeropuertos, infraestructura básica, redes de transporte terrestre.

1940, a partir de este año, se desarrolla la fotointerpretación con todas sus aplicaciones.

1944, en réplica la invasión aliada de Normandía fue cuidadosamente planeada utilizando fotointérpretes que cubrieron todas las necesidades de identificación logística alemana como: instalaciones militares, instalaciones mimetizadas o de señuelo, líneas férreas que desembocaban en túneles cerrados, equipos aerotransportados y terrestres camuflados.

1950, se cambia el nombre del Instituto Geográfico Militar de Colombia por el de Instituto Geográfico de Colombia “Agustín Codazzi.” Encargado de la cartografía oficial de la nación.

1955 Rosenberg, plantea “La teoría de la información es una guía y ayuda en el estudio, evaluación y desarrollo de los métodos e instrumentos fotogramétricos, topográficos y cartográficos para la automatización electrónica de la elaboración de mapas”.

1958 Helava , describe la ventaja de los restituidores analíticos respecto de los restituidores analógicos.

1960 el Ministerio de Obras Públicas de Colombia, abre la Sección de fotogrametría equipada con aparatos de restitución y un avión con su

respectiva cámara aérea, con el fin de facilitar el trazado y planeación de carreteras, ferrocarriles, canales puentes y otras obras prospectadas desde el ministerio.

1965 Sharp, hace la descripción del Sistema de Compilación Digital Automatizada de mapas (Digital Automatic Map Compilation) “DAMC”, el cual se utiliza en el trazado de mapas topográficos y la producción de ortofotos desde imágenes digitalizadas.

1969, en el proyecto de la llegada del hombre a la Luna, juega papel importantísimo el estudio y la fotointerpretación de la zona escogida para el alunizaje así como el conocimiento previo del tipo de litología que allí existía, verificado luego con las muestras de rocas obtenidas.

1975, el conocimiento de los planetas vecinos y de partes de mas allá del universo, se realiza por medio de la información suministrada por diferentes tipos de sensores remotos que envían imágenes que luego cumplen procesos de fotointerpretación y que han marcado un gran avance en el conocimiento científico del espacio sideral.

1981 Sarjakoski, describe el primer restituidor digital.

1982 Case, muestra el diseño de un prototipo de un Sistema Fotogramétrico Digital (Digital Stereo Comparatos / Compiler) “DSCC”.

1984 en el Congreso de Rio de Janeiro de ISPRS, se presenta un Sistema de Procesamiento Digital De Imágenes Adaptado, que incluye cambios en el hardware, la estereovisión y posibilidades de control sobre modelos 3D.

1986 Gagan y Dowman, precisan las cuatro características fundamentales para un Sistema Fotogramétrico Digital: manejo de la visión estereoscópica, operatividad de grandes volúmenes de imágenes, precisión de medidas submilimétricas, digitalización en tiempo real del modelo 3D.

1988 en el Congreso de ISPRS en Kyoto, se muestra la primera estación estereofotogramétrica digital comercial, Kern DSP1.

1990 y 2003 En las guerras contra el Gobierno Iraki, los militares estadounidenses han hecho despliegue de la utilización de la fotografía como herramienta estratégica con fines bélicos.

A mediados de la década de los 90s, en varias compañías particulares y en algunas estatales colombianas se empieza a aplicar los sistemas de digitalización de imágenes.

2003, las aplicaciones de la fotogrametría y la fotointerpretación cubren casi todos los espacios de la ingeniería y de los aparatos que generan o requieren imágenes y que son utilizados en las áreas de la salud.

1.2. APLICACIONES DE LA FOTOGRAMETRÍA Y DE LA FOTOINTERPRETACIÓN.

La fotogrametría entendida como la ciencia y tecnología que permite obtener información cuantificable partir de fotografías obtenidas por diversos tipos de sensores remotos y la fotointerpretación como lectura análisis e interpretación cualitativa de las mismas, son herramienta indispensable en los diferentes espacios de las ciencias donde se aplican.

1.2.1. EN INGENIERÍA.

1.2.1.1. CARTOGRAFÍA: Fue una de las primeras e importantes aplicaciones aún vigentes. Se logra la obtención de planos a diferentes escalas y con coberturas de grandes áreas o detalles puntuales de gran precisión, así como la elaboración de réplicas tridimensionales que acompañadas de programas de simulación y mezcla de información permiten el análisis detallado de diversos problemas ingenieriles y la determinación de variadas opciones de solución.

1.2.1.2. DISEÑO DE VÍAS Y LÍNEAS FERROVIARIAS: A partir de fotografías aéreas y terrestres en formato tradicional (copia de contacto) o digitalizadas y acompañadas de paquetes de diseño, la fotogrametría y la fotointerpretación desempeñan un papel integral en el diseño preliminar, ejecución, control e interventoría de la obra y disposición final, tanto de vías de uso vehicular como de ferrocarriles.

1.2.1.3. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS PARA OBRAS DE PASO: La aplicación se da desde el estudio preliminar de la zona donde se pretende desarrollar la obra con la determinación del sitio o sitios alternos para su ubicación hasta los controles posteriores a su ejecución.

1.2.1.4. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y SUBTRANSMISIÓN ELÉCTRICA: Permite la determinación de los sitios apropiados para la ubicación de las torres que soportan los cables de alta tensión, la definición de la ruta más viable económica y técnicamente posible, como también el

cálculo de la longitud de cableado necesario que favorezca la menor pérdida de energía, entre los varios detalles técnicos a tener en cuenta.

1.2.1.5. LOCALIZACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: La determinación de sitios de canteras que permitan la extracción de material de base y súbase para la construcción de diversos tipos de vías o construcciones con el favorable impacto económico y técnico es posible con la utilización de la fotogrametría y la fotointerpretación.

1.2.1.6. SELECCIÓN DE SITIOS PARA OBRAS DE INGENIERÍA: TUNELES, EMBALSES, REPRESAS. En todos los estudios de prefactibilidad, factibilidad, construcción, control, interventoría e impacto social o ambiental, los recursos de la fotogrametría y fotointerpretación son insustituibles y determinantes en la toma de decisiones.

1.2.1.7. ESTUDIOS DE VALORIZACIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA: para efectos de los análisis de impacto y definición de los derrames de valorización en función de la ejecución de obras de ingeniería, estos se realizan a partir de información suministrada por restituciones aerofotogramétricas.

1.2.1.8. EVALUACIÓN DE RECURSOS HIDROELÉCTRICOS: Tanto en el inventario como en la prospección y planeación de desarrollos energéticos el conocimiento detallado de las áreas de interés se fundamenta en información suministrada a partir de estudios completos en la parte de fotogrametría y fotointerpretación.

1.2.1.9. ESTUDIOS DE NAVEGACIÓN Y RECTIFICACIÓN DE CAUCES DE RIOS: Este es un aspecto técnico de recurrente suceso cuando se ejecutan obras de algún tamaño en ingeniería y allí la fotogrametría y la fotointerpretación cumplen importante papel.

1.2.1.10. BÚSQUEDA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: Para atender los problemas de abastecimiento de agua potable en las no pocas áreas pobladas o desérticas, los estudios geológicos desde la fotointerpretación son herramienta indispensable en el hallazgo de acuíferos

o entrapamientos en el subsuelo que resuelven tan apremiante escaseamiento de agua.

1.2.1.11. DEFINICIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE ACUEDUCTOS.

1.2.1.12. PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO.

1.2.1.13. ESTUDIOS DE DEFORMACIONES ESTRUCTURALES EN OBRAS DE INGENIERÍA.

1.2.1.14. ESTUDIOS DE MOVIMIENTOS TECTÓNICOS Y CONTROL DE GRANDES MOVIMIENTOS DE MASA (DERRUMBES, AVALANCHAS).

1.2.1.15. ESTUDIOS DE PROBLEMAS EROSIVOS ASOCIADOS A OBRAS DE INGENIERÍA O A ASENTAMIENTOS HUMANOS.

1.2.1.16. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE AEROPUERTOS.

1.2.1.17. ESTUDIOS DE PLANEACIÓN URBANA Y RURAL.

1.2.1.18. PROYECCIÓN Y DESARROLLO DE OBRAS DE IRRIGACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE CANALES DE RIEGO.

1.2.1.19. PROSPECCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE CANTERAS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

1.2.1.20. CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE RIESGO CON RELACIÓN A DIFERENTES FENÓMENOS NATURALES.

1.2.1.21. DEFINICIÓN DE ZONAS AFECTADAS POR MOVIMIENTOS DE MASA O INESTABILIDAD DE LADERAS QUE GENERAN RIESGO A LOS HABITANTES DE DICHAS ÁREAS.

1.2.1.22. ELABORACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE MAPAS DE IMPACTO AMBIENTAL.

1.2.2. EN LOS RECURSOS AGRÍCOLAS: Las aplicaciones de la fotogrametría y la fotointerpretación van desde la proyección tecnificada, la identificación de los tipos de suelos y sus potencialidades agrícolas, el control y desarrollo de los sembrados, el manejo de diversos fenómenos que intervienen en el desarrollo de los cultivos, el control cuantitativo y cualitativo de las áreas afectadas por plagas hasta la proyección y evaluación de la producción agrícola.

1.2.3. EN LOS RECURSOS FORESTALES: La fotogrametría y la fotointerpretación aplicadas a este campo , permiten la delimitación de tipos de bosques, la clasificación e identificación espacial por edades y calidades, el control de plagas o enfermedades , el crecimiento en función del tiempo y condiciones ambientales, mediante la elaboración sistémica y periódica de mapas que conllevan un registro dinámico. Son también utilizadas en el control de la deforestación indiscriminada y en la protección de los resguardos forestales, los nacimientos de aguas y la aplicación de las leyes que regulan la explotación de este tipo de recursos.

1.2.4. EN LOS RECURSOS MINERALES: En la identificación, localización, prospección, cuantificación de reserva probables y probadas, en la explotación y cierre de la mina o cantera de todo tipo de minerales, los aportes de la fotogrametría y la fotointerpretación se han convertido en factores determinantes para realizar una explotación racional, tecnificada, eficiente con preservación del medio ambiente y que evita al máximo los efectos contaminantes que en desarrollo del trabajo minero se producen.

1.2.5. EN LOS RECURSOS HIDRÁULICOS: Cada vez las necesidades energéticas se hacen mas importantes y a medida que crece la red de interconexión eléctrica entre países vecinos, los recursos

hidroeléctricos, su inventario prospección , proyección y desarrollo adecuado se han convertido en elemento estratégico en especial para Colombia por sus favorables características. Para la adecuada explotación y manejo de este recurso la fotogrametría y la fotointerpretación se han convertido en unas de las herramientas más apropiadas a utilizar.

1.2.6. EN APLICACIONES MILITARES: Es en este espacio donde el desarrollo de tecnología de avanzada y nuevos instrumentos han sido construidos y probados varios años antes de colocarse al servicio de la comunidad civil. Para funciones de reconocimiento y desenvolvimientos tácticos o en el control y vigilancia de diferentes territorios del mundo, el manejo militar esta basado en los estudios de imágenes obtenidas por diferentes sensores remotos o por análisis fotointerpretados de las mismas.

1.2.7. EN EXPLORACIONES EXTRATERRESTRES: Para el gran crecimiento en el conocimiento de los planetas cercanos, la llegada a Marte de los equipos que han suministrado información detallada de este planeta o los reportes enviados por las sondas que atraviesan el espacio hacia lo profundo de la Vía Láctea, los desarrollos en la fotogrametría y la fotointerpretación han sido fundamentales en los grandes avances científicos que se han dado.

1.2.8. EN APLICACIONES NO TOPOGRÁFICAS: Son muchas las aplicaciones en ciencias o artes diferentes a las relacionadas con el suelo el subsuelo o los planetas, en donde los fundamentos de la fotogrametría y la fotointerpretación han tenido su desenvolvimiento amplio. La ciencia médica en los últimos instrumentos que permiten obtener imágenes del cuerpo humano se fundamentan en estos principios. De igual manera debe decirse de ciencias como: la odontología , la arquitectura, la meteorología, la arqueología, la oceanografía, o de los estudios patológicos en estructuras de diferentes materiales , las reconstrucciones de obras arquitectónicas y artísticas, los estudios de balística, los estudios forenses, los estudios sobre control del tráfico en grandes ciudades.

1.3. CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA.

1.3.1. SEGÚN EL TIPO DE IMAGEN OBTENIDA Y LA POSICIÓN ESPACIAL DE LA CÁMARA.

1.3.1.1. FOTOGRAMETRÍA AÉREA: Es la que utiliza vistas aéreas de la superficie terrestre, obtenidas con cámaras métricas, montadas en un aeroplano.

1.3.1.2. FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE: Es la que utiliza imágenes tomadas con cámaras ubicadas en una posición fija sobre el terreno, con el eje de la cámara horizontal o casi horizontal.

1.3.1.3. FOTOGRAMETRÍA ESPACIAL: Es la que utiliza imágenes extraterrestres realizadas con cámaras fijas en la Tierra o desde satélites artificiales, la Luna, o cualquier otro tipo de sensor remoto enviado para este fin al espacio sideral.

1.3.1.4. FOTOGRAMETRÍA NO TOPOGRÁFICA: Es la que utiliza imágenes obtenidas para aplicaciones en ciencias o artes diferentes a la ingeniería propiamente dicha.

1.3.2. SEGÚN EL TIPO DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA.

1.3.2.1. FOTOGRAMETRÍA MÉTRICA: Es aquella en que los datos obtenidos se utilizan para análisis cuantitativos que conducen a la elaboración de planos a una determinada escala.

Dependiendo del método de medición y procesamiento de datos obtenidos la fotogrametría métrica se subdivide en:

1.3.2.1.1. ANÁLOGA: Cuando se utilizan implementos complejos opticomecánicos, para atender problemas fotogramétricos mediante analogías o comparaciones.

1.3.2.1.2. ANALÍTICA: Cuando obtenidas las coordenadas en dos direcciones (x , y) los problemas fotogramétricos se resuelven mediante el uso de modelos matemáticos.

1.3.2.1.3. DIGITAL: Cuando la imagen obtenida se encuentra en medio magnético y los resultados de mediciones, modelos o mapas se construyen a partir de programas sistematizados.

1.3.2.2. FOTOINTERPRETACIÓN: Es el estudio de las imágenes obtenidas por sensores remotos a partir de las cuales se obtiene información cualitativa, identificación y caracterización del terreno.

1.4. LA CÁMARA AÉREA.

La cámara aérea en general puede definirse como un instrumento dentro del conjunto de los sensores remotos (no se presenta contacto entre el sensor y el objeto sensado) el cual recoge o capta propiedades físicas de los objetos: longitudes de onda comprendidas en el rango del espectro electromagnético entre el ultravioleta y el infrarrojo por medio de la absorción, refracción o reflexión.

Otra sencilla definición es expresada cuando se dice que la cámara, es un pequeño cuarto oscuro, que tiene una lente frente a un obturador que actúa como una ventana a través de la cual pasa la luz que llega al fondo del cuarto oscuro donde se halla colocada una película sensibilizada que reacciona al producirse el contacto.

Esquemáticamente se describe la cámara como: un plano del negativo (plano de la película), un eje óptico perpendicular a dicho plano y un centro óptico contenido en el eje óptico que es el punto donde se concentran todos los rayos proyectantes, que impactaran el plano del negativo. Véanse: Figura 1.1., Figura 1.2.

1.4.1. PARTES DE LA CÁMARA. (VÉASE FIGURA 1.3).

1.4.1.1. EL ALMACEN DE LA CÁMARA: Es la parte donde va colocada la película. Permite almacenar hasta 60 metros de película de 24 cms de ancho, en chasises intercambiables, lo que representa unas 235 fotografías en formato de 23 cms * 23 cms o 280 fotografías en formato de 18 cms * 18 cms. Estos chasises se fijan directamente al cono. Contiene también un mecanismo para el avance y retroceso de la película y un aparato de succión que hace que la película se mantenga perfectamente extendida y plana, evitando distorsiones que afectan la calidad de la imagen.

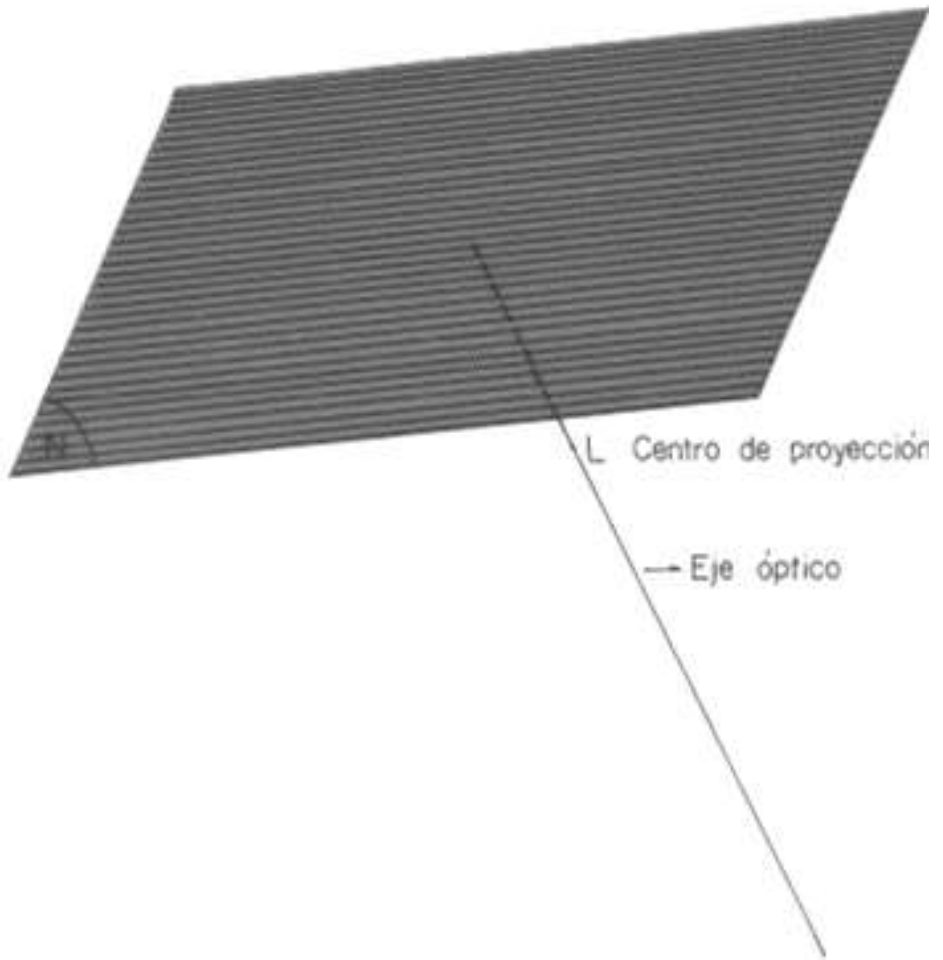


FIGURA 1.1. CÁMARA AÉREA DEFINIDA POR TRES ELEMENTOS GEOMÉTRICOS.

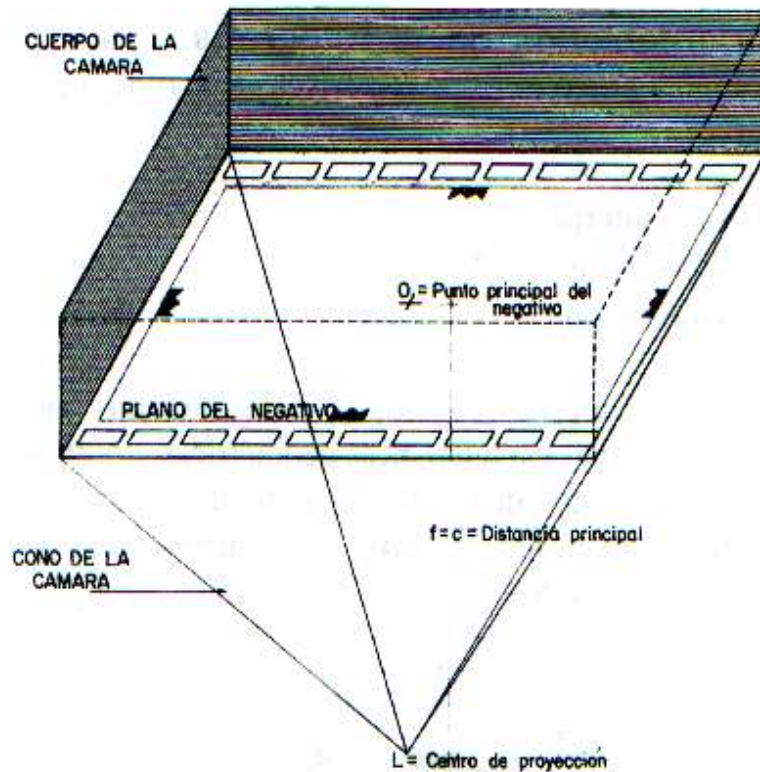


FIGURA 1.2. ESQUEMA DE LA CÁMARA FOTOGRÁFICA.

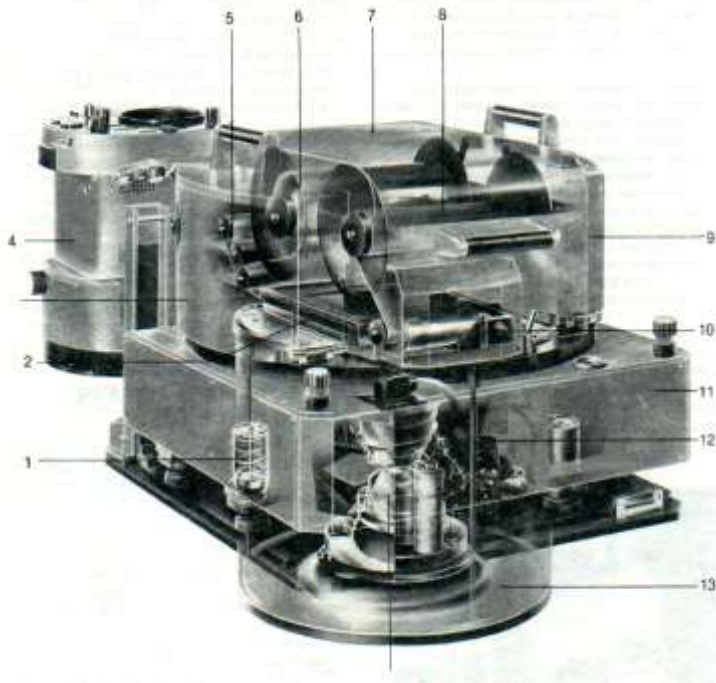
1.4.1.2. EL CUERPO DE LA CÁMARA: Es la parte donde se colocan los mecanismos que proveen los movimientos necesarios para enrolar la película, disparar el obturador y operar el sistema de vacío.

1.4.1.4. EL CONO: Es la parte que sirve de soporte al sistema de lentes.

1.4.1.4. EL OBJETIVO: Es la parte correspondiente al sistema de lentes, la cual es considerada como el elemento más importante. Su oficio es el de reunir en un haz de luz los rayos de cada uno del infinito número de puntos del plano del objeto, concentrándolos en un punto denominado Centro Óptico (L) y enviarlos hacia el plano del negativo.

1.4.1.5. EL DIAFRAGMA: Es la parte compuesta por una serie de hojas (laminillas) que pueden rotar en el plano conformado por ellas, permitiendo la variación del orificio que da paso a los rayos luminosos provenientes del objeto, lo que determina la cantidad de luz incidente sobre el sistema de lentes. Véase figura 1.4.

1.4.1.6. EL OBTURADOR: Es la parte encargada de controlar el tiempo al que esta expuesta la película emulsionada, en el momento en que los rayos de luz atraviesan el sistema de lentes. Este tiempo puede ser de hasta 1 / 2000 de segundo. Los obturadores más empleados en las cámaras cartográficas son de hojas o de sistema de discos, y pueden ser operados electromagnéticamente y regulados por mecanismos fotoeléctricos. Véase: Figuras: 1.5. y 1.6.



- | | |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1. Sistema antivibratorio | 9. Unidad motriz |
| 2. Placa de presión | 10. Dispositivo de compensación del movimiento de la imagen |
| 3. Unidad motriz | 11. Suspensión |
| 4. Unidad de mando | 12. Obturador universal intercambiable |
| 5. Cilindros de mando | 13. Cono portaobjetivo |
| 6. Bobina receptora | 14. Objetivo |
| 7. Chasis | |
| 8. Bobina dadora | |
- Principales partes constituyentes del sistema

FIGURA 1.3. ELEMENTOS DE LA CÁMARA AÉREA (DE BASTIDOR). CORTE ESQUEMÁTICO. (CÁMARA RMY 30/23 ZEISS JENA).

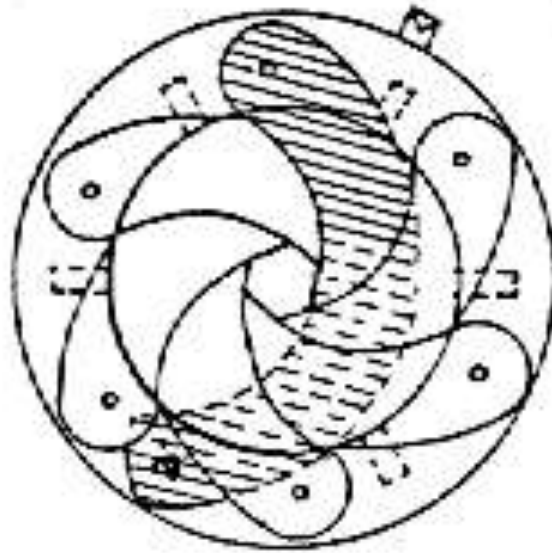


FIGURA 1.4. DIAFRAGMA.

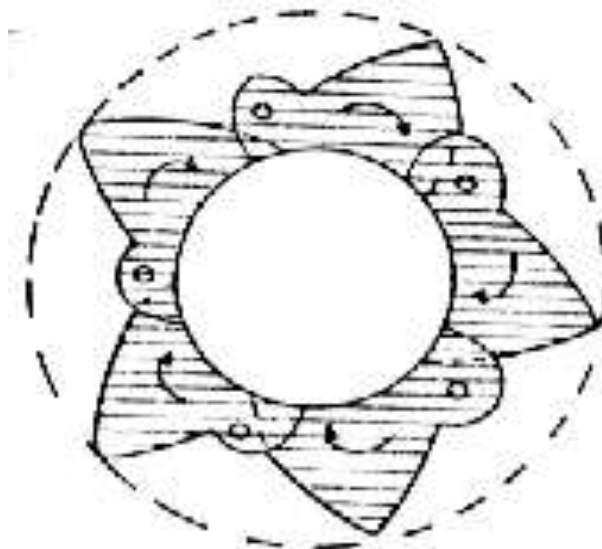


FIGURA 1.5. OBTURADOR DE HOJAS.

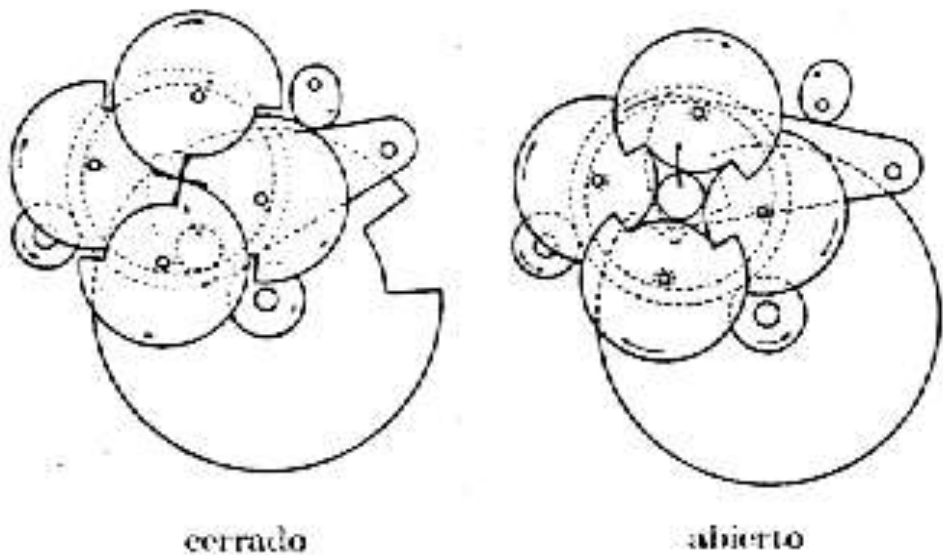


FIGURA 1.6. OBTURADOR DE DISCOS ZEISS.

1.4.2. CLASIFICACIÓN DE LAS CÁMARAS.

1.4.2.1. SEGÚN SU ESTRUCTURA:

1.4.2.1.1. CÁMARAS DE FAJA CONTINUA: Son aquellas en las cuales la luz penetra por una ranura y actúa sobre la película que avanza a una velocidad sincronizada con la velocidad de la imagen, la que a su vez depende de la velocidad del avión y de la altura de vuelo. Produce una foto continua del terreno que es de gran utilidad para el diseño de vías, líneas de ferrocarril o líneas de conducción Eléctrica. Las señales emitidas por los radares generan imágenes continuas del terreno por lo que pueden considerarse dentro de esta tipificación.

1.4.2.1.2. CÁMARAS DE BASTIDOR: Son aquellas utilizadas propiamente en trabajos fotogramétricos. Se presenta un espaciamiento en el terreno entre la toma de fotos, lo que dependiendo además de la velocidad del avión, generará secuencias de fotos consecutivas recubiertas o no que conllevan la diferenciación en su utilización con fines estereoscópicos.

1.4.2.1.3. CÁMARAS PANORÁMICAS: Son aquellas en las cuales la cámara barre el terreno de manera perpendicular a la línea de vuelo. La cobertura lateral es muy amplia, alcanzando hasta los 180° . Se utiliza para labores de reconocimiento.

1.4.2.2. SEGÚN EL ÁNGULO DE PROYECCIÓN DEL OBJETIVO (ÁNGULO DE EXPOSICIÓN): (VÉASE FIGURA 1.7).

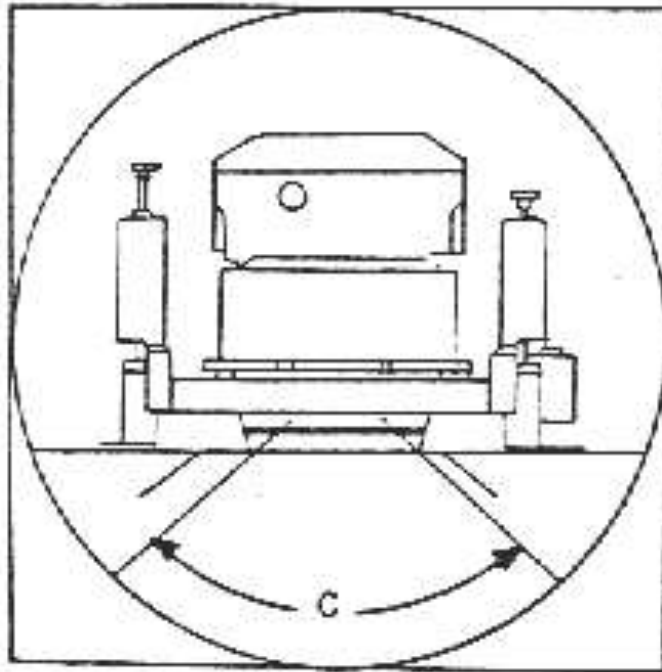


FIGURA 1.7. CAMPO ANGULAR (ÁNGULO DE PROYECCIÓN DEL OBJETIVO).

1.4.2.2.1. CÁMARA DE ÁNGULO PEQUEÑO: Es aquella cuyo ángulo de proyección del objetivo es menor de 50° . Tiene usos militares para la elaboración de mosaicos.

1.4.2.2.2. CÁMARA DE ÁNGULO NORMAL: Es aquella cuyo ángulo de proyección del objetivo varía entre los 50° y 75° . Es el tipo de ángulo de proyección del objetivo en la elaboración de mapas de áreas urbanas con fines métricos.

1.4.2.2.3. CÁMARA GRAN ANGULAR: Es aquella cuyo ángulo de proyección del objetivo varía entre los 75° y 100° . Viene siendo utilizada

para trabajos de fotogrametría y fotointerpretación por su mayor cobertura areal sin grandes distorsiones fotográficas.

1.4.2.2.4. CÁMARA SUPERGRANANGULAR: Es aquella cuyo ángulo de proyección del objetivo es mayor de 100° y menor o igual 120° . Su utilización ha representado economías en los procesos de elaboración de mapas, por cubrir el doble de área de terreno que las cámaras gran angulares, con precisión equivalente. Véase figura 1.8.

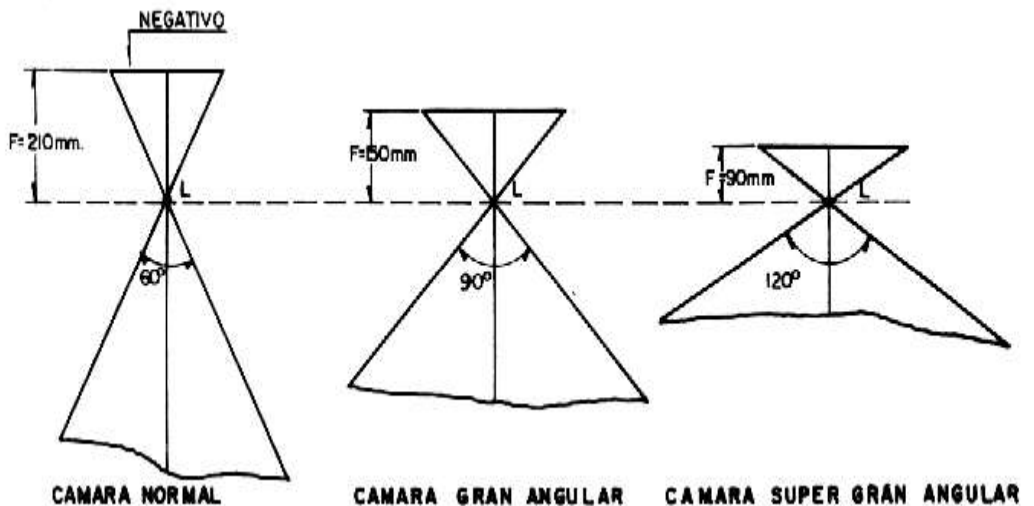


FIGURA 1.8. CLASIFICACIÓN DE LAS CÁMARAS SEGÚN EL ÁNGULO DE PROYECCIÓN DEL OBJETIVO (ÁNGULO DE EXPOSICIÓN).

1.4.2.3. SEGÚN LA LONGITUD FOCAL (f) :

1.4.2.3.1. CÁMARA DE LONGITUD FOCAL CORTA: Aquella cuya distancia focal (f) es de hasta 150 m.m.

1.4.2.3.2. CÁMARA DE LONGITUD FOCAL NORMAL: Aquella cuya distancia focal esta entre 150 m. m. y 300 m. m. Es el tipo de distancia focal utilizada para las cámaras de trabajo en fotogrametría.

1.4.2.3.3. CÁMARA DE LONGITUD FOCAL LARGA: Aquella cuya distancia focal es mayor de 300 m. m. Es el tipo de distancia focal utilizado en trabajos de reconocimiento.

Debe tenerse en cuenta que para alturas de vuelo iguales, el aumento de la longitud focal implica una mayor escala, detalle que puede ser importante o determinante al momento de la planificación del vuelo. Conservando una misma escala, la fotografía normal requiere mayor altura de vuelo y la supergranangular lo contrario, lo cual resulta beneficioso en el cubrimiento de zonas que permanecen cubiertas por nubosidad baja gran parte del tiempo. Cuando la utilización de las fotografías tiene fines de medición, las fotografías normales y su caracterización de tener desplazamiento debido al relieve pequeño y buena precisión planimétrica, las convierten en las más apropiadas., en tanto que en las fotografías supergranangulares el desplazamiento debido al relieve es grande, el modelo observado presenta exageración vertical, pero la precisión en la medición de distancias verticales es muy buena, favoreciendo la obtención de cotas o el dibujo de curvas de nivel. Las fotografías supergranangulares presentan inconvenientes cuando se trabaja en zonas montañosas donde pueden presentarse zonas que no queden cubiertas (denominadas zonas muertas) , o al tratar escalas muy grandes donde los desplazamientos por relieve pueden dificultar la fusión de las imágenes para utilizar la visión estereoscópica.

1.4.2.4. SEGÚN EL USO:

1.4.2.4.1. CÁMARAS CARTOGRÁFICAS (MÉTRICAS).

1.4.2.4.2. CÁMARAS DE RECONOCIMIENTO.

1.4.2.4.3. CÁMARAS ESPECIALES.

1.5. LA FOTOGRAFIA AÉREA :

La fotografía aérea puede definirse como la imagen del terreno captada sobre un plano (el del negativo o el de la foto), desde una cámara terrestre o desde un avión o cualquier otra nave aérea equipada con una cámara especializada utilizada específicamente para tal fin.

Se basa en el principio de la percepción fotográfica, el cual hace referencia a la propiedad de los cuerpos de la litosfera para absorber, dispersar o reflejar la luz que proviene del sol o de cualquier otro elemento que emita rayos de

luz. La energía reflejada por los objetos (rocas , plantas , agua) pasa a través del sistema de lentes de la cámara y afecta con mayor o menor intensidad la película emulsionada sensible a ondas en el espectro electromagnético. Este fenómeno da origen a una gama de tonalidades de gris o de colores en el negativo que permiten la formación de las distintas imágenes de los objetos. La mayor o menor capacidad de reflexión de la luz da como resultado la generación de imágenes más o menos claras.

1.5.1. CLASIFICACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS:

1.5.1.1. EN FUNCIÓN DE LA INCLINACIÓN DEL EJE DE LA CÁMARA:

1.5.1.1.1. VERTICAL: Aquella en la cual el eje óptico de la cámara es perpendicular al plano del objeto al plano de la foto y al plano del negativo. La escala es uniforme en toda la fotografía y solo ocurren diferencias debidas a la topografía. Son las más fáciles de restituir. Véase figura 1.9.

1.5.1.1.2. INCLINADA: Aquella que en el instante de la toma, el eje de la cámara esta inclinado respecto de la vertical (ángulo de inclinación t). Dicha inclinación no debe superar los 3° . Sin embargo es frecuente los ángulos de inclinación entre los 12° y los 18° , ángulos en los cuales todavía es posible hacer ajustes para trabajos fotogramétricos. Véase figura 1.10.

1.5.1.1.3. OBLICUA: Aquella en que el eje de la cámara es inclinado adrede para obtener una panorámica del terreno. A este tipo de fotografías se asocian también aquellas fotografías obtenidas al presentarse inclinación hacia los lados del avión. Véase figura 1.11.

1.5.1.1.4. CONVERGENTE: Aquella en que el eje de la cámara esta inclinado a lo largo de la dirección de la línea de vuelo.

1.5.1.1.5. MUY INCLINADA: Aquella en que el eje de la cámara esta inclinado de tal forma que aparece el horizonte en fotografía que se obtiene. Véase tabla 1.1.

1.5.1.1.6. TERRESTRE: Aquella en que el eje de la cámara es horizontal, es decir hace 90° con relación a la vertical que pasa por el centro óptico (L).

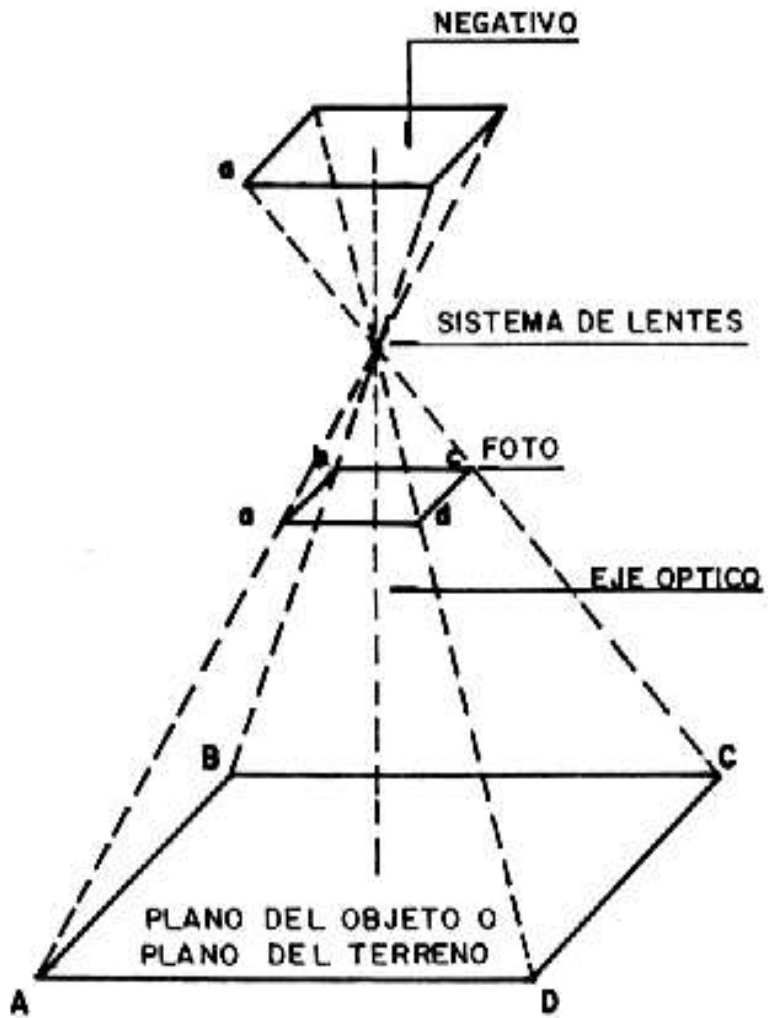


FIGURA 1.9. FOTO VERTICAL

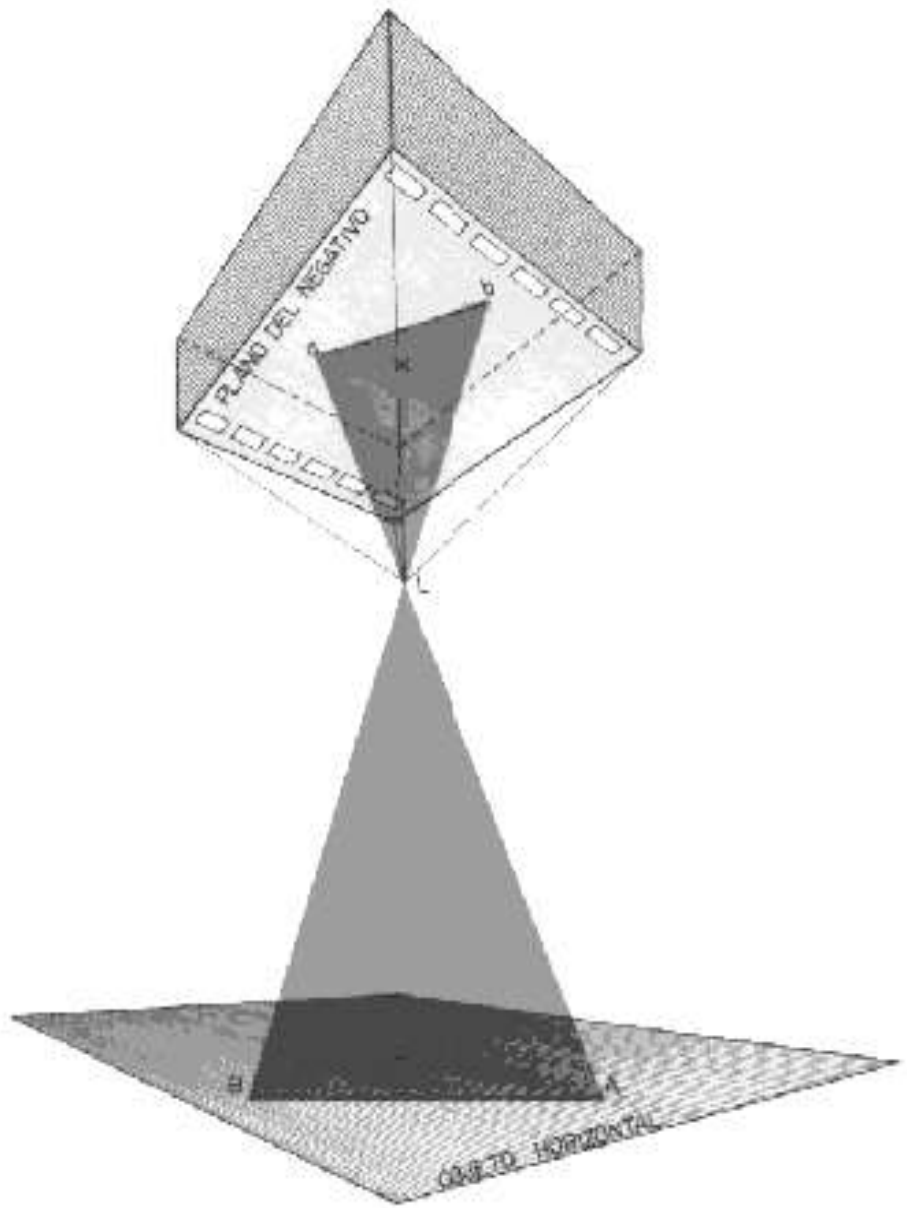


FIGURA 1.10. FOTO INCLINADA.

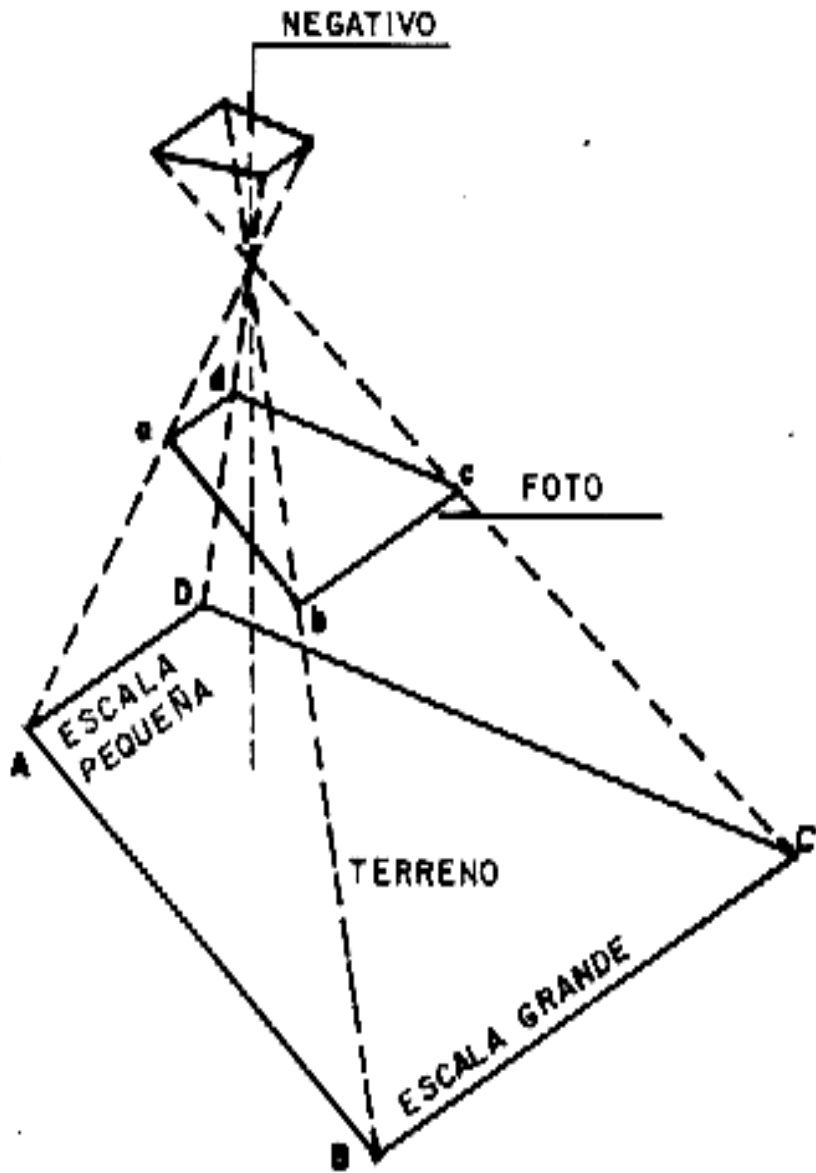


FIGURA 1.11. FOTO OBLICUA.

FOTOGRAFÍA	VERTICAL	INCLINADA	MUY INCLINADA
Características	Inclinación menor que $\pm 3^\circ$	Sin horizonte	Con horizonte en la foto
Área fotografiada	Muy pequeña	Pequeña	Grande
Forma del área fotografiada	Rectangular	Trapezoidal	Trapezoidal
Escala	Uniforme para un mismo plano horizontal	Decrece desde un primer plano hacia el fondo	Decrece desde un primer plano hacia el fondo
Ventaja	Fácil de restituir	Mayor área recubierta. Puede ser restituida en algunos instrumentos convencionales	Económica e ilustrativa por su gran recubrimiento del terreno.
Uso más frecuente	Proyectos fotogramétricos y de interpretación.	Fotointerpretación en general	Fotointerpretación aplicada a estudios geológicos, forestales y ambientales.

TABLA 1.1. COMPARACIÓN ENTRE FOTOGRAFÍAS AÉREAS VERTICALES E INCLINADAS.

1.5.2. SEGÚN LA EMULSIÓN DE LA PELÍCULA:

Las películas utilizadas para fotografías aéreas tienen emulsiones constituidas por halogenuros de plata sensibles a diferentes radiaciones del espectro electromagnético, que obedecen a energía que pasa a través de una ventana atmosférica (región atmosférica a través de la cual pasa la energía de una longitud de onda definida); caracterizadas por ser: suficientemente corta para registrar detalles pequeños, no lo suficientemente larga evitando ser dispersada excesivamente, no larga en demasía para ser registrada fotográficamente, proporcionando una información completa y perceptible por el ojo humano.

Las imágenes obtenidas a partir de la utilización de longitudes de onda diferentes al espectro visible aportan otro tipo de información del objeto observado, como en el caso en que se emplea un detector sensible a la

radiación infrarroja, el cual entrega información de las fuentes de calor o diferencias de humedad o características de la composición mineral del terreno en base a la inercia térmica.

1.5.2.1. FOTOGRAFÍA PANCROMÁTICA: Son también denominadas fotografías a blanco y negro y se toman con película pancromática muy rápida, sensible a todas las longitudes de onda del espectro visible, especialmente en los extremos de la escala cromática por encima aún de la vista humana, lo que permite apreciar detalles que podrían pasar desapercibidos. Este tipo de películas se caracterizan por ser de grano muy fino, alta sensibilidad, alto poder de resolución y buen contraste.

1.5.2.2. FOTOGRAFÍA A COLOR: Son aquellas sensibles a las longitudes de onda del espectro visible entre las 0.4μ y las 0.7μ . Está compuesta por tres capas: amarillo, magenta, cian, correspondientes a las longitudes de onda de los colores azul, verde y rojo. Se logra obtener toda la gama de colores del espectro visible. Son fotografías muy apropiadas en la identificación de materiales, o en estudios de aguas y bajos fondos entre otras de sus aplicaciones. Se presentan algunos inconvenientes con el enmascaramiento de algunos colores en su coincidencia con los reales ofrecidos en la naturaleza, a lo que se le ha trabajado bastante en análisis de laboratorio al punto de que ya se anuncian películas que no presentan distorsión de color. Son fotografías costosas lo que ha limitado su comercialización a vuelos especiales por encargo.

1.5.2.3. FOTOGRAFÍA INFRARROJA EN BLANCO Y NEGRO: Son aquellas sensibles en la zona del espectro electromagnético entre las 0.25μ y las 0.92μ , filtrando la zona inferior eliminando la zona ultravioleta, produciendo una sensibilidad efectiva entre las 0.57μ y las 0.92μ . No son sensibles a la luz difusa o polarizada. Otros tipos de filtros son: el amarillo medio, filtra hasta 0.5μ , produciendo la eliminación de la zona azul del espectro; el rojo filtra hasta 0.65μ , produciendo la eliminación hasta la zona naranja del espectro inclusive; el rojo oscuro filtra hasta las 0.75μ , lo que ocasiona dejar solo la zona infrarroja del espectro.

Se utilizan apropiadamente en zonas de baja visibilidad (afectadas por: niebla, bruma o polvo), dada la claridad de detalle que se obtiene por la mayor difusión que sufren los tonos rojos e infrarrojos en los particulados atmosféricos. Tienen alta utilización en estudios forestales y agrícolas ya que la clorofila refleja la mayor parte de la radiación infrarroja. En el control de plagas y enfermedades, la reflectancia de las plantas atacadas disminuye, y es

detectada en las fotografías por los tonos oscuros claramente diferenciados de las tonalidades de grises claros de las plantas no afectadas.

1.5.2.4. FOTOGRAFÍAS EN FALSO COLOR: Son aquellas sensibles a las radiaciones electromagnéticas correspondientes a los colores verde rojo e infrarrojo. Están formadas por tres capas: amarillo, magenta, cian. Los colores finales de la fotografía no corresponden a los originales presentándose como resultado: los verde, azules; los rojos, verdes; los infrarrojos, rojos. Utilizadas para similares requerimientos de las fotografías infrarrojas a blanco y negro y presentan también inconvenientes asociados al alto costo, dificultad de manipulación y conservación.

1.5.2.5. FOTOGRAFÍAS EN INFRARROJO MEDIO Y LEJANO (TERMOGRAFÍAS): Aquellas producidas a partir de detectores electrónicos, los cuales transforman las radiaciones electromagnéticas, en señales eléctricas almacenadas en cintas magnéticas, enviadas luego a tierra para ser transformadas por medio de un tubo de rayos catódicos, en puntos luminosos que impresionan la película emulsionada. Estas imágenes reciben el nombre termografías o imágenes térmicas, por registrar la emisión térmica del terreno. Son diferentes sustancialmente de las fotografías pancromáticas e infrarrojas. La toma de imágenes se hace ala puesta del sol o al final de la noche.

1.5.2.6. FOTOGRAFÍAS TOMADAS A LA PUESTA DEL SOL: Son aconsejadas para estudios en zonas de hielo, nieves perpetuas o corrientes de agua. La radiación térmica como efecto, permite hacer diferencias litológicas que no serian posibles en fotografías pancromáticas.

1.5.2.7. FOTOGRAFIAS TOMADAS AL FINAL DE LA NOCHE: Son Aconsejables en la detección de niveles freáticos próximos a la superficie terrestre, mantos de agua o fenómenos volcánicos. Los materiales aparecen en tonos más claros cuanto mayor sea l energía que irradian. En este tipo de imágenes cualquier anomalía térmica superficial dependerá de otra más profunda.

1.5.3. IMÁGENES DE RADAR: El radar es un tipo de sensor remoto el cual emite energía en una longitud de onda entre un metro y un milímetro, que es reflejada por el terreno y detectada de nuevo por antenas receptoras ubicadas en los costados del avión. Solo se reciben señales comprendidas entre los 45° y el horizonte, produciéndose el registro de dos bandas continuas un por cada receptor, con una zona ciega que corresponde a la zona debajo del avión. Cada línea de barrido esta construida por la sucesión de puntos

captados y la unión de líneas sucesivas permiten la formación de la imagen rastreada.

La longitud de onda emitida atraviesa cualquier tipo de obstáculo en la atmósfera, y una de sus más importantes cualidades es el poder ser operado a cualquier hora del día o de la noche, convirtiéndose en uno de los más baratos sistemas de teledetección, aconsejado para trabajos de gran cobertura en estudios previos de reconocimiento. Las superficies aparecerán tanto o más brillantes y claras cuanto más perpendiculares estén en dirección del haz emitido.

Con el avance en las técnicas para la obtención de imágenes de radar a aparecido lo que se denomina la Radargrametría como uno de los campos de aplicación, definiéndose como el proceso de aplicar técnicas fotogramétricas y adaptarlas a los datos de radar con la finalidad de crear modelos esteros. Es por tanto la utilización de los conceptos de la fotogrametría, pero con las correcciones propias de la geometría de radar y su aplicación en la topografía y el mapeo.

Principios fotogramétricos como las condiciones de colinearidad y coplanariedad explican matemáticamente la relación entre las coordenadas de la imagen en un sistema 2D de referencia y las coordenadas “verdaderas” de la superficie (3D).

Se presentan diferencias radargramétricas entre las imágenes desde radares en plataformas aerotransportadas y las de satélite debidas principalmente a los ángulos de depresión, la nitidez del terreno, la consideración de la curvatura terrestre y los efectos de la variación en la trayectorias de vuelo.

En la mayoría de los estudios radargramétricos, se hacen mediciones en una sola imagen con base en: 1. Mediciones del alcance inclinado y el tiempo de toma de un número seleccionado de puntos. 2. Mediciones de la posición de la antena del radar (altura) y su velocidad. 3. La definición de la posición de un número de puntos de control terrestre. 4. Un Modelo Digital de Elevación del área.

1.5.4. IMÁGENES DE SATÉLITE.

1.5.4.1 IMÁGENES DESDE SATÉLITES TRIPULADOS O CONDUCIDAS POR COSMONÁUTAS: Pertenecen a este tipo las imágenes producidas por los satélites de la serie MERCURY, GEMÍNI, APOLO, SKYLAB, DISCOVERY. Permiten su adaptación a condiciones especiales.

1.5.4.2. IMÁGENES DESDE SATÉLITES NO TRIPULADOS:

Pertenecen a este tipo, las imágenes producidas por satélites cuyo funcionamiento es totalmente automático y están controlados por programas computarizados. La poca flexibilidad para adaptarse a condiciones especiales es reemplazada por la repetición de imágenes del mismo sitio. Son imágenes de estas características las obtenidas por los satélites: TIRROS NIMUBUS o LANDSAT.

Los satélites LANDSAT, tienen una órbita circular de aproximadamente 900 Km. de altura con respecto a la tierra. Es una órbita heliosincrónica, esto es que pasa siempre a la misma hora solar por un lugar determinado de la tierra. El LANDSAT 1, primero de la serie se lanzó en 1972. El LANDSAT 3 reemplazó al LANDSAT 1 y permitía obtener imágenes del mismo sitio cada 9 días, cubriendo un área de 185 Km. * 185 Km. equivalentes a un área de 34.225 km². Actualmente el LANDSAT 5 produce imágenes de casi toda la superficie terrestre una vez cada 16 días, cubriendo más de 31.000 km² y muestra objetos de 900 m² de extensión. Los satélites colocados en órbita por los franceses SPOT (SYSTÈME PROBATORIE D'OBSERVATION DE LA TERRE) obtienen imágenes con detalles de objetos de tan sólo 100 m² de superficie. La Agencia Europea del Espacio (ESA), India Japón y Rusia han enviado también sus propios satélites de observación terrestre, permitiendo el desarrollo y grandes avances de los sistemas de teledetección.

Los satélites meteorológicos, como los europeos de la serie METEOSAT utilizan sus sistemas de teledetección para producir imágenes que contribuyen a la predicción meteorológica, siguiendo el movimiento de las nubes y registrando los cambios de la temperatura atmosférica.

1.5.5. PROPIEDADES DE LA FOTOGRAFÍA:

En una fotografía de las utilizadas corrientemente en fotogrametría, un operador puede detectar más de 20.000.000 de objetos de hasta 0.5m de diámetro, 16 tonalidades de gris, resolución de 10 líneas / m.m., unos 81.000.000 de bits de información, con una cobertura de cerca de 5 km², para una fotografía a escala de 1: 10000.

Generalmente, en una de sus márgenes las fotografías contienen:

- * Fecha de toma de la fotografía.
- Hora de exposición.
- La Altura Absoluta de vuelo (indicada por el altímetro).
- La posición de la brújula del nivel esférico, en el momento de la exposición.

- La distancia focal de la lente.
- Número del Vuelo.
- Consecutivo numerado de las fotografías.
- Número del rollo al que pertenecen las fotografías.
- Marca de colimación o marca fiducial colocada en la parte media de cada uno de los bordes de la copia de contacto (fotografía).

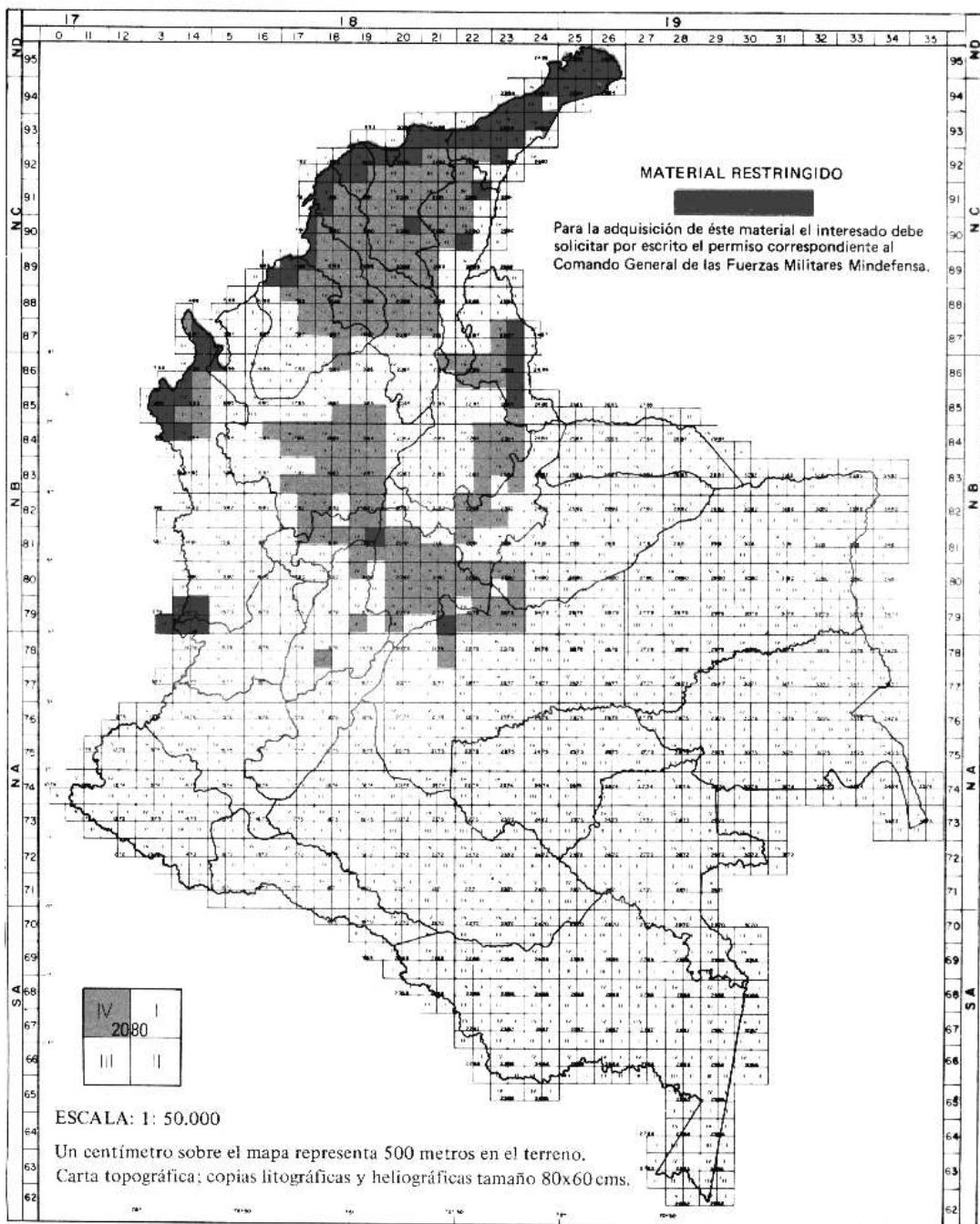
1.5.6. CONSULTA DEL MATERIAL FOTOGRAMÉTRICO:

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi, es la entidad del Orden Nacional, bajo cuya responsabilidad esta la toma de las fotografías aéreas, de radar y de satélite y su control en todo el país. Las fotografías pueden ser consultadas o adquiridas en los Centros de Información Geográfica de Bogotá o de cualquiera de las capitales de Departamento, atendiendo al siguiente procedimiento técnico de consulta:

1.5.6.1. Se localiza en forma aproximada sobre un mapa a escala 1: 1.500.000 dividido en cuadrángulos, el punto o área de consulta requerido. Se determina luego el número del cuadrángulo correspondiente, dado por sus coordenadas geográficas en el citado mapa.

1.5.6.2. Con el número del cuadrángulo, se solicita la plancha correspondiente a escala 1: 100.000, sobre el cual se demarcan los ejes de vuelo de los recorridos efectuados. En cada línea de vuelo hay una serie de cifras y letras, las cuales identifican el tipo de vuelo y el número del sobre, datos con los cuales se localizan las fotografías en los respectivos archivos. Se solicita el sobre con la faja de vuelo más cercana a la zona de interés. En algunos casos es factible hacer observación mas detallada del sitio requerido a escalas 1:50.000 ó 1: 25.000 que permiten una mejor aproximación al terreno. Véase figura 1.12.

1.5.6.3. Luego de entregado el sobre que contiene la faja de vuelo que cubre o encierra la zona ó puntos requeridos, se detallan estos mediante la observación simple o con la ayuda de diferentes tipos de estereoscopios.



Planchas topográficas producidas por el Centro Topográfico de la Agencia Cartográfica de Defensa de los Estados Unidos de América (TOPOCOM) con base en las planchas en escala 1: 50.000 del IGAC.

FIGURA 1.12. PLANCHA ESCALA 1: 50.000 I.G.A.C.

1.6. NITIDEZ DE LA FOTOGRAFÍA:

En atención a todo lo descrito anteriormente puede decirse que la nitidez de una fotografía depende de :

- 1.6.1.** La cantidad de luz incidente.
- 1.6.2.** El tiempo de exposición.
- 1.6.3.** La abertura del diafragma.
- 1.6.4.** La sensibilidad de la emulsión

1.7. FUNDAMENTOS GEOMÉTRICOS DE LA FOTOGRAFÍA :

Desde el punto de vista de la geometría, la fotografía es una proyección central en la cual a cada punto del plano del objeto (plano del terreno) le corresponde un punto del plano de la fotografía y del plano del negativo, y recíprocamente. A esta terna de puntos se les denomina PUNTOS HOMÓLOGOS y están ligados por la siguiente ley: el punto objeto, el punto imagen y el centro óptico de la cámara están en línea recta. En realidad el objetivo de una cámara fotográfica no esta compuesto de una lente sencilla sino de un sistema de lentes, lo que obligaría a definir los puntos cardinales del sistema (focos, puntos principales, planos principales y puntos nodales) para definir la distancia focal (f) ; sin embargo para efectos de lo que se pretende, resulta más sencillo considerar el objetivo como una lente simple.

De la óptica y en consideración de la Ley de Newton se tiene:

$1 / \text{distancia focal} = 1 / \text{distancia al objeto} + 1 / \text{distancia a la imagen}$

$$1 / f = 1 / Z + 1 / c \text{ (ECUACIÓN 1)}$$

Teóricamente la distancia a la imagen (c) y la distancia focal (f) no son iguales, pero dado que la cámara aérea siempre enfoca al infinito, debido a la distancia tan considerable entre esta y el terreno, desde el punto de vista práctico como el valor de Z es mucho mayor que el de f puede decirse que $1 / Z$ tiende a cero y por consiguiente c tiende a valer f .

Por lo tanto la (ECUACIÓN 1) se convierte en :

$$1 / f = 0 + 1 / c$$

Es decir , $c = f$ ó lo que es lo mismo: La distancia entre el centro óptico (L) y la película es igual a la distancia focal (f). Véase figura 1.13.

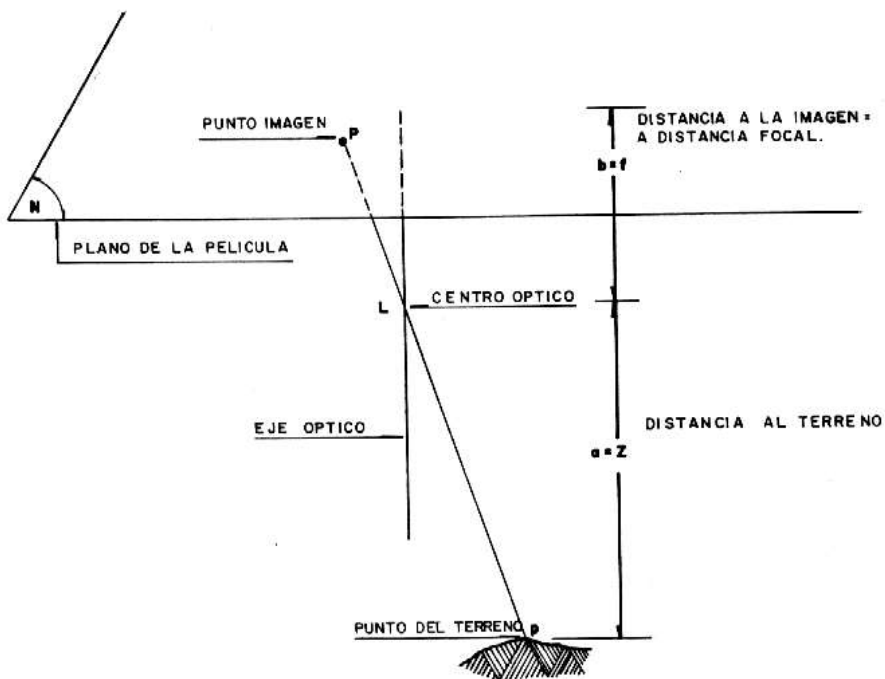


FIGURA 1.13. FUNDAMENTOS GEOMÉTRICOS DE LA FOTOGRAFÍA.

1.8. LECTURA COMPLEMENTARIA.

Documento tomado de Ineter

www.ineter.gob.ni/Direcciones/Geodesia/Fogrametria



Que es Fotogrametría?

Fotogrametría se deriva de las palabras griegas photos que significa "luz," gramma significa "dibujo" y metron que significa "medida;" o sea medición grafica por medio de luces.

La aplicación mas conocida de la Fotogrametría es la medición y compilación (recopilación de información) de mapas topográficos, complementada por las curvas de nivel, basada en mediciones e información obtenida de fotografías aéreas e imágenes espaciales; la compilación es usualmente realizada por instrumentos ópticos análogos, analíticos y digitales.

La Fotogrametría posee varias categorías siendo una de ellas la Estero fotogrametría, en la cual pares de fotografías aéreas con un área en común son observadas, medidas o interpretadas, usando dispositivos de vista estereoscópica, los cuales dan una tercera dimensión del área en común de las fotografías observada, y crea la ilusión que el observador esta viendo un modelo de relieve del terreno.

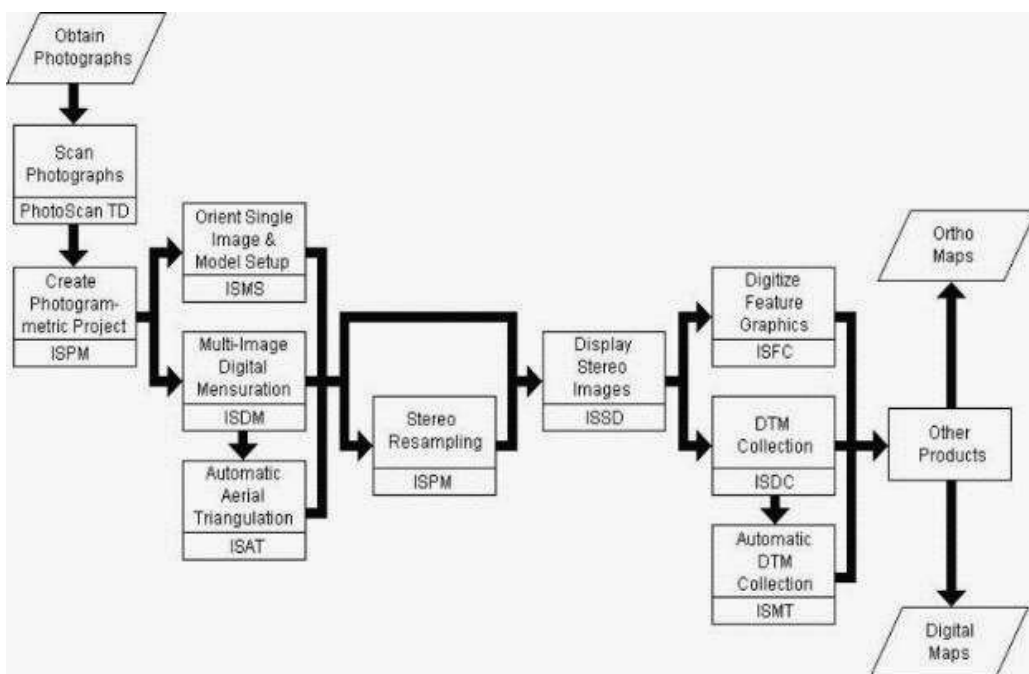
Que hace la Dirección de Fotogrametría?

La Dirección de Fotogrametría es la encargada de capturar las entidades (ríos, casas, caminos, etc.) del terreno, contenidas en las fotografías aéreas e imágenes satelitales, para confeccionar los mapas topográficos, ortofotomapas y datos que alimentan los sistemas de información geográficos (SIG), estas entidades pueden estar en dos o tres dimensiones, dependiendo del producto que se confeccione o los requerimientos de los usuarios, con formato de salida .dgn, .dwg o .dxf. Los ortofotomapas (mosaico de fotografías aéreas rectificadas), se confeccionan en papel fotográfico y/o en

formato digital con extensión .tif, los mapas topográficos se confeccionan en papel bond y/o formato igual a los datos para SIG. La Dirección de Fotogrametría también confecciona Modelos Digitales de Elevación (MDE) para análisis del relieve, ortofotomapas, curvas de nivel, etc., en nuestro laboratorio se procesan las fotografías aéreas para los trabajos fotogramétricos y la venta al público.

Todos los trabajos fotogramétricos son referidos al sistema terrestre en coordenadas planas (Este, Norte), y elevación (Z) referida al nivel medio del mar, la precisión y simbolización de los elementos del terreno están regidas por normas y estándares internacionales.

Procesos para la obtención de mapas y ortofotomapas.



Usando imágenes capturadas de fotografía aérea o de satélite y siguiendo el flujo de trabajo, el INETER pueden usar los productos de la ImageStation para obtener planimetría y planos topográficos. Los departamentos de transportes pueden usar los mismos

productos para la planificación de autopistas, puentes, túneles y otros proyectos.

En realidad, cualquier empresa que tenga una relación directa o indirecta con un sistema de información geográfica (SIG), ya sea para toma de datos, como para revisión.

Entrada de Datos PhotoSca TD



Para la fotogrametría la entrada de datos empieza con la toma de la imagen sea cual sea su origen: fotografías aéreas escaneadas en un sistema de gran precisión como el PhotoScan TD, o bien imágenes de satélite capturadas con sensores como el SPOT, y por último imágenes digitales capturadas con cámaras digitales, aunque este método hoy por hoy es el menos extendido.

