

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO



CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO
DIGITAL DE CORTO ALCANCE 3D**

PREVIA A LA OBTENCIÓN DE GRADO ACADÉMICO O TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE

ELABORADO POR:

**COLLAGUAZO CHANGO EDISON ROLANDO
DOMÍNGUEZ ÁLVAREZ MIGUEL ÁNGEL**

SANGOLQUÍ, 25 DE AGOSTO DEL 2011

EXTRACTO

A través de los años, la adquisición de datos mediante sensores remotos, fotografías aéreas o de imágenes satelitales, ha presentado limitación económica de acuerdo al área o comunidades en las que se desenvuelve, ya que este tipo de información por el costo es limitado para diferentes instituciones que la requieren.

En los últimos años la tecnología se ha desarrollado a un paso acelerado en la miniaturización de los componentes electrónicos digitales, permitiendo obtener fotografías con cámaras no convencionales desde vehículos no tripulados en la aplicación de la fotogrametría digital en proyectos de corto alcance, simulando sistemas fotogramétricos complejos en la obtención de información cartográfica.

Obteniendo productos de similar fidelidad que las metodologías tradicionales, en el proceso cartográfico.

ABSTRACT

Through the years, the acquisition of data by means of remote sensors, air photographs or of images, has presented economic limitation according to the area or communities in which unfolds, since this type of information by the cost is limited for different institutions that they require it.

In the last years the technology has been developed to a step hurried in the miniaturization of the electronic digital components, allowing to obtain pictures with non conventional cameras from unmanned vehicles in the application of the digital photogrammetry in projects of short reach, simulating systems complex fotogramétricos in the obtaining of cartographic information.

Obtaining products of similar fidelity that traditional methodology, in the cartographic process.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES:.....	01
1.1 Circuitos.....	02
El circuito electrónico.....	03
Circuitos analógicos.....	03
Circuitos digitales.....	03
Circuitos mixtos.....	03
1.1.1 Componentes eléctricos.....	03
Resistencias.....	03
Condensador.....	04
Reóstatos.....	04
Transformador.....	04
Diodo.....	05
Bobina.....	05
Pila (Acumulador, Batería).....	05
Fusible.....	06
Relé.....	06
Transistores.....	07
Circuitos Integrados.....	07
1.1.2 Composición de un circuito eléctrico.....	08
1.2 LA RADIO FRECUENCIA.....	09
1.2.1 Usos de la radiofrecuencia.....	09
Radio comunicación.....	09
Radioastronomía.....	10
Radar.....	10
Resonancia magnética nuclear.....	10
Otros usos de las ondas de radio.....	11
1.2.2 Emisoras y receptoras de radio.....	11
Sistemas AM y FM.....	11
Amplitud Modulada.....	11
Frecuencia Modulada.....	11
1.2.3 Sistemas inalámbricos y radio terrestres.....	11
Sistemas inalámbricos.....	11
Los sistemas radio terrestres.....	11
1.3 SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL Y RECEPTORES GPS.....	14
1.3.1 Funcionamiento de los receptores GPS.....	14

1.3.2	Aplicaciones.....	15
	Civil.....	15
	Militar.....	16
1.4	CÁMARAS DIGITALES.....	17
1.4.1	Funcionamiento.....	17
1.4.2	Características de una cámara digital.....	17
	a) Resolución.....	18
	b) Sistemas de visor.....	18
	c) Tiempo de disparo.....	18
	d) Formatos de almacenamiento.....	19
1.4.3	Ventajas y desventajas en el uso de una cámara digital.....	20
	a) Ventajas.....	20
	b) Desventajas.....	21
1.4.4	Distorsión de la lente.....	22
	Aberración esférica.....	23
	Viñeteo.....	23
	Aberración cromática.....	23
	Coma.....	23
	Astigmatismo.....	23
1.5	IMAGEN DIGITAL.....	24
1.5.1	Concepto.....	24
1.5.2	Propiedades de una Imagen Digital.....	25
	a) La resolución espacial, tamaño del píxel o potencia resolutive.....	25
	b) El rango dinámico.....	26
	c) El ruido.....	26
	d) La interpolación.....	26
	e) La compresión de las imágenes capturadas.....	26
1.6	TIPOS DE CÁMARAS DIGITALES.....	27
	Cámaras compactas.....	27
	Cámaras compactas avanzadas o “Prosumer”.....	27
	Cámaras réflex digital.....	28
	Ventajas de las cámaras réflex.....	29
	Desventajas de las cámaras reflex.....	29
1.7	VEHÍCULOS NO TRIPULADOS.....	30
1.7.1	Aplicaciones.....	31

CAPÍTULO II

2. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL DE CORTO ALCANCE 3D.....	32
2.1 SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO CONVENCIONAL.....	32
2.1.1 Introducción.....	32
2.1.2 Sistema fotogramétrico digital.....	32
2.1.3 Componentes de un Sistema Fotogramétrico Digital.....	33
2.1.4 Sistema de visión estereoscópica:.....	35
Visión libre paralela.....	35
Visión libre cruzada.....	35
Anaglifo.....	35
Polarización.....	35
Alternativo.....	36
Headmounted Display (HMD).....	36
2.1.5 Dispositivo interactivo de medición estereoscópica (3D).....	37
2.1.6 Funciones de un Sistema Fotogramétrico Digital Convencional.....	38
2.2 TOMA AÉREA CONVENCIONAL.....	40
2.2.1 Cámaras aéreas digitales.....	40
2.2.2 Tipos de cámaras aéreas.....	40
Las cámaras de línea.....	40
Las cámaras matriciales.....	40
2.2.3 Sistema de almacenamiento de datos en vuelo.....	41
2.2.4 Sistema de navegación, información en vuelo.....	42
2.2.5 Etapas al desarrollar un proyecto con fotogrametría digital.....	42
1. Planeación del vuelo.....	42
2. Toma de fotografías.....	42
3. Condiciones técnicas en la toma de fotografía aérea con cámara métrica....	42
4. Revelado y escaneo de las imágenes.....	43
5. Foto control.....	43
6. Aerotriangulación.....	43
7. Restitución.....	43
8. Edición.....	44
9. Etapa del desarrollo del proyecto la ortofoto como producto final.....	44
2.3 DISEÑO DEL SISTEMA.....	45
2.3.1 Emisión y recepción de la información.....	45
Emisora o radio control para la emisión de los datos.....	45
Recepción de datos.....	48
Conversor analógico-digital.....	49

2.3.2	Sistema de navegación.....	50
	a) Datos suministrados durante el vuelo.....	50
	b) Configuración.....	50
	c) Especificaciones técnicas.....	51
	d) Otras características.....	51
2.3.3	Sistema de toma.....	51
	a) Vehículo aéreo no tripulado. (Globo aerostático).....	52
	b) Cámara digital.....	52
	c) Sistema de captura de imágenes por radio control.....	53
	d) Control terrestre de toma.....	54
2.3.4	Software de Restitución.....	56
2.4	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	58
	Ensamblaje del sistema de toma.....	58

CAPÍTULO III

3.	PROCESO FOTOGRAMÉTRICO NO CONVENCIONAL.....	60
3.1	PROCESO.....	60
3.2	CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA NO CONVENCIONAL.....	60
3.2.1	Calibración o determinación de características de una cámara.....	60
3.2.2	Concepto.....	61
	a) Modelo geométrico de la cámara.....	61
	b) Modelo de la distorsión.....	61
	La Distorsión Radial Simétrica.....	62
	La Distorsión Tangencial.....	65
3.2.3	Procedimiento de calibración.....	66
3.2.4	Cámaras bajo el punto de vista de la calibración.....	66
3.2.5	Preparación de la toma de imágenes.....	66
3.3	PLANIFICACIÓN DE TOMA.....	68
3.3.1	Planificación de la toma.....	68
	• La convergencia de líneas.....	69
	• La escala.....	70
	• El tono y el color.....	70
3.3.1.1	Objetivo de la toma fotogramétrica.....	71
	a) Aspectos geométricos de la imagen.....	71
	b) Condiciones fotográficas.....	71

3.3.1.2	Consideraciones que deben estar presentes en la toma de imágenes.....	71
	a) Buenos ángulos de cámara.....	71
	b) Toma de imágenes de un objeto de forma de caja.....	72
	c) Imágenes de un solo lado de un objeto.....	73
	d) Errores en identificación de puntos.....	74
	e) Proyectos con una sola imagen.....	74
	f) Separación horizontal y vertical.....	75
	g) Superposición (traslapo).....	75
3.3.1.3	Métodos de toma de imágenes.....	76
	a) Método del anillo.....	76
	b) Método del doble anillo.....	77
	c) Método del doble anillo con altura.....	78
	d) Estableciendo panorama de un anillo completo.....	78
3.3.1.4	Características de un plan de toma.....	78
	A. Desde un punto de vista técnico.....	78
	B. Desde el punto de vista económico.....	78
3.4	CONTROL TERRESTRE.....	80
3.4.1	La determinación de los puntos de apoyo.....	80
3.4.2	Número y distribución de los Puntos de Apoyo fotogramétricos.....	80
3.4.3	Elección de los Puntos de Apoyo fotogramétricos.....	80
3.4.4	Señalización y materialización de los puntos de apoyos.....	81
3.4.5	Estimación de los costos.....	81
3.5	RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA NO CONVENCIONAL.....	82
3.5.1	Formato para coleccionar los datos.....	83
3.5.2	Secuencia de restitución.....	83
	a) Ingreso del registro de calibración.....	83
	b) Importar las imágenes.....	83
	c) Marcar las características sobre las imágenes.....	83
	d) Identificación de los puntos comunes.....	83
	e) Ingreso de puntos de control.....	84
	f) Procesamiento de los datos.....	84
	g) Generación de Orto imágenes.....	84
	h) Exportar los resultados en 3d a un CAD o un programa gráfico.....	85
3.6	ANÁLISIS.....	87
3.6.1	Modelo no convencional.....	87
3.6.2	Modelos Estadísticos.....	87
3.6.2.1	Distribución Normal.....	88

3.6.2.2 Distribución T-Student.....	89
3.6.2.3 Estimación Puntual e Intervalos de Confianza.....	91

CAPÍTULO IV

4. PROYECTO FOTOGRAMÉTRICO NO CONVENCIONAL.....	92
4.1 CALIBRACIÓN DE CÁMARA.....	92
a. Panel de calibración.....	93
b. Preparación de la toma de imágenes.....	94
c. Arreglos de posicionamiento.....	94
d. Posicionamiento de la cámara.....	95
e. La medición de la escala.....	96
f. Transfiriendo las imágenes dentro del computador para la calibración.....	97
4.1.1 Procedimiento en la calibración de cámaras.....	98
4.1.2 Ejemplos de la barra del error de la calibración.....	99
4.2 PLANIFICACIÓN FOTOGRAMÉTRICA NO CONVENCIONAL.....	100
4.2.1 Reporte de cámara.....	100
4.2.2 Extensión y ubicación del proyecto.....	100
4.2.3 Diagnostico de la información previa.....	100
4.2.4 Descripción del área de trabajo.....	100
4.2.5 Polígono de cubrimiento.....	101
4.2.6 Número de modelos fotogramétricos no convencionales.....	103
4.2.7 Control Terrestre o control externo.....	103
4.3 RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA NO CONVENCIONAL.....	106
4.3.1 Orientaciones interiores, externas y escala.....	106
4.3.2 Ajuste y corrección del modelo fotogramétrico no convencional.....	107
4.3.3 Exportación del modelo fotogramétrico no convencional.....	108

CAPÍTULO V

5. DESARROLLO DEL PROYECTO FOTOGRAMÉTRICO NO CONVENCIONAL.....	110
5.1 CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA.....	111
5.1.1 Modelo de distorsión.....	112
5.2 PLANIFICACIÓN DE TOMA.....	114
5.2.1 Determinación de estaciones georeferenciadas y puntos de apoyo.....	115

5.2.2	Calibración del sistema de toma.....	118
5.2.3	Toma de imágenes.....	118
5.2.4	Restitución Digital.....	119
5.2.5	Control de calidad.....	123

CAPÍTULO VI

6.	RESULTADOS.....	133
6.1	Manual de especificaciones técnicas.....	133
6.2	Manual de usuario de software de restitución.....	133
6.3	Plan de toma.....	134
6.4	Reporte de ajuste matrices de varianza covarianza.....	138
	Bloque de mecánica.....	142
	Bloque de la CEA.....	142
	Bloque de la CEINCE.....	142
	Bloque de la MED.....	143
	Bloque de Postgrados.....	143
	Bloque del bloque A y B.....	143
	Bloque Central.....	144
6.5	Creación de ambientes virtuales.....	145
6.6	Levantamiento planimétrico del campus politécnico.....	147
6.7	Plano estructural del sistema.....	147

CAPÍTULO VII

7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
	Conclusiones.....	148
	Recomendaciones.....	150
	BIBLIOGRAFÍA.....	151

ANEXOS

MODELO DE DISTORSIÓN DE LALENTE

CAMARA SONY DSC V3.....	Anexo 1.1
CÁMARA SONY HD 20.....	Anexo 1.2
CÁMARA NIKON S210.....	Anexo 1.3
MAPA DE UBICACIÓN DE ESTACIONES DE REFERENCIA.....	Anexo 2.0
LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO DEL CAMPUS POLITÉCNICO.....	Anexo 3.0
MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	Anexo 4.0
MANUAL DE USUARIO.....	Anexo 5.0

ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS.

Cuadro 4.1. Cuadro de equipamiento para el control terrestre.....	104
Tabla 5.1 Comparación de los parámetros de calibración de diferentes cámaras digitales.....	112
Tabla 5.2 Descripción de los objetivos de toma.....	114
Tabla 5.3 Coordenadas de las estaciones de control para el campus politécnico de la ESPE en proyección cartográfica UTM en el sistema de referencia WGS 84.....	115
Tabla 5.4 Coordenadas de los puntos de control para los fotogramas en proyección cartográfica UTM en el sistema de referencia WGS 84.....	117
Tabla 5.5. Comparación de distancias entre Photomodeler Scanner y un distanciómetro láser.....	124
Cuadro 5.6 Se presenta las precisiones máximas obtenidas mediante el software.....	130
Tabla 6.1 Distribución de bloques para el plan de toma.....	134
Tabla 6.2 Coordenadas de los puntos control empleados para la rectificación de los fotogramas.....	137

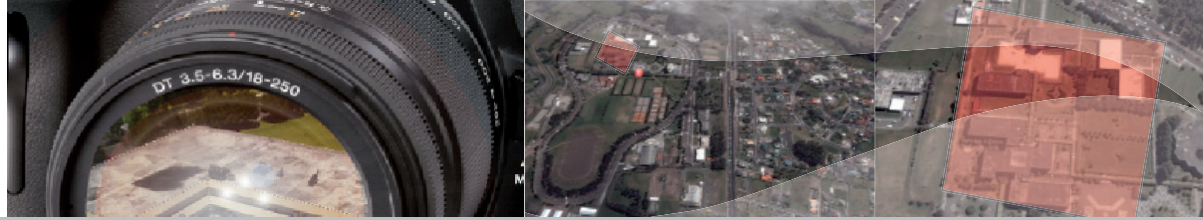
ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.1 Ejemplo de un circuito electrónico.....	02
Figura 1.2 Ejemplos de circuitos.....	03
Figura 1.3 Resistencias.....	04
Figura 1.4 a) Condensador no polarizado, b) Condensador variable.....	04
Figura 1.5 Reóstato.....	04
Figura 1.6 Transformador de núcleo de aire.....	04
Figura 1.7 a) Diodo rectificador , b) Diodo emisor de luz (LED).....	05
Figura 1.8 Bobinas.....	05
Figura 1.9 Pila acumulador de batería.....	05
Figura 1.10 Fusibles.....	06
Figura 1.11 a) Relé rápido, b) Relé con doble bobinado.....	06
Figura 1.12 a) Transistor NPN, b) Transistor PNP.....	07
Figura 1.13 (IC) Circuito integrado símbolo genérico.....	07
Figura 1.14 Composición de un circuito electrónico.....	08
Figura 1.15 División de la radiofrecuencia en las siguientes bandas del espectro.....	09
Figura 1.16 Sistema de radiocomunicación de un equipo de seguridad.....	10
Figura 1.17 National Radio Astronom Observatory (NRAO).....	10
Figura 1.18 Radar de búsqueda.....	10
Figura 1.19 Un aparato típico de Resonancia Magnética Nuclear.....	11
Figura 1.20 Sistemas AM y FM.....	12
Figura 1.21 Sistema inalámbrico.....	12
Figura 1.22 Sistema de radioterrestre de onda corta y microondas.....	13
Figura 1.23 Constelación GPS.....	14
Figura 1.24 Esquema de la aplicación que se le da al GPS.....	16
Figura 1.25 Sensor CCD.....	17
Figura 1.26 Comprobación Tamaño de Imagen.....	18
Figura 1.27 Pantalla.....	18
Figura 1.28 Ejemplos de distorsión esferoide (izquierda) y distorsión en corsé (derecha).....	22
Figura 1.29 Composición de una imagen digital.....	24
Figura 1.30 Composición de una imagen digital aérea.....	24
Figura 1.31 Composición de una imagen digital aérea.....	25
Figura 1.32 Resolución de luminosidad (nitidez) y Calidad.....	25
Figura 1.33 Rango dinámico y calidad.....	26
Figura 1.34 Ruido y calidad.....	26
Figura 1.35 Dos ejemplos de cámaras compactas. A la izquierda la Ixus 960 de Canon y, a la derecha, la coolpix S700 de Nikon.....	27
Figura 1.36 Dos ejemplos de cámaras compactas avanzadas. A la izquierda la Panasonic Lumix DMC-FZ18 y, a la derecha, la Easyshare Z712 IS de Kodak.....	28
Figura 1.37 Las cámaras Olympus E-510 y Sony A900 son dos cámaras reflex de gama media con funciones avanzadas muy interesantes. Cuentan con previsualización en pantalla, sistema de limpieza de polvo con ultrasonido y estabilizador de imagen en el cuerpo.....	28

Figura 1.38 Vehículo no tripulado para aplicaciones fotográficas.....	30
Figura 2.1 Diagrama de flujo de un Sistema Fotogramétrico Digital (Albertz et al., 1991).....	33
Figura 2.2 Componentes físicos de una estación de trabajo fotogramétrica.....	34
Figura 2.3 Visión libre paralela.....	35
Figura 2.4 Visión libre cruzada.....	35
Figura 2.5 Anaglifo.....	35
Figura 2.6 Lentes de polarización IMAX.....	35
Figura 2.7 Lentes LCD ELSA.....	36
Figura 2.8 Casco de realidad virtual COCOON.....	36
Figura 2.9 Sistema estereoscópico pasivo.....	36
Figura 2.10 Sistema estereoscópico activo.....	37
Figura 2.11 Sistema fotogramétrico digital con cursor 3D para digitalización (X, Y, Z).....	37
Figura 2.12 Diagrama del sistema fotogramétrico digital.....	39
Figura 2.13 Cámara lineal Leica: ADS 40.....	40
Figura 2.14 Sensor matricial VEXCEL: ULTRACAM D.....	40
Figura 2.15 Flight Data Storage devices (FDS).....	41
Figura 2.16 Sistema de navegación tiempo real.....	42
Figura 2.17 Plan de vuelo.....	42
Figura 2.18 Condiciones de toma.....	42
Figura 2.19 Escaneo de las imágenes.....	43
Figura 2.20 Sistema de navegación.....	43
Figura 2.21 Restitución digital fotogramétrico.....	43
Figura 2.22 Visualización desde sistemas CAD.....	44
Figura 2.23 Ortoimagen.....	44
Figura 2.24 Ejemplo de una planificación Catastral.....	44
Figura 2.25 Emisora WFLY T09.....	47
Figura 2.26 Pantalla de menú principal del radio control WFT09.....	48
Figura 2.27 Receptor WFR09.....	48
Figura 2.28 Conexión del Receptor WFR09.....	48
Figura 2.29 Fat Shark vision system.....	49
Figura 2.30 Sistema GPS EzOSD.....	50
Figura 2.31 Sistema de navegación controlado desde tierra.....	51
Figura 2.32 Globo aerostático.....	52
Figura 2.33 Dispositivo URBI control usb de cámara digital.....	53
Figura 2.34 Sistema de interface de control terrestre. (EagleEyes).....	54
Figura 2.35 Antena de seguimiento Antrack para sensor GPS.....	55
Figura 2.36 Photomodeler Scanner modelado de superficies.....	56
Figura 2.37 Photomodeler módulo de restitución panorámica.....	56
Figura 2.38 Equipamiento.....	57
Figura 2.39 Cuadro de Interfaz del sistema fotogramétrico de corto alcance.....	58
Figura 3.1 Cámara Fotográfica SONY ALPHA 450.....	60
Figura 3.2 Matriz de transformación de perspectiva.....	61
Figura 3.3 Distorsión radial Simétrica.....	62
Figura 3.4 Preparación de la toma de imágenes.....	67
Figura 3.5 Representación del punto de fuga de imagen.....	69

Figura 3.6 Representación de la escala.....	70
Figura 3.7 Representación del tono y el color.....	70
Figura 3.8 Representación de los tres puntos de fuga.....	70
Figura 3.9 Error de localización del punto con buenas posiciones de cámara.....	72
Figura 3.10 Error de localización del punto con malas posiciones de cámara.....	72
Figura 3.11 Vista Superior (Plana) Posiciones de las Estaciones de Cámara para un objeto.....	73
Figura 3.12 Vista Superior (Plana) Posiciones de las Estaciones de Cámara para la toma de una fachada.....	73
Figura 3.13 Vista Superior (Plana) Posiciones de las Estaciones de Cámara para la toma de una medida en el objeto.....	74
Figura 3.14 Vista lateral (Elevada) Posiciones de las Estaciones de Cámara para la toma de un objeto alto.....	75
Figura 3.15 Vista Superior (Plana) Posiciones de las Estaciones de Cámara para la toma de un objeto alto.....	76
Figura 3.16 Vista superior de las posiciones de la cámara de un objeto alrededor del anillo.....	77
Figura 3.17 Vista superior de las posiciones de la cámara de un objeto establecido por otros anillos.....	77
Figura 3.18 Vista lateral de las posiciones de la cámara en dos anillos con diferentes alturas.....	78
Figura 3.19 Clases de puntos de apoyo.....	81
Figura 3.20 Restitución del laboratorio de mecánica. ESPE-SANGOLQUÍ.....	82
Figura 3.21 Cuadro de ficha de campo.....	83
Figura 3.22 Proceso Fotogramétrico no Convencional.....	86
Figura 3.23 Cuadro comparativo del P.F.N.C. con varios métodos similares.....	87
Figura 4.1 Panel de calibración y marcas fiduciales.....	93
Figura 4.2 a. Geometría del panel de control.....	94
Figura 4.2 b. Geometría del panel de control.....	95
Figura 4.3 Posición de la cámara ante la cuadrícula o plantilla de calibración.....	96
Figura 4.4 Medición de la escala.....	96
Figura 4.5 Ubicación de los puntos de control.....	97
Figura 4.6 Orientación de la toma de las imágenes.....	98
Figura 4.7 Etapas de PhotoModeler Cámara Calibration.....	99
Figura 4.8 Barras del error de calibración.....	99
Figura 4.9 Esquema de trabajo para P.F.N.C.....	101
Figura 4.10 Polígono de cubrimiento.....	102
Figura 4.11 Área de cubrimiento.....	103
Figura 4.12 Modelo fotogramétrico no convencional.....	103
Figura 4.13 Ubicación de los puntos de control dentro del campus.....	104
Figura 4.14 Sistema Eagle Eyes TM FPV.....	105
Figura 4.15 Restitución fotogramétrica no convencional del laboratorio de mecánica del campus politécnico.....	106
Figura 4.16 Cuadro de proceso, ajustes y orientaciones.....	106
Figura 4.17 Definición de elementos lineales.....	107
Figura 4.18 Procesamiento, ajuste y precisiones de puntos a restituir.....	107
Figura 4.19 Levantamiento visualizado desde Plataforma ArcGis ArcScene.....	108

Figura 4.20 Visualización planimétrica del levantamiento fotogramétrico no convencional en plataforma ArcGis.....	109
Figura 4.21 Modelo Virtual visualizado en ArcScene como producto del levantamiento fotogramétrico no convencional.....	109
Figura 5.1 Toma de la ficha de calibración.....	111
Figura 5.2 Cuadros de datos y resultados del análisis del modelo de distorsión de la cámara Sony DSC-V3.....	112
Figura 5.3 Cuadros de datos y resultados del análisis del modelo de distorsión de la cámara Sony DH-20.....	113
Figura 5.4 Cuadros de datos y resultados del análisis del modelo de distorsión de la cámara Nikon Coolpix S210.....	113
Figura 5.5 Materialización y toma de las estaciones de referencia.....	115
Figura 5.6 Post-proceso de las estaciones.....	116
Figura 5.7 Ubicación de los puntos de apoyo en el campus politécnico de la ESPE.....	116
Figura 5.8 Imágenes del Laboratorio de Electrónica y Laboratorio de la CEA del campus politécnico.....	118
Figura 5.9 Imágenes del Laboratorio de Mecánica del campus politécnico.....	118
Figura 5.10 Registro de calibración.....	119
Figura 5.11 Importar imágenes.....	119
Figura 5.12 Marcar puntos homólogos.....	120
Figura 5.13 Georeferenciación.....	120
Figura 5.14 Cuadro de precisiones.....	120
Figura 5.15 Creación de superficies.....	121
Figura 5.16 Creación de texturas.....	121
Figura 5.17 Exportación de archivos.....	122
Figura 5.18 Construcción virtual del campus.....	122
Figura 5.19 Distanciómetro.....	124
Figura 5.20 Resumen estadístico para PhotoModeler.....	125
Figura 5.21 Resumen estadístico para Distanciómetro.....	126
Figura 5.22 Proyección de la diferencia de las dos muestras.....	126
Figura 5.23 Gráficos de simetría.....	127
Figura 5.24 Distribución de probabilidad.....	127
Figura 5.25 Análisis de intervalos de confianza.....	128
Figura 5.26 Proceso de calidad.....	129
Figura 5.27 Resumen estadístico para precisión de x.....	130
Figura 5.28 Resumen estadístico para precisión de y.....	131
Figura 5.29 Resumen estadístico para precisión de z.....	131
Figura 5.30 Análisis de intervalos de confianza a un 95%.....	132
Figura 6.1 Fotogramas para el bloque de mecánica.....	134
Figura 6.2 Fotogramas para el bloque de la CEA.....	135
Figura 6.3 Fotogramas para el bloque de la MED.....	135
Figura 6.4 Fotogramas para el bloque del CEINCE.....	135
Figura 6.5 Fotogramas para el bloque de central.....	136
Figura 6.6 Fotogramas para el bloque de Postgrados.....	136
Figura 6.7 Fotogramas para el bloque A y B.....	136
Figura 6.8 Construcción de escenario virtual desde ArcScene.....	145
Figura 6.9 Imagen panorámica del campus politécnico.....	146
Figura 6.10 Construcción virtual del campus politécnico.....	146
Figura 6.11 Plano estructural del sistema.....	147



CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES:

La fotogrametría es una técnica para determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales de seres vivos a partir de imágenes fotográficas. Básicamente, es una técnica de medición de coordenadas 3D, también llamada captura de movimiento, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno.