El resultado que se obtiene está libre de distorsiones desde 7 a 224 micrones con una resolución geométrica de 1 micrón y una precisión de 2 micrones por eje.

El sistema de escaneo de alta resolución llamado PhotoScan TD, convertirá la información fotográfica en datos raster digitales. El sistema escanea tanto en blanco y negro como en color, de positivos o negativos. El sistema PhotoScan TD está compuesto de un módulo de software para escanear que trabaja sobre un PC y que incluye todos los parámetros para la calibración.

La ImageStationZ es un restituidor digital que corre sobre sistema operativo Windows NT, con 4 procesadores Intel Pentium Pro a 200 MHZ, 512 KB de cache en cada procesador, 128 MB de RAM ampliable a 512 hacen que esta maquina maneje las imágenes en estéreo en tiempo real de forma que sea rentable en una cadena de producción. El monitor panorámico, de 28 pulgadas junto con la tarjeta RealiZm y el sistema de gafas de cristal líquido hace que la visualización del relieve sea cómoda para el usuario tras la desaparición de los binoculares.



El uso de múltiples ventanas, con la posibilidad de visualizar en cada una de ellas diferentes imágenes o porciones de la misma a diferente resolución, libre de los límites físicos impuestos por los elementos ópticos.

DEFINICION DEL PROYECTO

En esta fase el operador establece una serie de datos del proyecto como son los datos de la cámara (focal, distorsión del las lentes, marcas fiduciales, ...), las coordenadas de los puntos de control o de apoyo y las unidades de medida. En esta fase el operador goza de la ayuda que le proporciona el producto ISPM, ImageStation Photogrammetric Manager. Este producto incluye las entradas a menús, cargas de datos masivas como los listados de los puntos de apoyo, generación de informes y de archivos ASCII de intercambio con los paquetes de AeroTriangulación más comunes.

TRIANGULACIÓN / ORIENTACIONES.

Después de la entrada de datos y su validación, el usuario puede tratar las imágenes con un proceso de AeroTriangulación, usando el producto ISDM, ImageStation Digital Mesuration, para medir y transferir puntos de paso, control, ... directamente sobre la foto digital. Una previa planificación del trabajo permite al operador ir identificando las imágenes que van siendo medidas, ordenarlas e identificar cada punto de paso que ha de ser medido en cada foto. El resultado es un croquis en las medidas que lleva al operador a un proceso de cálculo que tiene ya un importante componente automatizado.

ISDM proporciona resultados de los ajustes según se van obteniendo de los puntos de control y la transferencia de puntos de manera que el operador puede detectar inmediatamente cualquier tipo de fallo. Para los ajustes de AeroTriangulación las medidas pueden ser exportadas desde ISPM a cualquiera de los paquetes de AeroTriangulación de terceros (PatB, Pat-MR, Bingo, Bluh,..) disponibles en los PCs de Intergraph. Después de los ajustes, los resultados de la AeroTriangulación se pueden importar en ISPM para usarse en pasos posteriores en la cadena de producción.

Opcionalmente el fotogrametrista puede usar el producto ISMS, ImageStation Model Setup, para orientar las fotos digitales con respecto a unas coordenadas terreno y eliminar la distorsión de las lentes y la película de forma que no aparezcan en la visualización en estéreo.

CAPTURA DE ENTIDADES:



Uno de los procesos que consumen más tiempo es la captura de los datos y su codificación como entidades del SIG a partir de las fotografías aéreas vistas en estéreo. El operador lleva a cabo miles de

operaciones en este proceso en el día. Sin embargo el operador puede optimizar estos procesos utilizando el producto MSFC, MicroStation Feature Collection, para minimizar la interacción con el producto de captura de datos. El paquete se compone de una serie de menús y formularios de entrada de datos que aparecen en la misma pantalla que los datos capturados teniendo todo ello una interfaz de usuario homóloga y sencilla.

El usuario define las características gráficas de los elementos a través de una tabla que se activa al ir a restituir permitiéndonos una selección automática de los elementos.

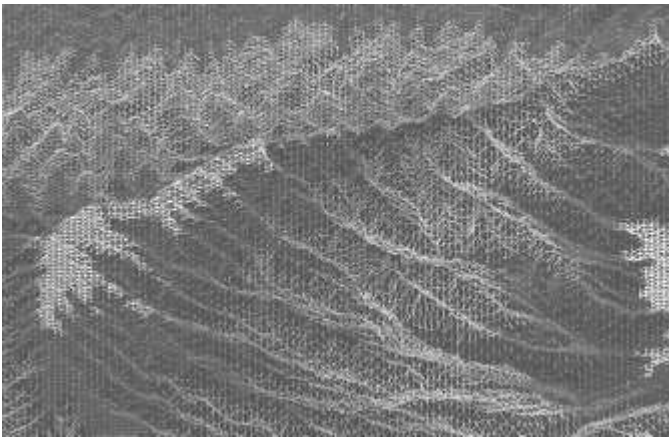
El fichero gráfico con esta serie de características puede integrarse con herramientas muy sencillas y automáticas al SIG, en este caso estaremos hablando del producto MGE, Modular GIS Environment, el cual incluye todas las opciones para la captura de datos geográficos, consultas, análisis, visualización y obtención de salidas.

MSFC, además porta el mismo tipo de interfaz de usuario que para el restituidor analítico Intermap (IMD) y puede ser utilizado

también en restituidores analógicos. Con esta característica se compatibiliza mucho más cualquier captura de datos en los diferentes entornos, analógico, analítico y digital.

También es utilizado para revisión de datos sobre la pantalla de forma que sobre una imagen visualizada en modo monoscópico sirva como base para una digitalización.

CAPTURA DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO (DTM):



La captura y edición fiable de los modelos digitales de terreno forma parte de la mayoría de los proyectos. Para automatizar de alguna forma este proceso, así como el anterior, es imprescindible tener:

- ✓ Una magnífica visión estéreo por debajo de la visualización de los vectores cada uno con su
- ✓ Una interfaz de usuario muy versátil
- ✓ Potencia suficiente para poder manejar bien las imágenes
- ✓ Capacidad de realizar la edición y el control de calidad del modelo digital del terreno en modo estéreo. El restituidor digital sobre Windows-NT proporciona todos estos elementos.

La captura de los datos del Modelo Digital del Terreno desde fotografía aérea digital o desde imagen de satélite se realiza de forma interactiva o en modo batch. El operador puede definir las áreas de captura que pueden corresponderse al modelo estéreo completo o a un trozo menor, y capturar datos dentro de zonas llamadas oscuras o de mayor dificultad.

Un procesador automático es el ISMT, ImageStation Match-T, desarrollado por INPHO GmbH, Stuttgart, Alemania, genera los Modelos de Terreno automáticamente a partir de imágenes digitales aéreas en estéreo.

GENERACIÓN DE ORTOFOTOS:



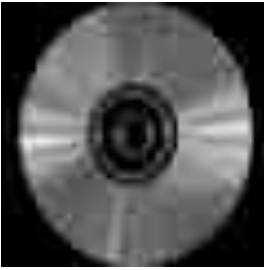
En un flujo de generación de ortofotos el operador rectifica una foto aérea o de satélite eliminando así los efectos del relieve y las aberraciones presentes en toda fotografía perspectiva estándar.

El producto BRECT, ImageStation Image Rectifier, permite al usuario obtener ortofotos partiendo de las fotografías originales y del resultado de procesar el Modelo de Terreno con MSM, MGE Terrain Modeler, y obtener un modelo de triángulos o de malla. El resultado de este proceso se puede utilizar como fondo de un Sistema de Información Geográfico para la digitalización sobre pantalla o para la simple generación de mapas de ortofotos.

En general el área a rectificar estará compuesta por más de una fotografía de manera que tras obtener cada una de las ortofotos el operador tratará de casar los diferentes contrastes y tonalidades a lo largo de una línea de manera que en la imagen final no se detecten las diferentes imágenes que la componen.

SALIDA

Digital:



La conversión de los datos a formato digital es el paso esencial para la completa automatización de cualquier flujo de ingeniería o cartografía. Una vez este paso se ha conseguido las siguientes aplicaciones en la cadena se beneficiarán de esta automatización. Una imagen en formato digital puede ser el fondo a cualquier cartografía en un proyecto SIG, a la arquitectura y a la ingeniería civil, por ejemplo. Existen también otras ventajas. Los trabajos de revisión son mucho más eficaces y el almacenamiento de los datos en cinta o disco óptico hacen que estén más accesibles para trabajos posteriores.

Impresión:

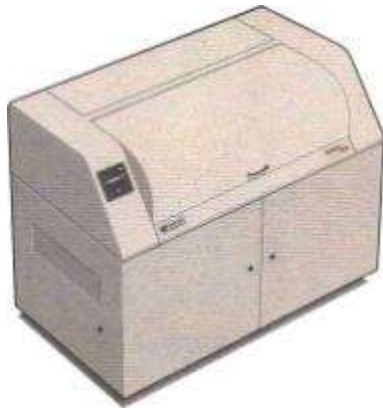
HP 750C



Para la generación de copias en papel se utiliza el software de Intergraph llamado I/Plot y obtener salidas en un gran número de dispositivos, incluyendo plotters térmicos, de chorro de tinta, electrostáticos y de plumas. Si la salida requiere gran calidad y características cartográficas como títulos, leyendas, retículas, entonces el usuario puede beneficiarse del MGFN, Intergraph's MGE Map Finisher, producto que le ofrece herramientas de ayuda en este campo y la facilidad de añadirlas a entidades cartográficas capturadas previamente.

El operador puede también clasificar datos tales como los usos del suelo, población, tipo de vegetación y utilizar colores especiales, patrones, cases y fuentes de texto. Para La comprobación previa a la salida el usuario puede generar un "what you see is what you get" en la pantalla y realizar cualquier corrección en el fichero de diseño y de enviarlo al plotter, impresora o filmadora.

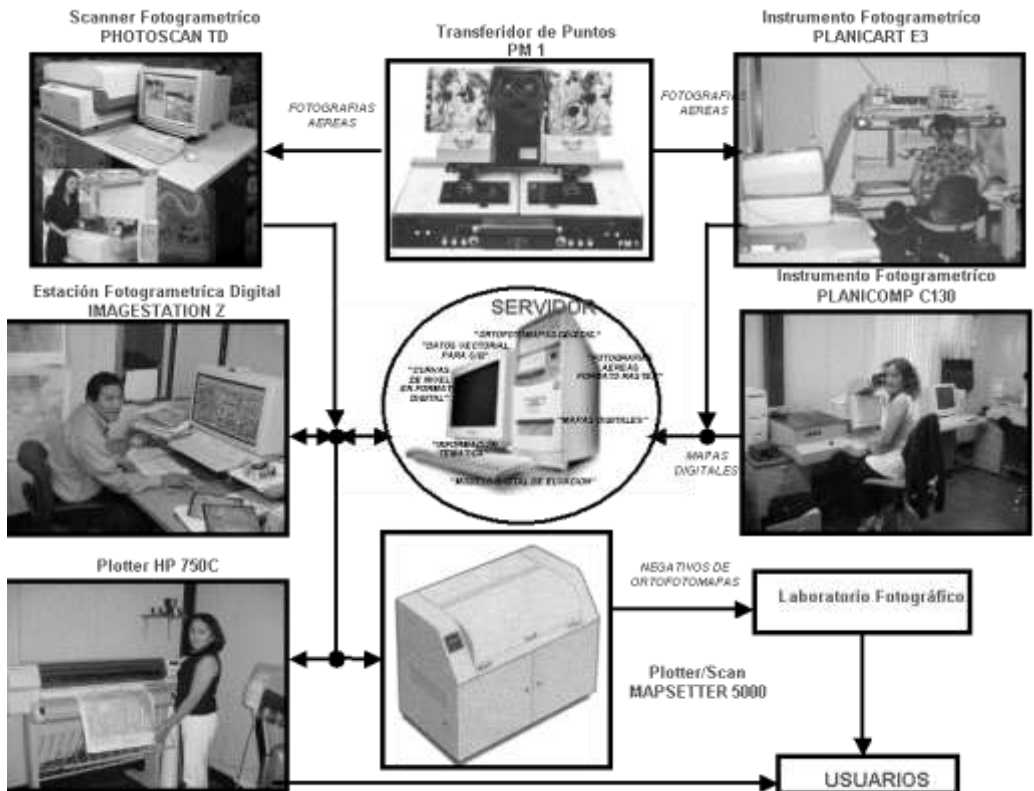
Publicación de mapas híbridos raster y vector:



Si la salida final es una ortofoto-mapa o un mapa publicado, las herramientas para dicho tipo de impresión las proporciona MGE Map Publisher, que cumple todos los requisitos cartográficos para la publicación y reproducción. Con Map Publisher el usuario sigue el mismo flujo de trabajo que en cartografía digital. Varias fotografías representando líneas, textos, áreas de diferentes tintas y símbolos de la cartografía son procesadas para generar

ficheros raster diferenciados que representen cada una de las separaciones de color, tramados y compuestos. Estos ficheros son posteriormente filmados en filmadoras de alta resolución como la MapStter de gran formato. La salida final es apta para publicación sin necesidad de ningún retoque adicional

INSTRUMENTOS DE FOTOGRAMETRÍA INSTALADOS EN INETER



1.9. EJERCICIOS Y PROBLEMAS

Item

F V

- 1.9.1.** En una fotografía de un terreno montañoso la escala no es necesariamente constante para todos los puntos de la fotografía.
- 1.9.2.** El almacén de la cámara es la parte donde se encuentra incorporado el sistema de lentes.
- 1.9.3.** El diafragma es un dispositivo que permite variar el tamaño del orificio que da paso a la luz que incide en el sistema de lentes y actúa sobre la película emulsionada.
- 1.9.4.** Las cámaras de bastidor pueden ser utilizadas como cámaras de reconocimiento.
- 1.9.5.** Todos los siguientes factores afectan: la nitidez de la foto:
- Cantidad de luz incidente
 - La sensibilidad de la emulsión
 - El foco de la cámara
 - La abertura del diafragma
- 1.9.6.** Una fotografía inclinada es aquella que en el momento de ser tomada el eje óptico es inclinado adrede para obtener una panorámica.
- 1.9.7.** Las cámaras de bastidor no pueden ser utilizadas como cámaras de reconocimiento.
- 1.9.8.** La medida de longitudes sobre fotografías aéreas no es precisa, debido principalmente a la poca precisión de los instrumentos de medida.
- 1.9.9.** Las cámaras de reconocimiento casi siempre pueden ser empleadas para mediciones fotogramétricas.
- 1.9.10.** Dos fotografías aéreas verticales de terreno plano horizontal tienen la misma altura de vuelo y el mismo formato Se concluye que presentan la siguiente característica tienen diferente altura de vuelo relativa al terreno.

- 1.9.11.** El tiempo de exposición de la fotografía aérea es controlado por el diafragma y puede ser de hasta 1/2000 seg.
- 1.9.12.** El efecto sobre la emulsión de la fotografía está controlado por el obturador de la cámara.
- 1.9.13.** El tiempo de exposición, la sensibilidad de la foto y la cantidad de luz incidente influyen en la nitidez de la foto.
- 1.9.14.** Son imágenes de percepción remota las obtenidas por satélites, radares y escaneadoras.
- 1.9.15.** El almacén de la cámara sirve de soporte al obturador y al sistema de vacío.

ESCOGENCIA MÚLTIPLE:

1.9.16. La fotografía inclinada se define como:

- a. Aquella que al ser tomada cambia la altura de vuelo.
- b. Aquella que en el instante de toma, el eje de la cámara está inclinado respecto a la vertical.
- c. Aquella que en el momento de la toma el eje de la cámara está inclinado adrede para obtener una panorámica.
- d. Aquella que en el momento de la toma, presenta desviación del eje de la cámara respecto a la línea de vuelo.

1.9.17. La nitidez de la foto no depende de:

- a. Sensibilidad de la emulsión.
- b. Distancia focal.
- c. Cantidad de luz incidente.
- d. Abertura del diafragma.

1.9.18. La fotografía inclinada se define como:

- a. Aquella que en el momento de la toma de la foto, presenta desviación del eje de la cámara.
- b. Aquella que en el momento de la toma de la foto, el eje de la cámara es inclinado adrede para obtener una fotografía panorámica.
- c. Aquella que en el momento de la toma de la foto modifica su altura de vuelo.

- d. Aquella que en el instante de la toma de la foto el eje de la cámara está inclinado respecto de la vertical.

1.9.19. De las siguientes aplicaciones de la fotogrametría solo una no es cierta:

- a. En la restauración de obras de arte e ingeniería.
- b. Diseño de canales de riego.
- c. Cuantificación de reservas probadas de una mineralización de oro de veta.
- d. Zonificación de bosques tropicales.
- e. Definición del área a ocupar por una central hidroeléctrica.

1.9.20. La cámara más utilizada en fotogrametría es:

- a. De faja continua.
- b. De bastidor.
- c. Panorámica.
- d. De obturador fijo.

DEFINICIONES:

1.9.21. Obturador de la cámara es:

1.9.22. La nitidez de la foto depende de:

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____

1.9.23. Las fotografías en función de la inclinación del eje de la cámara se clasifican en:

- 1. _____
- 2. _____
- 3. _____
- 4. _____

5. _____
6. _____

1.9.24. Las Cámaras se clasifican según el uso en:

1. _____
2. _____
3. _____

1.9.25. Las Cámaras según la longitud focal se clasifican en:

1. _____
2. _____
3. _____

1.9.26. Según el ángulo de proyección del objetivo las cámaras se clasifican:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

1.9.27. Según la estructura las cámaras se clasifican en:

1. _____
2. _____
3. _____

1.9.28. Son partes de la cámara fotográfica:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____

1.9.29. Las fotografías se clasifican en función de la inclinación del eje de la cámara en:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____

1.9.30. Según la emulsión de la película las fotografías se clasifican en:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____

2. DEFINICIÓN DE ELEMENTOS GEOMÉTRICOS Y DE LA ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA.

2.1. DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LA FOTOGRAFÍA.

2.1.1. PUNTOS HOMÓLOGOS (P, p) : Es aquel punto del plano del objeto o del terreno que tiene su representación en el plano de la foto o en el plano del negativo. Véase figura 1.13.

2.1.2. CENTRO ÓPTICO (L) : Punto donde se reúnen todas las rectas proyectantes. Otra definición: centro del objetivo o del sistema de lentes. Véanse figuras: 1.13 , 2.1.

2.1.3. RECTA PROYECTANTE O LÍNEA PROYECTANTE (Pp)
Toda recta que pasa por el centro óptico de la cámara. Véase figura 1.13.

2.1.4. EJE ÓPTICO: Línea proyectante perpendicular al plano del negativo. Véase figura 1.13.

2.1.5. LÍNEA NADIRAL: Línea o recta proyectante que siguiendo la dirección vertical (dirección de plomada) corta el plano del negativo el plano de la foto, el plano del objeto (terreno) y el plano de referencia (DATUM). Véase figura 2.1.

2.1.6. NADIR DE LA FOTO (n) : Punto de intersección del plano de la foto con la proyectante vertical trazada por el centro óptico de la cámara. Véase figura 2.1.

2.1.7. NADIR TERRESTRE O NADIR EN EL PLANO DEL OBJETO (N): Punto de intersección del plano del objeto (plano del terreno) con la Proyectante vertical trazada por el centro óptico de la cámara. Véase figura 2.1.

2.1.8. PLANO PROYECTANTE: Todo plano que pasa por el centro óptico. Véase figura 2.2. y figura 2.3.

2.1.9. LÍNEAS HOMÓLOGAS: Son las intersecciones de un plano proyectante con el plano del negativo, el plano de la foto, el plano del objeto (plano del terreno) o el plano de referencia (DATUM). Véase figura 2.2.

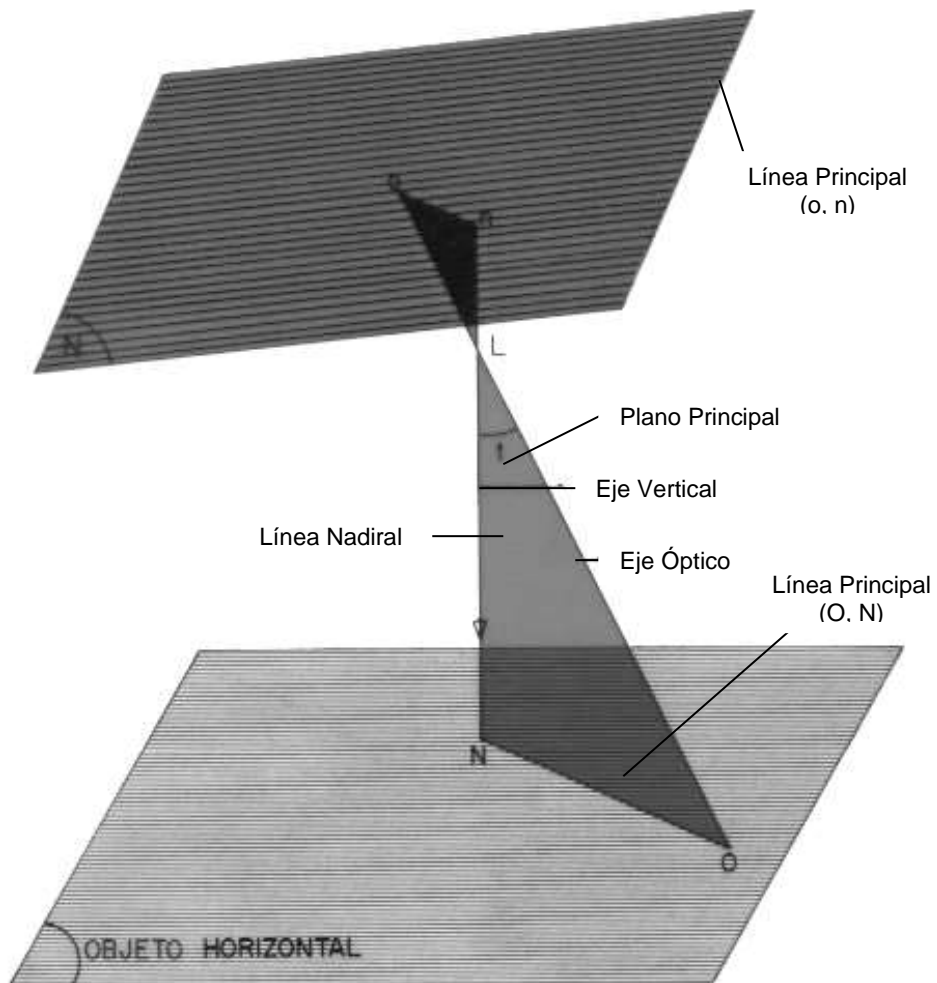


FIGURA 2.1 FOTO INCLINADA TERRENO SIN RELIEVE.

2.1.10. PLANO PRINCIPAL (nioLNIO): Es el plano definido Por el eje óptico y la línea nadiral cuando estas dos líneas no son coincidentes (fotografía inclinada). Véase figura 2.2. y figura 2.3.

2.1.11. LÍNEA PRINCIPAL (nio ó NIO): Intersección del plano principal con el plano del negativo, el plano de la foto, el plano del objeto (plano del terreno), plano de referencia (DATUM). Otra definición : recta formada por el punto nadir, el isocentro y el punto principal en el plano del negativo, el plano de la foto, el plano del objeto (plano del terreno) , y el plano de referencia (DATUM). Véase figura 2.1.

2.1.12. ISOCENTRO: Intersección de la bisectriz del ángulo de inclinación con el plano del negativo, el plano de la foto, el plano del objeto (plano del terreno) y el plano de referencia (DATUM).

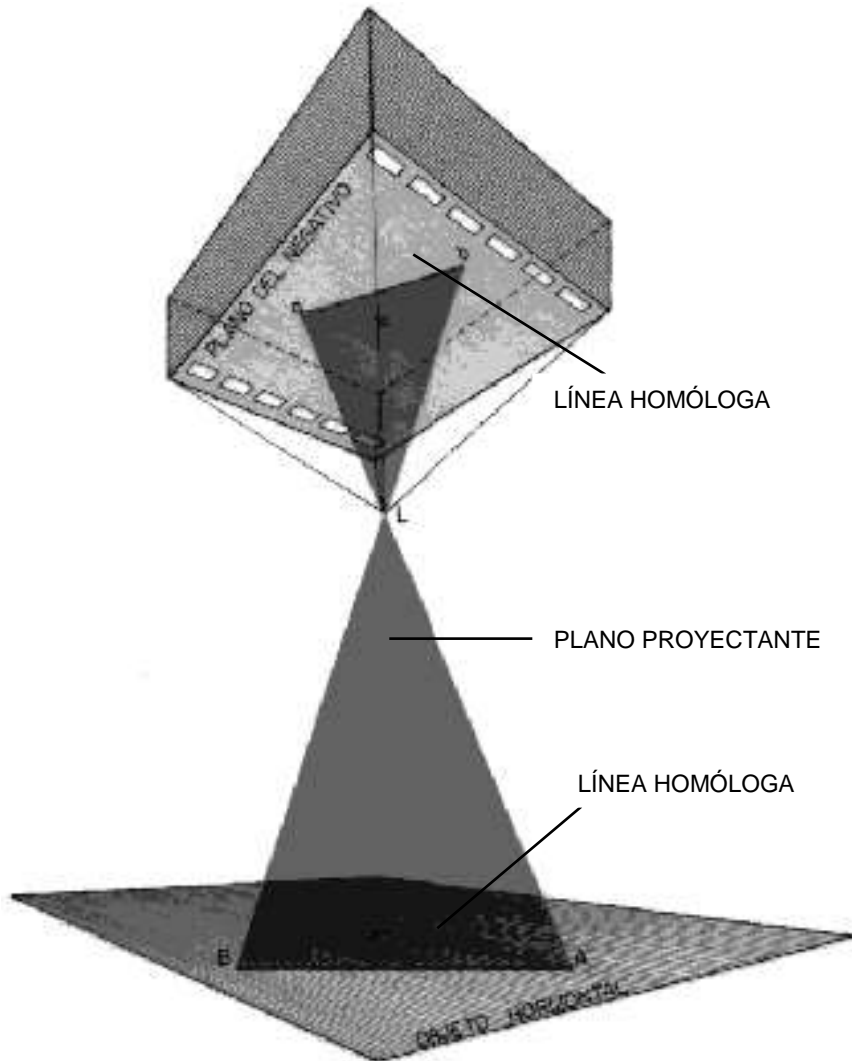


FIGURA 2.2. FOTO INCLINADA TERRENO SIN RELIEVE.

2.1.13. ESTACIÓN DE EXPOSICIÓN (L_1 , L_2) : Es el punto del espacio ocupado por la cámara en el momento de la toma de la fotografía. Véase figura 2.5.

2.1.14. EXPOSICIÓN: Tiempo durante el cual recibe la luz la placa o película emulsionada.

2.1.15. DISTANCIA FOCAL (f): Distancia entre el centro óptico y el plano de la foto ó el plano del negativo. Véase figura 2.1. y figura 2.3.

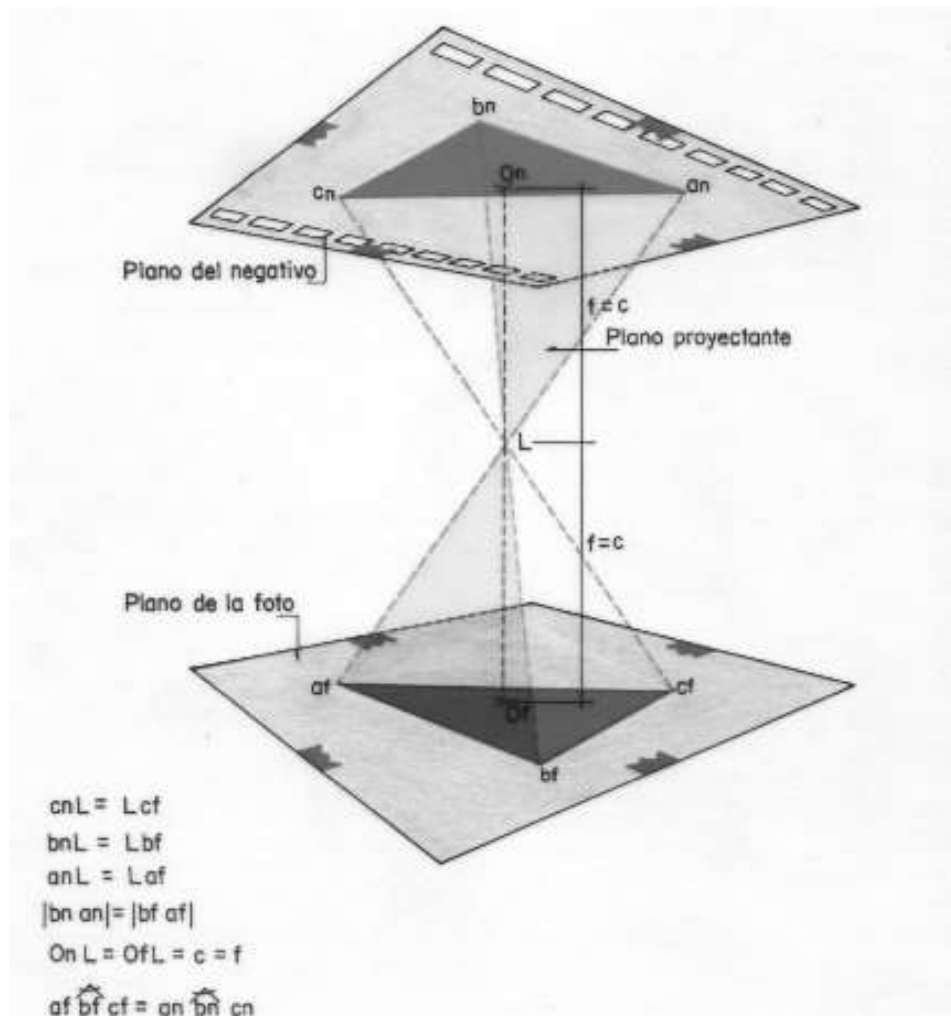


FIGURA 2.3. PLANO DEL NEGATIVO Y PLANO DE LA FOTO.

2.1.16. ALTURA ABSOLUTA DE VUELO (H): Elevación del avión sobre el nivel del mar en el momento de la toma de la foto. Otra definición: distancia entre el centro óptico y el plano de referencia o DATUM. Véase figura 2.9.

2.1.17. ALTURA DE VUELO RELATIVA AL TERRENO (Z): Distancia entre el centro óptico y el plano del objeto o el punto en el Terreno. Véanse figuras: 1.13, 2.9.

2.1.18. COTA (h): Es la distancia existente entre el plano de Referencia o Datum y el plano del Objeto. Véase figura 2.9.

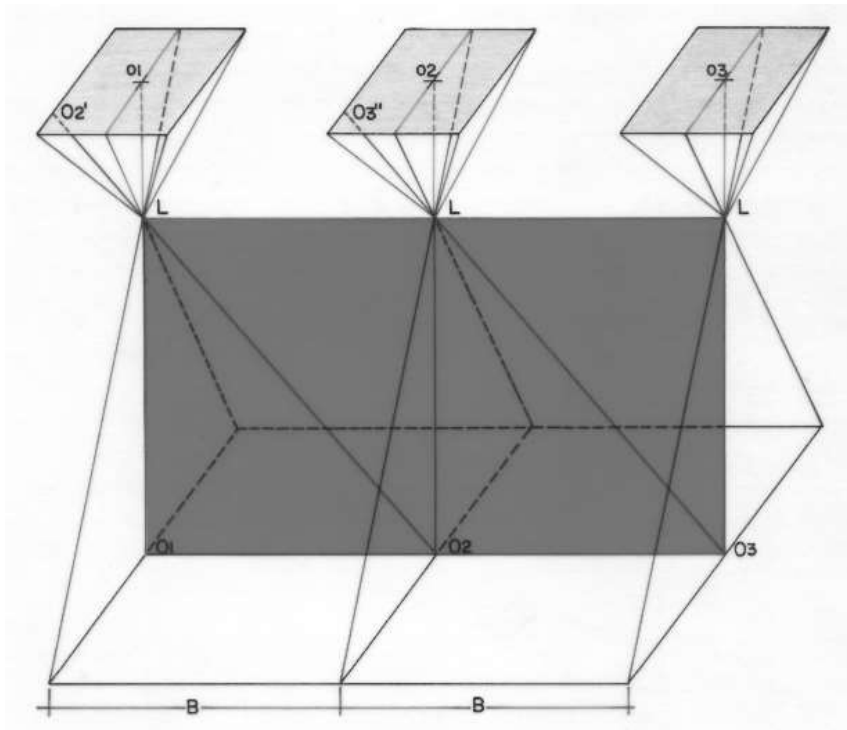


FIGURA 2.4. BASE AÉREA.

2.1.19. BASE AÉREA (B): Distancia en la dirección de la línea de vuelo entre la exposición de dos fotografías consecutivas. Véanse figuras: 2.4., 2.5., 2.6.



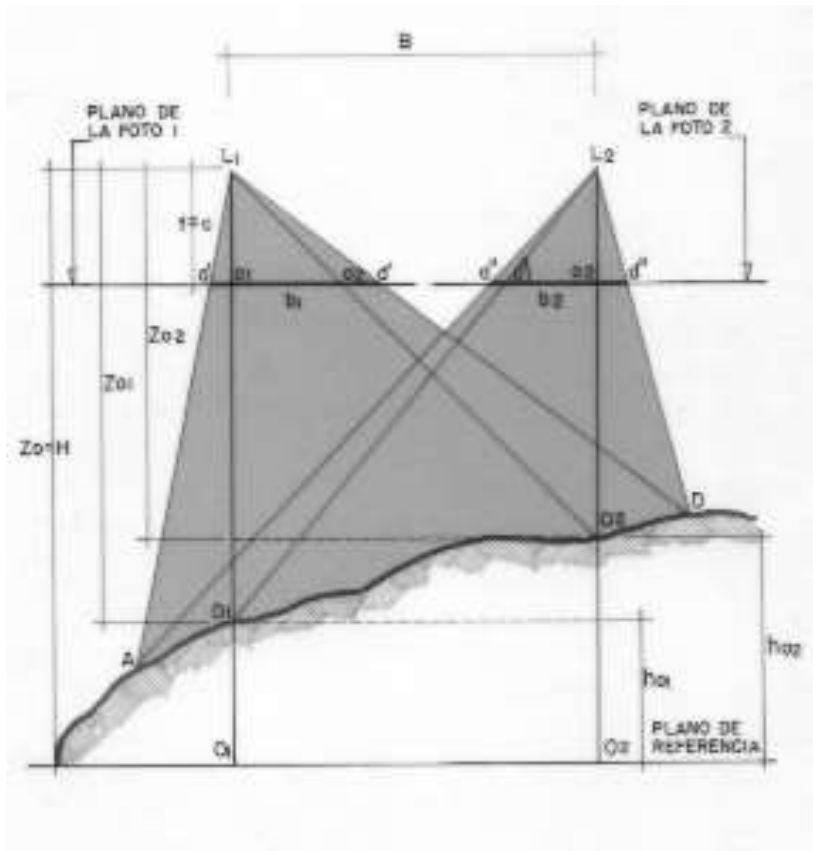


FIGURA 2.5. IMAGEN DE LA BASE AÉREA Y TRASLAPO LONGITUDINAL.

2.1.20. LÍNEA DE VUELO (o_1, o'_2, o''_1, o_2): Es la línea que marca la trayectoria del avión. En la fotografía se visualiza por la unión de los centros de las fotografías y las imágenes de los centros adyacentes de fotografías consecutivas. En cada fotografía es posible determinar tres puntos uno principal y dos transferidos de las fotografías adyacentes los cuales definen o una recta o una curva. Si la línea de vuelo es una curva los puntos principales sucesivos configuran una poligonal, conforme a los cambios de dirección se vayan produciendo. Véanse figuras: 2.4. , 2.5. , 2.6.

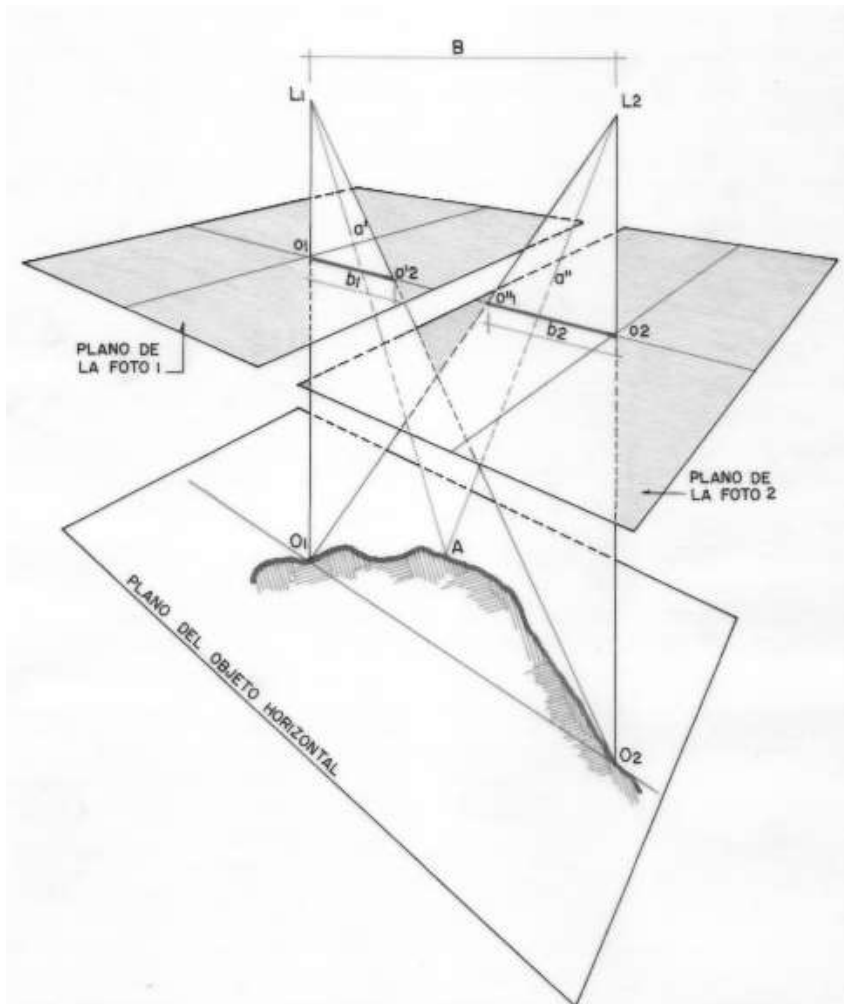


FIGURA 2.6. IMAGEN DE LA BASE AÉREA EN FOTOS CONSECUTIVAS.

2.1.21. ISOLÍNEA: Es la línea del plano de la fotografía que es perpendicular a la línea principal y pasa por el isocentro. Corresponde a la intersección de una fotografía vertical y una fotografía inclinada tomadas desde el mismo centro óptico. En esa línea ambas fotografías poseen la misma escala.

2.1.22. MARCAS FIDUCIALES O DE COLIMACIÓN: Son señales colocadas en los puntos medios de los costados de la fotografía, las cuales al unirse determinan el centro de esta (o). Véase figura 2.7.

2.1.23. EJES: Son los formados en la fotografía por la unión de las marcas fiduciales y reciben los nombre de eje **x** y eje **y** ; son perpendiculares entre sí y es posible darse la coincidencia entre la línea de vuelo y el eje **x** . Véase figura 2.7.

2.1.24. FORMATO: Es el marco o recuadro que limita la imagen fotográfica. Tiene forma cuadrada en dos tamaños 18 cm. x 18 cm. ó 23 cm. x 23 cm. o forma rectangular. Véase figura 2.7.

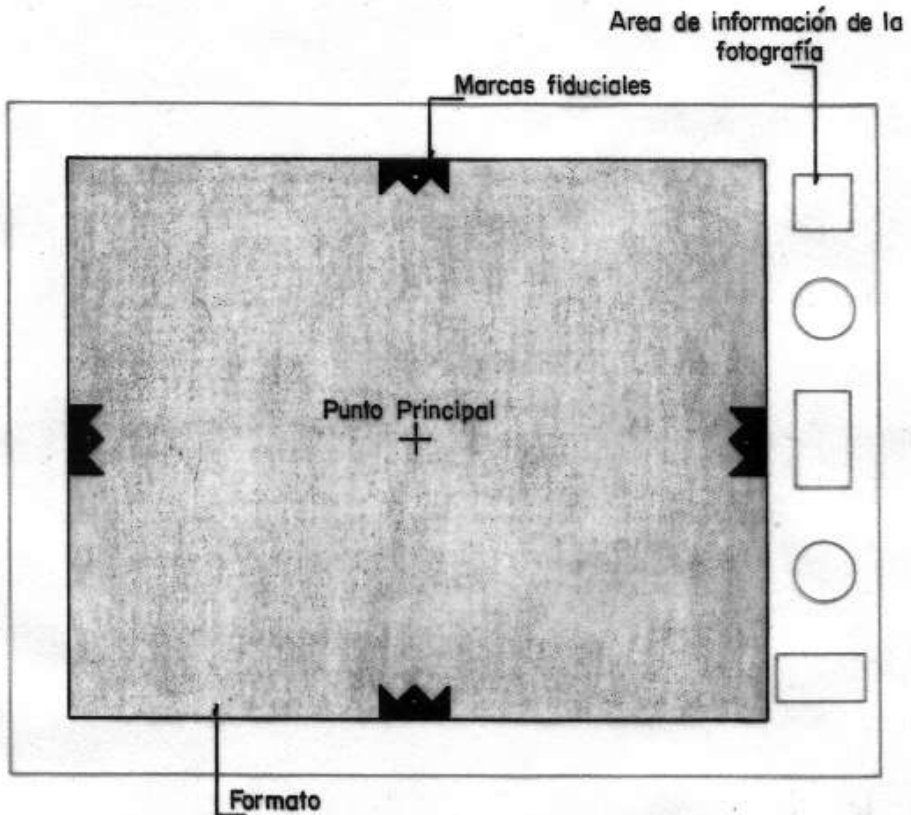


FIGURA 2.7. PLANO DE LA FOTO.

2.1.25. CAMPO ANGULAR: Ángulo en el vértice del cono de luz que atraviesa el objetivo para formar la imagen. Se mide sobre la diagonal del formato.

2.1.26. AMPLIACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA FOTOGRAFÍA: La fotografía original se obtiene a una determinada escala, a partir de un negativo que permite obtener una copia positiva, por copia de contacto o proyectando

el negativo a una distancia igual a la distancia focal (f). Si se desea obtener una reducción, la proyección debe hacerse a una distancia inferior a la distancia focal y si lo que se desea obtener es una ampliación debe utilizarse una distancia superior a la distancia focal.

2.1.27. TRASLAPO LONGITUDINAL: Corresponde a la zona común de fotografías consecutivas recubiertas. Es lo que permite con la utilización del estereoscopio la visualización del terreno de manera tridimensional. Véase figura 2.8.

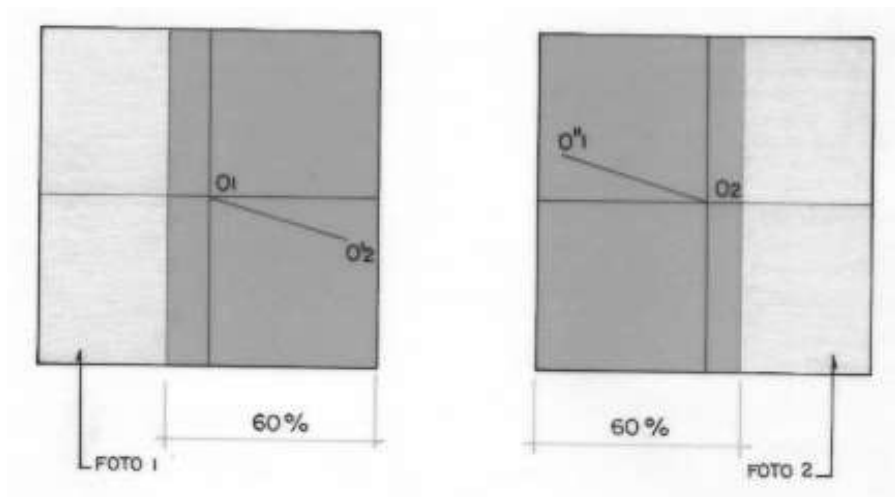


FIGURA 2.8. TRASLAPO LONGITUDINAL.

2.2. ESCALA DE LA FOTO VERTICAL (E).

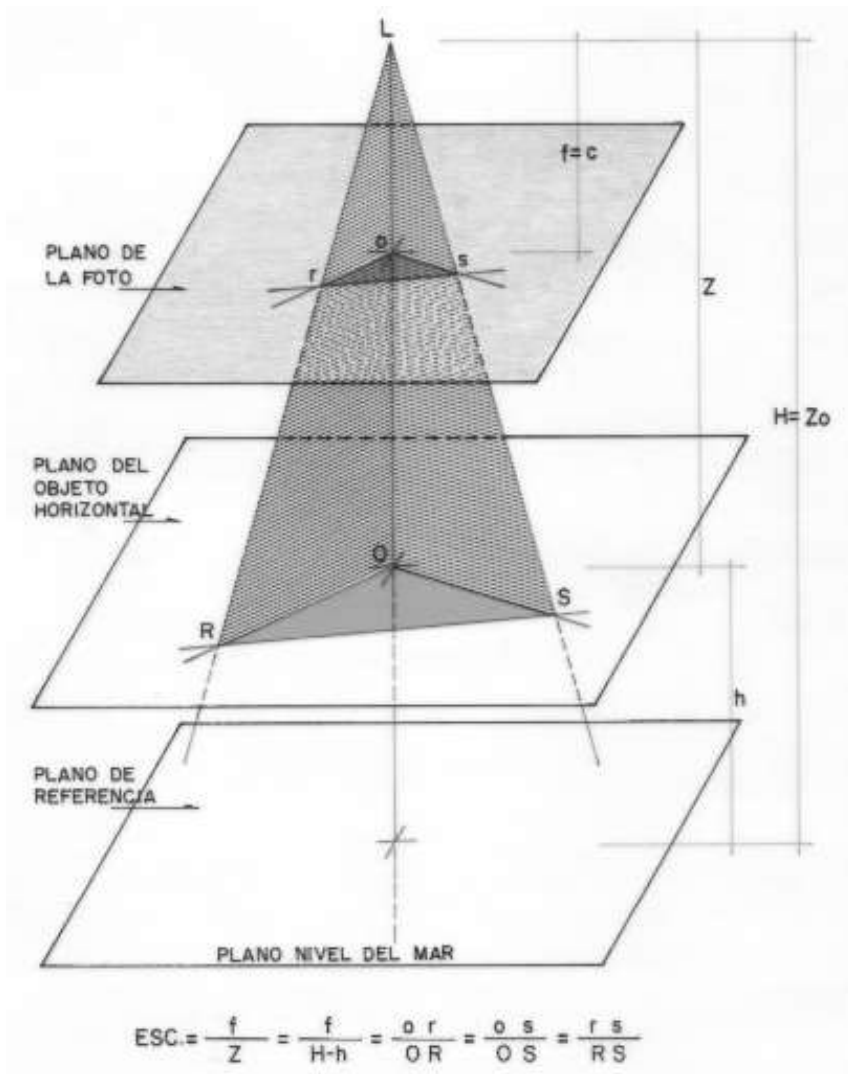


FIGURA 2.9. ESCALA DE LA FOTO VERTICAL.

Para efectuar la demostración del teorema y sustentación geométrica de la escala de la fotografía vertical, se utiliza el gráfico de la figura 2.9. Y se valida en función del teorema de Tales de Mileto: Haz de rectas interceptadas por planos horizontales paralelos, definen segmentos homólogos

proporcionales. Se asocia también con la definición de que escala es la relación de proporcionalidad entre el objeto en el terreno y su imagen en el plano de la fotografía.

En la fotografía vertical, se tiene que el eje óptico es vertical, por lo cual el plano principal se convierte en la línea L_o ó LO , y la línea principal en el punto o en el plano de la foto ó el punto O en el plano del objeto.

Debe considerarse que se tiene una fotografía vertical de un terreno sin relieve. El haz de rayos que pasa por el centro óptico (L) atraviesa los planos de la Foto, el plano del Objeto y el plano de Referencia o Datum. Se tiene:

Plano de la Foto (F) \parallel al plano del objeto (OBJ) \parallel al plano de Referencia ($Datum$), los cuales además son horizontales.

La línea L_o es perpendicular al plano de la foto (F).
 La línea L_o es perpendicular al plano del Objeto (OBJ).

La pirámide triangular de vértice L y de base OSR es cortada por el plano horizontal y paralelo al plano de la base, el plano de la Foto (F), lo que permite la conformación de las pirámides triangulares semejantes: $L(ors)$ $L(ORS)$, y a la vez de los planos proyectantes SLO que contiene la línea recta SO y el plano proyectante RLO que contiene la línea recta RO .

Por las anteriores consideraciones se puede afirmar la proporcionalidad y semejanza de los triángulos: ΔLrs y ΔLRS y de ΔLor y el ΔLOR , y de las líneas rectas: rs , RS ; y L_o , LO .

Se tiene:

$$L_o / LO = rs / RS = E. \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde E equivale a la relación de proporcionalidad entre las mencionadas líneas homólogas semejantes.

De acuerdo con denominaciones anteriores se tiene:

$$LO = f \quad \text{y} \quad LO = Z = H - h$$

Por tanto la ecuación 1. queda:

$$R_s / R_S = L_o / L_O = f / Z = f / (H - h) = E$$

Véase figura 2.10.

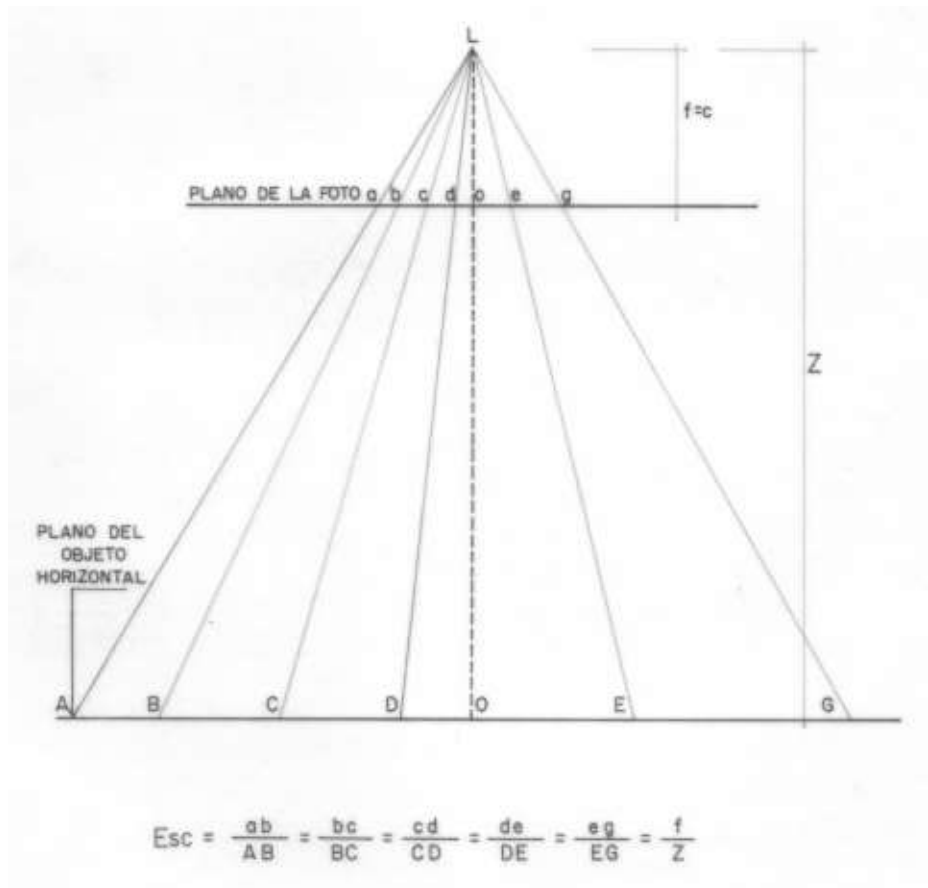


FIGURA 2.10. ESCALA DE LA FOTO VERTICAL TERRENO SIN RELIEVE.

2.2.1. ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA VERTICAL DE UN TERRENO CON RELIEVE.

En un terreno con relieve puede asumirse que por cada punto de diferente cota pasa un plano y por tanto habrá una escala diferente para cada plano y por tanto que hay múltiples escalas o que la escala es variable.

Los barridos fotográficos se hacen sobre terreno con relieve y se ejecutan utilizando valores de escala promedio. Véase figura 2.11.

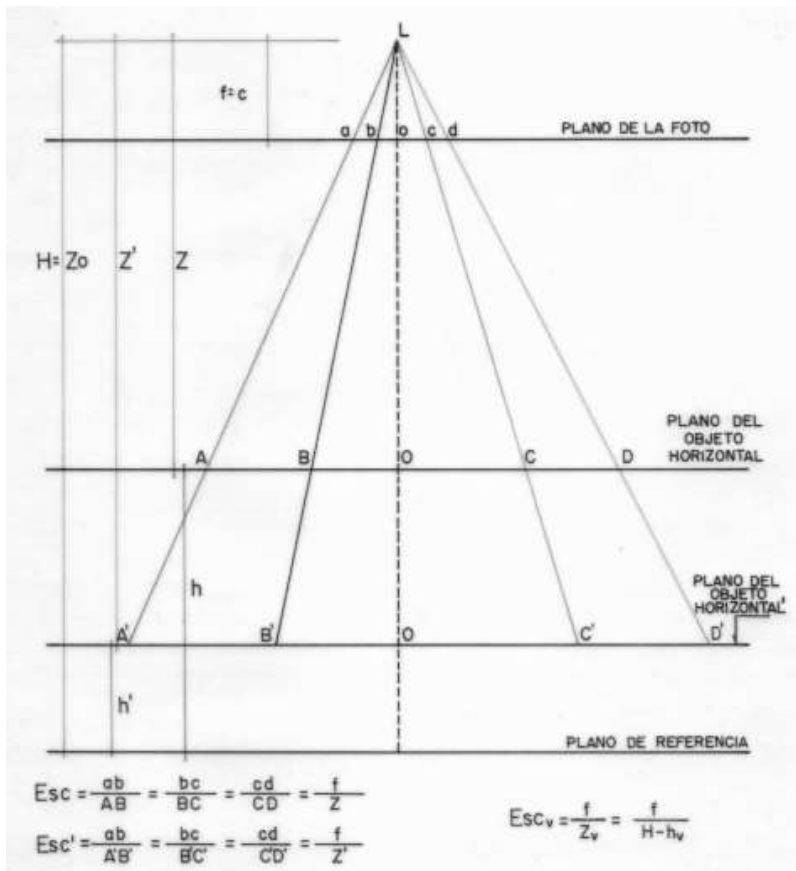


FIGURA 2.11. ESCALA DE FOTOGRAFÍA VERTICAL TERRENO CON RELIEVE.

2.2.2. ESCALA PROMEDIA: Puede ser obtenida de las siguientes maneras:

2.2.2.1. Como el promedio de las escalas extremas (escala máxima y escala mínima).

2.2.2.2. Como el promedio de las escalas de cada uno de los puntos.

2.2.2.3. Como la escala de la cota promedio de todos los puntos. Es la forma mas acertada.

2.2.3. MÓDULO ESCALAR (M) : Es el inverso de la escala.

$$M = 1 / E = Z / f = (H - h) / f.$$

2.2.4. ELEMENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLANO A DETERMINADA ESCALA:

Debe tenerse en cuenta lo siguiente:

2.2.4.1. Precisión altimétrica e intervalo entre curvas de nivel.

2.2.4.2. Requerimientos de foto interpretación.

2.2.4.3. El techo del avión, definido como la máxima altura a la cual puede volar el avión económicamente.

2.2.4.4. El costo.

2.3. LECTURA COMPLEMENTARIA

Documento tomado de Cartesia

www.cartesia.org/print.php?sid=30

2.3.1. UTILIZACIÓN DEL LÁSER PARA CARTOGRAFIAR LAS RUINAS DEL WORLD TRADE CENTER

Fecha 05-10-2001

Tema Topografía

Un mapa tridimensional permite estudiar la situación de la zona destruida por el atentado del 11 de septiembre. El dibujo determina si se producen movimientos en los escombros y traza las rutas más accesibles.



Desde el 15 de septiembre, un avión sobrevuela a 1.500 metros de altura los escombros de lo que fueron las Torres Gemelas de Nueva York, el World Trade Center (WTC). Un láser lanzado desde la panza de la nave toma más de 100.000 medidas para reconstruir después una imagen tridimensional de la zona destruida. Otro sistema láser experimental lanza un haz luminoso que mantiene a raya los edificios inseguros.

Moverse por entre el dantesco escenario es una difícil tarea. Enormes montañas de acero y hormigón se elevan a más de 30 metros de altura. Los equipos de rescate tendrán que retirar más de un millón de toneladas de material sobre un terreno con las dimensiones de seis o siete campos de fútbol.

La vecina Universidad de Nueva York proporciona a los equipos de rescate mapas topográficos que les permiten orientarse por el terreno y trazar las rutas más accesibles por entre la nube de escombros. El mapa en tres dimensiones muestra las irregularidades del terreno, teñidas de diferentes colores según su altura.

Una zona de color naranja intenso muestra una zona en la que se ha producido un hundimiento de 15 metros por debajo del nivel de la calle.

Para obtener el mapa, un avión proyecta un haz de láser sobre la superficie y recoge después el rayo reflejado. El sistema calcula el tiempo que ha tardado en llegar el reflejo del láser y a partir de ahí determina la altura del punto en tierra. Miles de mediciones son

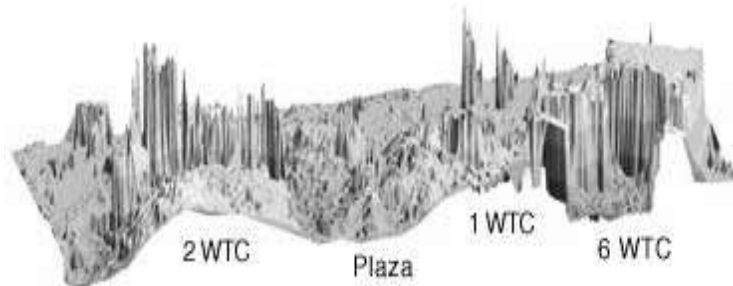
recogidas por el avión en un instante. Basta un segundo para que el láser envíe 15.000 pulsos sobre el terreno.

Con los datos procesados se obtiene una malla de 100.000 puntos con la que se reconstruyen las irregularidades del terreno.

El resultado: un mapa con una resolución en altura de 15 centímetros. Para comprobar si se han producido movimientos en la acumulación de escombros se hace diariamente un repaso aéreo de la zona de Manhattan.



Modelo digital existente hace 1 año



Sección transversal después la catástrofe

Lidar (acrónimo de light detection and ranging, detección de luz y reconocimiento), la técnica utilizada, sirve lo mismo para topografiar el terreno del extinto World Trade Center, la superficie de Marte o sacar un calco de las cuevas de Altamira. Entre 1998 y 1999, la Mars Global Surveyor, una sonda de la NASA que orbitaba sobre el planeta rojo, cartografió su superficie usando esta técnica.

El láser se ha metido de lleno en los procesos geográficos y ha sustituido al clásico teodolito utilizado para medir ángulos y distancias. "La última hornada de instrumentos del centro funcionan todos por láser", señala Javier Lumbreras, del Instituto Geográfico Nacional, donde se realizó, con la misma técnica, el plano tridimensional de la neocueva de Altamira. Un láser recogió medidas de cientos de millones de puntos del techo de la cueva original, "con una precisión de un milímetro. Cuanto más lejos estás más precisión pierdes", afirma Lumbreras.

Realizadas las mediciones, el ordenador permitió realizar la reconstrucción tridimensional del techo.

Un cabello de pequeño

Los equipos de rescate del WTC no están dispuestos a correr más riesgos innecesarios después de que murieran más de 170 bomberos atrapados en el derrumbe de los rascacielos. Algunos edificios cercanos han resultado afectados y podrían venirse abajo, como el número cuatro del WTC (de los siete que lo formaban).

Para mantener una vigilancia constante sobre su estado, los responsables de los trabajos han recurrido a un láser que detecta movimientos tan pequeños como el grosor de un cabello (0,1 milímetro).

El sistema utiliza un velocímetro láser Doppler -en desarrollo- que informa de la inclinación y los movimientos del inmueble de forma automatizada y continua, una tarea que hasta ahora solía realizarse con teodolitos.

Aún con tanto robot, tanta técnica y tantos equipos humanos y animales, sólo se lleva desescombrado el 10% de las ruinas. Según el alcalde de la ciudad, Rudolph Giuliani, los equipos de rescate tardarán seis meses en despejar el solar sobre el que se alzaban las Torres Gemelas.

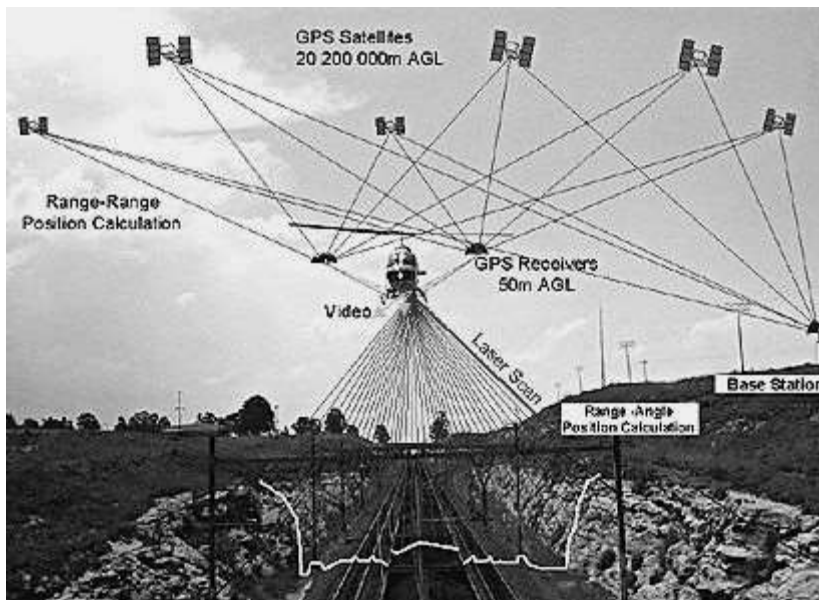
2.3.2. FLI-MAP® (FAST LASER IMAGING AND MAPPING AIRBORNE PLATFORM)

Fecha 12-11-2001

Tema Topografía

El sistema FLI-MAP® produce un modelo digital del terreno (DTM) de la superficie de la tierra utilizando un escáner láser instalado en un helicóptero. FLI-MAP® combina posicionamiento GPS, guía inercial, videocámaras digitales y un sistema de escaneado láser. El sistema pasa sobre el área de interés recopilando coordenadas GPS, altitud de la plataforma, registros láser e imágenes.

El equipo es montado en un helicóptero con doble motor (Twin), con una altitud de vuelo que oscila entre 20 y 225 metros (propuesta de 60 metros), a una velocidad de 40-70 kilómetros por hora, recopilando 15000 registros por segundo, produciendo de forma aproximada de 10 a 20 puntos por metro cuadrado. Cada punto es caracterizado por sus coordenadas X, Y y Z además de información del valor espectral de la luz reflejada por el escáner.....



Este sistema ha sido desarrollado por **Fugro-Inpark by** basándose en el principio por el cual la energía es parcialmente reflejada y parcialmente absorbida por la superficie de la tierra o por los objetos presentes en el terreno. La parte reflejada del pulso láser es registrada por un sensor situado al lado del láser, el tiempo que transcurre entre la transmisión del pulso y la recepción del primer

eco nos da la distancia entre el helicóptero y el punto en la superficie de la tierra. La posición del láser se determina utilizando una combinación de GPS (uno a cada lado del helicóptero) y Unidades de Medida Inercial, lo que genera una precisión de menos de 10 cm. Debido a que la posición del láser es conocida para cada uno de los pulsos de transmisión es posible obtener una precisa medida de las coordenadas tridimensionales de cada punto.

El equipo se completa con dos videocámaras digitales de alta resolución fijadas al helicóptero, una de las cámaras está orientada al frente con un ángulo de 45° mientras que la segunda cámara se encuentra situada junto al láser y enfocada hacia abajo. UTC (Coordinated Universal Time) es codificado para cada una de las imágenes del video, permitiendo la correlación entre éste y los datos del láser.

Previo al comienzo del vuelo e inspección, es necesario realizar tanto trabajos de campo como de gabinete para determinar la correcta localización de los GPS, dirección óptima de vuelo, zonas de posible peligro, condiciones locales, problemas logísticos, etc.

El vuelo se suele realizar en diferentes fases, dependiendo de factores tales condiciones meteorológicas, número de satélites GPS disponibles, autonomía de vuelo, número de estaciones base (es aconsejable una cada 25 Km. con un mínimo de dos). Una sola pasada permite la recogida de un número óptimo de puntos, sin embargo a veces, y en zonas difíciles o con alta densidad de objetos, resulta necesario hacer múltiples pasadas.

Una vez realizado el vuelo, todos los datos recogidos, incluyendo la lectura de los GPS en tierra y los videos, son procesados en gabinete, haciéndose copias de seguridad de los datos originales. Una primera fase de preprocesado verifica la precisión de los datos recogidos, el recorrido del vuelo y la calidad de los videos y datos del láser.

En la etapa de procesado es necesario producir los datos requeridos por el cliente y en un formato apropiado. El sistema FLIP-7 ha sido desarrollado para esta función, permitiendo representar, explorar y extraer información recopilada con FLI-MAP®. Este software no sólo permite la extracción de coordenadas XYZ sino que dispone de las herramientas adecuadas para combinar los datos láser con las

imágenes de video, poseyendo además capacidades CAD (Computer Aided Design).

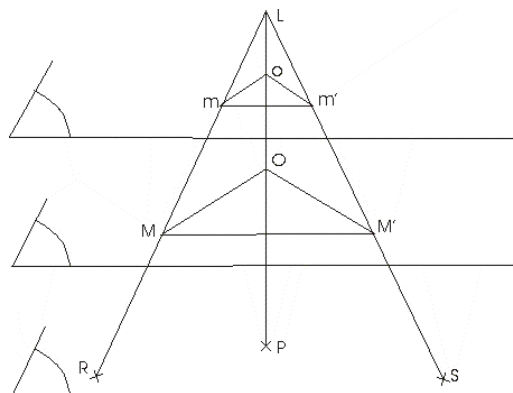
Debido a las características especiales de este sistema, FLI-MAP® permite acceder a zonas que supondrían un alto riesgo para personal en tierra o la interrupción de servicio, en el caso de líneas férreas, carreteras, etc... Permite igualmente una gran velocidad de recopilación de datos de gran precisión, reduciendo así el tiempo de trabajo de campo.

Las aplicaciones del sistema FLI-MAP® son bastante extensas pero es especialmente adecuado para:

- ✓ Compañías de electricidad, agua, etc.
- ✓ Inspección de carreteras
- ✓ Ferrocarriles
- ✓ Oleoductos y conducciones de gas
- ✓ Control de Inundaciones
- ✓ Telecomunicaciones.

2.4. EJERCICIOS Y PROBLEMAS

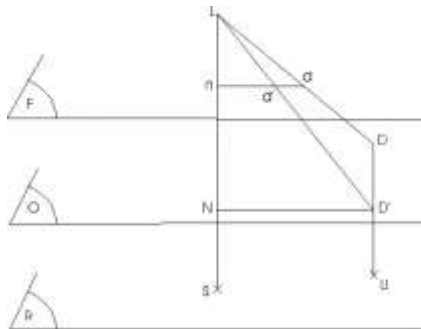
2.4.1. En el siguiente gráfico identifique:



- | | |
|------------------|-------|
| a. L | _____ |
| b. m, m' y M, M' | _____ |
| c. LP | _____ |
| d. LO | _____ |
| e. Lo | _____ |

- f. Plano que contiene al plano mom' _____
- g. m, M _____
- h. OP _____
- i. o _____
- j. LS _____
- k. Plano LOM _____
- l. Plano que contiene los puntos R, P, S _____

2.4.2 Utilizando el siguiente gráfico defina:



- a. Distancia LD' = _____
- b. Distancia D'U = _____
- c. Distancia d'd = _____
- d. Puntos d'D = _____
- e. Líneas nd', ND' = _____
- f. Distancia Ln = _____
- g. Plano O = _____
- h. Plano LND' = _____
- i. Distancia LS = _____
- j. Punto n = _____

PREGUNTAS FALSO O VERDADERO

- | Item | F V |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.4.3. La línea nadiral corta perpendicularmente todos los planos y pasa por el eje óptico | |
| 2.4.4. Líneas homólogas son las intersecciones de un plano proyectante con el plano del objeto, el plano de la foto y el plano del negativo. | |

- 2.4.5.** El sistema de ejes coordenados definido por los ejes fiduciales no es el único sistema posible de ser definido en la fotografía.
- 2.4.6.** Una definición de altura de vuelo relativa al terreno es: La diferencia entre la distancia que hay entre el centro óptico y el Datum y la cota.
- 2.4.7.** Cuando disminuye la base aérea aumenta el recubrimiento longitudinal.
- 2.4.8.** Son elementos geométricos de la foto vertical y de la foto inclinada, todos los que a continuación se enumeran:
- Nadir terrestre
 - Puntos homólogos
 - Líneas homólogas
 - Puntos de exposición
 - Planos proyectantes
- 2.4.9.** Fotogramétricamente hablando son puntos de foto control los puntos geodésicos y topográficos establecidos en el terreno.
- 2.4.10.** La relación entre una distancia en la foto vertical y su correspondiente en el terreno, para dos puntos de igual cota cumple la definición de escala.
- 2.4.11.** El isocentro es la intersección del plano de la foto con el plano principal.
- 2.4.12.** Recta proyectante es toda recta que pasa por el isocentro de la foto.
- 2.4.13.** El desplazamiento por relieve tiene dirección radial con centro en el isocentro de la foto.
- 2.3.14.** La escala de una fotografía aérea vertical de terreno montañoso es mayor para las zonas más cercanas al nadir de la foto.
- 2.4.15.** El sistema de ejes fiduciales es el sistema coordenado más importante definido en la fotografía aérea.

- 2.4.16.** La línea de vuelo está definida por el plano de la foto y la línea principal.
- 2.4.17.** El eje x fiducial, la línea de vuelo y la línea principal no pueden coincidir.
- 2.4.18** Líneas homólogas son la intersección de un plano proyectante con el eje óptico en el plano de referencia, el plano del objeto, el plano de la foto y el plano del negativo.

ESCOGENCIA MÚLTIPLE:

2.4.19. El punto principal es:

- a. Intersección del eje principal con el DATUM.
- b. Intersección del eje óptico con el plano de la foto o del negativo.
- c. Intersección del eje principal con el plano de la foto o del negativo.
- d. Intersección del eje óptico con la dirección de la línea de vuelo.

2.4.20. De las siguientes afirmaciones es falsa:

- a. Uno de los determinantes de la escala es la altura de vuelo relativa al terreno.
- b. La presencia de grandes nubes no afecta la toma de fotografía con fines fotogramétricos.
- c. La dirección del vuelo depende de la configuración del terreno.
- d. La relación B/Z al aumentarse crece el valor de la paralaje.

2.4.21. Dos fotografías aéreas verticales de un terreno plano horizontal tienen la misma altura absoluta de vuelo y el mismo formato. Se concluye que presentan la siguiente característica.

- a. Tienen la misma escala.
- b. Tiene mayor escala el punto más cercano al nadir.
- c. Tiene menor escala el punto más cercano al nadir.
- d. Tienen el mismo campo angular.

2.4.22. Se define como plano proyectante:

- a. Todo plano perpendicular al terreno.
- b. Todo plano perpendicular al plano del objeto.
- c. Todo plano perpendicular al isocentro.
- d. Todo plano que pase por el centro óptico.

2.4.23. Altura de vuelo relativa al terreno:

- a. Se representa con la letra H.
- b. Distancia entre el isocentro y el plano del objetivo.
- c. Distancia entre el centro óptico y el plano del objeto.
- d. Distancia entre el avión y el plano de referencia.

2.4.24. Para la elaboración de un plano a determinada escala no debe tenerse en cuenta:

- a. Precisión altimétrica e intervalo entre curvas de nivel.
- b. Requerimientos de fotointerpretación.
- c. Tipo de cámara y avión.
- d. Techo del avión y el costo.

2.4.25. Se define estación de exposición como:

2.4.26. Línea proyectante es:

2.4.27. Nadir del terreno es:

2.4.28. La escala promedia puede obtenerse de varias maneras, enúncielas:

2.4.29. Para medir distancias terrestres a una escala predeterminada se realiza la siguiente secuencia: (haga el ordenamiento lógico).

- a. Se hace corrección por relieve para cada punto determinando las proyecciones ortogonales en la fotografía.
- b. Se multiplica la distancia fotográfica por el módulo escalar previamente determinado.
- c. Predeterminar la escala a la que se van restituir los puntos.
- d. Se calcula la distancia entre puntos en la fotografía utilizando la fórmula analítica de distancia horizontal.
- e. Se calculan las escalas de los puntos entre los que se va a determinar la distancia terrestre.

2.4.30. Realice el siguiente ejercicio de apareamiento:

a. A las imágenes de satélites tripulados corresponde: ()	1. Según la escritura.
b. Se define eje óptico a: ()	2. Según el tamaño.
c. El cono es: ()	3. Parte de la cámara que contiene el chasis.
d. Recta proyectante: ()	4. Toda recta que pasa por centro del negativo.
e. Las cámaras especiales están comprendidas en la clasificación: ()	5. Parte más importante de la cámara.
f. Una definición de altura absoluta de vuelo: ()	6. Distancia entre el plano del negativo y el plano de referencia.
g. Restituir una fotografía vertical: ()	7. Mercury, Discovery Landsat.
h. La fotogrametría se clasifica en: ()	8. Es transformarla en un plano, es decir en una figura parecida a la del terreno.
	9. Especial, aérea, terrestre.
	10. Al centro de la cámara.
	11. Toda recta que pasa por el centro de referencia.
	12. Parte de la cámara que contiene el

	obturador y el diafragma.
	13. Parte de la cámara que sirve de soporte al sistema de lentes.
	14. No topográfica, especial, aérea.
	15. Gemini, Tirrus, Discovery.
	16. Toda recta que pasa por el centro óptico.
	17. Distancia entre el centro óptico y el punto principal.
	18. Es transformarla en un mapa, es decir una figura parecida a la de terreno.
	19. Proyectante perpendicular al centro óptico.
	20. Proyectante perpendicular al plano de la película y que pasa por L.
	21. Según el uso.
	22. Aérea, terrestre no topográfica.
	23. Gemini, Skylab PIONER.
	24. Gemini, Skylab Discovery.
	25. Es transformarla en un mapa es decir en una figura semejante al terreno.
	26. Proyectante perpendicular al plano de referencia.
	27. Toda recta que pasa por el isocentro.
	28. Parte más importante del almacén de la cámara.
	29. Espacial, aérea y fotointerpretación.
	30. Distancia entre el centro óptico y el DATUM.
	31. Distancia entre el plano del negativo y el nivel de referencia.

PROBLEMAS:

2.4.31. De un vuelo fotogramétrico se conocen los siguientes datos: Escala de una fotografía para un plano situado 850 m sobre el DATUM = 1:15200. Distancia fotográfica entre dos puntos localizados en el plano mencionado = 5.32 cm. Determinar la distancia terrestre entre dichos puntos.

2.4.32. De una fotografía aérea vertical y un mapa de la misma zona se conocen distancia en la foto entre dos puntos situados en un mismo nivel "V" del terreno = 40.3 mm. Distancia medida en el mapa entre los mismos dos puntos = 89.7 mm. Escala del mapa 1:20000. Calcular la escala de la fotografía para el nivel "V" del terreno.

2.4.33. En una foto vertical un punto K tiene una escala de 1:11.800 y unas coordenadas $x = +21.6$ mm, $y = -68.9$ es imagen de un punto del terreno que tiene una cota de 1680 metros. Otro punto W tiene una escala de 1:15.800 y unas coordenadas $x = +39.9$ mm y $y = +49.5$ mm es imagen de un punto W del terreno que tiene una cota de 1480 metros. Un tercer punto S de escala 1:14.200 está en la posición $x = +56.8$ mm, $y = -23.2$ mm.

Calcule: La cota del tercer punto.

2.4.34. De un vuelo fotogramétrico se conoce:

- Escala mínima = 1:37560
- Una distancia de 1500 m sobre el nivel medio del terreno aparece en la fotografía en una magnitud de 38.2 mm.
- Si esta línea estuviera sobre el nivel más alto en que magnitud aparecería en la foto.

2.4.35. De una fotografía aérea vertical y un mapa de la misma zona se conocen los siguientes datos:

- Una distancia en el terreno de 1650 m corresponde en el mapa a 42.5 mm.
- Un área medida en el mapa de 9.5 cm^2 .

Corresponde en la fotografía a 72.35 cm^2 Determinar la escala de la fotografía para el nivel correspondiente al área medida.

2.4.36. De una fotografía aérea vertical se conocen los siguientes datos:

- Altura mínima de vuelo = 1600 m.
- Altura máxima de vuelo = 2650 m.
- Elevación media del terreno = 2500 m.

Determinar la altura de vuelo sobre el nivel de referencia.

2.4.37. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo se conocen los siguientes datos:

- Distancia principal = 91.2 mm.
- Distancia entre puntos principales de las fotos = 35.6 cm.
- Distancia entre puntos homólogos S'S'' = 26.3 cm.
- Diferencia de paralajes entre puntos "T" y "S" = -58.2 m.

Determinar la escala de la fotografía para un plano que pasa por el punto "S".

2.4.38. En una foto vertical un punto d tiene una escala 1:10800 y unas coordenadas $x = 1.98$ cm, $y = -64.3$ mm, es imagen de un punto del terreno que tiene una cota de 1680 m. Otro punto h tiene una escala de 1:2500 y unas coordenadas $x = +38.5$ mm, $y = +46.3$ mm imagen de un punto H de cota 1395. Un tercer punto q de escala 1:11900 tiene coordenadas $x = +5.52$ cm y $y = -22.4$ mm.

- Calcular cota del punto q.
- Calcular escala línea dh.

3. CORRECCIÓN POR RELIEVE O RESTITUCIÓN DE LA FOTOGRAFÍA VERTICAL.

El proceso de restitución de una fotografía vertical, recoge el procedimiento por medio del cual se transforma esta en un mapa, es decir se convierte la imagen fotográfica en una “figura semejante” a la del objeto en el terreno, con todas las consideraciones que conlleva el termino “semejante”. Solo en el caso teórico de fotografías verticales de un terreno plano horizontal con un objetivo libre de distorsión, se hace posible que la proyección central de la fotografía sea idéntica a la proyección ortogonal del terreno.

3.1. COMPARACIÓN ENTRE MAPA Y FOTOGRAFÍA VERTICAL.

MAPA	FOTO VERTICAL
Es una proyección ortogonal. Es una figura semejante al terreno en planta (representación real).	Es una proyección central. No es una figura semejante al terreno (no es representación real).
El ángulo en el mapa es igual a su homólogo en el terreno	El ángulo en la foto es diferente a su homólogo en el terreno.
La relación entre una distancia en el mapa y su correspondiente en el terreno es constante y es lo que se denomina Escala	La relación entre una distancia en la foto y su correspondiente en el terreno es variable. Por tanto la escala es variable.
Todos los objetos, incluso los no visibles, son representados	Aparecen todos los objetos visibles.
En general es necesario redibujarlo para cambiar escala.	Fotográficamente se puede ampliar o reducir la escala dentro de ciertos límites.

Hallar en la fotografía la imagen de un punto que se mueve verticalmente en el terreno es el problema más importante. Una vez resuelto, se logra la transformación de una fotografía vertical de un terreno con relieve en una fotografía vertical de un terreno sin relieve, o sea, en un mapa. A este proceso es lo que se denomina restitución de la foto vertical (Δr). Véase figura 3.1.

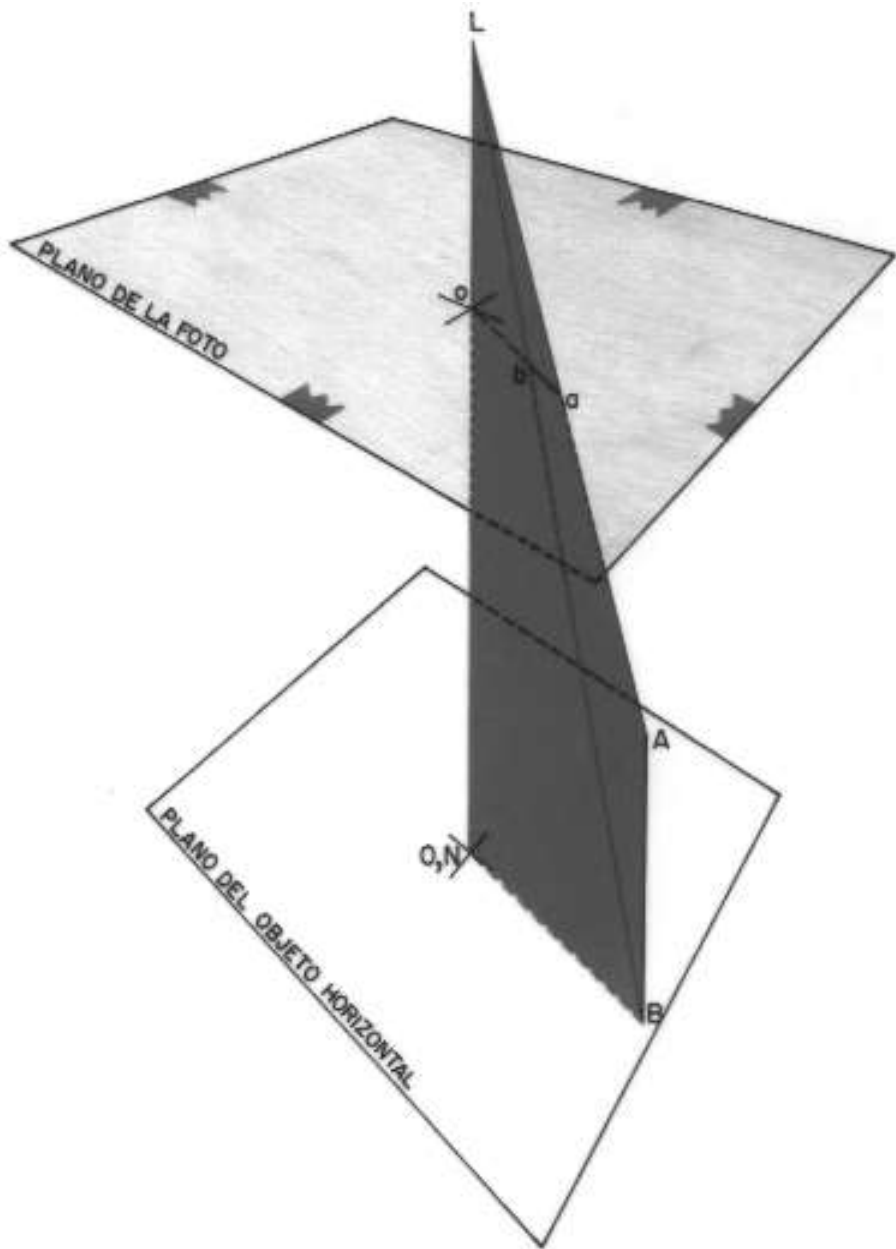


FIGURA 3.1. DIRECCIÓN Y SENTIDO DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE EN UNA FOTOGRAFÍA VERTICAL.

3.2. DIRECCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE:

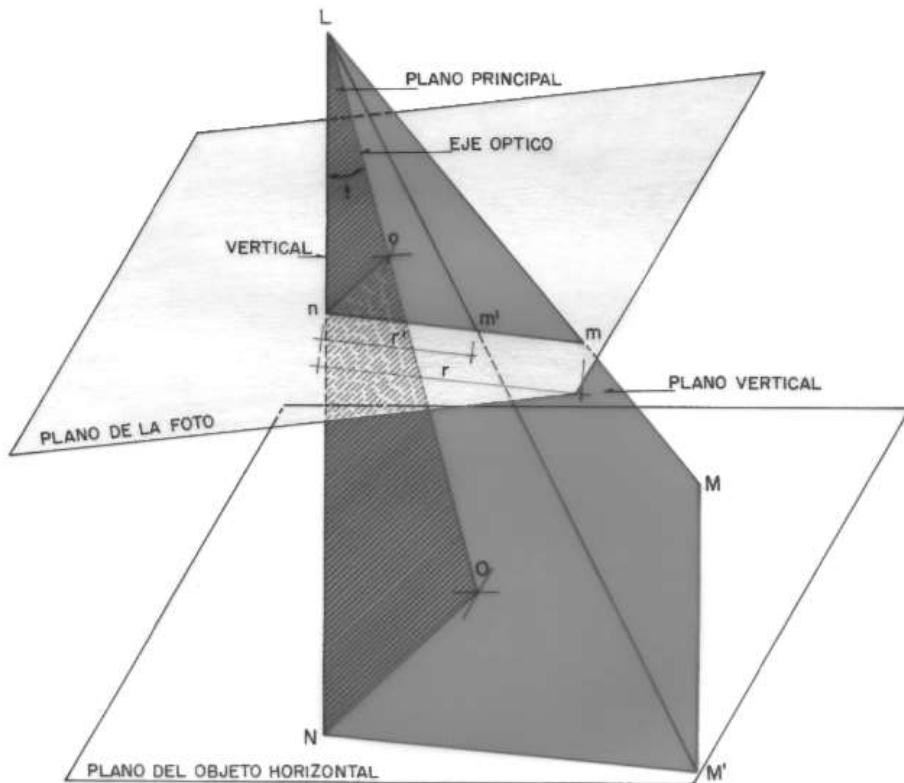


FIGURA 3.2. DIRECCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE EN FOTOGRAFÍA INCLINADA.

En la figura 3.2. se muestra :

Plano de la Foto (F), inclinado, donde el nadir (n) y el punto principal (o) son diferentes.

El plano del Objeto (OBJ) es horizontal y pasa por el punto M' .
 $M'M$ es un elemento vertical que en un mapa se representa por un punto.
Se identifica:

- N como el nadir en el plano del OBJ).
- L como el centro óptico de la cámara.

$m'm$ como la imagen en el plano F) de $M'M$.

Las líneas rectas LN y $M'M$ verticales y paralelas, determinan un plano que contiene las líneas rectas LM y LM' .

Se presenta que los puntos m , m' , n están alineados, por pertenecer a la intersección de los planos F) y $LN M'M$).

De acuerdo con lo anterior resulta que si el punto M se mueve verticalmente en el terreno, su imagen se desplaza en el plano de la foto F) a lo largo de una recta que pasa por el nadir (n) en dicho plano.

Por lo tanto puede afirmarse : El desplazamiento por relieve tiene dirección radial con centro en el nadir del plano de la foto (n).

3.3. MAGNITUD DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE :

Véanse figuras 3.3. y 3.4.

En la figura 3.3. se tiene :

Planos : de la foto F), del Objeto OBJ), de Referencia o Datum REF) Horizontales y paralelos.

El plano $LOM'M$) formado por las rectas paralelas LO y $M'M$ corta : El plano de la Foto F) formando la recta om y el plano del Objeto OBJ) formando la recta OQ .

Con apoyo del teorema de Tales : El haz de rectas con vértice en L cortado por planos paralelos, permite decir :

$$m'm / om = M'Q / OQ \quad \text{ECUACIÓN 1}$$

De los triángulos semejantes $\Delta M M'Q$ y $\Delta O L Q$, tenemos :

$$M'Q / OQ = M'M / LO \quad \text{ECUACIÓN 2}$$

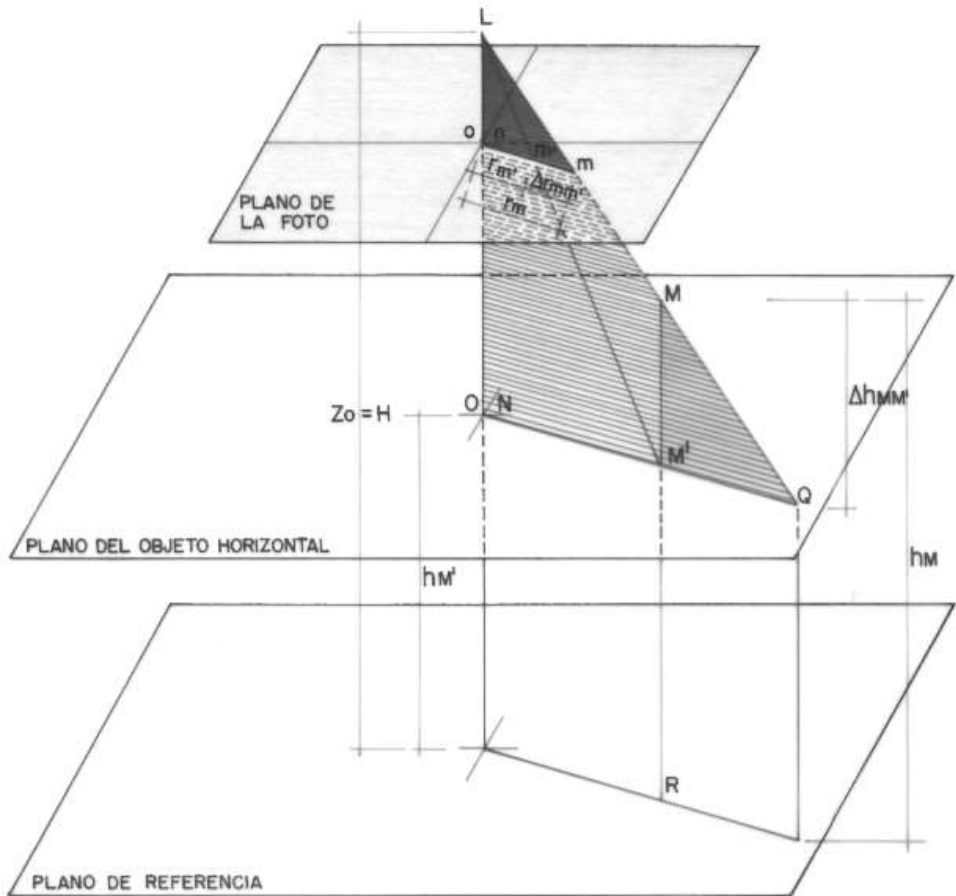


FIGURA 3.3. MAGNITUD DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE EN FOTO VERTICAL.

De las ecuaciones 1 y 2 resulta :

$$\frac{m'm}{om} = \frac{M'M}{LO} = \frac{(RM - RM')}{LO} = \frac{(h - h')}{(H - h)} = \frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta h}{Z'} \text{ ECUACIÓN 3}$$

Donde :

$$m'm' = \Delta r$$

$$om = r$$

$$RM = h = h_M$$

$$RM' = h' = h_{M'}$$

$$LO = Z_{M'} = H - h'$$

A partir de la ecuación 3 se puede decir :

$$\Delta r = (r \cdot (h - h')) / (H - h')$$

$$\Delta r = r \cdot (\Delta h / Z_{M'})$$

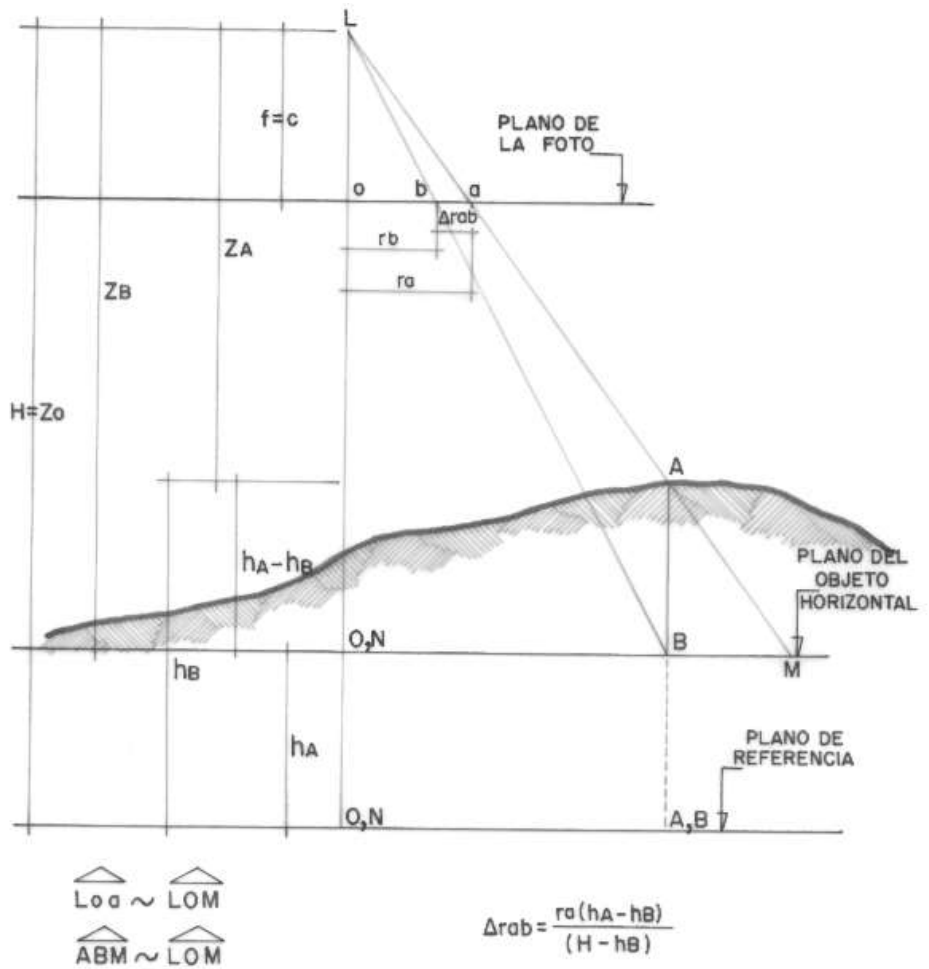
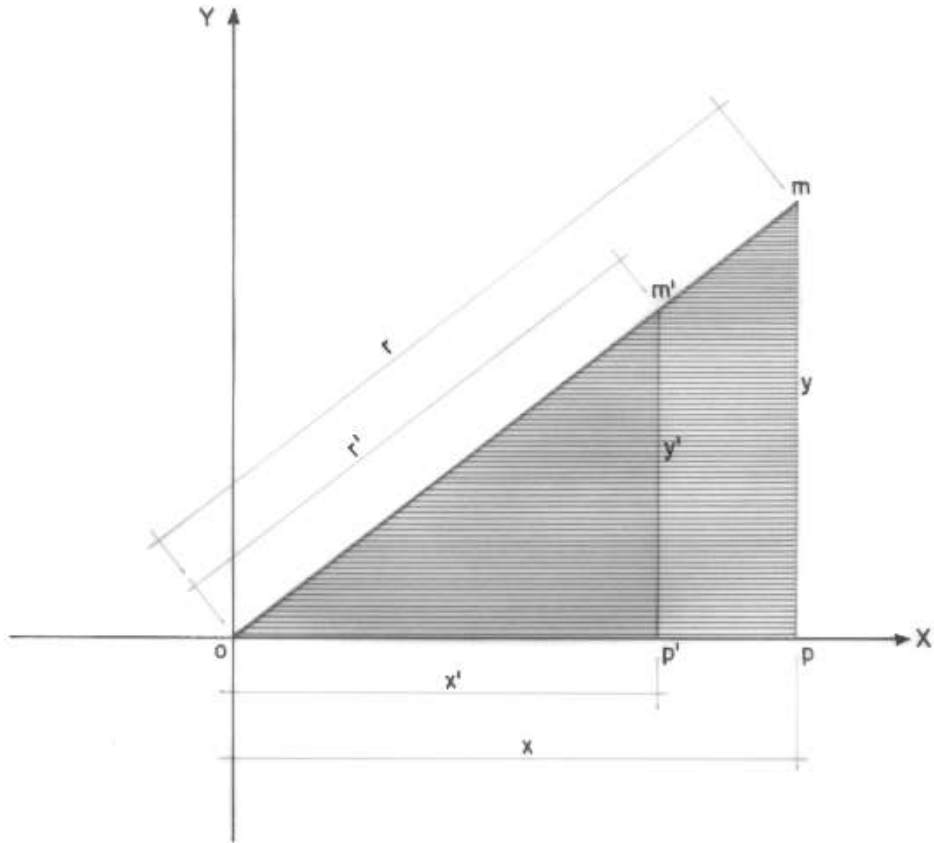


FIGURA 3.4. MAGNITUD DEL DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE EN FOTO VERTICAL (CORTE VERTICAL).

3.4. COORDENADAS DEL PUNTO RESTITUIDO :

Véase figura 3.5.



$$\frac{r'}{r} = \frac{x'}{x} = \frac{y'}{y}$$

FIGURA 3.5. COORDENADAS FOTOGRÁFICAS DE UN PUNTO ANTES Y DESPUÉS DE LA RESTITUCIÓN.

Considérese una fotografía vertical, con un sistema de coordenadas (x, y) con origen en el punto principal (o) .

Sean (x, y) ; (r, θ) coordenadas rectangulares y polares de un punto m , y (x', y') ; (r', θ') las del punto restituido m' .

En la figura 3.5. se tiene que los puntos o, m', m están alineados.

Partiendo de que $\Delta r = r - r'$ y apoyados en la ecuación:
 $\Delta r = (r \cdot (h - h') / (H - h'))$.

Se tiene:

$$\begin{aligned} r' &= r - \Delta r = r - (r \cdot (h - h') / (H - h')) = \\ &((r \cdot (H - h')) - (r \cdot (h - h'))) / (H - h') = \\ &(r \cdot (H - h' - h + h')) / (H - h') = \end{aligned}$$

$$(r \cdot (H - h)) / (H - h') \quad \text{ECUACIÓN 4}$$

Pero $H - h = Z$ y $H - h' = Z'$ **ECUACIÓN 5**

Ecuación 5 en Ecuación 4 :

$$r' = (r \cdot Z) / Z' \quad \text{ECUACIÓN 6}$$

De los triángulos semejantes $\Delta o m' p'$ y $\Delta o m p$ se obtiene:

$$r' / r = x' / x = y' / y$$

Teniendo en cuenta la Ecuación 6, se puede concluir :

$$r' / r = x' / x = y' / y = Z / Z' \quad \text{ECUACIÓN 7}$$

En la foto vertical se cumple : $E = f / Z$, por tanto es válido :

$$E = f / Z, \quad E' = f / Z', \quad \text{luego :}$$

$$Z = f / E \quad \text{y} \quad Z' = f / E'$$

$$E' / E = Z / Z'$$

En resumen:

$$r' / r = x' / x = y' / y = Z / Z' = E' / E = M / M'$$

Lo que permite la restitución numérica de la fotografía vertical.

3.5. LECTURA COMPLEMENTARIA

Documento tomado de Mapping Interactivo

www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=70

APLICACIONES DE LAS TRANSFORMACIONES ENTRE SISTEMAS DE REFERENCIA EN LA INGENIERÍA GRÁFICA Y CARTOGRÁFICA

Julio de 2.001

Francisco Manzano Agugliaro; Gil Manzano Agugliaro; Teófilo García Buendía. Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería. Dpto. Ingeniería Rural. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería. email: fmanzano@ual.es

Resumen

En el presente trabajo se revisarán las principales aplicaciones de los cambios de sistemas de referencia en la Ingeniería Gráfica y Cartográfica. Se han agrupado las aplicaciones en tres bloques: en primer lugar la Modelización del Terreno e Información Temática Georreferenciada agrupando disciplinas como Topografía, Fotogrametría, Teledetección, GPS, Cartografía y SIG; en segundo lugar la Visión Estereoscópica, y en tercer lugar el Diseño en la Ingeniería o Representación Geométrica por Ordenador (CAD).

1.- Introducción

En la Ingeniería en general y en la Ingeniería Gráfica y Cartográfica en particular, la aplicación de nuevos sistemas de referencia ha tenido el objeto de facilitar la tarea del ingeniero.

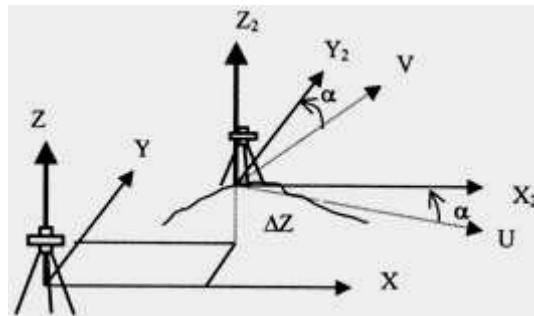
Hoy en día la diversidad de sistemas empleados hace que a veces consideremos unas disciplinas muy distantes de otras, con este trabajo, pretendemos dar una visión global unificadora de este concepto, el tratamiento espacial de la información, buscando como punto de encuentro entre las disciplinas que se van a abordar, la problemática común de las transformaciones entre sistema de referencia.

2.- Aplicaciones de los cambios de sistemas de referencia.

Las aplicaciones de los sistemas de referencia tienen especial relevancia en disciplinas con base espacial, y las transformaciones entre sistemas se hacen tanto para la captura de información como para su posterior uso.

Las disciplinas con base espacial se han agrupado en tres bloques:

- Modelización del terreno e Información Temática Georreferenciada (Topografía, Fotogrametría, Teledetección, GPS, Cartografía y SIG)
- Visión Artificial y Robótica.
- Diseño Asistido en la Ingeniería o Representación Geométrica por Ordenador (CAD)



2.1 Modelización del terreno e Información Temática Georreferenciada.

En este apartado agrupamos las disciplinas que con base espacial pretenden realizar modelos precisos de la realidad a distintas escalas.

2.1.1.- TOPOGRAFÍA

La Topografía clásica persigue determinar las coordenadas de los puntos que mejor definen la superficie del terreno que se pretende representar mediante el sistema de planos acotados. Estas coordenadas estarán referidas a un sistema de referencia absoluto, que se desglosará en uno planimétrico y en otro altimétrico. El sistema de referencia planimétrico será el definido por un plano normal a la dirección de la gravedad en el punto donde estacionemos el instrumento de medición (Teodolito, Taquímetro, Estación Total, etc.).

El problema de la planimetría se reduce a enlazar en el mismo sistema de referencia (X,Y) todas las mediciones determinadas al estacionar el instrumento topográfico, coordenadas relativas (U_i, V_i). El centro de estación actúa como origen del sistema de referencia local. Para ello se calcula la distancia entre estaciones, o vector de translación entre el primer sistema de referencia o sistema de referencia absoluto y el segundo sistema de referencia o sistema de referencia local, (DX, DY) figura 1. Y para que quede totalmente determinada la transformación entre ambos sistemas, se calcula la corrección de orientación o ángulo de rotación entre ambos sistemas, ángulo α de la figura 1.

Una vez determinada la planimetría, se procede al cálculo de la altimetría, simplemente calculando el incremento de altura entre los centros de estación, (DZ) figura 1, y este incremento de altura será la translación que le aplicamos a las coordenadas altimétricas del segundo sistema para referirlo al primero.

2.1.2.- FOTOGRAMETRÍA

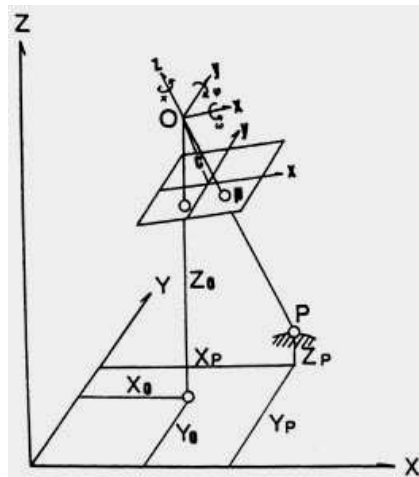
La Fotogrametría al igual que la Topografía pretende establecer modelos precisos de la realidad, con la particularidad de utilizar sensores o cámaras aerotransportadas, bien en aviones o implementadas en satélites.

Tradicionalmente se marcó la diferencia entre la Fotogrametría y la Teledetección, asignándole a la primera mayor capacidad métrica, escalas mayores y un formato en soporte no digital, mientras que a la Teledetección se le asignó un carácter más temático que métrico, escalas de trabajo menores y formato en soporte digital.

En Fotogrametría convencional están en juego al menos tres sistemas de referencia figura 2:

- Sistema de referencia terreno o absoluto (X,Y,Z)
- Sistema de referencia del centro focal de la cámara (x,y,z)

- Sistema de referencia de la placa o fotograma $(x=,y=) = (x,y,-c)$



El problema que se plantea es determinar las coordenadas terreno de puntos cuyas coordenadas son conocidas en el sistema de referencia del fotograma. Para ello se resuelven las ecuaciones denominadas de colinealidad si se realiza desde un solo centro de proyección, o de coplanariedad si se realiza desde dos centros de proyección, es decir dos tomas de la misma escena desde dos puntos de vista distintos.

Para resolver estas ecuaciones es preciso conocer la posición del centro de proyección, y ello es posible si se conocen al menos las coordenadas de tres puntos en el sistema de referencia terreno o absoluto (X,Y,Z) . Usualmente las coordenadas de estos puntos se determinan mediante técnicas topográficas en coordenadas UTM, enlazando así la Fotogrametría con la Topografía y la Cartografía.

2.1.3.- TELEDETECCIÓN

Como se adelantó en el apartado anterior, la Teledetección permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre, esta información se almacena digitalmente en forma de píxeles.

Los cambios de sistemas de referencia juegan aquí también un papel importante, se trata pues, de cambiar la posición que ocupan los píxeles de la imagen, a este proceso se le denomina realizar la corrección geométrica de la imagen.

Existen dos tipos de correcciones geométricas, la primera basada en las características orbitales del sensor, que corregirá errores sistemáticos como rotación terrestre, inclinación de la órbita, etc., y la segunda que es la de ajustar la imagen básicamente para dos fines:

A) El primero sería el de georreferenciar la imagen tratando de darle coordenadas cartográficas o absolutas (UTM por ejemplo) así la imagen puede superponerse sobre cartografía convencional.

B) El segundo fin, es superponer dos o más imágenes entre sí, para realizar estudios multitemporales, siendo la transformación a realizar un ajuste entre imágenes lo más preciso posible.

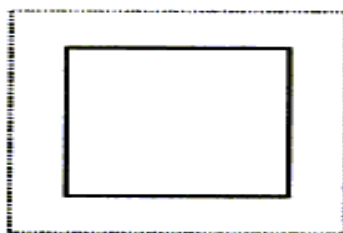
Al tratarse de un formato digital, la transformación se basa en funciones numéricas que permiten modificar la geometría de la imagen. La expresión general de este tipo de funciones es:

$$f(x) = f_1(c, l) \quad f(y) = f_2(c, l)$$

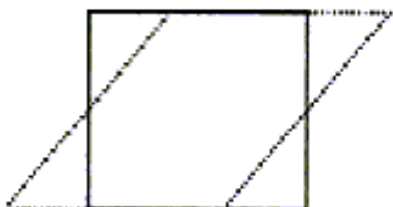
Donde (x,y) son las coordenadas de la imagen corregida en función de las coordenadas columna c, línea l, de la imagen de entrada.



Traducción



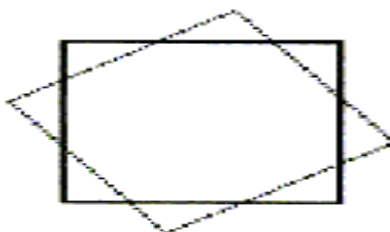
Cambio de escala



Inclinación



Perspectiva



Rotación

La corrección geométrica o ajuste se realiza en tres fases: 11 identificación de puntos de referencia, 21 cálculo de las funciones de transformación, 31 transformación, figura 3. Ahora bien como se ha venido exponiendo a lo largo del trabajo, aunque con 3 puntos podamos realizar una función de ajuste de primer grado, normalmente se suelen tomar entre 10 y 12 como mínimo, variando el número de puntos a tomar dependiendo del número de píxeles de la imagen y del grado de la función de ajuste a resolver.

2.1.4.- CARTOGRAFIA Y SIG

La Cartografía, desde un punto de vista geométrico, es la ciencia que estudia la representación plana de las figuras de aproximación de la forma de la Tierra, esfera o elipsoide. Trata de obtener por el cálculo, las coordenadas de los puntos del plano correspondientes a los situados en dichas superficies de aproximación de la forma de la Tierra. La gran diferencia con la Topografía es que al tener un ámbito de actuación más amplio, no se puede obviar la esfericidad de la Tierra para la representación planimétrica.

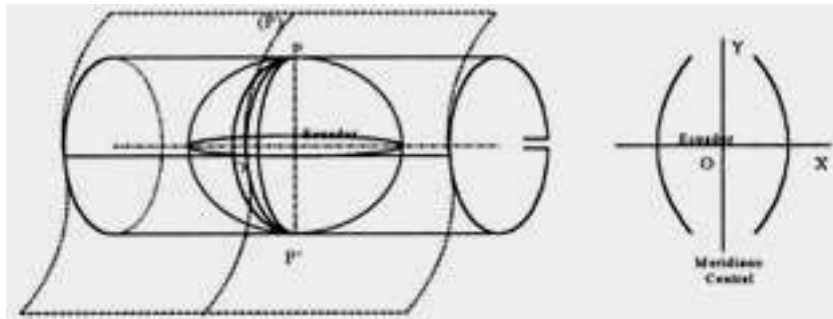
Los Sistemas de Información Cartográfica (SIG) se basan en la construcción de capas de información georreferenciada, de cuya combinación o solape se pueden hacer estudios y planificaciones de índole espacial.

Estas dos disciplinas se basan en estructuras de referencia materializadas en el terreno, y cuyas coordenadas son conocidas respecto a un sistema de referencia previamente definido para la zona. La definición de este sistema de referencia está ideada para que la figura geométrica de la Tierra elegida se adapte lo mejor posible a la zona de trabajo. Esto da lugar a que en cada país o territorio se tenga un sistema de referencia propio denominado sistema de referencia local.

Matemáticamente la Cartografía supone la representación de una superficie sobre otra, para ello se establecen funciones de relación biunívocas. Las distintas geometrías también responden a la mejor adaptación de la superficie a representar, siendo ésta, la que menores deformaciones presente, bien en distancias (automecoica), bien en ángulos (conforme), bien en áreas (equivalente), o bien al reducir al mínimo todos a la vez (afiláctica).

Si la superficie a la que se proyecta es un plano, en función de la geometría de la proyección, posición del plano del cuadro y del vértice de proyección puede ser: Escenográfica, Geomancia, Estereográfica y Ortográfica.

Y si la superficie a la que se proyecta, es una superficie desarrollable, un cono o un cilindro, se tiene en función de la geometría: Directos, Transversos y Oblicuos. Figura 4.



2.1.5.- SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL: GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), se ideó como sistema de navegación militar, con cobertura en toda la Tierra y las 24 horas del día. La posición del receptor se determina en base a calcular la distancia de éste, a un mínimo de 4 satélites de posición conocida. Ahora bien la posición de éstos es conocida respecto a su propio sistema de referencia (World Geodetic System 1984: WGS84).

El sistema WGS84, es un sistema de referencia cartesiano tridimensional, cuyo origen es el centro de masas de la tierra, y tiene asociados parámetros de un elipsoide medio para toda la Tierra, un modelo de gravedad (EGM), y unos parámetros de transformación con los otros Datum geodésicos.

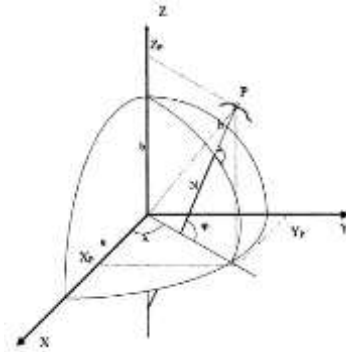
Para la realización del cambio de Datum, se necesitan 7 parámetros conocidos, que son: 3 translaciones, 3 rotaciones y un posible cambio de escala, resolviéndose las ecuaciones planteadas, obteniéndose coordenadas cartesianas en el Datum local.

Luego una vez calculada la posición con GPS en coordenadas cartesianas (X, Y, Z) en el Datum correspondiente, hay que transformarlas a coordenadas geodésicas (n, l, h), figura 5, y una vez obtenidas, se realizará la misma transformación que la descrita para la Cartografía.

2.2. Visión Artificial y Robótica

En el campo de la robótica y la visión artificial se combinan cuatro sistemas de referencia que hay que poner en común figura 6, estos son:

Sistema de Referencia del Robot S_0 , Sistema de Referencia del Brazo S_6 , Sistema de Referencia de la Cámara SK , y Sistema de Referencia del Objeto SO_b . Aquí estamos considerando el caso más genérico, donde el brazo del robot tiene 6 grados de libertad, estos son los de S_6 frente a S_0 .



Las relaciones que se establecen entre estos sistemas de referencia, se muestran en la figura 7, donde se puede observar que la transformación entre los sistemas de referencia de:

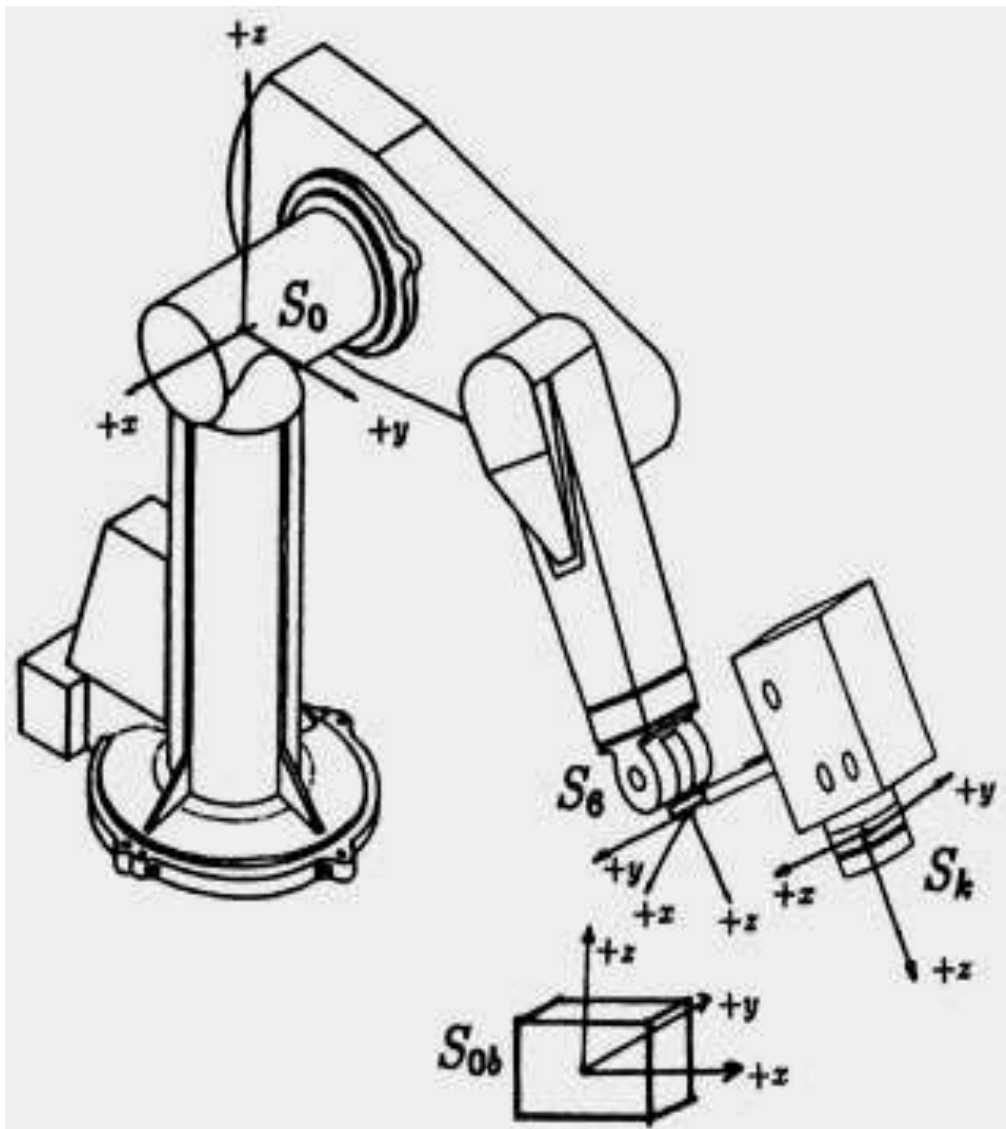
- Robot y Brazo (S_0 y S_6) se realiza internamente y es por tanto conocida,
- Cámara y Brazo (S_6 y SK) es desconocida pero constante,
- Cámara y Objeto (SK y SO_b), se basa en un modelo de reconocimiento, por ejemplo mediante intersección tridimensional desde dos posiciones conocidas del centro de proyección de la cámara,
- Cámara y Robot (SK y S_0), para calcular las 2 posiciones conocidas del centro de proyección, se calculan respecto a S_0 , y esto se hace a partir de tres puntos fijos situados en la plataforma donde opera el robot, de coordenadas conocidas en S_0 .

2.3. Diseño asistido en la Ingeniería o Representación Geométrica por Ordenador (CAD)

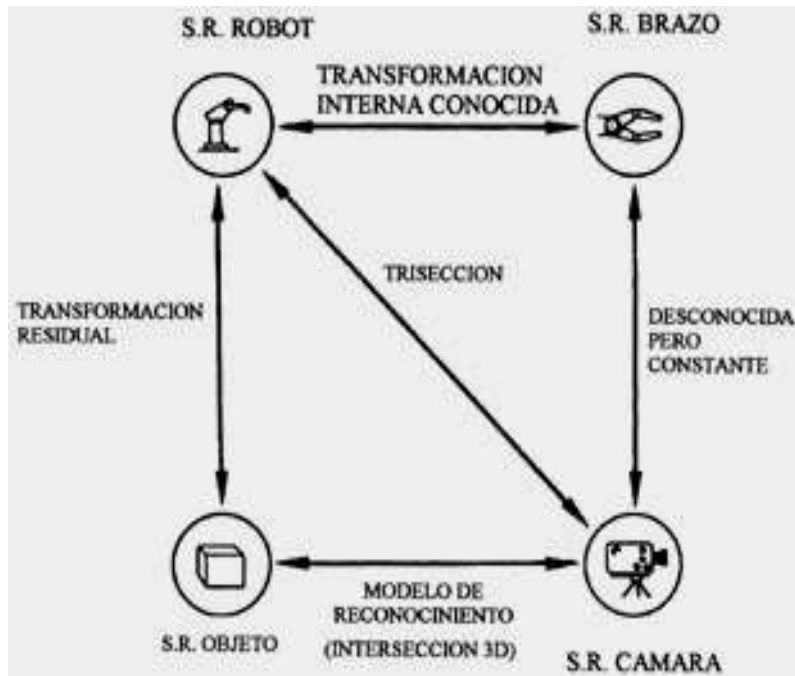
Los sistemas de diseño asistido por Ordenador (CAD) permiten crear un modelo geométrico informático de un diseño, que se puede visualizar perfectamente hasta el mínimo detalle, sin necesidad de fabricar ningún prototipo material. Este modelo puede analizarse, y en función de los resultados, modificarse, es decir optimizar su diseño logrando, prácticamente, su definición completa, evitando así los posibles errores de interpretación de los planos.

Con un sistema CAD 3D podemos definir el modelo geométrico informático de diseño trabajando en un espacio afín euclídeo tridimensional, utilizando entidades o primitivas, que determinaremos en forma, magnitud y posición respecto de una referencia afín. Por defecto,

los sistemas trabajan respecto de una referencia global cartesiana ortonormada, predefinida y directa o a derechas, pero para facilitar el diseño, también permiten al usuario definir nuevas referencias locales (cartesianas, cilíndricas o esféricas).



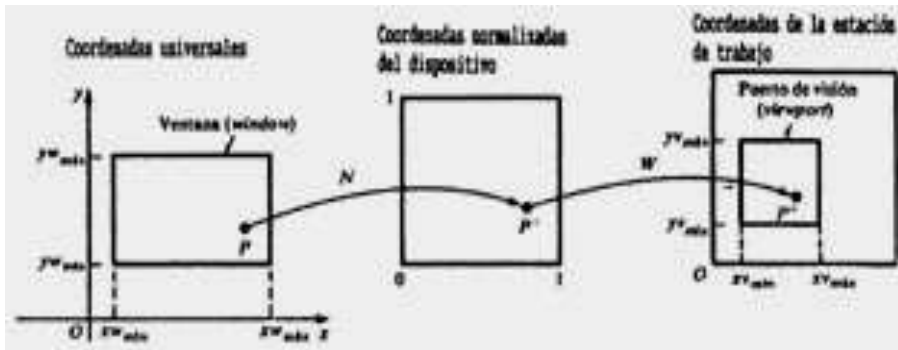
Existen diversas maneras de definir una nueva referencia. Una sería por 3 puntos: el origen, otro punto en el eje X, otro punto en el eje Y; el eje Z queda determinado por la regla de la mano derecha.



Una vez definido el diseño del objeto en un espacio virtual de trabajo (subespacio del espacio real ilimitado), para visualizarlo en la pantalla (bidimensional) del monitor habrá que realizar las siguientes operaciones:

- 1) Proyectar los objetos de la escena a visualizar sobre un plano, el plano de proyección o del cuadro, pudiéndose utilizar distintos tipos de proyección, paralela o perspectiva. A partir de las coordenadas espaciales (X, Y, Z) del objeto, respecto de una referencia cartesiana general o universal (WCS: World Coordinate System), obtendremos las coordenadas (X_o, Y_o) del objeto proyectado sobre el plano, respecto de una referencia cartesiana universal en el plano. Estas coordenadas, las de antes y después de la proyección, serán números reales.
- 2) Una vez proyectados los objetos de la escena contenidos en el volumen de visión sobre el plano de proyección, hay que exhibir el contenido de este plano sobre el soporte bidimensional del dispositivo digital de salida, por ejemplo, sobre la pantalla del monitor. Concretamente habrá que mapear el contenido del rectángulo de visión (la ventana-window) del

plano de proyección, sobre otra región rectangular determinada (el puerto de visión-viewport) de la pantalla.



Habrá que hacer unas transformaciones, llamadas Ade vista@, para la conversión de las coordenadas, que pasen de las coordenadas de usuario del plano de proyección en un sistema de referencia universal (WoCS) (estas coordenadas serán en números reales), a las coordenadas del dispositivo físico de salida en el sistema de referencia de este dispositivo de visualización PDCS (estas coordenadas deberán ser números enteros). Generalmente, debido a que existe una amplia variedad de dispositivos de visualización cada uno con un sistema coordenado propio, suele realizarse una normalización intermedia de las coordenadas, refiriéndolas al sistema coordenado de un dispositivo virtual normalizado o estandarizado de dimensiones 1x1. (NDCS: normalized device coordinate system).

Estas transformaciones figura 8, (N) de la referencia WoCS a la NDCS, y (W) de la referencia NDCS a la PDCS, pueden expresarse en forma matricial, teniendo ambas la forma

$$[N] \text{ ó } [W] = \begin{bmatrix} S_x & 0 & (-S_x x_{w_{min}} + x_{v_{min}}) \\ 0 & S_y & (-S_y y_{w_{min}} + y_{v_{min}}) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

En donde

$$S_x = \frac{xv_{max} - xv_{min}}{xw_{max} - xw_{min}}$$

$$S_y = \frac{yv_{max} - yv_{min}}{yw_{max} - yw_{min}}$$

Aquí xw , yw se refieren a las coordenadas de la ventana, y xv , yv a las coordenadas del puerto de visión. Habrá que multiplicar a las coordenadas del punto Pw de la ventana por las matrices (W) y (N) para obtener las coordenadas del pixel Pv del puerto de visión.

3) A los objetos visualizados pueden aplicarse transformaciones. Las transformaciones más utilizadas en un sistema de diseño asistido por ordenador son el escalado, la traslación y la rotación. También es muy empleada la reflexión o simetría. Estas transformaciones suelen llamarse afines porque puede establecerse una relación de afinidad entre el objeto original y el transformado.

Generalmente las transformaciones que necesitemos realizar a un objeto serán compuestas, bien porque tengamos que hacer una sucesión de transformaciones simples para obtener el resultado deseado, o bien porque la única transformación necesaria de ejecución no lo sea con respecto a elementos coordinados (centro, ejes o planos de referencia OXYZ); solamente estas transformaciones, las referidas a los elementos coordinados, son las que están incorporadas en el sistema de CAD. En este caso se necesitará realizar unas transformaciones previas que al final habrá que deshacer. Estas transformaciones preparatorias las realizará el sistema de CAD de forma transparente al usuario, es decir, sin que el diseñador sea consciente de ellas.

5. Bibliografía

Alcala A.R. et al. ADiccionario de Cartografía@. Ediciones Ciencias Sociales. 1995. ISBN 84-87510-37-X.

Chuvieco E. AFundamentos de Teledetección Espacial@. Ed. Rialp. 1990. ISBN 84-321-2680-2.

Foley, J.; Van Dam, A.; Feiner, S.; Hughes, J. AComputer Graphics: Principles and Practice@. Addison-Wesley Publising Company. 1990. ISBN 0-201-12110-7.

Giménez Yanguas, F. AEstructura y Conexiones Interdisciplinarias de la Ingeniería Gráfica@. Anales de Ingeniería Gráfica, Enero-Diciembre 1998. Núm. 1. ISSN 1137-7704.

- Heiskanen W. y Moritz H. AGeodesia Física@. Instituto Geográfico Nacional. Instituto de Astronomía y Geodesia. 1985.
- Jassin, G.A. ALa Arquitectura a través del CAD@ Ed. CADPUBLISA. 1993. ISBN 84-604-7901-3.
- Leick A. AGPS Satellite Surveying@.2nd Edition. Willey Interscience Publication. 1995. ISBN 0-471-30626-6.
- Mailing D.H. ACoordinate System and Map Projections@. 2nd. Edition. Pergamon Press. 1992. ISBN 0-08-037234-1.
- Manzano-Agugliaro, F; Colomer de la Oliva, I.; García Buendía, T. AAplicaciones Fotogramétricas y Cartográficas en la Ingeniería Rural@. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. 1999. ISBN 84-8240-284-6.
- Pachelshi W. APossible Uses of Natural (Baricentric) Coordinates for Positioning with the GPS. Technical Report Departament of Geodesy. Universität Stuttgart. 1994.
- Robinson, A.H.; Sale R.D.; Morrison J.L; Muehrcke Ph. C. AElementos de Cartografía@. Ediciones Omega S.A. 1987. ISBN 84-282-0768-2.
- Wolf P.R. AElements of Photogrammetry@. Ed. Mc. Graw-Hill International Editions. Second Edition. 1987.

3.6. EJERCICIOS Y PROBLEMAS

PREGUNTAS FALSO O VERDADERO:

Item

F V

- 3.6.1.** El desplazamiento por relieve presenta la siguiente característica el directamente proporcional a la altura de vuelo relativa al punto restituído e inversamente proporcional a la diferencia de cotas.
- 3.6.2.** La foto es una proyección central y por tanto puede presentar deformación en las distancias.
- 3.6.3.** El desplazamiento por relieve tiene dirección radial con centro en el centro de la foto inclinada.
- 3.6.4.** El ángulo medido en una foto no es diferente a su homólogo en el terreno.

ESCOGENCIA MÚLTIPLE

3.6.5. Se define proyección central como:

- a. Aquella en la cual no se presenta deformación de los ángulos.
- b. Aquella en la cual no se presenta deformación en las distancias.
- c. Aquella en la cual todos los rayos proyectantes pasan por un punto común.
- d. Aquella en la cual todos los rayos proyectantes son perpendiculares al plano de proyección.

3.6.6. En el desplazamiento por relieve de una foto vertical se cumple:

- a. Es inversamente proporcional a la altura de vuelo sobre el plano de referencia asumido.
- b. Es inversamente proporcional a la altura de vuelo sobre el plano del terreno.
- c. Es inversamente proporcional a la distancia medida en la fotografía, entre el punto considerado y el isocentro.
- d. Es directamente proporcional a la distancia medida en la fotografía, entre el punto considerado y el punto.

3.6.7. Se define proyección central como:

- a. Aquella en la cual todos los planos proyectantes son perpendiculares al plano del objeto
- b. Aquella en la cual todas las líneas proyectantes son perpendiculares al plano del objeto.
- c. Aquella en la cual todas las líneas proyectantes pasan por un punto común.
- d. Aquella en la cual no se presenta deformación en las distancias.

3.6.8. En el desplazamiento por relieve de una foto vertical se cumple:

- a. Es inversamente proporcional a la altura de vuelo sobre el plano de referencia asumido.
- b. Es inversamente proporcional a la altura de vuelo sobre el plano del terreno.
- c. Es inversamente proporcional a la distancia medida en la fotografía, entre el punto considerado y el isocentro.

ORDENAMIENTO LÓGICO SECUENCIAL

3.6.9. Realice el ordenamiento lógico para la secuencia siguiente:

Para medir el área de un lote de terreno luego de graficado el lote por el método de intersección directa se procede:

- a. Se determina la línea de vuelo en cada foto.
- b. Se divide el polígono obtenido en triángulos.
- c. Se coalinean los centros de fotos garantizando la distancia entre los centros que corresponde a la escala predeterminada.
- d. Se miden los lados de todos los triángulos obtenidos.
- e. Se fugan líneas radiales que unen los centros de cada foto y el respectivo punto homólogo hasta que se intersecten dichas líneas radiales.
- f. Se define la escala a la que se va a realizar el plano.
- g. Se calcula el área por el método del semiperímetro.
- h. Se localizan los puntos vértices de lindero, en las fotografías consecutivas recubiertas.
- i. Se calcula la distancia de separación entre los centros de las fotos que corresponda a la escala predeterminada.
- j. Se unen los puntos trasladados (triangulados) obteniéndose el dibujo a la escala predeterminada.

3.6.10. Para medir un área por el método de triangulación radical numérico debe cumplirse la siguiente secuencia lógica en el proceso. Ordénala correctamente.

- a. Determinar parámetro p y proyección y_{iv} .
- b. Definir sistema coordenado donde línea de vuelo se define como eje x y la normal por el centro como eje y .
- c. Calcular área por método de las dobles ordenadas.
- d. Determinar proyecciones terrestres utilizando parámetros p e y_{iv} .
- e. Determinar los vértices del terreno a medir.
- f. Medir coordenadas fotográficas en las dos fotos, para cada uno de los puntos.
- g. Determinar línea de vuelo en cada foto.

PROBLEMAS:

- 3.6.11.** De una fotografía aérea vertical se conocen los siguientes datos: Distancia en la fotografía entre el punto nadiral y un punto “r” = 2.02 cm. Altura de vuelo relativa a un punto “S” = 1480 m. Desplazamiento debido al relieve del punto “R” con relación al plano que pasa por “S” = +5.8 mm. Determine la altura de vuelo sobre el punto –“R”.
- 3.6.12.** En una fotografía vertical tomada con una cámara de 151.98 mm de distancia entre el centro óptico y el plano del negativo, se determina un punto W de coordenadas $x_w = 4.12$ cm, $y_w = -2.84$ cm. Su punto homólogo en el plano del objeto tiene una elevación sobre el Datum de 1605 m. Si la altura a la que volaba el avión era de 3340 m sobre el nivel de referencia, restituya el punto a una escala de 1:10000 (encontrar coordenadas restituidas).
- 3.6.13.** La parte recta de una pista de automovilismo mide 2300 m y en una fotografía su imagen mide 23 cm. La altura sobre el Datum es de 900 m. Determinése la escala en una fotografía para una meseta situada 1200 m más arriba del nivel de la pista, la cámara con la que se tomó la fotografía tiene una distancia focal de 152.23 mm.
- 3.6.14.** De una fotografía aérea vertical se conocen los siguientes datos: Distancia en la fotografía entre el punto nadir y la esquina inferior de un edificio = 8.32 cm. Distancia en la fotografía entre la esquina inferior y la correspondiente superior del edificio = 3.7 mm. Altura de vuelo sobre la parte inferior del edificio = 2650 m. Calcular la altura del edificio.
- 3.6.15.** De una fotografía aérea vertical se conoce:
- Distancia en la fotografía entre el punto nadir y la esquina inferior de un edificio = 11.52 cm.
 - Distancia en la fotografía entre la esquina inferior y la correspondiente superior del edificio = +9.8 mm.
 - Altura del edificio = 60 m.
- Determinar la altura de vuelo sobre la base del edificio.
- 3.6.16.** De una fotografía aérea vertical se conocen los siguientes datos:

- Altura del edificio 80 m.
- Distancia en la fotografía entre la parte superior y la inferior del edificio = 3.1 mm
- Distancia en el terreno entre el punto nadir y la esquina del edificio = 3200 m.
- Altura de vuelo sobre la base del edificio = 2720 m.

Calcular la escala para el plano que pasa por la base del edificio.

4. ALTIMETRÍA.

4.1. LA ESTEREOSCOPIA:

En una definición simple, estereoscopia , es la facultad que poseen todos los seres dotados de visión binocular de ver los objetos tridimensionalmente, en razón de tener dos puntos de vista diferentes del mismo objeto, lo que permite la apreciación del largo, el ancho y la profundidad.

Hay tres maneras de observar una sola imagen de un objeto. La primera, la que se obtiene a mirar solo con el ojo izquierdo; la segunda cuando la observación se hace solamente con el ojo derecho y la tercera la que se produce cuando se mira simultáneamente con ambos ojos en una fusión de las dos anteriores. Cuando se mira alternadamente con cada ojo se observa un movimiento de izquierda a derecha de la imagen. Este movimiento se aumenta a medida que se acerca el objeto a los ojos. Ese movimiento aparente de la imagen se denomina paralaje, y es una función de las distancia entre el objeto y los ojos.

Existe una fuerte ligazón entre la estereoscopia y la fotogrametría. Hay un pleno paralelismo entre la fotografía y la facultad natural de la visión: La cavidad vítrea corresponde al cuerpo de la cámara, el cristalino es la lente y a su vez el cono de la misma; la cornea hace las veces del filtro, el iris las de diafragma y la retina es la película que impresiona el paso de la luz. La imagen visual es producida en un proceso asimilable al de revelado en el laboratorio. La percepción de la profundidad se obtiene en el cerebro al fusionarse en una sola las imágenes recibidas de cada uno de los ojos.

La tercera dimensión es perceptible de varias formas:

- A través de las sombras.
- Relacionando el tamaño relativo de los objetos.
- Por medio de la perspectiva.

No obstante una persona que mire con un solo ojo puede apreciar la profundidad de los objetos por medio de la variación del enfoque del cristalino.

Para la estimación o medida de la distancia relativa de los objetos en profundidad, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

4.1.1. LA DOBLE IMAGEN:

La doble imagen no se nota frecuentemente, debido a la gran rapidez con que el ojo humano varía el enfoque. Sin embargo puede apreciarse cuando se mira fijamente a un objeto y sin variar el enfoque natural, interponemos otro elemento, como por ejemplo un lápiz en posición vertical; en esta situación se verán dos imágenes del objeto interpuesto. El mismo resultado se presenta cuando se invierte el proceso, colocando el elemento detrás del que es mirado fijamente.

4.1.2. LA CONVERGENCIA RELATIVA DE LOS EJES ÓPTICOS DE LOS DOS OJOS CUANDO SE OBSERVAN OBJETOS A DISTANCIAS VARIABLES:

Este factor es el que hace crear la apreciación de la profundidad relativa entre los objetos que se observan. Esta convergencia de los ejes ópticos da origen en su intersección al denominado: **ÁNGULO PARALÍTICO**, cuyo valor se relaciona directamente con la distancia entre el objeto y el observador.

En general puede decirse que el ángulo paralítico es mayor a medida que disminuye la distancia entre el objeto y el observador. Véase figura 4.1.

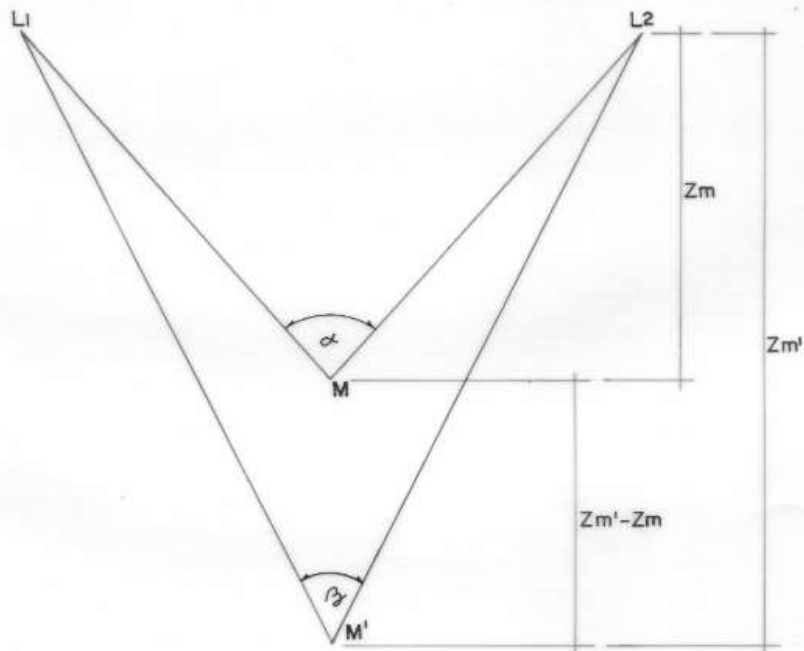


FIGURA 4.1. ÁNGULO PARALÍTICO.

Z_m : Distancia del observador al punto M.
 $Z_{m'}$: Distancia del observador al punto M'.
 α : Ángulo paralítico en el punto M.
 β : Ángulo paralítico en el punto M'.

$$Z_m \sim (1 / \alpha) \text{ y } Z_{m'} \sim (1 / \beta)$$

Por tanto :

$$(Z_{m'} - Z_m) \sim (\alpha - \beta)$$

Con la relación de proporcionalidad expresada entre la diferencia de los ángulos paralíticos y la distancia relativa entre los objetos, se fundamenta la apreciación de las alturas relativas entre objetos fotografiados por una cámara aérea. Véase figura 4.2.

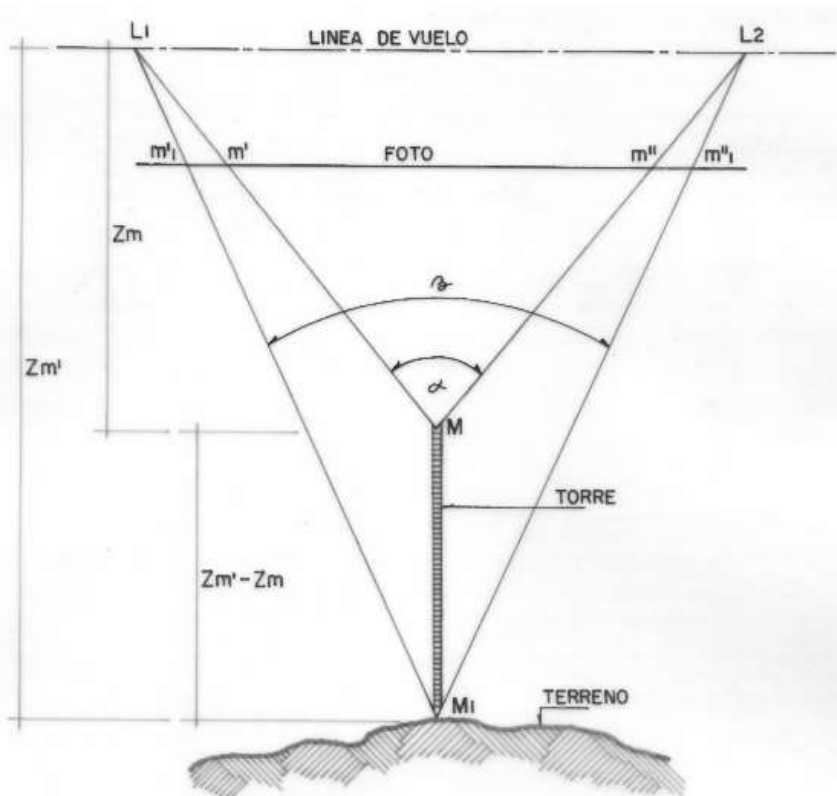


FIGURA 4.2. APRECIACIÓN DE LAS ALTURAS RELATIVAS DE LOS OBJETOS FOTOGRAFIADOS POR UNA CÁMARA AÉREA.

4.2. DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE PUNTOS :

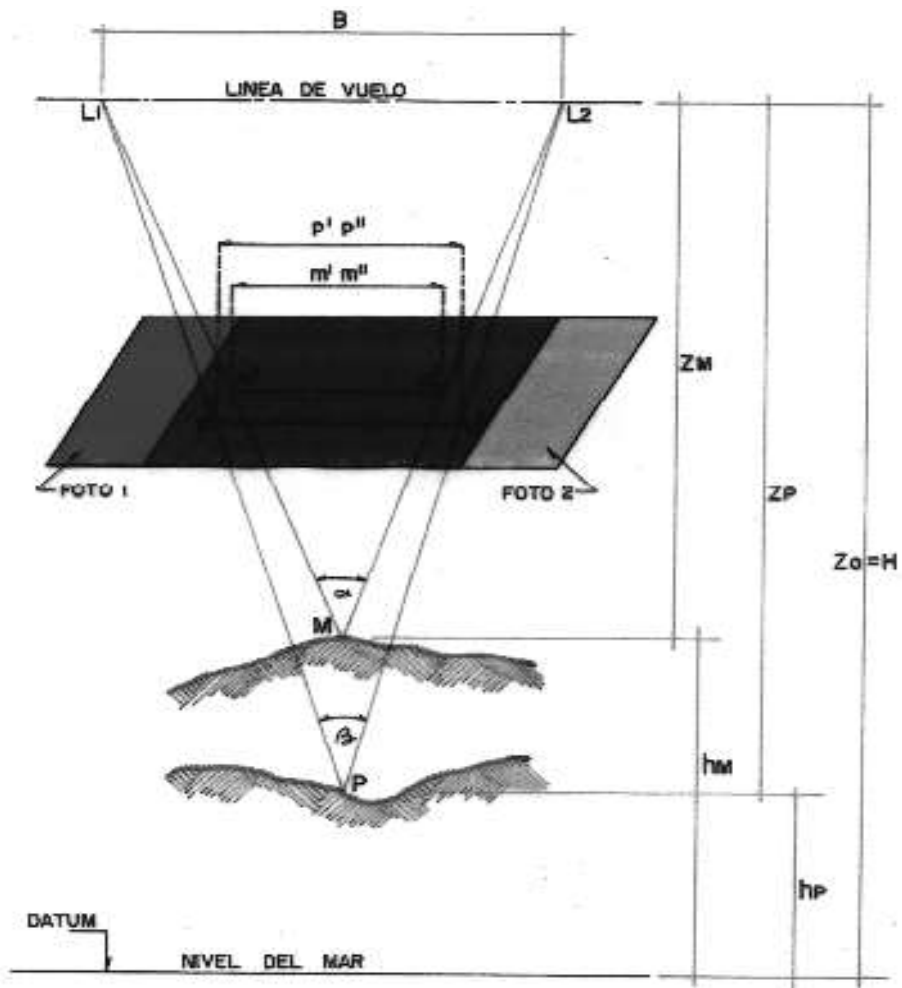


FIGURA 4.3. DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE PUNTOS.

Con base en la figura 4.3., puede decirse que la diferencia de altura entre puntos es apreciable por medio de fotografías que cumplen los requisitos de la estereoscopia: poder apreciar el relieve del terreno y medir sus diferencias relativas de elevación a partir de mediciones hechas sobre el plano de la fotografía. Para la figura las distancias: $d_{p'p''}$ y $d_{m'm''}$.

$$\alpha > \beta$$

$$d_{m'm''} < d_{p'p''}$$

$$Z_M < Z_P$$

$$h_M > h_P$$

$$(Z_P - Z_M) = (h_M - h_P)$$

4.3. VISIÓN ESTEREOSCÓPICA:

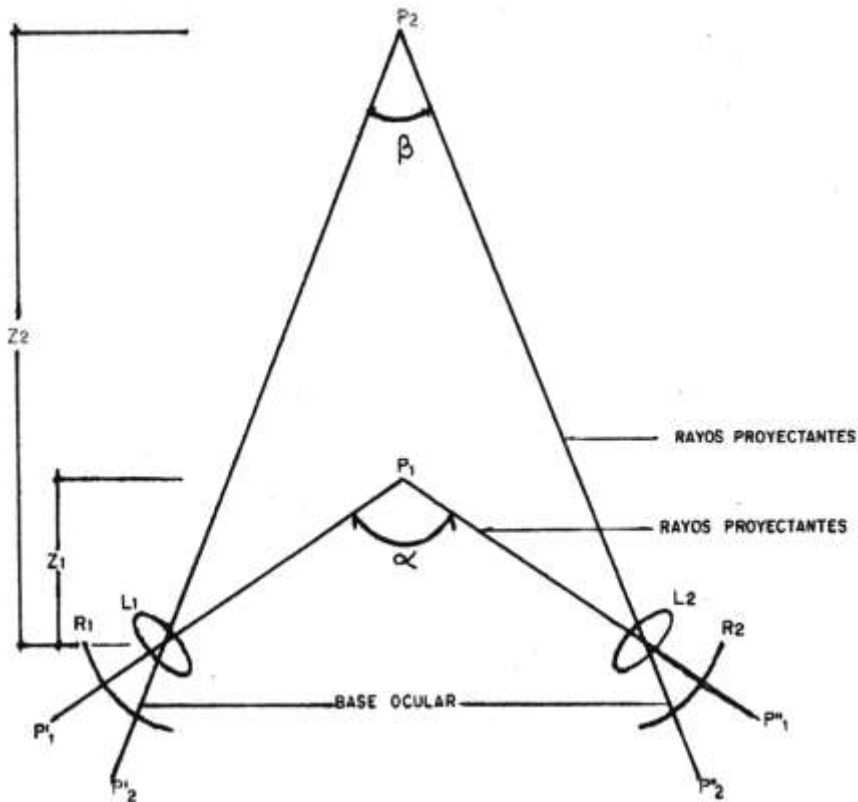


FIGURA 4.4. VISIÓN ESTEREOSCÓPICA.

El efecto tridimensional en las personas está dado en función de la visión estereoscópica; ello es posible al poseer dos puntos de vista (los ojos) separados normalmente una distancia de 6,5 cm. , lo que se denomina : base ocular.

En la figura 4.4., P_1 y P_2 representan dos objetos situados en frente de un observador, con P_1 alejado una cierta distancia de P_2 ; L_1 y L_2 representan las lentes (cristalinos) y R_1 y R_2 las retinas de los ojos del observador.

Al mirar a P_1 , en primer lugar los ojos convergen, en segundo lugar el objeto es enfocado por cada ojo independientemente, y luego las dos imágenes recibidas (ligeramente distintas una de otra.), se utilizan en la elaboración de un modelo mental tridimensional. En este proceso los dos primeros pasos se conocen como convergencia y acomodación.

El ángulo de convergencia es el conformado por la base ocular desde el objeto observado. Para el punto P_1 corresponde el ángulo α y para el punto P_2 el ángulo β . Al posarse la vista sobre el punto P_1 , hay convergencia y enfoque ocular a ese punto, de tal forma que las dos imágenes de P_1 (p'_1 y p''_1) se revelan sobre un foco que corresponde a un determinado punto de la retina de cada ojo. La imagen única de P_1 es percibida. Lo mencionado se conoce como fusión estereoscópica o fusión de imágenes.

Cuando la mirada se fija sobre el punto P_1 , los rayos de luz desde P_2 inciden en puntos de la retina que no se corresponden. La mente puede fusionar diversos pares de imágenes no correspondientes simultáneamente, si la cantidad no es numerosa; en caso distinto la fusión simultánea no es posible y se ven imágenes dobles. La suma de imágenes no correspondientes en la retina, la interpreta la mente como indicación de que la distancia de P_2 cae detrás de P_1 . De esta manera se construye el modelo mental tridimensional de los objetos.

4.3.1. FACTORES QUE AFECTAN LA VISIÓN ESTEREOSCÓPICA:

Un par de fotografías verticales, con traslapo longitudinal, tomadas en dirección de la misma línea de vuelo, al ser orientadas correctamente bajo el estereoscopio, deben presentar una imagen estereoscópica nítida, sin embargo esta puede verse afectada por varios factores:

4.3.1.1. La variación de la altura de vuelo entre fotografías consecutivas, da como resultado escalas medias diferentes, lo que dificulta la visión.

4.3.1.2. La falta de alineamiento durante el vuelo, hace que no se pueda determinar la línea de vuelo al unir los puntos principales de las fotografías consecutivas, siendo necesario reorientar las fotografías bajo el estereoscopio, para obtener visión estereoscópica.

4.3.1.3. La desalineación del estereoscopio en relación a línea de vuelo, presenta efecto similar al de la perdida de alineamiento durante el vuelo. Este defecto se corrige basculando el estereoscopio hasta obtener paralelismo entre la línea de vuelo y la línea que une los centros oculares del mismo.