La fotogrametría tradicional o llamada también convencional, toma un nuevo sentido siguiendo orientaciones que encaminan hacia una visión o panorama que conducirá al operador a muchos aspectos de aplicaciones como restauraciones de monumentos, inspección de áreas afectadas bajo cualquier efecto que lo causará de forma natural o antrópica, seguimiento de obras civiles, estudios de impacto ambiental (línea base), delimitar áreas urbanas con gran cantidad de detalle y cubriendo zonas que se convierten en puntos ciegos en la fotogrametría tradicional, entre otras.

La fotogrametría de corto alcance, termina siendo para muchos una opción aceptada siempre y cuando este bien enfocada a lo que se quiere realizar, y el alcance de su instrumentación de toma, por ejemplo: resolución de la cámara, que dependerá de la marca y calidad de la misma ya que en el mercado existen distintas resoluciones, como también la distancia de toma, el enfoque de la cámara, geometría de la lente, esto es fundamental ya que determinara realmente la magnitud del trabajo. El tratar de sobrepasar ciertos parámetros dados en un informe de la calibración de la cámara llevará consigo aberraciones que sobrepasarán el grado de precisión que se desea conseguir.

Hay que mejorar su productividad para poder competir con sistemas convencionales que son operables a un rango más amplio, en medios actuales se puede encontrar los micro componentes denominados también microchips que ayudan a una simulación de un sistema fotogramétrico digital, pero recalcando siempre que la magnitud del mismo es limitado.

Hablar de un sistema es algo complejo, ya que el mismo es una interacción entre hardware y software construida e implementada a cierta función o conjunto de funciones, dependiendo de su diseño, construcción, implementación, validación, proceso, ajuste y presentación de productos. Así como también sus componentes electrónicos, transferencia de datos, efectividad de la misma, conexiones para las transmisiones de señal, sensores, entre varios.

La tendencia tecnológica actual es la llamada visión 3D que es una simulación de la realidad mediante la óptica geométrica a través de la ayuda de lentes especiales que son proyectados por componentes electrónicos como: televisores 3D, pantallas de televisores, retroproyectores, monitor de la computadora, e incluso en salas de cine.

Todo lo mencionado lleva a imaginar y hacerlo posible en cuanto que la tecnología permita crear un sistema fotogramétrico digital netamente para proyectos de corto alcance pero con gran fidelidad y aceptación, teniendo como componentes necesarios para realizarlos como:

- Circuitos electrónicos.
- Sistemas de transferencia de datos.
- Conversor de datos.
- Sistemas de posicionamiento global.
- Vehículo no tripulado.
- Cámara digital.
- Programa de restitución 3D.

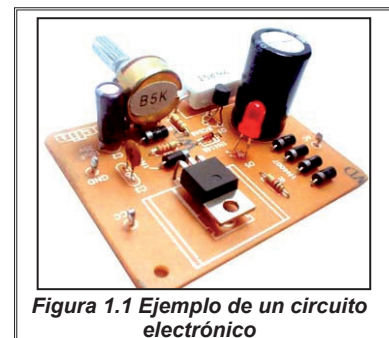
1.1 CIRCUITOS

Cuando se usa una batería, un grupo electrógeno o una placa solar para producir electricidad, hay tres cosas que siempre son iguales:

- El origen de la electricidad tendrá dos terminales: un terminal positivo y un terminal negativo.
- El origen del flujo eléctrico – ya sea un generador, batería, etc. Querrá empujar los electrones fuera de su terminal negativo a un cierto voltaje. Por ejemplo, una pila AA normalmente quiere empujar esos electrones a 1,5 voltios.
- Los electrones tendrán que fluir desde el terminal negativo al terminal positivo por medio de un cable de cobre u otro tipo de conductor. Cuando hay un camino que va desde el terminal negativo al positivo, tienes un circuito, y los electrones pueden fluir por el cable.

Puede incluir una carga de cualquier tipo (una bombilla, un motor, una televisión, etc.), en el centro del circuito. La fuente de electricidad alimentará la carga, y la carga hará su función (crear luz, generar imágenes, arrancar un motor, etc.).

Los circuitos electrónicos se pueden volver muy complejos, pero a un nivel muy básico, siempre se tiene la fuente de la electricidad (batería), la carga y dos cables para conducir la electricidad entre la batería y la carga.



Los electrones se mueven desde el origen, por la carga y de vuelta al origen.

Los electrones que se mueven tienen energía. Según los electrones se mueven de un punto a otro, pueden realizar un trabajo. Por ejemplo, en una bombilla de filamento incandescente, la energía de los electrones se usa para crear calor, y el calor a su vez para crear luz.

En un motor eléctrico, la energía en los electrones crea un campo magnético, y este campo puede interactuar con otros (por atracción y repulsión magnética) para crear movimiento.

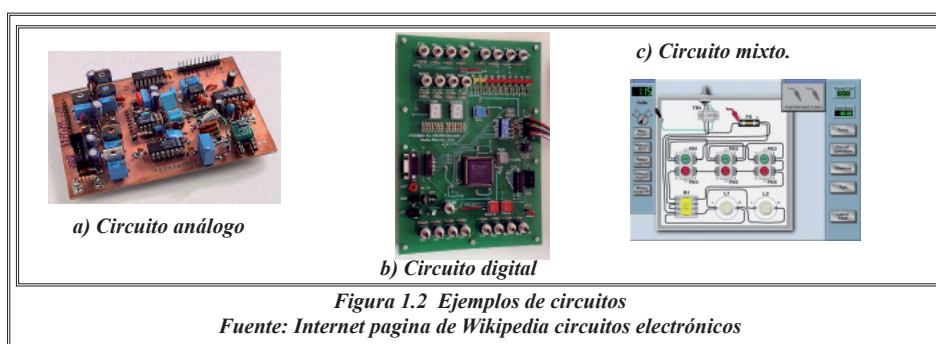
El circuito electrónico

Un circuito electrónico es un circuito eléctrico que también contiene dispositivos tales como transistores, válvulas y otros elementos electrónicos. Los circuitos electrónicos pueden hacer funciones complejas utilizando las cargas eléctricas, aunque se gobiernan con las mismas leyes que los circuitos eléctricos. Los circuitos electrónicos se pueden clasificar en tres grupos:

Circuitos analógicos: Son aquellos en que las señales eléctricas varían continuamente para corresponderse con la información representada. El equipamiento electrónico como los amplificadores de voltaje o de potencia, radios, televisiones, suelen ser analógicos con la excepción de muchos dispositivos modernos que suelen usar circuitos digitales. Las unidades básicas de los circuitos analógicos son pasivos resistencias, capacitadores, inductores y activos, fuentes de energía independientes y fuentes de energía dependientes.

Circuitos digitales: En estos circuitos, las señales eléctricas obtienen unos valores discretos para mostrar valores numéricos y lógicos que representen la información a procesar. Los transistores se utilizan principalmente como conmutadores para crear pasarelas lógicas. Algunos ejemplos de equipos electrónicos que utilizan circuitos digitales son las calculadoras, PDAs y los microprocesadores.

Circuitos mixtos: Estos circuitos son híbridos y contienen elementos tanto analógicos como digitales. Algunos ejemplos de estos circuitos son los convertidores de analógico al digital y viceversa.



1.1.1 Componentes eléctricos

Resistencias:

Propiedad de un objeto o sustancia que hace que se resista u oponga al paso de una corriente eléctrica. La resistencia de un circuito eléctrico determina según la llamada ley de Ohm cuánta corriente fluye en el circuito cuando se le aplica un voltaje determinado. La unidad de resistencia es el ohmio, que es la resistencia de un conductor si es recorrido por una corriente de un amperio cuando se le aplica una tensión de 1 voltio. La abreviatura habitual para la resistencia eléctrica es R, y el símbolo del ohmio es la letra griega omega, Ω . En algunos cálculos eléctricos se emplea el inverso de la resistencia, $1/R$, que se denomina conductancia y se representa por G. La unidad de conductancia es siemens, cuyo símbolo es S.



Figura 1.3 Resistencias.

Fuente: Internet página de Wikipedia componentes electrónicos

Condensador:

El condensador es uno de los componentes más utilizados en los circuitos eléctricos.

Un condensador es un componente pasivo que presenta la cualidad de almacenar energía eléctrica. Está formado por dos láminas de material conductor (metal) que se encuentran separados por un material dieléctrico (material aislante). En un condensador simple, cualquiera sea su aspecto exterior, dispondrá de dos terminales, los cuales a su vez están conectados a las dos laminas conductoras.

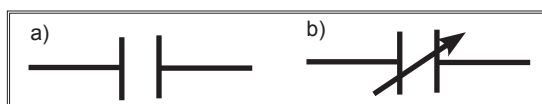


Figura 1.4 a) Condensador no polarizado, b) Condensador variable

Fuente: Internet página de wikipedia componentes electrónicos

Reóstatos:

Son resistencias bobinadas variables dispuestas de tal forma que pueda variar el valor de la resistencia del circuito en que está instalada, como se sabe, son capaces de aguantar más corriente. . A las resistencias variables se le llaman reóstatos o potenciómetros, con un brazo de contacto deslizante y ajustable, suelen utilizarse para controlar el volumen de radios y televisiones.

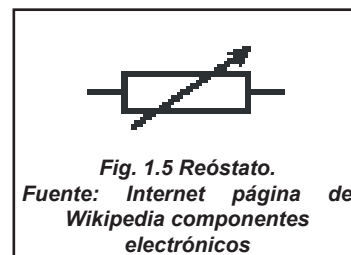


Fig. 1.5 Reóstato.

Fuente: Internet página de Wikipedia componentes electrónicos

Transformador:

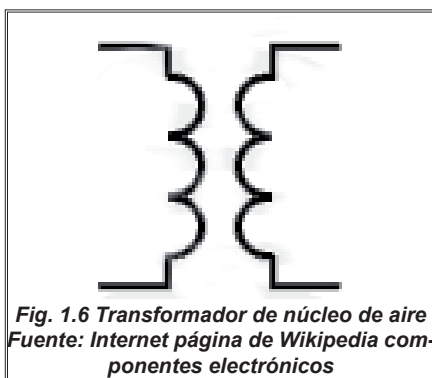


Fig. 1.6 Transformador de núcleo de aire
Fuente: Internet página de Wikipedia componentes electrónicos

Dispositivo eléctrico que consta de una bobina de cable situada junto a una o varias bobinas más, y que se utiliza para unir dos o más circuitos de corriente alterna (CA) aprovechando el efecto de inducción entre las bobinas. La bobina conectada a la fuente de energía se llama bobina primaria. Las demás bobinas reciben el nombre de bobinas secundarias. Un transformador cuyo voltaje secundario sea superior al primario se llama transformador elevador. Si el voltaje secundario es inferior al primario este dispositivo recibe el nombre de transformador reductor.

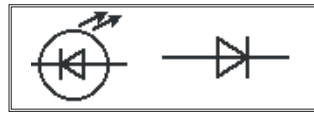
El producto de intensidad de corriente por voltaje es constante en cada juego de bobinas, de forma que en un transformador elevador el aumento de voltaje de la bobina secundaria viene acompañado por la correspondiente disminución de corriente.

La cantidad de terminales varía según cuantos bobinados y tomas tenga. Como mínimo son tres para los auto- transformadores y cuatro en adelante para los transformadores. No tienen polaridad aunque si orientación magnética de los bobinados.

Diodo:

Componente electrónico que permite el paso de la corriente en un solo sentido. Los primeros dispositivos de este tipo fueron los diodos de tubo de vacío, que consistían en un receptáculo de vidrio o de acero al vacío que contenía dos electrodos: un cátodo y un ánodo. Ya que los electrones pueden fluir en un solo sentido, desde el cátodo hacia el ánodo, el diodo de tubo de vacío se podía utilizar en la rectificación.

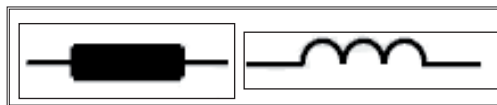
Los diodos más empleados en los circuitos electrónicos actuales son los diodos fabricados con material semiconductor. El más sencillo, el diodo con punto de contacto de germanio, se creó en los primeros días de la radio, cuando la señal radiofónica se detectaba mediante un cristal de germanio y un cable fino terminado en punta y apoyado sobre él. En los diodos de germanio (o de silicio) modernos, el cable y una minúscula placa de cristal van montados dentro de un pequeño tubo de vidrio y conectados a dos cables que se sueldan a los extremos del tubo.



*Figura 1.7 a) Diodo rectificador , b) Diodo emisor de luz (LED)
Fuente: Internet página de Wikipedia componentes electrónicos*

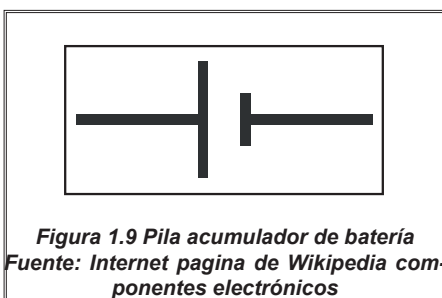
Bobina:

Las bobinas también llamadas inductores consisten en un hilo conductor enrollado. Al pasar una corriente a través de la bobina, alrededor de la misma se crea un campo magnético que tiende a oponerse a los cambios bruscos de la intensidad de la corriente. Al igual que un condensador, una bobina puede utilizarse para diferenciar entre señales rápida y lentamente cambiantes (altas y bajas frecuencias). Al utilizar una bobina conjuntamente con un condensador, la tensión de la bobina alcanza un valor máximo a una frecuencia específica que depende de la capacitancia y de la inductancia. Este principio se emplea en los receptores de radio al seleccionar una frecuencia específica mediante un condensador variable.



*Figura 1.8 Bobinas
Fuente: Internet página de Wikipedia componentes electrónicos*

Pila (Acumulador, Batería):

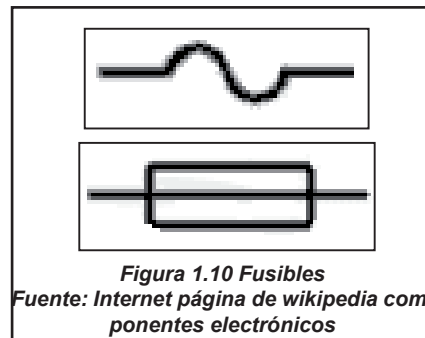


Dispositivo que convierte la energía química en eléctrica. Todas las pilas consisten en un electrolito (que puede ser líquido, sólido o en pasta), un electrodo positivo y un electrodo negativo. El electrolito es un conductor iónico; uno de los electrodos produce electrones y el otro electrodo los recibe. Al conectar los electrodos al circuito que hay que alimentar, se produce una corriente eléctrica.

Las pilas en las que el producto químico no puede volver a su forma original una vez que la energía química se ha transformado en energía eléctrica (es decir, cuando las pilas se han descargado), se llaman pilas primarias o voltaicas. Las pilas secundarias o acumuladores son aquellas pilas reversibles en las que el producto químico que al reaccionar en los electrodos produce energía eléctrica, puede ser reconstituido pasando una corriente eléctrica a través de él en sentido opuesto a la operación normal de la pila.

Fusible:

Dispositivo de seguridad utilizado para proteger un circuito eléctrico de un exceso de corriente. Su componente esencial es, habitualmente, un hilo o una banda de metal que se derrite a una determinada temperatura. El fusible está diseñado para que la banda de metal pueda colocarse fácilmente en el circuito eléctrico. Si la corriente del circuito excede un valor predeterminado, el metal fusible se derrite y se rompe o abre el circuito. Los dispositivos utilizados para detonar explosivos también se llaman fusibles.



Un fusible cilíndrico está formado por una banda de metal fusible encerrada en un cilindro de cerámica o de fibra. Unos bornes de metal ajustados a los extremos del fusible hacen contacto con la banda de metal.

Este tipo de fusible se coloca en un circuito eléctrico de modo que la corriente fluya a través de la banda metálica para que el circuito se complete. Si se da un exceso de corriente en el circuito, la conexión de metal se calienta hasta su punto de fusión y se rompe. Esto abre el circuito, detiene el paso de la corriente y, de ese modo, protege al circuito.

Relé:

Conmutador eléctrico especializado que permite controlar un dispositivo de gran potencia mediante un dispositivo de potencia mucho menor. Un relé está formado por un electroimán y unos contactos conmutadores mecánicos que son impulsados por el electroimán. Éste requiere una corriente de sólo unos cientos de mili amperios generada por una tensión de sólo unos voltios, mientras que los contactos pueden estar sometidos a una tensión de cientos de voltios y soportar el paso de decenas de amperios.

Por tanto, el conmutador permite que una corriente y tensión pequeñas controlen una corriente y tensión mayores. Técnicamente un relé es un aparato electromecánico capaz de accionar uno o varios interruptores cuando es excitado por una corriente eléctrica.

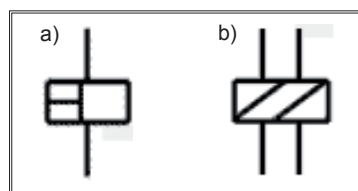


Figura 1.11 a) Relé rápido, b) Relé con doble bobinado
Fuente: Internet página de wikipedia componentes electrónicos

Transistores:

Los transistores se componen de semiconductores. Se trata de materiales, como el silicio o el germanio, dopados (es decir, se les han incrustado pequeñas cantidades de materias extrañas), de manera que se produce un exceso o una carencia de electrones libres. En el primer caso, se dice que el semiconductor es del tipo n, y en el segundo, que es del tipo p. Combinando materiales del tipo n y del tipo p se puede producir un diodo.

Cuando éste se conecta a una batería de manera tal que el material tipo p es positivo y el material tipo n es negativo, los electrones son repelidos desde el terminal negativo de la batería y pasan, sin ningún obstáculo, a la región p, que carece de electrones. Con la batería invertida, los electrones que llegan al material p pueden pasar sólo con muchas dificultades hacia el material n, que ya está lleno de electrones libres, en cuyo caso la corriente es prácticamente cero.

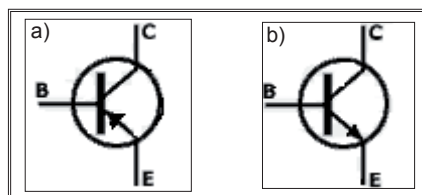
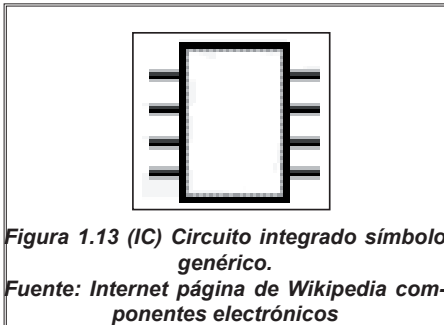


Figura 1.12 a) Transistor NPN, b) Transistor PNP

Fuente: Internet página de Wikipedia componentes electrónicos

Circuitos Integrados:



La mayoría de los circuitos integrados son pequeños trozos, o chips, de silicio, de entre 2 y 4 mm², sobre los que se fabrican los transistores. La fotolitografía permite al diseñador crear centenares de miles de transistores en un solo chip situando de forma adecuada las numerosas regiones tipo n y p.

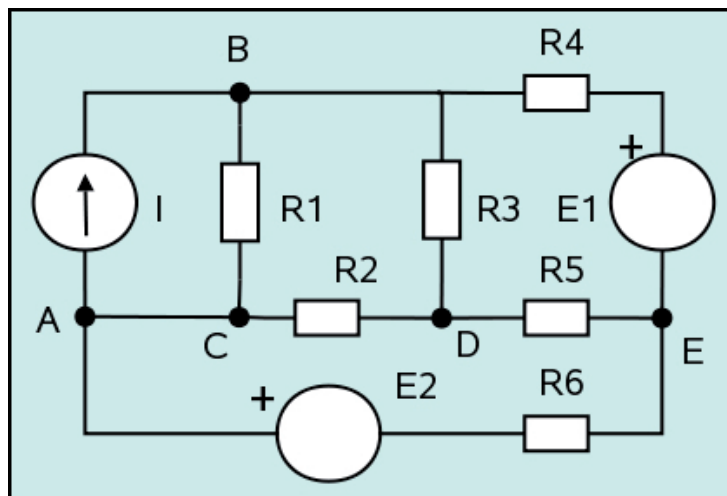
Durante la fabricación, estas regiones son interconectadas mediante conductores minúsculos, a fin de producir circuitos especializados complejos.

Estos circuitos integrados son llamados monolíticos por estar fabricados sobre un único cristal de silicio. Los chips requieren mucho menos espacio y potencia, y su fabricación es más barata que la de un circuito equivalente compuesto por transistores individuales.

1.1.2 Composición de un circuito eléctrico

Un circuito electrónico está compuesto de las siguientes partes:

- **Componente:** Un dispositivo con dos o más terminales que puede fluir carga dentro de él. En la figura se ven 8 componentes entre resistores y fuentes.
- **Nodo:** Punto de un circuito donde concurren varios conductores distintos. A, B, D, E son nodos. Nótese que C no es considerado como un nodo puesto que es el mismo nodo A al no existir entre ellos diferencia de potencial o tener tensión 0 ($V_A - V_C = 0$).
- **Rama:** Conjunto de todos los elementos de un circuito comprendidos entre dos nodos consecutivos. En la figura se hallan siete ramales: AB por la fuente, AB por R1, AD, AE, BD, BE y DE. Obviamente, por un ramal sólo puede circular una corriente.
- **Malla:** Un grupo de ramas que están unidas en una red y que a su vez forman un lazo.
- **Fuente:** Componente que se encarga de transformar algún tipo de energía en energía eléctrica. En el circuito de la figura hay tres fuentes, una de intensidad, I, y dos de tensión, E1 y E2.
- **Conductor:** Comúnmente llamado cable; es un hilo de resistencia despreciable (idealmente cero) que une los elementos para formar el circuito.



*Figura 1.14 Composición de un circuito electrónico.
Fuente: Internet página de Wikipedia componentes electrónicos*

1.2 LA RADIOFRECUENCIA

El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre 3 Hz y 300 GHz. El Hertz es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas radioeléctricas, y corresponde a un ciclo por segundo. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena.