4.3.1.4. Paralaje excesiva entre imágenes consecutivas, la cual se produce por la inclinación del avión durante la toma de las fotografías.

4.3.2. VISIÓN SEUDOSCÓPICA :

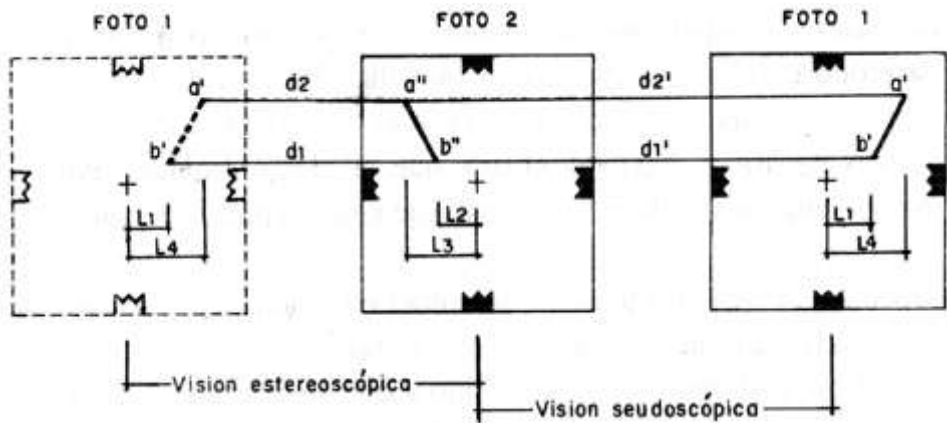


FIGURA 4.5. VISIÓN SEUDOSCÓPICA. DESPLAZAMIENTO POR RELIEVE DE “ a ” CON RELACIÓN A “ b ”.

Cuando la posición correcta de un par de fotografías consecutivas recubiertas que permiten la visualización estereoscópica se cambia, pero su orientación permanece inalterada, la distancia entre las dos imágenes (a' a'') sería mayor que la de las dos imágenes (b' b''). En esta condición la diferencia de paralaje se invierte y la observación bajo estereoscópio experimenta la visión seudoscópica, en la que las colinas se representarían como depresiones y los cauces como crestas. (Véase figura 4.5.).

No obstante un par estereoscópico no es esencial siempre para la producción de un efecto seudoscópico, en ciertas fotografías se produce la ilusión de relieve invertido cuando se hace orientación de las sombras alejándose del observador, al girarse las fotografías las sombras se proyectan nuevamente hacia el observador y el relieve se forma normal; entonces se gira lentamente a la posición primitiva, produciéndose el efecto de que el relieve se ve como normal.

Este efecto se da, aparentemente, debido a una suposición hecha por el observador, respecto a la dirección de la luz en el momentote la toma de la fotografía. Es como si el observador supiera que la luz llegará de la dirección que está frente a él. Si el supuesto es erróneo, el relieve se observa invertido. Cuando se supone que la dirección de la luz permanece constante, mientras se gira la fotografía, la apariencia del relieve normal se presenta súbitamente. Una vez que ha sido “observado” el relieve normal y la verdadera dirección de la luz incidente en el momento de la toma de la fotografía, es probable que no se destruya la apariencia del relieve normal con la rotación de esta. Cuando las sombras están correctamente dirigidas al observador, el modelo estereoscópico es óptimo y el relieve se observa convenientemente.

4.3.3. EXAGERACIÓN ESTEREOSCÓPICA DEL RELIEVE:

El modelo estereoscópico se deforma por la diferencia presentada entre las escalas altimétricas y planimétricas, y hace que como consecuencia se insinúen pendientes más fuertes en el modelo óptico del terreno que en la realidad.

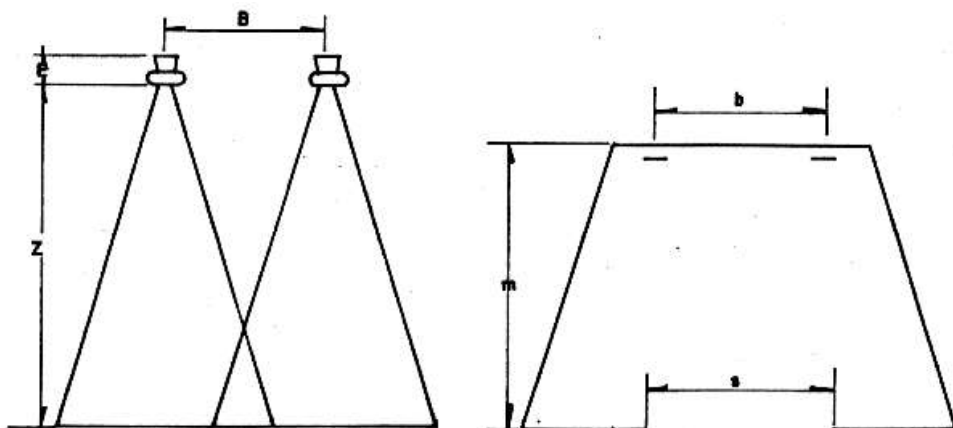


FIGURA 4.6. RELACIONES ENTRE b, Z, f Y b, s, m .

4.3.3.1.FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FENÓMENO DE LA EXAGERACIÓN ESTEREOSCÓPICA:

4.3.3.1.1. Las relaciones en el momento de la toma de la fotografía entre la base aérea (B), la altura de vuelo relativa al terreno (Z) y la distancia focal (f).

4.3.3.1.2. Las relaciones en el momento de la observación del modelo estereoscópico entre la distancia interpupilar (b), la separación entre fotos (s) y la distancia a la que se observan las fotografías (m). (Véase figura 4.6.).

Se requiere que la relación entre la base aérea (B) y la altura de vuelo relativa al terreno (Z) sea igual a la relación entre la distancia interpupilar (b) y la distancia a la que se observan las fotografías (m) para que no exista exageración en las elevaciones del terreno:

$$B / Z = b / m$$

Pero generalmente:

$$B / Z \gg b / m$$

Lo que hace que el terreno se vea exagerado verticalmente.

En conclusión puede afirmarse que entre mayor sea la relación de proporcionalidad entre B / Z y b / m mayor será la exageración que se produce.

4.4. EL ESTEREOSCOPIO:

Es un instrumento que permite realizar de manera cómoda la visión estereoscópica de un par de fotografías consecutivas recubiertas, además de permitir el aumento de la escala del modelo estereoscópico.

4.4.1. CLASES DE ESTEREOSCÓPIOS:

4.4.1.1. ESTEREOSCOPIO DE LENTES O DE BOLSILLO:

Es aquel dotado de un par de lentes plano-convexas sobre un soporte, separadas a la distancia interpupilar promedio ó con un mecanismo para ajustarlo a las necesidades del observador. Tiene un aumento de dos a tres veces y se utilizan especialmente para trabajo de campo, haciendo visión estereoscópica sobre fotografías en los formatos comunes de 23 cm x 23 cm. o de 18 cm x 18 cm.. Para observar la totalidad del área estereoscópica que normalmente se obtiene, es necesario levantar un poco una de las fotografías. (Véase figura 4.7.).

Estereoscopio métrico de
bolsillo TM Zeiss



Estereoscopio de bolsillo
TS 4 Zeiss



FIGURA 4.7. ESTEREOSCOPIO DE LENTES O DE BOLSILLO.

4.4.1.2. ESTEREOSCOPIO DE ESPEJOS :

Está basado en un sistema de prismas y espejos, cuya ventaja más importante sobre el estereoscopio de lentes estada por la posibilidad de que la visión estereoscópica se realiza con las fotografías separadas y es observable todo el área del recubrimiento longitudinal.

La distancia óptica entre los ojos y las fotografías está dada por la suma de la distancia entre los ojos y los prismas, los prismas y los espejos y entre estos y las fotografías, convirtiéndose en una distancia bastante grande con relación a la que se toma con el estereoscopio de bolsillo, dando como resultado que el objeto visualizado aparezca muy pequeño , lo que se obvia utilizando unas lentes intercaladas entre los prismas y los ojos del observador, generando dos

aumentos diferentes intercambiables a voluntad. Los binoculares generalmente están dispuestos en posición oblicua, haciendo más cómoda la observación. Véanse figuras 4.8. y 4.9. .

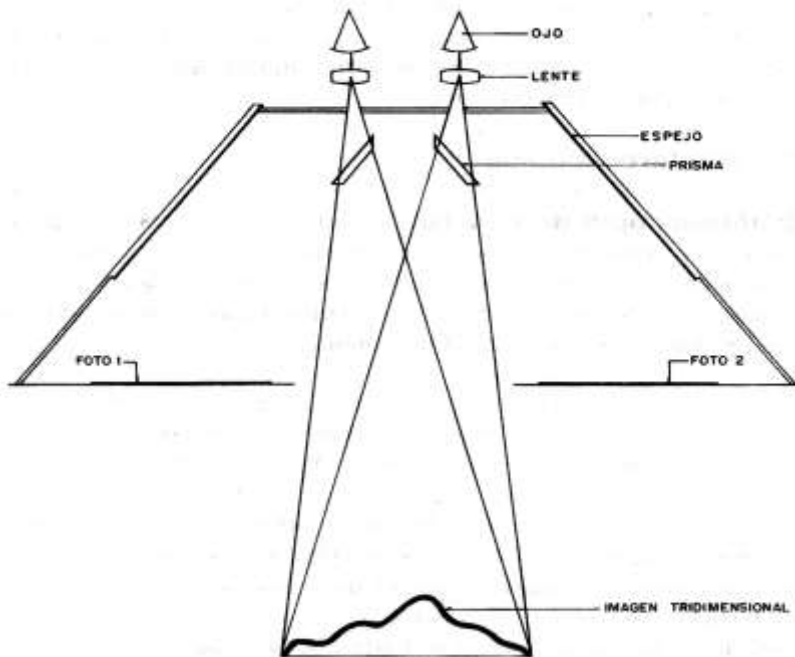


FIGURA 4.8. ESQUEMA ESTEREOSCOPIO DE ESPEJOS.

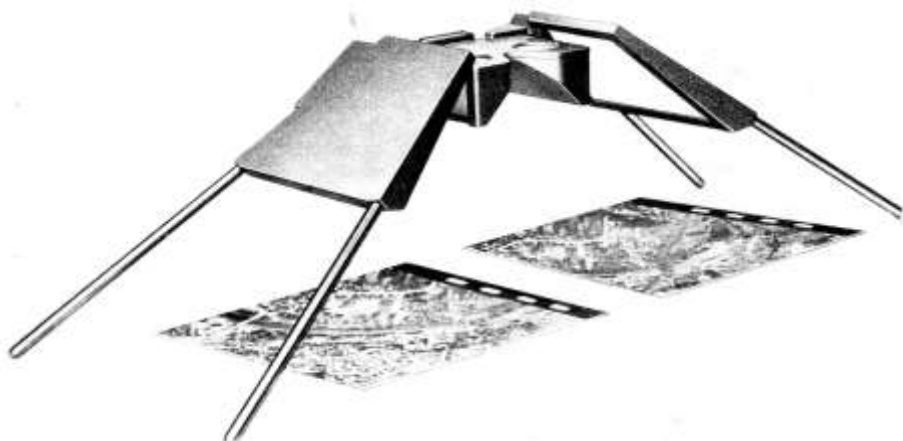


FIGURA 4.9. ESTEREOSCOPIO DE ESPEJOS MODELO N2 ZEISS.

4.4.1.3. ESTEREOSCOPIO DE PUENTES:

Es una versión del estereoscopio de lentes, el cual permite la observación de varias fotografías recubiertas en forma continua y además es posible cambiar lentes de aumento de 2x a 4x , así como también ajustar la distancia al plano de observación.

4.4.1.4. ESTEREOSCOPIO DE LENTES ZOOM:

Es otra de las variantes del estereoscopio de espejos, caracterizado por la versatilidad de ajuste de aumentos diferentes en cada lente, permitiendo la modificación de la escala de la fotografía y dado su amplio rango de lentes de aumento es posible escoger la escala más adecuada a un determinado trabajo. El sistema óptico que posee permite la rotación de las imágenes en 360° sin rotar las fotografías.

4.5. LA PARALAJE ESTEREOSCÓPICA:

La paralaje relaciona su definición, al desplazamiento relativo de objetos estacionarios, en función de un observador en movimiento el cual los visualiza desde puntos de vista diferentes. Para la fotografía aérea, el observador en movimiento es el avión, el objeto estacionario es el terreno y los puntos de vista diferentes son las fotografías consecutivas recubiertas.

La paralaje de un punto se define entonces como: el desplazamiento relativo de sus imágenes en un par de fotografías consecutivas recubiertas , o como la diferencia entre las abscisas de las dos imágenes de fotografías recubiertas en un sistema coordenado donde el eje de abscisas (eje x) esta definido por la línea de vuelo y el eje de ordenadas (eje y) por la perpendicular a esta , por el punto principal de cada fotografía.

Se denomina **DIFERENCIA DE PARALAJE**, a la diferencia entre los desplazamientos relativos de las imágenes de dos puntos.

La paralaje de un punto esta relacionada directamente con su respectiva altura (cota). A mayor paralaje mayor elevación del terreno (mayor cota). Véanse figura 4.10. y figura 4.11.

Dependiendo de las condiciones de vuelo es posible que se presente variaciones en la componente en el eje y del punto, generándose paralaje en y , definida como la posición relativa en función del eje y para un punto en dos fotografías consecutivas recubiertas. Véase figura 4.12.

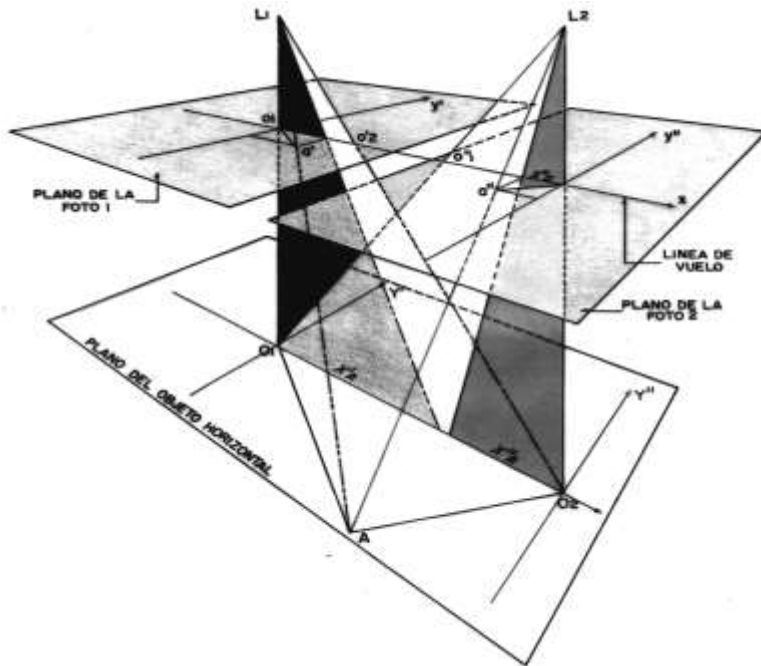


FIGURA 4.10. LA PARALAJE EN X EN FOTOGRAFÍAS VERTICALES PARA UN PUNTO A.

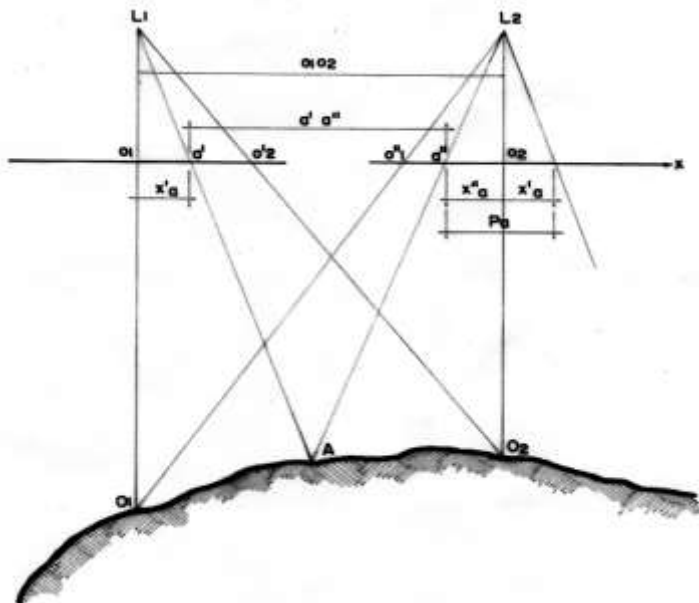


FIGURA 4.11. LA PARALAJE EN X EN FOTOGRAFÍAS VERTICALES A IGUAL ALTURA PARA UN PUNTO A . CORTE VERTICAL.

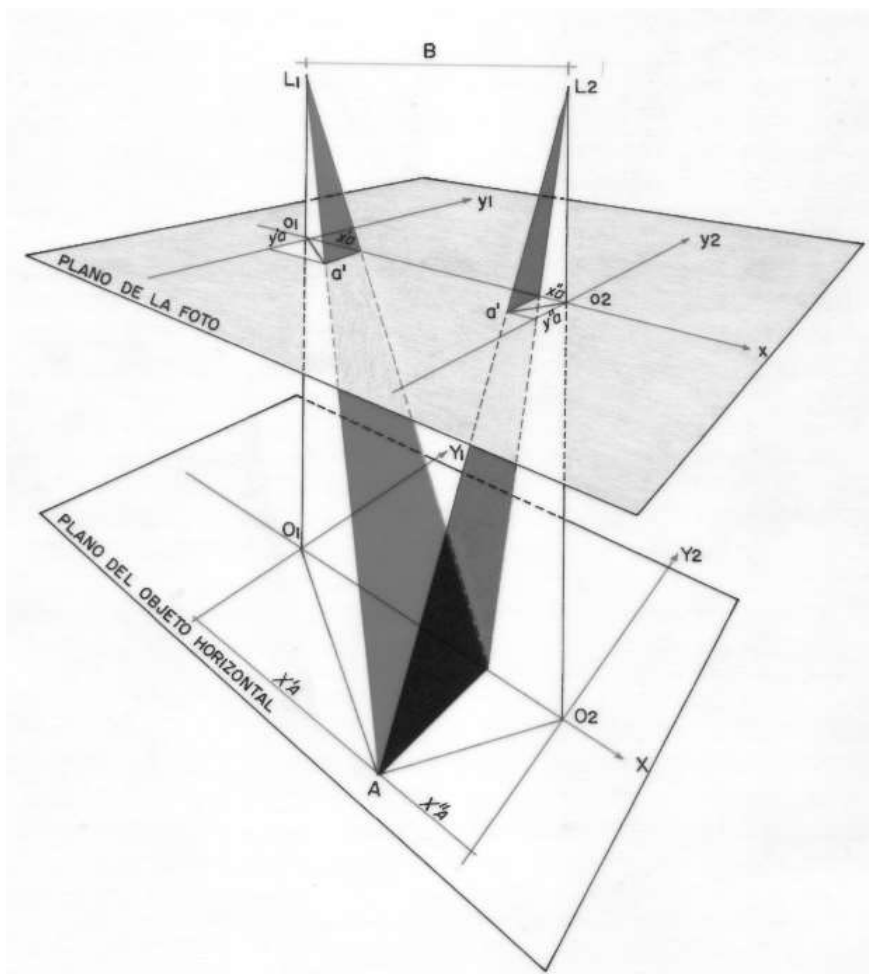


FIGURA 4.12. LA PARALAJE EN Y EN FOTOGRAFÍAS VERTICALES PARA UN PUNTO A.

Definiéndose en un par de fotografías consecutivas recubiertas, sea fotografía 1 la fotografía de la izquierda y fotografía 2 la fotografía de la derecha respectivamente.

La línea de vuelo en la foto de la izquierda está determinada por su punto principal (o_1) y la imagen del punto principal de la foto de la derecha (o'_2). De la misma manera en la fotografía de la derecha la línea de vuelo se determina por el punto principal correspondiente (o_2) y la imagen del punto principal de la foto de la izquierda (o''_1).

Se tiene entonces:

x' = Abscisa de la imagen del punto del terreno en la fotografía de la izquierda.

x'' = Abscisa de la imagen del punto del terreno en la fotografía de la derecha.

p = Paralaje para un punto del terreno.

Se expresa la paralaje como:

$$p = x' - x''$$

4.6 TEOREMA FUNDAMENTAL DE LA ALTIMETRÍA: (VÉASE FIGURA 4.13.)

Sean L_1 , L_2 posiciones del centro óptico de la cámara en el momento de la toma de las fotografías: I (Izquierda), II (Derecha).

Se asume fotografías perfectamente verticales, con tomas hechas a la misma altura de vuelo, por lo cual la línea $L_1 - L_2$ (base aérea), es horizontal.

Los planos de las fotografías se confunden en un solo plano horizontal, el plano de la fotografía F), por lo que la línea de vuelo se convierte en la misma línea $o_1 - o_2$ que denomina eje de abscisas o eje de las equis.

El punto A del terreno tiene como imágenes en el plano F) al punto a' en la fotografía I (izquierda), y al punto a'' en la fotografía II (Derecha).

El plano del OBJ) (terreno), es horizontal, paralelo al plano F) y pasa por el punto A .

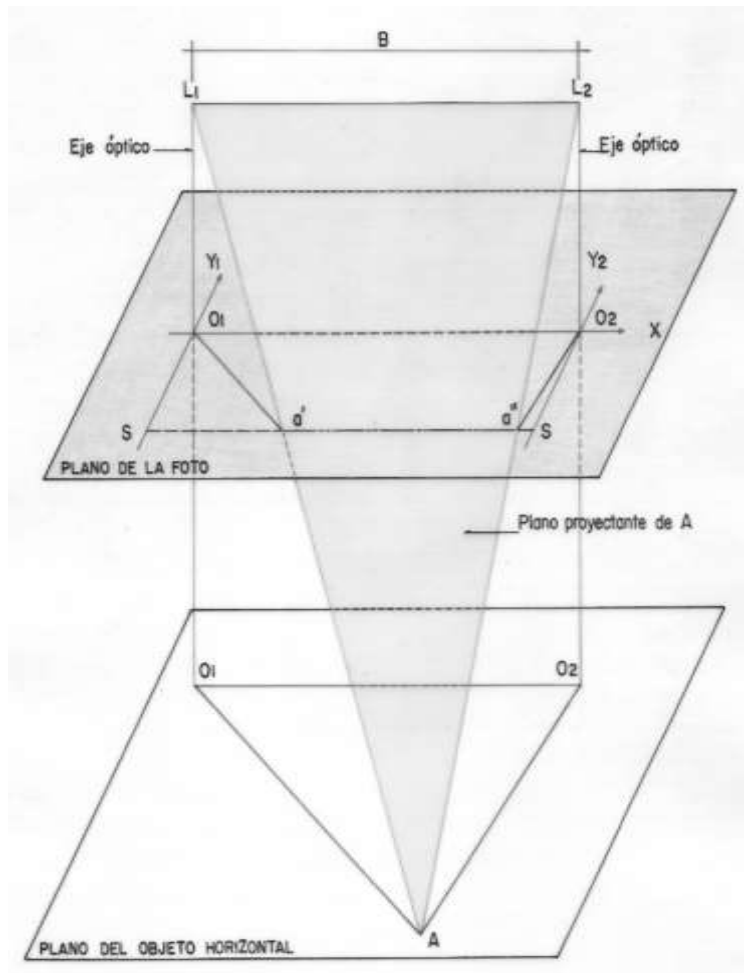


FIGURA 4.13. LA PARALAJE ESTEREOSCÓPICA DE UN PUNTO DEL TERRENO.

El eje óptico corta el plano de la fotografía I en o_1 , al plano de la fotografía II en o_2 y al plano del OBJ) en los puntos O_1 y O_2 , en las correspondientes posiciones L_1, L_2 posiciones de toma de las fotografías I, II respectivamente.

En cada una de las fotografías por los puntos o_1 y o_2 se trazan perpendiculares a la línea de vuelo $o_1 - o_2$ que se denominan ejes de las ordenadas o eje de las y .

El punto s en cada uno de los ejes y , se forma al trazar la proyección al eje desde los puntos a' y a'' .

Considerando todo lo anterior, se tiene:

La línea $L_1 - L_2$ es paralela al plano F) y al plano OBJ). **Ecuación 1**

s, a', a'', s están alineados. **Ecuación 2**

$L_1 - L_2 \parallel o_1 - o_2 \parallel O_1 - O_2 \parallel s - s$. **Ecuación 3**

$L_1 - L_2 = o_1 - o_2 = O_1 - O_2 = s - s$ **Ecuación 4**

Considerando la semejanza de los triángulos $\Delta L_1 o_1 a' \sim \Delta L_1 O_1 A$

$o_1 - a' \parallel O_1 - A$. **Ecuación 5**

De igual manera considerando la semejanza de los triángulos $\Delta L_2 o_2 a''$

$\sim \Delta L_2 O_2 A$:

$o_2 - a'' \parallel O_2 - A$. **Ecuación 6**

Sea:

$p = x' - x''$ **Ecuación 7**

Se tiene:

$p = s a' - s a''$

$p = s a' - a'' s$

$p = s a' + a' a'' + a'' s - a' a''$

$p = s s - a' a''$ **Ecuación 8**

De ecuación 4 y ecuación 8:

$p = L_1 L_2 - a' a''$ **Ecuación 9**

De los triángulos semejantes $\Delta L_1 L_2 A \sim \Delta a' a'' A$ se tiene:

$(L_1 L_2 / a' a'') = (L_1 A / a' A)$ **Ecuación 10**

Por propiedades de las proporciones y teniendo en cuenta la Ecuación 10:

$$\left(\left(L_1 L_2 / (L_1 L_2 - a' a'') \right) \right) = \left(\left(L_1 A / (L_1 A - a' A) \right) \right).$$

Según Ecuación 4 , considerando $L_1 L_2 = B$ y Ecuación 9 :

$$(B / p) = (L_1 A / a' L_1) \quad \text{Ecuación 11}$$

De Ecuación 5:

$$(L_1 A / a' L_1) = (L_1 O_1 / o_1 L_1) \quad \text{Ecuación 12}$$

de Ecuaciones 11 y 12 :

$$(B / p) = (L_1 O_1 / o_1 L_1)$$

O sea:

$$(B / p) = (Z / f) \quad \text{Ecuación 13}$$

Que puede escribirse :

$$p \cdot Z = B \cdot f \quad \text{Ecuación 14}$$

La cual se describe como la ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LA ALTIMETRÍA: El Producto de dos variables p y Z es igual al producto de las constantes B y f .

4.6.1. OTRA FORMA DEL TEOREMA FUNDAMENTAL DE LA ALTIMETRÍA :

Sean:

p_r : paralaje del punto de referencia.

p : paralaje de un punto cualquiera.

h_r : cota del punto de referencia.

h : cota de un punto cualquiera.

H : altura absoluta de vuelo.

Δp : diferencia de paralaje.

Δh : diferencia de altura.

ΔZ : diferencia de altura de vuelo relativa al terreno.

Pero:

$$Z_r = H - h_r$$

$$Z = H - h$$

$$\Delta p = p - p_r$$

$$\Delta h = h - h_r$$

$$\Delta Z = Z - Z_r$$

$$H = h_r + Z_r = h + Z$$

Agrupando términos:

$$h - h_r = Z_r - Z$$

$$\Delta h = - \Delta Z \quad \text{Ecuación 15}$$

Apoyados en la Ecuación 14 puede decirse:

$$p \cdot Z = p_r \cdot Z_r$$

$$p \cdot (Z_r + \Delta Z) = (p - \Delta p) \cdot Z_r$$

O sea:

$$p \cdot \Delta Z = - \Delta p \cdot Z_r$$

También según ecuación 15:

$$- p \cdot \Delta h = - p \cdot Z_r$$

Que puede ser escrita:

$$\Delta h = Z_r \cdot \left(\frac{\Delta p}{p} \right) \quad \text{Ecuación 16}$$

4.6.2. OTRA FORMA DE DEFINIR LA PARALAJE :

Siendo $o_1 - o_2$ la distancia entre los centros de las fotografías la Ecuación 8 se convierte en:

$$p = o_1 o_2 - a' a'' \quad \text{Ecuación 17}$$

4.6.3. MEDICIÓN DE LA BASE DE VISIÓN ESTEREOSCÓPICA:

Esta medida es importante conocerla, para efectuar una observación apropiada y cómoda de un par estereoscópico al ser estudiadas con el estereoscopio de espejos. Depende del diseño del estereoscopio de espejos y de la distancia interpupilar del observador. Para obtenerla se procede de la siguiente forma. (Véase figura 4.14.)

Se coloca sobre la mesa de trabajo un papel y se traza una recta, en sentido transversal en la mitad de éste. Se observa la recta a través del estereoscopio de espejos y de verse dos líneas, rote el papel hasta ver una sola. Fije con cinta el papel a la mesa.

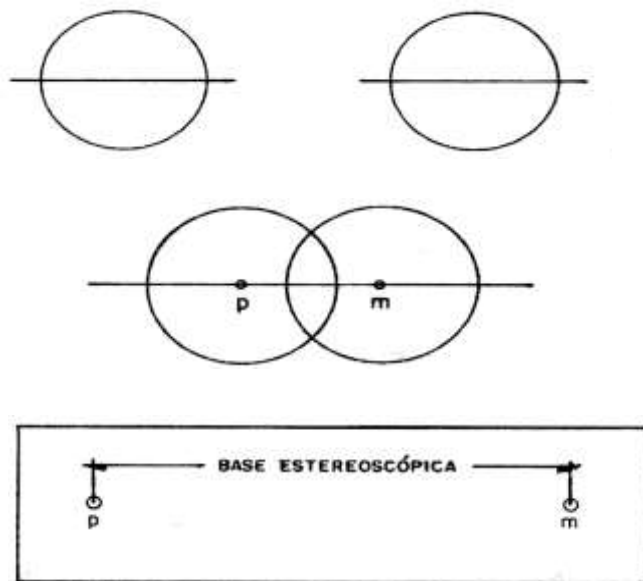


FIGURA 4.14. BASE DE VISIÓN ESTEREOSCÓPICA.

Inicialmente y utilizando únicamente el ojo izquierdo, marque una señal sobre la recta, de manera que esta esté situada en el centro del campo de visión.

Luego, mirando únicamente con el ojo derecho, marque otra señal sobre la recta, que de igual manera esté situada en el centro del campo de visión.

Observe con ambos ojos. Si ve una sola imagen de las señales colocadas sobre la recta se dice que se tiene visión paralela y que la distancia de visión estereoscópica es la dada por la separación entre las señales colocadas sobre la recta. Mídase esta distancia.

Si las señales marcadas sobre la recta se ven separadas, se dice que no se tiene visión paralela. En este caso desplace hacia la izquierda la señal del lado derecho de la recta, hasta que esta se confunda con la señal del lado izquierdo de la recta. Esta será entonces la distancia de visión estereoscópica. Mídase esta distancia.

4.6.4. USO DE LA BARRA DE PARALAJE: (Véase Figura 4.15.)

Con base en la figura 4.15. se puede definir las siguientes partes de la barra de paralaje:

4.6.4.1. En cada uno de los extremos de la barra de paralaje se encuentra un porta cristal de marca flotante.

4.6.4.2. En cada uno de los porta cristales se inserta un cristal que posee tres señales denominadas marcas flotantes: + , o ,

4.6.4.3. El porta cristal del lado izquierdo tiene además un tornillo de sujeción, que permite graduar la distancia de visión estereoscópica.

4.6.4.4. En la barra que une los dos porta cristales aparece una ventanilla donde se aprecia una escala en milímetros con índice de lectura.

4.6.4.5. En el extremo derecho de la barra de paralaje además del porta cristal, el cristal con las marcas flotantes, hay un tornillo y tambor con lectura hasta la centésima de milímetro.

Para hacer uso de la barra de paralaje debe hacerse CALIBRACIÓN de esta y se procede de la siguiente manera:

4.6.4.6. Haciendo uso del tornillo y tambor del lado derecho de la barra de paralaje, se desplaza la raya que sirve de índice de medición en la ventanilla de escala milimétrica, hasta obtener una lectura en posición de 20 m.m. en el rango de 0 a 40 que tiene marcada la escala milimétrica. Lleve el tambor a que su lectura sea en 0 centésimas de milímetro, conservando la lectura de la escala milimétrica en 20.

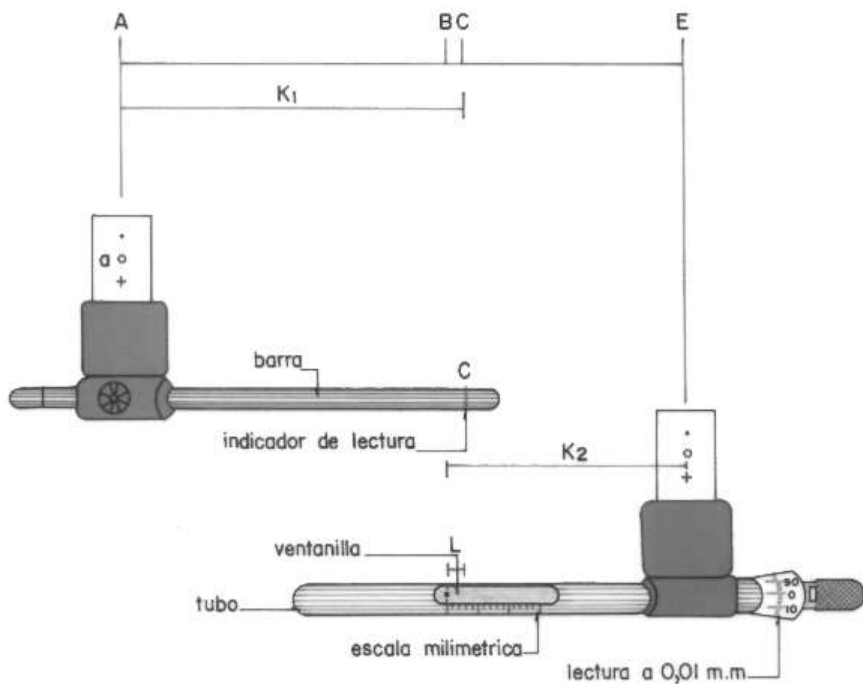


FIGURA 4.15. BARRA DE PARALAJE.

4.6.4.7. Haciendo uso de una línea que tenga marcada una distancia igual a la distancia de visión estereoscópica previamente definida, se coloca en el extremo derecho de la línea una de las marcas flotantes, previendo que no varíe la colocación de la lectura de la escala milimétrica y del tambor en 20,00 m.m. Aflójese el tornillo de fijación ubicado en el porta cristal del lado izquierdo y colóquese la marca flotante (homóloga de la del lado derecho) en el extremo izquierdo de la línea que marca la distancia de visión estereoscópica. Reitérese que la lectura de escala milimétrica y tambor sea de 20,00 m.m. En la mayoría de marcas comerciales de estereoscopios de espejos se especifica la distancia de visión estereoscópica para condiciones normales de uso.

4.6.4.8. Aprétese el tornillo de fijación ubicado en el porta cristal del lado izquierdo de la barra de paralaje, y evítese cualquier desplazamiento de este durante la operación de lectura de paralajes, posterior al proceso de calibración definido.

4.6.5. ORIENTACIÓN DEL PAR ESTEREOSCÓPICO DE FOTOGRAFÍAS: (Véase figura 4.16.)

4.6.5.1. Utilizando las marcas fiduciales y definiendo en cada fotografía los ejes fiduciales correspondientes, márquese con una pequeña cruz el punto principal en cada fotografía: o_1 y o_2 respectivamente.

4.6.5.2. Determínese en cada fotografía los puntos imágenes de los centros de las fotografías adyacentes consecutivas recubiertas: o_2' y o_1'' respectivamente.

Sean:

o_1 :: punto principal de la fotografía de la izquierda.

o_2 : punto principal de la fotografía de la derecha .

o_2' : imagen del punto principal o_2 en la fotografía de la izquierda .

o_1'' : imagen del punto principal o_1 en la fotografía de la derecha .

4.6.5.3. Se fijan con cinta adhesiva las fotografías sobre la mesa de trabajo, de tal manera que la zona recubierta del par estereoscópico quede al centro de la disposición de la secuencia y las sombras de la foto den hacia el observador.

4.6.5.4. Coalinie los puntos principales de las fotografías de tal manera que la separación entre el centro de la fotografía de la izquierda o_1 y su imagen en la fotografía de la derecha o_1'' , sea igual a la distancia de visión estereoscópica, que esta línea sea paralela al borde inferior de la mesa de trabajo y que los costados mas extremos de la secuencia, permitan el libre desplazamiento del estereoscopio de espejos de izquierda a derecha o de arriba abajo.

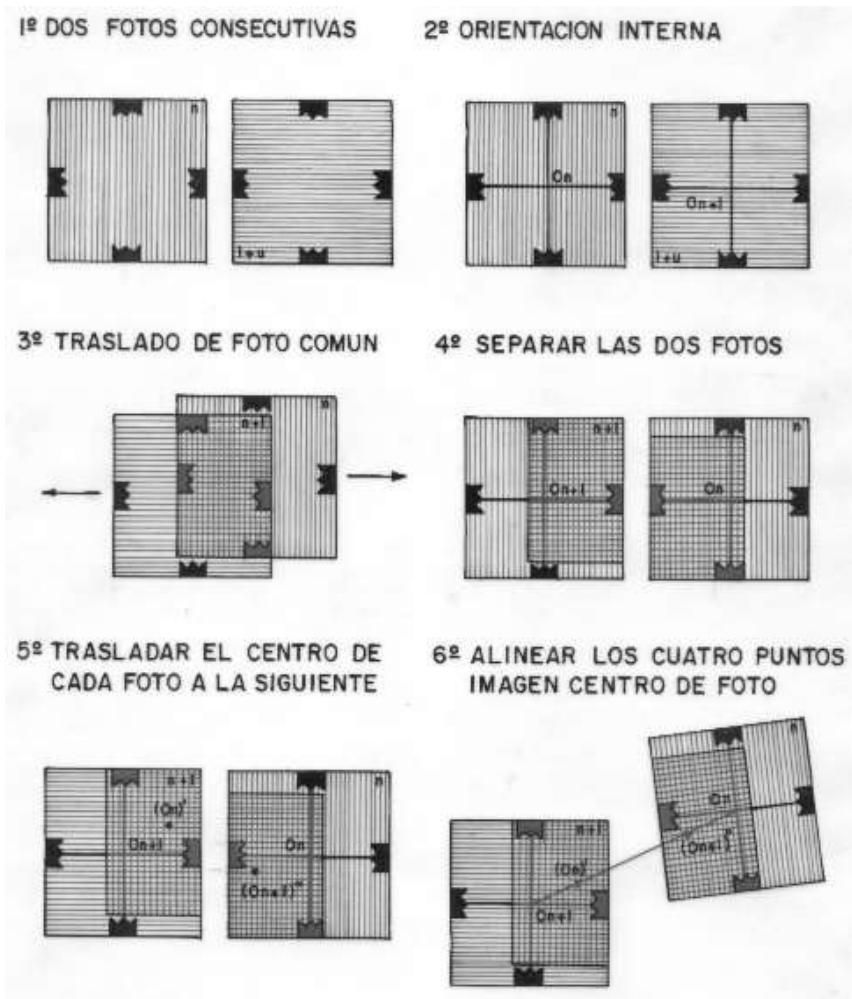


FIGURA 4.16. ORIENTACIÓN DEL PAR ESTEREOSCÓPICO DE FOTOGRAFÍAS.

4.6.5.5. Coloque el estereoscopio de espejos sobre el par estereoscópico, paralelamente a la dirección de la línea de vuelo dispuesta. Enfoque cada uno de los lentes binoculares separadamente, hasta obtener una visión nítida del terreno y ajústese a la adecuada distancia interpupilar. Observe el terreno desplazando el estereoscopio de espejos en dirección de la línea de vuelo o paralelo a esta.

4.6.6. OBSERVACIÓN DE PUNTOS Y MEDICIONES CON LA BARRA DE PARALAJE :

4.6.6.1. Disponga la secuencia fotográfica para ver estereoscópicamente.

4.6.6.2. Coloque la marca flotante (escogida) del cristal del lado izquierdo de la barra de paralaje, exactamente en la imagen del punto del terreno en la correspondiente fotografía de la izquierda.

4.6.6.3. Con movimiento del tornillo y tambor del lado derecho de la barra de paralaje, colóquese la marca flotante (idéntica a la definida para el cristal del lado izquierdo de la barra de paralaje) del cristal del lado derecho de la barra de paralaje a aproximadamente 0.5 m.m. a la izquierda de la imagen del punto del terreno en la correspondiente fotografía de la derecha.

4.6.6.4. Obsérvese con el estereoscopio y compárese la cota de la marca flotante (debe verse una sola) con la cota del punto. Se debe ver que la cota de la marca flotante esta mucho más alta que la cota del punto observado.

4.6.6.5. Manteniendo fija la barra de paralaje, gire suavemente el tambor hacia atrás y hacia delante, no más de media vuelta de tambor, mirando por el estereoscopio y observara subir y bajar la marca flotante. Cuando la marca flotante baja esta se mueve ligeramente a la derecha y lo hace a la izquierda si se desplaza hacia arriba.

4.6.6.6. Obsérvese el movimiento de bajada de la marca flotante, disminución de cota, y déjese esta cerca de la superficie del terreno pero por encima de él.

4.6.6.7. Termínese de bajar la marca flotante, girando hacia atrás el tambor, y déjese a ras de tierra.

4.6.6.8. .Hágase lectura en la barra de paralaje, leyendo los milímetros en la ventanilla de la escala milimétrica y dos cifras decimales en el tambor. Cualquier error en el proceso, obliga a repetirse todo desde el principio.

La diferencia de paralaje Δp es igual a la diferencia de lecturas con la barra de paralaje Δl : $\Delta p = \Delta l$

4.6.7. LAS MARCAS FLOTANTES :

La barra de paralaje está dotada de dos placas de cristal en las cuales aparecen tres marcas idénticas: + , o . Al hacer observación de un par estereoscópico de fotografías y colocadas las dos marcas flotantes sobre los

puntos homólogos imágenes del mismo punto del terreno, se observará una sola imagen de las idénticas marcas flotantes escogidas, como haciendo parte del paisaje en el área del punto del terreno observado.

Al dejar fija la marca flotante de la izquierda y moviendo la marca flotante de la derecha en sentido positivo (de izquierda a derecha) se observará el movimiento vertical de la imagen de la marca flotante, lo que es explicable geoméricamente en la figura 4.17. , en donde se explica lo que pasa en un plano vertical que pasa por los centros de las pupilas de quién observa con un estereoscopio.

Se tiene:

- L_1 y L_2 : centros de las pupilas del observador.
- m_1 : marca flotante fija.
- m_2 : marca flotante móvil .
- M : imagen observada cuando la marca móvil está en la posición m_2 en el plano de la fotografía.
- M' : imagen observada cuando la marca móvil está en la posición m_2' en el plano de la fotografía.
- Δx : desplazamiento horizontal de la marca móvil , en el plano de la fotografía.
- Δy : movimiento vertical de la imagen de la marca flotante.

Véase ahora la explicación analítica del movimiento de la marca flotante:

Asumiendo que las variables Z y h están ligadas en las ecuaciones:

$$\mathbf{H} = \mathbf{Z} + \mathbf{h} \quad \text{Ecuación 18.}$$

$$\mathbf{B} \cdot \mathbf{f} = \mathbf{p} \cdot \mathbf{Z} \quad \text{Ecuación 19.}$$

Y teniendo en cuenta:

$$\mathbf{p} = \mathbf{o}_1 \mathbf{o}_2 - \mathbf{m}' \mathbf{m}'' \quad \text{Ecuación 20.}$$

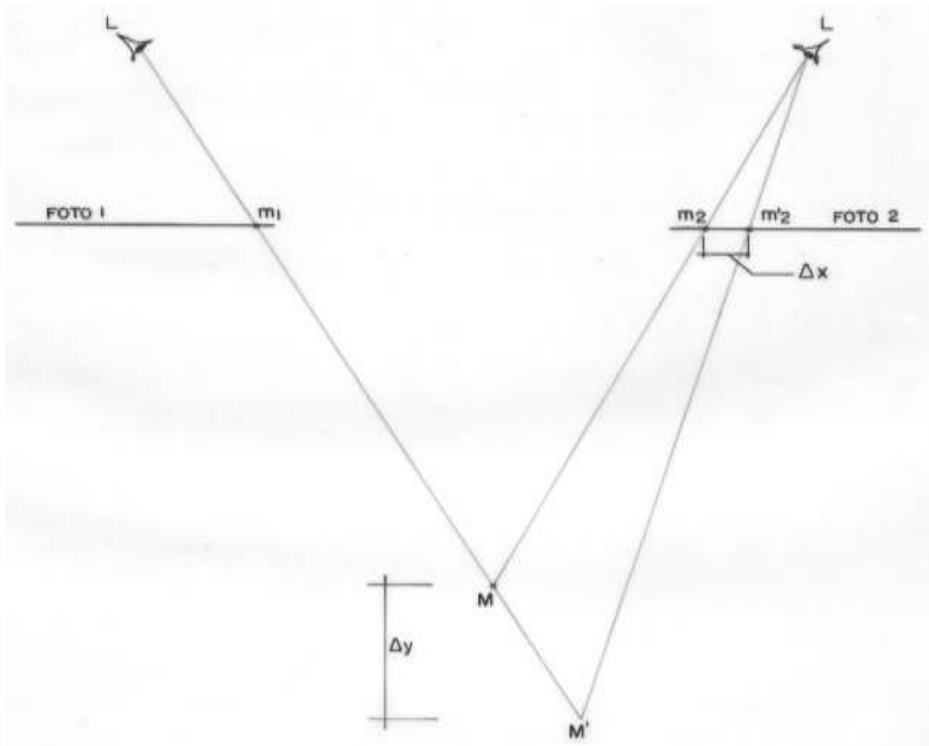


FIGURA 4.17. MOVIMIENTO VERTICAL DE LA MARCA FLOTANTE.

Eliminando de las tres ecuaciones anteriores las variables p y Z , quedan las variables : $m' m''$, $o_1 o_2$, y h ligadas por la ecuación :

$$H = (h + ((B \cdot f) / (o_1 o_2 - m' m''))) \text{ Ecuación 21.}$$

En la cual se observa que cuando $m' m''$ aumenta, la cota h disminuye; por ello en la figura 4.17. , la marca flotante m_2 pasa a la posición m_2' , aumentando la distancia entre imágenes en las fotografías , y la imagen M , pasa a la posición M' , disminuyendo su cota.

4.6.8. FORMAS DE DETERMINAR LA PARALAJE:

4.6.8.1. Con la escala milimétrica :

4.6.8.1.1. Medir las abscisas x' , x'' .

4.6.8.1.2. Calcúlese: $p = x' - x''$.

4.6.8.1.3. Mídase la distancia entre los centros de las fotografías consecutivas recubiertas: $o_1 o_2$ y la distancia entre puntos homólogos en las fotografías consecutivas recubiertas del mismo punto del terreno: e .

4.6.8.1.4. Calcúlese: $p = o_1 o_2 - e$.

4.6.8.2. Con la barra de paralaje:

4.6.8.2.1. Tómesese lectura con la barra de paralaje al punto en cuestión l , y al punto de referencia l_r .

4.6.8.2.2. Calcúlese la diferencia de paralaje a partir de la diferencia de lecturas con la barra de paralaje:

$$\Delta p = \Delta l = l - l_r$$

4.6.8.2.3. Calcúlese la paralaje del punto requerido como: la paralaje del punto de referencia (p_r) más la diferencia de paralaje (Δp).

$$p = p_r + \Delta p.$$

4.6.9. CÁLCULO DE COTAS:

4.6.9.1. CONOCIENDO LA BASE AÉREA.

4.6.9.1.1. Determinése la paralaje del punto (p).

4.6.9.1.2. Calcúlese $Z = ((B \cdot f) / p)$.

4.6.9.1.3. Calcúlese la cota (h): $h = H - Z$.

4.6.9.2. A PARTIR DE UNA COTA CONOCIDA (h_r).

4.6.9.2.1. Determinése la paralaje (p) incluida la del punto de referencia (p_r).

4.6.9.2.2. Calcúlese la diferencia de paralaje (Δp):

4.6.9.2.2.1. En función de las paralajes: $\Delta p = p - p_r$.

4.6.9.2.2.2. En función de las lecturas con la barra de paralaje:

$$\Delta p = l - l_r.$$

4.6.9.2.2.3. En función de mediciones con la escala milimétrica:

$$p = o_1 o_2 - e.$$

$$p_r = o_1 o_2 - e_r.$$

$$\Delta p = e_r - e.$$

Donde: e = distancia entre puntos homólogos del punto en cuestión en el plano de la fotografía.

e_r = distancia entre puntos homólogos del punto de referencia en el plano de la fotografía.

$o_1 o_2$ = distancia entre los puntos principales de un par estereoscópico de fotografías consecutivas recubiertas.

4.6.9.2.2.4. Calcúlese la diferencia de cota (Δh) en función del punto de referencia :

$$\Delta h = Z_r \cdot (\Delta p / p).$$

4.6.9.2.2.5. Calcúlese la cota del punto en cuestión:

$$h = h_r + \Delta h.$$

4.7. OTRA FORMA DE EXPRESAR LA ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA VERTICAL:

Se conoce que:

$$E = f / Z$$

Pero del teorema fundamental de la altimetría se tiene:

$$p \cdot Z = B \cdot f .$$

Puede afirmarse:

$$E = (f / Z) = (p / B) \quad \text{Ecuación 22.}$$

4.7.1. PARALAJE CORRESPONDIENTE A LA ESCALA DE UN MAPA ELABORADO POR TRIANGULACIÓN RADIAL.

Se tiene que la escala de un mapa elaborado por triangulación radial esta expresada por la ecuación:

$$E = (o_1 o_2 / B). \quad \text{Ecuación 23.}$$

Pero:

$$E = p / B$$

Por tanto puede afirmarse:

$$p = o_1 o_2 \quad \text{Ecuación 24.}$$

4.8. EJERCICIOS Y PROBLEMAS.

FALSO O VERDADERO

Item		F	V
4.8.1.	El ángulo paralático es aquel que se forma cuando miramos dos objetivos desde el mismo punto.		
4.8.2.	La barra de paralaje mide la paralaje entre puntos de la fotografía.		
4.8.3.	El ángulo paralático es aquel que se forma cuando los ejes de los ojos miran el mismo objeto desde dos puntos distintos.		
4.8.4.	La lectura con la cuña de paralaje es obtenida como distancia entre puntos homólogos al tocar los lados de la cuña de paralaje.		
4.8.5.	La barra de paralaje mide la paralaje entre puntos de la fotografía.		
4.8.6.	La disminución en la relación B/Z decrece el valor de la paralaje estereoscópica.		
4.8.7.	Considerando el teorema fundamental de la altimetría la		

	relación de escala puede expresarse como $E = p/B$.		
4.8.8.	A menor paralaje menor cota.		
4.8.9.	La condición para que un par de fotos aéreas del mismo objeto, puedan ser observadas por un estereoscopio es la de que las escalas de las dos fotografías debe ser aproximadamente la misma.		
4.8.10.	La exageración estereoscópica afecta la medida de diferencias de elevación.		
4.8.11	La lectura con la cuña de paralaje representa la distancia entre puntos homólogos.		
4.8.12.	La barra de paralaje mide la elevación de un punto en el terreno.		
4.8.13.	Considerando el teorema fundamental de la altimetría la relación de escala puede expresarse como: $E = B/P$.		
4.8.14.	A menor lectura de cuña de paralaje mayor profundidad de los elementos observados.		
4.8.15.	La barra de paralaje permite cuantificar la exageración estereoscópica.		
4.8.16.	El estereoscopio de aproximación relativa es una clase de estereoscopio.		

ESCOGENCIA MÚLTIPLE:

4.8.17. En un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales, se conoce que la distancia entre los puntos homólogos $q'q''$ es menor que entre $t't''$ se concluye lo siguiente:

- La paralaje estereoscópica del punto “Q” es menor que la del punto “T”.
- La lectura con la cuña de paralaje en el punto “Q” es mayor que la de T”.
- La diferencia de paralajes entre los puntos “Q” y “T” es un valor negativo.

4.8.18. En un par de fotografías aéreas, se conoce que la distancia entre los puntos homólogos $n'n''$ es menor que la distancia entre los puntos homólogos $r'r''$ se concluye:

- a. La elevación del punto "N" es menor que la "R".
- b. La diferencia de paralajes entre los puntos "N" y "R" dada por la siguiente ecuación $\Delta P = p_r - p_n$, es un valor negativo.
- c. La lectura con la cuña de paralaje en el punto "N" es mayor que la de "R".
- d. La paralaje estereoscópica del punto "N" es menor que la de "R".

4.8.19. La paralaje estereoscópica de un punto es función del siguiente parámetro:

- a. Tamaño del formato.
- b. La base aérea.
- c. Elevación del DATUM adoptado.
- d. Distancia en el plano del objeto entre el punto considerado y los puntos principales.

4.8.20. La exageración estereoscópica afecta:

- a. La medida de pendientes.
- b. La estimación de las pendientes.
- c. La variabilidad de las pendientes.
- d. La distancia entre pendientes.

4.8.21. Al utilizar la fórmula de paralaje, en la práctica, la principal causa de error en el resultado obtenido, es:

- a. La exageración estereoscópica.
- b. La diferencia entre las dos alturas absolutas de vuelo del par estereoscópico.
- c. El campo angular de la lente.
- d. El desplazamiento por relieve.

4.8.22. Para poder estimar o medir la distancia relativa de los objetos en profundidad se requieren dos factores fundamentales.

- a. Perspectiva y convergencia absoluta de los ejes ópticos al observar objetos a distancias variables.
- b. Tener en cuenta la doble imagen y la perspectiva.
- c. La doble imagen y la convergencia absoluta de los ejes ópticos al observar objetos a distancia variables.
- d. La doble imagen y la convergencia relativa de los ejes ópticos al observar objeto a distancia variable.

4.8.23. La paralaje estereoscópica de un punto es función del siguiente parámetro:

- a. Elevación del plano de referencia adoptado.
- b. Tamaño del formato.
- c. Distancia en el terreno entre el punto considerado y los puntos principales.
- d. La base en el aire.

4.8.24. Qué condición se requiere para poder observar correctamente en tercera dimensión un par estereoscópico de fotografía aéreas?

- a. Siempre será necesario hacer la observación con los ejes de los ojos paralelos.
- b. Siempre se debe hacer la observación con un estereoscopio.
- c. Siempre será necesario hacer la observación con los ejes de los ojos convergentes.
- d. El par de fotografías deben tener la misma posición relativa que tuvieron en la exposición.

DEFINICIONES

4.8.25. Son tipos de estereoscopios los siguientes:

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____

4.8.26. Los factores fundamentales que permiten estimar o medir la distancia relativa de los objetos en profundidad son:

- a. _____
- b. _____

4.8.27. Defina que es estereoscopia:

4.8.28. Enuncie los pasos para determinar la cota de puntos a partir de una cota conocida (h_r):

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____

4.8.29. Para determinar la paralaje con la escala milimétrica se requieren los siguientes pasos luego de colocadas las fotos para ver estereoscópicamente.

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____
- e. _____
- f. _____

4.8.30. Los pasos para calcular la cota de un punto conocidos B y H son:

4.8.31. Para determinar la paralaje con la barra de paralaje se requieren los siguientes pasos luego de colocadas las fotos para ver estereoscópicamente.

- a. _____
- b. _____
- c. _____

4.8.32. Enumere 3 formas de expresar la paralaje estereoscópicas (defina las literales utilizadas en las fórmulas).

- a. _____
- b. _____
- c. _____

4.8.33. Enuncie los pasos para organizar las fotos con el fin de utilizar el estereoscopio de lentes y espejos.

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____

4.8.34. Enumere los pasos para calibrar la barra de paralaje

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____
- e. _____

PROBLEMAS

4.8.35. De un par estereoscópico de fotos aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo se conoce:

- Distancia focal = 215 mm.
 - Escala para el punto "D" = 1:15000.
 - Paralaje estereoscópica del punto "D" = 11.3 cm.
 - Diferencia de paralaje entre puntos "B" y "D" = +3.5 mm.
- Calcule la diferencia de elevación entre los puntos "B" y "D".

4.8.36. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo se conoce:

- Diferencia de elevación entre los puntos “J” y “K” = 210 m.
 - Paralaje estereoscópica del punto “K” = 7.1 cm.
 - Diferencia de paralajes entre los puntos “J” y “K” = +2.6 mm
- Calcular la altura de vuelo sobre el punto “K”.

4.8.37. De un par estereoscópico de fotos aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo, se tiene:

- Altura de vuelo sobre el punto “M” = 3468 m.
- Paralaje estereoscópica del punto “A” = 8.7 cm.
- Distancia entre centro óptico y plano de la foto = 14.68 cm.

4.8.38. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo, se conocen los siguientes datos:

- Altura de vuelo sobre un punto “R” = 2120 m.
 - Distancia entre los puntos principales de las fotografías correctamente orientadas = 33.5 cm.
 - Distancia entre los puntos homólogos ($r' r''$) = 25.5 cm.
 - Diferencia de paralajes entre los puntos “Q” y “R” = 4.45 mm.
- Cuál es la diferencia de elevación entre los puntos “Q” y “R”?

4.8.39. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con a misma altura absoluta de vuelo, se conocen los siguientes datos:

- Lectura con la barra de paralaje en el punto “Q” = 28.05 mm.
 - Distancia entre los puntos homólogos ($r' r''$) = 25.3 cm.
 - Distancia entre los puntos homólogos ($q' q''$) = 25.7 cm.
- Que lectura con la barra de paralaje se haría en el punto “R”?

4.8.40. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo, se conocen los siguientes datos:

- Paralaje estereoscópico del punto “V” = 8.2 cm.
- Paralaje estereoscópica del punto “X” = 9.5 cm.

- Lectura con barra de paralaje en el punto “V” = 21.45 mm.
Que lectura se haría con la barra de paralaje en el punto “X”?

4.8.41. Un punto D tiene una paralaje de 83.4 mm y una cota de 1550 m. Otro punto G tiene una paralaje de 87.2 mm y una cota de 1650 m. Calcular la cota de un punto N que tiene una paralaje de 81.8 mm.

4.8.42. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo, se conocen los siguientes datos:

- Distancia principal = 150 mm.
 - Sobre un plano que pasa por el punto “R” se midió una distancia en el terreno de 360 m que en la fotografía aparece en una magnitud de 9 mm.
 - Diferencia de paralaje entre los puntos “Q” y ”R” = 1.65 mm.
 - Diferencia de elevación entre los puntos “Q” y ”R” = 96 m.
- Cuál será la paralaje estereoscópica en el “R”?

4.8.43. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con igual altura de vuelo, se conoce:

- Altura de vuelo sobre el punto “J” = 2425 m.
 - Distancia entre los puntos principales de las fotografías correctamente orientadas = 34.8 cm.
 - Distancia entre los puntos homólogos j' j” = 26.4 cm.
 - Diferencia de paralaje entre los puntos “S” y ”J” = +5.02 mm
- Calcule la diferencia de elevación entre “S” y “J”

5. FOTOGRAMETRÍA DIGITAL

5.1. DEFINICIÓN:

Se define FOTOGRAMETRÍA DIGITAL como la tecnología aplicada basada en la medición sobre imágenes digitales, en dos dimensiones 2D, para obtener información: geométrica, semántica o radiométrías, del terreno o de objetos allí construidos o ubicados, la cual estará representada en dos dimensiones 2D y/o tres dimensiones 3D.

5.2. RELACIONES DE LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL:

La Fotogrametría Digital se encuentra íntimamente relacionada con varias disciplinas y áreas del conocimiento:

5.2.1. FOTOGRAMETRÍA ANALÍTICA: Al desarrollar la producción cartográfica partiendo de medidas sobre fotogramas obtenidos en formato analógico, mediante procesos y técnicas computacionales, da cuenta de su relación con la fotogrametría digital. Permite la obtención de resultados de gran precisión.

5.2.2. FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE: Siendo la parte de la fotogrametría dedicada a los objetos cercanos, caracterizada por la obtención de imágenes desde aparatos en tierra, su vínculo se da, desde la posibilidad de obtener estas, con instrumentos digitales y su posterior análisis con medios electrónicos.

5.2.3. TELEDETECCIÓN: Como ciencia que trata de la detección, identificación, clasificación y estudio de rasgos o características de objetos y fenómenos que se presentan en la superficie terrestre a partir del examen de imágenes digitales obtenidas desde sensores remotos, implementando técnicas tanto de interpretación como de análisis visual.

5.2.4. MANEJO DE IMÁGENES DIGITALES: Comprende el tratamiento de imágenes digitales desde el conjunto de técnicas que permiten el procesamiento de los datos digitales a fin de realzar las imágenes obtenidas para optimizar la interpretación y el análisis. Recoge el estudio de los métodos de almacenamiento, transformación, mejora y restauración,

compresión, segmentación y morfología de cualquier tipo de imagen digitalizada. Con la fotogrametría digital se amplían y simplifican las posibilidades de utilización de modelos digitales del terreno (MDT), de ortoimágenes, generación y visualización de fotomodelos tridimensionales, la captura y visualización de fenómenos dinámicos, o la extracción automática de elementos cartográficos como: carreteras, edificios, asentamientos de población, etc.

5.2.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: Operan información de diferentes fuentes entre las que se cuentan las generadas por la fotogrametría digital como: Modelos Digitales del Terreno (MDT) y ortoimágenes.

5.3. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL. (VÉASE TABLA 5.1.)

VENTAJAS

- Estabilidad dimensional de las imágenes (no les afecta el medioambiente, no hay una manipulación directa,...) y estabilidad en el sistema de medida ya que necesita calibración.
- Visualización: No hay requerimientos ópticos/mecánicos. Las imágenes pueden ser visualizadas y medidas mediante ordenadores con mecanismos estándar.
- Tratamiento de las imágenes: Se puede aplicar realce de la imagen (ajustar niveles de brillo y contraste,...) para optimizar la visualización.
- Automatismos en los distintos procesos fotogramétricos.
- Los productos derivados son también obtenidos en formato digital, a escala apropiada requerida.
- Su operación requiere de pocos empleados.
- Se generan planos topográficos sin pérdida de detalles. Mayor precisión.
- Menores costos para levantamientos de áreas mayores a 10Ha. en paquetes de imágenes de contacto o superiores a 100Ha. para imágenes digitalizadas.

INCONVENIENTES

- Necesidad de disponer de un elevado volumen de almacenamiento.
- Es una técnica muy reciente y por tanto es inmadura

TABLA 5.1. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL.

5.4. SISTEMAS Y ESTACIONES FOTOGRAMÉTRICAS DIGITALES (SFD Y EFD):

5.4.1. DEFINICIONES:

5.4.1.1. SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL (S F D) (DIGITAL PHOTOGRAMETRIC SYSTEMS (D P S)):

Conjunto de equipos (hardware) y programas (software) que tienen como objetivo la generación de productos fotogramétricos partiendo de la obtención de imágenes digitales con la aplicación de técnicas manuales o automatizadas.

5.4.1.2. ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL (E F D) (DIGITAL PHOTOGRAMETRIC WORKSTATION (DPWS)):

Se denomina también “Restituidor Digital” y es el elemento fundamental del Sistema Fotogramétrico Digital.

5.4.1.2.1. ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL:

5.4.1.2.1.1. Elementos de captura o conversión (escáner) de imágenes en formato digital.

5.4.1.2.1.2. Un Sistema de Entrada de datos en formato digital.

5.4.1.2.1.3. Una Unidad de Proceso Central rápida y con suficiente memoria RAM.

5.4.1.2.1.4. Un Sistema Gráfico de color real con velocidad de transferencia alta para facilitar la realización de trabajos en tiempo real.

5.4.1.2.1.5. Uno o varios Monitores a color de alta resolución.

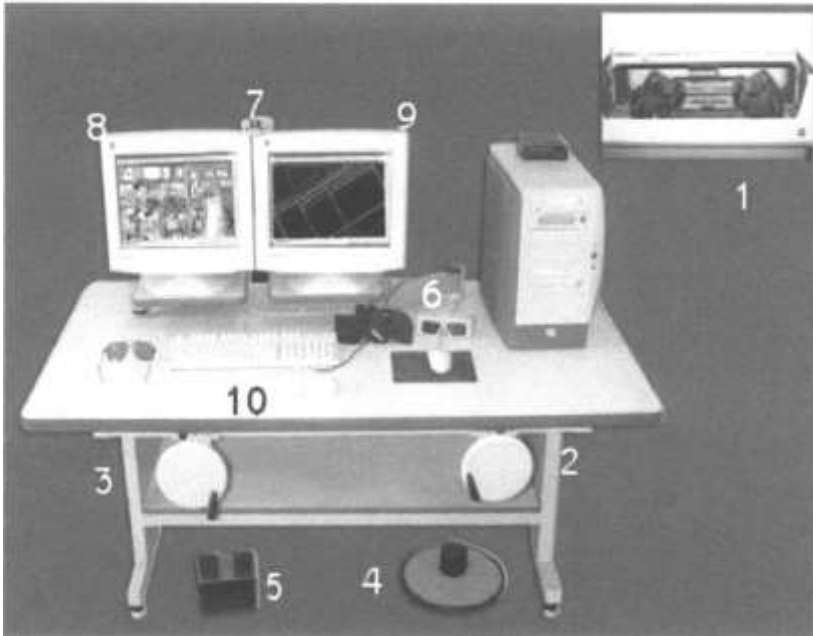
5.4.1.2.1.6. Una unidad de computación con una alta velocidad en la transferencia de datos.

5.4.1.2.1.7. Un Dispositivo de Almacenamiento de Datos con gran capacidad.

5.4.1.2.1.8. Un Sistema de Medida en tres dimensiones (3D), de las imágenes digitales.

5.4.1.2.1.9. Un Sistema de Visión Estereoscópica de fotografías digitales.

5.4.1.2.1.10. Una Impresora y Trazador Gráfico para la edición y presentación de los resultados. Véase figura 5.1.



CARACTERÍSTICAS

1. Scanner Fotogramétrico de precisión
2. Movimiento del Cursor en Y
3. Movimiento del Cursor en X
4. Movimiento del Cursor en Z
5. Pedal de Registro de puntos Digitalizados
6. Lentes Estereográficas
7. Emisor Estereográfico
8. Estereimagen
9. Resultado de digitalización

FIGURA 5.1. ESTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL (EFD)

5.4.1.3. VISIÓN ESTEREOSCÓPICA EN LA FOTOGRAFÍA DIGITAL:

Los Sistemas de visión estereoscópica mas comunes empleados en los estudios con fotografías digitales son:

5.4.1.3.1. DIVISIÓN DE PANTALLA: Funciona de manera similar a un estereoscopio de espejos, pero la separación se hace sobre uno de los monitores. Véase figura5.2.



**FIGURA 5.2. VISIÓN ESTEREOSCÓPICA DIGITAL.
DIVISIÓN DE PANTALLA**

5.4.1.3.2. POLARIZACIÓN CON GAFAS ACTIVAS: En este tipo de aparatos la pantalla de polarización en vez de estar adaptada a un monitor, se encuentra instalada en las gafas y la sincronización del sistema se hace mediante la utilización de rayos infrarrojos.

5.4.1.3.3. POLARIZACIÓN CON GAFAS PASIVAS: Las imágenes son mostradas en la pantalla de forma alternativa y un modulador de cristal líquido del mismo tamaño que la pantalla sincronizado con un paquete gráfico, proporciona la polarización variable de las imágenes para cada ojo.

5.4.2. FUNCIONES DE UN SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL (S F D):

5.4.2.1. ENTRADA DE DATOS: Adquisición de imágenes, en forma directa por medio de cámaras digitales o indirectamente mediante la conversión de formato analógico a formato digital con la utilización de escáneres.

5.4.2.2. ALMACENAMIENTO DE DATOS de alta capacidad.

5.4.2.3. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN mono / estéreo de las Imágenes digitalizadas.

5.4.2.4. TRATAMIENTO DE IMÁGENES DE GRAN TAMAÑO con tiempos razonablemente adecuados.

5.4.2.5. APLICACIÓN DE SISTEMAS DE MEDICIÓN sobre las imágenes digitales, obteniendo valores de coordenadas de los píxeles y de los tonos de gris.

5.4.2.6. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS HOMÓLOGOS semi y automáticamente.

5.4.2.7. ORIENTACIÓN de las imágenes digitalizadas.

5.4.2.8. RESTITUCIÓN O GENERACIÓN de gráficos vectoriales o de curvas de nivel.

5.4.2.9. GENERACIÓN DE CURVAS DE NIVEL AUTOMÁTICAMENTE.

5.4.2.10 GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES (M D E).

5.4.2.11. GENERACIÓN DE ORTOFOTOGRAFÍAS.

5.4.2.12. GENERACIÓN DE MOSAICOS DE ORTOFOTOGRAFÍAS Y DE ORTOMAPAS.

5.4.2.13. VISUALIZACIÓN de perspectivas, perfiles o modelos en retícula o con texturas.

5.4.2.14. CONTROL DE CALIDAD, COMPROBACIONES Y CHEQUEOS de los productos generados.

5.4.2.15. COMUNICACIÓN CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (S I G) con superposición de imágenes en dos y tres dimensiones (2 D , 3 D) y de diversos elementos gráficos.

5.4.2.16. VUELOS SIMULADOS en dos y tres dimensiones (2 D , 3 D), denominados realidad virtual.

5.4.2.17. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES A PARTIR DE DIVERSOS TIPOS DE SENSORES REMOTOS.

5.4.2.18. PRODUCCIÓN Y EDICIÓN de datos de resultados obtenidos.

5.4.3. SECUENCIA DE TRABAJO EN LOS SISTEMAS FOTOGRAMÉTRICOS DIGITALES. (Véase figura 5.3.)



FIGURA 5.3. ESQUEMA DE FLUJO DE TRABAJO EN LOS SISTEMAS FOTOGRAMÉTRICOS DIGITALES (SFD)

5.5. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES FOTOGRAMÉTRICAS DIGITALES: Esta clasificación está dada en función del tipo de producto que se obtiene:

5.5.1. ESTACIÓN ESTÉREO: Se obtiene resultados de restitución con posibilidad de realizar trabajos de visión estereoscópica.

5.5.1.1. SISTEMAS DE ALTO RENDIMIENTO: permite la obtención de diferentes productos fogramétricos: Aerotriangulación, ORTOFOTOGRAFÍAS y Modelos Digitales del Terreno (M D T).

5.5.1.2. SISTEMAS DE BAJO RENDIMIENTO: Poseen funcionalidad más limitada, pero son más económicos.

5.5.2. ESTACIÓN MONO: Permite la consecución de información planimétrica a partir de ortoimágenes digitalizadas. Se utiliza como información auxiliar la obtención de Modelos Digitales del Terreno (M D T). Se logra información tridimensional 3 D sin visión estereoscópica.

5.5.3. ESTACIÓN DE AEROTRIANGULACIÓN: Se obtienen como resultado, parámetros de Orientación Externa mediante la medición de coordenadas de puntos homólogos en diferentes imágenes digitalizadas y la realización de ajustes por bloques.

5.5.4. ESTACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO (M D T): Obtención generalmente automatizada de Modelos Digitales de Terreno (M D T) a partir de imágenes estereoscópicas.

5.5.5. PRECISIÓN DE LAS ESTACIONES FOTOGRAMÉTRICAS DIGITALES (E F D):

La precisión de todos los Sistemas Fotogramétricos Digitales depende de la RESOLUCIÓN ESPACIAL de la imagen.

Luego de diferentes análisis de modelos a diferentes escalas, es posible definir precisiones altimétricas y planimétricas a partir de las siguientes expresiones:

$$\sigma_{x,y} = N * P * 0.7 * 10 E^{-6}$$

$$\sigma_z = N * P * (f / B) * 0.5 * 10 E^{-6}$$

En donde:

- N : denominador de la escala.
- P : tamaño del píxel en μm .
- f : distancia focal.
- B : Base aérea.

Como límite práctico de la precisión del posado vertical se ha establecido un valor de 0.5 del tamaño del píxel.

5.6. TIPOS DE RESTITUIDORES FOTOGRAMÉTRICOS DIGITALES:

5.6.1. DIGITUS de DAT-EM INTERNATIONAL

5.6.2. PRI² SM DE Internacional Imaging Systems.

5.6.3. DPW 600 / DPW 700 de LEICA HELAVA.

5.6.4. DVD (DIGITAL VIDEO PLOTTER) de LEICA.

5.6.5. DIAP (DIGITAL ANALITIC PLOTTER) de ISM.

5.6.6. SOFTPLOTTER TM de AUTOMETRIC.

5.6.7. PHOTOPOL de TOPOL SOFTWARE s.r.o.

5.6.8. PHODIS ST de ZEISS.

5.6.9. IMGESTATION TM Z de INTERGRAHP.

5.7 FUENTES DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES DIGITALES.

La obtención de imágenes digitales para aplicaciones en Fotogrametría Digital se hace básicamente de la siguiente manera:

FORMA DIRECTA: Por medio de sensores digitales o analógicos con convertidor analógico / digital. Las aplicaciones van desde el campo no topográfico (cámaras de video, cámaras digitales) hasta el área de la teledetección (imágenes de satélite).

FORMA INDIRECTA: Por medio de la digitalización de imágenes con la utilización de escáneres fotogramétricos.

La aplicación en topografía de imágenes obtenidas directamente en formato digital, esta limitada al uso de imágenes de satélite que incorporan posibilidad de manejo estereoscópico.

Actualmente, la utilización de cámaras de video o cámaras digitales se ciñe más específicamente a aplicaciones de tipo no topográfico, con la realización de trabajos fotogramétricos en tiempo real.

Se prevé que próximamente se dará la comercialización de sensores digitales aerotransportados de utilización en trabajos cartográfico con carácter Fotogramétrico, como el DMC2001 de la firma Imaging o el ADS40 de LEICA.

5.7.1. CONCEPTOS BÁSICOS:

5.7.1.1. CÁMARAS MÉTRICAS ANALÓGICAS:

Registran la imagen de forma instantánea en la película emulsionada. Normalmente utilizan una distancia focal (f) de 152 m.m. y producen fotografías en formato d 230 m.m. x 230 m.m..

La resolución de una cámara es medida utilizando el parámetro de la resolución media ponderada por área (AWAR – área weighted average resolution) , el cual se expresa en número de líneas pares por milímetro (lp / m.m.) .Se calibra empleando fotografías de patrones calibrados y depende su calibración correcta de:

- La calidad de la lente.
- El desplazamiento de la imagen.
- El desplazamiento angular
- La definición de la película.
- La calidad de la película emulsionada.

En la conversión de formato analógico a digital debe tenerse en cuenta la resolución de escaneo, que se puede calcular a partir de la expresión:

$$\Delta d \text{ (m.m.) } = 0.7 / (2 \times R)$$

Donde:

Δd = equivale a la resolución de escaneo o tamaño del píxel.