Nombre	Abreviatura inglesa	Banda ITU	Frecuencias	Longitud de onda
			< 3 Hz	> 100.000 km
Extra baja frecuencia Extremely low frequency	ELF	1	3-30 Hz	100.000–10.000 km
Super baja frecuencia Super low frequency	SLF	2	30-300 Hz	10.000–1.000 km
Ultra baja frecuencia Ultra low frequency	ULF	3	300–3.000 Hz	1.000–100 km
Muy baja frecuencia Very low frequency	VLF	4	3–30 kHz	100–10 km
Baja frecuencia Low frequency	LF	5	30–300 kHz	10–1 km
Media frecuencia Medium frequency	MF	6	300–3.000 kHz	1 km – 100 m
Alta frecuencia High frequency	HF	7	3–30 MHz	100–10 m
Muy alta frecuencia Very high frequency	VHF	8	30–300 MHz	10–1 m
Ultra alta frecuencia Ultra high frequency	UHF	9	300–3.000 MHz	1 m – 100 mm
Super alta frecuencia Super high frequency	SHF	10	3-30 GHz	100–10 mm
Extra alta frecuencia Extremely high frequency	EHF	11	30-300 GHz	10–1 mm
			> 300 GHz	< 1 mm

Figura 1.15 División de la radiofrecuencia en las siguientes bandas del espectro:

Fuente: Manual de la emisora WFly

A partir de 1 GHz las bandas entran dentro del espectro de las microondas. Por encima de 300 GHz la absorción de la radiación electromagnética por la atmósfera terrestre es tan alta que la atmósfera se vuelve opaca a ella, hasta que, en los denominados rangos de frecuencia infrarrojos y ópticos, regresa nuevamente a ser transparente.

Las bandas ELF, SLF, ULF y VLF comparten el espectro de la AF (audio frecuencia), que se encuentra entre 20 y 20.000 Hz aproximadamente.

Sin embargo, éstas se tratan de ondas de presión, como el sonido, por lo que se desplazan a la velocidad del sonido sobre un medio material. Mientras que las ondas de radiofrecuencia, al ser ondas electromagnéticas, se desplazan a la velocidad de la luz y sin necesidad de un medio material.

1.2.1 Usos de la radiofrecuencia

Las radiofrecuencias son utilizadas en varios campos como:

* **Radio comunicación:**

Aunque se emplea la palabra radio, las transmisiones de televisión, radio, radar y telefonía móvil están incluidos en esta clase de emisiones de radiofrecuencia.

Otros usos son audio, vídeo, radio navegación, servicios de emergencia y transmisión de datos por radio digital; tanto en el ámbito civil como militar. También son usadas por los radioaficionados.

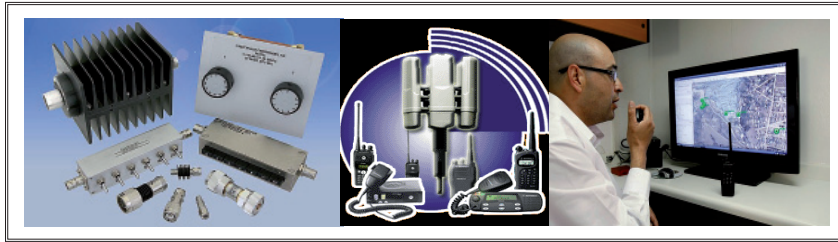


Figura 1.16 Sistema de radiocomunicación de un equipo de seguridad.

* Radioastronomía

Muchos de los objetos astronómicos emiten en radiofrecuencia. En algunos casos en rangos anchos y en otros casos centrados en una frecuencia que se corresponde con una línea espectral, 1 por ejemplo:

- Línea de HI o hidrógeno atómico. Centrada en 1,4204058 GHz.
- Línea de CO (transición rotacional 1-0) asociada al hidrógeno molecular. Centrada en 115,271 GHz.



Figura 1.17 National Radio Astronom Observatory (NRAO), es el observatorio de radioastronomía más grande de los EEUU y uno de los mayores del mundo.

* Radar



Figura 1.18 Radar de búsqueda.

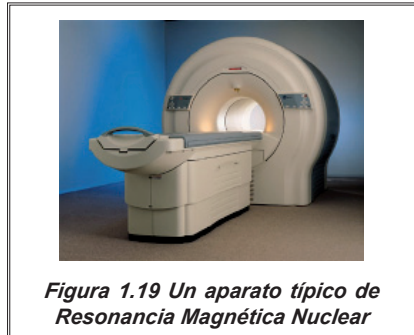
El radar es un sistema que usa ondas electromagnéticas para medir distancias, altitudes, direcciones y velocidades de objetos estáticos o móviles como aeronaves, barcos, vehículos motorizados, formaciones meteorológicas y el propio terreno. Su funcionamiento se basa en emitir un impulso de radio, que se refleja en el objetivo y se recibe típicamente en la misma posición del emisor. A partir de este “eco” se puede extraer gran cantidad de información.

El uso de ondas electromagnéticas permite detectar objetos más allá del rango de otro tipo de emisiones. Entre sus ámbitos de aplicación se incluyen la meteorología, el control del tráfico aéreo y terrestre y gran variedad de usos militares.

* Resonancia magnética nuclear

La RMN estudia los núcleos atómicos al alinearlos a un campo magnético constante para posteriormente perturbar este alineamiento con el uso de un campo magnético alterno, de orientación ortogonal. La resultante de esta perturbación es una diferencia de energía que se evidencia al ser excitados dichos átomos por radiación electromagnética de la misma frecuencia.

Estas frecuencias corresponden típicamente al intervalo de radiofrecuencias del espectro electromagnético. Esta es la absorción de resonancia que se detecta en las distintas técnicas de RMN.



*** Otros usos de las ondas de radio**

- Calentamiento.
- Fuerza mecánica.
- Metalurgia.
- Templado de metales.
- Soldaduras.
- Industria alimentaria.
- Esterilización de alimentos.
- Medicina.
- Implante coclear.
- Diatermia.

1.2.2 Emisoras y receptoras de radio

Una onda de radio se origina cuando una partícula cargada (por ejemplo, un electrón) se excita a una frecuencia situada en la zona de radiofrecuencia (RF) del espectro electromagnético. Otros tipos de emisiones que caen fuera de la gama de RF son los rayos gamma, los rayos X, los rayos infrarrojos, los rayos ultravioleta y la luz.

Cuando la onda de radio actúa sobre un conductor eléctrico (la antena), induce en él un movimiento de la carga eléctrica (corriente eléctrica) que puede ser transformado en señales de audio u otro tipo de señales portadoras de información.

El emisor tiene como función producir una onda portadora, cuyas características son modificadas en función de las señales (audio o video) a transmitir. Propaga la onda portadora así modulada. El receptor capta la onda y la «de modula» para hacer llegar al espectador auditor tan solo la señal transmitida.

Sistemas AM y FM

- **Amplitud Modulada:** En el sistema de modulación de amplitud (AM), la señal (de baja frecuencia) se superpone a la amplitud de ondas hertzianas portadora (de alta frecuencia).
- **Frecuencia Modulada:** En el sistema de modulación de frecuencia (FM), la amplitud de la onda portadora se mantiene constante, pero la frecuencia varía según la cadencia de las señales moduladoras. Este sistema permite eliminar parásitos e interferencias, y reproduce el sonido con mayor fidelidad.

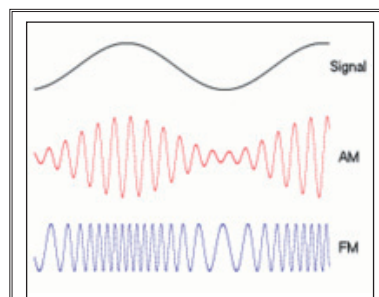


Figura 1.20 Sistemas AM y FM
Fuente: Manual de la emisora WFLy

1.2.3 Sistemas inalámbricos y radio terrestres

Sistemas inalámbricos

Estos sistemas se utilizan en las redes de área local por la comodidad y flexibilidad que presentan: no son necesarios complejos sistemas de cableado, los puestos de la red se pueden desplazar sin grandes problemas, etc. Sin embargo, adolecen de baja velocidad de transmisión y de fuertes imposiciones administrativas en las asignaciones de frecuencia que pueden utilizar; son sistemas cuyos parámetros de transmisión están legislados por las administraciones públicas.

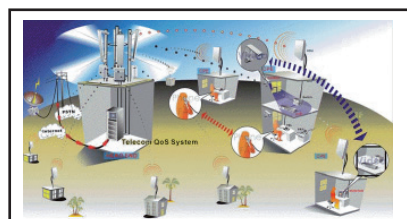


Figura 1.21 Sistema inalámbrico
Fuente: Internet telecomunicaciones

En algunos casos se requieren permisos especiales, dependiendo de la banda de frecuencia que utilicen.

Los sistemas radio terrestres

El medio de transmisión en los enlaces de radio es el espacio libre, con o sin atmósfera, a través de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz. Para llevar a cabo la transmisión se utiliza un sistema de antenas emisoras y receptoras.

La propagación por el medio atmosférico produce en ocasiones problemas de transmisión provocados por los agentes meteorológicos. Estos efectos negativos se pueden comprobar fácilmente en las emisiones televisivas cuando las condiciones climatológicas no son favorables en forma de interferencias, nieve, rayas, doble imagen, etcétera.

De modo general, cuanto mayor es la frecuencia de la señal que se emite, tanto más sensible es a este tipo de problemas, de modo que la distancia máxima entre las antenas emisora y receptora debe ser menor para garantizar una comunicación íntegra.

Para las transmisiones radio terrestre, destacan las siguientes bandas de frecuencia del espectro electromagnético:

- Onda corta, con frecuencias en el entorno de las decenas de MHz, que utilizan la ionosfera terrestre como espejo reflector entre el emisor y receptor. De este modo son posibles comunicaciones de larga distancia, típicamente intercontinentales. El ancho de banda de los mensajes transmitidos por onda corta es pequeño puesto que la frecuencia de la señal portadora es relativamente baja; no es un buen modo de transmisión de datos digitales.
- Microondas, con frecuencias del orden del GHz. El ancho de banda para los mensajes puede ser mucho más elevado ya que la frecuencia de la señal portadora es muy alta. Esto permite la multicanalización de muchos mensajes. Las distancias que se permiten oscilan entre los 50 a 100 km en transmisiones por la superficie terrestre. Las antenas tienen forma parabólica y se pueden ver en la cima de los montes a lo largo de la geografía.

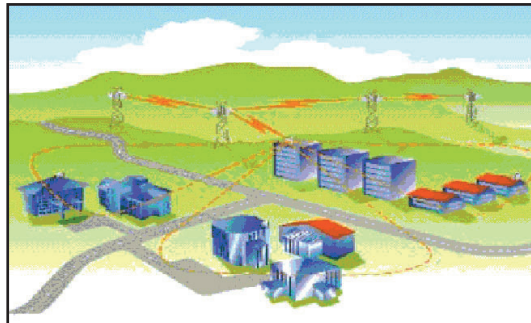


Figura 1.22 Sistema de radio terrestre de onda corta y microondas.
Fuente: Internet Telecomunicaciones

1.3 SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL Y RECEPTORES GPS

El GPS (Global Positioning System: sistema de posicionamiento global) o NAVSTAR-GPS1 es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión. Aunque su invención se atribuye al gobierno francés y belga, el sistema fue desarrollado, instalado y actualmente operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una red de 32 satélites (28 operativos y 4 de respaldo) en órbita sobre el globo, a 20 200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite mediante "triangulación" (método de trilateración inversa), la cual se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición.

Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenada real del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites.

La antigua Unión Soviética construyó un sistema similar llamado GLONASS, ahora gestionado por la Federación Rusa.

Actualmente la Comunidad Europea está desarrollando su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado Galileo.

1.3.1 Funcionamiento de los receptores GPS

Los receptores GPS reciben la información precisa de la hora y la posición del satélite. Exactamente, recibe dos tipos de datos, los datos del Almanaque, que consiste en una serie de parámetros generales sobre la ubicación y la operatividad de cada satélite en relación al resto de satélites de la red, esta información puede ser recibida desde cualquier satélite, y una vez el receptor GPS tiene la información del último Almanaque recibido y la hora precisa, sabe dónde buscar los satélites en el espacio; la otra serie de datos, también conocida como Efemérides, hace referencia a los datos precisos, únicamente, del satélite que está siendo captado por el receptor GPS, son parámetros orbitales exclusivos de ese satélite y se utilizan para calcular la distancia exacta del receptor al satélite.

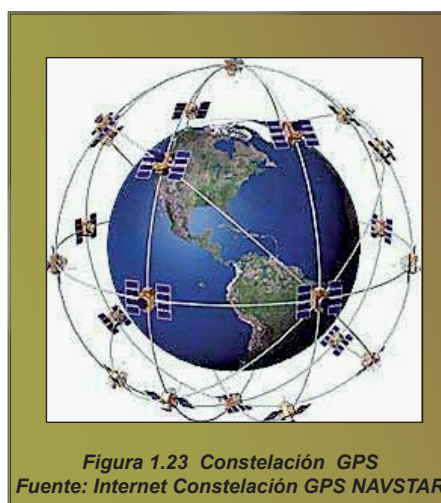


Figura 1.23 Constelación GPS
Fuente: Internet Constelación GPS NAVSTAR

Cuando el receptor ha captado la señal de, al menos, tres satélites calcula su propia posición en la Tierra mediante la triangulación de la posición de los satélites captados, y nos presentan los datos de Longitud, Latitud y Altitud calculados.

Los receptores GPS pueden recibir, la señal de más de tres satélites para calcular su posición. En principio, cuantas más señales reciben, más exacto es el cálculo de posición.

Teniendo en cuenta que la concepción inicial de este sistema era de uso militar, se debe señalar que los receptores que existen en el mercado son para uso civil, y que éstos quedan sujetos a una degradación de precisión que oscila de los 15 a los 100 metros RMS o 2DRMS1 en función de las circunstancias geoestratégicas del momento, según la interpretación del Departamento de Defensa de los EE.UU., quien gestiona y proporciona este servicio.

Esta degradación queda regulada por el Programa de Disponibilidad Selectiva del Departamento de Defensa de los EE.UU. o SA (Selective Availability) introduce un error en la transmisión de la posición para los receptores de uso civil, esto es, para mantener una ventaja estratégica durante las operaciones militares que lo requieran.

De todo esto se deduce que, los receptores GPS tienen un error nominal en el cálculo de la posición aproximadamente 15 m. RMS que puede aumentar hasta los 100 m. RMS cuando el Gobierno de los EE.UU. lo estime oportuno.

Normalmente, cuando el error en la posición aumenta de los 15m., sólo lo hace de forma temporal, y responde a operaciones de tipo militar o estratégico que coinciden con el uso del receptor.

Si la utilización que se va a dar al receptor GPS requiere más precisión aún, como trabajos topográficos, levantamientos cartográficos, carreras de orientación, situación de balizas, etc., casi todas las firmas disponen de antenas opcionales con dispositivos DGPS2 para algunos de sus receptores que corrigen mediante corrección diferencial este error, disminuyéndolo hasta un margen de 1 a 3 metros RMS.

1.3.2 Aplicaciones

Los sistemas de posicionamiento global (GPS) tienen aplicaciones en dos campos de gran demanda como son:

Civil:

- Navegador GPS de pantalla táctil de un vehículo con información sobre la ruta, así como las distancias y tiempos de llegada al punto de destino.
- Navegación terrestre, marítima y aérea. Muchos vehículos lo incorporan en la actualidad, siendo de especial utilidad para encontrar direcciones o indicar la situación para emergencias.
- Teléfonos móviles
- Topografía y geodesia.

- Localización agrícola (agricultura de precisión), ganadera y de fauna.
- Salvamento y rescate.
- Deporte, acampada y ocio.
- Para localización de enfermos, discapacitados y menores.
- Aplicaciones científicas en trabajos de campo (ver geomática).
- Geocaching, actividad deportiva consistente en buscar “tesoros” escondidos por otros usuarios.
- Se utiliza para rastreo y recuperación de vehículos.
- Navegación deportiva.
- Deportes aéreos: parapente, ala delta, planeadores, etc.
- Sistemas de gestión de rutas y de seguridad de flotas.

Militar:

- Navegación terrestre, aérea y marítima.
- Guiado de misiles y proyectiles de diverso tipo.
- Búsqueda y rescate.
- Reconocimiento y cartografía.
- Detección de detonaciones nucleares.





1.4 CÁMARAS DIGITALES

1.4.1 Funcionamiento

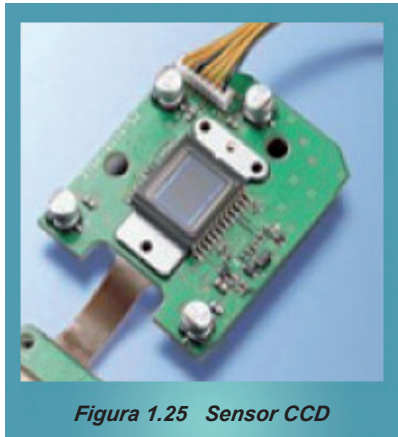


Figura 1.25 Sensor CCD

En general, toda cámara digital tiene como objetivo capturar las imágenes, almacenarlas en la memoria interna de la cámara o en una tarjeta especial para ello y después transferirlas a la computadora; en términos técnicos, transforma los impulsos luminosos a bits, de tal manera que el computador al descargar la información la decodifica o descifra.

El elemento principal común a todas estas cámaras es un chip semiconductor sensible a la luz llamado CCD (Charge Coupled Device) o dispositivo de carga acoplada, creado en 1969 por Willard Boyle y George Smith de los laboratorios Bell.

La película es sustituida por este dispositivo que después de filtrar los colores transforma la luz en una señal eléctrica y la almacena en la memoria de la cámara. Cuantos más valores sea capaz de recibir el CCD mejor será la calidad de las fotografías obtenidas con la cámara.

A continuación un esquema de funcionamiento:

- Se activa la cámara, se ajusta el dispositivo de resolución, el flash y los demás parámetros.
- Se enfoca el objeto a fotografiar y se pulsa el botón disparador.
- La luz reflejada por el objeto entra a través de la lente de la cámara.
- La luz incide sobre el CCD que contiene múltiples elementos sensibles a la luz la descompone en rojo, verde y azul. La cantidad de luz reflejada se convierte en una señal eléctrica analógica y se transfiere a la electrónica de la cámara.
- Mediante el software interno de la cámara la imagen tomada se comprime y se almacena en la cámara sobre la memoria de tipo flash, PCMCIA, disco duro o disquete.
- Luego al conectar la cámara a la PC pueden transferirse las imágenes.

1.4.2 Características de una cámara digital

Ya sea que se trate de equipo profesional o no, lo importante es tomar en cuenta algunos factores que resulten de mayor beneficio en la adquisición de una cámara, por supuesto, de acuerdo con los intereses y presupuesto.

En los últimos años, las cámaras digitales han pasado de ser 100% automáticas a una combinación de usos manuales y asistidos, lo cual permite mayor margen de maniobrabilidad y control sobre elementos como: óptica, iluminación, enfoque, utilización de flash, entre otros. Con todo ello, se debe meditar en la mejor opción de acuerdo con los siguientes aspectos:

a) Resolución:

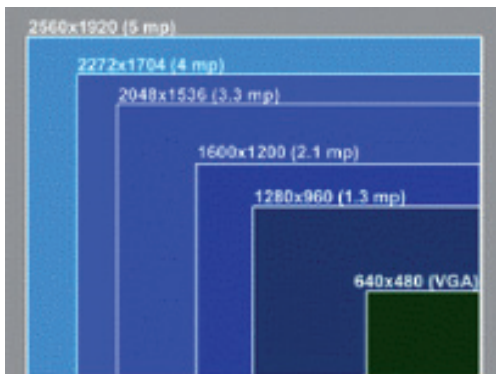


Figura 1.26 Comprobación Tamaño de Imagen
Fuente: Manual de Cámara Sony V-3

La calidad de la imagen en cuanto a resolución es fundamental para cumplir con el objetivo de captar imágenes, sobre todo cuando se trata de la mejor definición o detalle fino de las mismas.

A cada una de las cuadrículas elementales que constituyen una imagen se les denomina píxel y, se obtendrá mayor calidad cuanto más píxeles se puedan distinguir ya que así se tendrá mayor resolución; ésta se mide en mega píxeles (MP).

Con base en ello, la resolución estará ligada al uso o aplicación de la misma.

Si sólo se necesita para captar fotografías familiares, cotidianas para lo cual se recomienda adquirir una de 1.3 mega píxeles.

Para trabajo profesional de 2.3 mega píxeles, y de 3.3, 4 MP, ó 5 MP, en adelante para aquellas aplicaciones de mayor resolución e incluso carteles o imágenes de grandes magnitudes que requieran de gran detalle y pueden ampliarse sin perder definición.

b) Sistemas de visor:

Son dos las opciones que existen en cámaras digitales: visor óptico y de pantalla líquida o LCD. La más completa ayuda a tener mejores resultados ya que tienen los dos dispositivos para utilizar a la altura de los ojos.

- El visor óptico, similar al de las cámaras tradicionales. Su ventaja es que no repercute en el consumo de energía de la cámara; sin embargo, en muchos casos este tipo de visor tiene errores de cobertura o de paralaje el cual es un efecto propiciado por el desfase óptico que existe entre lo que se ve a través del visor de imagen y lo que capta realmente la lente de la cámara.

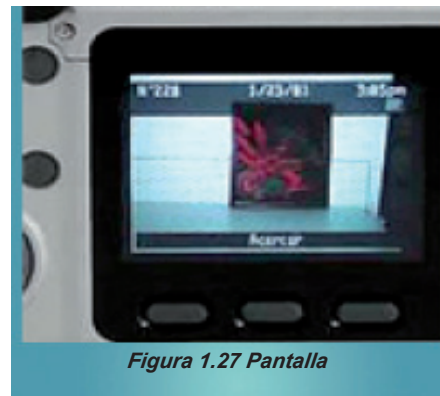


Figura 1.27 Pantalla

- El visor de pantalla líquida o LCD, cuya ventaja consiste en observar de manera previa la toma fotográfica, además de permitir revisar las ya obtenidas hasta manipularlas en algunos modelos o simplemente borrarla. Una característica negativa es que registra una mala visualización cuando se encuentra en condiciones de luz solar.

c) Tiempo de disparo:

Un factor que se debe tomar en cuenta es la rapidez del disparo, así como el tiempo de recuperación entre foto y foto.

En los modelos de alta resolución los tiempos de disparo tienden a acortarse y llegan incluso a registrar tres disparos por segundo como es en el caso de serie Alpha de Sony. Actualmente existen cámaras con velocidades superiores a los 50 fps (fotogramas por segundo), como es en el caso de Casio Exilim con 60 fps.

d) Formatos de almacenamiento:

En cuanto al tipo de formatos que pueden ser utilizados para el almacenamiento de imágenes digitales son: TIFF, JPEG, GIF, RAW, y ninguno de ellos es el mejor pues tienen finalidad distinta. El formato .jpg como es comprimido hace que la fotografía pierda algo de calidad; para superar este problema, se deben adquirir tarjetas de memoria que soporten el formato .tiff siempre con la salvedad de por ser comprimido su almacenamiento depende de la capacidad de la tarjeta de memoria y dependiendo también de la resolución que se desea grabar.

TIFF: Que corresponde a las siglas Tagged-Image File Format, se utiliza para intercambiar archivos entre distintas aplicaciones y plataformas de la computadora.

El formato TIFF soporta la compresión LZW, que es un método de compresión con menor pérdida, de hecho ayuda a no perder detalles en la imagen almacenada. Actualmente se utiliza de forma común en su versión 5.0.

JPEG: El JPEG (Joint Photographic Experts Group) es el formato que se utiliza comúnmente para almacenar fotografías y otras imágenes de tono continuo, y también se utiliza en documentos HTML para Internet.

A diferencia del formato GIF, JPEG guarda toda la información referente al color en RGB. JPEG también utiliza un sistema de compresión, que de forma eficiente reduce el tamaño de los archivos mediante la identificación y el descarte de los datos redundantes que no esenciales para mostrar la imagen.

GIF: El formato GIF, propietario de CompuServe, corresponde a las siglas de Graphics Interchange Format. Es el formato más utilizado para mostrar gráficos de colores indexados e imágenes en documentos HTML (hypertext markup language) sobre World Wide Web y otros servicios online.

Es un formato de imágenes comprimidas diseñado para minimizar el tiempo de transferencia de archivos sobre las líneas telefónicas.

RAW: En inglés significa crudo es un formato de archivo digital de imágenes que contiene la totalidad de los datos de la imagen tal y como ha sido captada por el sensor digital de la cámara fotográfica. El formato RAW generalmente lleva aplicada compresión sin pérdidas.

Debido a que contiene la totalidad de los datos de la imagen captada por la cámara y una mayor profundidad de color (por lo general 36 a 48 bits/píxel), sus ficheros tienen un tamaño de archivo muy grande, a pesar de que, generalmente, usan compresión.