R = resolución de la película en lp / m.m.

Para calcular el volumen de una imagen digital debe tenerse en cuenta que si la imagen esta dada en B / N a 256 Nd, un píxel equivale a un byt y a tres byts si es un color.

5.7.1.2. TIPOS DE RESOLUCIONES :

5.7.1.2.1. RESOLUCIÓN ESPECTRAL: Marca el número y ancho de las bandas espectrales que distingue un sensor. Los sensores de menor resolución espectral son los de los sistemas fotográficos y de radar.

5.7.1.2.2. RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA: Está definida por la sensibilidad del sensor para discretizar las diferencias en la radiación espectral recibida. En cualquier tipo de sensor esta corresponde al número máximo de niveles de grises, 256 para sensores tipo Landsat – MSS o de 1024 para sensores tipo NOAA – AVHRR.

5.7.1.2.3. RESOLUCIÓN ESPACIAL: Es la mínima medida que se puede distinguir o apreciar sobre la imagen. Corresponde al nivel de detalle que se ofrece., se habla entonces del tamaño del elemento básico de la imagen: el píxel.

Para las cámaras fotográficas convencionales se presenta el concepto de resolución media ponderada por área (Area Weighted Average Resolution AWAR) definida como líneas por milímetro lp / m.m.

Para los sensores electroópticos se emplea la definición de campo de visión instantáneo, Instantaneous Field of View IFOV que equivale a la sección angular (expresada en radianes) observada en un determinado momento.

5.7.1.2.4. RESOLUCIÓN TEMPORAL: Se define como la periodicidad con la que se registran las imágenes. Para sensores tipo METEOSAT: 30 minutos; LANDSAT: 16 días; SPOT: 26 días.

Los satélites como LANDSAT, ERS, NOAA, SPO, definen orbitas polares o heliosincrónicas, situándose en orbitas ligeramente inclinadas respecto del eje de rotación terrestre, cruzando el Ecuador a la misma hora solar local, lo que permite que al cabo de un determinado número de orbitas estos sobrevuelen el mismo punto de la Tierra y a la misma hora solar local.

Los satélites tipo METEOSAT definen orbitas geoestacionarias, es decir orbitas ecuatoriales, con una velocidad de translación alrededor de la Tierra igual a la velocidad de rotación de ésta, logrando que el satélite parezca anclado en el espacio sobre el mismo punto del globo terráqueo. La frecuencia de datos emitidos o imágenes depende solo de la capacidad de los sistemas de retransmisión y captación independientemente del movimiento del sensor.

5.7.1.3. LOS SENSORES.

5.7.1.3.1. SENSORES TIPO SOLID STATE: Se basan en la captación de imágenes mediante la conversión de fotones en cargas eléctricas. Se compone de un conjunto de elementos con capacidad de captación de elementos fotosensibles con su posterior medición, registro y almacenamiento.

El funcionamiento de un Sensor Solid State se explica al asemejarlo a un conjunto de cubos que captan fotones de luz. Cada cubo hace parte de una matriz y se corresponde con un elemento fotosensible denominado elemento sensor. Los cubos cargados de fotones de luz son transportados en una serie de cintas hasta una cinta transversal que hace de registro y en el que son medidos los fotones captados. Los sensores de captura de imágenes digitales están conformados por un sustrato semiconductor que almacena y transmite carga eléctrica. Dicho sustrato es silicio al que se reañade una serie de impurezas con una capa superior de 0.1 μm de espesor de dióxido de silicio que opera como aislante.

5.7.1.3.2. SENSORES ELECTROÓPTICOS: Son una combinación de una parte óptica, semejante a la de los sistemas fotográficos y un sistema de detección electrónica, favorecida por evitar la dependencia de un formato analógico para la transmisión a distancia de las imágenes. Su composición básica esta dada por un sistema óptico, que focaliza el haz de rayos electromagnéticos hacia el dispositivo fotosensible, una matriz de elementos sensibles y opcionalmente de un sistema de barrido. Los más usualmente utilizados son las cámaras CCD y los escáneres.

5.7.1.3.3. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN:

5.7.1.3.3.1 NÚMERO DE BANDAS.

5.7.1.3.3.1.1. SENSORES MONESPECTRALES: Para cada píxel de la imagen integran toda la energía recibida dentro de un intervalo definido de longitudes de onda.

5.7.1.3.3.1.2. SENSORES MULTIESPECTRALES: Aquellos que para cada píxel de la imagen, registran separadamente los diferentes valores de radiación recibidos en las diversas bandas de longitudes de onda.

5.7.1.3.3.2. FORMATO DE SALIDA DE LA IMAGEN.

5.7.1.3.3.2.1. SENSORES ANALÓGICOS: Aquellos en los que el elemento fotosensible corresponde a una emulsión de una sustancia química, la cual reacciona a la radiación de una determinada longitud de onda.

5.7.1.3.3.2.2. SENSORES DIGITALES: Aquellos en los que el elemento fotosensible corresponde a una sustancia química que al recibir el impacto de un determinado tipo de fotones genera una señal eléctrica que es almacenada digitalmente.

5.7.1.3.3.3. FUENTES DE EMISIÓN ENERGÉTICA.

5.7.1.3.3.3.1. SENSORES PASIVOS: Aquellos que pueden captar la energía reflejada o emitida por los objetos o superficie terrestre. Pertenecen a este grupo, los sensores fotográficos, de antena u óptico-electrónicos.

5.7.1.3.3.3.2. SENSORES ACTIVOS: Son aquellos que disponen de su fuente propia de emisión de energía y el sistema de captura toma solo las longitudes de onda del mismo rango que las del sistema emisor, como en el caso de los sistemas de radar y láser.

5.7.1.3.3.4. SEGÚN LA DIMENSIÓN DEL ÁREA SENSIBLE (FORMATO DE LA IMAGEN):

5.7.1.3.3.4.1. SENSORES MATRICIALES: Aquellos de matrices de hasta un tamaño de 5000 x 5000 elementos, como en el caso de sensores tipo DMC2001 de la firma ZI Imaging.

5.7.1.3.3.4.2. SENSORES LINEALES: Aquellos de hasta 12.000 elementos, como el ADS40 de la firma LEICA, los sensores tipo SPOT o MOMS, los escáneres o los lectores de código de barras.

5.7.1.3.4 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS Y PROPIEDADES DE LOS SENSORES ELECTRO-ÓPTICOS:

5.7.1.3.4.1. GEOMETRÍA DE LA SUPERFICIE Y LECTURA DEL SENSOR: Para las aplicaciones fotogramétricas es importante el empleo de sensores cuyos elementos de captación tengan distribución uniforme y estén en una superficie plana.

5.7.1.3.4.2. RESPUESTA ESPECTRAL: Es la denominación de la señal de salida para un flujo de entrada de una determinada diferencia de longitud de onda. Depende de la estructura del fotoelemento y del tipo de sustrato a atravesar.

5.7.1.3.4.3. RUIDO:

5.7.1.3.4.3.1. RUIDO FOTÓNICO: Es el producido en la integración de la carga y su transferencia, se expresa como la raíz cuadrada del nivel de señal.

5.7.1.3.4.3.2. RUIDO DEL CIRCUITO: Se produce en la incertidumbre de inicialización del contador del amplificador que aumenta el voltaje de cada elemento en la señal de salida. Es una situación propia de los sistemas electrónicos.

5.7.1.3.4.3.3. RELACIÓN SEÑAL / RUIDO: Se mide en decibeles y se calcula mediante la ecuación:

$$\text{SNR} = 20 \log (S / \sigma_s)$$

Donde:

S = señal

σ_s = desviación típica de la señal.

5.7.1.3.4.3.4. RANGO DINÁMICO: Dado por la relación entre el pico de la señal y el nivel de ruido del sistema (60 a 100 db).

5.7.1.3.4.3.5. UNIFORMIDAD DE RESPUESTA RADIOMÉTRICA: Las variaciones de señal entre elementos del sensor, con el mismo nivel y longitud de onda de luz incidente, producen falta de uniformidad en la respuesta radiométrica PRNU (photo response non uniformity). Se reduce con la utilización de filtros de infrarrojo.

5.7.1.3.4.3.6. SEÑALES FALSAS: Se generan por efectos sistemáticos relacionados con deficiencias de fabricación del sensor o de la tecnología CCD. Comúnmente se presenta:

5.7.1.3.4.3.6.1. BLEMISHES: Son defectos del material que compone el sensor, tales como defectos cristalográficos del silicio.

5.7.1.3.4.3.6.2. BLOOMING: Rebosamiento a detectores vecinos al presentarse exceso de carga.

5.7.1.3.4.3.6.3. OSCURIDAD ACTUAL: Ocasionada por la carga remanente tomada por los detectores a pesar de que no exista iluminación en un momento determinado.

5.7.1.3.4.4. LINEALIDAD: Se expresa mediante la ecuación:

$$S = K \cdot q^v + d$$

Donde:

S = señal de salida.

q = carga generada.

d = señal de oscuridad actual.

K = constante de proporcionalidad.

El proceso es lineal cuando $v = 1$.

5.7.1.4. SISTEMAS ESPACIALES DE CAPTACIÓN DE IMÁGENES ESTEREOSCÓPICAS:

5.7.1.4.1. ASTER (ADVANCED SPACEBORNE TERMAL EMISIÓN AND REFLECTION RADIOMETER): Hace parte del Sistema de Información de la Tierra (EOS) por parte de la NASA (Nacional Aeronautics and Space Administration). Fue lanzado en diciembre de 1999. El objetivo principal es el de obtener imágenes de la tierra de alta resolución espacial en 14 bandas espectrales. Posee tres subsistemas un VNIR (Visible and Near Infrared) con 15 m. de Resolución espacial R_e , un SWIR (Shortwave Infrared) de 30 m. de R_e , y un TIR (Termal Infrared) de 90m de R_e .

5.7.1.4.2. ERS (UROPEAN REMOTE SENSING SATELLITE): Se considera como el primer satélite europeo de teledetección, excluyendo los de tipo metereológico. El ERS-1 fue lanzado en 1991 y el ERS-2 en 1995. Cuenta con: un radar de apertura sintética SYNTETIC APERTURE RADAR (SAR), un dispersómetro de vientos SCATTEROMETER (SCAT), un radar altimétrico RADAR ALTIMETER (R A), un equipo de barrido térmico

ALONG TRACK SCANNING RADIOMETER (ATSR), un reflector láser LASER REFLECTOR (LRR).

En el ERS-2, el equipo de barrido térmico es mejorado con tres nuevas bandas en el visible y el infrarrojo próximo y se adiciona un instrumento para medir la cantidad de ozono, dióxido de nitrógeno, oxígeno, denominado GLOBAL OZONE MONITORING EXPERIMENT (GOME) y un instrumento activo de microondas ACTIVE MICROWAVE INSTRUMENT (AMI) permitiendo su utilización como: radar de imágenes (AMI SAR mode), modo olas (AMI WAVE mode) y modo viento (AMI WIND mode).

Utiliza una órbita heliosincrónica a una altura de 780 Km. , una resolución temporal de 176 días , una cobertura en la dirección de avance de 100 Km., y una resolución de 30m. x 30 m.

5.7.1.4.3. IRS (INDIAN REMOTE SENSING): Satélite destinado al área de los recursos naturales. Está equipado de dos sensores LISS (Linear Imaging Self Scanning) con resolución espacial de 72.5 m. cada uno.

5.7.1.4.4. LANDSAT: Hace parte de un programa desarrollado por la NASA originalmente denominado Earth Resources Technology Satellite ERTS lanzado en 1972. Se constituyó en el primer programa de satélites de percepción remota en función de la observación de los recursos terrestres que se colocó en órbita. Se trataba de demostrar la viabilidad de cartografiar rasgos terrestres a partir de imágenes orbitales. Con el lanzamiento de un segundo satélite en 1975 se inicia la secuencia LANDSAT. El último de la serie el LANDSAT-5, tiene una altura de vuelo de 705 Km., un ciclo de recubrimiento de 16 días , un periodo orbital de 98.9 minutos; incorpora un sensor, denominado THEMATIC MAPPER (TM) especial para cartografía temática, el cual mejora al MULTISPECTRAL SCANNER (MSS) al pasar de una resolución espacial de 79m. a 30 m., incrementar la resolución espectral de 4 a 7 bandas y la resolución radiométrica de 6 a 8 bits. Su órbita es heliosincrónica.

5.7.1.4.5. NOAA (NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION SATELLITE): El principal objetivo de funcionamiento es la observación oceánica y meteorológica de la Tierra. El sistema de resolución espacial que utiliza denominado AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) es de 1.1. Km. Como programa se implementa a partir del lanzamiento del satélite TIROS en 1960.

5.7.1.4.6. MOS: Satélite japonés para la observación terrestre y oceanográfica. Se compone de tres tipos de sensores: un explorados de

empuje MESSR (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer) con resolución espacial de 50 m., un radiómetro de microondas MSR (Microwave Scanning Radiometer) con resolución espacial de 2700m, y un escáner de barrido VTIR (Visible and Termal Infrared Radiometer) con resolución espacial de 900 m.

5.7.1.4.7. SPOT (SYSTEME PROVATOIRE d' OBSERVATION DE LA TERRE): Hacen parte del Sistema de Observación terrestre, diseñado por el CNES (Centro Nacional de Estudios Espaciales) francés y desarrollado con la colaboración y participación de Bélgica y Suecia. Cuenta actualmente con tres satélites en órbita. El SPOT-1 fue lanzado en 1986 y retirado de operación en diciembre de 1990, y reactivado en marzo de 1994; el SPOT-2 lanzado en 1990 aún continúa operando; el SPOT-3 lanzado en septiembre de 1993, deja de funcionar tres años después por fallas en el sistema de control de la posición. En 1998 se lanzo un cuarto satélite. el SPOT-4 con un nuevo sensor denominado VEGETATION, diseñado especialmente para estudiar la vegetación; cuenta con dos sensores HRV (Haute Resolution Visible), que permiten obtener imágenes pancromáticas (PA) y multibanda (XS_n).

Los SPOT tienen la capacidad de variar el ángulo de visión de los detectores hasta 27° con respecto al nadir, lo que facilita la observación de la misma zona en órbitas sucesivas, pudiendo ser enfocado cualquier punto en un rango de 475 Km. en ambos lados del trazado de la órbita, baja la resolución temporal de 27 días a dos o tres días, y es posible la obtención de imágenes estereoscópicas y la generación de modelos digitales del terreno.

Tienen una resolución temporal de 26 días. Un área recubierta por cada imagen de 60 Km. Altura de la órbita de 834 Km. Aproximadamente. Un periodo orbital de 101 minutos.

5.7.1.4.8. CBERS (CHINA BRASIL EARTH RESOURCES SATELLITE): Es un multisensor que captura distintos conjuntos de datos a diversas resoluciones. Posee WFI (Wide Field Image) con 260 m de R_e, un HRCCD (High Resolution CCD) de 20m. de R_e, y un IR_MSS (Infrared Multispectral Scanner) de 80 m. de R_e

5.7.1.4.9. MOMS: Es un sistema multiespectral de imágenes, con siete bandas de las cuales tres son pancromáticas dispuesta una de forma vertical y las otras dos oblicuas con inclinación de 21.4 °. En la posición vertical el tamaño del píxel es de 4.5m. x 4.5 m. y en posición oblicua el tamaño del píxel es de 13.3m. x 13.5 m.

5.7.1.4.10. IKONOS: Es un satélite lanzado en septiembre de 1999, es el primero con precisión submétrica (0.82 m.), capacidad multispectral, tamaño de píxel de 4 m. capaz de adquirir 4 bandas: rojo, verde ,azul e infrarrojo próximo, con imágenes de tamaño de píxel de 1 m. y color real (rojo, verde, azul) o falso color infrarrojo (4 , 3 , 2), resolución radiométrica a 11 bits por píxel lo que permite trabajar con paletas de 2048 tonos reales de gris que se convierte en una ventaja en el manejo de estudios temáticos. Y una obtención de ocho veces más información que en imágenes de 8 bits por píxel. La resolución temporal es de 1 día manteniendo 2 m de tamaño de píxel o de tres días con un metro de tamaño de píxel.

SISTEMA	PAÍS	S.ESTEROC.	R. ESP.	No.BAND	ANCHO BARRIDO	F.LAN
SPOT_P	Francia	Lateral	10m	1	60 km	1986
SPOT_XS	Francia	Lateral	20m	3	60 km	1986
MOMS	Alemania	Ad/Nadir/atr	4.5/13.5	7	37 / 78 km	1992
CBERS	China	Lateral	20m	4/1	113 k	1993/4
OMI	Brasil					
	Reino- Unido	Ad/Nadir/atr	5 m	1	60 km	1990
ASTER (EOS)	USA-ESA Japón	Ad/Nadir/atr	15 m	3	60 km	1998

TABLA 5.2. SISTEMAS ESPACIALES DOTADOS CON SENSORES ESTEREOSCÓPICOS.

5.7.1.5. DISPOSITIVO DE CARGA CHARGE COUPLE DIVICE (CCD) O CÁMARA CCD:

Sensor que transforma los fotones llegados de la superficie en electrones, para que un convertidor los vierta a formato digital y se registren en un colector según la referencia espacial que se disponga.

5.7.1.5.1. ELEMENTOS DE UNA CÁMARA CCD:

5.7.1.5.1.1. LA ILUMINACIÓN:

La iluminación presenta problemas asociados con la variación de la intensidad. Lo relacionado con los inconvenientes que se presentan en función de las sombras se eliminan con la utilización de marcas retroreflectivas.

La precisión de las medidas en relación a la iluminación depende de:

5.7.1.5.1.2. LA ESTABILIDAD TEMPORAL: El sistema de iluminación debe estar sincronizado con el obturador mecánico en las cámaras que utilizan este tipo de mecanismo. La variación de la intensidad afecta la precisión dependiendo del tipo de sensor.

5.7.1.5.1.3. LAS CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DE ILUMINACIÓN: producen efectos en la no uniformidad de la respuesta del sensor (PNRU) y en la función de transferencia de modulación.

5.7.1.5.1.4. LA DISTRIBUCIÓN DE LA INTENSIDAD DE LUZ.

5.7.1.5.1.5. LOS OBJETOS: las formas, el color, la textura de la superficie u objetos determinan el contraste objeto / fondo y afectan de manera importante la precisión.

5.7.1.5.1.6. SISTEMA ÓPTICO: El sistema óptico es similar al de las cámaras convencionales por tanto lo rigen las mismas características geométricas y radiométricas. Algunos sensores incorporan un sistema difusor para suavizar imágenes o coberturas de vidrio para protección mecánica y química.

5.7.1.5.1.7. EL SENSOR: A fin de determinar la calidad del mismo debe tenerse en cuenta: la uniformidad de respuesta PRNU; características de la superficie, regularidad de apertura del elemento del sensor y el espaciado del mismo.

5.7.1.5.2. VENTAJAS DE LAS CÁMARAS CCD:

5.7.1.5.2.1. Se obtienen imágenes instantáneas sin obligatoria operación de revelado.

5.7.1.5.2.2. La sensibilidad puede alcanzar los niveles de los de una película.

5.7.1.5.2.3. Se da posibilidad del tratamiento de la imagen.

5.7.1.5.2.4. La transferencia es sencilla y es posible la compresión de datos.

5.7.1.5.2.5. Con la utilización adecuada de filtros, es posible la obtención de fotografías en el rango del infrarrojo cercano.

5.7.1.5.2.6. Permite realización de seguimiento automático.

5.7.1.5.2.7. Se permite la multiexposición de diversos eventos.

5.7.1.5.2.8. Se logran copias de las imágenes obtenidas.

5.7.1.6. LOS ESCÁNERES.

Es el sistema de adquisición de imágenes mas empleado por la fotogrametría digital.

5.7.1.6.1. CLASES DE ESCÁNER SEGÚN EL TIPO DE FOTODETECTOR:

5.7.1.6.1.1. CHARGE COUPLE DETECTOR (CCD): Son escáneres planos, en los que el montaje de la película se hace sobre dos placas de vidrio, asegurando la planariedad. Son afectados por perdidas de sensibilidad y de rango dinámico con relación a los fotomultiplicadores. Los fotodetectores se agrupan de manera lineal o matricial rectangular.

5.7.1.6.1.2. FOTOMULTIPLICADOR: Son equipos no fotogramétricos. Generalmente de tambor hacen el escaneado de la imagen punto a punto siguiendo líneas. La iluminación se basa en un efecto de luz externa. Debe ser empleado como un elemento aislado, con un tiempo de respuesta bastante rápido y muy alta sensibilidad.

5.7.1.6.5. ELEMENTOS COMPONENTES:

5.7.1.6.2.1. EL SENSOR: Es el encargado de registrar medidas de densidad de la película. Es muy sensible para zonas muy claras y dicha sensibilidad merma para las zonas oscuras. La sensibilidad se afecta por factores electrónicos o el ruido de los fotones. El fotodetector mide un valor proporcional de transparencia o reflectancia de la fotografía. Emite una señal electrónica que reconvierte en un valor numérico digital.

5.7.1.6.2.2. LA TRANSMITANCIA: Está dada por la relación entre la luz transmitida y la reflejada.

5.7.1.6.2.3. LA DENSIDAD DE LA PELÍCULA: Corresponde al logaritmo de la opacidad, la cual es la inversa de la transmitancia.

5.7.1.6.2.3. COMPONENTES ELECTRÓNICOS: Un controlador (sensor / placa), un convertidor A / D, Un dispositivo de memoria, una interfase de salida.

5.7.1.6.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

5.7.1.6.3.1. VELOCIDAD: Es definida por el usuario dependiendo de la calidad y requerimientos de la imagen que se desee. Mediante el uso de

chequeos periódicos debe controlarse defectos de: polvo, engrase, y mecánicos.

5.7.1.6.3.2. RUIDO DE LA IMAGEN: Debe estar controlado para que no exceda $\pm 0.3 - 0.5$. D.

5.7.1.6.3.3. FORMATO DE ALMACENAMIENTO Y COMPRESIÓN DE DATOS.

5.7.1.6.3.4. COLOR: Se logra mediante el empleo de: CCD de tres chips o de filtros externos o de filtros especialmente intercalados entre los elementos del sensor. Se pueden definir tres niveles de acuerdo con el filtraje: RGB (Red; Green, Bleu) o CYR (Cyan, Yellow, Red).

5.7.1.6.3.5. ILUMINACIÓN: Esta debe ser estable, uniforme y no producir calentamientos.

5.7.1.6.3.6. RANGO DINÁMICO: 0.0 A 3.5 D.

5.7.1.6.3.7. RESOLUCIÓN GEOMÉTRICA: Está dada por el tamaño del píxel.

5.7.1.6.3.8. RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA: En la captura de la imagen se genera aumento en la escala de los grises, el cual es reducido con la aplicación de un software apropiado que los ubica en una escala estándar de 256 valores.

5.7.1.6.4. TIPOS DE ESCÁNER:

5.7.1.6.4.1. SENSORES DE BANDA: Funcionan por medio del barrido por bandas paralelas de la fotografía.

5.7.1.6.4.2. SENSORES DE MATRIZ CUADRADA: Digitaliza zonas de la fotografía que posteriormente une numéricamente, con un cruce de coordenadas conocidas.

5.7.1.6.4.3. SENSORES SIMPLES: Realizan su función mediante un barrido en línea, utilizando un procedimiento de rotación.

5.7.1.6.5. CALIBRACIÓN DEL ESCÁNER :

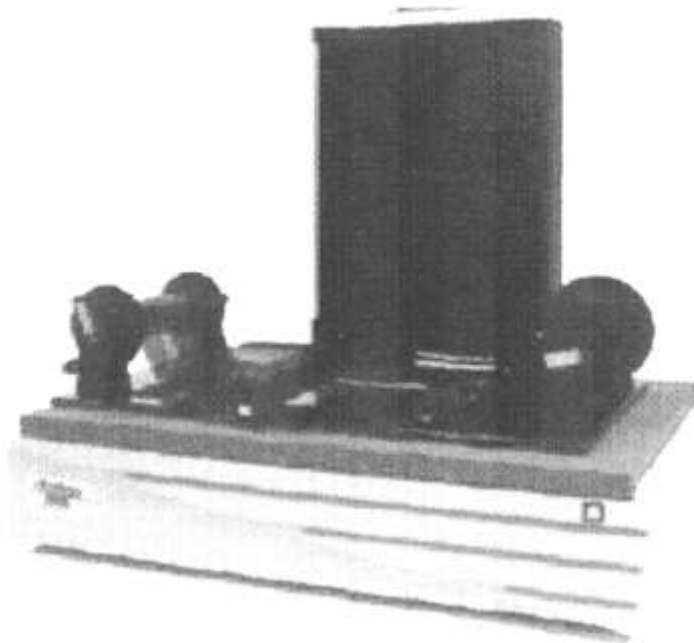
5.7.1.6.5.1. CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA: Se basa en el proceso encargado de medir la influencia y compensar los efectos de los elementos

que afectan el sistema de iluminación tales como: fuente de luz sensores, lentes, portaplacas y cubreplacas, para la obtención de la imagen escaneada deseada.

5.7.1.6.5.2. CALIBRACIÓN GEOMÉTRICA: Se realiza empleando placas cuadrículadas, con precisión de 2 μm a 3 μm . Algunas placas poseen en sus bordes dos columnas que controlan los errores debidos a la variación de frecuencias. Otro de los tipos de placa empleados tiene un tamaño de 25 cm. x 25 cm. y cuadrícula de un cm. , que es utilizada separadamente para calibrar el sistema y hacer los ajustes necesarios a fin de obtener los resultados deseados.

5.7.1.6.6. MODELOS DE ESCÁNERES:

5.7.1.6.6.1.	VX 4000	VEXCEL IMAGING Co (USA).
5.7.1.6.6.2.	HORIZON	AGFA.
5.7.1.6.6.3.	XL 10	ISM Corp.
5.7.1.6.6.4.	DELTA SCAN	GEO SYSTEMS.
5.7.1.6.6.5.	PHOTO SCAN 2000	ZI IMAGING .
5.7.1.6.6.6.	DSW500	L H SYSTEMS, LLC.
5.1.7.6.6.7.	ULTRA SCA 5000	VEXCEL IMAGING GmbH. (Véase la figura 5.



ESPECIFICACIONES

ESCÁNER ULTRASCAN 5000 DE VEXCEL

- ✓ Formato: A3 (280mm x 440mm)
- ✓ Precisión Geométrica Máx.: $\pm 5\mu\text{m}$ ECM
- ✓ Resoluciones G. directas: 5, 10, 15, 20, 25, 29, 58 $\mu/\text{píxel}$
- ✓ Precisión Radiométrica: ± 0.3 DN a ± 1.0 D
- ✓ Rango de densidades de 3.7 D
- ✓ Acoplador de fotos aéreas

FIGURA 5.4. ESCÁNER ULTRA SCAN 5000 DE VEXCEL IMAGING GMBH (AUSTRIA).

5.8. NOCIONES ACERCA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (S I G):

Se puede definir un Sistema de Información Geográfica SIG (Geographic Information System GIS) como la tecnología de manejo de la información geográfica obtenida, utilizando equipos electrónicos (hardware) con aplicación de programas computacionales (software) , que permite manejar adecuadamente una serie de datos espaciales (información geográfica) y efectuar análisis complejos de acuerdo con los requerimientos.

El condicionante principal al momento de realizar un trabajo bajo SIG lo constituye la disponibilidad de datos geográficos del terreno a analizar, y es a la vez el elemento diferenciador frente a otros tipos de Sistemas de información. Mientras algunos Sistemas de Información, contienen sólo datos alfanuméricos (nombres, números, direcciones, etc.), las bases de datos SIG contienen información espacial y además temática de todos los elementos geográficos. Debe trabajar con información cartográfica y con bases de datos simultáneamente, generando relaciones entre los mismos lo que se denomina topología, para conformar una sola Base de Datos Geográfica.

5.8.1. BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS:

La generación de una Base de Datos Geográfica requiere de un proceso de abstracción que posibilite pasar de la complejidad real a la representación simplificada propia del lenguaje de los ordenadores., soportada por la concepción de base de datos en capas partiendo de unas básicas de dibujo que reducen la realidad del terreno a puntos , líneas y polígonos.

Los elementos se relacionan espacialmente entre sí (topología), mediante aplicación de métodos lógico-matemáticos. A pesar de que a nivel geográfico

las relaciones entre objetos es compleja, la topología de un SIG se reduce fundamentalmente a conocer el polígono o polígonos a los que pertenece una determinada línea ó a la agrupación de líneas que conforman un determinado accidente geográfico.

5.8.2. MODELOS DE DATOS Y TIPOS DE SIG:

El modelamiento de las relaciones entre los objetos geográficos se da en tres grandes grupos: SIG VECTORIALES; SIG RASTER o SIG ORIENTADOS A OBJETOS.

5.8.2.1. SIG VECTORIALES:

A este Sistema pertenecen la mayoría de los sistemas de información geográfica actuales. Para la descripción de objetos geográficos se utilizan vectores definidos con pares de coordenadas relativas a algún sistema cartográfico.

Mediante un par de coordenadas y su cota se genera un punto, con dos puntos se generan una línea, y con un grupo de líneas es posible formar un polígono. De todos los métodos que permiten formar topología vectorial la forma más desarrollada es la topología arco-nodo, la cual basa la estructuración de la información geográfica en pares de coordenadas, que forman la entidad básica de información.

Para la implementación de un ordenador, se debe hacer uso de la interconexión de varias bases de datos a través de identificadores comunes, conformando bases de datos tabulados que contienen columnas comunes a partir de las cuales es posible relacionar datos no comunes entre varias tablas.

En general el Sistema SIG VECTORIAL es adecuado, cuando se trabajan objetos geográficos con límites bien establecidos, como casas, edificios bosques, ríos, vías, etc. (Véanse figuras 5.5. y 5.6.)

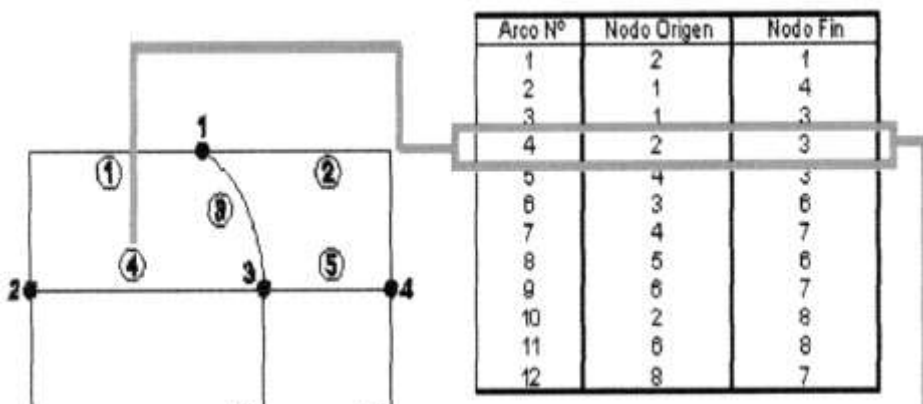


FIGURA 5.5. FORMACIÓN DE LÍNEAS EN LA TOPOLOGÍA ARCO-NODO.

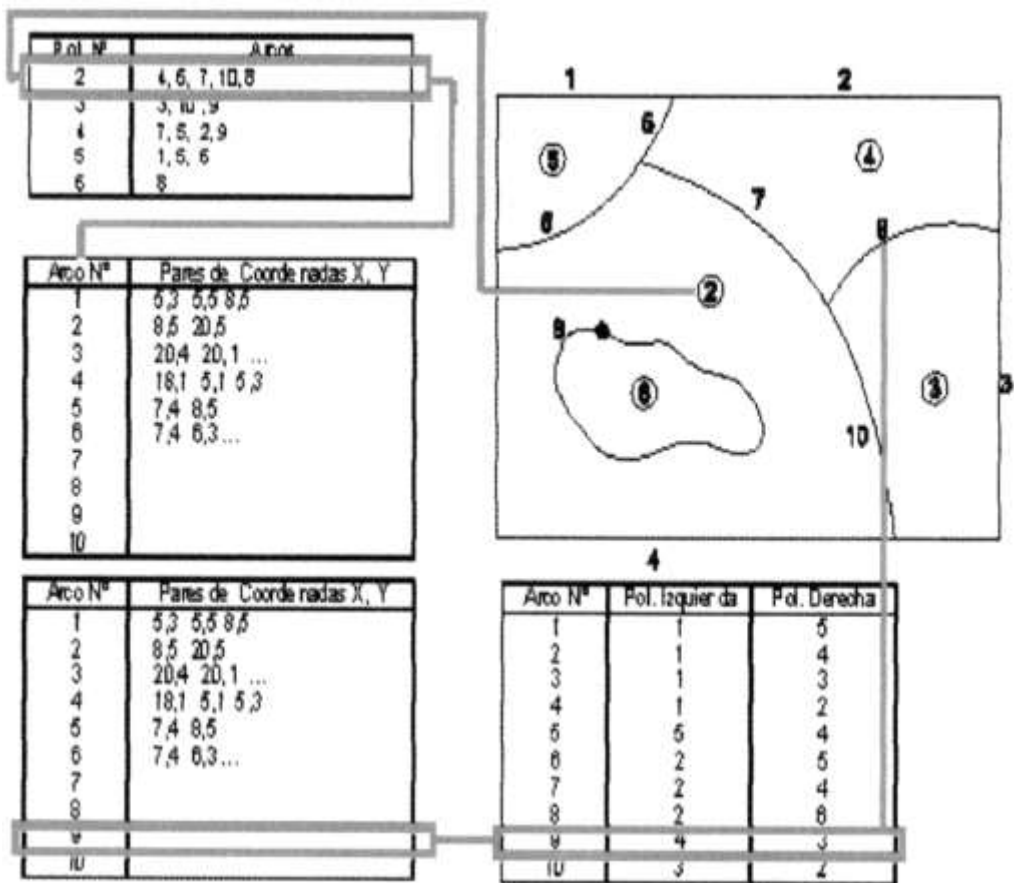


FIGURA 5.6. FORMACIÓN DE POLÍGONOS EN LA TOPOLOGÍA ARCO-NODO.

5.8.2.2. SIG RASTER:

Basan su funcionalidad en la concepción implícita de las relaciones de vecindad entre objetos geográficos. Se procede dividiendo la zona de afectación de la base de datos en una retícula o malla de pequeñas celdas, denominadas píxeles y atribuir un valor numérico a cada celda con representación de su valor temático. Porque la forma de la malla es regular, con tamaño constante del píxel y coordenadas para el centro de cada una de las celdas se dice que el sistema es georeferenciado.

Una descripción precisa de los objetos geográficos contenidos en una base de datos requiere que el tamaño del píxel sea reducido (depende de la escala definida), produciendo una malla de alta resolución. El mayor número de filas y columnas de la malla aumenta la resolución pero asocia un mayor

esfuerzo en el proceso de captura de información y mayores costos computacionales al procesamiento de la misma.

El modelo SIG RASTER, es útil al describir objetos geográficos con límites difusos como la graficación de la dispersión de una nube contaminante, caso en el cual el contorno no es nítido muy precisamente. (Véase figura 5.7.)

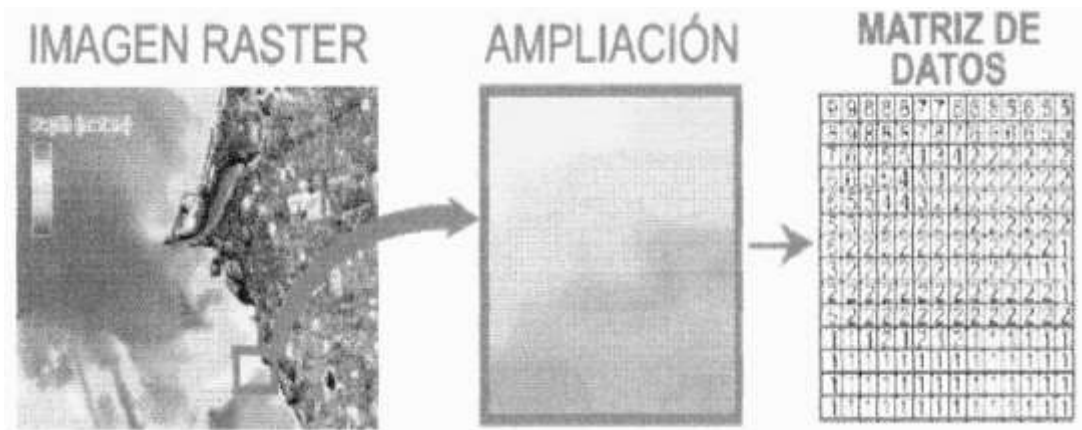


FIGURA 5.7. ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN EL MODELO DE DATOS RASTER.

5.8.2.3. SIG ORIENTADOS A OBJETOS:

Representan un cambio en la concepción de la estructura de las bases de datos geográficas. Mientras los sistemas vectoriales y raster estructuran la información mediante capas, los sistemas orientados a objetos organizan la información a partir del propio objeto geográfico y sus relaciones con otros. Los objetos están sometidos a diferentes procesos y se agrupan en clases como la denominada herencia. Se introduce el carácter dinámico de la información frente al carácter estático de los modelos vectoriales o raster, a partir de una serie de parámetros establecidos del comportamiento de los objetos geográficos se puede simular su evolución a futuro, dando como resultado el avance en casos donde se requiere el análisis de situaciones potenciales. Los atributos temáticos de cada objeto geográfico corresponden al resultado de aplicar diversas funciones variantes dependiendo de las relaciones entre el entorno y el objeto geográfico.

Es aconsejable la implementación de este modelo, para situaciones en las que la naturaleza de los objetos que se tratan de modelar es cambiante en función de la relación espacio y / o tiempo.

Un ejemplo de organización de información con este modelo es: un subcompartimiento forestal, en el que se dan muchos árboles sometidos a procesos de crecimiento, el cual es heredado por el subcompartimiento y genera como resultado que la altura del mismo sea cambiante en el tiempo. (Véase figura 5.8.)



FIGURA 5.8. MODELO SIG DE DATOS ORIENTADO A OBJETOS.

5.9. LECTURAS COMPLEMENTARIAS.

Documento tomado de Gabriel Ortiz.com
www.recursos.gabrielortiz.com/art.asp?Info=046a

5.9.1. ANÁLISIS DE SIMILARIDAD CARTOGRÁFICA Y GENERACIÓN DE MAPAS PREDICTIVOS MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

A menudo vemos en conferencias al presentador de turno señalando con un puntero láser sobre una proyección y afirmando "fíjense en el parecido entre la distribución de casos entre esta parte y esta...", a la vez que mueve su puntero rápidamente entre dos mapas parecidos situados uno al lado del otro y que sirven de ilustración para sus razonamientos.

Pero realmente ¿cuál es el parecido entre un caso y otro de ambos mapas? ¿Realmente similares o sólo un poco similares? y... ¿cómo es la similaridad en el resto de las partes de los mapas? Mientras que un análisis visual y

subjetivo puede identificar relaciones generales, necesitamos de una aproximación cartográfica cuantitativa para realizar un escrutinio detallado y riguroso que nos permita extraer toda la información contenida en las series de datos de ambos mapas.

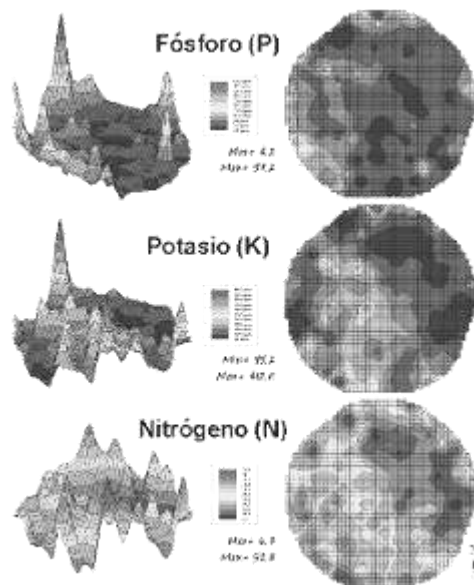


Figure 1. Superficies cartográficas de identificación de la distribución espacial de Fósforo (P), Potasio (K) y Nitrógeno (N) sobre una misma zona de cultivo.

Echemos un vistazo a los tres mapas de la Figura 1. ¿Podríamos decir cuáles son las zonas que muestran tramas similares? En concreto, si nos fijamos en la zona sureste de los mapas: ¿qué parecido hay entre las tres imágenes?

Las respuestas a estas preguntas son demasiado complicadas para un simple análisis visual, e incluso se puede decir que van más allá de las posibilidades de visualización y análisis de paquetes de cartografía sencillos. Aunque los datos del ejemplo muestran la distribución de fósforo, potasio y nitrógeno en una zona de cultivo de maíz, bien podrían ser datos de carácter demográfico que representasen niveles de renta, educación o precios del terreno. O puestos a imaginar, también podrían ser datos de seguimiento de las ventas de tres productos diferentes... Y

por qué no: mapas sanitarios con la representación de la incidencia de tres enfermedades distintas, o estadísticas policiales geográficamente referenciadas.

Con independencia de la naturaleza de los datos y el campo de aplicación en el que estemos trabajando, el procedimiento *'map-temático'* para analizar la similaridad cartográfica (*Map Similarity*) es el mismo.

En el análisis visual y subjetivo inconscientemente movemos los ojos de un mapa a otro tratando de hacer una valoración de la distribución de colores en cada zona. La dificultad de este tipo de aproximaciones tiene una doble vertiente: a la vez hay que recordar las tramas de colores y además calcular las diferencias. Con un análisis cartográfico cuantitativo hacemos lo mismo, pero con la diferencia de que en vez de usar los colores y sus variaciones visuales, usamos los valores cartográficos verdaderos existentes en el interior de los mapas. Además, contamos con la ventaja de que el ordenador no se cansa de calcular como nuestros ojos y puede completar la comparación para todas las celdas del mapa en cuestión de segundos (2 segundos concretamente en el ejemplo anterior sobre un total de 3289 celdas).

La parte superior izquierda de la Figura 2, donde vemos las tres *'tartas'* de datos superpuestas, muestra el proceso de captura de las tramas de datos para la comparación de dos posiciones. Imaginemos un pincho que atraviesa las tres *'tartas'* de datos por la localización 18, 45 (fila 18, columna 45): obtendríamos un valor de P de 11.0 ppm, niveles de K de 177.0 y 32.9 de N. Este paso realizado con un análisis a ojo nos permitiría observar tramas de colores rojo intenso, naranja oscuro y verde claro, respectivamente. La otra posición que analizamos para comparación (fila 62, columna 32) tiene una trama de datos de P= 53.2, K= 412.0 y N=27.9; si procedemos a simple vista vemos una trama de colores con verde oscuro, verde oscuro y amarillo, respectivamente.

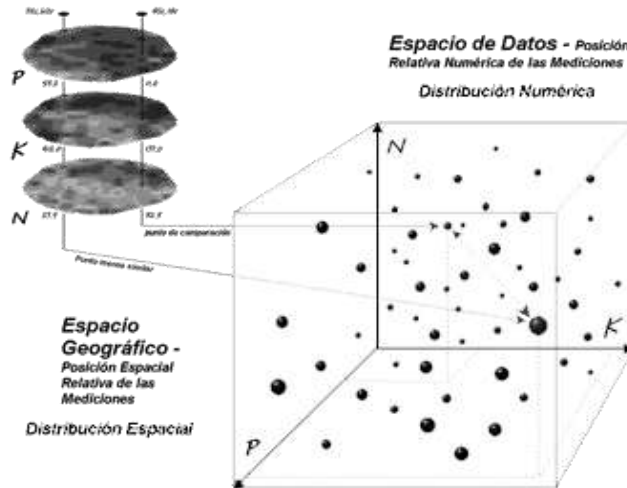


Figura 2. Unión conceptual entre el espacio geográfico y el espacio de datos.

La parte derecha de la figura describe conceptualmente cómo calcula el ordenador la relación de similaridad, a partir de las tramas de datos comparadas. El hecho de que los datos cartográficos pueden ser expresados tanto en forma de espacio geográfico como en espacio de datos es clave para entender el proceso.

El espacio geográfico utiliza coordenadas (por ejemplo latitud-longitud) para localizar los elementos del mundo real; en el ejemplo que estamos viendo un punto estaría en la parte sureste del mapa y otro en el noroeste. La expresión geográfica del conjunto completo de mediciones de que disponemos da lugar a su modelo de distribución espacial, plasmado en forma cartográfica.

Por el contrario, el espacio de datos es un poco menos familiar para nosotros. A primeras no podemos recorrer este espacio de datos como si fuera el espacio geográfico, pero podemos recurrir a una conceptualización del mismo que nos ayudará a entenderlo. Pensemos en el espacio de datos como si fuera una caja cristal tridimensional en la cual tenemos metidas un montón de bolas flotando en su interior. En el ejemplo que estamos siguiendo, las magnitudes que definirían las dimensiones de la caja de cristal están definidas por los ejes de las mediciones de fósforo (P), potasio (K) y nitrógeno (N). Las bolas flotantes, por su parte, representan tramas de datos para cada localización.

Las coordenadas que localizan de esta forma tridimensional la posición de las bolas tienen los valores 11.0, 177.0 y 32.9 para el punto de comparación y valores bastantes más altos para el otro punto (53.9, 412.0

y 27.9). En consecuencia, la posición de ambas bolas difiere notablemente en el espacio de datos.

Lo importante aquí es comprender que la posición de cualquier punto en el espacio de datos (bolas flotantes) se corresponde con su trama de datos (pincho que atraviesa las tres 'tartas' y extrae sus valores numéricos). Si los tres valores en la trama de datos son bajo, bajo, bajo, la bola aparecerá en la esquina inferior izquierda del fondo del cubo (que es el origen de los tres ejes) y si los tres valores son alto, alto, alto aparecerá en la esquina superior derecha del frente del cubo (la más cercana a nuestro punto de vista en el ejemplo). Si entendemos esto no nos será difícil comprender que aquellos puntos que estén más cercanos entre sí dentro de este espacio tridimensional serán más similares que aquellos que tienen posiciones relativas más alejadas.

Volviendo al ejemplo, si vemos en la Figura 2 la bola que está más cercana a nosotros (por eso es más grande), podemos ver que es a su vez la más alejada en el espacio de datos al punto tomado como comparación. En consecuencia, es también el punto menos similar a dicho punto de comparación. Esta distancia existente entre los puntos más alejados se toma como referencia para establecer el criterio de '*más diferente*' en toda la serie de datos, y se iguala al valor mínimo de 0% en una escala virtual de similitud. Por contra, un punto con una trama de datos idéntica tendría una representación exactamente en el mismo punto del espacio de datos, lo que daría lugar a una distancia 0 de nuestro punto de comparación y por tanto al valor mínimo de la escala virtual de similitud (100%).

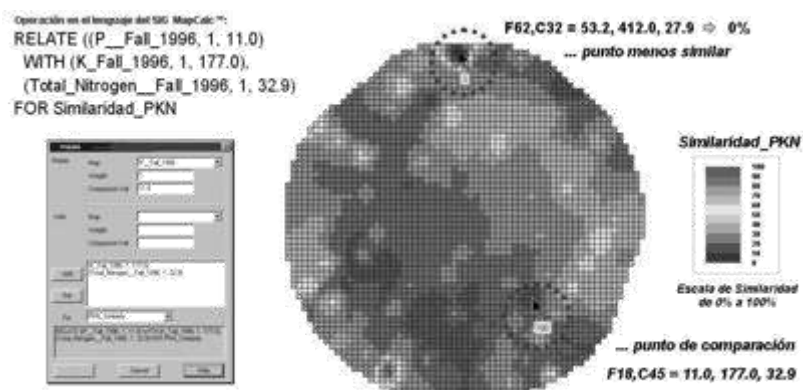


Figura 3. Mapa de Similitud representando la relación existente entre cada celda del mapa y un punto concreto del mismo tomado como base de la comparación.

El Mapa de Similaridad mostrado en la Figura 3 aplica todo lo dicho anteriormente sobre la escala porcentual de similaridad a todas las celdas de un mapa, sobre las cuales se ha calculado su distancia en el espacio de datos a un punto de comparación. Los tonos verdes indican tramas de datos bastante similares en los contenidos de P, K y N, mientras que los tonos rojos indican puntos con valores bastante diferentes. Es interesante ver que la mayor parte de las posiciones que podríamos denominar como 'muy similares' están situadas en la parte oeste del espacio analizado (en este caso, un campo de cultivo).

Un mapa de similaridad como este que hemos mostrado puede ser una herramienta de un valor incalculable cuando tratamos de averiguar las relaciones espaciales existentes en un conjunto complejo de datos cartográficos. Mientras el ser humano no puede conceptualizar más de tres variables a la vez (recordemos el espacio de datos que imaginábamos como un cubo de cristal), con ordenadores podemos crear índices de similaridad que pueden trabajar con cualquier cantidad de mapas como variables de entrada. Además, las diferentes capas de estos índices pueden ser ponderadas debidamente para reflejar la importancia relativa en el proceso general de determinación de la similaridad, dando lugar a modelos más o menos complejos.

En efecto, los Mapas de Similaridad son una aproximación mucho más depurada que el puntero láser del conferenciante que veíamos al principio recorriendo a toda velocidad varios mapas similares para apuntar apreciaciones subjetivas acerca de la similaridad o diferencia entre zonas. Aportamos de esta forma mediciones objetivas y cuantitativas para cada punto de nuestro espacio de análisis, llevando el análisis cartográfico al terreno del método científico de donde no debe salir.

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE DATOS

En el punto anterior hemos introducido el concepto de '*distancia de datos*' como herramienta para medir la similaridad en un mapa. Con el software adecuado y un simple click en una celda podemos saber en cualquier momento la similaridad del resto de las celdas con respecto a la primera, en un rango entre 0 (cero por cien similar) y 100 (idéntica trama de datos, es decir, idénticos valores en el conjunto de capas cartográficas analizadas). Dichas estadísticas hemos visto cómo pueden reemplazar a los tradicionales análisis visuales, llenos de subjetividad.

No obstante, podemos extender la técnica anteriormente descrita mediante la aplicación de un círculo que establezca un área sobre el que computar la similaridad cartográfica, a partir de las tramas de datos contenidas en su interior. En este caso, el ordenador calcularía el valor

medio de cada parámetro (capa cartográfica) para todo el área del círculo. Dicho valor medio sería tomado como base para establecer la comparación, y posteriormente para el cálculo del conjunto de distancias normalizadas en el espacio de datos con respecto al resto de las celdas del mapa. El resultado sería un mapa que mostraría la similitud en cada punto con respecto a un área de interés, en vez de como hacíamos antes (con respecto a un solo punto).

De la misma forma, en un estudio de mercado podríamos tomar un mapa de ventas de un producto para identificar zonas inusualmente altas en lo que a ventas se refiere, y posteriormente generar un Mapa de Similitud utilizando otros datos de carácter demográfico. Podríamos de esta forma obtener puntos con una trama demográfica parecida en otros puntos de la ciudad. O un gestor forestal podría identificar áreas con condiciones de suelo, orientación del terreno, etc. similares a las que existen donde crece un tipo de vegetación que necesita reforestar.

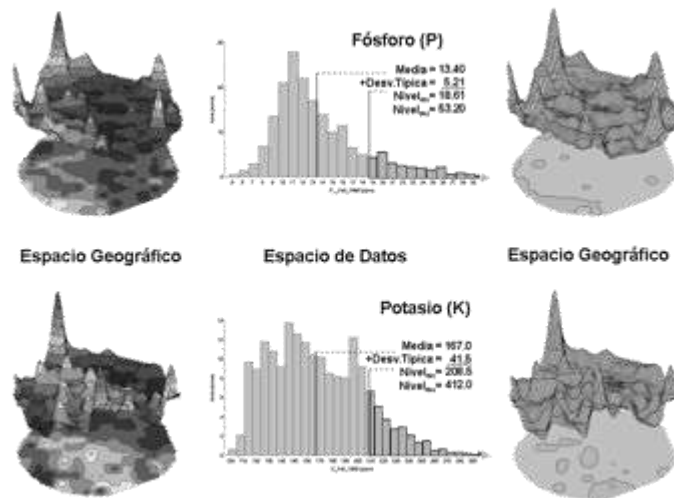


Figura 4. Identificación de áreas con mediciones inusualmente altas.

La clave para entender todo esto es la relación existente entre el espacio de datos y el espacio geográfico propiamente dicho. Tal y como se muestra en la Figura 4, un conjunto de datos espaciales puede ser visualizado bajo la forma de un histograma de frecuencias o como un mapa convencional. Mientras que el mapa nos muestra 'dónde están las cosas', el histograma nos informa de 'con qué frecuencia ocurren las cosas', con independencia de dónde tienen lugar.

La parte superior izquierda de la Figura 4 muestra una representación de un mapa en 2D con una superficie 3D superpuesta donde se puede ver la cantidad relativa de fósforo (P) en una explotación agrícola. Fíjese en los picos que se dan en los bordes de la explotación, con un pico que destaca sobre todos en la zona norte.

El histograma que encontramos a la derecha nos aporta una perspectiva diferente de los datos. En vez de posicionar las mediciones en el espacio geográfico, realiza un conteo de las frecuencias relativas de cada caso en el espacio de datos (básicamente este gráfico nos dice cuántos casos hay en el mapa de medidas entre 5 y 6, entre 6 y 7, entre 7 y 8, etc.) El eje X del histograma se corresponde con lo que sería la Z del mapa convencional (es decir, la cantidad de fósforo detectada). En este caso, los picos del gráfico nos indican qué intervalos de mediciones ocurren más frecuentemente; observemos la alta frecuencia que tienen los valores entorno a 11 partes por millón.

Bien, ahora vamos a realizar la unión entre el espacio geográfico y el espacio de datos. La parte sombreada en verde de los histogramas denota mediciones inusualmente altas. Hemos empleado para ello el estadístico de la desviación típica sobre la media, con lo que hemos realizado un corte que nos permite aislar las mediciones inusualmente altas de acuerdo con el desarrollo de la serie de datos (esta cuestión ya la hemos visto en este [artículo anterior](#)). Con dicha delimitación hemos trazado los mapas 2D y superficies 3D que están en la parte derecha de la Figura 4, repetidos tanto para los valores de fósforo como de potasio.

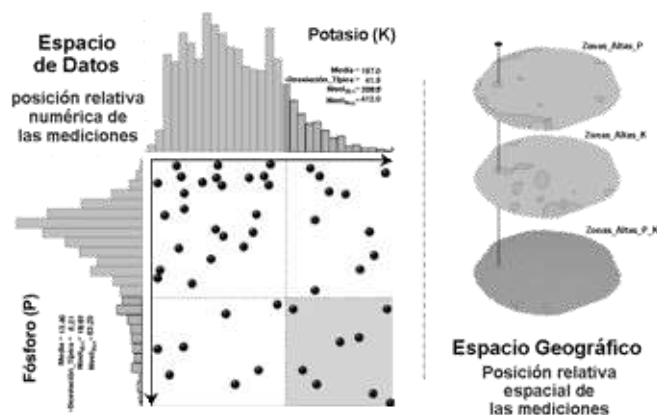


Figura 5. Identificación de zonas coincidencia comunes a ambos espacios geográfico y de datos.

La Figura 5 muestra cómo se pueden combinar las series de datos del fósforo (P) y del potasio (K) para localizar áreas en la explotación que tengan niveles altos de ambos elementos. El gráfico de puntos negros que está flanqueado por los histogramas de frecuencias se denomina gráfico o diagrama de dispersión (*scatter plot*). Este tipo de representaciones permite ver de forma gráfica la ocurrencia conjunta de ambas series de datos cartográficos.

Cada punto negro en el gráfico de dispersión representa de forma esquemática una localización en el terreno real, de tal manera que su posición en el diagrama identifica los niveles de P y K para esa celda del mapa. Aquellas bolas que caen dentro de la zona sombreada en color verde se corresponden con celdas que tienen elementos anormalmente altos de ambos componentes P y K (ya hemos visto antes qué entendemos por *'anormalmente altos'*). Por su parte, aquellos valores que caen a los dos lados del recuadro verde se corresponden con celdas que tienen un componente alto, pero no los dos.

La parte derecha de la Figura 5 muestra tres mapas alineados con lo que sería la solución geográfica para la localización de zonas con ambos elementos químicos altos (P y K); primero la delimitación de las zonas altas en P, luego las zonas altas en K y por fin abajo del todo las zonas altas en P y K a la vez. Una forma bastante sencilla de conseguir estas delimitaciones consiste en asignar un valor 1 a todas las celdas con mediciones altas de P y K, en cada una de sus dos capas independientes (pintadas de verde); al resto de celdas las daríamos un valor 0 (gris). Luego multiplicamos una capa por la otra y al estar compuestas de 0 y 1 sólo nos dará valores verdes (1) en aquellas zonas donde ambas capas P y K tengan 1, mientras que nos dará valores grises (0) en el resto de combinaciones, debido a que multiplican por algún 0. Como podemos ver, este tipo de técnicas de *'cortes por niveles'* nos permiten cartografiar selectivamente cualquier tipo de trama de datos que queramos... sólo hay que asignar valores 1 a los intervalos de datos que nos interesan dentro de cada variable o capa cartográfica, y valores 0 al resto para luego realizar una extracción selectiva.

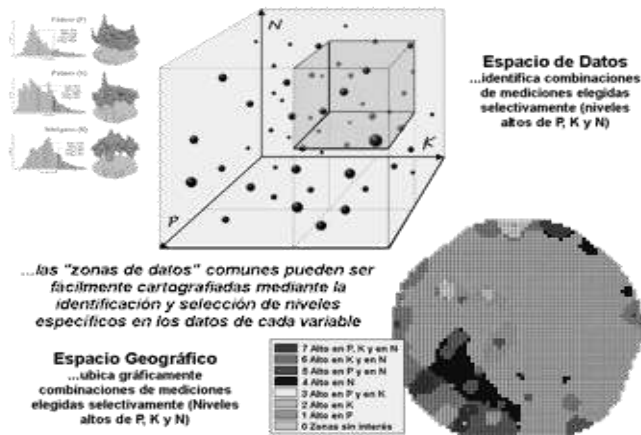


Figura 6. Clasificación de 'Cortes por niveles' (Level-slice) sobre tres capas cartográficas.

Siguiendo con nuestra exposición, en la Figura 6 se muestra otro ejemplo que va un poco más allá de lo visto anteriormente. En este caso hemos aislado en el espacio de datos el área con niveles inusualmente altos de P, K y N, que se puede ver como una sub-caja en 3D con bolas dispersas que caen en su interior.

Para conseguir esto hemos empleado un pequeño truco cartográfico que nos ha permitido conseguir la solución mostrada en la figura anterior. En cada mapa individual (o capa cartográfica), hemos otorgado a las áreas que llamamos inusualmente altas los valores de $P=1$, $K=2$ y $N=4$, antes de cruzar entre sí los mapas. El resultado tras este cruce es un rango de coincidencia que va de cero ($0+0+0=0$, que serían las zonas grises que carecen de interés por no tener alto ningún elemento), hasta siete ($1+2+4=7$, que serían las zonas de altos niveles a la vez de P, de K y de N). Los valores que quedan entre el 0 y el 7 nos identifican capas con otras combinaciones de elementos. Por ejemplo, las zonas pintadas de amarillo tienen un valor de 3 lo que significa niveles altos de P y K, pero no de N ($1+2+0=3$). El lector probablemente se esté preguntando qué pasaría si tuviéramos más capas cartográficas que 3... en ese caso, garantizaríamos la identificación unívoca de casos utilizando valores en progresión binaria creciente (...8, 16, 32, etc.) para garantizar que las combinaciones de resultados sean únicas y poder de este modo identificar qué categorías o valores dieron lugar en cada caso al resultado.

Aunque la técnica de 'Corte por niveles' (Level-slicing) no es una forma de clasificación demasiado sofisticada, nos sirve para ilustrar con claridad la

importantísima unión que subyace entre el espacio de datos y el espacio geográfico. Este concepto que es a todas luces fundamental, forma la base de muchos análisis geoestadísticos incluyendo las técnicas de agrupamiento (*clustering*) y regresión que veremos más en profundidad a continuación.

CARTOGRAFÍA DE CÚMULOS DE DATOS Y AGRUPACIÓN (*CLUSTERING*)

Recapitulando un poco hemos visto cómo analizar el parecido entre datos a partir de mapas apilados con distintas capas temáticas. La primera técnica que veíamos, y que hemos dado en llamar Similitud Cartográfica (*Map Similarity*), nos permitía generar un nuevo mapa mostrando el parecido de todos los puntos del mapa con respecto a una localización tomada como base para la comparación y teniendo en cuenta todas las capas cartográficas apiladas. El resultado lo expresábamos en una escala relativa de porcentajes que mostraban el parecido con respecto a la ubicación base de la comparación.

La otra técnica que hemos visto ha sido la denominada 'Corte por niveles' (*Level-slicing*) que nos permitía especificar un rango de datos de interés para cada uno de los mapas apilados, y luego generar mapas que cumplieran todas las combinaciones de criterios: desde sólo un criterio hasta todos los criterios cumplidos a la vez, así como las posibles combinaciones correctamente identificadas que quedan en medio.

Ambas técnicas son muy útiles a la hora de examinar las relaciones espaciales subyacentes en los datos, pero exigen al usuario tener que especificar los parámetros que desea para el análisis. Pero... ¿qué pasa si uno no sabe qué intervalos de corte usar para el análisis, o qué ubicaciones elegir como base de comparación para analizar la similitud cartográfica? ¿Podríamos plantearnos con ciertas garantías que fuera el ordenador por sí mismo quien identificara los grupos de datos similares? ¿Qué clase de resultados daría este tipo de clasificaciones automáticas? ¿Funcionarían?

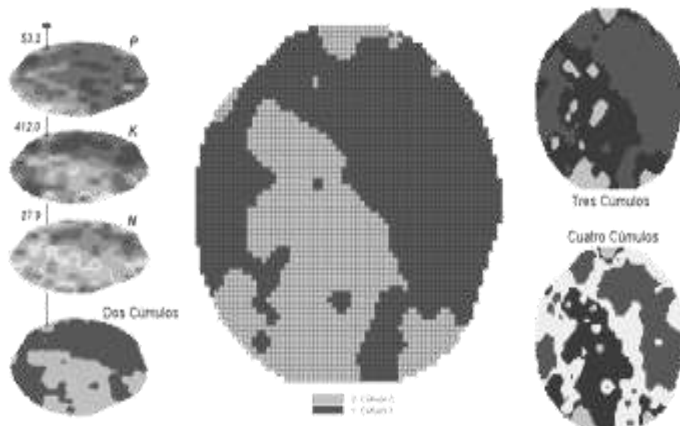


Figura 7. Ejemplos de Agrupamiento Cartográfico (*Map Clustering*).

La Figura 7 muestra algunos ejemplos de Agrupamiento Cartográfico (*Map Clustering*). Los mapas 'flotantes' que se pueden ver en la parte izquierda de la imagen son las capas cartográficas que nos sirven de base para el análisis. Dichas capas son, como se puede ver, los mismos mapas que hemos visto en los puntos anteriores de distribución de Fósforo (P), Potasio (K) y Nitrógeno (N) en una hipotética explotación de maíz. No obstante, hacemos hincapié una vez más en que la naturaleza de los datos puede ser cualquiera: datos de geomarketing, características del medio natural, datos demográficos, etc... en fin, cualquier conjunto de capas cartográficas relacionadas entre sí. El principio siempre es el mismo: el agrupamiento 'mira' la trama numérica de cada ubicación (el valor de cada celda y en cada mapa) y 'ordena' todas las ubicaciones en grupos discretos.

El mapa que vemos en la parte central del gráfico anterior muestra el resultado de reclasificar los mapas P, K y N en dos cúmulos de datos (*clusters*) tras el agrupamiento. La trama de datos para cada ubicación cartográfica es usada para zonificar la explotación de maíz en dos grupos o *clusters* separados que cumplan las siguientes condiciones:

- 1/. Que los grupos sean tan diferentes como sea posible entre sí (diferencia entre grupos).
- 2/. Que estos grupos internamente estén formados por celdas con tramas cartográficas lo más similares posibles entre sí (similitud en el seno de cada grupo).

Los dos mapas que están a la derecha de la Figura 7 contienen los mismos datos pero grafiados en tres y cuatro cúmulos respectivamente. En los

tres mapas de agrupamiento que vemos (el grande central y los dos de la derecha), se ha asignado el color rojo a los datos con respuestas relativamente bajas, mientras que el verde equivale a respuestas relativamente altas. Fijémonos en cómo a medida que vamos pasando de dos a tres *clusters* y luego a cuatro, las áreas de los dos cúmulos iniciales van siendo invadidas paulatinamente por los nuevos grupos creados, de bordes hacia adentro.

El mecanismo para generar estos cúmulos de datos o *clusters* es bastante sencillo. Simplemente especificamos los mapas de entrada para el análisis y el número de *clusters* que queremos; luego, como por arte de magia, nos aparece un nuevo mapa con nuevos agrupamientos discretos de los datos. Ahora en serio... ¿qué hay detrás de este supuesto milagro? ¿Qué es lo que pasa dentro de la caja negra del ordenador cuando decidimos ejecutar una técnica de este tipo?

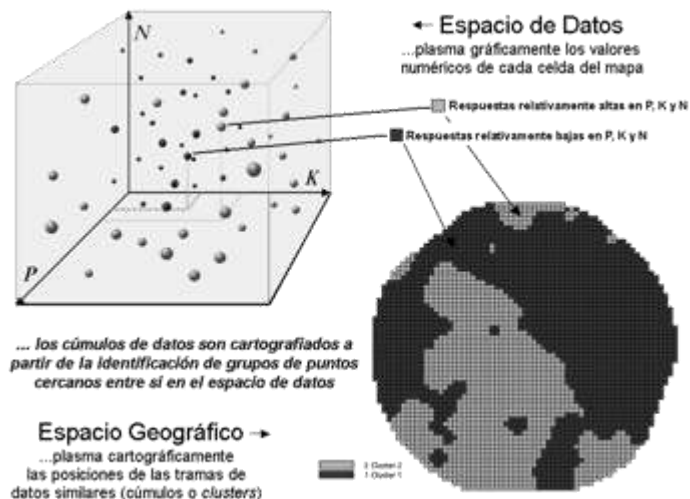


Figure 8. Las tramas de datos para cada punto del espacio analizado son vistas en esta representación del espacio de datos como bolas flotantes.

La Figura 8 puede ayudarnos bastante a entender el proceso. Las bolas flotantes identifican las tramas de datos para cada punto del mapa y graficadas sobre tres ejes que forman el espacio de datos (P, K y N). Recordamos, igualmente, que por trama de datos entendemos el conjunto de valores de todas las capas temáticas para una celda dada, como si las capas cartográficas fueran tres tartas apiladas y atravesáramos las mismas de arriba a abajo con un gran pincho que nos identificara qué sabor hemos interceptado en cada uno de los pisos de la tarta.

Bien, volviendo a la Figura 8, la bola que aparenta estar más cercana a nosotros (la más grande que está cerca de la arista derecha del cubo) se corresponde con valores altos en todos los niveles de P, K y N. Por contra, la bola más pequeña que aparece en el extremo opuesto del cubo (cerca del origen de los ejes), se corresponde con valores bajos. Parece evidente, pues, que ambas bolas con respuestas tan opuestas pertenecen a grupos de datos distintos.

Será tarea de otro artículo el tratamiento en profundidad del algoritmo específico aplicado para el agrupamiento, pero en este caso nos basta con comprender que la base del proceso está en la distancia en el espacio de datos que existe entre las bolas flotantes (o lo que es lo mismo: las tramas de datos). Así, grupos de bolas que están relativamente cercanas entre sí forman un posible grupo, y aquellos cúmulos de bolas que están alejados de este grupo mencionado forman otros potenciales *clusters*. En el ejemplo de la figura anterior, las bolas rojas identifican un grupo con respuestas relativamente bajas de los niveles P, K y N, mientras que las bolas verdes forman el cúmulo de datos (*cluster*) opuesto con respuestas relativamente altas. Todo esto traducido en forma de mapa da lugar a la representación cartográfica de la parte inferior derecha de la Figura 8.

Sin embargo, identificar estos grupos de datos cercanos entre sí en el espacio de datos puede ser una tarea árdua. Lo ideal sería encontrarnos con una estructura de 'nubes' de bolas en el espacio de datos para facilitar la tarea de identificación de los *clusters*, pero eso raramente ocurre, así que no queda otro remedio que aplicar ciertas reglas de decisión que nos permitan partir los datos por contornos que se tienen que corresponder con respuestas similares en los datos. Se pueden aplicar técnicas más o menos sofisticadas que ponderen criterios en función de las tendencias de las series de datos y otros recursos estadísticos expertos como la consideración de la autocorrelación espacial, el tratamiento categórico de los datos, etc.

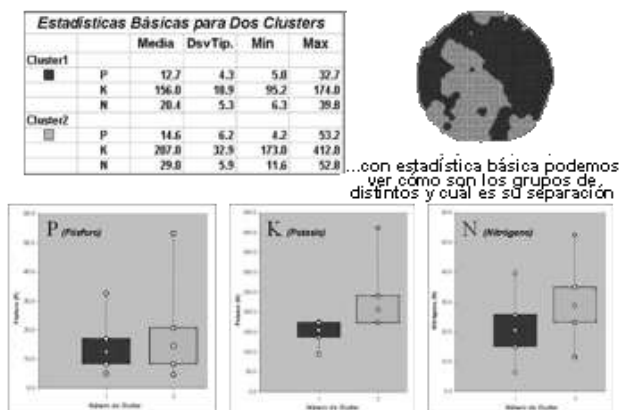


Figura 9. Los resultados del agrupamiento se pueden validar preliminarmente con estadística básica.

Ahora bien, ¿cómo podemos saber si los resultados del agrupamiento son aceptables?

La mayor parte de los expertos en estadística responderían a esta pregunta "es imposible saberlo a ciencia cierta". No obstante, nosotros trataremos de buscar una respuesta.

Aunque hay algunos procedimientos bastante elaborados que se centran en las asignaciones de los agrupamientos y en el estudio de los umbrales de tales grupos, la estadística tradicional -a través de los índices comunes que todos utilizamos- es una de las formas más utilizadas de comprobar la bondad de los resultados del *clustering*.

La Figura 9 muestra una tabla con estadísticas básicas y tres gráficos de apertura: uno por cada capa cartográfica (P, K y N) y cada uno con los resultados de los dos cúmulos realizados (*cluster 1* y *cluster 2*). En la tabla de estadísticas básicas se han incluido la media, la desviación típica y los valores máximos y mínimos de cada cúmulo. Lo ideal sería que las medias entre los grupos fueran radicalmente diferentes y que las desviaciones típicas dentro de cada grupo fueran muy pequeñas, lo que implicaría que existen grandes diferencias entre los grupos pero pequeñas diferencias en el seno de cada grupo.

Los gráficos de apertura nos permiten visualizar estas diferencias. Dentro de estos gráficos las cajas están centradas en la media (posición) y se extienden hacia arriba y abajo una desviación típica (ancho); los hilos de apertura que las acompañan se extienden de los valores máximos a los mínimos, dándonos una idea del rango de apertura que tiene la serie. Cuando los diagramas de dos *clusters* se solapan, como ocurre en el caso

de las respuestas del fósforo, quiere decir que dichos cúmulos no son muy distintos en lo que respecta a ese parámetro (o lo que es lo mismo, a ese eje en el espacio de datos). Sin embargo, la separación que existe en las cajas de los gráficos de K y N sugieren un mayor éxito en la distinción de los *clusters* (especialmente en el caso del potasio).

Dados estos resultados del ejemplo, un analista GIS daría por aceptable la clasificación y yo espero que los expertos en estadística acepten mis disculpas por tratar un tema tan complejo de una forma tan breve y simplificada.

MAPAS DE PREDICCIÓN

Hablar del futuro de los Sistemas de Información Geográfica es hablar de mapas que puedan describir cosas que aún no han sucedido. Suena un poco a ciencia ficción pero lo cierto es que las técnicas de *Data Mining* espacial no paran de progresar e inexorablemente nos llevan en esa dirección. Durante décadas, la estadística convencional (no espacial) ha estado prediciendo cosas mediante el análisis exhaustivo de muestras de datos en busca de relaciones numéricas (ecuaciones) que luego pueden ser aplicadas a otros conjuntos de datos. Claro que cuando se realiza una aproximación basada en la estadística tradicional sobre datos con una componente espacial, estamos pasando por alto las relaciones geográficas y el resultado al final es sólo una tabla de números, precisamente por no tener en cuenta dicha componente espacial.

La simbiosis existente entre el análisis estadístico predictivo y la cartografía parece evidente. Después de todo, los mapas no son más que un conjunto organizado de números... y los Sistemas de Información Geográfica nos permiten precisamente unir estos números con su distribución espacial. Llevamos vistas en este artículo varias técnicas 'descriptivas' para el análisis de la similaridad, el agrupamiento de datos, etc. Ahora nos toca el siguiente paso lógico que es aplicar técnicas 'predictivas' para generar mapas de extrapolación.

La primera vez que yo usé cartografía predictiva fue en 1992 para extender los resultados de un estudio de mercado de una compañía de telefonía. La dirección del cliente fue utilizada para geocodificar las ventas de un nuevo producto que permitía asignar a un mismo aparato de teléfono disponer de dos líneas con números distintos y sonido de llamada también distinto: uno para los más jóvenes de la casa y otro para los mayores. Poco a poco emergió de la pantalla del ordenador un mapa de toda la ciudad con el patrón de ventas, como si fuera uno de aquellos viejos mapas plagado de chinchetas. Pudimos ver que algunas áreas

estaban respondiendo bastante bien, mientras que en otras las ventas iban bastante peor.

Los datos demográficos de la ciudad fueron analizados para calcular una ecuación de predicción entre las ventas del producto y los datos censales. Es decir, escribimos la ecuación de predicción viendo la relación existente entre los datos del estudio de mercado (sobre todo ventas) y los datos demográficos, todo ello de una sola ciudad. Luego esta ecuación fue aplicada en otra ciudad utilizando sus propios datos censales como elemento para 'resolver la ecuación' y en consecuencia generar un nuevo mapa predictivo de ventas. Con posterioridad dicho mapa predictivo de ventas fue cruzado con la información de cableado e instalaciones de la compañía para identificar elementos de la red que deberían ser reforzados o actualizados previamente al lanzamiento del producto.

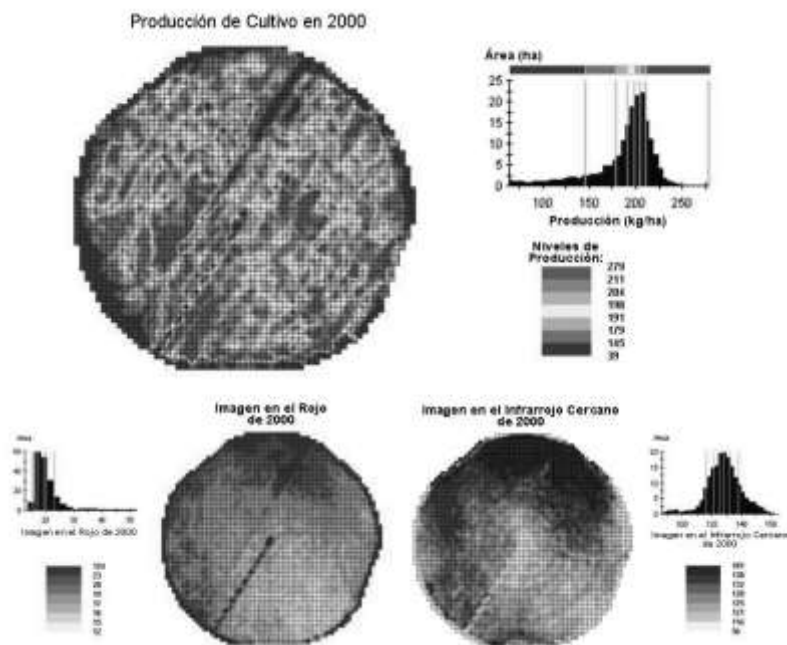


Figura 10. El mapa de la explotación de maíz (arriba) identifica la trama de datos a predecir; las imágenes del rojo e infrarrojo cercano de abajo son utilizadas para averiguar la relación espacial.

Para ilustrar el procedimiento de *Data Mining* predictivo vamos a seguir con el ejemplo de la explotación de maíz con la que venimos trabajando en este artículo. La parte de arriba de la Figura 10 muestra la producción de la explotación para un momento dado (año 2000), con niveles que varían de 39 kg por hectárea (en rojo) a 279 en los valores más altos (pintados en

verde). Al mapa de producción de cultivo se le denomina la 'variable cartográfica dependiente' porque identifica los datos de partida del fenómeno que pretendemos predecir.

Las 'variables cartográficas independientes' son las que figuran en la parte de abajo del gráfico, las cuales nos permitirán poner al descubierto las relaciones espaciales existentes (ecuación de predicción). En el ejemplo que estamos viendo, utilizamos como variables cartográficas independientes dos imágenes aéreas; la imagen de la parte de abajo a la izquierda indica la reflectancia relativa de luz roja que reflejan las copas de las plantas en la explotación; la imagen de abajo a la derecha presenta la respuesta en el infrarrojo cercano de la misma explotación (luz con una longitud de onda ligeramente inferior al umbral mínimo que puede percibir el ojo humano).

Viendo estas tres imágenes parece imposible dar con las relaciones que existen entre los tres conjuntos de datos; sin embargo, el ordenador es capaz de 'percibir' dichas relaciones cuantitativamente. Cada posición relativa en los tres mapas (celda equivalente) tiene un valor en cada una de los mapas. Y cada capa cartográfica (cada mapa) está compuesto de 3.287 celdas que cubren la totalidad de la superficie de la explotación.

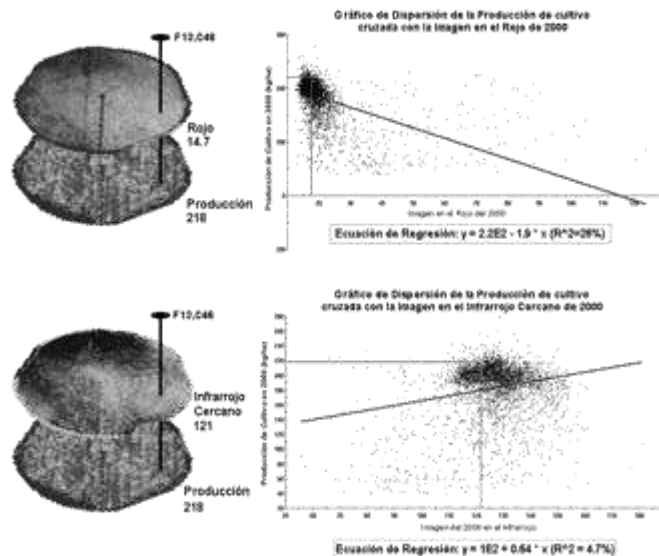


Figura 11. Las condiciones comunes para ambas imágenes de respuesta espectral y el mapa de producción de cultivo son representadas en los gráficos de dispersión de la parte derecha.

Por ejemplo, en la parte de arriba de la Figura 11 vemos que la celda ubicada en la fila 13 y columna 46 tiene una condición 'común' de 14.7 en la imagen del rojo y 218 en los datos de producción de cultivo. Las líneas rojas que aparecen en el gráfico de dispersión inmediatamente a su derecha muestran la posición precisa del par de datos cartográficos $X=14.7$ e $Y=218$. Lo mismo podemos ver en la parte de abajo de la figura pero con los datos del Infrarrojo cercano cruzados con la producción de cultivo.

De hecho, las nubes de puntos azules que vemos en los gráficos de dispersión representan pares de datos para cada una de las 3.287 celdas con las que trabajamos para representar la explotación agrícola analizada. Una cosa más, las líneas azules de los gráficos representan de forma gráfica las ecuaciones de predicción derivadas del análisis de regresión. En realidad, el fundamento matemático detrás de este tipo de análisis es algo más complejo, pero se podría decir que el objeto es conseguir la línea que 'mejor se adapte a los datos', es decir, con el mismo número de puntos por encima que por debajo de la línea.

5.9.2. DESARROLLO DE SOFTWARE PARA LA GENERACIÓN DE ORTOFOTOGRAFIAS DIGITALES

Documento tomado de Cartesia

www.cartesia.org/print.php?sid=90

Fecha 07-02-2003

Tema Fotogrametría



Por Benjamín Arias Pérez, Ingeniero Técnico en Topografía e Ingeniero en Geodesia y Cartografía.
<http://www.inicia.es/de/benjaap>

La Ortofotografía es el producto estrella de la Fotogrametría Digital, con la que se ha revitalizado mucho al desaparecer todo el proceso químico o fotográfico necesario en la Fotogrametría Analógica. Aparece una nueva concepción en este campo de la Fotogrametría, y es el de remuestreo de la imagen como proceso en la confección de la Ortofotografía digital.

1.- Introducción

Para ello se ha diseñado la aplicación específica ORTOFOTO, en el contexto de un Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Técnica en Topografía, realizado en la E.P.S. de Ávila, centro perteneciente a la Universidad de Salamanca.

Por lo tanto, este artículo tratará los siguientes aspectos:

- El proceso general seguido para la generación de ortofotografías digitales
- Una descripción de la aplicación desarrollada a tal efecto, y finalmente,
- Una serie de conclusiones establecidas tras el análisis de los resultados obtenidos.

2.- Proceso general para la generación de Ortofotografías Digitales

El proceso general que conduce a la consecución de una imagen digital de proyección ortogonal es sencillo en su concepción y complejo en su desarrollo. La idea básicamente consiste en realizar el remuestreo de una imagen digital a partir de una intersección del haz perspectivo con un modelo digital del terreno.

Para ello será necesario obtener dicho modelo digital del terreno en el restituidor Digital Video Plotter (DVP), así como datos que permitan realizar la Orientación Interna y la Orientación Externa en la aplicación ORTOFOTO, creada con el objetivo de efectuar el remuestreo de la imagen.

En la figura 1 se ilustra este proceso general de forma esquemática. Los primeros pasos se realizan en el denominado Ordenador A, donde está instalado el restituidor y en ese mismo ordenador se efectúan las operaciones de escaneado y tratamiento de la imagen en sendos programas. En el Ordenador B se desarrolla y ejecuta el programa específico ORTOFOTO.

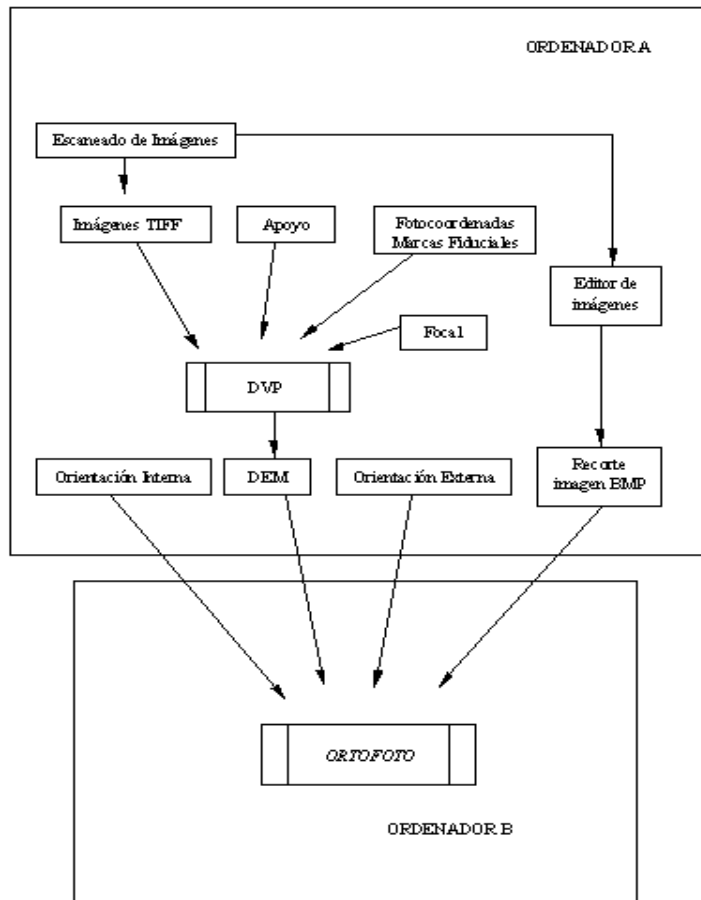


Figura 1.- Proceso general.

3.- Aplicación ORTOFOTO

3.1.- Métodos de remuestreo

Los métodos desarrollados en esta aplicación son para el remuestreo de una sola imagen, y de hecho se trabaja en la aplicación ORTOFOTO con una sola imagen. La idea de remuestreo se puede resumir en la definición de la nueva posición del píxel en la imagen resultante con el mismo nivel de gris o interpolado. Para ello existen distintas técnicas y en este programa se han desarrollado dos. Los pasos generales en ambas son:

1. Recorrido de las Coordenadas Píxel en la Ortofotografía.
2. Cálculo del nivel de gris.

Las técnicas se diferencian en el segundo paso: una consiste en la aplicación de la Condición de Colinealidad para el cálculo de la

Coordenada Píxel en la imagen original, tomar su nivel de gris, interpolar con él y el nivel de gris calculado colocarlo en el píxel correspondiente de la Ortofotografía. El otro método, opera de igual forma, excepto en el cálculo del píxel de la imagen original que aplica una Transformación Afín.

Lo lógico sería operar a la inversa, i.e., recorrer la imagen original píxel a píxel, calcular la Coordenada Píxel en la Ortofotografía y simplemente llevarse el nivel de gris de la imagen original a la Ortofotografía. De actuar así se producirán huecos o celdas sin nivel de gris asignado, y será superior el porcentaje de huecos a mayor dificultad orográfica del terreno, en definitiva, a la inclinación de los planos de los que se compone el Modelo Digital de Elevaciones, que es en realidad lo que representa al terreno. Una solución a este problema sería dotar a la Ortofotografía de una escala menor o igual a la mínima escala calculada por la aplicación ORTOFOTO. Pero esta imposición estaría anulando la posibilidad de obtener una Ortofotografía a una escala mayor. En la figura 2 se pueden observar este efecto. En el programa ORTOFOTO existe la posibilidad de comprobar este fenómeno.

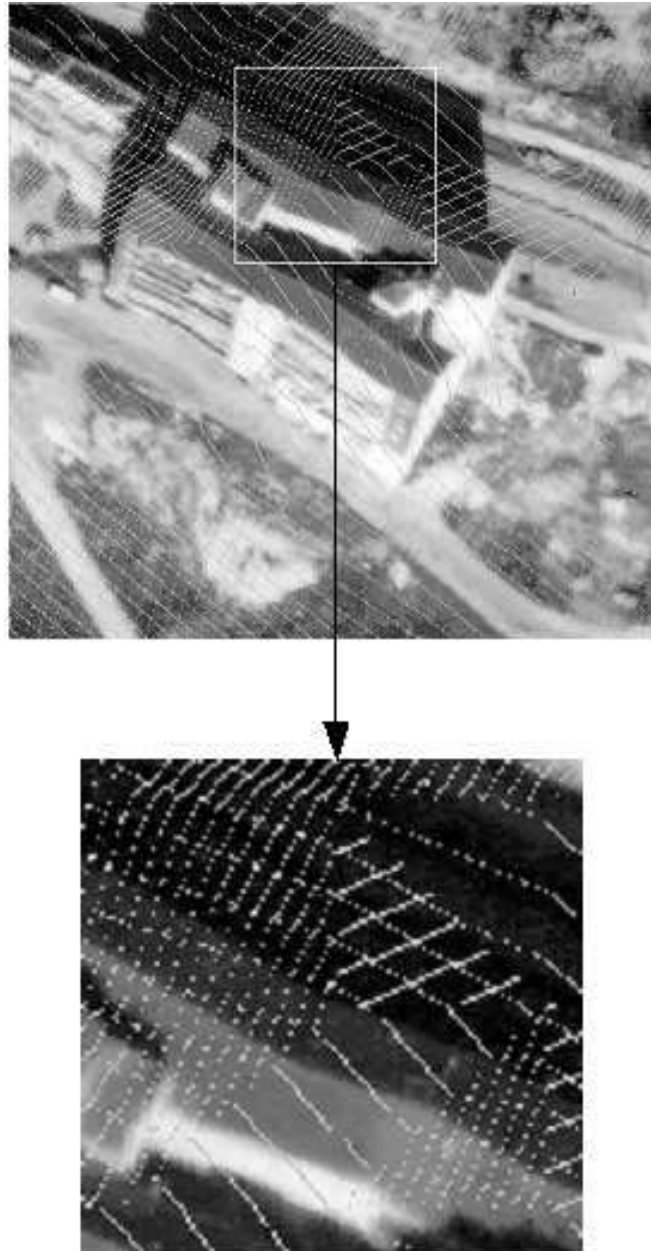


Figura 2.- Efecto producido al aplicar el método inverso.

Antes de ejecutar la aplicación ORTOFOTO hay que tener conocimiento de los elementos que van a hacer falta dentro de la misma para su correcto funcionamiento. Dichos elementos o datos imprescindibles se pueden estructurar en los siguientes apartados: Orientación Interna, Orientación Externa, Imagen Digital, y Modelo Digital del Terreno.

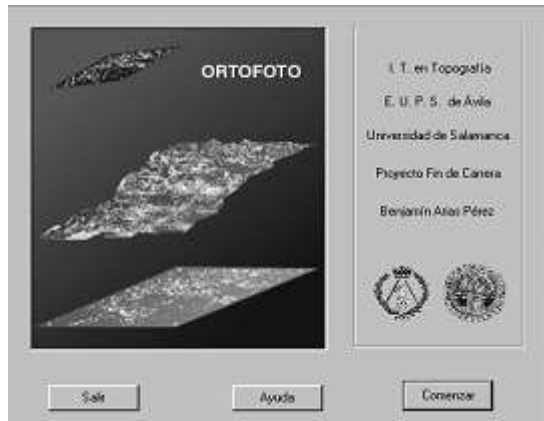


Figura 3.- Ventana inicial de la aplicación ORTOFOTO.

Estos datos se introducen en la ventana de definición de Proyecto, que se puede observar en la figura 4.

Se debe aportar al programa ORTOFOTO información sobre la Orientación Interna, lo cual es posible hacerlo de cualquiera de las siguientes formas: bien por la introducción de los parámetros de la Transformación Afín, ya sean matemáticos o geométricos, o bien proporcionando al ordenador Fotocoordenadas y Coordenadas Píxel de las punterías a las marcas fiduciales para que calcule la Transformación Afín. Se pueden importar los dos juegos de coordenadas a través del archivo resultado de realizar las punterías en el restituidor digital DVP con extensión INT, e indicándole al ordenador dentro de cual de las dos fotografías con las que se trabajó en el restituidor DVP está el recorte considerado, pues este fichero contiene información de las punterías efectuadas en ambas. También hay que proporcionar a la aplicación ORTOFOTO información sobre la Orientación Externa para poder aplicar la Condición de Colinealidad en varias fases del proceso de remuestreo. Al igual que en el caso la Orientación Interna, existen dos formas de hacerlo: mediante la introducción de los parámetros de la Orientación Externa, o bien proporcionando al ordenador Fotocoordenadas y Coordenadas Terreno de al menos 3 puntos para que calcule la Orientación Externa.

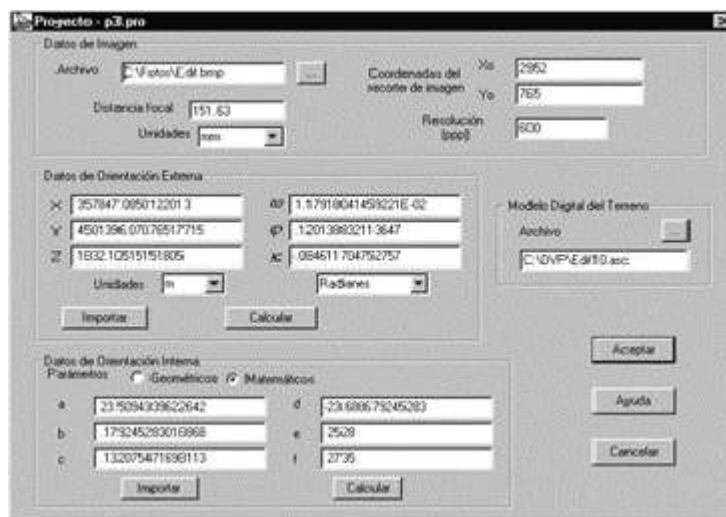


Figura 4.- Ventana de definición de datos.

Los datos necesarios de la imagen son: el archivo de mapa de bits donde se encuentre recorte de la fotografía original, traslación del origen: XO, YO, resolución en píxeles por pulgada, y la distancia focal de la cámara. Hay que informar a la aplicación ORTOFOTO sobre el terreno de la zona sobre la cual se va remuestrear la imagen digital, y se hace por medio del Modelo Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en el restituidor DVP. Para ello se le indica al programa el archivo donde se encuentra el DEM.

3.2.- Método de los puntos de anclaje

Este método consiste en aplicar una Transformación Afín para cada uno de los planos formados por la malla del Modelo Digital de Elevaciones (DEM). Mediante la Condición de Colinealidad se calculan las Coordenadas Píxel de los puntos del DEM y el modelo matemático de la Transformación Afín relacionará directamente las Coordenadas Píxel de la Fotografía Original y de la Ortofotografía. Además, este método trabaja con planos formados por 3 puntos para el recorrido de la Ortofotografía¹. Si se tomaran 4 puntos, y suponiendo que éstos formaran un plano, el modelo matemático a aplicar sería la Transformación Proyectiva.

El proceso de forma sintética consta de los siguientes pasos:

1. Cálculo de las Coordenadas Píxel en la Fotografía Original mediante la Condición de Colinealidad.
2. Se calculan las Transformaciones Afines correspondientes a los planos de los que consta la Zona de Trabajo.

3. Se recorre el plano según las Coordenadas Píxel de la Ortofotografía, y se obtiene el valor de la posición de ese píxel en la Fotografía Original.
4. Se busca el nivel de gris en la matriz de la imagen original, y se coloca, previa interpolación, en el píxel de la Ortofotografía.

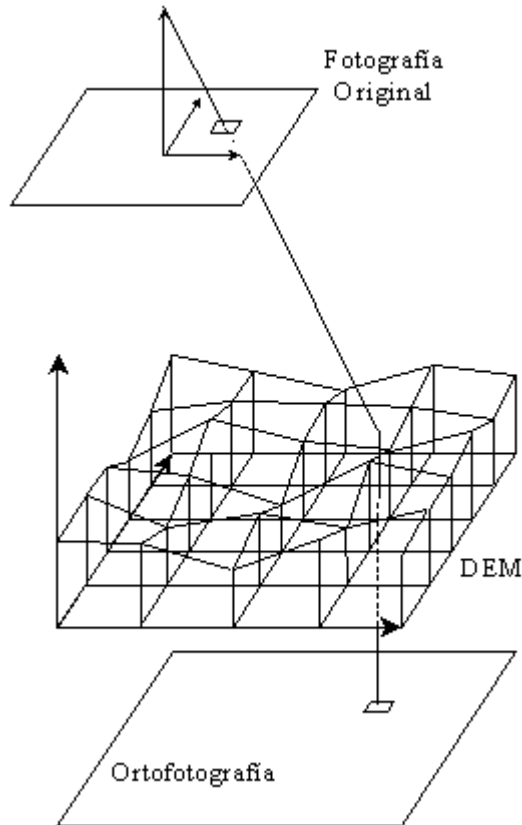


Figura 5.- Los 3 elementos en juego: la fotografía original, el Modelo Digital de Elevaciones y la Ortofotografía.

Se define nodo en este programa como cada uno de los puntos que forman el Modelo Digital de Elevaciones (DEM), y gracias a su identificación se pueden relacionar estos puntos singulares en los tres sistemas en juego: Terreno (DEM), Fotografía Original y Ortofotografía. Y gracias a esta identificación se puede realizar el recorrido de la Ortofotografía. Por lo tanto, la definición e identificación de este elemento (nodo) es esencial dentro de la aplicación desarrollada.

El algoritmo implementado dará instrucciones al ordenador para que en la zona determinada entre puntos de Coordenadas Píxel de la Ortofotografía se recorra píxel a píxel la Ortofotografía, zona a zona.

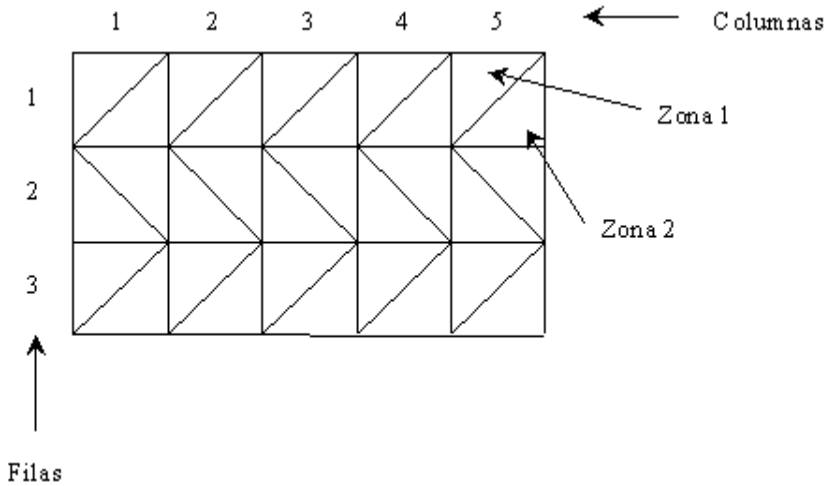


Figura 6.- Distribución de zonas en el Método de los puntos de anclaje.

Entonces, el reconocimiento de las zonas se hace mediante la estructura fila y columna, y la identificación de nodos a través de un número: 1, 2 o 3 según corresponda.

$$\text{Identificación de nodo} = (\text{Zona}, \text{Fila}, \text{Columna}, N)$$

Observando la figura 6 se puede ver la distribución de las filas y de las columnas, y las subzonas que quedan al considerar los planos formados por sólo 3 puntos. La numeración de éstos se corresponde con la que se puede observar en la siguiente figura:

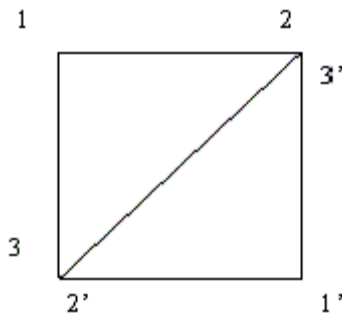


Figura 7.- Puntos en las Zonas 1 y 2.

Luego la identificación de nodos en este método queda especificada en la siguiente expresión: Donde Zona podrá ser 1 o 2, Fila y Columna estarán en función de la configuración de la malla del Modelo Digital de

Elevaciones, y N será 1, 2, o 3 según corresponda. En la figura 7 los puntos 1, 2 y 3 corresponden a la Zona 1, y los puntos 1', 2' y 3' pertenecen a la Zona 2.

3.3.- Método de la Condición de Colinealidad

Este método consiste en la aplicación de la Condición de Colinealidad, tomando para ello la superficie formada por 4 puntos de la malla del Modelo Digital de Elevaciones. Para su aplicación se siguen los siguientes pasos.

- Se recorre la Ortofotografía con las Coordenadas Terreno X e Y. El algoritmo se sitúa en la zona o faceta del Modelo Digital de Elevaciones que le corresponda y se interpola de forma bilineal la cota.
- Conocidas ya las Coordenadas Terreno X, Y, Z del punto considerado, se aplica la Condición de Colinealidad y se obtienen las Fotocoordenadas.
- Se aplica la Transformación Afín de la Orientación Interna para transformar las Fotocoordenadas a Coordenadas Píxel de la imagen original, se toma su nivel de gris y se coloca, previa interpolación, en el píxel de la Ortofotografía.

En este método la Identificación de nodos se simplifica respecto a la del Método de los puntos de anclaje, dado que no hay dos Zonas para cada faceta del Modelo Digital de Elevaciones. La malla está configurada, como puede verse en la figura 8, por Filas y Columnas, cada faceta del Modelo Digital de Elevaciones tendrá la distribución de puntos que indica la figura:

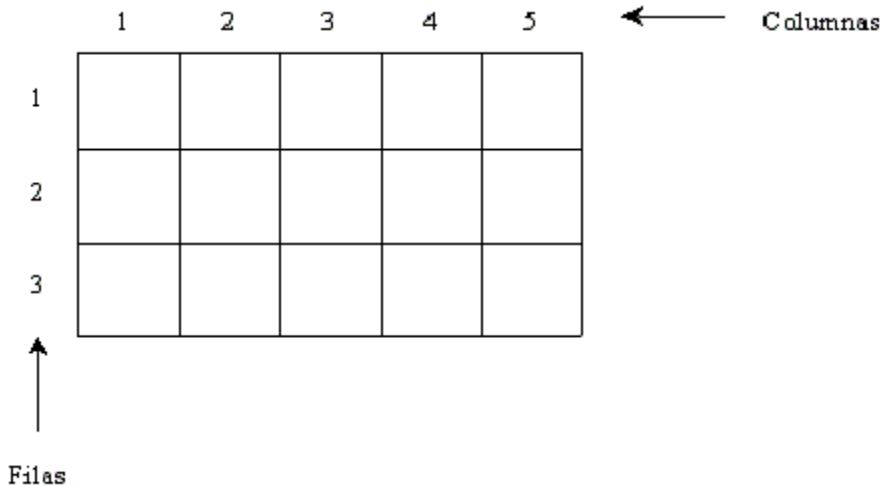


Figura 8.- Malla en el Método de la Condición de Colinealidad.

3.4.- Remuestreo considerando edificios

Es un caso especial y que merece una atención particular en el remuestreo de una imagen digital con el fin de obtener una Ortofotografía digital. Esto es debido a que el polígono que forma el edificio posee distintas cotas para las mismas coordenadas planimétricas. Este hecho es una fuente de error en el remuestreo y existen distintas formas de actuar ante este efecto, tratadas en la aplicación ORTOFOTO bajo el nombre de Procedimientos.

Procedimiento 1

Consiste en cambiar la cota de los puntos de la malla del Modelo Digital de Elevaciones que estén dentro del denominado mínimo rectángulo encuadrante de los puntos que forman el edificio. La nueva cota es la correspondiente al tejado del edificio.

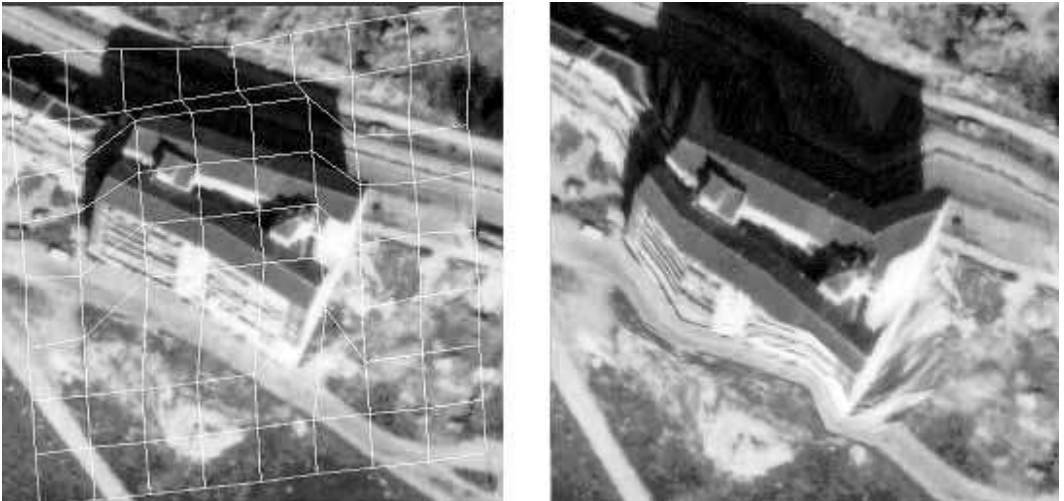


Figura 9.- Imagen original (a la izquierda) con el DEM, modificado según el Procedimiento 1, sobreimpresionado en la imagen. A la derecha se muestra la Ortofotografía resultante.

Procedimiento 2

En este procedimiento se cambian las cotas de los puntos de la malla del Modelo Digital de Elevaciones que estén dentro del edificio. La nueva cota es la correspondiente al tejado del edificio.

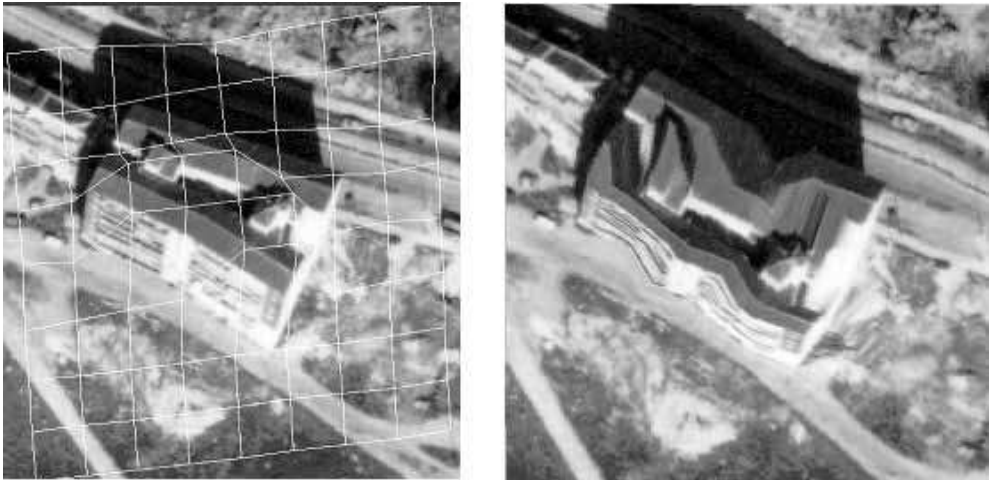


Figura 10.- Imagen original a la izquierda, y Ortofotografía resultante a la derecha según el Procedimiento 3.

Procedimiento 3

Con este procedimiento se cambian las cotas de los puntos que estén dentro del edificio en el algoritmo de remuestreo en el recorrido píxel a píxel de la Ortofotografía. No se modifica el DEM, sino que se actúa en el algoritmo, de tal forma que si un punto pertenece al edificio, la cota empleada en su remuestreo será la del tejado, no la del terreno. Es el procedimiento más riguroso de los 3 utilizados en la aplicación ORTOFOTO.

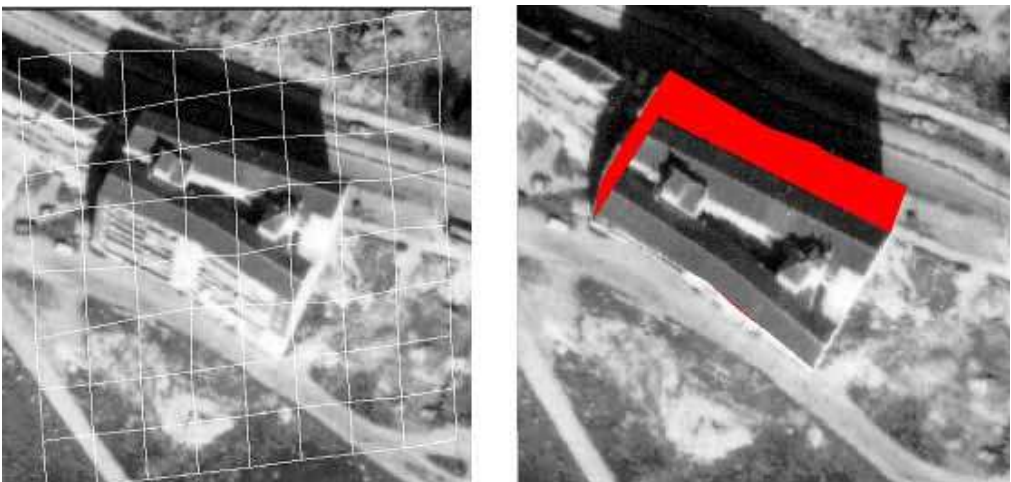


Figura 11.- Imagen original (a la izquierda) e imagen resultante a la derecha. En rojo se muestra el área muerta generada por el mismo edificio.

Las áreas muertas aparecen en la imagen remuestreada de color rojo sólo con este procedimiento. Para ello se calculan las proyecciones de los puntos del tejado, y se configuran polígonos conforme a las caras verticales, i.e., paredes del edificio, y a las caras superior e inferior del edificio. Durante el remuestreo se verifica la pertenencia de los píxeles a dichos polígonos, y en caso de que el píxel pertenezca a alguno de estos polígonos no se asigna nivel de gris y sí se pinta ese píxel de color rojo.

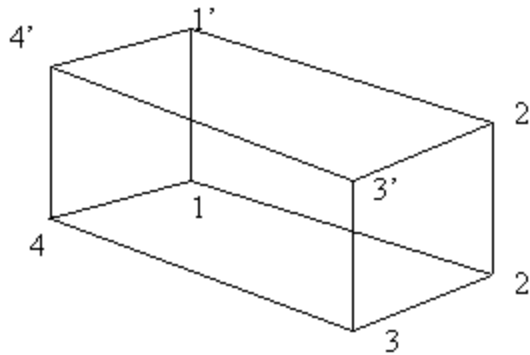


Figura 12.- Definición del área muerta debida al edificio.

La figura 12 muestra el área muerta o la sombra producida por el edificio. Los puntos 1, 2, 3 y 4 son los puntos que definen el edificio en el terreno, y donde en teoría quedará la planta del edificio. Los puntos 1', 2', 3' y 4' son los puntos del edificio en cota, i.e., los puntos del tejado que poseen las mismas coordenadas planimétricas que los puntos 1, 2, 3 y 4 pero distinta cota. Los puntos 1', 2', 3' o 4' resultan de los puntos del tejado según la proyección cónica formada en la toma de la fotografía.

En la figura 13 se muestra un perfil del edificio en el cual se puede observar los distintos efectos de los distintos procedimientos.

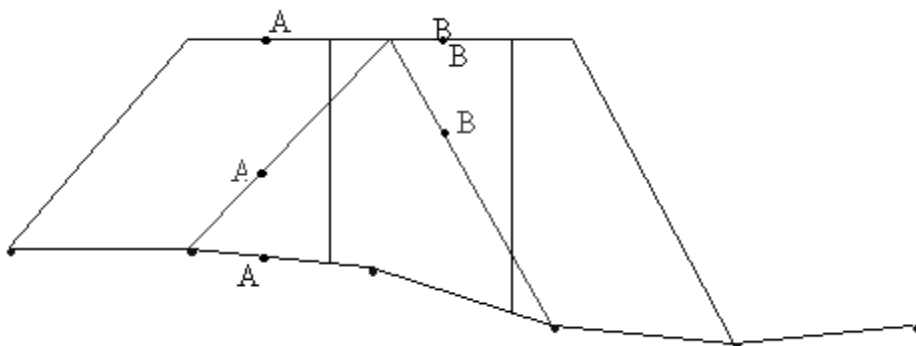


Figura 13.- Comparación de los distintos procedimientos.

Los puntos de color azul corresponden al Modelo Digital de Elevaciones. En el caso del Procedimiento 1 se está considerando el Modelo Digital del Terreno pintado en azul. El Procedimiento 2 condiciona el Modelo Digital del Terreno pintado en rojo. El Procedimiento 3 proporciona el Modelo Digital del Terreno que incluye exactamente al edificio, en color negro. Para estudiar el efecto en el remuestreo de las distintas representaciones del terreno se debe observar un punto dentro y otro fuera del edificio. Con el único procedimiento que mantiene los puntos en su posición real es el n° 3.

El punto A, punto en el Terreno y fuera del polígono que define el edificio, aunque no de su mínimo rectángulo encuadrante, con el Procedimiento 1 se verá afectado en su cota hasta quedar en el punto A, i. e, se le considerará la misma cota que a los puntos que realmente están dentro del edificio. Por lo tanto será errónea su posición en el remuestreo. El mismo punto A, al actuar sobre él el Procedimiento 2 verá modificada su cota hasta el punto A y también será errónea su posición tras el remuestreo.

El punto B con el Procedimiento 1 se remuestreará en su posición real, pero el con el Procedimiento 2 verá modificada su cota real hasta B.

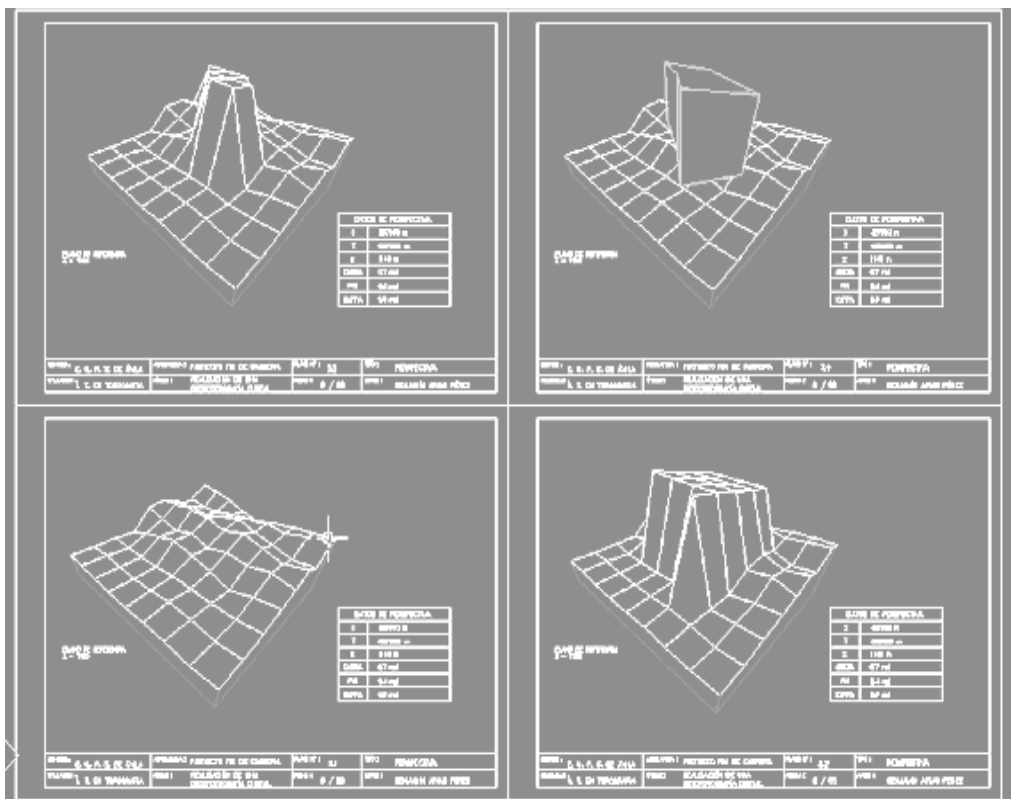


Figura 14.- Modelos digitales de elevación empleados en los distintos Procedimientos. DEM inf. izqda.: terreno sin edificio; DEM inf. dcha.: modificado según Procedimiento 1; DEM sup. izqda.: modificado según Procedimiento 2; DEM sup. dcha.: no modificado, y en color verde se puede observar el edificio, tal y como se utiliza en el Procedimiento 3.

4.- Comparación de resultados

Una vez realizada la aplicación ORTOFOTO, lo más lógico es realizar ortofotografías digitales y comprobar los resultados y errores que se producen a lo largo de todo el proceso. Para ello y en la misma aplicación se realizan punterías a puntos de coordenadas conocidas mediante el restituidor DVP y se calculan las discrepancias entre las punterías y las coordenadas terreno conocidas.

El proyecto estudia 3 zonas distintas:

- Zona 1: Terreno llano.
- Zona 2: Terreno con alguna dificultad orográfica.
- Zona 3: Terreno que incluye un edificio aislado. Se aplican los distintos Procedimientos ya explicados.

Además hemos de tener en cuenta los distintos tipos de interpolación, ya que en la aplicación ORTOFOTO se puede elegir para realizar el remuestreo los siguientes tipos de interpolación: vecino más próximo, interpolación bilineal y convolución cúbica. Realizados los distintos remuestreos cabe ahora destacar los aspectos más interesantes acerca de las precisiones obtenidas:

- La precisión obtenida será menor que la tolerancia máxima que proporciona el restituidor DVP. Sin embargo, se consiguen precisiones no mucho menores.
- La precisión no varía mucho utilizando un método u otro, por lo que cabe concluir que el mejor de ambos será el denominado Método de los puntos de anclaje, ya que precisa de menor cantidad de tiempo para su aplicación.
- Se podría decir lo mismo de los métodos de interpolación, y aún existe mayor diferencia de tiempo entre el método del Vecino Más Próximo y los otros dos. Si bien hay que añadir sí existe diferencia en el aspecto visual de la Ortofotografía.
- Por último comentar los Procedimientos en caso de que en la zona exista edificio. Existe una gran diferencia entre el Procedimiento 3 y los otros dos restantes. Sin embargo, y debido a que el remuestreo se realiza con una sola imagen, y al tratarse la

Fotografía Original de una proyección cónica, aparecen las llamadas áreas muertas.

La aplicación ORTOFOTO se completa con los siguientes elementos:

- Un sistema de ayuda integrado en la misma aplicación. Si el usuario, en tiempo de ejecución, pulsa la tecla F1, se visualizará una ventana con el tema en cuestión. Esta ayuda posee una dualidad teórico-práctica, por lo que se trata de un complemento teórico de los fundamentos fotogramétricos empleados en la aplicación, así como de una asistencia en caso de duda en la funcionalidad misma de la aplicación.
- Se trata también de un visualizador de imágenes, se puede realizar un zoom de las imágenes, visualizar la implantación de la malla del MDT en las fotografías originales y finales, etc...
- Se puede realizar una transformación afín o bien una transformación proyectiva a una fachada, a modo de rectificación.
- Se pueden generar perspectivas a partir de los modelos digitales de elevación, y éstas se pueden exportar por medio de archivos DXF.

Por último, y a modo de conclusión, creo que es muy instructiva la experiencia de diseñar un programa específico por distintos motivos:

- Análisis exhaustivo de la problemática: el estudio de un determinado problema obliga a la discusión de todos y cada uno de los posibles casos que se puedan presentar ante la resolución de un determinado problema. Por lo tanto, se persigue un objetivo didáctico.
- Utilización de nuevos medios: éstos pueden ser los instrumentos topográficos, los mismos métodos operativos, o la generación de software. La gran rapidez de cálculo y las infinitas posibilidades que ofrece el uso de ordenadores hoy día hace de ellos una herramienta medio de trabajo indispensable. Para desarrollar software en su completitud/complejidad no basta tan sólo con "saber programar" (frase un tanto condescendiente), y tampoco basta con saber/comprender los contenidos teóricos/prácticos a aplicar, sino más bien se trata de una mezcla de ambas técnicas.
- No obstante, es complejo describir algo antes de ser realizado a no ser que se cuente a priori con la experiencia y soltura práctica necesaria, en las dos vertientes, tanto teórica/fotogramétrica como práctica/algorítmica.

5.- Bibliografía

- ARIAS PÉREZ, B.**, Realización de una Ortofotografía Digital, Proyecto Fin de Carrera de I.T. en Topografía, E.P.S. de Ávila, 1999, Ávila.
- ARIAS PÉREZ, B.**, Desarrollo de Software para Fotogrametría Digital, Proyecto Fin de Carrera de I. en Geodesia y Cartografía, E.P.S. de Ávila, 2002, Ávila.
- ARIAS PÉREZ, B.**, La Programación Orientada a Objetos en Fotogrametría, Revista Datum XXI, 2002, Madrid.
- BOSQUE SENDRA, J.**, Sistemas de Información Geográfica, Ediciones Rialp, S. A., 1992, Madrid.
- CHUVIECO, E.**: Fundamentos de teledetección espacial, Rialp, 1996, Madrid.
- KRAUS, K.**: Photogrammetry, Ferd. Dümmlers Verlag. Bonn.
Volumen I: Fundamentals an Standard Processes, 4ª ed., 1993.
Volumen II: Advanced Methods and Applications, 4ª ed., 1997.
- PINILLA, C.**: Elementos de Teledetección, Ed. Rama, 1995, Madrid.
- WOLF, P. R.**: Elements of Photogrammetry, with air photo interpretation and remote sensing, 2ª ed., McGraw-Hill, 1983, New York.

5.9.3. INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE FOTOGRAMETRÍA DE OBJETO CERCANO POR AJUSTE DE HACES DE ROLLEI FOTOTECHNIC CDW

Documento tomado de Grafinta

www.grafinta.com/frames/Intro_rollei.htm

RolleiMetric CDW, integra lo último en cámaras y tecnología CAD en un versátil sistema de medición tridimensional, non-contact. ¿Cómo generar medidas tridimensionales, de un objeto o estructura, desde una secuencia de fotografías "métricas"? Muy sencillo...



PROCESO DE CAPTURA DE DATOS:

Se toma una secuencia de fotografías con una o más cámaras RolleiMetric, asegurándonos que el objeto queda capturado en al menos tres fotografías, desde puntos de vista convergentes. Las cámaras RolleiMetric analógicas, tienen como particularidad, que las lentes están calibradas y van provistas de una placa de cristal reticulada, también calibrada. La malla queda sobreimpuesta en el negativo. Rollei completa su oferta con cámaras métricas digitales.

En el momento de realizar la fotografía tendremos en mente la siguiente regla "*si puedes verlo en la foto, puedes medirlo y dibujarlo*". Con una cinta métrica mediremos la distancia entre dos puntos, para introducir la escala. Esto completa el trabajo de campo.

PROCESO DE ORIENTACIÓN:

Una vez reveladas las fotografías las escanearmos o volcaremos al PC si se trata de una cámara digital. En cada fotografía digitalizaremos siete o más puntos del objeto, comunes a tres o más fotografías. Dos de estos puntos deben definir una distancia que nos servirá de escala. La posición aproximada de las cámaras en el momento en que se tomaron las fotografías se introduce a través de un croquis, vía digitalizador. El sistema admite hasta un 30% de error. El software CDW calcula la posición exacta de las dos cámaras para cada fotografía y las coordenadas 3D de puntos previamente indentificados. Esto completa la orientación.

PROCESO DE EVALUACIÓN:

Las coordenadas de los puntos se calculan por identificación de los mismos puntos en tres o mas fotografías. Las entidades gráficas se almacenarán en un fichero ASCII compatible con los populares sistemas

Cad. RolleiMetric CDW es capaz de proporcionar medidas de alta precisión y fiabilidad gracias a la utilización de un programa de ajuste de haces. Las fotografías forman un registro permanente del objeto o estructura desde las cuales, en cualquier momento se pueden realizar medidas adicionales. Las medidas realizadas por Topografía clásica o a mano, pueden ser fácilmente integradas con las medidas Fotogramétricas

ROLEIMETRIC CDW APLICACIONES EN FOTOGRAMETRÍA A CORTA DISTANCIA

El sistema RolleiMetric CDW, puede ser empleado para registrar o medir cualquier escena, objeto o estructura.

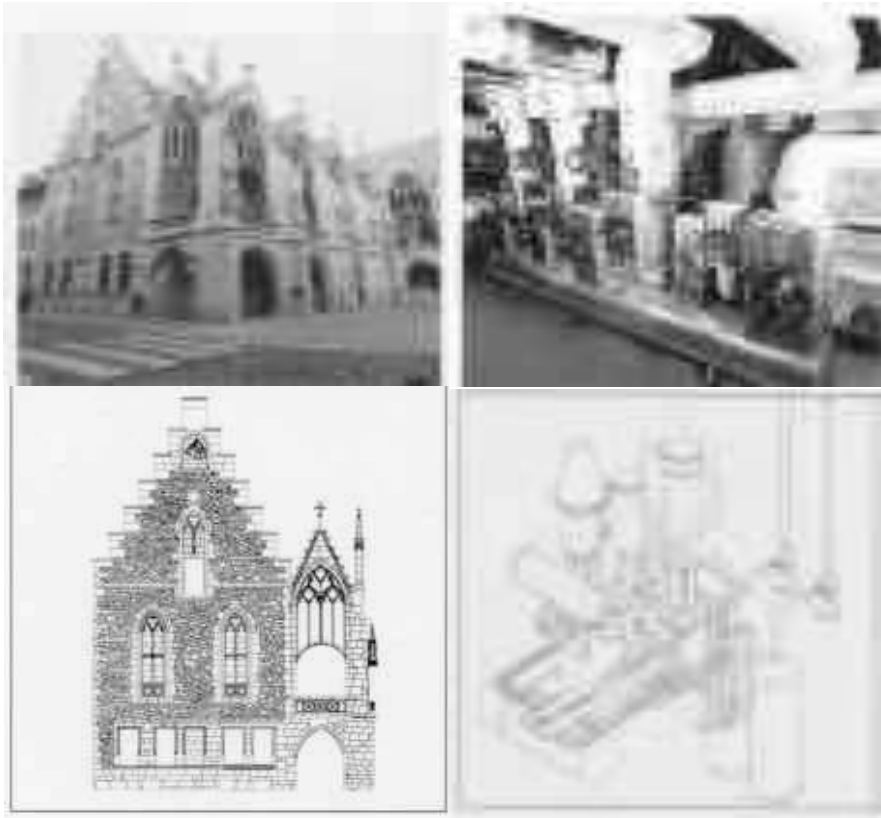
POLICÍA Y CIENCIAS FORENSES:

- ✓ Registro completo, métrico y evidente de accidentes de coche, aéreos o de tren, para documentación y análisis forenses.

- ✓ Registro completo y métrico, non-contact, de escenas criminales para técnicas de investigación, como análisis de patrones de manchas de sangre.



- ✓ Evidencias métricas, como altura de criminales reconstruidas a partir de registros por sistemas de seguridad, trayectorias de proyectiles y orígenes de explosiones, han sido aceptadas por la ley desde hace años.



ARQUITECTURA:

- ✓ El registro de edificios históricos y monumentos, genera documentación Fotogramétrica de las condiciones tal y como se encontraron.
- ✓ Dibujos detalladamente medidos pueden ser creados antes de la restauración o renovación.
- ✓ La habilidad para trabajar en áreas confinadas y generar medidas de detalles de difícil captura, hace a RolleiMetric único en le campo de la Fotogrametría a Corta Distancia.

INGENIERÍA:

- ✓ Mediciones, generación de modelos tridimensionales y posterior producción de dibujos de componentes y estructuras tales como tuberías, puentes, túneles, torres de líneas de alta tensión, plataformas petrolíferas etc..., antes de su reconstrucción o rehabilitación.

- ✓ Medidas de vectores desplazamiento en el tiempo, o eventuales, tales como test pre y post accidentes en la industria del automóvil. Precisa localización de instrumentación, calibración de deformaciones y verificación de lechos.
- ✓ Medidas precisas de puntos de contacto de piezas de enlace, como ensamblaje de secciones en construcción naval y aeronáutica.
- ✓ Modelos de deformación en recipientes a presión y vasos comunicantes. También en áreas de singulares dimensiones como secciones de carreteras, terremotos. En apilamientos como graveras, residuos mineros etc... para cálculos volumétricos.
- ✓ Mediciones no-contact en áreas de difícil o arriesgada permanencia; plantas nucleares, zonas pantanosas, túneles o minas subterráneas.
- ✓ Documentación de estructuras deformadas o deterioradas para análisis forense o mantenimiento preventivo.

ARQUEOLOGÍA:

- ✓ Registro no-contact de objetos frágiles o lugares como petroglifos, pictogramas y otros yacimientos.
- ✓ Rápido registro de excavaciones de uno o múltiples niveles en distintos estratos. El tiempo de medición y dibujo es eliminado. Mediciones, dibujos tridimensionales, modelos informáticos y detalles, pueden ser generados en fechas posteriores sin retraso en la actividad de la excavación.
- ✓ Reducción, dramática, del tiempo empleado en el registro de lugares arqueológicos sumergidos.



ROLLEIMETRIC. LA OPCIÓN INTELIGENTE CUANDO.

- Los dibujos y medidas requieren precisión milimétrica.
- El proyecto nos lleva a zonas de condiciones ambientales singulares; calores extremados, fríos polares o inmersiones bajo el agua.
- Si nos interesa minimizar costes del proyecto, reduciendo tiempos de permanencia en la zona de trabajo.
- La zona de trabajo, por su construcción y difícil acceso, exige que las cámaras puedan ocupar posiciones flexibles y múltiples combinaciones cámara-lente.
- Existe la necesidad de empleo de helicópteros, zepelines o trípodes de gran altitud.
- Las difíciles situaciones exijan operaciones dirigidas con control remoto.
- Se precise un registro de medida continuo.

5.10. EJERCICIOS Y PROBLEMAS

FALSO O VERDADERO

Item

F V

- 5.10.1. La fotogrametría digital se define como: la tecnología aplicada basada en la medición sobre imágenes digitales, en dos dimensiones, permite obtener información geométrica, semántica o radiométrica del terreno.
- 5.10.2. La fotogrametría analítica no permite resultados de gran precisión, solo analiza detalles cualitativos de los elementos del terreno.
- 5.10.3. La teledetección es una práctica que permite la identificación, clasificación y estudio del terreno a partir del análisis de imágenes digitales obtenidas por sensores terrestres.
- 5.10.4. El manejo de imágenes digitales recoge el conjunto de técnicas que permiten el procesamiento de datos digitales, su interpretación y análisis.
- 5.10.5. Los sistemas de información geográfica solo operan desde fuentes que generan ortoimágenes.
- 5.10.6. Una de las ventajas de la fotogrametría digital es que es una técnica muy reciente e inmadura lo que permite su desarrollo.
- 5.10.7. Una de las desventajas de la fotogrametría digital es que ésta permite el tratamiento de las imágenes (variaciones en brillo y contraste), lo que conlleva la presentación de falsos resultados.
- 5.10.8. La fotogrametría digital genera planos topográficos sin pérdida de detalles y gran precisión.
- 5.10.9. La polarización con gafas activas se da cuando las imágenes son mostradas en la pantalla de forma alternativa y un modulador de cristal proporciona polarización variable de imágenes para cada ojo.
- 5.10.10. La adquisición de imágenes digitales en forma indirecta está dada por la digitalización de imágenes utilizando escáneres fotogramétricos.
- 5.10.11. Los sensores tipo SOLRA STATE son una combinación de parte óptica semejante a la de los sistemas fotográficos y un sistema de detección electrónica.
- 5.10.12. La calibración correcta de una fotografía patronada depende de: calidad de la lente, el desplazamiento de la imagen, el desplazamiento angular, la definición de la película y la

calidad de la película emulsionada.

- 5.10.13.** Según la fuente de emisión energética los sensores se clasifican en: analógicos y digitales.
- 5.10.14.** Respuesta espectral: es la denominación de la señal de salida para un flujo de una determinada longitud de onda.
- 5.10.15.** La respuesta espectral depende de la estructura del fotoelemento y del tipo de ruido.
- 5.10.16.** El ruido se clarifica en: ruido fotónico y ruido del circuito.
- 5.10.17.** Los sistemas SIG VECTORIALES, para la descripción de objetos geográficos utilizan vectores definidos con pares de coordenadas relativas a algún sistema cartográfico.
- 5.10.18.** Los SIG RASTER basan su funcionalidad en la concepción implícita de las relaciones de vecindad entre objetos geográficos.
- 5.10.19.** Los sistemas SIG ORIENTADOS A OBJETOS estructuran su información mediante capas, orientadas que luego transfieren a los elementos geográficos vecinos.

DEFINICIONES

- 5.10.20.** La fotogrametría digital se relaciona con las siguientes disciplinas y áreas del conocimiento:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

- 5.10.21.** Se define Sistema Fotogramétrico Digital (S.F.D.):

- 5.10.22.** Son elementos de una estación fotogramétrica digital (E.F.D.)

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____

5.10.23. Los sistemas de visión estereoscópica más ampliados son:

1. _____
2. _____
3. _____

5.10.24. Son funciones de un Sistema Fotogramétrico Digital (S.F.D.)

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____
11. _____
12. _____
13. _____
14. _____
15. _____
16. _____
17. _____
18. _____

5.10.25. La secuencia de un flujo de trabajo de un Sistema Fotogramétrico Digital (S.F.D.) es:

5.10.26. Las Estaciones Fotogramétricas Digitales (E.F.D.) se clasifican en:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

5.10.27. Los siguientes son tipos de resoluciones de las cámaras métricas analógicas:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

5.10.28. Son sistemas espaciales de captación de imágenes estereoscópicas:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____

5.10.29. Una cámara CCD esta compuesta por los siguientes elementos:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____

5.10.30. Los elementos componentes de un Escáner son:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

5.10.31. Los tipos de escáneres son:

1. _____
2. _____
3. _____

5.10.32. Son modelos de datos y tipos de SIG:

1. _____
2. _____
3. _____

ESCOGENCIA MÚLTIPLE:

5.10.33. La resolución espectral:

- a. Es la mínima medida que se puede distinguir o apreciar sobre la imagen.
- b. Es la periodicidad aunque se registran las imágenes.
- c. Marca el número y el ancho de las bandas espectrales que distingue un sensor.
- d. Es el sensor de menor resolución espectral de un sistema fotográfico.

5.10.34. Resolución temporal:

- a. Es la periodicidad con que se registran las imágenes.
- b. Es la medida con que distingue o aprecia la imagen.
- c. Cuantifica el número y ancho de las bandas espectrales.

- d. Marca la sensibilidad del sensor y para descretizar las diferentes radiaciones.

5.10.35. Según el número de bandas los sensores se clasifican en:

- a. Analógicas y digitales.
- b. Monoespectrales y multiespectrales.
- c. Activos y pasivos.
- d. Matriciales y lineales.

5.10.36. Según la dimensión del área sensible, los sensores se clasifican en:

- a. Activos y Pasivos.
- b. Analógicas y Digitales.
- c. Monoespecrales y Multiespectrales.
- d. Matriciales y lineales.

5.10.37. Se define como señales falsas:

- a. Aquellas producidas por el rebosamiento a detectores vecinos al presentarse exceso de carga.
- b. Aquellas ocasionadas por la carga remanente tomada por los detectores.
- c. Aquella generada por efectos sistemáticos relacionados con deficiencias de fabricación del sensor.
- d. Aquellas generadas por defectos del material componente del sensor.

5.10.38. Ruido fotómico es:

- a. Aquel que se produce en la incertidumbre de inicialización del contador del amplificador que aumenta el voltaje de cada elemento en la señal de salida.
- b. Aquel que dado por la relación entre el pico de la señal y el nivel de ruido del sistema.
- c. Denominación que se da a la señal de salida para un flujo de entrada de una determinada diferencia de longitud de onda.
- d. Es aquel producido en la integración de la carga y su transferencia.

5.10.39. Son Sistemas Espaciales de Capitación de imágenes:

- a. ASTER, GEMINI, DISCOVERY, SPOT.
- b. MOS, CB ERS, MOMS, IRS.
- c. TIROS, LANDSAT, SPOT, NIKOS.
- d. IKONOS, ASTER, ERS, NOAA.

5.10.40. Son componentes electrónicos de un escáner:

- a. Controlador, convertidor, alternador, dispositivo de memoria.
- b. Convertidor, dispositivo de memoria, interfase de entrada.
- c. Controlador, convertidor, dispositivo de memoria interfase de salida.
- d. Controlador, interfase de salida, regulador, dispositivo de memoria.

5.10.41. Se denominan sensores simples:

- a. Son aquellas que funcionan por medio del barrido por bandas paralelas de la fotografía.
- b. Son aquellas que funcionan por medio de barrido por bandas continuas de la fotografía.
- c. Aquellas que digitalizan zonas de la fotografía que luego una numéricamente.
- d. Aquellas que realizan las su función mediante un barrido en línea, utilizando un procedimiento de rotación.

6. PLANEACIÓN DE UN PROYECTO DE VUELO AEROFOTOGRAMÉTRICO.

6.1. FASES: Un proyecto de vuelo requiere de tres fases interrelacionadas:

6.1.1. DEFINICIÓN de un plan de vuelo a seguir, al momento de la toma de fotografías de un proyecto.

6.1.2. PLANEACIÓN de los controles terrestres y los chequeos de campo para satisfacer los requerimientos del proyecto.

6.1.3. VALORACIÓN de los costos del proyecto.

6.2. ELEMENTOS: El diseño y cálculo de un proyecto de vuelo requiere la determinación de los siguientes elementos:

6.2.1. ÁREA DEL TERRENO definido como de forma rectangular y de dimensiones: largo (P) y ancho (Q).

6.2.2. ALTURA ABSOLUTA DE VUELO (H).

6.2.3. ALTURA DE VUELO RELATIVA AL TERRENO (Z).

6.2.4. BASE AÉREA (B).

6.2.5. INTERVALO ENTRE EXPOSICIONES (t).

6.2.6. SEPARACIÓN ENTRE LAS LÍNEAS DE VUELO (A).

6.2.7. NÚMERO DE LÍNEAS DE VUELO (n').

6.2.8. RELACIÓN B / Z .

6.2.9. CORRIMIENTO DE LA IMAGEN (e).

6.2.10. TIEMPO NETO DE VUELO (T ').

6.2.11. NÚMERO DE FOTOS POR LÍNEA (n) .

6.2.12. NÚMERO NETO DE FOTOS DEL PROYECTO DE VUELO (N).

6.3. FACTORES QUE AFECTAN EL PROYECTO DE VUELO.

6.3.1. LA FOTOGRAFÍA: La determinación de la finalidad del proyecto de vuelo es básica para definir los parámetros que lo gobiernan.

Si el proyecto requiere de Aerotriangulación, las especificaciones de los mapas topográficos son las prevalentes. La optimización de la exactitud de la triangulación conlleva que el recubrimiento tanto longitudinal como lateral sea de un 60%.

Cuando los requerimientos son los de la definición de mosaicos aéreos, si el terreno es plano el recubrimiento longitudinal debe estar en un 60% entre un 15% a 30% de recubrimiento lateral, pero si el terreno es con relieve deben aumentarse los valores del recubrimiento tanto longitudinal como lateralmente. Debe procurarse mantener al mínimo el desplazamiento debido al relieve y la toma de fotografías debe hacerse a la máxima altura posible. Véase figura 6.1.

En terrenos planos deben emplearse cámaras supergranangulares ($f = 88$ mm.), en zonas selváticas deben emplearse cámaras normales ($f = 210$ mm.) para una mejor visualización del terreno, en caso de requerir elaboración de planos topográficos se aconsejan cámaras granangulares ($f = 152$ mm) que aumentan la exactitud vertical.

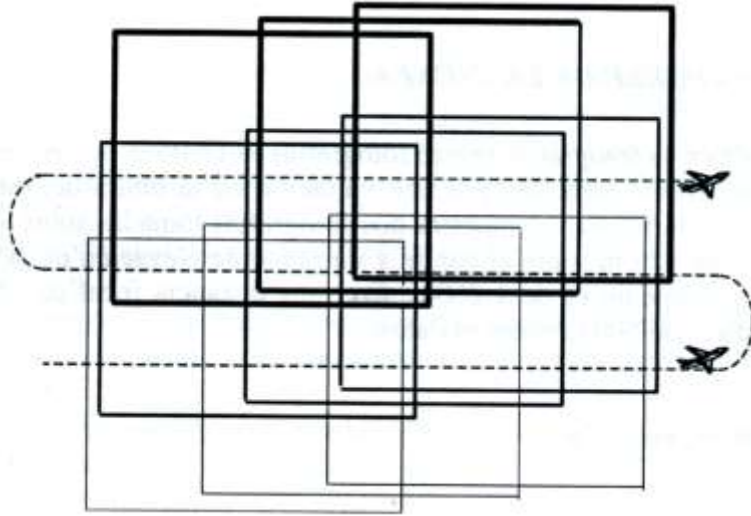


FIGURA 6.1. RECUBRIMIENTO LONGITUDINAL.

6.3.2. LA ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA: En proyectos donde se requiere la restitución de planos topográficos, la escala depende del tipo de restituidor empleado, aunque se emplea normalmente un factor de ampliación de 4.0 entre la fotografía y el mapa.

En el país, mapas a escala 1: 10.000 se restituyen a partir de fotografías a escala fotográfica promedio de 1: 30.000, planos o mapas a escala 1: 25.000 se restituyen a partir de fotografías con escala fotográfica promedio de 1: 50.000 / 1: 40.000.

6.3.3. VARIACIÓN ESCALAR PERMISIBLE: La variación permisible en la escala de la fotografía o entre fotografías esta dada por la variaciones en la cota del terreno, la variación de la altura de vuelo relativa al terreno o un efecto combinado.

A medida que aumenta la cota del terreno, el ancho del terreno cubierto por la fotografía se angosta.

Cuando las fotografías se toman con intervalos de tiempo constantes entre exposiciones, el recubrimiento longitudinal entre fotografías consecutivas disminuye. Véase figura 6.2.

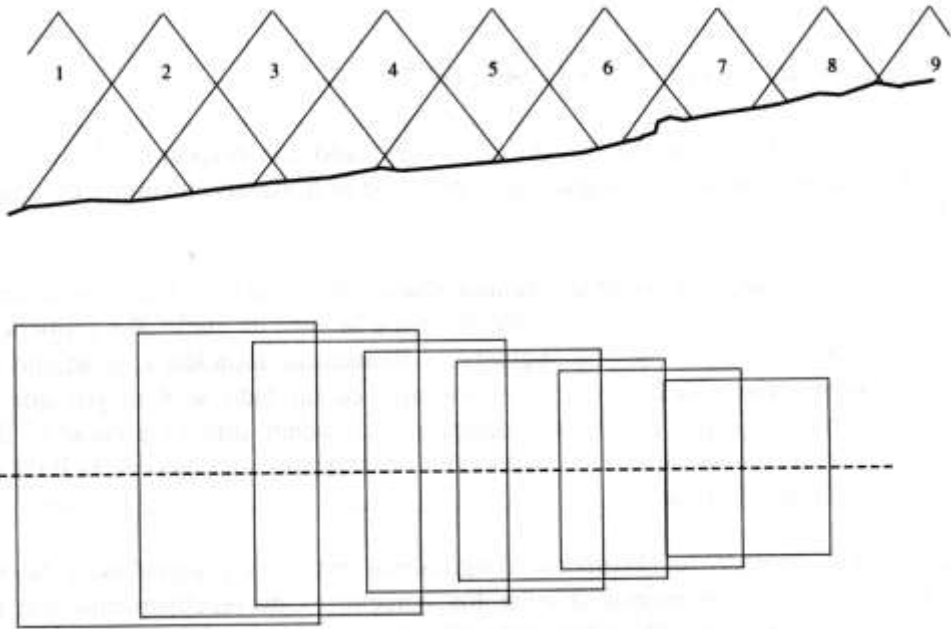


FIGURA 6.2. VARIACIÓN DE LA ESCALA EN FUNCIÓN DE LA VARIACIÓN DE COTAS.

6.3.4. DESPLAZAMIENTO DEBIDO AL RELIEVE: Al aumentar la altura de vuelo relativa al terreno el desplazamiento debido al relieve disminuye. El requerimiento de mantener una determinada escala y por condiciones de terreno deber aumentar la altura de vuelo relativa al terreno, obliga al aumento de la distancia focal.

6.3.5. DERIVA HORIZONTAL (DRIFT) Y DERIVA ANGULAR (CRAB): La deriva horizontal (drift) es la que presenta el avión al desviarse de la línea de vuelo predeterminedada. Es uno de los factores que más afecta al momento del rechazo de vuelos, siendo posible que se presenten vacíos o zonas no fotografiadas entre líneas de vuelo adyacentes.

La deriva angular (crac), está dada por el ángulo formado entre la línea de vuelo y los bordes de la fotografía en la dirección del vuelo. Se presenta por no tener alineado el plano focal de la cámara con la dirección de la línea de vuelo al momento de la toma de la fotografía. Normalmente la cámara puede corregir la desviación angular haciendo ajustes de rotación de esta en el eje vertical. El efecto producido por la deriva angular es el de reducimiento del ancho efectivo del cubrimiento de la fotografía. Véase figura 6.3.

6.3.6. INCLINACIÓN DE LA FOTOGRAFÍA (TILT): Se denomina también ángulo de inclinación (t) y esta formado por la desviación en función del eje x o del eje y con relación a la dirección nadiral. Determinándose: inclinación $y =$ ángulo Φ , inclinación $x =$ ángulo ω . La inclinación en y genera que el traslape en un lado es mayor de lo esperado y lo contrario para el lado opuesto. La inclinación en x causa incremento del traslape a un lado de la línea de vuelo y decremento al lado contrario. Para garantizar un adecuado recubrimiento longitudinal entre fotografías y lateral entre fajas vecinas se debe controlar que el ángulo de inclinación sea de máximo 3° para el eje óptico de la cámara.

6.3.7 ALTURA DE VUELO RELATIVA AL TERRENO: Es factor determinante de la escala de la fotografía y del intervalo de curvas de nivel. El costo de un vuelo aumenta con la altura a la que se realicen las tomas. Al doblar la altura de vuelo se incrementa en cuatro, veces el cubrimiento terrestre en cada fotografía, reduciendo la cantidad de puntos de control en el terreno.

Debido a la estrecha relación entre las curvas de nivel la altura de vuelo y la precisión vertical de mapas topográficos se determina un FACTOR C de los equipos fotogramétricos mediante la ecuación:

FACTOR $C = (\text{ALTURA DE VUELO} / \text{INTERVALO DE CURVAS})$

ALTURA DE VUELO = INTERVALO DE CURVAS \times FACTOR C .

El Factor C es asignado a un sistema fotogramétrico solo después de considerar un número suficiente de mapas que garanticen la exactitud vertical obtenida. Normalmente se toman factores c entre 750 y 2500. No obstante el factor C no es muy aplicado y la determinación de la altura de vuelo se hace a partir de la predeterminación de la escala requerida y la distancia focal de la cámara a utilizar.

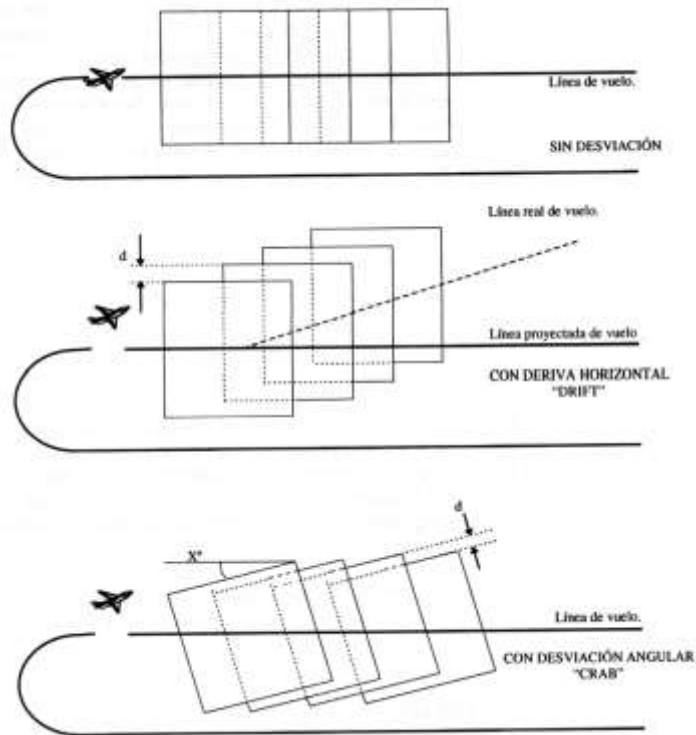


FIGURA 6.3. DERIVA HORIZONTAL (DRIFT) Y DERIVA ANGULAR (CRAB).

6.3.8. DIRECCIÓN DE LA LÍNEA DE VUELO: Se fija en función de la configuración del terreno, siguiendo el rumbo de la mayor dimensión de este. Favorece en la práctica, que haya el mínimo de variaciones en la cota en la dirección de vuelo.

6.3.9. LA RELACIÓN B / Z: Esta relación es importante en función de la precisión vertical, su aumento incrementa el valor de la paralaje y por ende la precisión. No obstante al aumentar la base aérea disminuye el recubrimiento longitudinal. Para cámaras normales la relación B / Z debe ser de 0.61, para cámaras supergranangulares con ángulo de proyección de 90° la relación B / Z debe ser de 0.80 y cámaras supergranangulares con ángulo de proyección de 120° la relación B / Z debe ser de 1.4.

6.3.10. EL TIEMPO: Las condiciones climáticas son factores también a tener en cuenta: los días deben ser claros y con atmósfera libre de nubes, humo o calina además de momentos de poco viento.

6.3.11. LA HORA DE VUELO: La altura del sol al momento de la toma de fotografía favorece los contrastes luz y sombra permitiendo mejores fotografías para manejo de fotointerpretación, por lo cual se trata de realizar vuelos hacia las nueve de la mañana o hacia las tres de la tarde. Debe evitarse la presencia de grandes sombras pues estas oscurecen la fotografía y desmejoran el contraste y la perspectiva.

6.3.12. EL AVIÓN: Se emplean aviones comerciales o militares debidamente acondicionados con suficiente espacio para acomodar las robustas cámaras fotográficas utilizadas. Son muy utilizados aviones tipo Cessna 180, Aerocomander 680F o Beechcraft T – 11. Los aviones pequeños son más económicos, dejando el uso del tipo jet para vuelos de reconocimiento o para situaciones en que se requiera volar a gran altura. Son consideraciones generales las de: capacidad de altura, operación económica, velocidad apropiada, autonomía de vuelo, estabilidad en el momento de la operación de toma de fotografías.