1.4.3 Ventajas y desventajas en el uso de una cámara digital

Las cámaras digitales tienen incorporado el sensor sensible a la luz, que permite capturar las imágenes. Lo que hace esto es leer la luz de acuerdo a los estímulos del exterior. Viene la luz, pasa por el lente y llega al lector, el cual transforma la realidad captada en un lenguaje digital, binario, de ceros y unos.

Ello lo transfiere y lo transforma en imagen, una artificial, interpretada por la máquina, por lo que no se compara a la convencional, que captura la realidad pura, con sus colores verdaderos, a una placa, diapositiva o película. Sin embargo, no descarta que la tecnología avance hasta alcanzar un mejor proceso.

a) Ventajas:

- Las imágenes digitales, por su soporte de almacenamiento carecen de los problemas derivados de la estabilidad dimensional que afecta a las imágenes analógicas cuando se modifican las condiciones medioambientales de su almacenamiento.
- La fotografía digital con respecto a la analógica, se puede mencionar su capacidad de ser visualizadas inmediatamente, así como su capacidad de ser editada por programas adecuados.
- Por otro lado, al no requerir la manipulación directa a la hora de ser utilizadas se elimina el deterioro producido por esta causa.
- Las imágenes digitales permiten una fácil duplicación y transmisión siendo únicamente necesario disponer de los medios informáticos apropiados.
- Las características de la imagen tales como brillo y contraste pueden ser modificadas mediante el empleo de técnicas de análisis de imágenes, con el objetivo de mejorar la calidad visual de la misma y así favorece la interpretación o bien para poner de manifiesto algún tipo de característica de la imagen.
- Los productos derivados de la Fotogrametría Digital son obtenidos en formato digital por lo que son fácilmente integrables en entornos tipo CAD o SIG.
- Debido a las características de las imágenes empleadas se eliminan gran parte de los elementos de mayor costo de los sistemas analógicos (ópticas y sistemas mecánicos de precisión), disminuyendo de una forma considerable los gastos de mantenimiento. Además, la precisión no está ligada al diseño constructivo del equipo sino a los programas empleados.
- La utilización de imágenes digitales permite la automatización parcial del proceso con lo que conlleva de aumento del rendimiento, así mismo permite el trabajo en tiempo real o casi real.

b) Desventajas:

- Se tiene una baja resolución geométrica respecto a la fotografía analógica y su exigencia de gran cantidad de memoria para ser almacenadas.
- Se trata de una técnica de muy reciente aparición, por lo que en muchos aspectos aún puede estar inmadura, por lo que se puede prever que los equipos que se compran en la actualidad quedarán rápidamente obsoletos. Aun así, las ventajas aportadas por las cámaras digitales, siempre que se utilicen suficientemente, permitirá su rápida amortización.
- Los sistemas de digitalización aún son muy costosos.
- La necesidad de almacenamiento que es muy elevada para los niveles de precisión equivalente a los procesos fotogramétricos analíticos.
- En condiciones de extrema luminosidad -un amanecer, o a mediodía es imposible observar algo en una pantalla de cristal líquido. El visor óptico permite redimensionar la imagen en su característica más real.
- Existe un límite de almacenamiento de fotos en la propia cámara, por lo que se requiere adquirir tarjetas removibles adicionales para guardarlas.
- La reproducción de imágenes en el método tradicional implica ir al laboratorio fotográfico con los negativos para elaborar nuevas copias, lo que implica un costo extra.
- El formato de 35mm (el rollo de la cámara tradicional) continúa siendo el estándar de calidad dentro de la fotografía, la fotografía tradicional no ofrece la flexibilidad, economía e inmediatez que ofrecen la fotografía digital. La más moderna de las cámaras digitales para aficionados solo proporciona una resolución superior a los 5 millones de píxeles.
- Precios muy altos, los elevados precios en algunos casos, no permite el alcance de la mayoría de la población.
- Debido a que son digitales, requieren de mejores baterías, las que deben ser reemplazadas constantemente. Lo ideal es tener a la mano siempre un par de baterías adicionales.

1.4.4 Distorsión de la lente

Las lentes fotográficas actuales son mecanismos complejos. En el interior de su estructura contienen una serie de elementos, tanto cóncavos como convexos, cuyo objeto es enfocar rayos de luz sobre el carrete o el sensor digital de imágenes, para crear una imagen. Para generar una imagen nítida, una lente debe tener una alta capacidad de resolución (capacidad para definir con claridad detalles intrincados) y buen contraste (distinción bien definida entre áreas luminosas y oscuras).

La distorsión de la lente es la alteración de la forma o las proporciones en una imagen o, dicho de una forma más simple, es la incapacidad de un lente de reproducir un objeto cuadrado produciendo alteraciones en las líneas paralelas. Esta aberración se debe a que la escala de reproducción varía progresivamente del centro a los bordes.

Sin embargo la distorsión no afecta la nitidez y contraste de una imagen, sino la fidelidad de ella. Si la escala aumenta desde el centro a los bordes la distorsión es positiva (o de cojín) y si disminuye es negativa (o de barrilete). Cuando se quiere hacer una composición de imágenes tomadas con distintos lentes, si alguno tiene distorsión estas imágenes no coincidirán. La distorsión esferoide es un defecto de lente en el que las líneas rectas se curvan hacia los bordes de la imagen. La distorsión en corsé tiene el efecto opuesto, ya que las líneas rectas se curvan hacia dentro.



Figura 1.28 Ejemplos de distorsión esferoide (izquierda) y distorsión en corsé (derecha)

Las viñetas constituyen un defecto en el que los bordes (en especial los vértices) de una imagen parecen más oscuros que el centro. La aberración cromática se muestra como un halo de color en los bordes de los objetos y ocurre porque la lente enfoca distintos colores de luz en distintos planos.

Algunas lentes producen estos defectos según la distancia focal o la apertura de diafragma (F-Stop) utilizada. Puede definir el filtro Corrección de lente para que utilice ajustes según la cámara, la lente y la distancia focal usadas para tomar la fotografía.

Existen diferentes aberraciones que se menciona a continuación:

ABERRACIÓN ESFÉRICA: Se debe a que no es posible a que los rayos de luz que pasan por el borde del lente se unan en el mismo foco que los que pasan por el centro, produciendo imágenes de estrellas no puntuales y borrosas. En los lentes se evita colocando dos cristales diferentes y en los espejos se evita haciendo el centro más hondo. También es posible atenuar la aberración esférica diafragmando.

VIÑETEO: Es la disminución, generalmente en forma radial, de la iluminación desde el centro hacia los bordes de una fotografía, traduciéndose en bordes más oscuros y que afecta mayormente a las esquinas con pérdida casi total de información. Su formación tiene que ver con el ángulo de incidencia de la luz, la relación focal y la apertura del lente. A mayor ángulo de incidencia de la luz, menor relación focal (f/l luminosos) y mayor abertura del diafragma del lente, mayor será el viñeteo. Se puede corregir de dos formas: La primera tiene que ver con modificar alguno de estos tres aspectos; evitar luces incidentes sobre el telescopio o lente o diafragmando. La segunda posibilidad es eliminar el viñeteo digitalmente usando programas para el tratamiento de fotos, como Photoshop. A diferencia de la aberración esférica, el viñeteo no produce imágenes deformadas.

ABERRACIÓN CROMÁTICA: Este tipo de aberración se muestra normalmente como bordes coloreados alrededor de una estrella, causado por que no pasan todas las longitudes de onda por el mismo foco del lente. La luz de longitudes de onda más cortas (azul) es más curvada que la luz de longitudes de onda más largas (rojo), por lo que la luz azul hace foco más cerca del lente que la luz roja. Hay dos tipos de aberración cromática: La axial y la lateral. Solo se puede solucionar este problema usando lentes acromáticos, que son lentes de dos piezas de cristal con índices de refracción distintos, que corregirán este problema en las ondas azul y verde. Los lentes apocromáticos están hechos de tres o más elementos y corregirán el problema en todas las longitudes de onda. Los lentes apocromáticos suelen ser extremadamente caros.

COMA: La imagen de una estrella se deforma y toma el aspecto de la cola de un cometa que se extiende hacia los bordes de la foto. Se puede corregir diafragmando.

ASTIGMATISMO: Aberración en que la luz de una estrella no es enfocada en un punto, sino en líneas en forma de cruz. Se corrige variando la curvatura del lente. Normalmente todos los objetivos fotográficos son anastigmáticos.

Todas estas aberraciones no solo se encuentran originalmente en la lente, también se debe considerar que la lente es afectada de manera externa por deformaciones de la luz, posición de la toma, e incluso tiempo de exposición, las mismas que determinarán la calidad de las imágenes.



1.5 IMAGEN DIGITAL

1.5.1 Concepto

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

A cada valor del arreglo, es decir, a cada píxel, se le asocia un tono blanco y negro correspondiente al nivel de intensidad promedio reflejada por el escenario original. Este tono está dado por valores binarios, cuya forma es 2^n .

$$\begin{pmatrix} p(1,1) & p(1,2) & p(1,3) & p(1,n) \\ p(2,1) & p(2,2) & p(2,3) & p(2,n) \\ p(3,1) & p(3,2) & p(3,3) & p(3,n) \\ p(m,1) & p(m,2) & p(m,3) & p(m,n) \end{pmatrix}$$

Figura 1.29 Composición de una imagen digital

Por ser una imagen numérica, su análisis puede hacerse en forma rigurosa por tratamientos matemáticos mediante el uso de computadoras. (Wolf, 2000). Esta característica le otorga una gran ventaja respecto a la imagen fotográfica, ya que puede ser manipulada radiométricamente y geoméricamente mediante programas, los cuales son mucho más económicos que los dispositivos ópticos y químicos usados en la fotografía.

Por tanto puede decirse que una imagen digital se puede asimilar a una matriz de m filas y n columnas. A cada celda de la matriz se le denomina píxel (picture x element) y esta representa una superficie que es función de su tamaño ($\Delta x, \Delta y$). A cada píxel le corresponde uno o más valores digitales (número digital o valor digital "Nd").



1.5.2 Propiedades de una Imagen Digital

La calidad de la imagen digital depende fundamentalmente de dos variables.

a) La resolución espacial, tamaño del píxel o potencia resolutive:

Se define la capacidad de la cámara para capturar los detalles finos del modelo original. Cuanto más definidos sean los detalles visibles, mayor es la resolución.



Depende de la potencia resolutive del objetivo, del número de celdas fotosensibles existentes en el CCD y de la distancia desde el centro de una celda hasta el centro de la siguiente, valor conocido con el nombre de separación.

Resoluciones habituales en las cámaras fotográficas digitales son 320 x 400 píxeles, 640 x 480 píxeles (VGA), 1024 x 768 píxeles (XGA), 2024 x 2024 píxeles, 1600 x 1200 píxeles (UXGA), a más.

La resolución espacial es fundamental en la fase de muestreo de la captura (sampling). La resolución de luminosidad, profundidad de color o nitidez, relacionada con el número de dígitos binarios asociados a cada celda, es decir, a la cantidad de información sobre la luz y el color recibidos que puede procesar cada foto sensor. La resolución de luminosidad es determinante en la fase de captura.



Cuando una cámara digital muestrea la imagen fotográfica la divide en píxeles, cuyo tamaño va a depender del número de células fotosensibles existentes en el CCD.

Un CCD con pocas células fotosensibles mostrará a baja resolución, con lo que los píxeles se apreciarán a simple vista, fenómeno conocido con el nombre de pixelización. Por el contrario, un CCD con muchas células fotosensibles mostrará con una elevada resolución espacial, obteniéndose una imagen digital de gran calidad en la que no se verá los píxeles individuales. Otros factores que influyen sobre la calidad de la imagen escaneada son el rango dinámico, el ruido, la interpolación de captura y la compresión de la imagen digitalizada.

b) El rango dinámico:

Establece la capacidad de la cámara para diferenciar entre niveles extremos de luz, por lo que si es excesivamente bajo las sombras perderán detalle, mientras que las zonas saturadas quedarán descoloridas.

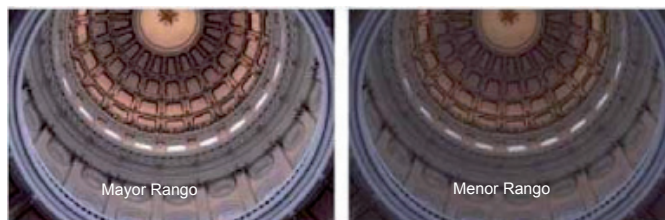


Figura 1.33 Rango dinámico y calidad

c) El ruido:

Son pequeñas variaciones aleatorias en la luminosidad del color captadas por foto sensores del CCD, que degradan la calidad de la imagen capturada. La cantidad de ruido captada va a depender de la relación entre señal y ruido de los foto sensores (cuanto más baja sea, más ruido captarán y peor será la calidad de la imagen resultante).

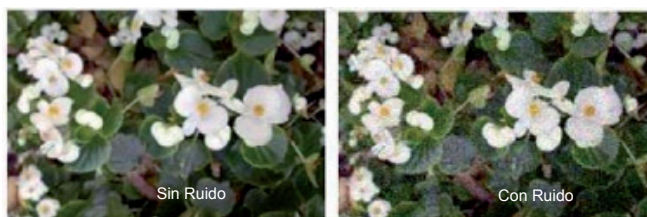


Figura 1.34 Ruido y calidad

d) La interpolación:

Producida cuando se originan vacíos de información en la captura, puede producir iridiscencias no deseadas. Las cámaras digitales de bajo coste que utilizan un CCS con pocos elementos foto sensores incrementan aún más el número de píxeles capturados por la interpolación adicional.

e) La compresión de las imágenes capturadas:

Habitual en cámaras portátiles, puede basar en algoritmos con pérdidas, que eliminan variaciones cromáticas secundarias de un píxel al siguiente, con lo que el detalle de la imagen se reduce, perdiendo calidad.

Adicionalmente, se pueden producir errores debidos a una mala interpretación de la información de la imagen durante el proceso de compresión, conocidos con el nombre de artifacting, que pueden ocasionar defectos de color a una imagen JPEG comprimida.

Además de estos factores, afectan a la calidad de la imagen obtenida otros también habituales en la fotografía clásica, como enfoque, apertura del diafragma, ajuste de la exposición, etc.

Generalmente, el detalle mínimo que puede ser resuelto por los objetivos que se suministran con las cámaras de 35mm se encuentra entre 20 y 30 micras. Este límite está determinado por el diámetro de los círculos de indiscriminación producidos por los errores de los objetivos (aberraciones).

El objetivo idóneo para una cámara digital debería producir círculos de indiscriminación cuyo diámetro no supere el de separación de los elementos foto sensores del CCD, que actualmente varía entre 7 y 25 micras.

1.6 TIPOS DE CÁMARAS DIGITALES



Existe en el mercado varios tipos de cámaras digitales que se hacen referencia a continuación:

Cámaras compactas: Son aquellas en las que no se pueden intercambiar los objetivos. Son las más abundantes en el mercado y se caracterizan por su pequeño tamaño que las hace muy transportables. Son más económicas que el resto de cámaras.

Destacan por su facilidad de uso. Su principal desventaja es la amplia profundidad de campo que les impide desenfocar el fondo, su menor nitidez (la imagen es menos clara) y el mayor ruido de la imagen (Se llama ruido al grano que aparece en la imagen).



Figura 1.35 Dos ejemplos de cámaras compactas. A la izquierda la Ixus 960 de Canon y, a la derecha, la coolpix S700 de Nikon

Cámaras compactas avanzadas o “Prosumer”: Son cámaras compactas en las que no se pueden intercambiar los objetivos aunque cuentan con funciones más avanzadas que las compactas. Son de tamaño mayor y recuerdan por su forma a las réflex aunque funcionan con técnica diferente. Su calidad se acerca más a estas últimas.

Entre las principales ventajas con respecto a las compactas están su mayor longitud focal que permite controlar mejor la profundidad de campo, la posibilidad de añadir un flash externo, la mayor disponibilidad de accesorios que pueden montarse frente a la lente fija y, sobre todo, la capacidad de grabar en formato TIFF o RAW, además del habitual JPEG. El formato TIFF tiene más calidad que el JPEG y el formato RAW, y puede manipularse en el ordenador para obtener fotos de mayor calidad.



Figura 1.36 Dos ejemplos de cámaras compactas avanzadas. A la izquierda la Panasonic Lumix DMC-FZ18 y, a la derecha, la Easyshare Z712 IS de Kodak

Cámaras réflex digital: Estas cámaras se conocen como DSLR (del inglés Digital Single Lens Réflex = Lentes Réflex digitales simples) porque cuentan con una sola lente que sirve para enfocar la imagen y para que el fotógrafo pueda verla a través del visor.

La lente tiene la función enfocar la imagen sobre un sensor o “chip” electrónico que capta la imagen. El sensor se encuentra detrás de un espejo que debe levantarse para que el rayo de luz incida sobre él. Este espejo permite reflejar la imagen al visor para que el fotógrafo pueda verla antes de realizar el disparo. El funcionamiento es el mismo que el de una antigua cámara réflex en la que la película ha sido sustituida por un sensor electrónico.

Las réflex se diferencian de las compactas en que estas cuentan con dos lentes. Una que permite enfocar la imagen y otra que permite verla a través de la pantalla LCD para componerlas antes del disparo.

En la mayoría de las cámaras réflex solo se puede componer la imagen con el visor y la pantalla solo sirve para ver la imagen una vez esta ha sido usada. En la actualidad hay algunas cámaras, como la Olympus E-510, la Sony Alpha A900 o la Canon 40D, que pueden pre visualizar la imagen en la pantalla LCD antes de tomar la foto. Esto las convierte en muy interesantes para la fotografía macro ya que permite ver de cerca la imagen sin tener que mirarla por el visor.



Figura 1.37 Las cámaras Olympus E-510 y Sony A900 son dos cámaras réflex de gama media con funciones avanzadas muy interesantes. Cuentan con pre visualización en pantalla, sistema de limpieza de polvo con ultra sonidos y estabilizador de imagen en el cuerpo

Ventajas de las cámaras réflex

- Con respecto a las compactas las cámaras réflex cuentan con sensores mayores lo que les permite utilizar objetivos con mayor longitud focal, pudiendo controlar mejor la profundidad de campo. Las cámaras réflex digital tienen la capacidad de controlar mejor el desenfoque para resaltar los objetos sobre el fondo.
- A diferencia de las compactas, los objetivos de las cámaras réflex digitales son intercambiables existiendo en el mercado una amplia gama para ser utilizados según nuestra finalidad. (En la fotografía de plantas es interesante la adquisición de un buen objetivo macro).
- Unos sensores mayores producen también imágenes de mayor calidad. Las cámaras réflex disponen de unas velocidades de disparo mayores, lo cual puede ser interesante, por ejemplo, para una fotografía deportiva, pero no deja de ser útil cuando se hace una fotografía de una flor y esta no deja de moverse con la brisa o el viento.
- Los sensores de las cámaras digitales réflex producen menos ruido que los de las compactas, especialmente cuando utilizamos un número ISO o sensibilidad de la película elevada.
- Las cámaras réflex digitales disponen, además del formato JPEG, de formatos de grabación en TIFF o RAW, mientras que estos formatos solo aparecen en algunas cámaras compactas Prosumer.
- El formato TIFF no comprimido presenta una calidad superior al JPEG, pero es sobre todo el formato RAW el más interesante ya que permite una posterior manipulación de la imagen en el ordenador con el programa Photoshop u otros programas proporcionados por las marcas de cada cámara que dispone de este formato. Con el formato RAW se puede mejorar el contraste, el enfoque, el balance de blancos y otras opciones para mejorar la calidad de una imagen.
- La mayoría de las cámaras compactas disponen de la opción de grabar video.

Desventajas de las cámaras réflex

- Con respecto a las compactas las cámaras réflex, estas, son más costosas, especialmente si consideramos los objetivos. El cuerpo de una cámara réflex digital de gama media puede tener un precio entre los 500 y los 1200 euros. La adquisición de un objetivo macro de focal media (90- 105 mm) puede costar entre los 400 - 800 €.
- Son cámaras mucho más pesadas, no solamente los cuerpos, sino también los objetivos, especialmente aquellos considerados profesiones, ya que presentan un número mayor de lentes. El objetivo zuiko digital ED 300mm de Olympus pesa más de 3 kg. Este es superado por el 600mm f/4D ED-IF AF-S II Nikkor de Nikon que alcanza casi los 6 Kg. de peso.
- Si llegar a estos extremos, podemos decir que un objetivo macro de longitud focal media suele pesar entre 450 y los 700 gr. A este peso debe sumarse el peso de la cámara (Una cámara de nivel medio se sitúa entre 400 y 900 gr.) y los posibles accesorios (flash, anillos de extensión, lentes de aproximación, etc.).

- Las cámaras réflex digitales presentan una complejidad técnica más elevada que las compactas si queremos exprimir sus funciones, lo cual obliga a tener unos conocimientos fotográficos más avanzados.
- No se puede utilizar la pantalla LCD para pre visualizar la imagen antes del disparo, excepto en algunas cámaras réflex que ya incorporan esta función.
- Las cámaras réflex deben levantar el espejo situado encima del sensor para tomar la foto. Este movimiento genera más vibraciones que en una cámara compacta por lo que debemos ser más cuidadosos a la hora de hacer fotografías para que estas no estén movidas, a no ser que la cámara disponga de un estabilizador en el cuerpo o que los objetivos cuenten con este dispositivo.
- Al quitar los objetivos y cambiarlos por otros, es más factible que entre polvo en su interior. Este se deposita en el sensor y ensucia la imagen. Las réflex digitales deben limpiarse de vez en cuando para evitar manchas en la fotografía.
- Hoy en día existen marcas que disponen de un sistema de limpieza a base de ultrasonidos que expulsan el polvo del sensor. Entre estas podemos mencionar la Olympus E-510 o la Canon D40. Las cámaras réflex digital no cuentan con la posibilidad de grabar video.

1.7 VEHÍCULOS NO TRIPULADOS

Se conoce como vehículo no tripulado a cualquier equipo mecánico móvil que pueda transportar un objeto o sistema con cierto grado de autonomía, considerando que existen aéreos, terrestres, y marino.

Un vehículo aéreo no tripulado, UAV por siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicle), o vehículo aéreo pilotado por control remoto, RPV (Remotely Piloted Vehicle), conocido en castellano por sus siglas como VANT, es un vehículo manipulado sin tripulación humana a bordo. Son usados mayoritariamente en aplicaciones militares.

Estos vehículos creados para funciones o aplicaciones más sencillas y elementales hasta las más complicadas de las misiones aeroespaciales o aplicaciones militares. En donde el objetivo es la preservación humana ante cualquier riesgo que implica ciertas misiones.



Figura 1.38 Vehículo no tripulado para aplicaciones fotográficas

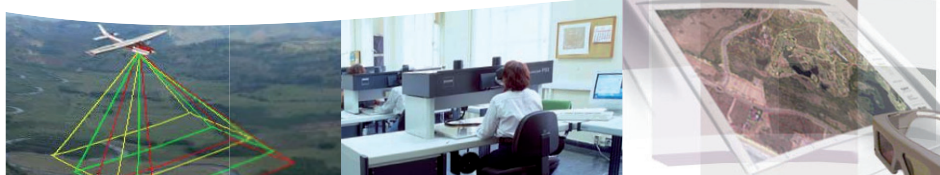
1.7.1 Aplicaciones

Al hablar de las limitaciones que tiene el hombre para poder obtener información en un sitio determinado con la ayuda de sistemas ópticos que pueden ser gran rango como imágenes de satélite así también de fotografías aéreas pero que ocurriría si los valores de adquisición para obtener esta información sobre pasa a lo estimado y si aun así no podemos cumplir con el cometido ¿qué se podrá hacer?. Esta pregunta se ha realizado por mucho tiempo es por eso la idea de un vehículo no tripulado para poder cubrir ciertos puntos ciegos, es algo relevante ante una adquisición como esta.

Es por eso que en el mercado existe vehículos inimaginables como por ejemplo: Zepe-lling que su combustible esencial es el helio, helicópteros a escala capaz de transportar cámaras fotográficas para capturar imágenes, entre otros.

Entre las principales aplicaciones que se puede dar a un vehículo no tripulado, fuera de un campo armamentista, se puede mencionar las siguientes:

- Proyectos ambientales (entrar a zonas de difícil acceso, monitoreo de movimiento de tierras, cambios en la vegetación, zonas impactadas).
- Cuantificación de especies en un bosque.
- Documentación de comportamiento animal y seguimiento
- Planificación urbana
- Fotogrametría.
- Planificación de sistemas de riego
- Infografía Técnica
- Inspección de instalaciones (torres, chimeneas, edificios, represas)
- Recreación de accidentes (transito, aviación, derrames)
- Entrar en zonas peligrosas o catastróficas
- Monitoreo de la producción (mina, fábrica de cemento, tajo, petrolera)
- Documentación del avance de una construcción.
- Diseño gráfico y modelos en 3D
- Planificación de una construcción
- Aplicaciones en topografía
- Planificación de siembra.



CAPÍTULO II

DISEÑO DEL SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL DE CORTO ALCANCE 3D

2.1 SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO CONVENCIONAL

2.1.1 Introducción:

La fotogrametría digital es una técnica que se utiliza para extraer información geométrica, radiométrica y semántica de objetos del mundo tridimensional a partir de imágenes digitales bidimensionales de esos objetos. Entre las razones que acreditan el gran interés por esta tecnología, pueden citarse entre otras:

- La disponibilidad de imágenes digitales y el continuo progreso de la informática en el tratamiento de imágenes.
- Las posibilidades que tiene la fotogrametría digital para la automatización de buena parte de la cadena del proceso de datos.
- El abaratamiento de costes debido a la utilización de equipos más económicos y personal menos cualificado han jugado un papel importante en su desarrollo.
- El desarrollo de sistemas de visión artificial para generar descripciones de objetos a partir de imágenes “visuales” (sobre todo en el ámbito de la fotogrametría de objeto cercano).
- El progreso en el desarrollo de los escáneres y en la rapidez y capacidad de proceso de los ordenadores.
- La utilización de imágenes digitales procedentes de satélites en aplicaciones topográficas.
- La creación de modelos digitales del terreno (MDT) y a partir de ellos la formación de ortofotografías y la extracción de información altimétrica del terreno (curvas de nivel).

2.1.2 Sistema fotogramétrico digital

La Asociación Internacional de Fotogrametría y Teledetección (ISPRS) define un Sistema Fotogramétrico Digital como “el conjunto de hardware y software cuyo objetivo es la generación de productos fotogramétricos a partir de imágenes digitales mediante técnicas manuales y automatizadas”. Estos productos pueden ser utilizados directamente o bien ser la fuente de información de entrada para un Sistema de Información Geográfica (SIG) o un Sistema de Diseño Asistido (CAD).

- La entrada de datos es siempre en forma digital con lo que la información es estable y siempre se puede editar.
- El entorno de trabajo es automático e interactivo.
- La base matemática es la misma que en los restituidores analíticos pero con la ventaja de que no existen problemas de desgaste, calibración, ajuste, etc. Al carecer de elementos ópticos o mecánicos, siendo siempre el proceso de medida constante en cuanto a precisión y fiabilidad.

- La universalidad es total, permitiéndonos utilizar todo tipo de escalas de imagen con independencia de fotos terrestres o aéreas.
- El empleo es más cómodo para el operador (mayor ergonomía) y al tener un elevado grado de automatización es más fácil su manejo, requiriéndose menor experiencia.
- Permiten desde el mismo entorno de trabajo la realización de distintas tareas fotogramétricas y cartográficas, lo que aumenta la producción y eficacia en los flujos de trabajo, que a veces sobrepasan los estrictamente fotogramétricos.
- Admite la posibilidad de que varios usuarios puedan acceder simultáneamente a la estereoscópica pudiendo contrastar criterios.
- El principio de superposición, más efectivo que en los restituidores analíticos, haciéndolos muy interesantes en los trabajos de actualización y control de calidad.

2.1.3 Componentes de un Sistema Fotogramétrico Digital

El objetivo fundamental de un sistema fotogramétrico, cualquiera que sea la metodología empleada para su construcción, es la obtención de información espacial de objetos a partir de imágenes, en el caso concreto de los Sistemas Fotogramétricos Digitales, a partir de imágenes en formato digital.

El primer aspecto a tener en cuenta es la gran variedad de datos de entrada, desde imágenes obtenidas con microscopios electrónicos de barrido (SEM -Scanning Electron Microscope-), a imágenes obtenidas mediante sensores remotos instalados en satélites, pasando por fotografías de rango cercano y fotografías aéreas convencionales. Además, es absolutamente necesario disponer de un sistema de importación de ficheros en formato vectorial, que se utiliza en los procesos de actualización y verificación de la información extraída, mediante superposición de los elementos gráficos. Por último, el sistema debe contar con periféricos adecuados para la impresión de los resultados en formato analógico, en función de las necesidades de los usuarios.

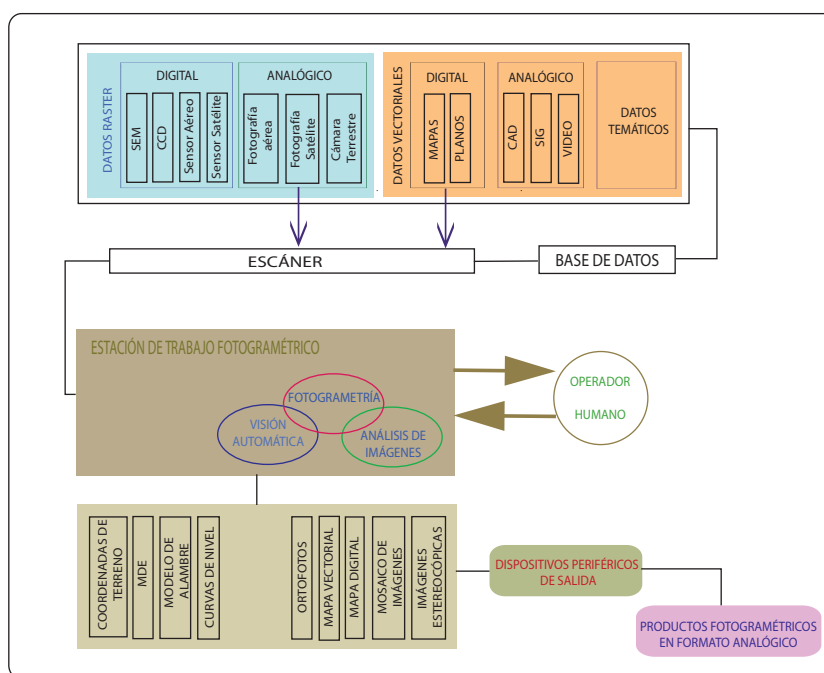


Figura 2.1 Diagrama de flujo de un Sistema Fotogramétrico Digital (Albertz et al., 1991)

- Un sistema de digitalización de imágenes analógicas (escáner).
- Posibilidad de entrada directa de datos en formato, digital (por ejemplo, desde una cámara digital) para la realización de aplicaciones fotogramétricas en tiempo real.
- Un sistema de control para la captura de datos, orientaciones y medida tridimensional de imágenes digitales de diferentes fuentes y geometría.
- Un subsistema gráfico que incluya:
 - Memoria de imagen en verdadero color (24 bits) que permita la visualización de las imágenes estereoscópicas en color real.
 - Un monitor estereoscópico en color de gran resolución.
- Obtención de ortofotografías digitales en un tiempo de proceso aceptable
- Canalizaciones (buses) rápidas para asegurar buenas prestaciones en las transmisiones de datos.
- Sistemas para el almacenamiento de información, acceso a red, teclados y otros periféricos.
- Interfaz con Sistemas de Información Geográfica con súper imposición monoscópica y estereoscópica de elementos gráficos y con funciones de edición para la modificación de dichos elementos.
- Impresoras de imágenes y trazadores gráficos para la impresión analógica de los resultados.

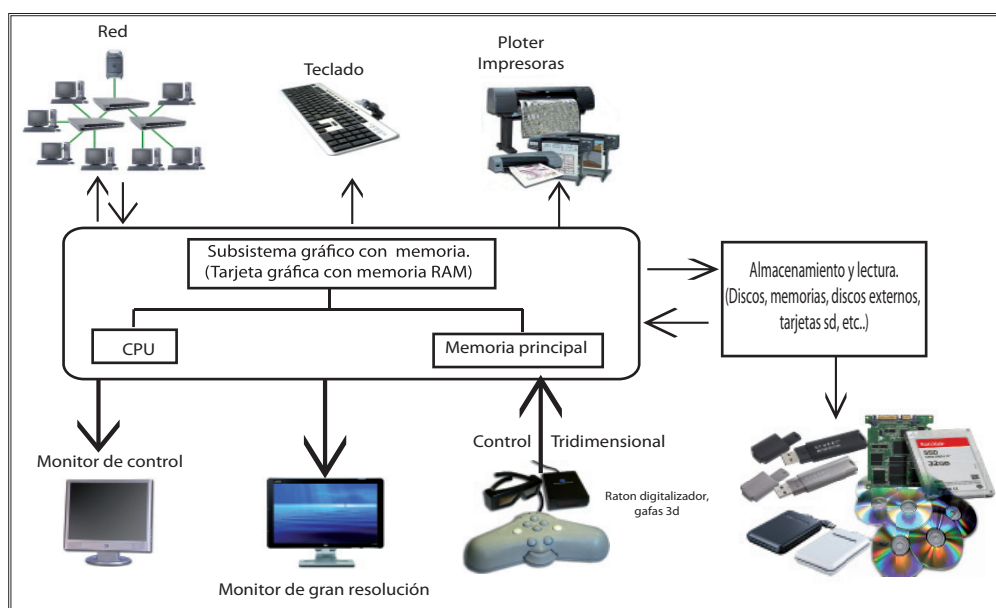


Figura 2.2 Componentes físicos de una estación de trabajo fotogramétrica

La tendencia actual de diseño de los sistemas fotogramétricos digitales es la utilización de una concepción modular ofreciendo grandes posibilidades para la expansión del sistema tanto a nivel de software como de hardware. Además, cada vez es más frecuente la utilización de hardware estándar, dentro de las posibilidades debido a las características particulares de este tipo de sistemas, para conseguir por un lado, la compatibilidad con otros sistemas, facilitar las tareas de mantenimiento y la reducción de costos de equipos.

Las peculiaridades más importantes de un restituidor fotogramétrico se encuentran en la interfaz con el usuario: necesidad de visión estereoscópica, obtención de coordenadas en tiempo real, precisión del sub píxel.

2.1.4 Sistema de visión estereoscópica:

Visión libre paralela:

Los ojos observan cada uno su imagen correspondiente, manteniendo sus ejes ópticos paralelos, es decir, como si se mirase al infinito. Solo pueden usarse en este método con imágenes no superiores a 65 milímetros entre sus centros. Es un método muy usado para ver imágenes de los libros con estereogramas de puntos aleatorios (“ojo mágico”).

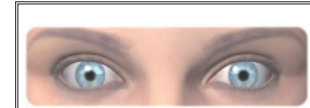


Figura 2.3 Visión libre paralela
Fuente: Internet wikipedia

Visión libre cruzada:



Figura 2.4 Visión libre cruzada.
Fuente: Internet wikipedia

Las imágenes se observan cruzando los ejes ópticos de los ojos. El par estereoscópico se presenta invertido, es decir, la imagen derecha está situada a la izquierda y viceversa. Podemos ayudarnos mirando un lápiz situado entre sus ojos y las imágenes.

Este método debe usarse con imágenes de dimensiones superiores a 65 milímetros entre sus centros, aunque la imagen virtual aparece más pequeña.

Anaglifo:

Se utiliza filtros de colores complementarios, como el rojo y azul o rojo y verde. la imagen presentada por ejemplo en rojo no es vista por el ojo que tiene un filtro del mismo color, pero si ve la otra imagen en azul o en verde. Este sistema, por su bajo costo, se emplea sobre todo en publicaciones, así como también en monitores de ordenador o en cines. Presenta el problema de la alteración de colores, pérdida de luminosidad y cansancio visual después del uso prolongado. Normalmente se actúa el filtro rojo en el ojo izquierdo y el azul en el ojo derecho.



Figura 2.5 Anaglifo.
Fuente: Internet wikipedia

Polarización:



Figura 2.6 Lentes de polarización IMAX.
Fuente: Internet wikipedia

Se utiliza luz polarizada para separar las imágenes izquierda y derecha. El sistema de polarización no altera los colores, aunque hay una cierta pérdida de luminosidad. Se usa tanto en proyección de cine 3D como monitores de ordenador mediante pantallas de polarización alternativa.

Hoy en día es el sistema más económico para una calidad de imagen aceptable.

Alternativo:

Con este sistema se presentan en secuencia alternativamente las imágenes izquierda y derecha, sincronizadamente con unas gafas dotadas con obturadores de cristal líquido (denominadas LCS, Liquid Crystal Shutter glasses o LCD, Liquid Crystal Display glasses), de forma que cada ojo ve solamente su imagen correspondiente. A una frecuencia elevada, el parpadeo es imperceptible. Se utiliza en monitores de ordenador, TV y cines 3D de última generación.



Figura 2.7 Lentes LCD ELSA.
Fuente: Internet proyección del mundo virtual

Headmounted Display (HMD):

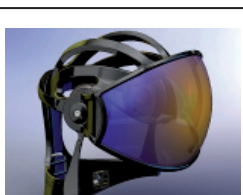


Figura 2.8 Casco de realidad virtual COCOON

Un HMD es casco estereoscópico que porta dos plantillas y los sistemas ópticos para cada ojo, de forma que la imagen se genera en propio dispositivo.

Su principal uso hasta ahora ha sido la Realidad Virtual, a un costo prohibitivo y de forma experimental, aunque al bajar de precio aparecen otras aplicaciones lúdicas, como los videojuegos.

El sistema de visión estereoscópica es indispensable para la mayoría de los trabajos fotogramétricos, requiere la separación de las dos imágenes del par estereoscópico y dicha separación se puede realizar de varias formas:

- Separación radiométrica: utiliza la polarización (pasiva o activa), o el sistema de anaglifos.
- Separación espacial: consiste en partir la pantalla y utilizar un estereoscopio.

En algunos casos se utilizan varios métodos combinados, siendo los más frecuentes hoy en día la combinación de separación temporal con la polarización pasiva o activa.

Polarización con gafas pasivas (passive flicker) (Fig. 2.9).

En este tipo de polarización las imágenes se muestran de una forma alternativa en la pantalla. Consiste en superponer al monitor un modulador de cristal líquido que actúa como filtro de células polarizantes de manera que cada 1/120 de segundo cambia la polarización, proporcionando diferente polarización para la imagen izquierda que para la derecha. Unas gafas especiales (pasivas) decodifican las imágenes y proporcionan a la vista relativa al ojo correspondiente.

De esta manera ve el operador alternativamente la imagen izquierda y derecha.



Figura 2.9 Sistema estereoscópico pasivo.
Fuente: Internet Cartesia Org.

Polarización con gafas activas (active flickler) (Fig. 2.9).



Figura 2.10 Sistema estereoscópico activo.
Fuente: Internet Cartesia Org.

En este caso las imágenes se editan en la pantalla de una manera alternativa y secuencialmente con una frecuencia de 120 Hz. Las gafas (activas) en este caso usan unos cristales con un obturador (LCS-Liquid crystal Shutter-) que separan las imágenes ofreciendo alternativamente al operador la imagen izquierda y derecha (incluyendo la marca flotante) a tal velocidad que se produce la fusión de imágenes y por tanto el efecto estereoscópico. La pantalla y el obturador están separados mediante un emisor de rayos infrarrojos que se suele colocar encima del monitor.

Este sistema es comercializado por la StereoCorporation bajo el nombre de CyrstaIEyes.

- Permiten la visión de imágenes en color.
- Permiten el principio de superposición.
- Permiten que varios operadores puedan ver el modelo simultáneamente.
- Permiten a los operadores la libertad en los movimientos de la cabeza.

En cuanto al principal inconveniente es que hay una reducción del brillo en comparación con un monitor normal debido a la doble frecuencia y a la absorción de la luz por la polarización de la pantalla (caso de gafas pasivas) o por el obturador en el de gafas activas.

2.1.5 Dispositivo interactivo de medición estereoscópica (3D).

El dispositivo interactivo de medición estereoscópica (3D) utilizado en los trabajos de producción ha de ser lo más estable posible (por razones de precisión) y fácil de utilizar. La ergonomía y facilidad del control afecta de una forma importante al rendimiento del sistema.

La opción preferible por razones de precisión, estabilidad y facilidad de utilización es la combinación de un ratón 2D (para el movimiento en XY) y un sistema de bola (para el movimiento en Z). Algunos fabricantes están presentando como opción el esquema clásico de manivelas para el movimiento en XY y pedal de Z, a fin de facilitar a los operadores habituados la utilización de estos nuevos sistemas.

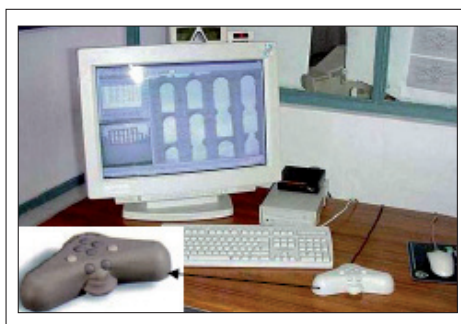


Figura 2.11 Sistema fotogramétrico digital con cursor 3D para digitalización (X, Y, Z).
Fuente: Internet Cartesia Org.

Con respecto al desplazamiento del cursor existen dos posibilidades:

- ***El cursor es móvil permaneciendo las imágenes fijas***

Esta es más sencilla y económica, empleándose en la mayoría de los equipos de nivel bajo, este sistema presenta el inconveniente de la pérdida de visión estereoscópica cuando se necesita cambiar la zona de trabajo debido a la necesidad de regeneración de las imágenes lo que produce un evidente pérdida de rendimiento del equipo.

- ***Que sean las imágenes las que se muevan estando el cursor fijo en el centro de la pantalla***

Esta opción es más interesante debido a que la forma de operar es similar a la que se sigue en un restituidor analógico o analítico, aunque para ser implementada requiere disponer de un equipo con un rendimiento gráfico suficiente (velocidades de vídeo en torno a 1 millón de vectores 3D/seg) para permitir que el desplazamiento de las imágenes se realice de una forma progresiva, continua y rápida.

Por último, una de las características más importantes de un Sistema Fotogramétrico Digital es la posibilidad de trabajar con precisión del subpíxel. Esta precisión puede ser lograda durante el proceso de medida interactiva. Si las imágenes son fijas, la función de zoom aumenta el tamaño de los píxeles que componen la imagen pero no el del cursor. El cursor entonces se desplazará de un píxel de la pantalla al otro, lo que supone un desplazamiento en la imagen a escala inferior al píxel. Si el cursor está fijo, las imágenes ampliadas se desplazarán con un intervalo de píxel de pantalla.

2.1.6 Funciones de un Sistema Fotogramétrico Digital Convencional

Las funciones que debe realizar un Sistema Fotogramétrico Digital deben ser:

- Entrada de datos: adquisición de imágenes, bien de forma directa (cámaras digitales) o indirecta por conversión de formato analógico a formato digital (scanner).
- Capacidad de almacenamiento de datos.
- Sistema de visualización tanto en modo mono como estereoscópico.
- Posibilidad de tratamiento de las imágenes de gran tamaño con tiempos razonables.
- Sistema de medición sobre la imagen, valores de las coordenadas de los píxeles y de los valores de grises.
- Identificación de puntos homólogos y automáticamente.
- Orientaciones.
- Restitución, generación de las curvas de nivel y gráficos vectoriales.
- Generación de curvas de nivel automáticamente.
- Generación de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE).
- Generación de Ortofotos.

- Generación de Mosaicos.
- Visualizaciones, perfiles, perspectivas, modelos en modo alambre, con texturas.
- Control de calidad, comprobación de productos generados.
- Interfaz con un GIS con superposición de imágenes (2D-3D) y elementos gráficos.
- Edición de datos.

El Sistema Fotogramétrico Digital presenta el siguiente flujo o diagrama de trabajo:

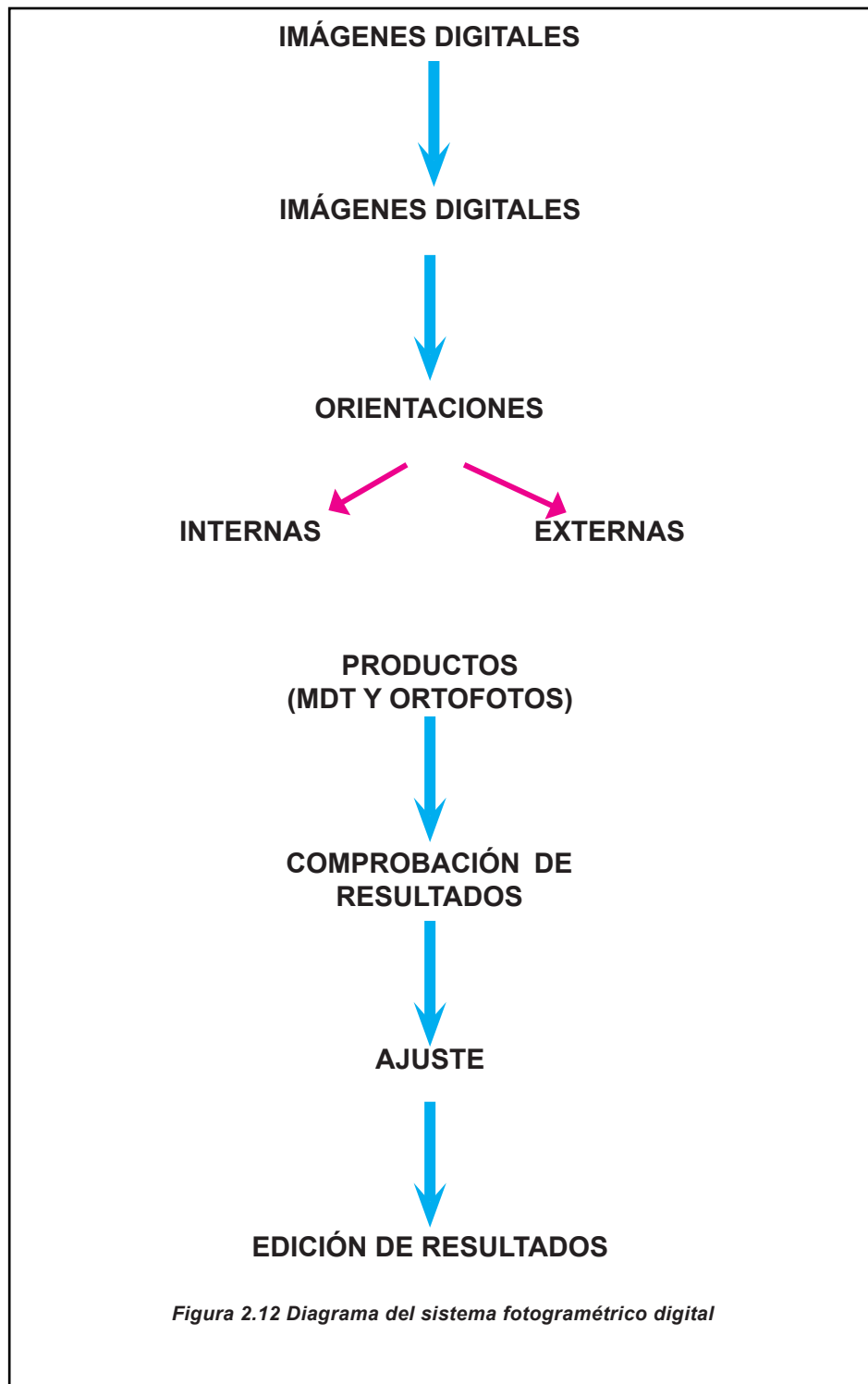


Figura 2.12 Diagrama del sistema fotogramétrico digital

2.2 TOMA AÉREA CONVENCIONAL

2.2.1 Cámaras aéreas digitales

Las cámaras fotográficas digitales han entrado con fuerza en los últimos años en todas las áreas donde fuera necesario el registro de imágenes (desde los hogares a la astronomía pasando por la fotogrametría). Se describen las características fundamentales de los sensores digitales comparándolos con los analógicos, destacando sus ventajas. Se abordan los dos tipos de cámaras, de línea y matriciales detallando sus componentes principales y realizando un estudio comparativo, para terminar haciendo un repaso a las aplicaciones de los sensores digitales y describiendo su posible utilización en el catastro urbano.

La fotografía aérea digital es de directa aplicación sobre todo en la cartografía topográfica y ortofotos, pero también, a veces de forma indirecta en la cartografía de consumo, como puede ser en internet map servers que suministran mapas en Internet, callejeros, rutas, parques naturales, así como en la elaboración de mapas para navegadores, atlas multimedia, telecomunicaciones y modelos de ciudades en 3D.

Se puede hablar no solo de cámaras exclusivamente sino de sensores en general ya que dentro de ese gran grupo de instrumentos entran tanto las cámaras digitales, como los sensores LIDAR, RADAR, Magnetómetros y cualquier otro que capte datos de la tierra desde un medio aéreo o espacial.

2.2.2 Tipos de cámaras aéreas

Las actuales cámaras aéreas digitales ofrecen dos diferentes soluciones, la matricial y la lineal, posteriormente se describen.

Las cámaras de línea: Barren el terreno de forma simultánea al avance del avión con 3 líneas pancromáticas. Tienen una única lente y un plano focal. Exponente de estas cámaras es la ADS-40 de Leica.