6.4. CONTROL FOTOGRÁFICO:

6.4.1. FOTOIDENTIFICACIÓN: Es el proceso mediante el cual se definen puntos del terreno que aparecen nítidamente en las fotografías y a los cuales se les determina las coordenadas terrestres. En ocasiones se emplean señales artificiales colocadas antes de la ejecución del vuelo, lo que obvia la fotoidentificación, por que las señales aparecerán en alguna parte del barrido fotográfico.

Con frecuencia los puntos escogidos, corresponden a detalles naturales del terreno como: cruces de caminos o vías, esquinas de construcciones, etc.

Al escoger tales detalles debe tenerse en cuenta:

6.4.1.1. El punto escogido debe ser claramente identificable y sin posibilidad de confundirse con el entorno.

6.4.1.2. El punto escogido debe estar identificado con un esquema descriptivo del sitio donde se encuentra y debe estar debidamente orientado.

6.4.1.3. El punto escogido no debe encontrarse en terreno pendiente debe tratarse de que sea sobre una superficie plana.

6.4.1.4. El detalle seleccionado debe ser compatible con la escala promedia fotográfica y con la escala de restitución.

6.4.1.5. Al definir como detalle una de las esquinas de una edificación, debe precisarse si el dato de la cota corresponde a la base o al techo de la misma a más de indicarse la altura de la construcción. Similarmente debe procederse cuando el punto escogido sea un árbol claramente señalado.

6.4.1.6. Los detalles seleccionados deben procurarse sean detalles estables o de permanencia en el tiempo.

6.4.1.7. Los puntos escogidos no deben quedar localizados hacia los bordes o esquinas de las fotografías, debido a los problemas de desplazamiento por relieve o por inclinación de la fotografía que suelen presentarse.

En terrenos en que no existen detalles planimétricos naturales que se puedan identificar claramente en las fotografías como : zonas desérticas , con amplias porciones de agua o nieve o zonas boscosas o selváticas, se requiere de una preseñalización de puntos de control , cuidando que las señales queden por fuera del barrido fotográfico por desviaciones longitudinales o transversales de la línea de vuelo , en lugares no convenientes, destruidas por personas o animales o movidas de su localización inicial.

Las señales a colocar deben tener en cuenta:

6.4.1.8. La señal debe contrastar nítidamente con relación al entorno.

6.4.1.9. El material con el que se construye la señal puede ser: plástico, cartón, lata, cal arena, madera, piedras, etc, teniendo en cuenta que la señal sea durable, de fácil consecución, y adecuada para las condiciones climáticas y topográficas.

6.4.10. El tamaño de la señal depende de factores como: características del terreno, escala fotográfica promedia, en algunos casos del tamaño de la marca flotante de los equipos de triangulación o restitución.

En función de la marca flotante el tamaño de la señal puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$d \geq O / E_f < 2 \cdot (O / E_f) .$$

Donde:

D = diámetro o lado de la señal.

O = diámetro de la marca flotante.

E_f = Escala promedia de la fotografía.

6.4.11. Las señales tienen formas variadas: en cruz, en equis, cuadradas, triangulares, circulares, o combinaciones de las anteriores. En situaciones extremas se construyen trochas convergentes al sitio donde se coloca la señal.

6.4.2. DETERMINACIÓN DE COORDENADAS TERRESTRES:

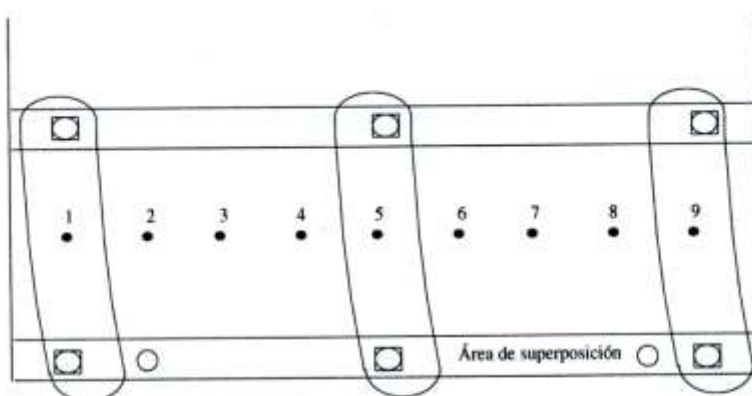
Se parte de un punto de coordenadas terrestres definidas (x, y) y ejecutando un procedimiento de amarre topográfico, se le dan coordenadas a varios de los puntos referenciados de las fotografías, que sirven de base para el cálculo de las mismas de los demás puntos de control. Empleando métodos tradicionales de nivelación de precisión se le da cota a todos los puntos fotocontrolados. Actualmente se emplean sistemas de geoposicionamiento para la obtención de las coordenadas y cota de los puntos de referencia fotográficos.

6.4.3. CONTROL TERRESTRE EN FUNCIÓN DE LA ESCALA DEL MAPA:

Al requerirse la obtención de un mapa topográfico con la utilización de la fotogrametría, deben tenerse en cuenta por lo menos tres puntos de control en la horizontal y cuatro o más puntos de control en la vertical. Con los tres puntos de control horizontal se fija la escala del mapa y con los cuatro o más puntos de control vertical se define el Datum (nivel de referencia) para la determinación de cotas.

En diseño de vías es común la exigencia de un punto de control en el centro del modelo estereoscópico (centro de la parte recubierta de un par estereoscópico de fotografías aéreas), con lo que se busca controlar la deformación en la parte central que se constituye en aspecto crítico en la obtención del mapa correspondiente.

La realización de mapas escala 1: 1000 obliga a la aplicación de lo que se denomina CONTROL DIRECTO, o sea la determinación de cuatro puntos de control por cada modelo. Cuando el mapa a elaborar requiere de escalas menores, el control se da por Aerotriangulación, método de oficina que favorece la rebaja de costos de operación en terreno (disminución de construcción de señales en el campo), debiendo establecerse bandas de control, con puntos de referencia en los extremos y centro de cada faja de fotografías. Véase figura 6.4.



□ = punto de control horizontal y vertical.

○ = punto de control vertical.

● = centro de las fotografías.

FIGURA 6.4. BANDA DE CONTROL FOTOGRÁFICO.

6.4.4. TRIANGULACIÓN AÉREA:

La Aerotriangulación es una técnica de oficina que permite propagar el apoyo terrestre, utilizando equipos y métodos de la fotogrametría, de manera rápida, eficaz y económica, para el control de trabajos de gran magnitud, en los que una profusa señalización de control, llega a ser de difícil implementación e impráctica en algunas ocasiones.

6.4.4.1. AEROTRIANGULACIÓN ANALÓGICA: Es aquella que con la implementación de instrumentos fotogramétricos, se obtienen coordenadas instrumentales del modelo estereoscópico.

6.4.4.2. AEROTRIANGULACIÓN ANALÍTICA: Es aquella que obtiene coordenadas instrumentales en el plano de la imagen, no en el modelo estereoscópico, que luego de procesadas con métodos computacionales, generan modelos y fajas formadas de manera analítica.

Se emplean estereocomparadores o monocomparadores y en ocasiones instrumentos analógicos., los cuales miden la posición de los puntos en el plano de la imagen con relación al sistema de coordenadas del mismo. Basados en las coordenadas instrumentales generadas en el plano de la imagen, en referencia al punto principal de la fotografía y aplicando las constantes de calibración de la cámara se reconstruye el haz de rayos

proyectantes correspondientes a las placas medidas, dando como resultado analítico la orientación relativa (formación del modelo) y formación de fajas.

La Aerotriangulación analítica se subdivide en:

6.4.4.2.1. AEROTRIANGULACIÓN POR POLÍGONO: La propagación del apoyo terrestre, se inicia en el primer modelo estereoscópico definiendo la línea de vuelo orientada absolutamente y transfiriendo la escala a los modelos subsiguientes. Se comprueba mediante una nivelación de la línea generada. Es posible ejecutar este método, iniciando con un modelo no orientado absolutamente y transferir la escala modelo a modelo por medio de cálculos y apoyado en los puntos de apoyo terrestre, previamente definidos. Cualquier error accidental en la definición de los puntos, obliga a reiniciar el proceso, haciendo que se convierta en un proceso lento en su ejecución.

6.4.4.2.2. AEROTRIANGULACIÓN POR MODELOS INDEPENDIENTES: Al aplicar este método no es importante en que sentido se ejecuta la triangulación, siempre y cuando se conserve el mismo en toda la línea de vuelo. No se requiere la transferencia de escala modelo a modelo, cada escala es independiente y luego con la utilización de un programa de computador se uniformizan las escalas y se obtiene las coordenadas para toda la faja. El error cometido en alguno de los modelos no obliga a la repetición de todo el proceso, pudiéndose corregir este en el modelo afectado en particular.

6.4.4.3. PROCEDIMIENTO OPERATIVO DE LA AEROTRIANGULACIÓN:

En general se trata de un proceso sistemático, que comprende:

6.4.4.3.1. PLANEACIÓN de la ejecución de la Aerotriangulación en la s tiene en cuenta:

- 6.4.4.3.1.1.** Selección y ubicación de los puntos fotocontrolados.
- 6.4.4.3.1.2.** Escogencia y señalamiento de los puntos de paso y de enlace.
- 6.4.4.3.1.3.** Preparación del material fotográfico y de control de terreno.
- 6.4.4.3.1.4.** Chequeo y calibración de los instrumentos.
- 6.4.4.3.1.5.** Evaluación de los puntos de control terrestres existentes al momento del planeamiento del vuelo.

6.4.4.3.2. ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN: corresponde al trabajo de instrumentación propiamente dicho.

6.4.4.3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN, incluyendo la transformación de las coordenadas instrumentales del modelo a coordenadas terrestres con la mediación de un proceso de ajuste.

6.5. EJEMPLO DE CÁLCULO DE UN PROYECTO DE VUELO. (VÉASE FIGURA 6.5.)

6.5.1. ÁREA DE TERRENO A CUBRIR CON EL VUELO PROYECTADO.

$P = 50 \text{ Km. a lo largo.}$

$Q = 30 \text{ Km. a lo ancho.}$

$$P \times Q = 50 \text{ Km.} \times 30 \text{ Km.} = 1500 \text{ Km}^2.$$

6.5.2. ALTURA DE VUELO RELATIVA AL TERRENO (Z).

$f = 152.88 \text{ mm.}$

Escala requerida $E = 1: 10.000.$

$M = 1 / E = 10.000.$

$$Z = f / E = f \times M = 152.88 \text{ mm.} \cdot 10.000 = 1.528.800 \text{ mm.}$$

$$Z = 1.528,80 \text{ m.}$$

6.5.3. ALTURA ABSOLUTA DE VUELO (H).

$h = \text{cota de un punto base del terreno} = 1.500 \text{ m.}$

$$H = Z + h = 1.528,8 \text{ m} + 1.500 \text{ m} = 3.028,8 \text{ m.}$$

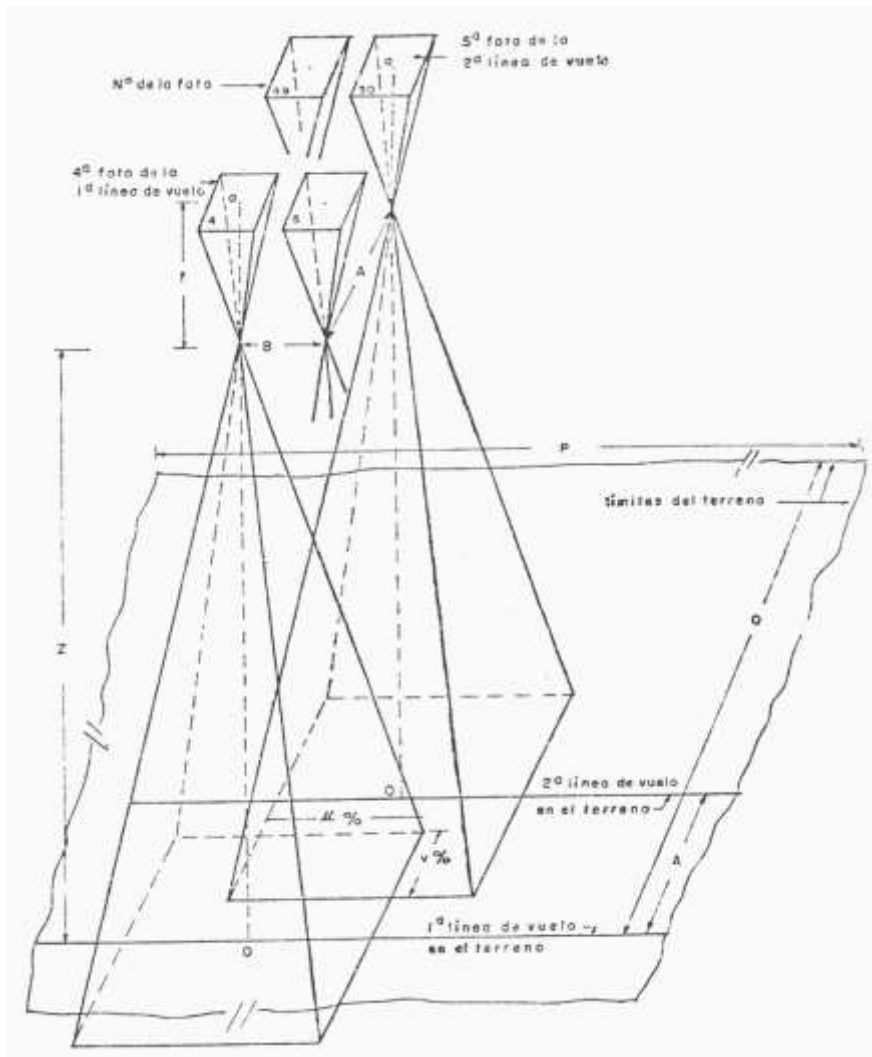


FIGURA 6.5. ELEMENTOS DE UN PROYECTO DE VUELO AEROFOTOGRAMÉTRICO.

6.5.4. BASE AÉREA (B).

u = recubrimiento longitudinal deseado. = 61 %.

l = tamaño del formato de la fotografía = 23 cm.

M = módulo escalar = 10.000

$$B = l \cdot M \cdot (1 - (u / 100)) =$$

$$B = 0.23 \text{ m} \cdot 10.000 \cdot (1 - (61 / 100)) = 2300 \text{ m} \cdot (1 - 0.61) =$$

$$B = 2300 \text{ m} \cdot 0.39 = \mathbf{897 \text{ m.}}$$

6.5.5. RELACIÓN B / Z :

$$B / Z = 897 \text{ m.} / 1528.8 \text{ m} = \mathbf{0.59}$$

6.5.6. CORRIMIENTO DE LA IMAGEN (e).

V = velocidad del avión = 450 Km. / hora.

t = tiempo de exposición = 1 / 200 seg.

$$e = V \cdot t \cdot E = 450 \times 10^6 \text{ mm.} \cdot \text{seg.} / (200 \times 3.600 \text{ seg} \times 10^4) =$$

$$e = \mathbf{0.0625 \text{ mm.}}$$

6.5.7. SEPARACIÓN ENTRE LÍNEAS DE VUELO (A).

l = tamaño del formato de la fotografía = 23 cm.

v = porcentaje de recubrimiento lateral deseado = 32 %.

M = módulo escalar = 10.000.

$$A = l \cdot M \cdot (1 - (v / 100)) =$$

$$A = 0.23 \text{ m} \cdot 10.000 \cdot (1 - (32 / 100)) = 2300 \text{ m.} \cdot (1 - 0.32) =$$

$$A = 2300 \text{ m} \cdot 0.68 = \mathbf{1.564 \text{ m.}}$$

6.5.8. NÚMERO DE LÍNEAS DE VUELO EN BARRIDO A LO LARGO DE LA MAYOR DIMENSIÓN DEL TERRENO. (n').

$$n' = P / A = 50.000 \text{ m.} / 1.564 \text{ m} = \mathbf{31.97 \approx 32 \text{ líneas .}}$$

6.5.9. INTERVALO DE TIEMPO ENTRE EXPOSICIONES (t).

$$t = B / V = 897 \text{ m.} \cdot 600 \text{ seg} / 450.0000 \text{ m.} = \mathbf{7.2. \text{ seg.}}$$

6.5.10. TIEMPO NETO DE VUELO (t').

$$t' = (n' \cdot P) / V =$$

$$t' = (32 \text{ líneas} \cdot 50.000 \text{ m.} \cdot 60 ') / 450.000 \text{ m.} = \mathbf{213.3 '}$$

6.5.11. NÚMERO NETO DE FOTOGRAFÍAS POR LÍNEA (n).

$$n = P / B = 50.000 \text{ m.} / 897 \text{ m} = 55.7 \text{ fotografías} \approx$$

56 fotografías.

6.5.12. NÚMERO TOTAL DE FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO DE VUELO (N).

Con el fin de asegurar el barrido pleno (cobertura total del área requerida) se acostumbra a tomar dos fotografías antes de entrar al terreno y dos al finalizar el recorrido.

$$N = n' (n + 4) = 32 \text{ líneas} \cdot (56 \text{ fotog.} + 4 \text{ fotog.}) / \text{línea} =$$

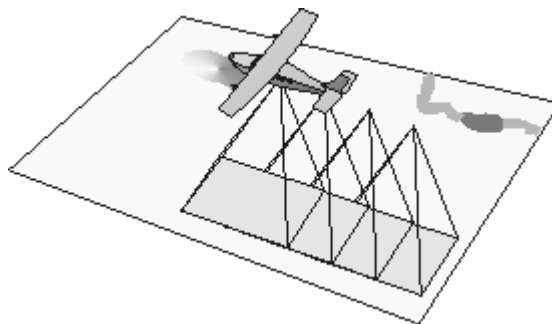
$$N = 32 \text{ líneas} \cdot 60 \text{ fotog} / \text{línea} = \mathbf{1.920 \text{ fotografías.}}$$

6.6. LECTURA COMPLEMENTARIA.

Documento tomado de gabrielortiz.com

www.recursos.gabrielortiz.com/ver.asp?Info=023a

6.6.1. LAS BASES DE LA FOTOGRAMETRÍA. INTRODUCCIÓN A CÓMO SE TRAZAN MAPAS A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS



La **fotogrametría** se ha convertido en una de las principales formas de **incorporar información** geográfica a un SIG, debido al buen compromiso que mantiene entre coste económico, velocidad de ejecución y precisión.

Consiste en la utilización de **fotogramas aéreos de eje vertical** tomados desde un avión sobrevolando la zona de estudio. Posteriormente, y tras

diversos trabajos topográficos de campo que comentaremos posteriormente, servirán para **trazar mapas**.

La **secuencia-tipo** del trabajo en fotogrametría se podría resumir en tres etapas:

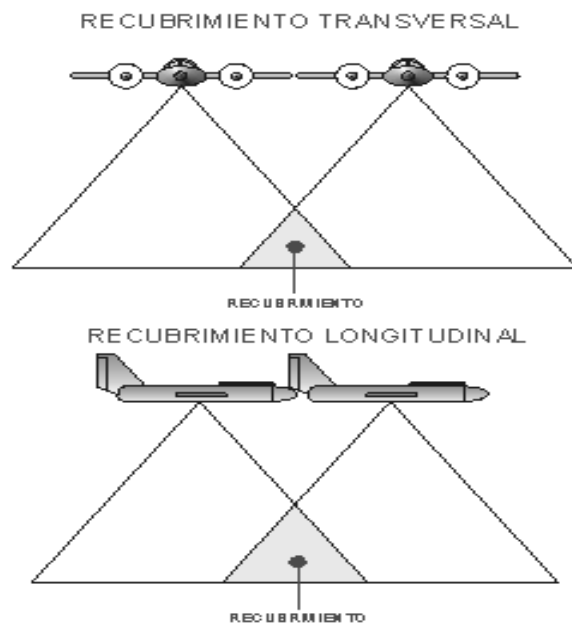
1. **Realización del vuelo fotogramétrico.**
2. **Apoyo topográfico del vuelo y Aerotriangulación.**
3. **Restitución.**

1. Realización del vuelo fotogramétrico

Consiste en **sobrevolar el territorio con un avión** y tomar fotografías de eje vertical recubriendo el territorio con fotogramas que se **solapen** tanto **longitudinal** como **transversalmente**.

Como normal general, estos solapes suelen ser del **60% en el eje longitudinal** y del **20% en el eje transversal**, aunque dependiendo de la utilidad del vuelo estos porcentajes pueden variar notablemente. La razón de por qué es estrictamente necesario tener zonas de recubrimiento comunes en las fotografías la analizaremos con posterioridad.

Las fotografías resultantes deben tener una desviación en su centro muy reducida con respecto a la vertical del avión para que puedan ser útiles.



Por otro lado, las cámaras que se utilizan para este tipo de trabajos, denominadas **cámaras métricas**, son unas cámaras especiales de funcionamiento similar a las convencionales pero con una calibración muy exacta de sus parámetros ópticos, de los cuales el más importante es la **distancia focal**, definida como la distancia desde el centro del objetivo hasta el plano focal donde se ubica la película.

Las fotografías aéreas resultantes de un vuelo fotogramétrico **no tienen una escala exacta**, al ser el resultado de una perspectiva cónica y por el efecto ondulante del terreno. Así, cada punto dentro de una foto tiene su propia escala, dependiendo del lugar con respecto al centro de la foto y de la altura del terreno. No obstante, sí puede hablarse de una **escala media** de los fotogramas, que aunque no exacta es aproximada. Esta escala media mantiene una estrecha relación con los conceptos **distancia focal** y **altura media del vuelo**, de la forma:

$$\frac{f}{H} = \frac{1}{E}$$

Donde:

f = Distancia focal.

H = Altura media del vuelo.

E = Denominador de escala.

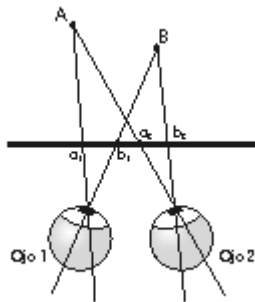
Esta expresión básica en fotogrametría es fundamental a la hora de planear un vuelo. Dependiendo de la focal de la cámara que vayamos a utilizar y de la escala media de los fotogramas que queramos obtener, deberemos ordenar volar a una altura u otra.

A la vez, la escala media de los fotogramas está ligada a la **utilidad que queramos dar al vuelo**; Generalmente la finalidad del vuelo es formar cartografía a partir de restitución fotogramétrica, en cuyo caso hay que tener en cuenta la escala de la cartografía que pretendemos. Aunque no hay una fórmula fija que relacione la escala media de las fotos con la escala de la cartografía a restituir, se puede decir que normalmente esta es **¼ de la escala media** de los fotogramas, pero no tiene por qué serlo así necesariamente. Por poner un ejemplo, para formar cartografía a escala 1/5.000 se puede encargar el vuelo a escala media 1/20.000, pero también es factible realizarse con un vuelo a escala media 1/15.000. Si queremos reducir costes, será más ventajoso realizar el vuelo más alto (menor escala aproximada, en este caso 1/20.000) porque cubriremos el territorio con menos fotogramas y serán necesarios menos trabajos de apoyo; Pero si pretendemos utilizar el vuelo resultante para tareas de

fotointerpretación (reconocimiento de fotografías), como suele ser el caso en temas de medio ambiente muy frecuentemente por ejemplo, quizá nos sea más ventajoso realizar un único vuelo a escala media 1/15.000 que nos sirva para ello además de para realizar la restitución.

Los fotogramas resultantes de un vuelo fotogramétrico deben contener además de la información gráfica del territorio de análisis, la siguiente información:

- ✓ Organismo contratante del vuelo.
- ✓ Empresa que realiza el vuelo.
- ✓ Zona del vuelo.
- ✓ Fecha.
- ✓ Hora.
- ✓ Escala aproximada de los fotogramas.
- ✓ Número de pasada.
- ✓ Número de foto.
- ✓ Información sobre la cámara métrica (distancia focal, modelo).
- ✓ Marcas fiduciales (marcas ubicadas en las esquinas de la foto que son la referencia para calcular el centro geométrico de la misma. Son un elemento imprescindible para la posterior restitución).
- ✓ Nivel para comprobar la verticalidad del fotograma.
- ✓ Altimetro, con indicación de la altura aproximada sobre el nivel del mar.



Dado que las fotografías de un vuelo fotogramétrico **se ordenan en pasadas y en números consecutivos** dentro de cada pasada, estos dos datos son fundamentales de cara a encontrar fotos de una zona concreta. Para ello se utiliza el denominado **gráfico de vuelo**, que no es otra cosa que un mapa que lleva grafiada la distribución de las fotos con respecto al territorio.

Pasemos ahora a analizar el porqué de la necesidad de recubrimiento común entre los fotogramas; la clave a esta cuestión se encuentra en lo que se denomina *visión estereoscópica*.

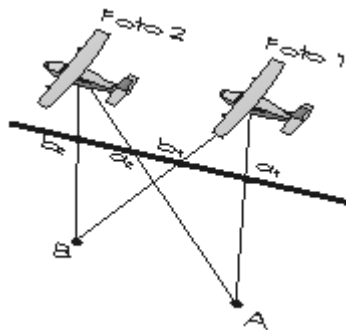
6.6.2. LAS BASES DE LA FOTOGRAMETRÍA. INTRODUCCIÓN A CÓMO SE TRAZAN MAPAS A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS (PARTE II)

Documento tomado de gabrielortiz.com

www.recursos.gabrielortiz.com/ver.asp?Info=023a

Cuando nosotros vemos los objetos en relieve ello es debido a que tenemos **dos ojos** que nos proporcionan al mismo tiempo **dos visuales** del mismo objeto desde **dos puntos de vista** ligeramente distintos que interceptan. Estas dos imágenes son **mezcladas** en nuestro cerebro y como consecuencia podemos ver una tercera dimensión.

Este principio de **estereoscopia natural** sirve también a la cartografía para poder extraer la tercera dimensión a partir de imágenes bidimensionales. En realidad, lo que se hace en un vuelo fotogramétrico es sustituir nuestros **ojos** por la **cámara métrica** que va en el avión, y la **distancia interpupilar** por la **distancia entre disparos** consecutivos.



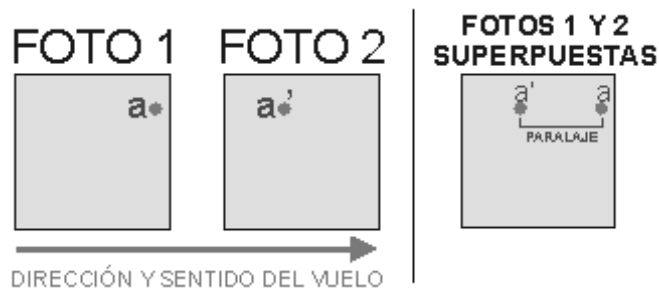
Posteriormente, aparatos denominados **estereoscopios** (además de los restituidores de los que después hablaremos) nos permiten ver las imágenes en tres dimensiones. Para que se puedan reproducir la estereoscopia se deben dar dos condiciones esenciales, como son que cada ojo vea **sólo la perspectiva que le corresponde** y que las visuales tengan **intersección** entre sí. Con respecto a este último aspecto, esa intersección

se produce cuando los fotogramas tienen **zonas en común**, por lo que ya sabemos por qué es tan necesario el recubrimiento estereoscópico.

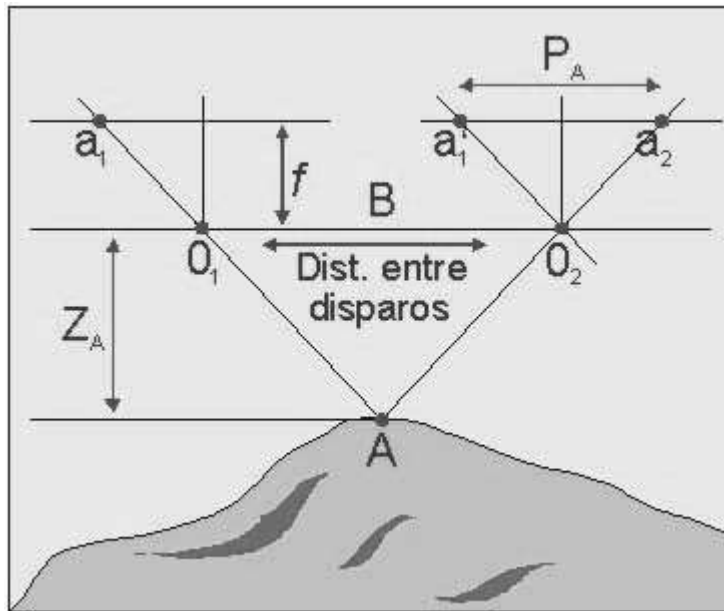
No obstante, **un solo fotograma** también contiene cierta información tridimensional limitada, que podemos extraer utilizando el punto de fuga de las verticales de la perspectiva, el punto de fuga de las sombras y el ángulo de elevación del sol sobre el horizonte; a este procedimiento de explotar esta información tridimensional limitada con el uso de una sola foto se le conoce como **explotación métrica de un fotograma aislado**, siendo un procedimiento que se utiliza más en el ámbito de la **fotointerpretación** que en el de la cartografía propiamente dicha.

La incorporación de una segunda perspectiva de la misma zona incrementa notablemente la información tridimensional, con la incorporación del concepto de **par estereoscópico** (dos fotografías consecutivas).

Entre fotografías consecutivas que contienen **objetos comunes** se pueden medir **paralajes**, que se pueden definir como el **desplazamiento aparente** en la posición de un objeto fijo causado por el **movimiento de la cámara métrica** en el avión durante el vuelo.



La evaluación de estas paralajes es la base de la fotogrametría de eje vertical. Veamos su **fundamento geométrico**:



Donde:

A = Punto evaluado en el terreno.

O₁ = Disparo foto 1

O₂ = Disparo foto 2.

a₁ = Punto representado en la fotografía 1.

a₂ = Punto representado en la fotografía 2.

Z_A = Distancia vertical entre el punto evaluado del terreno y el plano del vuelo.

B = Distancia recorrida por el avión entre dos disparos consecutivos.

f = focal de la cámara métrica.

P_A = Paralaje del punto evaluado (a medir sobre la fotografía).

Los triángulos A O₁ O₂ y O₂ a₁' a₂ son semejantes, luego:

$$\frac{Z_A}{f} = \frac{B}{P_A} \quad Z_A = \frac{B \cdot f}{P_A}$$

En consecuencia, si evaluamos paralajes de puntos con elevación desconocida junto con paralajes de puntos con elevación conocida seremos capaces de evaluar el desnivel existente.

Estos puntos conocidos se obtienen de los trabajos de **apoyo en campo**, que son la segunda etapa de la secuencia de trabajo.

6.6.3. LAS BASES DE LA FOTOGRAMETRÍA. INTRODUCCIÓN A CÓMO SE TRAZAN MAPAS A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS (PARTE III)

Documento tomado de gabrielortiz.com
www.recursos.gabrielortiz.com/ver.asp?Info=023a

Consiste en realizar un **trabajo de campo** en el que utilizando diversos **métodos e instrumental topográfico** se procede a identificar en términos de coordenadas **X Y Z** varios puntos sobre el terreno.

A los puntos identificados se les denomina *puntos de apoyo*, que más tarde en la fase de restitución servirán de base para dotar de coordenadas al resto de elementos presentes en cada par estereoscópico.

A partir de la observación de puntos con coordenadas bien conocidas, como pueden ser las redes de vértices geodésicos, se aplican diversos métodos topográficos (cuyo estudio no es objeto del presente artículo) que permiten conocer las coordenadas de los puntos que hemos seleccionado para que nos sirvan de apoyo.

El número de puntos de apoyo es variable en función del tipo y precisión del trabajo, así como del uso de técnicas de asistencia al apoyo con la **aerotriangulación**.

3. Restitución.

La restitución es la última etapa dentro de la secuencia de trabajo en fotogrametría. En ella se junta todo el trabajo anterior (vuelo y apoyo) para trazar los mapas propiamente dichos.

La restitución consiste en la formación de forma muy precisa de los pares estereoscópicos en un proceso que se denomina *orientación de imágenes*, y en la extracción posterior de los elementos contenidos en ellas mediante unos aparatos llamados **estereo-restituidores**.

La tecnología de restitución ha evolucionado de los primeros restituidores analógicos a los analíticos y por fin a los de última generación digitales, que en realidad ya no son más que un ordenador con el software adecuado.



Mientras los analógicos y los analíticos se basaban en los **negativos** de las fotos para realizar el proceso de restitución, los digitales realizan una copia digital de las fotos (escaneado) que divide en millones de puntos (píxels) la foto.

Esta tecnología fotogramétrica totalmente digital presenta dos incrementos de la efectividad muy importantes frente a la tecnología de restituidores analíticos:

Por un lado, la extracción de la orografía y la formación de modelos digitales del terreno está altamente automatizada y se realiza de forma mucho más rápida.

Por otro lado, la tecnología digital presenta grandes mejoras a la hora de formar ortofotos.

Al igual que en el caso de los últimos restituidores analíticos, los digitales obtienen la geometría de la restitución directamente en formato digital, con lo cual la incorporación a los Sistemas de Información Geográfica no precisa de ningún paso de digitalización adicional. Como ya se ha señalado anteriormente, la fotogrametría es una de las principales **formas de incorporar información a un Sistema de Información Geográfica**.

No obstante, hay que tener en cuenta que se trata de una metodología sujeta a **ciertas restricciones de precisión**; así, para levantamientos de una gran precisión (normalmente en el ámbito de la ingeniería civil) la resolución que la fotogrametría proporciona -sobre todo en el eje Z- no es suficiente, debiendo en esos casos recurrir a otros métodos más precisos como la topografía clásica.

6.7. EJERCICIOS Y PROBLEMAS

FALSO O VERDADERO

Item		F	V
6.7.1.	Una de las aplicaciones de la fotogrametría es la cuantificación del material extraído en una explotación subterránea.		
6.7.2.	La longitud focal de las cámaras utilizadas en fotogrametría, corresponde a las denominadas cámaras de longitud focal larga.		
6.7.3.	Uno de los factores que afecta la nitidez de la fotografía es el foco de la cámara.		
6.7.4.	Las fotografías pancromáticas son utilizadas especialmente para reconocimiento del terreno.		
6.7.5.	Una proyección central es aquella que no presenta deformación de las distancias.		
6.7.6.	El diafragma es un dispositivo que está compuesto por una serie de hojas que rotan sobre un plano y controlan el tiempo de toma de la foto.		
6.7.7.	La condición para que un par de fotos aéreas del mismo objeto, puedan ser observadas por un estereoscopio es la de que las escalas de las dos fotografías no debe ser aproximadamente la misma.		
6.7.8.	La paralaje de un punto puede expresarse como: $p = x'' - x'$ ó como: $p = a' a'' - 0_1 0_2$		
6.7.9.	A mayor paralaje menor cota.		
6.7.10.	La disminución en la relación B/Z incrementa el valor de la paralaje estereoscópica y favorece la precisión de la altimetría.		
6.7.11.	El tiempo, la hora de vuelo y la altura de vuelo son factores que no afectan un proyecto de vuelo.		
6.7.12.	Al realizar la planeación del vuelo no deben tenerse en cuenta los costos del proyecto de vuelo aerofotogramétrico.		

6.7.13.	Las fases de un proyecto de vuelo son: Definición, Planeación, Valoración y Restitución.		
6.7.14.	Son elementos del proyecto de vuelo: la relación B/Z, base aérea, Número de líneas de vuelo, la escala fotográfica, la hora de vuelo.		
6.7.15.	Son factores que afectan el proyecto de vuelo: la variación escalar permisible, la relación B/Z, la altura absoluta de vuelo, la dirección de la línea de vuelo.		
6.7.16.	La toma de fotografías con utilidad fotogramétrica es posible hacerla a cualquier hora del día, dados los avances técnicos en la construcción de las cámaras aéreas.		
6.7.17.	La escogencia del tipo de avión a realizar un vuelo con fines aerofotogramétricos tiene en cuenta: operación económica, capacidad de altura, estabilidad en el momento de la toma de las fotografías, autonomía de vuelo, velocidad apropiada.		
6.7.18.	El tamaño de las señales de fotocontrol depende de: escala fotográfica promedia, tamaño de la marca flotante, características del terreno.		
6.7.19.	En el diseño de vías se exige un punto de control en el centro del modelo estereoscópico para controlar de mejor forma el amarre de la secuencia fotogramétrica.		
6.7.20.	La obtención de un mapa topográfico con la utilización de la fotogrametría, requiere de por lo menos tres puntos de control en la horizontal y cuatro o más puntos de control en la vertical.		
6.7.21.	La realización de mapas escala 1:1000 obliga la aplicación de control directo, que consiste en la determinación de cuatro puntos de control en los extremos y uno en el centro del modelo estereoscópico		
6.7.22.	Para la realización de escalas menores a 1:1000 se requiere del establecimiento de bandas de control que poseen puntos de referencia en los extremos y centro de cada faja.		

6.7.23.	Aerotriangulación Analógica: es aquella que obtiene coordenadas instrumentales en el plano de la imagen, no en el modelo estereoscópico y luego de procesadas por métodos computacionales generan modelos y fajas de manera analítica.		
6.7.24.	Al aplicar la aerotriangulación por modelos independientes, el sentido en que se ejecuta la aerotriangulación se conserva el mismo en toda la línea de vuelo.		
6.7.25.	La adquisición de la información con fines de aerotriangulación, incluye la transformación de coordenadas instrumentales del modelo en coordenadas terrestres.		
6.7.26.	En la aerotriangulación por modelos independientes el error cometido en alguno de los modelos estereoscópicos no obliga a la repetición de todo el proceso		
6.7.27.	Se define Triangulación Aérea: como la técnica de oficina que permite propagar el apoyo terrestre, utilizando equipos y métodos de la fotogrametría, de manera rápida, eficaz y económica, para el control de trabajos de gran magnitud en las que una profusa señalización de control llega a ser de difícil implementación e impráctica en algunas ocasiones.		

ESCOGENCIA MÚLTIPLE:

6.7.12. Al definir características de la foto vertical no se cumple:

- a. La foto es una figura semejante al terreno en planta.
- b. Es una proyección central.
- c. El ángulo en la foto es diferente a su homólogo en el terreno.
- d. La escala es variable.

6.7.13. Distancia focal:

- a. Se representa con la letra L.
- b. Distancia entre el Datum y el nivel de referencia.
- c. Distancia entre el avión y el terreno.
- d. Distancia entre el centro óptico y el negativo.

6.7.14. El cono es la parte de la cámara que:

- a. Contiene el obturador.
- b. Contiene el diafragma.
- c. Sirve de soporte al sistema de lentes.
- d. Sirve de soporte negativo.

6.7.15. Líneas homólogas son:

- a. Las líneas del terreno que tienen su representación en el plano de la foto y en el plano negativo.
- b. Las líneas del terreno que tienen su representación en el plano principal y en el plano del objetivo.
- c. Las líneas del terreno que tienen su representación en el plano de la foto y el plano del objetivo.
- d. Las líneas del terreno que tienen su representación en el plano de la foto y en plano focal.

6.7.16. La estereoscopia se define como:

- a. Fenómeno natural que tiene lugar cuando al mirar simultáneamente dos imágenes se percibe la tercera dimensión.
- b. Fenómeno natural que se percibe a través de las sombras.
- c. Fenómeno natural que tiene lugar cuando una persona mira simultáneamente dos imágenes de la misma figura, tomadas desde puntos distintos.
- d. Fenómeno natural que permite observar la doble imagen.

6.7.17. Qué afecta la exageración estereoscópica:

- a. La medida de la paralaje.
- b. La lectura con la barra de paralaje.
- c. La medida de pendientes.
- d. La estimación de las pendientes.

6.7.18. Qué mide la barra de paralaje:

- a. La distancia entre puntos homólogos.

- b. La diferencia de elevación entre dos puntos y la constante “K” de la barra de paralaje.
- c. La diferencia entre la constante “K” de la barra de paralaje y la distancia entre puntos homólogos.
- d. La diferencia entre la paralaje estereoscópica y la constante “K” de la barra de paralaje.

6.7.19. La diferencia de paralajes entre dos puntos puede determinarse haciendo uso de la barra de paralaje o de la cuña de paralaje. Desde el punto de vista estrictamente matemático, los dos valores así obtenidos presentará la siguiente característica:

- a. Son iguales en magnitud, pero de signo contrario.
- b. Son iguales en signo, pero diferente magnitud.
- c. Son iguales en magnitud y signo.
- d. Es mayor el valor obtenido con la barra de paralaje.

DEFINICIONES

6.7.20. Se requiere obtener el perfil de una serie de 18 puntos ubicados en dirección N82° E de la zona de Murindó. Enumere los pasos que se requieran para graficar el perfil con escala: Horizontal 1:5000 y vertical 1:250.

- 1. _____
- 2. _____
- 3. _____
- 4. _____
- 5. _____
- 6. _____
- 7. _____

6.7.21. Son aplicaciones del método de triangulación radial numérico:

- a. _____
- b. _____
- c. _____

6.7.22. Son aplicaciones de la determinación fotogramétrica del perfil entre puntos del terreno.

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____
- e. _____

6.7.23. En la planeación de un proyecto de vuelo y de manera preliminar se requieren definir o realizar los siguientes pasos:

- 1. _____
- 2. _____
- 3. _____
- 4. _____

6.7.24. Las fases que comprende un proyecto de vuelo aerofotogramétrico son:

- a. _____
- b. _____
- c. _____

6.7.25. Hacen parte de los elementos del Proyecto de Vuelo Aerofotogramétrico:

- 1. _____
- 2. _____
- 3. _____
- 4. _____
- 5. _____
- 6. _____
- 7. _____
- 8. _____
- 9. _____
- 10. _____
- 11. _____
- 12. _____

6.7.26. Son factores que afectan el Proyecto de Vuelo Aerofotogramétrico:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____
11. _____
12. _____

6.7.27. Para la escogencia de detalles que permitan la fotoidentificación debe tenerse en cuenta:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____

6.7.28. La triangulación analítica puede ser:

1. _____
2. _____

6.7.29. El proceso sistemático de la aerotriangulación está dado por:

1. _____
2. _____
3. _____

6.7.30. La planeación de una aerotriangulación requiere:

1. _____
2. _____

3. _____
4. _____
5. _____

6.7.31. La secuencia del trabajo en fotogrametría se da en las siguientes etapas:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

6.7.32. Aerotriangulación analítica por polígono es:

6.7.33. Se requiere medir un área de un terreno claramente definido en par de fotos recubiertas inicialmente utilizado una sola foto y luego chequeándola por el método de triangulación radial numérica. Enuncie los pasos para realizar dicho trabajo.

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____
- e. _____
- f. _____
- g. _____
- h. _____
- i. _____
- j. _____
- k. _____
- l. _____
- m. _____
- n. _____
- o. _____

6.7.34. Enuncie los pasos para graficar una serie de puntos de detalle de una fotografía por el método de triangulación radial gráfica y determinar la distancia terrestre entre dos de esos puntos, conociendo H, f y las respectivas cotas.

- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____
- e. _____
- f. _____
- g. _____
- h. _____

ORDENAMIENTO LÓGICO SECUENCIAL

6.7.35. Para determinar cotas a partir de lecturas con la barra de paralaje se sigue la siguiente secuencia:

- a. Calcular la paralaje para cada punto (P_i) como la paralaje del punto de referencia (P_r) más la diferencia de paralaje (Δp_i).
- b. Calcular la cota de cada punto (h_i) como la cota del punto de referencia (h_r) más la diferencia de altura para cada punto (Δp_i).
- c. Conocer previamente H, h_r , p_r como diferencia entre la distancia entre los centros de las fotos (O_1O_2) y la distancia entre los puntos homólogos, imágenes del punto de referencia, en ambas fotos recubiertas ($p_r p_r'$).
- d. Calcular la diferencia de paralaje (Δp_i) como la diferencia de lecturas de barra de paralaje para cada punto (l_i) y la lectura de barra de paralaje para el punto de referencia (l_r).
- e. Colocar las fotos a distancia de visión estereoscópica.
- f. Calibrar la barra de paralaje.
- g. Determinar la línea de vuelo en cada una de las fotografías recubiertas.
- h. Tomar lecturas con la barra de paralaje para cada uno de los puntos incluido el punto de referencia.
- i. Calcular la diferencia de altura (Δp_i) como el producto de la diferencia de paralaje para el punto Δp_i por la altura de vuelo relativa al terreno para el punto de referencia (Z_r) sobre la paralaje para cada punto (p_i).

6.7.36. Para encontrar la pendiente entre varios puntos del terreno se sigue el siguiente procedimiento:

- a. Determinar la componente vertical (O_{hi}) entre punto.
- b. Calcular la diferencia de paralaje (Δp_i) para todos los puntos.
- c. Calcular la pendiente (S) entre puntos del terreno.
- d. Calcular paralaje para el punto de referencia (P_r).
- e. Calcular paralaje (p_i) para todos los puntos.
- f. Determinar previamente f , B , escalando que se va a elaborar el plano que hace posible determinar la distancia planimétrica entre los puntos a los que se les pretende determinar la pendiente.
- g. Hacer mediciones con la barra de paralaje a todos los puntos incluidos el punto de referencia.
- h. Medir la distancia horizontal entre los puntos colocados en el mismo plano a partir de la triangulación radial gráfica.
- i. Calibrar la barra de paralaje.
- j. Realizar triangulación radial para todos los puntos.
- k. Colocar las fotos para ver estereoscópicamente.

APAREAMIENTO

6.7.37. Realice el siguiente ejercicio de apareamiento:

a. Los puntos de rectas paralelas al eje X: ()	1. La profundidad de la foto.
b. La dirección de línea de vuelo dentro de un proyecto de fotografía para un terreno depende de: ()	2. La doble visión.
c. La convergencia de los ejes ópticos en un punto determinado del objeto observado se denomina: ()	3. La parte correspondiente al sistema de lentes.
d. La nitidez de la foto no depende de: ()	4. La doble imagen.
e. El ángulo en la fotografía vertical: ()	5. La línea de vuelo.
f. Para poder estimar o medir la distancia relativa de los objetos en	6. Del tipo de cámara:

profundidad, es factor fundamental: ()	
	7. Es igual a su homólogo en el terreno.
	8. En una fotografía vertical tienen igual escala.
	9. El eje nadiral.
	10. La configuración del terreno.
	11. Angulo convergente.
	12. La perspectiva.
	13. Angulo paralítico.
	14. Es diferente a su homólogo en el terreno.
	15. La inclinación de la foto.
	16. La relación B/Z.

6.7.38. Realice el siguiente ejercicio de apareamiento:

a. Las exploraciones extra terrestres: ()	1. $\Delta r = r(h-h')/(h'-H)$
b. Fotogrametría aérea: ()	2. La claridad de la foto.
c. El cuerpo de la cámara es: ()	3. El que contiene los mecanismos operadores de la cámara.
d. La magnitud del desplazamiento por relieve se expresa como: ()	4. Las imágenes de avión, las imágenes extraterrestres, las imágenes de radar.
e. Se dice que la cámara es de conocimiento cuando se clasifica según: ()	5. Las que utiliza fotos terrestres tomados desde un satélite.
f. El ángulo definido en una fotografía vertical: ()	6. $\Delta r = r(h'-h)/(H-h')$
g. Son imágenes de percepción remota: ()	7. Son parte de las aplicaciones de la fotogrametría.
h. La escala promedia se define como: ()	8. Es aquella que utiliza fotos terrestres.
	9. Su estructura
	10. Su uso
	11. La que utiliza vistas aéreas del terreno tomadas desde un avión.
	12. $\Delta r = r(h-h')/(H-h')$
	13. No es igual a su homólogo en el

	terreno.
	14. Es similar a su homólogo en el plano del objeto.
	15. La escala de la cota de todos los puntos.
	16. Promedio de las escalas de cada uno de los puntos.
	17. Imágenes de radar y de satélite.

6.7.39. Realice el siguiente ejercicio de apareamiento:

a. Base aérea se define como: ()	1. El uso
b. Exposición es: ()	2. El ángulo del objetivo.
c. Almacén de la cámara: ()	3. Sitio de toma de la foto
d. Isocentro en el plano del objeto es: ()	4. Tiempo durante el cual recibe la luz al sistema de lentes.
e. La clasificación de cámara como de reconocimiento corresponde a la clasificación según: ()	5. Distancia de separación entre dos puntos.
f. Línea principal en el plano de la foto: ()	6. Parte de la cámara que contiene el chasis, el sistema de lentes y permite operar los diferentes mecanismos de control.
g. A las imágenes de satélite no tripuladas corresponden: ()	7. Intersección del plano proyectante principal con el plano del negativo.
h. Escala promedia: ()	8. La estructura.
	9. Intersección de la bisectriz del ángulo de inclinación con el objetivo.
	10. Tiempo durante el cual recibe la luz la fotografía.
	11. Parte de la cámara donde va colocada la película y se opera el sistema de vacío.
	12. Las series Tirrus, Mercury y Landsat.
	13. Escala del promedio de las distancias.
	14. Distancia terrestre entre dos puntos en fotos consecutivas
	15. Distancia terrestre entre la

	exposición de dos fotos consecutivas.
	16. Intersección del plano proyectante principal con el plano de referencia.
	17. Tiempo durante el cual recibe la luz el plano del negativo.
	18. Las series: Tirrus, Nimbus, Mercury.
	19. Intersección de la bisectriz del ángulo de inclinación con el plano de referencia.
	20. Intersección de la bisectriz del ángulo de inclinación con el plano de la foto.
	21. Parte de la cámara donde va colocada la película y contiene un mecanismo para el avance o retroceso de la película.
	22. Escala del promedio de las escalas de todos los puntos.
	23. Las series: Nimbus, Landsat y Gemini.
	24. Línea conformada por el nadir, el isocentro y el punto principal.
	25. Línea conformada por el nadir, el isocentro y el punto principal en el plano de la foto.
	26. Las series, Landsat, Nimbus y Tirrus.

7. SOLUCIONARIO EJERCICIOS Y PROBLEMAS

7.1. SOLUCIONARIO CAPÍTULO 1.

Item		F	V
1.9.1.	En una fotografía de un terreno montañoso la escala no es necesariamente constante para todos los puntos de la fotografía.		X
1.9.2.	El almacén de la cámara es la parte donde se encuentra incorporado el sistema de lentes.	X	
1.9.3.	El diafragma es un dispositivo que permite variar el tamaño del orificio que da paso a la luz que incide en el sistema de lentes y actúa sobre la película emulsionada.		X
1.9.4.	Las cámaras de bastidor pueden ser utilizadas como cámaras de reconocimiento.		X
1.9.5.	Todos los siguientes factores afectan la nitidez de la foto: <ul style="list-style-type: none">▪ Cantidad de luz incidente▪ La sensibilidad de la emulsión▪ El foco de la cámara▪ La abertura del diafragma	X	
1.9.6.	Una fotografía inclinada es aquella que en el momento de ser tomada el eje óptico es inclinado adrede para obtener una panorámica.	X	
1.9.7.	Las cámaras de bastidor no pueden ser utilizadas como cámaras de reconocimiento.	X	
1.9.8.	La medida de longitudes sobre fotografías aéreas no es precisa, debido principalmente a la poca precisión de los instrumentos de medida.	X	
1.9.9.	Las cámaras de reconocimiento casi siempre pueden ser empleadas para mediciones fotogramétricas.	X	
1.9.10.	Dos fotografías aéreas verticales de terreno plano horizontal tienen la misma altura de vuelo y el mismo formato Se concluye que presentan la siguiente característica: tienen diferente altura de vuelo relativa al terreno.	X	

1.9.11.	El tiempo de exposición de la fotografía aérea es controlado por el diafragma y puede ser de hasta 1/2000 seg.		
1.9.12.	El efecto sobre la emulsión de la fotografía está controlado por el obturador de la cámara.	X	
1.9.13.	El tiempo de exposición, la sensibilidad de la foto y la cantidad de luz incidente influyen en la nitidez de la foto.	X	
1.9.14.	Son imágenes de percepción remota las obtenidas por satélites, radares y escaneadoras.	X	
1.9.15.	El almacén de la cámara sirve de soporte al obturador y al sistema de vacío.	X	

ESCOGENCIA MÚLTIPLE:

1.9.16. La fotografía inclinada se define como:

- e. Aquella que al ser tomada cambia la altura de vuelo.
- f. Aquella que en el instante de toma, el eje de la cámara está inclinado respecto a la vertical
- g. Aquella que en el momento de la toma el eje de la cámara está inclinado adrede para obtener una panorámica.
- h. Aquella que en el momento de la toma, presenta desviación del eje de la cámara respecto a la línea de vuelo.

1.9.17. La nitidez de la foto no depende de:

- e. Sensibilidad de la emulsión.
- f. Distancia focal.
- g. Cantidad de luz incidente.
- h. Abertura del diafragma.

1.9.18. La fotografía inclinada se define como:

- e. Aquella que en el momento de la toma de la foto, presenta desviación del eje de la cámara.
- f. Aquella que en el momento de la toma de la foto, el eje de la cámara es inclinado adrede para obtener una fotografía panorámica.

- g. Aquella que en el momento de la toma de la foto modifica su altura de vuelo.
- h. Aquella que en el instante de la toma de la foto el eje de la cámara está inclinado respecto de la vertical.

1.9.19. De las siguientes aplicaciones de la fotogrametría solo una no es cierta:

- f. En la restauración de obras de arte e ingeniería.
- g. Diseño de canales de riego.
- h. Cuantificación de reservas probadas de una mineralización de oro de veta.
- i. Zonificación de bosques tropicales.
- j. Definición del área a ocupar por una central hidroeléctrica.

1.9.20. La cámara más utilizada en fotogrametría es:

- e. De faja continua.
- f. De bastidor.
- g. Panorámica.
- h. De obturador fijo.

DEFINICIONES:

1.9.21. Obturador de la cámara es:

La parte de la cámara que controla el tiempo de exposición.

1.9.22. La nitidez de la foto depende de:

- a. Cantidad de luz incidente
- b. Tiempo de exposición
- c. Abertura del diafragma
- d. Sensibilidad de la emulsión.

1.9.23. Las fotografías en función de la inclinación del eje de la cámara se clasifican en:

- 7. Vertical
- 8. Inclinada

9. Oblicua
10. Convergente
11. Muy inclinada
12. Terrestre

1.9.24. Las Cámaras se clasifican según el uso en:

4. Cartográficas (métricas)
5. De Reconocimiento
6. Especiales

1.9.25. Las Cámaras según la longitud focal se clasifican en:

4. De longitud focal corta
5. De longitud focal normal
6. De longitud focal larga

1.9.26. Según el ángulo de proyección del objetivo las cámaras se clasifican:

5. De ángulo pequeño (menor de 58°)
6. De ángulo normal (entre 50° y 75°)
7. Gran angular (entre 75° y 100°)
8. Super granangular (entre 100° y 120°)

1.9.27. Según la estructura las cámaras se clasifican en:

4. De faja continua
5. De bastidor
6. Panorámica

1.9.28. Son partes de la cámara fotográfica:

7. El Almacén
8. El Cuerpo
9. El Cono
10. El Objetivo
11. El Diafragma
12. El Obturador

1.9.29. Las fotografías se clasifican en función de la inclinación del eje de la cámara en:

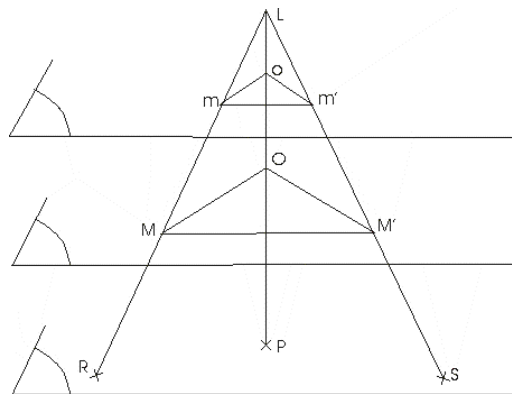
7. Vertical
8. Inclinada
9. Oblicua
10. Convergente
11. Muy inclinada
12. Terrestre

1.9.30. Según la emulsión de la película las fotografías se clasifican en:

8. Pancromática
9. A color
10. Infraorja en blanco y negro
11. En falso color
12. Intefrarrojo medio y lejano (Termografías)
13. Fotografías tomadas a la puesta del sol.
14. Fotografías tomas al final de la noche.

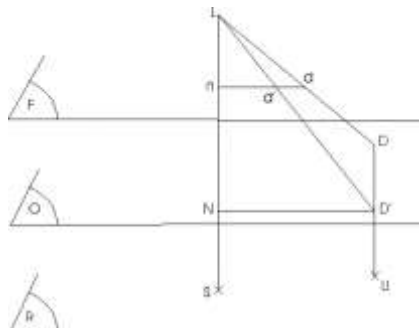
7.2. SOLUCIONARIO CAPÍTULO 2.

2.3.1. En el siguiente gráfico identifique:



- | | | |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------|
| m. L | Centro óptico. | _____ |
| n. m, m' y M, M' | Líneas homólogas. | _____ |
| o. LP | Línea proyectante, eje óptico, altura absoluta de vuelo (H). | _____ |
| p. LO | Eje óptico, altura de vuelo relativa al terreno (Zo). | _____ |
| q. Lo | Eje óptico, distancia focal (f). | _____ |
| r. Plano que contiene al plano mom' | Plano f ó plano de la foto. | _____ |
| s. m, M | Puntos homólogos. | _____ |
| t. OP | Cota del punto O (ho). | _____ |
| u. o | Punto principal en el plano de la foto. | _____ |
| v. LS | Línea proyectante. | _____ |
| w. Plano LOM | Plano proyectante. | _____ |
| x. Plano que contiene los puntos R, P, S | DATUM. | _____ |

2.3.2 Utilizando el siguiente gráfico defina:



- k. Distancia LD' = Línea proyectante.
- l. Distancia $D'U$ = Cota del punto D' (hd).
- m. Distancia $d'd$ = Desplazamiento por relieve en plano de la foto
= Δr .
- n. Puntos $d'D$ = Puntos homólogos.
- o. Líneas nd', ND' = Líneas homólogas.
- p. Distancia Ln = Distancia focal (t).
- q. Plano O = Plano del objeto.
- r. Plano LND' = Plano proyectante.
- s. Distancia LS = Altura absoluta de vuelo (H).
- t. Punto n = Punto nadir en el plano de la foto.

PREGUNTAS FALSO O VERDADERO:

Item		F	V
2.3.3.	La línea nadiral corta perpendicularmente todos los planos y pasa por el eje óptico	X	
2.3.4.	Líneas homólogas son las intersecciones de un plano proyectante con el plano del objeto, el plano de la foto y el plano del negativo.		X
2.3.5.	El sistema de ejes coordenados definido por los ejes fiduciales no es el único sistema posible de ser definido en la fotografía.		X
2.3.6.	Una definición de altura de vuelo relativa al terreno es: La diferencia entre la distancia que hay entre el centro óptico y el Datum y la cota.		X
2.3.7.	Cuando disminuye la base aérea aumenta el recubrimiento longitudinal.		X
2.3.8.	Son elementos geométricos de la foto vertical y de la foto inclinada, todos los que a continuación se enumeran: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nadir terrestre ▪ Puntos homólogos ▪ Líneas homólogas ▪ Puntos de exposición ▪ Planos proyectantes 	X	

2.3.9.	Fotogramétricamente hablando son puntos de foto control los puntos geodésicos y topográficos establecidos en el terreno.		X
2.3.10.	La relación entre una distancia en la foto vertical y su correspondiente en el terreno, para dos puntos de igual cota cumple la definición de escala.		X
2.3.11.	El isocentro es la intersección del plano de la foto con el plano principal.	X	
2.3.12.	Recta proyectante es toda recta que pasa por el isocentro de la foto.	X	
2.3.13.	El desplazamiento por relieve tiene dirección radial con centro en el isocentro de la foto.	X	
2.3.14.	La escala de una fotografía aérea vertical de terreno montañoso es mayor para las zonas más cercanas al nadir de la foto.	X	
2.3.15.	El sistema de ejes fiduciales es el sistema coordenado más importante definido en la fotografía aérea.	X	
2.3.16.	La línea de vuelo está definida por el plano de la foto y la línea principal.	X	
2.3.17.	El eje x fiducial, la línea de vuelo y la línea principal no pueden coincidir.	X	
2.3.18.	Líneas homólogas son la intersección de un plano proyectante con el eje óptico en el plano de referencia, el plano del objeto, el plano de la foto y el plano del negativo.	X	

ESCOGENCIA MÚLTIPLE:

2.3.19. El punto principal es:

- e. Intersección del eje principal con el DATUM.
- f. Intersección del eje óptico con el plano de la foto o del negativo.
- g. Intersección del eje principal con el plano de la foto o del negativo.
- h. Intersección del eje óptico con la dirección de la línea de vuelo.

2.3.20. De las siguientes afirmaciones es falsa:

- e. Uno de los determinantes de la escala es la altura de vuelo relativa al terreno.
- f. La presencia de grandes nubes no afecta la toma de fotografía con fines fotogramétricos.
- g. La dirección del vuelo depende de la configuración del terreno.
- h. La relación B/Z al aumentarse crece el valor de la paralaje.

2.3.21. Dos fotografías aéreas verticales de un terreno plano horizontal tienen la misma altura absoluta de vuelo y el mismo formato. Se concluye que presentan la siguiente característica.

- e. Tienen la misma escala.
- f. Tiene mayor escala el punto más cercano al nadir.
- g. Tiene menor escala el punto más cercano al nadir.
- h. Tienen el mismo campo angular.

2.3.22. Se define como plano proyectante:

- e. Todo plano perpendicular al terreno.
- f. Todo plano perpendicular al plano del objeto.
- g. Todo plano perpendicular al isocentro.
- h. Todo plano que pase por el centro óptico.

2.3.23. Altura de vuelo relativa al terreno:

- e. Se representa con la letra H .
- f. Distancia entre el isocentro y el plano del objetivo.
- g. Distancia entre el centro óptico y el plano del objeto.
- h. Distancia entre el avión y el plano de referencia.

2.3.24. Para la elaboración de un plano a determinada escala no debe tenerse en cuenta:

- e. Precisión altimétrica e intervalo entre curvas de nivel.
- f. Requerimientos de fotointerpretación.
- g. Tipo de cámara y avión.
- h. Techo del avión y el costo.

DEFINICIONES:

2.3.25. Se define estación de exposición como:

Punto del espacio ocupado por la cámara en momento de toma de foto.

2.3.26. Línea proyectante es:

Toda recta que pasa por el centro óptico (L).

2.3.27. Nadir del terreno es:

Intersección de la línea que sigue la dirección de la plomada ó de la vertical con el plano del objeto.

2.3.28. La escala promedia puede obtenerse de varias maneras, enúncielas:

El promedio de las escalas extremas ($E_{máx} - E_{mín}$).

Escala de la corta promedio de todos los puntos.

Promedio de la escala cada uno de los puntos.

ORDENAMIENTO LÓGICO SECUENCIAL:

2.3.29. Para medir distancias terrestres a una escala predeterminada se realiza la siguiente secuencia: (haga el ordenamiento lógico).

- f. Se hace corrección por relieve para cada punto determinando las proyecciones ortogonales en la fotografía.
- g. Se multiplica la distancia fotográfica por el módulo escalar previamente determinado.
- h. Predeterminar la escala a la que se van restituir los puntos.
- i. Se calcula la distancia entre puntos en la fotografía utilizando la fórmula analítica de distancia horizontal.
- j. Se calculan las escalas de los puntos entre los que se va a determinar la distancia terrestre.

Rta./. **c, e, a, d, b.**

APAREAMIENTO CUESTIONARIO:

2.3.30. Ejercicio de apareamiento:

g. A las imágenes de satélites tripulados corresponde: (24)	17. Según la escritura.
h. Se define eje óptico a: (20)	18. Según el tamaño.
i. El cono es: (13)	19. Parte de la cámara que contiene el chasis.
j. Recta proyectante: (16)	20. Toda recta que pasa por centro del negativo.
k. Las cámaras especiales están comprendidas en la clasificación: (21)	21. Parte más importante de la cámara.
l. Una definición de altura absoluta de vuelo: (30)	22. Distancia entre el plano del negativo y el plano de referencia.
m. Restituir una fotografía vertical: (25)	23. Mercury, Discovery Landsat.
n. La fotogrametría se clasifica en: (22)	24. Es transformarla en un plano, es decir en una figura parecida a la del terreno.
	25. Especial, aérea, terrestre.
	26. Al centro de la cámara.
	27. Toda recta que pasa por el centro de referencia.
	28. Parte de la cámara que contiene el obturador y el diafragma.
	29. Parte de la cámara que sirve de soporte al sistema de lentes.
	30. No topográfica, especial, aérea.
	31. Gemini, Tirrus, Discovery.
	32. Toda recta que pasa por el centro óptico.
	33. Distancia entre el centro óptico y el punto principal.
	34. Es transformarla en un mapa, es decir una figura parecida a la de terreno.
	35. Proyectante perpendicular al centro óptico.
	36. Proyectante perpendicular al plano de la película y que pasa por L.
	37. Según el uso.

	38. Aérea, terrestre no topográfica.
	39. Gemini, Skylab PIONER.
	40. Gemini, Skylab Discovery.
	41. Es transformarla en un mapa es decir en una figura semejante al terreno.
	42. Proyectante perpendicular al plano de referencia.
	43. Toda recta que pasa por el isocentro.
	44. Parte más importante del almacén de la cámara.
	45. Espacial, aérea y fotointerpretación.
	46. Distancia entre el centro óptico y el DATUM.
	47. Distancia entre el plano del negativo y el nivel de referencia.

PROBLEMAS:

2.3.31. De un vuelo fotogramétrico se conocen los siguientes datos: Escala de una fotografía para un plano situado 850 m sobre el DATUM = 1:15200. Distancia fotográfica entre dos puntos localizados en el plano mencionado = 5.32 cm. Determinar la distancia terrestre entre dichos puntos.

$$E_{850} = \frac{1}{15200} \quad E = \frac{d_{ab}}{DT_{ab}} \Rightarrow \frac{1}{15200} = \frac{53.2 \text{ mm}}{DT_{ab}}$$

$$d_{ab} = 53.2 \text{ mm} \quad DT_{ab} = 53.2 \text{ mm} \times 15200 = 808604 \text{ mm} = 808.604 \text{ m}$$

$$DT_{ab} = ? \quad DT_{ab} = 808.604 \text{ m}$$

2.3.32. De una fotografía aérea vertical y un mapa de la misma zona se conocen distancia en la foto entre dos puntos situados en un mismo nivel "V" del terreno = 40.3 mm. Distancia medida en el mapa entre los mismos dos puntos = 89.7 mm. Escala del mapa 1:20000. Calcular la escala de la fotografía para el nivel "V" del terreno.

$$df_v = 40.3 \text{ mm} \quad E_m = \frac{dm_v}{DT_v} \Rightarrow DT_v = dm_v \times Mm = 89.7 \text{ mm} \times 20000 = 1794000 \text{ mm}$$

$$dm_v = 89.7 \text{ mm} \quad DT_v = 1794 \text{ m}$$

$$E_{mv} = 1 : 20000$$

$$Ef_v = ? \quad Ef_v = \frac{df_v}{DT_v} = \frac{40.3 \text{ mm}}{1794000 \text{ mm}} = \frac{1}{44516.129} \approx \frac{1}{44516} = Ef_v$$

2.3.33. En una foto vertical un punto K tiene una escala de 1:11.800 y unas coordenadas $x = +21.6 \text{ mm}$, $y = -68.9$ es imagen de un punto del terreno que tiene una cota de 1680 metros. Otro punto W tiene una escala de 1:15.800 y unas coordenadas $x = +39.9 \text{ mm}$ y $y = +49.5 \text{ mm}$ es imagen de un punto W del terreno que tiene una cota de 1480 metros. Un tercer punto S de escala 1: 14.200 está en la posición $x = +56.8 \text{ mm}$, $y = -23.2 \text{ mm}$.

Calcule: La cota del tercer punto.

$$E_K = 1:11800 \quad E_K = \frac{f}{H - h_K} \Rightarrow \frac{1}{11800} = \frac{f}{H - 1680} \Rightarrow f = \frac{H - 1680}{11800}$$

$$x_K = +21.6 \text{ mm} \quad E_W = \frac{f}{H - h_W} \Rightarrow \frac{1}{15800} = \frac{f}{H - 1480} \Rightarrow f = \frac{H - 1480}{15800}$$

$$y_K = -68.9 \text{ mm} \quad \frac{H - 1680}{11800} = \frac{H - 1480}{15800}$$

$$h_K = 1680 \text{ m} \quad 15800 H - 11800 H = (15800 \times 1680) - (11800 \times 14800)$$

$$E_W = 1:15800 \quad f = \frac{H - 1680}{11800} = \frac{(2270 - 1680) \text{ m}}{11800} = \frac{590000 \text{ mm}}{11800} = 50 \text{ mm}$$

$$x_W = +39.9 \text{ mm} \quad E_S = \frac{f}{z_S} \Rightarrow \frac{1}{14200} = \frac{50 \text{ mm}}{z_S}$$

$$y_W = +49.5 \text{ mm} \quad z_S = 14200 \times 50 \text{ mm} = 710 \text{ m}$$

$$h_W = 1480 \text{ m} \quad H = z_S + h_S \Rightarrow h_S = H - z_S = (2270 - 710) \text{ m}$$

$$E_S = 1:14200 \quad h_S = 1560 \text{ m}$$

$$x_S = +56.8 \text{ mm}$$

$$y_S = -23.2 \text{ mm}$$

$$h_W = ?$$

2.3.34. De un vuelo fotogramétrico se conoce:

- Escala mínima = 1:37560
- Una distancia de 1500 m sobre el nivel medio del terreno aparece en la fotografía en una magnitud de 38.2 mm.
- Si esta línea estuviera sobre el nivel más alto en que magnitud aparecería en la foto.

$$E_{\min} = 1 : 37560$$

$$DT_m = 1500 \text{ m}$$

$$df_m = 38.2 \text{ mm}$$

$$df_a = ?$$

$$E_m = \frac{df_m}{DT_m} = \frac{38.2 \text{ mm}}{1500000 \text{ mm}} = \frac{1}{39267.016}$$

$$E_m = \frac{1}{2} (E_{\min} + E_{\max})$$

$$\frac{1}{39267.016} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{37560} + E_{\max} \right)$$

$$E_{\max} = \frac{2}{39267.016} - \frac{1}{37560} = \frac{1}{41136.579}$$

$$E_{\max} = \frac{df_a}{DT_a} \Rightarrow \frac{1}{41136.579} = \frac{df_a}{1500000 \text{ mm}}$$

$$\Rightarrow df_a = \frac{1500000}{41136.579} = 36.464 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow df_a = 36.464 \text{ mm}$$

2.3.35. De una fotografía aérea vertical y un mapa de la misma zona se conocen los siguientes datos:

- Una distancia en el terreno de 1650 m corresponde en el mapa a 42.5 mm.
- Un área medida en el mapa de 9.5 cm².

Corresponde en la fotografía a 72.35 cm² Determinar la escala de la fotografía para el nivel correspondiente al área medida.

$$E_{\text{mapa}} = \frac{df_m}{DT_m} = \frac{42.5 \text{ mm}}{1650000 \text{ mm}} = \frac{1}{38823.529}$$

$$DT_m = 1650 \text{ m}$$

$$df_m = 42.5 \text{ mm}$$

$$A_{\text{mapa}} = 9.5 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{foto}} = 72.35 \text{ cm}^2$$

$$E_f = ?$$

$$E_{\text{mapa}} = \sqrt{\frac{A_{\text{mapa}}}{A_T}} \Rightarrow \frac{1}{38823.529} = \sqrt{\frac{9.5 \text{ cm}^2}{A_T}}$$

$$A_T = \frac{9.5 \text{ cm}^2}{(38823.529)^2} = 1.431903083 \times 10^{10} \text{ cm}^2$$

$$E_f = \sqrt{\frac{A_f}{A_T}} = \sqrt{\frac{72.35 \text{ cm}^2}{1.431903083 \times 10^{10} \text{ cm}^2}} = \frac{1}{14068.168}$$

$$E_f = \frac{1}{14068.168}$$

2.3.36. De una fotografía aérea vertical se conocen los siguientes datos:

- Altura mínima de vuelo = 1600 m.
- Altura máxima de vuelo = 2650 m.

- Elevación media del terreno = 2500 m.
- Determinar la altura de vuelo sobre el nivel de referencia.

$$\begin{aligned}
 z_{\min} &= 1600 \text{ m} & z_m &= \frac{1}{2} (z_{\min} + z_{\max}) = \frac{1}{2} (1600 + 2650) \text{ m} = 2125 \text{ m} \\
 z_{\max} &= 2650 \text{ m} & H &= z_m + h_m = (2125 + 2500) \text{ m} = 4625 \text{ m} \\
 h_m &= 2500 & H &= 4625 \text{ m} \\
 H &=? & &
 \end{aligned}$$

2.3.37. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo se conocen los siguientes datos:

- Distancia principal = 91.2 mm.
- Distancia entre puntos principales de las fotos = 35.6 cm.
- Distancia entre puntos homólogos S'S'' = 26.3 cm.
- Diferencia de paralajes entre puntos "T" y "S" = -58.2 m.

Determinar la escala de la fotografía para un plano que pasa por el punto "S".

$$\Delta h = \left(\frac{\Delta p}{p} \right) \times Z_r; \quad p \times Z = B \times f; \quad E = \frac{f}{z}; \quad \Delta p = p - p_r$$

$$\begin{aligned}
 p_s &= v_1 v_2 - S'S'' = (356 + 263) \text{ mm} = 93 \text{ mm} \\
 \Delta p &= p_t + p_s \Rightarrow p_t = p_s + \Delta p = (93 - 4.12) \text{ mm} = 88.88 \text{ mm} \\
 f &= 91.2 \text{ mm} \\
 v_1 v_2 &= 356 \text{ mm} \\
 S'S'' &= 263 \text{ mm} \\
 \Delta p &= 4.12 \text{ mm} \\
 \Delta h &= -58.2 \text{ mm} \\
 E_s &=? \\
 z_s &= \frac{\Delta h \times p_t}{\Delta p} \\
 z_s &= \frac{-58.2 \text{ mm} \times 88.88 \text{ mm}}{-4.12 \text{ mm}} = 1255.538 \text{ m} \\
 E_s &= \frac{f}{z_s} = \frac{91.2 \text{ mm}}{1255538 \text{ mm}} = \frac{1}{13766.886} \approx \frac{1}{13767} \\
 E_s &\approx \frac{1}{13767}
 \end{aligned}$$

2.3.38. En una foto vertical un punto d tiene una escala 1:10800 y unas coordenadas x = 1.98 cm, y = -64.3 mm, es imagen de un punto del terreno que tiene una cota de 1680 m. Otro punto h tiene una escala de 1:2500 y unas coordenadas x = +38.5 mm, y = +46.3 mm imagen de

un punto H de cota 1395. Un tercer punto q de escala 1:11900 tiene coordenadas $x = +5.52 \text{ cm}$ y $y = -22.4 \text{ mm}$.