Entre sus características se encuentran contar con 8 sensores líneas CCD, todos situados en el plano focal, diseñados para requerimientos fotogramétricos y para teledetección a baja altura.



Figura 2.13 Cámara lineal Leica: ADS 40
Fuente: Internet Cartesia Org.



Figura 2.14 Sensor matricial
VEXCEL: ULTRACAM D
Fuente: Internet Cartesia Org.

Las cámaras matriciales: Toman imágenes al modo de las cámaras convencionales, tienen varios objetivos que disparan simultáneamente, unos en pancromático (rojo, verde y azul) y otros en infrarrojo. Cuentan con varios planos focales y funden las imágenes en una única.

Estas cámaras pueden constar en la actualidad de $nK \times nK$ elementos sensoriales (píxeles) siendo K 1024 elementos y n puede oscilar de 1 a 9. Los más utilizados son los $n = 3$ ó 4 . (Por lo tanto 3.000×3.000 píxeles que son 9×10^6 píxeles, es decir 9 Megapíxeles). Están disponibles en pancromático, color o falso color.

Son cámaras muy estables, de geometría conocida y que corrigen el movimiento hacia delante del avión (FMC). Trabajan con una definida perspectiva central. El principal inconveniente es la transferencia de los datos a suficiente velocidad y con suficiente precisión desde el sensor de estado sólido (CCD) hasta el medio de almacenamiento.

Se suelen utilizar de forma modular para solucionar los problemas de las matriciales sencillas (éstas se combinan de 2 en 2 ó de 4 en 4). Así se incrementa la dimensión sensorial de la toma, el ángulo de campo y la resolución espacial. Se acoplan a las monturas de las cámaras aéreas analógicas y tienen un tiempo de exposición entre 1 y 3.3 ms. con 12 bits.

Suele llevar también una cámara de video centrada en la montura. La imagen pancromática compuesta a partir de las 4 lentes convergentes se consigue pasando un proceso de muestreo y rectificación. Ejemplo de este sistema es la cámara DMC (Digital Modular Camera) DE Zeiss/Intergraph Imaging.

2.2.3 Sistema de almacenamiento de datos en vuelo

Uno de los principales problemas de esta nueva tecnología es el enorme tamaño de los ficheros que provienen de la toma aérea digital. Hay que tener en cuenta que cada imagen está compuesta por matrices de 14.000×8.000 píxeles y eso implica ficheros muy pesados.

Es por ello que se ha de contar con sistemas de almacenamiento rápidos, eficaces y manejables, para que se puedan transportar con facilidad a las oficinas para su proceso.



En el caso de la cámara DMC, por ejemplo, el sistema está compuesto por tres FDS (Flight Data Storage devices), es decir dispositivos para almacenamiento de datos en vuelo.

Este sistema está presurizado y es totalmente hermético. Para interconectar los módulos entre sí y ellos al sistema sensor se utilizan cables de transmisión de información paralelos de fibra óptica. La velocidad de transmisión de información es de 136 MB / s.

La capacidad de almacenamiento total del sistema es de 840 GB, lo que equivale a 2240 imágenes, cada una de ellas en pancromático, color (RGB) e infrarrojo que equivaldría a 1250 imágenes de fotografías aéreas de 9".

2.2.4 Sistema de navegación, información en vuelo

El software adecuado permite al piloto y fotógrafo disponer on-line de información de vídeo de la zona que se sobrevuela. Simultáneamente se muestra información sobre el estado del proyecto de vuelo en tiempo real, incluyendo líneas de vuelo, centros de imagen, superficie de cada fotograma y recubrimiento. También se cuenta con un fotomosaico de la zona a levantar obtenida previamente o mediante la cámara de vídeo.

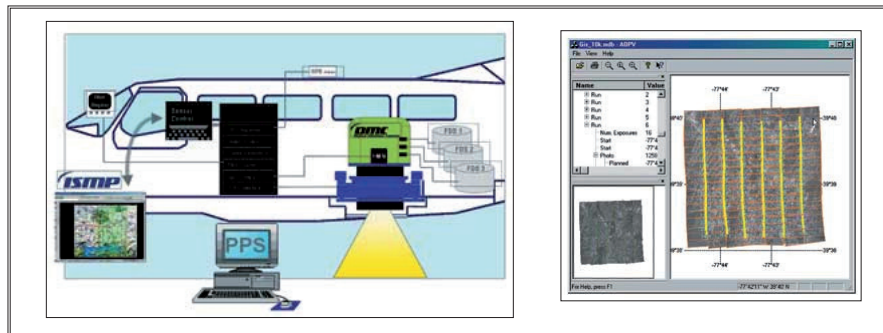


Figura 2.16 Sistema de navegación tiempo real.
Fuente: Internet Cartesia Org.

2.2.5 Etapas al desarrollar un proyecto con fotogrametría digital

1. Planeación del vuelo: se realiza con base a cartografía existente y consiste en determinar el recorrido, altura de vuelo y número de fotografías que se realizarán (figura 2.17).

2. Toma de fotografías: es el momento exacto cuando el avión sobrevuela la zona previamente determinada y efectúa la toma de la fotografía, depende de condiciones climáticas.

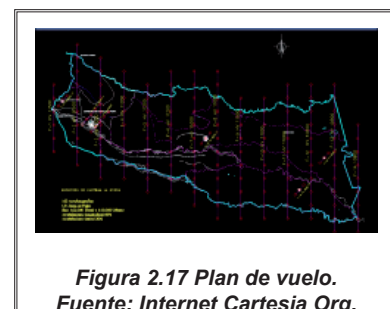


Figura 2.17 Plan de vuelo.
Fuente: Internet Cartesia Org.

3. Condiciones técnicas en la toma de fotografía aérea con cámara métrica.

Para la salida final escala 1:10.000 se producen fotografías con una escala aproximada 1:20.000 y para la salida final escala 1:2.000 se producen fotografías a escala aproximada 1:10.000. Para escalas más grandes se realizan vuelos más bajos (ver figura 2.18).

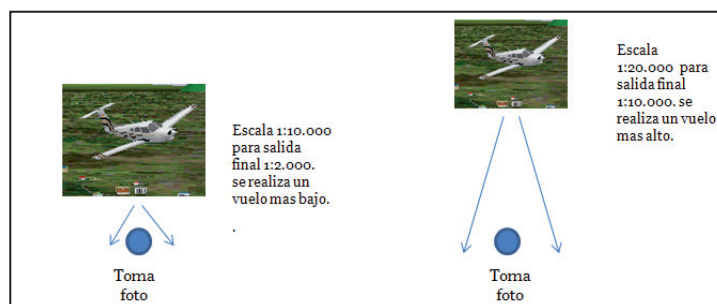


Figura 2.18 Condiciones de toma.
Fuente: Internet Cartesia Org.

4. Revelado y escaneo de las imágenes: se realiza el revelado del rollo y posteriormente se adquiere la imagen a través de un escáner de alta resolución. Para fotografías escala 1:20.000 se realiza un escaneo a 21.16 micrones y para fotografías escala 1:10.000 se realiza un escaneo a 15 micrones o en su defecto se adquiere la imagen digital (ver figura 2.19).

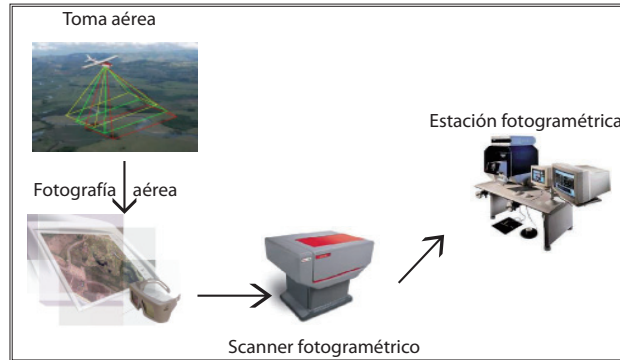


Figura 2.19 Escaneo de las imágenes.

5. Foto control:

- Distribución previa de puntos de control sobre copias de contacto.
- Desplazamiento a campo y captura de información georeferenciada con equipos de GPS o Sistema de posicionamiento global de alta tecnología y precisión.
- Post proceso de la información.
- Obtención de coordenadas geográficas y cartesianas de los puntos que servirán de base para el proceso de la aerotriangulación (X, Y, Z).
- Materialización de puntos de foto control.

6. Aerotriangulación: Densificación de puntos de control a través de procesos matemáticos y fotogramétricos. Precisiones según estándares IGAC para salidas gráficas escalas 1:10.000 y 1:2.000. Determinación de puntos de paso, entre fajas y Foto control.

Ajustes con software especial para detectar y eliminar estadísticamente errores gruesos Consecución de parámetros de cada imagen (X, Y, Z, omega, Phi, Kappa). Generación de estéreo modelos (figura 2.20).

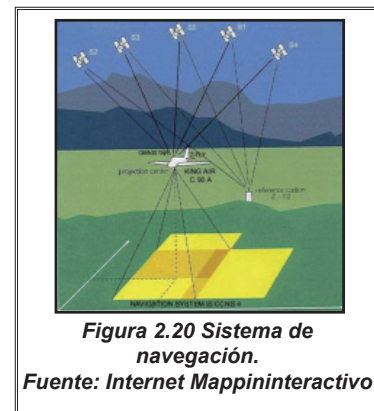


Figura 2.20 Sistema de navegación.
Fuente: Internet Mappininteractivo

7. Restitución:

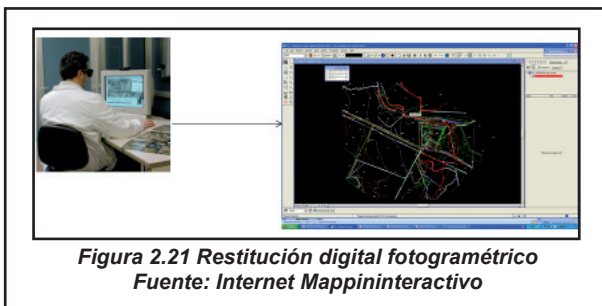


Figura 2.21 Restitución digital fotogramétrica
Fuente: Internet Mappininteractivo

- Modelo de datos a trabajar (IGAC)
- Reglas topológicas.
- Estaciones 3D
- Generación de modelos digitales
- Generación de curvas a través de interpolación con modelo digital de terreno

8. Edición:

- Mejoras de los elementos línea, punto y polígono.
- Creación de la lista de niveles
- Cambio de color, estilo de línea y fuentes.
- Realización de impresión en gran formato (ploteo).

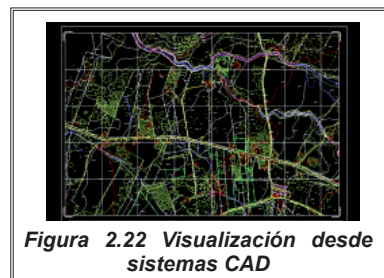


Figura 2.22 Visualización desde sistemas CAD

9. Etapa del desarrollo del proyecto la ortofoto como producto final

ORTOFOTOGRAFÍA: composición de varias fotografías perfectamente referenciadas donde cualquier punto sobre el TERRENO, tiene una proyección ortogonal, lo cual permite realizar medidas reales sobre la fotografía.

Para este fin se crearon dos juegos de fotografías una con mejoras radiométricas y otras crudas con mejor visualización de brillos.

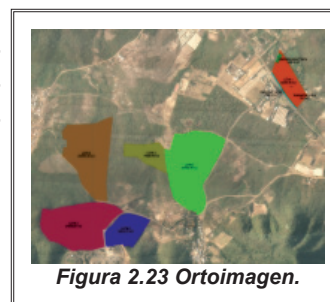


Figura 2.23 Ortoimagen.

UTILIDADES

Mediante el proceso fotogramétrico sus diferentes productos pueden tener las siguientes utilidades:

- Censos ambientales.
- Censos catastrales.
- Hidrografía.
- Planificación y ordenamiento.
- Bases de datos gráficas y SIG.
- Análisis espaciales y multitemporales.
- Legalidad.
- Comercialización.
- Avalúos y determinación de linderos.
- Usos del suelo e inventarios forestales.
- Planificación de obras civiles.



Figura 2.24 Ejemplo de una planificación Catastral

2.3 DISEÑO DEL SISTEMA

Un sistema es un conjunto de partes o elementos organizados y relacionados, que interactúan entre sí, para llegar a un mismo objetivo. Los sistemas reciben datos, energía o materia del ambiente y tienen como resultado que proveen información, energía o materia.

Los sistemas tienen límites o fronteras, que los diferencian del ambiente. Ese límite puede ser físico (el gabinete de una computadora) o conceptual. Si hay algún intercambio entre el sistema y el ambiente a través de ese límite, el sistema es abierto, de lo contrario el sistema sería cerrado.

Si bien es cierto que es una interacción entre sus componentes en nuestro caso nuestro sistema presentará un esquema similar a un sistema convencional, pero cabe recalcar que este sistema es construido y diseñado a proyectos de corto alcance, es decir dedicados a proyectos donde la fotogrametría no pierde detalle ante la actividad a realizarse tomando en cuenta sus límites.

Considerando este punto de enfoque podemos referirnos a los siguientes componentes:

- Emisión y recepción de información,
- Sistema de navegación,
- Sistema toma,
- Software de restitución.

2.3.1 Emisión y recepción de la información

En este proceso se utiliza lo siguiente:

- **Emisora o radio control para la emisión de los datos**

Actualmente existen varias compañías fabricantes de radio control, entre estas podemos mencionar: Futaba, JR Electrónica, Airtronics, etc. Los radio controles comienzan con una configuración mínima de 2 canales hasta un máximo de 10 canales para el caso de JR Electrónica. Utilizados en los modelos de aviones que requiere un radio control de 4 canales mínimo; el número de canales irían en aumento dependiendo el grado de dificultad o número de dispositivos que deseamos controlar.

Antes de todo, la palabra canales dentro del mundo del radio control, es tan solo la capacidad que tiene un radio para poder operar superficies de control; por ejemplo los Alerones, Elevador, Acelerador, Timón de cola, o las adaptaciones de un componente electrónico como sería una cámara digital para poder controlar el encendido, el apagado, o establecer configuraciones básicas del dispositivo.

La configuración mínima existente entre los radios es de 2 Canales y la configuración máxima es de 10 Canales. Los canales de los radios desde el 1 hasta el 5 están definidos de la misma manera; sin embargo, los canales del 6 al 10 son predefinidos por la fábrica o por los usuarios.

Las modalidades en radio frecuencia son muchas; pero dentro del mundo del aeromodelismo se están utilizando el AM (Amplitud Modulada) y FM (Frecuencia Modulada). Para no entrar en los conceptos de Radio frecuencia, se puede decir que la modalidad de FM tiene mejores propiedades que la modalidad de AM. Esta propiedad viene dada en que la señal de FM su amplitud permanece constante en diferencia a la señal de AM que su amplitud varía constantemente. El término FM es llamado dentro del mundo del aeromodelismo como PPM que significa Posición de pulso modulado; sin embargo, en el transcurso del tiempo surgió una nueva modalidad de transmisión denominada PCM que significa Modulación de código de pulso.

El costo de los radios en AM es más barato que los radios FM y los radios con modalidad de FM son más baratos que los PCM. Se puede considerar que la modalidad de AM es más sensible a las interferencias y la modalidad PCM es menos sensible a las interferencias. Para entender se pondrá un ejemplo muy común que sucede mucho en los campos de vuelo. Si se tiene un radio AM / FM en el canal 15 por ejemplo y otro aeromodelista enciende su radio en el mismo canal 15, el receptor se vuelve totalmente loco cuando reciba las dos señales proveniente de los dos transmisores diferentes.

Para el caso de la señal PCM el receptor bloquea los servos (*pequeños motores de corriente continua utilizados para simular movimientos*) en la última posición desde el momento que comienza a recibir la interferencia y espera a volver a recibir la señal del radio transmisor. Los receptores PCM tienen la ventaja de programar cualquiera de sus canales para ejecutar una función determinada en el momento que reciben una interferencia.

De todo esto es importante saber que los receptores que trabajan en AM, no funcionan con señales FM aunque se encuentren en la misma frecuencia, y se aplica la misma teoría para los equipos receptores que trabajan en PPM no funciona con señales PCM aunque se encuentren en la misma frecuencia.

Existen personas que sus radios transmisores trabajan en la modalidad de FM / AM, pero cuando su modelo recibe una interferencia podemos clasificar el nivel de interferencia en señal baja, señal media y señal alta. Es importante destacar que la potencia de salida de un transmisor para aeromodelos está en los alrededores de los 500 mili-watts que traducido significa apenas 0.5 Watts de potencia de salida en radio frecuencia.

Pero desde el punto de vista del receptor, las cosas cambian mucho y las palabras son otras:

CASO 1: Si la señal de interferencia es constante y es mayor que la intensidad emitida por el transmisor (Radio Control), el receptor AM / FM se descontrola. Cuando esto sucede, el aeromodelista suele decir que lucha contra la interferencia y tiene cierto control del modelo. Esto no es cierto ya que la interferencia recibida por el receptor tiene un nivel constante y es superior a la señal emitida por el radio control; tal es el caso cuando un aeromodelista se encuentra volando su modelo y otro aeromodelista enciende su radio control en la misma frecuencia.

Para resolver el problema se debe eliminar la fuente que genera interferencia.

CASO 2: Si la señal de interferencia es pulsante y es mayor que la intensidad de potencia emitida por el radio control, el aeromodelista tendrá control del modelo solo en las fracciones de segundos en la cual la interferencia no existe; pero este pequeño espacio de tiempo no será suficiente para salvar cualquier modelo al menos que se elimine la fuente que genera la interferencia.

CASO 3: Este es el caso más complicado porque ahora si la señal de interferencia es de menor intensidad que la señal emitida por el radio control el aeromodelista solo tendrá el control del modelo si y solo si no se sobre modulada la señal recibida por el receptor y por otro lado si el receptor tiene la capacidad de distinguir la señal proveniente del radio control que en la mayoría de los casos se bloquea el debido a la incapacidad de distinguir la señal de control con la señal de interferencia.

Dentro del mundo de las comunicaciones existen dos términos que están siendo incorporados en los radios para hacer más eficiente la comunicación entre el transmisor y el receptor. Inicialmente las comunicaciones se realizaban en WIDE BAND (Banda ancha) y posteriormente se ha implantado casi en su totalidad la modalidad de NARROW BAND (Banda estrecha). (Existen algunas excepciones).

La diferencia entre estos dos términos se puede explicar de una manera no relacionada con la radio frecuencia. Supóngase que tiene varios tubos de 1 Metro de largo, pero todos los tubos tienen diferente diámetro.

Si se trata de observar el entorno a través del orificio del tubo, se encontrara que la visión estará totalmente limitada por el diámetro del tubo y podrá concluir muy fácilmente que mientras más pequeño sea el diámetro de tubo más limitado será su observación. La modalidad de NARROW BAND (Banda estrecha) representa en el ejemplo el tubo que tiene el diámetro más pequeño y la modalidad de WIDE BAND (Banda ancha) representa en el ejemplo con el tubo con mayor diámetro.

Podemos entender entonces que la modalidad de Narrow Band es menos susceptible a las interferencias porque está limitado su ángulo visual en contradicción a la modalidad de Wide band.

Cuestionando un poco sobre la emisión y recepción de la información como objeto de estudio se ha adquirido una emisora o radio control: WFLY T09

La emisora Wft 09 de la marca Wfly es un equipo de 9 canales de origen asiático y fabricado por WFLY, sus equipos más conocidos son los de la gama baja en concreto el modelo FT06 que es una emisora de seis canales, también son conocidos sus receptores por ser productos bastante económicos.

El aspecto y diseño de esta emisora rc es bastante bueno y concuerda con lo que parece ser, una emisora de gama media o alta. Sus prestaciones son equivalentes a las de la emisora Futaba FF9 al igual que su aspecto que también es muy parecido, sin embargo su precio es bastante menos.



Figura 2.25 Emisora WFLY T09

En cuanto a las características del equipo de radio control Wft 09 son las siguientes:

- Amplia pantalla gráfica en dos idiomas, chino e inglés.



Figura 2.26 Pantalla de menú principal del radio control WFT09

- Menú rápido y fácil.
- Emisión 35, 40, 72 Mhz PPM/PCM.
- Compatible con receptores Futaba y JR PPM Dual Conversión.
- Soporte para aviones, veleros y helicópteros.
- Memoria para guardar 10 modelos.
- Ajustes configurables mostrando gráficos en pantalla.
- Antena ajustable en cualquier ángulo.

• **Recepción de datos**

El receptor del modelo puede estar diseñado desde 2 canales como mínimo hasta 11 canales como máximo. Cada uno de esos canales está conectado físicamente a una unidad de control que se le denomina SERVO.

Estos servos son conectados mecánicamente a la superficie de control del modelo para proporcionarle el movimiento que se requiere.



Figura 2.27 Receptor WFR09

Los Servos desarrollados por diferentes compañías anteriormente mencionadas, tienen tres cables que se conectan a cada canal del receptor:

Un cable Rojo y un cable negro para suministrar la energía al servomotor.

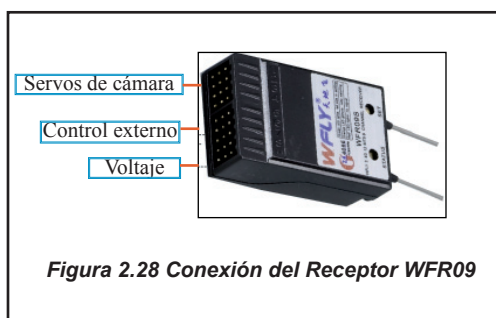


Figura 2.28 Conexión del Receptor WFR09

Esta energía es normalmente 4-6 Voltios. El tercer cable, normalmente de color blanco o anaranjado, es la línea de control para el servo.

Por este cable se envía la información al servo para saber en qué posición angular se deberá encontrar según las ordenes que se desea operar.

Es decir que todos los servos son conectados a este receptor para emitir el mando que se debe, como por ejemplo manejar el panel de la cámara digital.

- **Conversor analógico-digital**

Un conversor (o convertidor) analógico-digital (CAD), (o también ADC del inglés “Analog-to-Digital Converter”) es un dispositivo electrónico capaz de convertir una entrada analógica de voltaje en un valor binario. Se utiliza en equipos electrónicos como ordenadores, grabadores de sonido y de vídeo, y equipos de telecomunicaciones. La señal analógica, que varía de forma continua en el tiempo, se conecta a la entrada del dispositivo y se somete a un muestreo a una velocidad fija, obteniéndose así una señal digital a la salida del mismo.

Estos conversores poseen dos señales de entrada llamadas Vref+ y Vref- y determinan el rango en el cual se convertirá una señal de entrada. El dispositivo establece una relación entre su entrada (señal analógica) y su salida (digital) dependiendo de su resolución. Esta resolución se puede saber, siempre y cuando conozcamos el valor máximo que la entrada de información utiliza y la cantidad máxima de la salida en dígitos binarios. A manera de ejemplo, el convertidor análogo digital ADC0804 tiene la capacidad de convertir una muestra analógica de entre 0 y 5 voltios y su resolución será respectivamente:

Resolución = valor analógico / (2⁸)

Resolución = 5 V / 256

Resolución = 0.0195v o 19.5mv.

Resolución = LSB

Lo anterior quiere decir que por cada 19.5 milivoltios que aumente el nivel de tensión entre las entradas nombradas como “Vref+” y “Vref-” que ofician de entrada al conversor, éste aumentará en una unidad su salida (siempre sumando en forma binaria bit a bit).

Por ejemplo:

Entrada - Salida
0 V - 00000000
0.02 V - 00000001
0.04 V - 00000010
1 V - 00110011
(5 V-LSB) - 11111111

En el caso del objeto de estudio se optó una combinación de conversor y a la vez visualizador mediante al avance de la tecnología que lo hace posible se adquirió un **Fat Shark visión system** que cuyas características son las siguientes:

- RCV922 V.2010 gafas con receptor integrado (640x480, 46° FOV) para una mejor visión.
- Adaptable a una Cámara
- Control del audio y video.
- Salida externa de audio y video
- Transmisor Airwave Conmutado 500 mW 2,4 Ghz, estéreo (voltaje 6-20 Voltios.) (puerto camera 5 or 12 Voltios).
- Baterías lipo 2S (7,4V) para alimentación de las gafas y receptor interno que son cargables.
- 2 Antena: 3 dBi para receptor interno de las gafas y 3 dBi para el transmisor de 500mW.



Figura 2.29 Fat Shark vision system

2.3.2 Sistema de navegación.

El sistema de navegación permite al usuario referir una posición que desea controlar con ayuda de equipos GPS, los mismos que transmiten señales de radio a la estación terrestre para poder controlar la posición del vehículo no tripulado para lograr tomas con la mayor apreciación de espacio dentro de un proyecto, es decir gracias a esta tecnología y a la vez de instrumentación de presupuestos moderados se puede realizar un control del movimiento o navegación del vehículo en el instante de las tomas.

En el mercado existen variedad de receptores GPS y a la vez varían en el rango de precisión, es aquí donde se encuentra el valor comercial de los mismos los precios de estos receptores se encuentran desde los 500 USD. Hasta 10000 USD. Americanos.

En el diseño se presenta a continuación el siguiente equipo receptor GPS.

El EzOSD es un dispositivo OSD modular, con posibilidad de envío a tierra de telemetría, antena de seguimiento, envío de datos a google earth en tiempo real, etc. Se indican a continuación sus características principales.

- Datos suministrados durante el vuelo
- Configuración
- Especificaciones técnicas
- Otras características
- Enlaces externos

a) Datos suministrados durante el vuelo.

- Altura sobre tierra, con indicador de ascenso o descenso.
- Distancia y rumbo al punto de partida.
- Velocidad sobre el terreno.
- Voltaje de las baterías de vuelo (V).
- Consumo actual (mAh) y amperímetro (A).
- Tiempo de vuelo mostrado cada minuto.
- Indicativo.
- Detección automática del sistema de vídeo (PAL/NTSC).
- Display en el Sistema métrico decimal ó sistema Inglés.
- Alguno de estos ítems son seleccionables por el usuario.



Figura 2.30 Sistema GPS EzOSD

b) Configuración.

La configuración del EzOSD es sencilla. Utilizan tres pequeños botones en el OSD con un funcionamiento similar al de los teléfonos móviles (arriba/abajo/enter) para navegar a través del menú. Mediante el menú permite, seleccionar los valores de alarma, tales como altura máxima, rango máximo o voltaje mínimo. Las alarmas se dispararán cuando se alcancen los umbrales determinados.

Por ejemplo, si se conoce la altura a la que se desea volar, el valor altura parpadeará (flash) haciéndose inmediatamente visible.

c) Especificaciones técnicas.

- Ancho: 30mm
- Alto: 15mm
- Largo: 60mm
- Peso del OSD: 12g
- Peso del sensor de corriente: 28g



Figura 2.31 Sistema de navegación controlado desde tierra.

d) Otras características.

- El EzOSD se entrega con un sensor de corriente de 100A y con cableado. Simplemente escoge el cable que corresponda a tu equipo FPV
- GPS con un refresco de 10Hz
- Resumen al final de cada vuelo.
- Enlace para el envío de telemetría al tierra, en tiempo real, utilizando un canal de audio (para grabar los datos o verlos en vivo mediante google earth).
- Voltaje RSSI en pantalla disponible para la mayor parte de los receptores de radio control.
- Seguimiento de antena opcional, mediante EzTracker con los datos de telemetría.
- OSD on/off a través de un canal RC libre.
- Muestra su indicativo de radio.
- El receptor GPS está incluido en la unidad principal. No se necesitan cables adicionales.

2.3.3 Sistema de toma.

El sistema de toma consta de varios elementos o instrumentación y a la vez de la interacción de todos sus componentes en el proceso de captura de imágenes, este sistema permite fotografiar elementos u objetivos de toma en el cual se va desarrollar el proyecto fotogramétrico de corto alcance.

Es así que para este sistema consta de los siguientes elementos:

- Vehículo aéreo no tripulado.
- Cámara digital.
- Sistema de captura de imágenes por radio control.
- Control terrestre de toma.

a) Vehículo aéreo no tripulado. (Globo aerostático)

Estos dirigibles están diseñados para levantar el equipo de toma y pequeñas cargas útiles. Ellos varían en tamaño de 3 a 6 metros. Su elección depende del tamaño del dirigible del peso del equipo y su carga de viento.

Los dirigibles 3 a 6 metros habitualmente funcionan para alturas bajas y están destinadas a conseguir la cámara o la carga útil de otros hasta 1.000 metros sobre el suelo.



Figura 2.32 Globo aerostático

Sus colas se configuran normalmente en una “X” la formación para facilitar el almacenamiento en un remolque.

b) Cámara digital

La cámara digital sin dudar es el instrumento más apreciado para este tipo de actividad ya que ella determinará la calidad, del producto. En el mercado existen varios tipos de cámaras inmersas en un mundo de posibilidades al momento de adquirir una cámara digital, pues no solo su resolución determinan su valor sino también algunas de las características de la misma y por ende entre más finalidades, características, calidad y durabilidad en la construcción física de la cámara, geometría de la lente o incluso un menú más amigable y llamativo determinan su valor.

Pues bajo esta perspectiva también se mencionan aquellas que tienen afinidad de ser controlados externamente bajo ciertas adaptaciones o instrumentación que permite realizar este manejo externo de la cámara digital entre las más conocidas están la serie G de la Canon, las nuevas cámaras Nikon, Sony V-3, entre otras.

En el sistema de toma se emplean las siguientes cámaras:

- Cámara digital Sony V-3 de 7 MP de resolución.



- Cámara digital Nikon Coolpix S210 8 MP de resolución.

- Cámara digital Sony HD-20 de 10 MP de resolución.



c) Sistema de captura de imágenes por radio control

Este dispositivo permite acceder a la cámara digital ya que este pequeño controlador USB permite controlar una amplia gama de Nikon o cámaras digitales de Canon para la fotografía de control remoto o automático.

Este dispositivo conectado al puerto USB de la cámara y toma la entrada de una afición normal receptor R / C en la aeronave.



Figura 2.33 Dispositivo URBI control usb de cámara digital

Cuando se activa por el equipo R / C, se instruirá a la cámara para tomar fotografías y mover el acercar o alejar (10 posiciones posibles).

La interfaz tiene varias configuraciones que se pueden cambiar en el campo y se conservan cuando se quita la energía. El programa de instalación se realiza mediante un botón en la interfaz con dos indicadores LED.

- Canon AE modo se puede seleccionar entre Automático, P, Tv, Av y M.
- Número de disparos por gatillo se puede ajustar 1-9
- Entrada TTL disparador puede ser activado para la conexión a un piloto automático de vehículos aéreos no tripulados u otro circuito que se puede producir un pulso de 3.3V, 5V. Ambos obturador y el zoom digital puede ser controlado.
- Intervalómetro - Activación del temporizador base se puede establecer en el disparador 1-99 segundos.

Este sistema utiliza la vista previa del visor (salida de vídeo) de las cámaras Canon. La interfaz de URBI se enciende la función de salida de vídeo, y también evitar que la cámara se apague por sí mismo, ya que muchas cámaras disponen de apagado automático.

No todas las cámaras son adecuadas para el control remoto, que debe estar relacionada con PTP remoto funcionalidad de captura, esto no aparece normalmente en las especificaciones de las cámaras.

Plenamente probado con las siguientes cámaras:

Canon Powershot G5, G6, G7, G9, G10 (modo RAW no es posible). G11 no es compatible.

Canon PowerShot A310, A510, A620, A640

Canon PowerShot S80

Canon PowerShot S2is, S3is, S5is

Canon PowerShot SX100IS, SX110IS

Canon Digital IXUS 400-S400. Nota IXUS otros / modelos IXY no proporcionan un control remoto.

Nikon - Casi todas las recientes Nikon, incluyendo SLR apoyará control de persianas con esta interface.

Características:

- Dimensiones: 40mm x 55mm x 12mm / 2.5 "x1.5"
- Tablero de circuitos: 12g
- Con los cables del servo dual y 32g Cable USB
- Energía: menos de 80 mA @ (4.8V - 6.0V).
- Conector USB: USB A hembra estándar.
- RC / Conector: 3 pines JR / Estilo Futaba (uno para el obturador y, opcionalmente, uno para el zoom).
- ROM: Ugradable través de una conexión a un PC

d) Control terrestre de toma

El control terrestre de toma es la interface entre todos sus componentes el funcionamiento adecuado de cada parte o componente determinan la calidad de los productos expuestos como imágenes o algo más complejo como la recreación de escenarios e incluso en la ayuda de obras civiles así como también en la restauración de monumentos arquitectónicos y en la arquitectura moderna.

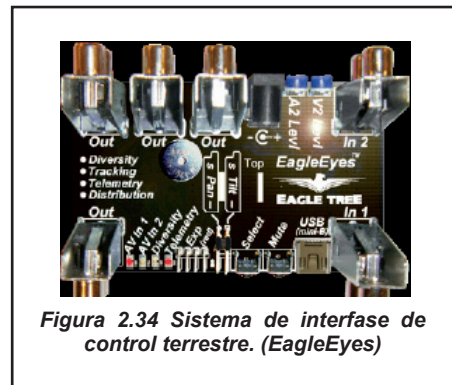


Figura 2.34 Sistema de interfase de control terrestre. (EagleEyes)

En esta interface el usuario puede tener acceso a la visualización de la cámara es decir que el operador ve exactamente lo que la cámara observa y a la vez manipular todas sus características de la cámara es decir ingresar a su menú para realizar configuraciones para que realzar o mejorar la calidad de la imagen.

En la instrumentación se ha escogido, la estación de tierra FPV EagleEyes™ la misma que integra cuatro de los principales componentes que necesita para el sistema.

Estación EagleEyes™ FPV, proporciona las siguientes características:

- Receptor Diversity - Cuando se conectan dos receptores NTSC o PAL de audio/video (de cualquier frecuencia), EagleEyes™ escoge la mejor señal en un momento determinado. Permite gran variedad de ajustes para configurar el diversity.
- Antena de seguimiento - cuando se combina con un sensor GPS, el EagleEyes™ es el corazón de una completa herramienta pan / tilt tracker antena. Con menu amigable que el rastreo es seguido por una antena que sigue la frecuencia de la señal para donde este vaya.
- Telemetría - Cuando se combina con junto con el OSD Pro, todos los datos del Eagle Tree(no sólo la posición del GPS) se transmiten a su portátil, a través de su transmisor de vídeo. Los vuelos se pueden grabar y visualizar al mismo tiempo con el software sobre un Google Earth.
- Diversor de Cuatro canales A/V Distribución - Permite tener más de una dispositivo recibiendo la señal de video y audio.

Especificaciones:

- Dos entradas de vídeo -NTSC/PAL, usando un receptor de vídeo de cualquier frecuencia. Entrada de vídeo 2 se puede ajustar para que coincida con entrada de vídeo 1.
- Dos entradas de audio - Dos entradas de audio son compatibles. La entrada de audio 2 se puede ajustar para que coincida con la entrada de audio 1.
- Cuatro salidas A/V - Cuatro salidas de vídeo (75 ohm) y cuatro “nivel de línea” salidas de audio
- Entrada de alimentación - rango de entrada de energía aproximadamente 6V a 14V. Conector con pin estándar de 2 mm.
- Dos salidas servo para el movimiento de seguimiento Pan&Tilt .
- Puerto USB para conectar al PC, para telemetría en tiempo real.



2.3.4 Software de Restitución

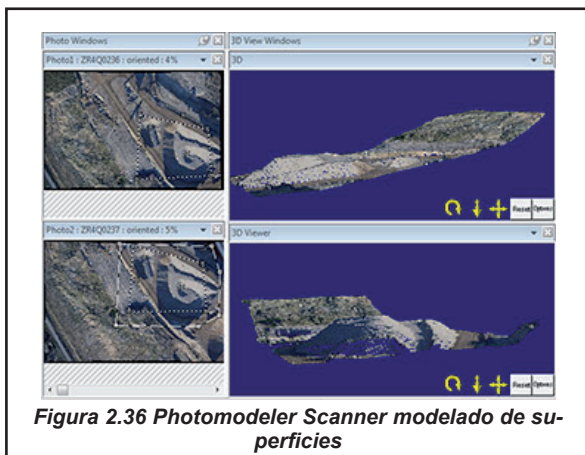


Figura 2.36 Photomodeler Scanner modelado de superficies

El sistema como en cualquier convencional requiere de un restituidor para poder procesar las imágenes y convertirlas de simples capturas a trabajos de restitución y construcción 3D, a las vez de la manipulación y creación de escenarios.

Bajo este concepto se ha optado por el PhotoModeler Scanner 6.0 ya que el mismo es un software revolucionario que permite modelos en 3D a partir de fotografías.

Una vez creados los modelos en el espacio virtual, es posible generar animaciones de movimiento. Se pueden reconstruir piezas a partir de 2 fotografías, modelar caras y caracteres para cine y televisión.

También puede usarse para reconstrucción médica gracias a la precisión que se dispone con el sistema de medidas y superficies del programa, y otros campos más (científico, análisis, etc.), que requieran reconstrucción de elementos tridimensionales a partir de imágenes.

Este software es un producto de Eos Systems Inc, es una empresa de desarrollo de software con sede en Vancouver. La compañía desarrolla y comercializa tecnología de modelado en 3D diseñado para llevar el poder de la fotogrametría en el escritorio de Windows para su aplicación práctica.

Sistemas de Eos fue fundada en 1990 como una de las primeras empresas en todo el mundo para traer la fotogrametría de corto alcance y el modelado basado en imágenes tanto a profesionales técnicos y usuarios de la fotogrametría por primera vez.

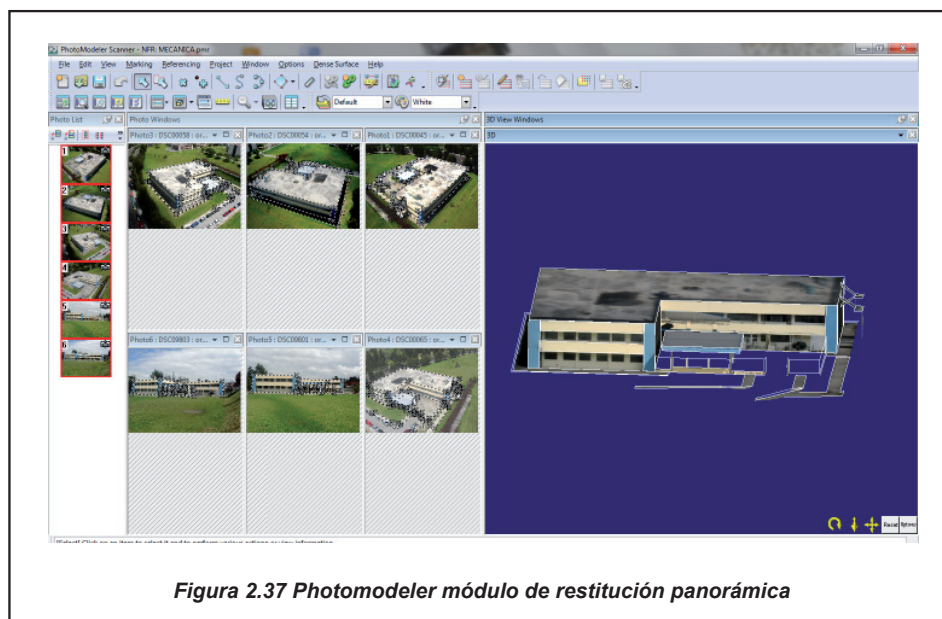


Figura 2.37 Photomodeler módulo de restitución panorámica

Figura 2.38 Equipamiento

VEHÍCULO AÉREO DE BAJA ALTITUD.

Vehículo no tripulado que sirve para levantar el equipo de cámara y cargas más pequeñas soportando pesos de hasta 20 libras.

Su tamaño es de 4.5 mts y su carga es de 9-10 m3 de helio.

Los dirigibles suelen operar en los vientos bajos y están destinadas a conseguir alturas hasta 1.000 metros sobre el suelo. Las colas suelen ser configurado en una "formación X" para facilitar su almacenamiento en un remolque.



SISTEMA DE NAVEGACIÓN.

El sistema de navegación tiene como principio el mismo aplicado por un sistema convencional utilizado en la fotogrametría, cuenta con un sensor de telemetría enlazado a un sistema de posicionamiento global (GPS), que puede ser visualizado a través del monitor y dar un seguimiento en sus rutas de toma.

Obteniendo mejoras y calidad de tomas; distribuyendo mejor el espacio y el tiempo.

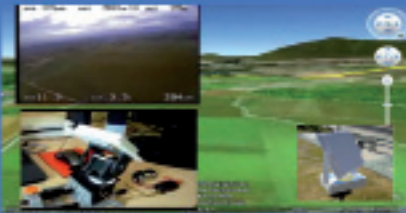
SISTEMA DE CÁMARA.

La fotografía aérea desde un dirigible es un enfoque único para conseguir tiros difíciles entre el nivel del suelo y 1.000 metros.

Los sistemas de cámara están ajustadas con el peso y la facilidad de uso como prioridades, el esfuerzo para mantener el peso a un mínimo para reducir el tamaño del globo que requiera, puede ser operado por una persona.



SISTEMA DE TOMA TERRESTRE.



Gracias a la robótica ahora es posible disponer de varios instrumentos que nos permitan realizar este tipo de esfuerzos como enlazar, manipular los disparos de una cámara y controlar sus aplicaciones desde un computador.

Y controlar desde tierra las secuencias de disparos gracias al enlace del sistema de navegación con el sistema de toma terrestre.

PROGRAMA DE RESTITUCIÓN.

PhotoModeler es una aplicación de EOS System, creada con el SDK de Lead-Tools, permite crear objetos y escenarios 3D a partir de fotografías en la técnica que se llama foto modelado.

En este están incluidas funcionalidades de crear objetos vectoriales a partir de fotografías, así como configuración de las propiedades de la cámara fotográfica y modelado de figura humana básica.



EQUIPO TOPOGRÁFICO Y GEODÉSICO.

Muy recomendado cuando se trata de controlar la geometría, proporcionalidad y sobre todo dar georeferenciación a un alto nivel de detalle.

Para el proyecto se tomo en cuenta una estación total marca Trimble M-3, y un GPS L1 Ashtech.

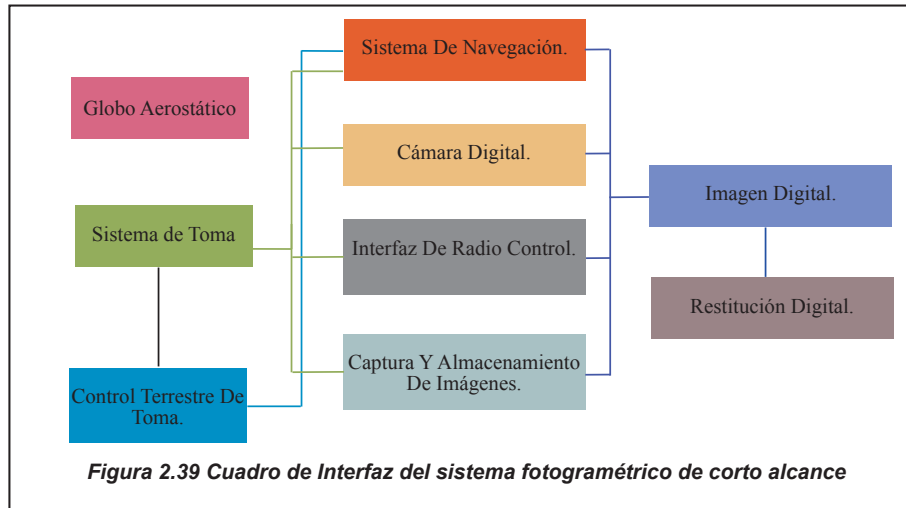
TRIMBLE M-3



GPS L1 ASHTECH

2.4 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

En esta fase de construcción se hace referencia a los planos o al diseño de ensamblaje por lo cual se hace referencia al siguiente cuadro que estructura el funcionamiento de todo el sistema fotogramétrico de corto alcance 3D.



Para el ensamblaje del sistema se lo realiza de la siguiente manera.

Ensamblaje del sistema de toma

Se considera la funcionabilidad del conjunto de sensores o sistemas que al ser interrelacionadas dan como resultado el funcionamiento de dicho sistema, por ende se considera hasta el detalle más minucioso lo cual iremos describiendo a continuación.

Fuentes de poder: Dichas fuentes son litio de 50 - 180 mA, ideales para estos sensores ya que pueden evitar el calentamiento innecesario debido al tiempo de utilización.

Conectores: Van de acuerdo al tipo de terminal que se desea conectar en este sistema se utilizó los siguientes:

Conector de servo con cable.	-----	Radio Control Futaba.
Conector equilibrado de lipos 2S.	-----	
Conector equilibrado de lipos 3S.	-----	
Conector equilibrado de lipos 4S.	-----	
Conector hembra futaba (oro).	-----	Sensor GPS.
Conector Macho futaba (oro).	-----	Antena de Seguimiento.
Conector SMA.	-----	Radio Control.
Conectores oro 2mm.	-----	Control Remoto de Cámara.
Conectores oro 3,5mm.	-----	Receptor de Radio Control.
Conectores oro 4mm.	-----	Trasmisión de Video Cámara
Futaba Rectangular.	-----	
JST hembra.	-----	
JST macho.	-----	
Pareja Conector Deam (T).	-----	Fuentes de poder.

Soldadura: Se lo realiza con cautín y estaño ya que no requiere de mayor resistencia y consistencia, lo que si se debe considerar es que la soldadura se lo realice lo más compacta posible para evitar el desvío, o la interferencia de voltaje o información.

Estructura o soporte del sistema de toma: Es una simple estructura diseñada para el ensamblaje de todos sus componentes unidos para la interface de toma, se lo realizó de materiales livianos tales como el aluminio, o fibra de vidrio.

Movimientos de la cámara: El ensamblaje es tan solo el atornillar los servos tanto para el control de movimiento horizontal y vertical, que cuyos giros van de 0-180° en el horizontal y 0-90° en el vertical.

Control remoto de cámara: Es un conector USB el cual debido a su construcción permite ser indiferente al momento del paso del voltaje ya obtiene su alimentación directamente de la cámara digital.

Cargador múltiple para celdas o fuentes de energía: Es tan necesario como las mismas celdas ya que sin este dispositivo no cargaría la energía requerida al momento de operar el sistema, cada componente requiere su fuente de poder, la manera de realizarlo es mediante un computador que claramente se sugiere a manera de asistente para una recarga más eficiente.



CAPÍTULO III

3. PROCESO FOTOGRAMÉTRICO NO CONVENCIONAL

3.1 PROCESO

Son las mismas secuencias que un proceso fotogramétrico tradicional o denominado también como convencional, en el mismo precede el orden, secuencia, metodología e incluso parámetros de ajuste en caso de las lentes de las cámaras para los modelos matemáticos definidos para este tipo de trabajo.

Debido a que se emplean cámaras no tradicionales es decir cámaras digitales comerciales como son: compactas, SDLR (cámaras de estilo semiprofesional) de costos reducidos, ya que el costo de empleo va desde los USD. 200 Hasta los USD. 6,000.



FIGURA 3.1 Cámara Fotográfica SONY ALPHA 450

En actualidad existen cámaras de diferentes especificaciones ya que ello difiere su preferencia por conocedores de fotografía, como se conoce una cámara no tradicional no brinda las mismas características, composición mecánica, ajuste de su lente, secuencia de disparo, sensibilidad de captura y entre otras cosas que si lo hace una cámara métrica con aptitudes fotogramétricas, por lo mismo la cámara no tradicional presenta resolución espacial muy buena, pero en cuanto la resolución geométrica es baja, por ello que se debe realizar un ajuste en la geometría de la lente por lo tanto se debe realizar la calibración de la cámara antes de cualquier proyecto.

3.2 CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA NO CONVENCIONAL

3.2.1 Calibración o determinación de características de una cámara

Calibrar un dispositivo consiste en obtener los parámetros reales que definen al aparato. En el caso de una cámara, hay que considerar la distancia focal y distorsiones de las lentes específicas utilizadas. El fabricante suele indicar estos parámetros, aunque deben considerarse como valores teóricos que habrá que comprobar. Mediante el proceso de calibración se determinan los valores precisos y reales que definen la cámara. Dos cámaras de la misma marca y modelo no necesariamente tiene los mismos resultados en el momento de la calibración, lo cual es bastante habitual en la práctica. Por esta razón los valores reales obtenidos en la calibración serán los que permitan que el proceso de captación de información sea preciso.

En cualquier caso puede optarse por no calibrar la cámara y dejar al software que realice las mediciones oportunas de manera menos precisa, aunque en la práctica esto lleva a resultados de baja calidad, en especial con el texturado del modelo. La calibración del dispositivo determina la precisión final, por lo que si los objetos a captar son muy grandes, como por ejemplo un edificio, quizás pueda suprimirse. En el caso de objetos pequeños, como piezas arqueológicas, la calibración es fundamental.

3.2.2 Concepto

En la formación de la imagen intervienen tanto la cámara como las lentes, por tanto como primer paso debemos establecer un modelo matemático de la cámara su geometría y como segundo modelar el efecto distorsionador de las lentes.

a) Modelo geométrico de la cámara

La conversión geométrica del objeto tridimensional en un objeto 2D en el plano imagen de la cámara obedece las leyes de la proyección perspectiva o proyección central, en la que los rayos de luz procedentes del objeto pasan a través del centro de proyección o centro óptico de la cámara y se plasman en la película o el sensor. Esta proyección es el modelo de la cámara más básica, "pinhole", o cámara oscura.