- Calcular cota del punto q.
- Calcular escala línea dh.

$E_d = 1:10800$	$x_d = +19.8 \text{ mm}$	$y_d = -64.3 \text{ mm}$	$h_d = 1680 \text{ m}$
$E_h = 1:12500$	$x_h = +38.5 \text{ mm}$	$y_h = +46.3 \text{ mm}$	$h_h = 1395 \text{ m}$
$E_q = 1:11900$	$x_q = +55.2 \text{ mm}$	$y_q = -22.4 \text{ mm}$	$h_q = ?$
			$E_{dh} = ?$

$$Z_d = \frac{f}{E_d} = f \times M_d = 10800f \quad Z_h = \frac{f}{E_h} = f \times M_h = 12500f$$

$$H = Z_d + h_d = Z_h + h_h \Rightarrow 10800f + 1680 = 12500f + 1395$$

$$10800f - 12500f = 1395 - 1680$$

$$f = \frac{285}{1700 \times 1000} = 167.65 \text{ mm}$$

$$Z_d = 10800f = 10800 \times 167.65 \text{ mm} = 1810620 \text{ mm} = 1810.62 \text{ m}$$

$$H = Z_d + h_d = (1810.62 + 1680) \text{ m} = 3490.62 \text{ m}$$

$$E_q = \frac{f}{H - h_q} \Rightarrow \frac{1}{11900} = \frac{167.65 \text{ mm}}{3490.62 - h_q}$$

$$3490.62 - h_q = (167.65 \times 11900) \text{ mm}$$

$$(3490.62 \times 1000 \text{ mm}) - (167.65 \times 11900) \text{ mm} = h_q$$

$$(3490620 - 1995035) \text{ mm} = h_q$$

$$1495585 \text{ mm} = h_q$$

$$h_q = 1495.585 \text{ mm}$$

$$X_d = x_d \times M_d = +19.8 \text{ mm} \times 10800 = +213.84 \text{ m}$$

$$Y_d = y_d \times M_d = -64.3 \text{ mm} \times 10800 = -694.44 \text{ m}$$

$$X_h = x_h \times M_h = +38.5 \text{ mm} \times 12500 = +481.25 \text{ m}$$

$$Y_h = y_h \times M_h = +46.3 \text{ mm} \times 12500 = +578.75 \text{ m}$$

$$E_{dh} = \frac{df_{dh}}{DT_{dh}}$$

$$df_{dh} = \sqrt{(x_h - x_d)^2 + (y_h - y_d)^2} = \sqrt{(38.5 - 19.8)^2 + (46.3 + 64.3)^2} = 112.17 \text{ mm}$$

$$DT_{dh} = \sqrt{(X_h - X_d)^2 + (Y_h - Y_d)^2} = \sqrt{(481.25 - 213.84)^2 + (578.75 + 694.44)^2} = 1300.964 \text{ m}$$

$$E_{dh} = \frac{df_{dh}}{DT_{dh}} = \frac{112.17 \text{ mm}}{1300964 \text{ mm}} = \frac{1}{11598.19} \approx \frac{1}{11598}$$

$$E_{dh} = \frac{1}{11598.19} \approx \frac{1}{11598}$$

7.3. SOLUCIONARIO CAPÍTULO 3.

PREGUNTAS FALSO O VERDADERO:

Item		F	V
3.6.1.	El desplazamiento por relieve presenta la siguiente característica el directamente proporcional a la altura de vuelo relativa al punto restituído e inversamente proporcional a la diferencia de cotas.	X	
3.6.2.	La foto es una proyección central y por tanto puede presentar deformación en las distancias.		X
3.6.3.	El desplazamiento por relieve tiene dirección radial con centro en el centro de la foto inclinada.	X	
3.6.4.	El ángulo medido en una foto no es diferente a su homólogo en el terreno.	X	

ESCOGENCIA MÚLTIPLE

3.6.9. Se define proyección central como:

- e. Aquella en la cual no se presenta deformación de los ángulos.
- f. Aquella en la cual no se presenta deformación en las distancias.
- g. Aquella en la cual todos los rayos proyectantes pasan por un punto común.
- h. Aquella en la cual todos los rayos proyectantes son perpendiculares al plano de proyección.

3.6.10. En el desplazamiento por relieve de una foto vertical se cumple:

- e. Es inversamente proporcional a la altura de vuelo sobre el plano de referencia asumido.
- f. Es inversamente proporcional a la altura de vuelo sobre el plano del terreno.
- g. Es inversamente proporcional a la distancia medida en la fotografía, entre el punto considerado y el isocentro.
- h. Es directamente proporcional a la distancia medida en la fotografía, entre el punto considerado y el punto.

3.6.11. Se define proyección central como:

- e. Aquella en la cual todos los planos proyectantes son perpendiculares al plano del objeto.
- f. Aquella en la cual todas las líneas proyectantes son perpendiculares al plano del objeto.
- g. Aquella en la cual todas las líneas proyectantes pasan por un punto común.
- h. Aquella en la cual no se presenta deformación en las distancias.

3.6.12. En el desplazamiento por relieve de una foto vertical se cumple:

- d. Es inversamente proporcional a la altura de vuelo sobre el plano de referencia asumido.
- e. Es inversamente proporcional a la altura de vuelo sobre el plano del terreno.
- f. Es inversamente proporcional a la distancia medida en la fotografía, entre el punto considerado y el isocentro.

ORDENAMIENTO LÓGICO SECUENCIAL

3.6.9. Realice el ordenamiento lógico para la secuencia siguiente:

Para medir el área de un lote de terreno luego de graficado el lote por el método de intersección directa se procede:

- k. Se determina la línea de vuelo en cada foto.
- l. Se divide el polígono obtenido en triángulos.
- m. Se coalinean los centros de fotos garantizando la distancia entre los centros que corresponde a la escala predeterminada.
- n. Se miden los lados de todos los triángulos obtenidos.
- o. Se fugan líneas radiales que unen los centros de cada foto y el respectivo punto homólogo hasta que se intercepten dichas líneas radiales.
- p. Se define la escala a la que se va a realizar el plano.
- q. Se calcula el área por el método del semiperímetro.
- r. Se localizan los puntos vértices de lindero, en las fotografías consecutivas recubiertas.
- s. Se calcula la distancia de separación entre los centros de las fotos que corresponda a la escala predeterminada.
- t. Se unen los puntos trasladados (triangulados) obteniéndose el dibujo a la escala predeterminada.

- Rta./* 1). *h, f, i, a, c, e, j, b, d, g.*
 2). *f, i, a, c, h, e, j, b, d, g.*

3.6.10. Para medir un área por el método de triangulación radical numérico debe cumplirse la siguiente secuencia lógica en el proceso. Ordénala correctamente.

- h. Determinar parámetro p y proyección y_{iv} .
- i. Definir sistema coordenado donde línea de vuelo se define como eje x y la normal por el centro como eje y .
- j. Calcular área por método de las dobles ordenadas.
- k. Determinar proyecciones terrestres utilizando parámetros p e y_{iv} .
- l. Determinar los vértices del terreno a medir.
- m. Medir coordenadas fotográficas en las dos fotos, para cada uno de los puntos.
- n. Determinar línea de vuelo en cada foto.

Rta./ *e, g, b, f, a, d, c* \neq *g, b, e, f, a, d, c.*

PROBLEMAS:

3.6.11. De una fotografía aérea vertical se conocen los siguientes datos: Distancia en la fotografía entre el punto nadiral y un punto "r" = 2.02 cm. Altura de vuelo relativa a un punto "S" = 1480 m. Desplazamiento debido al relieve del punto "R" con relación al plano que pasa por "S" = +5.8 mm. Determine la altura de vuelo sobre el punto -"R".

$$\begin{aligned}
 r_r &= 20.2 \text{ mm} & \Delta r &= r_r - r_s \Rightarrow r_s = r_r - \Delta r = 20 \text{ mm} - 5.8 \text{ mm} = 14.4 \text{ mm} \\
 z_s &= 1480 \text{ m} & \frac{r_s}{r_r} &= \frac{z_r}{z_s} \Rightarrow z_r = \frac{r_s \times z_s}{r_r} = \frac{14.4 \text{ mm} \times 1480 \text{ m}}{20.2 \text{ mm}} = 1055.05 \text{ m} \\
 \Delta r &= +5.8 \text{ mm} & & \\
 z_r &= ? & z_r &= 1055.05 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.6.17. En una fotografía vertical tomada con una cámara de 151.98 mm de distancia entre el centro óptico y el plano del negativo, se determina un punto W de coordenadas $x_w = 4.12$ cm, $y_w = -2.84$ cm. Su punto homólogo en el plano del objeto tiene una elevación sobre el Datum de 1605 m. Si la altura a la que volaba el avión era de 3340 m sobre el nivel de referencia, restituya el punto a una escala de 1:10000 (encontrar coordenadas restituidas).

$$\begin{aligned}
 f &= 151.98 \text{ mm} & E_w &= \frac{f}{H-h} = \frac{151.28 \text{ mm}}{(3340-1605) \times 1000} = \frac{1}{11415.976} \\
 x_w &= +41.2 \text{ mm} \\
 y_w &= -28.4 \text{ mm} & \frac{x'}{x} &= \frac{E'}{E} = \frac{M}{M'} \\
 h_w &= 1605 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.6.18. La parte recta de una pista de automovilismo mide 2300 m y en una fotografía su imagen mide 23 cm. La altura sobre el Datum es de 900 m. Determínese la escala en una fotografía para una meseta situada 1200 m más arriba del nivel de la pista, la cámara con la que se tomó la fotografía tiene una distancia focal de 152.23 mm.

$$\begin{aligned}
 E_p &= \frac{df_p}{DT_p} = \frac{230 \text{ mm}}{2300000 \text{ mm}} = \frac{1}{10000} \\
 DT_p &= 2300 \text{ m} \\
 df_p &= 230 \text{ mm} \\
 h_p &= 900 \text{ m} & H - 900000 \text{ mm} &= 1522300 \text{ mm} \\
 h_m &= h_p + 1200 \text{ m} & H &= 1522300 \text{ mm} + 900000 \text{ mm} \\
 h_m &= 2100 \text{ m} & H &= 2422.3 \text{ m} \\
 f &= 152.23 \text{ mm} \\
 E_m &= ? & E_m &= \frac{f}{H-h} = \frac{152.23 \text{ mm}}{(2422.3-2100) \times 10000} = \frac{152.23 \text{ mm}}{322300 \text{ mm}} \\
 & & E_m &= \frac{1}{2117.191} \approx \frac{1}{2117}
 \end{aligned}$$

3.6.19. De una fotografía aérea vertical se conocen los siguientes datos: Distancia en la fotografía entre el punto nadir y la esquina inferior de un edificio = 8.32 cm. Distancia en la fotografía entre la esquina inferior y la correspondiente superior del edificio = 3.7 mm. Altura de vuelo sobre la parte inferior del edificio = 2650 m. Calcular la altura del edificio.

$$\begin{aligned}
 r_i &= 83.2 \text{ mm} & \Delta r_{is} &= r_s - r_i \Rightarrow r_s = r_i + \Delta r = (83.2 - 3.7) \text{ mm} = 86.9 \text{ mm} \\
 \Delta r_{is} &= +3.7 \text{ mm} \\
 z_i &= 2650 \text{ m} & \Delta h &= \frac{\Delta r \times z_i}{r_s} = \frac{+3.7 \text{ mm} \times 2650 \text{ m}}{86.9 \text{ mm}} = 112.83 \text{ m} \\
 \Delta h &= ? & \Delta h &= 112.83 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.6.20. De una fotografía aérea vertical se conoce:

- Distancia en la fotografía entre el punto nadir y la esquina inferior de un edificio = 115.2 cm.
- Distancia en la fotografía entre la esquina inferior y la correspondiente superior del edificio = +9.8 mm.
- Altura del edificio = 60 m.

Determinar la altura de vuelo sobre la base del edificio.

$$r_i = 115.2 \text{ mm} \quad \Delta r = r_s \times \frac{\Delta h}{z_i}$$

$$\Delta r = +9.8 \text{ mm} \quad \Delta r = r_s - r_i \Rightarrow r_s = r_i + \Delta r = (115.2 + 9.8) \text{ mm} = 125.0 \text{ mm}$$

$$\Delta h = 60 \text{ m} \quad z_i = \frac{r_s \times \Delta h}{\Delta r} = \frac{125.0 \text{ mm} \times 60 \text{ m}}{+9.8 \text{ mm}} = 765.061 \text{ m}$$

$$z_i = ? \quad z_i = 765.061 \text{ m}$$

3.6.21. De una fotografía aérea vertical se conocen los siguientes datos:

- Altura del edificio 80 m.
- Distancia en la fotografía entre la parte superior y la inferior del edificio = 3.1 mm
- Distancia en el terreno entre el punto nadir y la esquina del edificio = 3200 m.
- Altura de vuelo sobre la base del edificio = 2720 m.

Calcular la escala para el plano que pasa por la base del edificio.

$$\Delta r = r \times \frac{\Delta h}{Z}; \quad E = \frac{df}{DT} = \frac{f}{Z}$$

$$\Delta h_{r_T r_b} = 80 \text{ m}$$

$$\Delta r = 3.1 \text{ mm}$$

$$Z_b = 2720 \text{ m}$$

$$R_b = 3200 \text{ m}$$

$$E = ?$$

$$\Delta r = r_T \times \frac{\Delta h}{Z_b} \Rightarrow r_T = \frac{\Delta r \times Z_b}{\Delta h}$$

$$r_T = \frac{3.1 \text{ mm} \times 2720 \text{ m}}{80 \text{ m}} = 105.4 \text{ mm}$$

$$\Delta r = r_T - r_b \Rightarrow r_b = r_T - \Delta r$$

$$r_b = (105.4 - 3.1) \text{ mm} = 102.3 \text{ mm}$$

$$E = \frac{r_b}{R_b} = \frac{102.3 \text{ mm}}{3200 \times 1000 \text{ mm}} = \frac{1}{31280.547} \approx \frac{1}{31281}$$

$$E = \frac{1}{31280.547} \approx \frac{1}{31281}$$

7.4. SOLUCIONARIO CAPÍTULO 4.

FALSO O VERDADERO

Item		F	V
4.8.1.	El ángulo paralático es aquel que se forma cuando miramos dos objetivos desde el mismo punto.	X	
4.8.2.	La barra de paralaje mide la paralaje entre puntos de la fotografía.	X	
4.8.3.	El ángulo paralático es aquel que se forma cuando los ejes de los ojos miran el mismo objeto desde dos puntos distintos.	X	
4.8.4.	La lectura con la cuña de paralaje es obtenida como distancia entre puntos homólogos al tocar los lados de la cuña de paralaje.		X
4.8.5.	La barra de paralaje mide la paralaje entre puntos de la fotografía.	X	
4.8.6.	La disminución en la relación B/Z decrece el valor de la paralaje estereoscópica.		X
4.8.7.	Considerando el teorema fundamental de la altimetría la relación de escala puede expresarse como $E = p/B$.		X
4.8.8.	A menor paralaje menor cota.		X
4.8.9.	La condición para que un par de fotos aéreas del mismo objeto, puedan ser observadas por un estereoscopio es la de que las escalas de las dos fotografías debe ser aproximadamente la misma.		X
4.8.10.	La exageración estereoscópica afecta la medida de diferencias de elevación.	X	
4.8.11	La lectura con la cuña de paralaje representa la distancia entre puntos homólogos.		X
4.8.12.	La barra de paralaje mide la elevación de un punto en el		

	terreno.	X	
4.8.13.	Considerando el teorema fundamental de la altimetría la relación de escala puede expresarse como: $E = B/P$.	X	
4.8.14.	A menor lectura de cuña de paralaje mayor profundidad de los elementos observados.	X	
4.8.15.	La barra de paralaje permite cuantificar la exageración estereoscópica.	X	
4.8.16.	El estereoscopio de aproximación relativa es una clase de estereoscopio.	X	

ESCOGENCIA MÚLTIPLE:

4.8.17. En un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales, se conoce que la distancia entre los puntos homólogos $q'q''$ es menor que entre $t't''$ se concluye lo siguiente:

- d. La paralaje estereoscópica del punto “Q” es menor que la del punto “T”.
- e. La lectura con la cuña de paralaje en el punto “Q” es mayor que la de T”.
- f. La diferencia de paralajes entre los puntos “Q” y “T” es un valor negativo.

4.8.18. En un par de fotografías aéreas, se conoce que la distancia entre los puntos homólogos $n'n''$ es menor que la distancia entre los puntos homólogos $r'r''$ se concluye:

- e. La elevación del punto “N” es menor que la “R”.
- f. La diferencia de paralajes entre los puntos “N” y “R” dada por la siguiente ecuación $\Delta P = pr - pn$, es un valor negativo.
- g. La lectura con la cuña de paralaje en el punto “N” es mayor que la de “R”.
- h. La paralaje estereoscópica del punto “N” es menor que la de “R”.

4.8.19. La paralaje estereoscópica de un punto es función del siguiente parámetro:

- e. Tamaño del formato.
- f. La base aérea.
- g. Elevación del DATUM adoptado.
- h. Distancia en el plano del objeto entre el punto considerado y los puntos principales.

4.8.20. La exageración estereoscópica afecta:

- e. La medida de pendientes.
- f. La estimación de las pendientes.
- g. La variabilidad de las pendientes.
- h. La distancia entre pendientes.

4.8.21. Al utilizar la fórmula de paralaje, en la práctica, la principal causa de error en el resultado obtenido, es:

- e. La exageración estereoscópica.
- f. La diferencia entre las dos alturas absolutas de vuelo del par estereoscópico.
- g. El campo angular de la lente.
- h. El desplazamiento por relieve.

4.8.22. Para poder estimar o medir la distancia relativa de los objetos en profundidad se requieren dos factores fundamentales.

- e. Perspectiva y convergencia absoluta de los ejes ópticos al observar objetos a distancias variables.
- f. Tener en cuenta la doble imagen y la perspectiva.
- g. La doble imagen y la convergencia absoluta de los ejes ópticos al observar objetos a distancia variables.
- h. La doble imagen y la convergencia relativa de los ejes ópticos al observar objeto a distancia variable.

4.8.23. La paralaje estereoscópica de un punto es función del siguiente parámetro:

- e. Elevación del plano de referencia adoptado.
- f. Tamaño del formato.

- g. Distancia en el terreno entre el punto considerado y los puntos principales.
- h. La base en el aire.

4.8.24. Qué condición se requiere para poder observar correctamente en tercera dimensión un par estereoscópico de fotografía aéreas?

- e. Siempre será necesario hacer la observación con los ejes de los ojos paralelos.
- f. Siempre se debe hacer la observación con un estereoscopio.
- g. Siempre será necesario hacer la observación con los ejes de los ojos convergentes.
- h. El par de fotografías deben tener la misma posición relativa que tuvieron en la exposición.

DEFINICIONES

4.8.25. Son tipos de estereoscopios los siguientes:

- e. De lentes o de bolsillo
- f. De puente
- g. De lentes Zoom
- h. De lentes con espejos

4.8.26. Los factores fundamentales que permiten estimar o medir la distancia relativa de los objetos en profundidad son:

- c. La doble imagen.
- d. La convergencia relativa de los ejes ópticos de los dos ojos al observar distancias variables.

4.8.27. Defina que es estereoscopia:

Fenómeno natural que tiene lugar cuando una persona mira simultáneamente dos imágenes de la misma figura tomadas desde puntos distintos.

4.8.28. Enuncie los pasos para determinar la cota de puntos a partir de una cota conocida (h_r):

- e. Determine las paralajes de todos los puntos y xxxxxxxx la del punto de referencia.
- f. Calcule $\Delta p = p - p_r = l - l_r$.
- g. Calcule $\Delta h = (\Delta p/p) \times z_r$
- h. Calcule $h = h_r + \Delta h$

4.8.29. Para determinar la paralaje con la escala milimétrica se requieren los siguientes pasos luego de colocadas las fotos para ver estereoscópicamente.

- g. Medir distancia entre centros ($v_1 v_2$)
- h. Medir distancia entre puntos homólogos ($p' p''$)
- i. Calcular $p = v_1 v_2 - p' p''$
- j. Definir sistema de coordenadas fotográficas.
- k. Medir x', x'' .
- l. Calcular $p = x' - x''$

4.8.30. Los pasos para calcular la cota de un punto conocidos B y H son:

- a. Determinar la paralaje.
- b. Calcular $z = (B * t)/p$.
- c. $h = H - Z$.

4.8.31. Para determinar la paralaje con la barra de paralaje se requieren los siguientes pasos luego de colocadas las fotos para ver estereoscópicamente.

- a. Tomar lectura incluida la del punto de referencia.
- b. Calcular: $\Delta p = \Delta l = l - l_r$.
- c. Calcular $p = p_r + \Delta p$.

4.8.32. Enumere 3 formas de expresar la paralaje estereoscópicas (defina las literales utilizadas en las fórmulas).

- a. $p = x' - x''$ $x' =$ abscisa en foto izquierda $x'' =$ abscisa en foto derecha
- b. $p = v_1 v_2 - p' p''$ $v_1 v_2 =$ distancia entre centros de fotos $p' p'' =$ distancia entre puntos homólogos

- c. $p = (B * f)/z$ B = base aérea f = distancia focal z = altura de vuelo
relativa al terreno
-

4.8.33. Enuncie los pasos para organizar las fotos con el fin de utilizar el estereoscopio de lentes y espejos.

- Determinar la línea en cada foto.
- Determinar la distancia de visión estereoscópica.
- Coalignar la línea de vuelo a la distancia de visión estereoscópica.
- Observar la zona requerida estereoscópicamente.

4.8.34. Enumere los pasos para calibrar la barra de paralaje

- Definir línea a distancia de visión estereoscópica
- Regla milimétrica en 20, tambor en cero.
- Marca flotante derecha en extremo derecho de línea a distancia de visión estereoscópica.
- Aflojar tornillo izquierdo de la barra de paralaje y llevar marca flotante de la izquierda al extremo izquierdo de la línea a distancia de visión estereoscópica.
- Apretar tornillo izquierdo de la barra de paralaje.

PROBLEMAS

4.8.35. De un par estereoscópico de fotos aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo se conoce:

- Distancia focal = 215 mm.
 - Escala para el punto "D" = 1:15000.
 - Paralaje estereoscópica del punto "D" = 11.3 cm.
 - Diferencia de paralaje entre puntos "B" y "D" = +3.5 mm.
- Calcule la diferencia de elevación entre los puntos "B" y "D".

$$E_S = \frac{f}{z_s} \Rightarrow Z_D = f \times M_D = Z_D = 215 \text{ mm} \times 15000$$

$$f = 215 \text{ mm} \quad Z_D = 3225000 \text{ mm} = 32225 \text{ m} = Z_D$$

$$E_D = 1:15000$$

$$\Delta p = p_B - p_D \Rightarrow p_B = p_D + \Delta p = (113 + 3.5) \text{ mm}$$

$$p_d = 113 \text{ mm} \quad p_B = 116.5 \text{ mm}$$

$$\Delta p = +3.5 \text{ mm}$$

$$\Delta h = ? \quad \Delta h = \frac{\Delta p}{p_B} \times z_D = \frac{+3.5 \text{ mm}}{116.5 \text{ mm}} \times 32225 \text{ m} = 96.89 \text{ m}$$

$$\Delta h = 96.89 \text{ m}$$

4.8.44. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo se conoce:

- Diferencia de elevación entre los puntos “J” y “K” = 210 m.
 - Paralaje estereoscópica del punto “K” = 7.1 cm.
 - Diferencia de paralajes entre los puntos “J” y “K” = +2.6 mm
- Calcular la altura de vuelo sobre el punto “K”.

$$\Delta h = \left(\frac{\Delta p}{p} \right) \times Z_r; \quad p \times Z = B \times f; \quad E = \frac{f}{z}; \quad \Delta p = p - p_r$$

$$\Delta h_{kj} = 210 \text{ mm} \quad \Delta p = p_j - p_k$$

$$p_k = 71 \text{ mm} \quad p_j = p_k - \Delta p = (71 + 2.6) \text{ mm} = 68.4 \text{ mm}$$

$$\Delta p = +2.6 \text{ mm} \quad \Delta h = \frac{\Delta p}{p_j} \times Z_k \Rightarrow Z_k = \frac{p_j \times \Delta h}{\Delta p}$$

$$Z_k = ? \quad Z_k = \frac{68.4 \text{ mm} \times 210 \text{ m}}{+2.6 \text{ mm}} = 5524.62 \text{ m} \approx 5525 \text{ m}$$

$$Z_k = 5524.62 \text{ m} \approx 5525 \text{ m}$$

4.8.45. De un par estereoscópico de fotos aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo, se tiene:

- Altura de vuelo sobre el punto “M” = 3468 m.
- Paralaje estereoscópica del punto “A” = 8.7 cm.
- Distancia entre centro óptico y plano de la foto = 14.68 cm.

$$Z_m = 3468 \text{ m}$$

$$p_m = 87 \text{ mm}$$

$$f = 146.8 \text{ mm}$$

$$B = ?$$

$$p \times Z = B \times f$$

$$B = \frac{p \times Z}{f} = \frac{87 \text{ mm} \times 3468 \text{ m}}{146.8 \text{ mm}} = 2055.29 \text{ m}$$

$$B = 2055.29 \text{ m}$$

4.8.46. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo, se conocen los siguientes datos:

- Altura de vuelo sobre un punto "R" = 2120 m.
 - Distancia entre los puntos principales de las fotografías correctamente orientadas = 33.5 cm.
 - Distancia entre los puntos homólogos (r' r'') = 25.5 cm.
 - Diferencia de paralajes entre los puntos "Q" y "R" = 4.45 mm.
- Cuál es la diferencia de elevación entre los puntos "Q" y "R"?

$$Z_r = 2120 \text{ m}$$

$$v_1 v_2 = 325 \text{ mm}$$

$$r' r'' = 255 \text{ mm}$$

$$\Delta p = 4.45 \text{ mm}$$

$$\Delta h = ?$$

$$p_r = v_1 v_2 - r' r'' = (335 - 255) \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

$$\Delta p = p_q - p_r \Rightarrow p_q = \Delta p + p_r = (4.45 + 80.0) \text{ mm} = 84.45 \text{ mm}$$

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{p_q} \times z_r$$

$$\Delta h = \frac{4.45 \text{ mm}}{84.45 \text{ mm}} \times 2120 \text{ m} = 111.711 \text{ m}$$

$$\Delta h = 111.711 \text{ m}$$

4.8.47. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con a misma altura absoluta de vuelo, se conocen los siguientes datos:

- Lectura con la barra de paralaje en el punto "Q" = 28.05 mm.
 - Distancia entre los puntos homólogos (r' r'') = 25.3 cm.
 - Distancia entre los puntos homólogos (q' q'') = 25.7 cm.
- Que lectura con la barra de paralaje se haría en el punto "R"?

$$\begin{aligned}
p_r &= v_1 v_2 - r' r'' \\
p_q &= v_1 v_2 - q' q'' \\
\Delta p &= p_q - p_r \\
l_q &= 28.05 \text{ mm} & \Delta p &= v_1 v_2 - q' q'' - v_1 v_2 + r' r'' \\
r' r'' &= 253 \text{ mm} & \Delta p &= r' r'' - q' q'' \\
q' q'' &= 257 \text{ mm} & &= (253 - 257) \text{ mm} = -4 \text{ mm} \\
l_r &= ? & \Delta p &= \Delta l = l_q - l_r \\
& & l_r &= l_q + \Delta l \\
& & l_r &= (28.05 + 4) \text{ mm} = 32.05 \text{ mm} \\
& & l_r &= 32.05 \text{ mm}
\end{aligned}$$

4.8.48. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo, se conocen los siguientes datos:

- Paralaje estereoscópico del punto “V” = 8.2 cm.
 - Paralaje estereoscópica del punto “X” = 9.5 cm.
 - Lectura con barra de paralaje en el punto “V” = 21.45 mm.
- Que lectura se haría con la barra de paralaje en el punto “X”?

$$\begin{array}{lll}
p_v = 82 \text{ mm} & \Delta p = p_v - p_x & \Delta p = p_x - p_v \\
& = (82 - 95) \text{ mm} = -13 \text{ mm} & = (95 - 82) \text{ mm} = 13 \text{ mm} \\
p_x = 95 \text{ mm} & \Delta p = \Delta l = l_v - l_x & \Delta p = \Delta l = l_x - l_v \\
l_v = 21.45 \text{ mm} & \therefore l_x = l_v - \Delta l & \therefore l_x = \Delta l + l_v \\
l_x = ? & l_x = (21.45 - (-13)) \text{ mm} & l_x = (13 + 21.45) \text{ mm} \\
& l_x = 34.45 \text{ mm} & l_x = 34.45 \text{ mm}
\end{array}$$

4.8.49. Un punto D tiene una paralaje de 83.4 mm y una cota de 1550 m. Otro punto G tiene una paralaje de 87.2 mm y una cota de 1650 m. Calcular la cota de un punto N que tiene una paralaje de 81.8 mm.

$$p_d = 83.4 \text{ mm}$$

$$h_d = 1550 \text{ m}$$

$$p_g = 87.2 \text{ mm}$$

$$h_g = 1650 \text{ m}$$

$$p_n = 81.8 \text{ mm}$$

$$h_n = ?$$

$$\Delta p = p_n - p_d = (81.8 - 83.4) \text{ mm} = -1.6 \text{ mm}$$

$$\Delta p = p_n - p_g = (81.8 - 87.2) \text{ mm} = -5.4 \text{ mm}$$

$$\Delta h_{n-d} = \frac{\Delta p}{p_n} \times Z_d = \frac{-1.6 \text{ mm}}{81.8 \text{ mm}} \times (H - 1550) = -0.0195599 (H - 1550) \text{ m}$$

$$\Delta h_{n-g} = \frac{\Delta p}{p_n} \times Z_g = \frac{-5.4 \text{ mm}}{81.8 \text{ mm}} \times (H - 1650) = -0.0660147 (H - 1650) \text{ m}$$

$$h_n = h_d + \Delta h = h_g + \Delta h$$

$$= 1550 \text{ m} + (-0.0195599 (H - 1550) \text{ m}) = 1650 \text{ m} + (-0.0660147 (H - 1650) \text{ m})$$

$$= 1550 \text{ m} + 30.318 \text{ m} - 1650 \text{ m} - 108.924 \text{ m} = (-0.0195599 - 0.0660147) H$$

$$-178.606 \text{ m} = -0.0464548 H$$

$$H = \frac{-178.606 \text{ m}}{-0.0464548} = 3844.727 \text{ m}$$

$$\Delta h_{n-d} = -0.0195599 (H - 1550) \text{ m} = -0.0195599 (3844.727 - 1550) \text{ m} = -44.885 \text{ m}$$

$$h_n = 1550 - 44.885 = 1505.115 \text{ m} \Rightarrow h_n = 1505.115 \text{ m}$$

Chequeo

$$\Delta h_{n-g} = -0.0660147 (3844.727 - 1650) \text{ m} = -144.885 \text{ m}$$

$$h_n = 1650 - 144.885 = 1505.115 \text{ m} \Rightarrow h_n = 1505.115 \text{ m}$$

4.8.50. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con la misma altura absoluta de vuelo, se conocen los siguientes datos:

- Distancia principal = 150 mm.
 - Sobre un plano que pasa por el punto "R" se midió una distancia en el terreno de 360 m que en la fotografía aparece en una magnitud de 9 mm.
 - Diferencia de paralaje entre los puntos "Q" y "R" = 1.65 mm.
 - Diferencia de elevación entre los puntos "Q" y "R" = 96 m.
- Cuál será la paralaje estereoscópica en el "R"?

$$\begin{aligned}
 f &= 150 \text{ mm} & E &= \frac{df_r}{DT_r} = \frac{9 \text{ mm}}{360000 \text{ mm}} = \frac{1}{40000} \\
 df_r &= 9 \text{ mm} \\
 DT_r &= 360000 \text{ mm} & E_s &= \frac{f}{Z_r} \Rightarrow Z_r = f \times M_r \\
 \Delta p &= 1.65 \text{ mm} \\
 \Delta h &= 96 \text{ mm} & Z_r &= 150 \text{ mm} \times 40000 \\
 p_r &=? & Z_r &= 6000000 \text{ mm} = 6000 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta h &= \frac{\Delta p}{p_q} \times Z_r \Rightarrow p_q = \frac{\Delta p}{\Delta h} \times Z_r \\
 p_q &= \frac{1.65 \text{ mm}}{96 \text{ mm}} \times 6000 \text{ m} = 103.125 \text{ mm} \\
 \Delta p &= p_q - p_r \Rightarrow p_r = p_q - \Delta p = (103.125 - 1.65) \text{ mm} = 101.475 \text{ mm} \\
 p_r &= 101.475 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.8.51. De un par estereoscópico de fotografías aéreas verticales con igual altura de vuelo, se conoce:

- Altura de vuelo sobre el punto “J” = 2425 m.
 - Distancia entre los puntos principales de las fotografías correctamente orientadas = 34.8 cm.
 - Distancia entre los puntos homólogos j' j'' = 26.4 cm.
 - Diferencia de paralaje entre los puntos “S” y ”J” = +5.02 mm
- Calcule la diferencia de elevación entre “S” y “J”

$$\begin{aligned}
 Z_j &= 2425 \text{ m} & p_j &= v_1 v_2 - j' j'' = (348 - 264) \text{ mm} = 84 \text{ mm} \\
 v_1 v_2 &= 348 \text{ mm} & \Delta p &= p_s - p_j \Rightarrow p_s = \Delta p + p_j = (5.02 + 84.0) \text{ mm} = 89.02 \text{ mm} \\
 j' j'' &= 264 \text{ mm} & \Delta h &= \frac{\Delta p}{p_s} \times Z_j \\
 \Delta p &= +5.02 \text{ mm} \\
 \Delta h &=? & \Delta h &= \frac{+5.02 \text{ mm}}{89.02 \text{ mm}} \times 2425 \text{ m} = 136.75 \text{ m} \\
 & & \Delta h &= 136.75 \text{ m}
 \end{aligned}$$

7.5. SOLUCIONARIO CAPÍTULO 5.

FALSO O VERDADERO

Item		F	V
5.10.1.	La fotogrametría digital se define como: la tecnología aplicada basada en la medición sobre imágenes digitales, en dos dimensiones, permite obtener información geométrica, semántica o radiométrica del terreno.		X
5.10.2.	La fotogrametría analítica no permite resultados de gran precisión, solo analiza detalles cualitativos de los elementos del terreno.	X	
5.10.3.	La teledetección es una práctica que permite la identificación, clasificación y estudio del terreno a partir del análisis de imágenes digitales obtenidas por sensores terrestres.	X	
5.10.4.	El manejo de imágenes digitales recoge el conjunto de técnicas que permiten el procesamiento de datos digitales, su interpretación y análisis.		X
5.10.5.	Los sistemas de información geográfica solo operan desde fuentes que generan ortoimágenes.	X	
5.10.6.	Una de las ventajas de la fotogrametría digital es que es una técnica muy reciente e inmadura lo que permite su desarrollo.	X	
5.10.7.	Una de las desventajas de la fotogrametría digital es que ésta permite el tratamiento de las imágenes (variaciones en brillo y contraste), lo que conlleva la presentación de falsos resultados.	X	
5.10.8.	La fotogrametría digital genera planos topográficos sin pérdida de detalles y gran precisión.		X
5.10.9.	La polarización con gafas activas se da cuando las imágenes son mostradas en la pantalla de forma alternativa y un modulador de cristal proporciona polarización variable	X	

	de imágenes para cada ojo.		
5.10.10.	La adquisición de imágenes digitales en forma indirecta está dada por la digitalización de imágenes utilizando escáneres fotogramétricos.	X	
5.10.11.	Los sensores tipo SOLRA STATE son una combinación de parte óptica semejante a la de los sistemas fotográficos y un sistema de detección electrónica.	X	
5.10.12.	La calibración correcta de una fotografía patronada depende de: calidad de la lente, el desplazamiento de la imagen, el desplazamiento angular, la definición de la película y la calidad de la película emulsionada.		X
5.10.13.	Según la fuente de emisión energética los sensores se clasifican en: analógicos y digitales.	X	
5.10.14.	Respuesta espectral: es la denominación de la señal de salida para un flujo de una determinada longitud de onda.		X
5.10.15.	La respuesta espectral depende de la estructura del fotoelemento y del tipo de ruido.	X	
5.10.16.	El ruido se clasifica en: ruido fotónico y ruido del circuito.		X
5.10.17.	Los sistemas SIG VECTORIALES, para la descripción de objetos geográficos utilizan vectores definidos con pares de coordenadas relativas a algún sistema cartográfico.		X
5.10.18.	Los SIG RASTER basan su funcionalidad en la concepción implícita de las relaciones de vecindad entre objetos geográficos.		X
5.10.19.	Los sistemas SIG ORIENTADOS A OBJETOS estructuran su información mediante capas, orientadas que luego transfieren a los elementos geográficos vecinos.	X	

DEFINICIONES

5.10.42. La fotogrametría digital se relaciona con las siguientes disciplinas y áreas del conocimiento:

6. Fotogrametría analítica
7. Fotogrametría terrestre
8. Teledetección
9. Manejo de imágenes digitales
10. Sistemas de información geográfica

5.10.43. Se define Sistema Fotogramétrico Digital (S.F.D.):

Conjunto de equipos y programas que tienen como objeto la generación de productos fotogramétricos a partir de la obtención de imágenes digitales, con técnicas manuales o automatizadas.

5.10.44. Son elementos de una estación fotogramétrica digital (E.F.D.)

11. Elemento de captura o conversión
12. Sistema de entrada de datos
13. Unidad de proceso central
14. Sistema gráfico de color
15. Monitores de color
16. Unidad de computación
17. Dispositivo de Almacenamiento de datos
18. Sistema de medida 3D
19. Sistema de visión estereoscópica
20. Impresora o trazador gráfico

5.10.45. Los sistemas de visión estereoscópica más ampliados son:

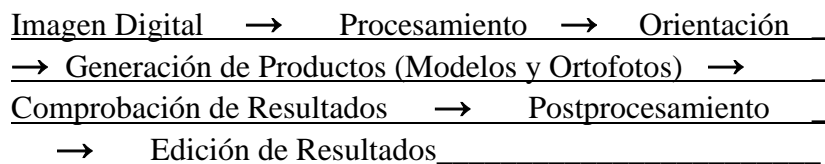
4. División de Pantalla
5. Polarización con gafas activas
6. Polarización con gafas pasivas

5.10.46. Son funciones de un Sistema Fotogramétrico Digital (S.F.D.)

19. Entrada de datos
20. Almacenamiento de datos
21. Sistema de visualización

22. Tratamiento de imágenes de gran tamaño
23. Aplicación de sistemas de medición
24. Identificación de puntos homólogos
25. Orientación de imágenes
26. Restitución o generación de gráficos
27. Generación de curvas de nivel
28. Generación de modelos digitales
29. Generación de ortofotografías
30. Generación de mosaicos de ortofotografías o ortomapas
31. Visualización de perfiles o modelos
32. Control de Calidad, Comprobación y Chequeos
33. Comunicación con Sistemas S.I.G.
34. Vuelos simulados en 2D y 3D
35. Procesamiento de Imágenes
36. Producción y Edición de datos y resultados

5.10.47. La secuencia de un flujo de trabajo de un Sistema Fotogramétrico Digital (S.F.D.) es:



5.10.48. Las Estaciones Fotogramétricas Digitales (E.F.D.) se clasifican en:

5. Estación Estéreo
6. Estación Mono
7. Estación de aerotriangulación
8. Estación para la obtención de modelos digitales de terreno

5.10.49. Los siguientes son tipos de resoluciones de las cámaras métricas analógicas:

5. Resolución espectral
6. Resolución radiométrica
7. Resolución espacial
8. Resolución temporal

5.10.50. Son sistemas espaciales de captación de imágenes estereoscópicas:

11. ASTER
12. ERS
13. IRS
14. LANDSAT
15. NOAA
16. MOS
17. SPOT
18. CBERS
19. MOMS
20. IKONOS

5.10.51. Una cámara CCD esta compuesta por los siguientes elementos:

8. La iluminación
9. La estabilidad temporal
10. Las características espectrales de iluminación
11. La distribución de la intensidad de la luz
12. Los objetos
13. El sistema óptico
14. El sensor

5.10.52. Los elementos componentes de un Escáner son:

5. El sensor
6. La transmitencia
7. La densidad de la película
8. Los componentes electrónicos

5.10.53. Los tipos de escáneres son:

4. Sensores de banda
5. Sensores de matriz cuadrada
6. Sensores simples

5.10.54. Son modelos de datos y tipos de SIG:

4. SIG VECTORIALES

- 5. SIG RASTER
- 6. SIG ORIENTADOS A OBJETOS

ESCOGENCIA MÚLTIPLE:

5.10.55. La resolución espectral:

- e. Es la mínima medida que se puede distinguir o apreciar sobre la imagen.
- f. Es la periodicidad aunque se registran las imágenes.
- g. Marca el número y el ancho de las bandas espectrales que distingue un sensor.
- h. Es el sensor de menor resolución espectral de un sistema fotográfico.

5.10.56. Resolución temporal:

- e. Es la periodicidad con que se registran las imágenes.
- f. Es la medida con que distingue o aprecia la imagen.
- g. Cuantifica el número y ancho de las bandas espectrales.
- h. Marca la sensibilidad del sensor y para descretizar las diferentes radiaciones.

5.10.57. Según el número de bandas los sensores se clasifican en:

- e. Analógicas y digitales.
- f. Monoespectrales y multiespectrales.
- g. Activos y pasivos.
- h. Matriciales y lineales.

5.10.58. Según la dimensión del área sensible, los sensores se clasifican en:

- e. Activos y Pasivos.
- f. Analógicas y Digitales.
- g. Monoespectrales y Multiespectrales.
- h. Matriciales y lineales.

5.10.59. Se define como señales falsas:

- e. Aquellas producidas por el rebosamiento a detectores vecinos al presentarse exceso de carga.
- f. Aquellas ocasionadas por la carga remanente tomada por los detectores.
- g. Aquella generada por efectos sistemáticos relacionados con deficiencias de fabricación del sensor.
- h. Aquellas generadas por defectos del material componente del sensor.

5.10.60. Ruido fotómico es:

- e. Aquel que se produce en la incertidumbre de inicialización del contador del amplificador que aumenta el voltaje de cada elemento en la señal de salida.
- f. Aquel que dado por la relación entre el pico de la señal y el nivel de ruido del sistema.
- g. Denominación que se da a la señal de salida para un flujo de entrada de una determinada diferencia de longitud de onda.
- h. Es aquel producido en la integración de la carga y su transferencia.

5.10.61. Son Sistemas Espaciales de Capitación de imágenes:

- e. ASTER, GEMINI, DISCOVERY, SPOT.
- f. MOS, CB ERS, MOMS, IRS.
- g. TIROS, LANDSAT, SPOT, NIKOS.
- h. IKONOS, ASTER, ERS, NOAA.

5.10.62. Son componentes electrónicos de un escáner:

- e. Controlador, convertidor, alternador, dispositivo de memoria.
- f. Convertidor, dispositivo de memoria, interfase de entrada.
- g. Controlador, convertidor, dispositivo de memoria, interfase de salida.
- h. Controlador, interfase de salida, regulador, dispositivo de memoria.

5.10.63. Se denominan sensores simples:

- e. Son aquellas que funcionan por medio del barrido por bandas paralelas de la fotografía.
- f. Son aquellas que funcionan por medio de barrido por bandas continuas de la fotografía.
- g. Aquellas que digitalizan zonas de la fotografía que luego une numéricamente.
- h. Aquellas que realizan las su función mediante un barrido en línea, utilizando un procedimiento de rotación.

7.6. SOLUCIONARIO CAPÍTULO 6.

FALSO O VERDADERO

Item		F	V
6.7.1.	Una de las aplicaciones de la fotogrametría es la cuantificación del material extraído en una explotación subterránea.	X	
6.7.2.	La longitud focal de las cámaras utilizadas en fotogrametría, corresponde a las denominadas cámaras de longitud focal larga.	X	
6.7.3.	Uno de los factores que afecta la nitidez de la fotografía es el foco de la cámara.	X	
6.7.4.	Las fotografías pancromáticas son utilizadas especialmente para reconocimiento del terreno.	X	
6.7.5.	Una proyección central es aquella que no presenta deformación de las distancias.	X	
6.7.6.	El diafragma es un dispositivo que está compuesto por una serie de hojas que rotan sobre un plano y controlan el tiempo de toma de la foto.	X	
6.7.7.	La condición para que un par de fotos aéreas del mismo objeto, puedan ser observadas por un estereoscopio es la de que las escalas de las dos fotografías no debe ser aproximadamente la misma.	X	
6.7.8.	La paralaje de un punto puede expresarse como: $p = x'' - x'$ ó como: $p = a' a'' - 0_1 0_2$	X	
6.7.9.	A mayor paralaje menor cota.	F	
6.7.10.	La disminución en la relación B/Z incrementa el valor de la paralaje estereoscópica y favorece la precisión de la altimetría.	X	
6.7.11.	El tiempo, la hora de vuelo y la altura de vuelo son factores que no afectan un proyecto de vuelo.	X	

6.7.12.	Al realizar la planeación del vuelo no deben tenerse en cuenta los costos del proyecto de vuelo aerofotogramétrico.	X	
6.7.13.	Las fases de un proyecto de vuelo son: Definición, Planeación, Valoración y Restitución.	X	
6.7.14.	Son elementos del proyecto de vuelo: la relación B/Z, base aérea, Número de líneas de vuelo, la escala fotográfica, la hora de vuelo.	X	
6.7.15.	Son factores que afectan el proyecto de vuelo: la variación escalar permisible, la relación B/Z, la altura absoluta de vuelo, la dirección de la línea de vuelo.	X	
6.7.16.	La toma de fotografías con utilidad fotogramétrica es posible hacerla a cualquier hora del día, dados los avances técnicos en la construcción de las cámaras aéreas.	X	
6.7.17.	La escogencia del tipo de avión a realizar un vuelo con fines aerofotogramétricos tiene en cuenta: operación económica, capacidad de altura, estabilidad en el momento de la toma de las fotografías, autonomía de vuelo, velocidad apropiada.		X
6.7.18.	El tamaño de las señales de fotocontrol depende de: escala fotográfica promedia, tamaño de la marca flotante, características del terreno.		X
6.7.19.	En el diseño de vías se exige un punto de control en el centro del modelo estereoscópico para controlar de mejor forma el amarre de la secuencia fotogramétrica.	X	
6.7.20.	La obtención de un mapa topográfico con la utilización de la fotogrametría, requiere de por lo menos tres puntos de control en la horizontal y cuatro o más puntos de control en la vertical.		X
6.7.21.	La realización de mapas escala 1:1000 obliga la aplicación de control directo, que consiste en la determinación de cuatro puntos de control en los extremos y uno en el centro del modelo estereoscópico	X	
6.7.22.	Para la realización de escalas menores a 1:1000 se requiere		

	del establecimiento de bandas de control que poseen puntos de referencia en los extremos y centro de cada faja.		X
6.7.23.	Aerotriangulación Analógica: es aquella que obtiene coordenadas instrumentales en el plano de la imagen, no en el modelo estereoscópico y luego de procesadas por métodos computacionales generan modelos y fajas de manera analítica.		
6.7.24.	Al aplicar la aerotriangulación por modelos independientes, el sentido en que se ejecuta la aerotriangulación se conserva el mismo en toda la línea de vuelo.		X
6.7.25.	La adquisición de la información con fines de aerotriangulación, incluye la transformación de coordenadas instrumentales del modelo en coordenadas terrestres.	X	
6.7.26.	En la aerotriangulación por modelos independientes el error cometido en alguno de los modelos estereoscópicos no obliga a la repetición de todo el proceso		X
6.7.27.	Se define Triangulación Aérea: como la técnica de oficina que permite propagar el apoyo terrestre, utilizando equipos y métodos de la fotogrametría, de manera rápida, eficaz y económica, para el control de trabajos de gran magnitud en las que una profusa señalización de control llega a ser de difícil implementación e impráctica en algunas ocasiones.		X

ESCOGENCIA MÚLTIPLE:

6.7.40. Al definir características de la foto vertical no se cumple:

- e. La foto es una figura semejante al terreno en planta.
- f. Es una proyección central.
- g. El ángulo en la foto es diferente a su homólogo en el terreno.
- h. La escala es variable.

6.7.41. Distancia focal:

- e. Se representa con la letra L.
- f. Distancia entre el Datum y el nivel de referencia.
- g. Distancia entre el avión y el terreno.
- h. Distancia entre el centro óptico y el negativo.

6.7.42. El cono es la parte de la cámara que:

- e. Contiene el obturador.
- f. Contiene el diafragma.
- g. Sirve de soporte al sistema de lentes.
- h. Sirve de soporte negativo.

6.7.43. Líneas homólogas son:

- e. Las líneas del terreno que tienen su representación en el plano de la foto y en el plano negativo.
- f. Las líneas del terreno que tienen su representación en el plano principal y en el plano del objetivo.
- g. Las líneas del terreno que tienen su representación en el plano de la foto y el plano del objetivo.
- h. Las líneas del terreno que tienen su representación en el plano de la foto y en plano focal.

6.7.44. La estereoscopia se define como:

- e. Fenómeno natural que tiene lugar cuando al mirar simultáneamente dos imágenes se percibe la tercera dimensión.
- f. Fenómeno natural que se percibe a través de las sombras.
- g. Fenómeno natural que tiene lugar cuando una persona mira simultáneamente dos imágenes de la misma figura, tomadas desde puntos distintos.
- h. Fenómeno natural que permite observar la doble imagen.

6.7.45. Qué afecta la exageración estereoscópica:

- e. La medida de la paralaje.
- f. La lectura con la barra de paralaje.
- g. La medida de pendientes.
- h. La estimación de las pendientes.

6.7.46. Qué mide la barra de paralaje:

- e. La distancia entre puntos homólogos.
- f. La diferencia de elevación entre dos puntos y la constante “K” de la barra de paralaje.
- g. La diferencia entre la constante “K” de la barra de paralaje y la distancia entre puntos homólogos.
- h. La diferencia entre la paralaje estereoscópica y la constante “K” de la barra de paralaje.

6.7.47. La diferencia de paralajes entre dos puntos puede determinarse haciendo uso de la barra de paralaje o de la cuña de paralaje. Desde el punto de vista estrictamente matemático, los dos valores así obtenidos presentará la siguiente característica:

- e. Son iguales en magnitud, pero de signo contrario.
- f. Son iguales en signo, pero diferente magnitud.
- g. Son iguales en magnitud y signo.
- h. Es mayor el valor obtenido con la barra de paralaje.

DEFINICIONES

6.7.48. Se requiere obtener el perfil de una serie de 18 puntos ubicados en dirección N82° E de la zona de Murindó. Enumere los pasos que se requieran para graficar el perfil con escala: Horizontal 1:5000 y vertical 1:250.

8. Definir H, h, Z, B, f.
9. Orientar adecuadamente las fotografías.
10. Determinar la paralaje de todos los puntos empleando la barra de paralaje, la escala milimétrica o cuña de paralaje.
11. Determinar los Δh .
12. Hacer restitución por relieve.
13. Determinar los componentes en Abscisas y cotas.
14. Realizar el gráfico del perfil.

6.7.49. Son aplicaciones del método de triangulación radial numérico:

- d. Cálculo del área de un terreno en zona común del par estereoscópico.
- e. Método comparable con otros métodos de medición de áreas.
- f. Con precisión aceptable es aplicable a diferentes intereses Ingenieriles.

6.7.50. Son aplicaciones de la determinación fotogramétrica del perfil entre puntos del terreno.

- f. Diseño geométrico de vías.
- g. En el campo de la Geología o Ingeniería Geológica para consideraciones de geomorfología de la zona de estudio.
- h. En estudios Geotécnicos en la determinación del tipo de deslizamiento o movimientos de masa y su cuantificación.
- i. Como herramienta básica en consideraciones de impacto ambiental o zonaciones geológico-geotécnicas de zonas de ladera.
- j. En estudios de condiciones diferentes tipos de fluidos.

6.7.51. En la planeación de un proyecto de vuelo y de manera preliminar se requieren definir o realizar los siguientes pasos:

- 5. Fines y objetivos que han de dársele a las fotografías.
- 6. Escala de mapas, mosaicos o fotomapas (restituciones).
- 7. Precisión requerida del trabajo.
- 8. Información sobre el área de trabajo, mapas o fotografías existentes.

6.7.52. Las fases que comprende un proyecto de vuelo aerofotogramétrico son:

- d. Definición del plan de vuelo a seguir.
- e. Planeación de los controles terrestres y chequeos de campo.
- f. Valoración de costos del proyecto.

6.7.53. Hacen parte de los elementos del Proyecto de Vuelo Aerofotogramétrico:

13. Área del terreno.

14. Altura absoluta de vuelo.
15. Altura de vuelo relativa al terreno.
16. Base Aérea.
17. Intervalo entre exposiciones.
18. Separación entre las líneas de vuelo.
19. Número de líneas de vuelo.
20. Relación B/Z.
21. Corrimiento de la imagen.
22. Tiempo neto de vuelo.
23. Número de fotos por línea.
24. Número de fotos del proyecto de vuelo.

6.7.54. Son factores que afectan el Proyecto de Vuelo Aerofotogramétrico:

13. Requerimientos de la fotografía.
14. Escala de la fotografía
15. Variación escalar permisible
16. Desplazamiento debido al relieve
17. Deriva horizontal (DRIFT) y angular (CRAB)
18. Inclinación de la fotografía (TILT)
19. Altura de vuelo relativa al terreno
20. Dirección de la línea de vuelo
21. Relación B/Z
22. El tiempo (clima)
23. La hora de vuelo
24. El avión

6.7.55. Para la escogencia de detalles que permitan la fotoidentificación debe tenerse en cuenta:

8. Punto escogido claramente identificable.
9. Punto escogido identificado con un esquema de localización.
10. Punto escogido no ubicado en terreno pendiente.
11. Punto escogido debe ser compatible con escala fotográfica escala de restitución.
12. Al identificar detalle debe precisarse donde ha de tomarse la cota, base o techo de edificación.
13. Detalles deben ser puntos estables y de permanencia en el tiempo.
14. Los puntos escogidos no deben estar localizados hacia los bordes o esquinas de la fotografía.

6.7.56. La triangulación analítica puede ser:

3. Triangulación por polígono.
4. Triangulación por modelos independientes.

6.7.57. El proceso sistemático de la aerotriangulación está dado por:

4. Planeación
5. Adquisición de la información
6. Procesamiento de la información

6.7.58. La planeación de una aerotriangulación requiere:

6. Selección y ubicación de puntos fotocontrolados.
7. Escogencia y señalamiento de puntos de paso y enlace.
8. Preparación del material fotográfico y de control de terreno.
9. Chequeo y calibración de los instrumentos.
10. Evaluación de puntos de control existentes.

6.7.59. La secuencia del trabajo en fotogrametría se da en las siguientes etapas:

5. Realización del vuelo fotogramétrico.
6. Apoyo topográfico del vuelo.
7. Aerotriangulación.
8. Restitución.

6.7.60. Aerotriangulación analítica por polígono es:

Es aquella en la que la propagación del apoyo terrestre, se inicia en el primer modelo estereoscópico definiendo la línea de vuelo orientada absolutamente y transfiriendo la escala a los modelos siguientes.

6.7.61. Se requiere medir un área de un terreno claramente definido en par de fotos recubiertas inicialmente utilizado una sola foto y luego

chequeándola por el método de triangulación radial numérica.
Enuncie los pasos para realizar dicho trabajo.

- a. Ubico puntos en la foto.
- b. Defino sistema coordenado con ejes fiduciales.
- c. Determino cotas de cada uno de los puntos.
- d. Hallo coordenadas fotográficas y radio (r) de cada punto.
- e. Determino escala de cada punto.
- f. Hago corrección por relieve a escala determinada.
- g. Encuentro coordenadas terrestres de cada punto.
- h. Calculo el área entre puntos definidos.
- i. Determino sistema coordenadas formando por la línea de vuelo y la normal por el centro en cada foto.
- j. Ubico los puntos.
- k. Determino coordenadas fotográficas en cada foto.
- l. Determino p y Y_0 .
- m. Hallo coordenadas terrestres en función de p y Y_0 .
- n. Calculo el área.
- o. Chequeo resultados esperando que la diferencia no sea superior entre ambas áreas tomando como base el resultado obtenido por el método de triangulación radial numérica.

6.7.62. Enuncie los pasos para graficar una serie de puntos de detalle de una fotografía por el método de triangulación radial gráfica y determinar la distancia terrestre entre dos de esos puntos, conociendo H, f y las respectivas cotas.

- a. Defina la línea de vuelo en cada foto.
- b. Determine distancia entre centros de fotos de acuerdo a escala predeterminada.
- c. Coloque las fotos garantizando distancia que asegure la relación escalar predeterminada.
- d. Localice los puntos homólogos en cada foto.
- e. Trazar líneas desde c/u de los centros de las fotos pasando por el punto en cuestión en cada foto. La intersección de dichas líneas radiales es el punto requerido a encontrar.
- f. Repetir el proceso para todos los puntos.
- g. Trazar la línea que uno los puntos a los que se les desea medir la distancia. Medir la línea.
- h. Calcular la distancia terrestre multiplicando el modelo escalar al que se han graficado los puntos por la distancia medida entre el numeral anterior.

ORDENAMIENTO LÓGICO SECUENCIAL

6.7.63. Para determinar cotas a partir de lecturas con la barra de paralaje se sigue la siguiente secuencia:

- a. Calcular la paralaje para cada punto (P_i) como la paralaje del punto de referencia (P_r) más la diferencia de paralaje (Δp_i).
- b. Calcular la cota de cada punto (h_i) como la cota del punto de referencia (h_r) más la diferencia de altura para cada punto (Δh_i).
- c. Conocer previamente H , h_r , p_r como diferencia entre la distancia entre los centros de las fotos (O_1O_2) y la distancia entre los puntos homólogos, imágenes del punto de referencia, en ambas fotos recubiertas (p_r).
- d. Calcular la diferencia de paralaje (Δp_i) como la diferencia de lecturas de barra de paralaje para cada punto (l_i) y la lectura de barra de paralaje para el punto de referencia (l_r).
- e. Colocar las fotos a distancia de visión estereoscópica.
- f. Calibrar la barra de paralaje.
- g. Determinar la línea de vuelo en cada una de las fotografías recubiertas.
- h. Tomar lecturas con la barra de paralaje para cada uno de los puntos incluido el punto de referencia.
- i. Calcular la diferencia de altura (Δh_i) como el producto de la diferencia de paralaje para el punto Δp_i por la altura de vuelo relativa al terreno para el punto de referencia (Z_r) sobre la paralaje para cada punto (p_i).

Rta./ c, g, e, f, h, a, d, i, b / e, c, g, f, h, a, d, i, b.

6.7.64. Para encontrar la pendiente entre varios puntos del terreno se sigue el siguiente procedimiento:

- l. Determinar la componente vertical ($O h_i$) entre punto.
- m. Calcular la diferencia de paralaje (Δp_i) para todos los puntos.
- n. Calcular la pendiente (S) entre puntos del terreno.
- o. Calcular paralaje para el punto de referencia (P_r).
- p. Calcular paralaje (p_i) para todos los puntos.
- q. Determinar previamente f , B , escalando que se va a elaborar el plano que hace posible determinar la distancia planimétrica entre los puntos a los que se les pretende determinar la pendiente.

- r. Hacer mediciones con la barra de paralaje a todos los puntos incluidos el punto de referencia.
- s. Medir la distancia horizontal entre los puntos colocados en el mismo plano a partir de la triangulación radial gráfica.
- t. Calibrar la barra de paralaje.
- u. Realizar triangulación radial para todos los puntos.
- v. Colocar las fotos para ver estereoscópicamente.

Rta./ f, k, i, g, j, d, e, b, h, a, c / k, f, i, g, j, d, e, b, h, a, c.

APAREAMIENTO

6.7.65. Realice el siguiente ejercicio de apareamiento:

a. Los puntos de rectas paralelas al eje X: (8)	1. La profundidad de la foto.
b. La dirección de línea de vuelo dentro de un proyecto de fotografía para un terreno depende de: (10)	2. La doble visión.
c. La convergencia de los ejes ópticos en un punto determinado del objeto observado se denomina: (13)	3. La parte correspondiente al sistema de lentes.
d. La nitidez de la foto no depende de: (1) (5) (6)	4. La doble imagen.
e. El ángulo en la fotografía vertical: (14)	5. La línea de vuelo.
f. Para poder estimar o medir la distancia relativa de los objetos en profundidad, es factor fundamental: (4)	6. Del tipo de cámara:
	7. Es igual a su homólogo en el terreno.
	8. En una fotografía vertical tienen igual escala.
	9. El eje nadiral.
	10. La configuración del terreno.
	11. Angulo convergente.
	12. La perspectiva.

	13. Angulo paralítico.
	14. Es diferente a su homólogo en el terreno.
	15. La inclinación de la foto.
	16. La relación B/Z.

6.7.66. Realice el siguiente ejercicio de apareamiento:

g. Las exploraciones extra terrestres: (7)	18. $\Delta r = r (h-h')/(h'-H)$
h. Fotogrametría aérea: (11)	19. La claridad de la foto.
i. El cuerpo de la cámara es: (3)	20. El que contiene los mecanismos operadores de la cámara.
j. La magnitud del desplazamiento por relieve se expresa como: (12)	21. Las imágenes de avión, las imágenes extraterrestres, las imágenes de radar.
k. Se dice que la cámara es de reconocimiento cuando se clasifica según: (10)	22. Las que utiliza fotos terrestres tomados desde un satélite.
l. El ángulo definido en una fotografía vertical: (13)	23. $\Delta r = r (h'-h)/(H-h')$
g. Son imágenes de percepción remota. (18)	24. Son parte de las aplicaciones de la fotogrametría.
h. La escala promedia se define como: (17)	25. Es aquella que utiliza fotos terrestres.
	26. Su estructura
	27. Su uso
	28. La que utiliza vistas aéreas del terreno tomadas desde un avión.
	29. $\Delta r = r (h-h')/(H-h')$
	30. No es igual a su homólogo en el terreno.
	31. Es similar a su homólogo en el plano del objeto.
	32. La escala de la cota de todos los puntos.
	33. Promedio de las escalas de cada uno de los puntos.
	34. Imágenes de radar y de satélite.

6.7.67. Realice el siguiente ejercicio de apareamiento:

g. Base aérea se define como: (16)	27. El uso
h. Exposición es: (18) (14)	28. El ángulo del objetivo.
i. Almacén de la cámara: (22)	29. Sitio de toma de la foto
j. Isocentro en el plano del objeto es:	30. Tiempo durante el cual recibe la luz al sistema de lentes.
k. La clasificación de cámara como de reconocimiento corresponde a la clasificación según: (1)	31. Distancia de separación entre dos puntos.
l. Línea principal en el plano de la foto: (26)	32. Parte de la cámara que contiene el chasis, el sistema de lentes y permite operar los diferentes mecanismos de control.
g. A las imágenes de satélite no tripuladas corresponden: (27)	33. Intersección del plano proyectante principal con el plano del negativo.
h. Escala promedia: (23)	34. La estructura.
	35. Intersección de la bisectriz del ángulo de inclinación con el objetivo.
	36. Tiempo durante el cual recibe la luz la fotografía.
	37. Parte de la cámara donde va colocada la película y se opera el sistema de vacío.
	38. Las series Tirrus, Mercury y Landsat.
	39. Escala del promedio de las distancias.
	40. Distancia terrestre entre dos puntos en fotos consecutivas
	41. Distancia terrestre entre la exposición de dos fotos consecutivas.
	42. Intersección del plano proyectante principal con el plano de referencia.
	43. Tiempo durante el cual recibe la

	luz el plano del negativo.
	44. Las series: Tirrus, Numbus, Mercury.
	45. Intersección de la bisetrix del ángulo de inclinación con el plano de referencia.
	46. Intersección de la bisectriz del ángulo de inclinación con el plano de la foto.
	47. Parte de la cámara donde va colocada la película y contiene un mecanismo para el avance o retroceso de la película.
	48. Escala del promedio de las escalas de todos los puntos.
	49. Las series: Nimbus, Landsat y Gemini.
	50. Línea conformada por el nadir, el isocentro y el punto principal.
	51. Línea conformada por el nadir, el isocentro y el punto principal en el plano de la foto.
	52. Las series, Landsat, Nimbus y Tirrus.

BIBLIOGRAFÍA

✓ TEXTOS:

ALCÁNTARA G., Dante. *Topografía*. McGraw Hill-Interamericana de México S.A. México. 1990. p.451-512.

BOSQUE SENDRA, J. *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp S.A. Madrid – España. 1992.

CHUVIECO, Emilio. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Ediciones Rialp. S.A. Madrid – España. 1995. 44 p.

COMAS, David y RUÍZ, Ernest. *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Editorial Ariel S.A. Barcelona España. 1993. 180p.

DE SAN JOSÉ, Iván y Otros. *Introducción a las ciencias que estudian la Geometría de la Superficie Terrestre: Geodesia; Fotogrametría; Topografía*. Bellisco: Valencia España. 2002. 2000p.

FERNÁNDEZ CH., Benjamín y FERNÁNDEZ G. Piedad. *Elementos de Fotogrametría para Ingenieros*. Geodesia por Satélite de Colombia Ltda.. Universidad Distrital. 1ª Edición. Bogotá. 2002. 212p.

GENTIL, Baldrich. *Métodos y Aplicaciones de Representación Acotada del Terreno*. Bellisco: Valencia – España. 1998. 334p.

GRAHAM, Ron y READ, R. *Manual de Fotografía Aérea*. Barcelona: Omega, 1990. 359p.

HERRERA HERRERA, Bernard. *Elementos de Fotogrametría*. México: Limusa, 1987, 200p.

IGAC. Subdirección de Geografía. *“El uso de mapas de fotografías aéreas”*. 2ª Edición. 1995. IGAC-Colombia.

LERMA G., José Luis. *Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital*. Universidad Tecnológica de Valencia España. 2ª Edición. 2002. 550p.

- MIKHAIL**, Edward. *Introduction to Modern Photogrametry*. Haxper and Row. New York. USA. 2003. 310p.
- MOLINA**, C. *Introducción a la Fotointerpretación*. Forestal. Bogotá: Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”, 1989. 92p.
- MURILLO F.**, Julio. *Problemas de Fotogrametría Elemental*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1981. 48p.
- PANESSO R.**, Gabriel. *Fotogrametría*. Universidad Nacional de Colombia Sede de Medellín. 1992. 230p.
- PARRA S.**, Rodolfo H. y Otros. *Sistemas de Información Geográfica*. Base de la Gestión Ambiental. Editorial Imprenta Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1997. 194 p.
- PINILLA A.**, C. *Elementos de Teledetección*. Ed. Rama. Madrid – España. 1995.
- ROBINSON**, Arthur y Otros. *Elements of Cartography*. 6a Edición. Editorial John Wiley and Sons INC. USA. 1995.
- ROMEO C.**, Tomás. *Prácticas Topográficas y Topografía Informática*. Bellisco: Valencia-España. 1995. 316p.
- SIERRA L.**, Alonso. *Generalidades Geométricas de la Fotografía Aérea Vertical*. Medellín: El autor, 1992. 47p.
- SIERRA L.**, Alonso. y **ZAPATA O.**, Oscar de J. *Ayudas para el curso de Fotogrametría*. Ecográficas Medellín 1998.
- SIERRA L.**, Alonso. y **ZAPATA O.**, Oscar de J. *Manual de Prácticas para el curso de Fotogrametría*. Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede de Medellín. 2001. 114 p.
- TORRES N.**, Alvaro y **VILLATE B.** Eduardo. *Topografía*. Editorial Escuela de Ingenieros. 4ª Edición. Bogotá. 2001. Cap. 27, p.325-354.
- UNIVERSIDAD PONTIFICIA JAVERIANA, IDEADE.** *Fundamentos de Cartografía*. Universidad Pontificia Javeriana. 1995. 140p.
- VARGAS C.**, E. *Cartografía a escala grande*. Bogotá: Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”. 1988. 71p.

WOLF, P. R. *Elements of Photogrammetry, with air Photo Interpretation and remote sensing.* 2ª Edición. Editorial. McGraw Hill, New York. USA. 1983.

YURKSAS, B. *Dibujo Geométrico y de Proyección.* 11 ed. Santa Fe de Bogotá: Panamericana, 1997. 149p.

YURKSAS, B. *Dibujo Geométrico y de Proyección.* 11ª Edición. Editorial Panamericana. Bogotá. 1987. 149p.

✓ **REVISTAS:**

ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing

MAPPING; www.mappinginteractivo.com

PE&RS Photogrammetric Engineering and Remote Sensing

✓ **DIRECCIONES ELECTRÓNICAS:**

DPW600 / DPW700 de Leica Helava
(www.lh_systems.com/products/socet_set.html)

Imagestation TM Z de Integraph
(www.ziimaging.com)

Softpletter TM de Autometric
(www.autometric.com)

PHODIS ST de Zeiss

DIGITUS de DAT-EM International

PRI²SM de International Imaging Systems.

DIAP (Digital Analitic Plotter) de ISM
([www-DGR-PHOT Present Status of the DVP System](http://www-DGR-PHOT))

PhoTopol de Topol Software s.r.o.
(www.topol.cz)

DVD (Digital Video Plotter) de Leica

ANEXO 2

1. Direcciones electrónicas consultadas y/o referenciadas.
2. Documentos Complementarios.
 - 2.1. Glosario de términos cartográficos.
 - 2.2. Generalidades sobre Fotogrametría.
 - 2.3. Fotogrametría Digital, Modelos Digitales, Programas Computacionales Asociados.
 - 2.4. Teledetección y SIO.
 - 2.5. G.P.D. y Temas de Geodesia.
 - 2.6. Equipos de última generación para trabajos Fotogramétricos y Topográficos ADS40 y ALS40.
 - 2.7. Referencias bibliográficas detalladas.
 - 2.8. Programas académicos en las áreas de: Topografía, Fotogrametría y Cartografía de diferentes Universidades.
 - 2.9. Catálogos de Programas para trabajos con imágenes digitalizadas.
 - 2.10. Propuesta técnico-económica de un trabajo de restitución digital y general ortofoto.

ANEXO 3

GRÁFICOS Y TABLAS: VERSIÓN ACETATOS

GRÁFICOS

CAPÍTULO 1.

FIG.	TÍTULO
1.1.	Cámara Aérea definida por tres elementos geométricos.
1.2.	Esquema de la Cámara Fotográfica.
1.3.	Elementos de la Cámara Aérea (De Bastidor). Corte Esquemático. (Cámara RMY 30/23 ZEISS JENA).
1.4.	Diafragma.
1.5.	Obturador de Hojas.
1.6.	Obturador de discos Zeiss.
1.7.	Campo Angular (Ángulo de Proyección del Objetivo).
1.8.	Clasificación de las Cámaras según el ángulo de proyección del Objetivo (Ángulo de Exposición).
1.9.	Foto Vertical.
1.10.	Foto Inclinada.
1.11.	Foto Oblicua.
1.12.	Plancha Escala 1:50.000 I.G.A.C.
1.13.	Fundamentos geométricos de la fotografía.

CAPÍTULO 2.

FIG.	TÍTULO
2.1.	Foto inclinada terreno sin relieve.
2.2.	Foto inclinada terreno sin relieve.
2.3.	Plano del negativo y plano de la foto.
2.4.	Base aérea.
2.5.	Imagen de la base aérea y traslapo longitudinal.
2.6.	Imagen de la base aérea en fotos consecutivas.
2.7.	Plano de la foto.
2.8.	Traslapo longitudinal.
2.9.	Escala de la foto vertical.
2.10.	Escala de la foto vertical terreno sin relieve.
2.11.	Escala de fotografía vertical terreno con relieve.

CAPÍTULO 3.

FIG.	TÍTULO
3.1.	Dirección y sentido del desplazamiento por relieve en una fotografía vertical.
3.2.	Dirección del desplazamiento por relieve en fotografía inclinada.
3.3.	Magnitud del desplazamiento por relieve en foto vertical.
3.4.	Magnitud del desplazamiento por relieve en foto vertical. (Corte Vertical).
3.5.	Coordenadas fotográficas de un punto antes y después de la restitución.

CAPÍTULO 4.

FIG.	TÍTULO
4.1.	Ángulo Paralítico.
4.2.	Apreciación de las alturas relativas de los objetos fotografiados por una cámara aérea.
4.3.	Diferencia de altura entre puntos.
4.4.	Visión Estereoscópica.
4.5.	Visión Seudoscópica. Desplazamiento por relieve de “a” con relación a “b”.
4.6.	Relaciones entre b , Z , f y b , s , m .
4.7.	Estereoscopio de lentes o bolsillo.
4.8.	Esquema estereoscopio de espejos.
4.9.	Estereoscopio de espejos modelo N2 Zeiss.
4.10.	La paralelaje en X en fotografías verticales para un punto A.
4.11.	La paralelaje en X en fotografías verticales a igual altura para un punto a corte vertical.
4.12.	La paralelaje en Y en fotografías verticales para un punto A.
4.13.	La paralelaje estereoscópica de un punto del terreno.
4.14.	Base de visión estereoscópica.
4.15.	Barra de paralelaje.
4.16.	Orientación del par estereoscópico de fotografías.

CAPÍTULO 5.

FIG.	TÍTULO
5.1.	Estación fotogramétrica digital (EFD).
5.2.	Visión estereoscópica digital. División de pantalla.
5.3.	Esquema de flujo de trabajo en los sistemas fotogramétricos digitales (SFD).
5.4.	Escánes ultra Scan 5000 de Vexcel Imaging GMBH (Austria)
5.5.	Formación de líneas en la topología Arco-Nodo.
5.6.	Formación de polígonos en la topología Arco-Nodo.
5.7.	Organización de la información en el modelo de datos raster.
5.8.	Modelo SIG de datos orientados a objetos.

CAPÍTULO 6.

FIG.	TÍTULO
6.1.	Recubrimiento longitudinal.
6.2.	Variación de la escala en función de la variación de cotas.
6.3.	Deriva horizontal (DRIFT) y Deriva angular (CRAB).
6.4.	Banda de control fotográfico.
6.5.	Elementos de un proyecto de vuelo aerofotogramétrico.

TABLAS

CAPÍTULO 1

TAB.	TÍTULO
1.1.	Comparación entre fotografías aéreas verticales e inclinadas.

CAPÍTULO 5

TAB.	TÍTULO
5.1.	Ventajas e inconvenientes de la fotogrametrías digital.
5.2.	Sistemas espaciales dotados con sensores estereoscópicos.