La formulación matemática, trata de relacionar linealmente las coordenadas tridimensionales del punto en el mundo real (X, Y, Z) con sus coordenadas 2D en el plano imagen (x, y). Si se usa coordenadas homogéneas se define la matriz de transformación de perspectiva en la notación matricial como:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{f} & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 3.2 Matriz de transformación de perspectiva.
Fuente: Manual de PhotoModeler Pro 3.0

Los parámetros a calibrar según este modelo serían las coordenadas del punto principal y la focal. En algunas notaciones el primero se calcula en función del formato del sensor o el negativo y en otras se toma respecto al teórico origen (0,0) del punto principal.

b) Modelo de la distorsión

La Fotogrametría se basa en la perspectiva cónica en el momento de realizar las medidas sobre los fotogramas (coordenadas, orientación, restitución). Pero la posición de los puntos en la imagen no se corresponde con la teórica, definida por las leyes de la perspectiva, debido a la existencia de una serie de factores:

- a) Distorsiones procedentes del objetivo de la cámara.
- b) Falta de planeidad de la película.
- c) Condiciones de toma.

Las distorsiones se producen porque el objetivo de la cámara está compuesto por una serie de lentes que no están libres de aberraciones, aunque se intenta minimizarlas o compensarlas unas con otras. Esto hace que la imagen fotográfica no sea una perspectiva cónica ideal, pudiendo decir que no existe un único punto de vista sino dos: una pupila de entrada (punto nodal incidente) y otro de salida (punto nodal emergente). Además, los rayos pueden incidir con un ángulo y emerger con otro, atribuyendo la diferencia entre ambos a la distorsión del objetivo.

En Fotogrametría es indispensable la siguiente información:

- Distancia focal calibrada o distancia principal.
- Curvas de distorsión radial, para las cuatro semidiagonales y la media.
- Curvas de distorsión por descentramiento (componente radial asimétrica y tangencial).
- Ubicación, respecto a un sistema de referencia, del punto principal de autocolimación (PPA) y el punto principal de simetría (PPS). El sistema de referencia está definido por las marcas fiduciales (cámaras métricas) o las esquinas del formato (cámaras no métricas).
- Esta información, incluida en el certificado de calibración de las cámaras métricas, nos permite reconstruir matemáticamente la geometría del haz de forma correcta. Sin embargo, en las cámaras no métricas sólo se puede conocer parte de esta información y, por tanto, reconstruir el haz de forma aproximada, de ahí que sus precisiones sean inferiores a las métricas.

Si los componentes ópticos de la cámara fueran perfectos, la transformación entre la imagen bidimensional y el objeto tridimensional en el espacio sería perfectamente lineal y fácil de resolver. Pero las lentes del sensor producen distorsiones que no son lineales y que afectan a la precisión de la transformación.

La Distorsión Radial Simétrica

Depende de la distancia radial del punto respecto del punto principal, y se define por un polinomio de grado impar, es decir desplaza los puntos de la imagen radialmente a partir del centro, Se debe dar importancia al modelado de las distorsiones debidas a las lentes para aplicaciones de visión, especialmente cuando la cámara se utiliza como dispositivo de medición, obteniendo sus propiedades geométricas. Esto se debe a las grandes expectativas de esta herramienta en áreas como la robótica móvil, inspección automática y para mediciones o proyectos de corto alcance.

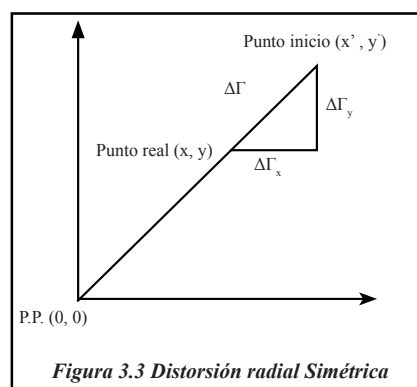


Figura 3.3 Distorsión radial Simétrica

A éstas hay que añadir la falta de planalidad de dos planos: el de la propia imagen y el del plano focal. Estos dos problemas desaparecen en el caso de cámaras digitales, y en la práctica, la única distorsión que produce verdaderos problemas es la radial para ello se propone el llamado modelo “balanceado” mediante la siguiente ecuación:

$$dr = a_1 r(r^2 - r_0^2) + a_2 r(r^4 - r_0^4)$$

dr es la distorsión radial considerada como el desplazamiento, medido a lo largo de un radio del plano imagen, entre la posición de un punto en la imagen y su posición ideal según el modelo matemático.

r es el radio (también llamado distancia radial) desde el punto al punto principal y por último.

r_0 es el valor escogido de dicho radio para el cual la distorsión se anula.

El valor de r_0 es arbitrario, y obedece a un criterio según el cual se asume que para algún punto de la imagen la posición real coincide con la posición matemática. De esta forma la ecuación de la distorsión adopta una forma más suavizada y unos valores menos comprometidos. Esta ecuación proviene de:

$$dr = a_0 r + a_1 r^3 + a_2 r^5$$

Si $r=r_0$ y $dr=0$ entonces será:

$$a_0 = -a_1 r_0^2 - a_2 r_0^4$$

Frente a este modelo se utiliza el modelo “gaussiano” definido por:

$$dr = k_1 r^3 + k_2 r^5$$

Ambos son modelos polinomiales que dependen de la distancia focal, que a su vez es desconocida, así que se formula el modelo restringiendo los valores de la distorsión para un valor prefijado de aquella, por ejemplo el ya citado de que una cierta distancia focal ya calibrada (distancia principal) anule la distorsión radial para una distancia radial convenida; o que minimice la suma de los valores al cuadrado de la distorsión, etc.

Se puede relacionar, entonces, distintos modelos de distribución de la distorsión radial asociados al empleo de distintas focales:

$$\frac{r - dr_1}{f_1} = \frac{r - dr_2}{f_2} = \frac{r - dr_3}{f_3} = \dots$$

Aplicando esta relación a los dos modelos anteriores se obtiene los parámetros de uno en función del otro:

$$\frac{r - k_1 r^3 - k_2 r^5}{f_g} = \frac{r - (a_0 r + a_1 r^3 + a_2 r^5 k_2 r^5)}{f_b}$$

Siendo f_g la focal obtenida mediante calibración por el modelo gaussiano y f_b por el balanceado. Operando e igualando coeficientes en obtenemos los valores del modelo gaussiano conocidos los del balanceado:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{a_1}{1 - a_0} \\ K_2 &= \frac{a_2}{1 - a_0} \\ f_g &= \frac{f_b}{1 - a_0} \end{aligned}$$

A la inversa, para convertir el modelo gaussiano en el balanceado se tendrá, una vez definido el punto “balanceado” en r_0 :

$$\begin{aligned} a_0 &= -K_1 r_0^2 - K_2 r_0^4 \\ a_1 &= K_1 (1 - a_0) \\ a_2 &= K_2 (1 - a_0) \\ f_b &= f_g (1 - a_0) \end{aligned}$$

En la práctica lo importante es conocer las diversas distribuciones de la distorsión radial asociadas al empleo de distintas distancias focales (Gómez Lahoz, 2003).

Una vez conocido el valor de la distorsión, dr , la compensación para un punto x, y de la imagen viene dada por:

$$\begin{aligned} X_c &= x + dr_x + dp_x \\ Y_c &= y + dr_y + dp_y \end{aligned}$$

- Siendo dr_x, dr_y las componentes x, y de la distorsión elegida.
- dp_x, dp_y las de la distorsión descentrada, que se desprecia en este estudio. Debido a que el descentrado no se modela a menudo porque su contribución es mucho más pequeña que la deformación radial de la lente.

La Distorsión Tangencial

A pesar de que cuando se fabrica una cámara se procura que los centros de las lentes sean colineales con el eje óptico, siempre existe, aunque despreciable, un descentramiento que va a producir distorsiones según una componente radial asimétrica y otra componente tangencial, la causa es la falta de alineación entre los componentes ópticos.

El modelo matemático de la distorsión por descentramiento viene dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta d = J_1 * r^2$$

Donde r es la distancia radial al punto desde el punto principal y J_1 , el coeficiente de distorsión (+).

Del ajuste se obtiene el valor de dos coeficientes que intervienen en la distorsión por descentramiento: P_1 , y P_2 , para cada una de las tomas.

$$J_1 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2}$$

Esta distorsión tendrá una componente radial (Δd_r) y otra tangencial (Δd_t) que vienen dadas por las ecuaciones:

$$\Delta d = 3J_1 * r^2 * \text{seno}(\varnothing - \varnothing_0)$$

$$\Delta d = J_1 * r^2 * \text{cos}(\varnothing - \varnothing_0)$$

Donde \varnothing_0 es el ángulo que forma el eje de distorsión tangencial máxima con el eje x , es decir,

$$\varnothing_0 = \text{arctg}\left(-\frac{P_1}{P_2}\right)$$

El ángulo que forma el radio-vector del punto con el eje x .

Esta distorsión, también, se puede descomponer en función de los ejes x e y del formato según se indica a continuación:

$$\Delta d_x = P_1 * (r^2 + 2x^2) + 2P_2xy$$

$$\Delta d_y = 2P_1xy + P_2(r^2 + 2y^2)$$

3.2.3 Procedimiento de calibración

Se sigue tres procedimientos de calibración para cámaras:

Según el modelo de ecuaciones de transformación entre coordenadas imagen y coordenadas reales utilizando una malla de puntos materializados previamente obtenidos por procedimientos topográficos.

Se utilizará el software Photomodeler, este concepto responden los conocidos métodos de Tsai, Faugueras y Toscani, Song de Ma, etc. Ellos dan hincapié a numerosos procedimientos que utilizan, en definitiva, puntos de coordenadas reales conocidas mediante técnicas ajenas a la fotografía (topografía, geodesia) y cuyas coordenadas imagen también lo son.

Según el modelo consistente en fotografiar patrones con restricciones geométricas como colinealidad, coplanaridad, ortogonalidad, puntos de fuga, etc. que facilitan la calibración sin necesidad de realizar mediciones auxiliares. Este método también se cita como el método “test field” de calibración. Algunas recientes experiencias las encontramos en Karras y Mavromamati (2001), Meng y Hu (2003) y Park y Hong (2001).

3.2.4 Cámaras bajo el punto de vista de la calibración

El proceso de calibración con respecto a las cámaras fotográficas determina una clasificación inmediata de las mismas:

Cámaras métricas: aquellas en las que el fabricante realiza una calibración de precisión en laboratorio (normalmente por el método del multicolimador), y ofrece un certificado de los valores de la distorsión para unos ciertos valores de focal. Conlleva, además, la estabilidad de los elementos ópticos de la cámara. Ninguna cámara “auto foco” es una cámara métrica.

Cámaras “amateur”: no están calibradas, por lo que se utiliza para fines métricos, se debe recurrir a algún procedimiento de auto calibración o de calibración “in situ”, según las precisiones y los recursos de que se disponga. El problema con estas cámaras es la falta de estabilidad del sistema objetivo (y por tanto la variabilidad de la focal), por lo que es conveniente realizar la calibración cada vez que se use y cambien las condiciones de la toma.

Cámaras semimétricas: se sitúan entre las dos anteriores. Son cámaras más estables que las anteriores, a las que se le añade, entre las lentes y el plano de la película, una retícula (réseau).

3.2.5 Preparación de la toma de imágenes

Una rápida planificación de la toma de imágenes para la calibración hará la tarea mucho más fácil. Aquí hay algunas consideraciones que se debe tomar en cuenta para preparar la habitación y la cámara para la toma de imágenes:

CONSIDERACIÓN	DESCRIPCIÓN
TAMAÑO DE LA HABITACIÓN	Se debe considerar un espacio de área considerable que dependerá del formato de la impresión de la plantilla de calibración para evitar incomodidades.
TAMAÑO DE SUPERFICIE	La superficie donde se ubique la plantilla de calibración debe ser lo más uniforme posible esto ayudará a mejorar resultados en la calibración no se recomienda superficies ásperas o con ondulaciones.
ILUMINACIÓN DE LA HABITACIÓN	Controlar la iluminación de la habitación para proporcionar el mejor contraste.
USO DE TRÍPODE	El uso de trípode es recomendado siempre y cuando los tiempos de exposiciones son insuficientes o demasiados prolongados como para sostenerlos tan solo con las manos; la falta de pulso ocasiona que las imágenes se vean borrosas, movidas, etc.
USO DE FLASH	Se debe usar el flash dependiendo el ambiente en donde se va a tomar las imágenes, una habitación bien iluminada no presenta problemas pero si la habitación existen sectores donde no se ha iluminado se debe usar el flash es, recomendado trabajar con las especificaciones de la cámara y los tipos de flash que tiene la cámara.
ENFOQUE DE LA CÁMARA	El enfoque de la cámara es función primordial de la calibración de la cámara. El lente debe estar fijado o permanecer inmóvil por el tiempo de exposición, para asegurar una buena profundidad de campo, por esto se sugiere el uso de trípode, para evitar problemas de enfoque.

Figura 3.4 Preparación de la toma de imágenes

3.3 PLANIFICACIÓN DE TOMA

A semejanza con la fotogrametría convencional se debe considerar que la planificación es un proceso de suma importancia ya que de ella depende el éxito o fracaso de todo proyecto, ella determinará la calidad de las tomas en cada una de sus imágenes, cabe recalcar que la planificación es una estrategia de trabajo en el campo.

Este planeamiento consiste en proporcionar la cobertura de la zona a levantar, cumpliendo con las especificaciones suministradas por el usuario y reflejadas en el informe de condiciones. De su buena ejecución dependerá la comodidad, rapidez y precisión del resto de los trabajos.

Al realizar la planificación, hay que tener en cuenta todos los factores que inciden en el proceso de toma para evitar atrasos, errores y cambios de planes en los momentos críticos del vuelo. Un proyecto fotogramétrico se divide en tres fases:

- a) Planificación de toma que debe seguirse para tomar todas las imágenes que se usarán en el proyecto.
- b) Planificación del control terrestre, así como la ejecución de todos los trabajos topográficos que satisfagan la precisión requerida por el proyecto.
- c) Estimación de los costos que conlleva el proyecto.

A partir de un proyecto fotogramétrico dado podemos obtener diversos productos, incluyendo los contactos de las imágenes, planos topográficos, mosaicos, perfiles transversales, modelos digitales del terreno, mapas catastrales, etc.

3.3.1 Planificación de la toma

Es la fase principal, ya que el éxito final de cualquier proyecto fotogramétrico depende más de las imágenes de buena calidad que de otros aspectos. Se llama proyecto de toma al conjunto de cálculos previos a la realización de una toma fotogramétrica, mediante los cuales se organiza las operaciones para conseguir el fin propuesto con las condiciones que se han establecido.

Una vez que se ha decidido cuantas imágenes se van a tomar y desde donde se lo va a realizar, puede ir hacia su objeto o el sitio y tomar las imágenes. Se debe tener un cuidado especial para que la exposición de la imagen y el enfoque sean buenos.

Es recomendable tomar más imágenes de las que se necesitan en el proyecto de medición. Algunas de las imágenes pueden tener la exposición o un enfoque malo, o tal vez en otra fecha pueda desear medir más puntos de los originalmente planeados.

Cuando se realiza la toma de imágenes, es necesario medir por lo menos dos puntos del objeto. Esta distancia se puede usar para añadir una escala al final del producto en el modelo de 3D. Medidas de distancias adicionales pueden ser usadas para chequear la exactitud del resultado.

Antes de hablar de los diferentes métodos requeridos para realizar un proyecto fotogramétrico no convencional o de corto alcance se hace referencia a lo que define la manera de capturar imágenes o al manejo de las perspectivas la misma que representa las tres dimensiones de la realidad en una superficie bidimensional o plana. Por tanto, la tridimensionalidad representada en dos dimensiones no es más que una ilusión óptica.

La perspectiva es fundamental para transmitir la sensación de profundidad y distancia en una fotografía. El control de la representación de la perspectiva será esencial, especialmente, en las tomas de paisaje.

Un punto de vista muy bajo, la disminución del tamaño del grosor de las líneas y la convergencia de éstas en un punto central, son los elementos básicos para la representación óptica de las tres dimensiones en esta fotografía bidimensional. El triángulo invertido que forman las copas de los árboles, recortadas sobre el cielo, también contribuye a concentrar la visión en el punto de fuga.

Una de las formas más evidentes de representar la tridimensionalidad, pero no la única, consiste en la disposición de los elementos en el espacio. En una fotografía y, por tanto, en una superficie bidimensional, se puede representar la perspectiva mediante tres grandes opciones:

- La convergencia de líneas
- La escala
- El tono y el color

- ***La convergencia de líneas***

Toda imagen se puede esquematizar en un dibujo de líneas (boceto). En muchas fotografías existen líneas que convergen en un punto; el llamado punto de fuga. El ejemplo más evidente de punto de fuga es el de los rieles del ferrocarril, en el que las vías parecen converger en un punto lejano. El punto de fuga puede parecer más o menos lejano en función del objetivo utilizado y del punto de vista.

Las líneas convergen en un punto de fuga, y éste puede estar situado dentro o fuera del encuadre. Un punto de fuga situado dentro del formato contribuye a que la mirada del espectador no “salga” de la fotografía, mientras que si éste se encuentra fuera, la mirada va más allá de la propia fotografía, sale fuera del marco de la fotografía.



Figura 3.5 Representación del punto de fuga de imagen

Las líneas creadas por el estrecho paso, entre los árboles y la vegetación, dirigen la atención visual hacia el punto de fuga central como se aprecia en la figura 3.5. Este punto de fuga puede ser también, a pesar de la distancia, una excelente ubicación para situar un elemento que quieras otorgarle un protagonismo especial.

- **La escala**



Es el tamaño relativo que tienen los motivos en una representación gráfica. La disminución del tamaño es fundamental para representar la distancia a que éstos se encuentran de la cámara. Por ejemplo, un camino flanqueado por una hilera de árboles a cada lado, puede ser un excelente escenario para potenciar la perspectiva en una fotografía. El camino facilita una perspectiva con punto de fuga central. La disminución del tamaño de los árboles (escala), a medida que éstos se encuentran cada vez más lejos de la cámara, potencian la ilusión óptica de tridimensionalidad.

La disminución del tamaño del motivo, a medida que éste se encuentra cada vez más lejos de cámara, es otra de las fórmulas clásicas para mostrar y potenciar la perspectiva. Al fotografiar elementos que el espectador identifica claramente como del mismo tamaño, la variación en la escala (tamaño) permite expresar la ilusión óptica de tridimensionalidad.

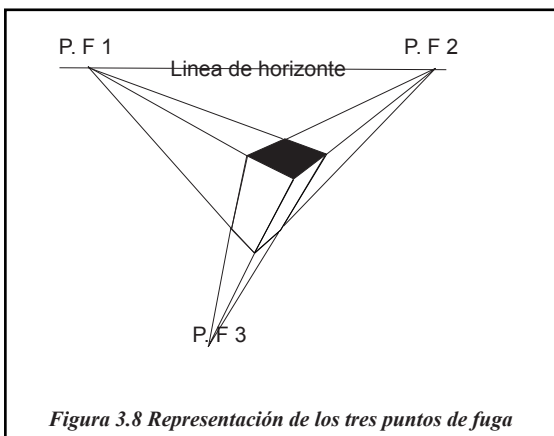
- **El tono y el color**

Los tonos y los colores ayudan a representar la perspectiva. Los tonos claros producen la sensación óptica de que se sitúan detrás de los tonos oscuros. Así, en una toma de paisaje con bruma, parece que las montañas (tonos oscuros) se adelantan al cielo (tonos claros). Si existen varias montañas, éstas se ordenan según la intensidad del tono.



La perspectiva atmosférica permite sugerir las diferentes distancias a la que se encuentran los diversos planos de la escena. Los tonos oscuros se representan delante de los más claros. Es el clásico efecto de la bruma en el paisaje.

Esto proporciona una sensación de profundidad, ya que los colores y la tonalidad de la imagen se amortiguan según aumenta la distancia. Los diferentes cambios cromáticos facilitan a que la perspectiva aérea sobresalga y destaque.



A este tipo de perspectiva se lo conoce como **Perspectiva Aérea**, la misma que consta de 3 puntos de fuga, dos para diagonales como la oblicua y un tercero que puede estar por encima o por debajo de la línea de horizonte (L.H.). Según se vea el objeto por debajo o por encima.

Aquí entonces se representa un paralelogramo, que podría ser un edificio visto desde arriba, como si se estuviera en una avioneta.

3.3.1.1 Objetivo de la toma fotogramétrica

Cubrir una zona que debe calcularse en función de la escala deseada y de la distancia principal de la cámara. Cubrir con sus imágenes una determinada zona y para ello es preciso que cada fotograma tenga una zona común con las contiguas “zona de recubrimiento”. La toma no necesariamente debe estar a una distancia constante, siguiendo una ruta predeterminada.

En la planificación de un proyecto existen una serie de decisiones previas tales como la escala del mapa, formato de los fotogramas, que han de tenerse en cuenta a la hora de organizar el planeamiento, ya que influyen a las condiciones de la toma.

Influyen otras condiciones que se refieren a la calidad de la imagen tanto en su aspecto geométrico, como fotográfico.

a) Aspectos geométricos de la imagen:

- Certificado de calibración de la cámara: da los parámetros de orientación interna (distancia principal, punto principal, distorsiones).
- Escala de la fotografía.
- Recubrimientos longitudinales y laterales.
- Seguridad de un recubrimiento total en toda la zona.

b) Condiciones fotográficas.

- Contraste de la imagen.
- La calidad de la imagen.
- La homogeneidad de tonalidad.
- Longitud e intensidad de las sombras.

3.3.1.2 Consideraciones que deben estar presentes en la toma de imágenes

Son de utilidad si se va emplear un software específico para el proyecto fotogramétrico en este caso es el PhotoModeler Pro, y que son las siguientes:

a) Buenos ángulos de cámara

Los procesos de medición nunca son perfectos. La medida de un lugar es el proceso de reducir y aminorar errores para poder maximizar la certeza. Si se tiene malas posiciones y orientaciones, esto generara una incorrecta posición en el modelo.

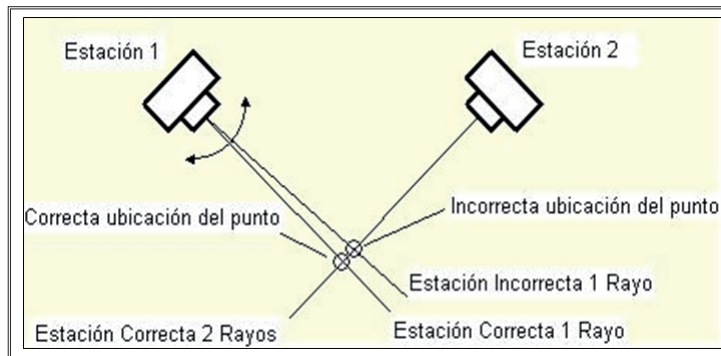


Figura 3.9 Error de localización del punto con buenas posiciones de cámara.
Fuente: Manual de PhotoModeler Pro.

En la figura 3.10, la estación uno tiene la misma posición y el mismo error de ángulo. Por otra parte, la estación dos esta con un ángulo cerca de la estación uno. Este pequeño error se multiplica y el resultado de la posición del punto mucho más lejos de la marca.

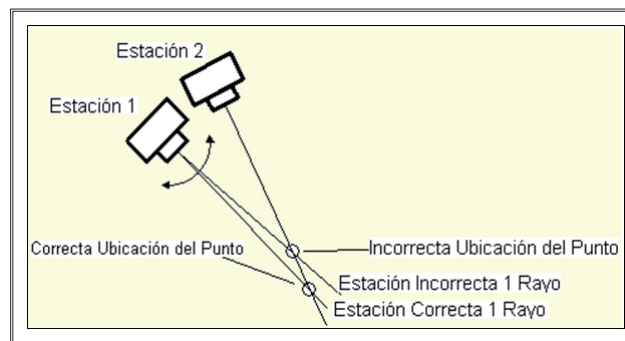


Figura 3.10 Error de localización del punto con malas posiciones de cámara
Fuente: Manual de PhotoModeler Pro.

Los ángulos entre los rayos mientras más cercanos a un ángulo recto (90 grados) son correctos, mientras menores sean estos ángulos algún posible error existirá.

b) Toma de imágenes de un objeto de forma de caja:

Si se mide un objeto de forma de caja y se está usando cuatro imágenes, tome las imágenes cerca de las esquinas del objeto.

Todas las imágenes pueden ser tomadas desde un mismo punto o nivel, pero uno o más lados del objeto no se tomaran imágenes de estos. A menudo si se pierde un lado no importa.

La figura de abajo nos enseña la vista superior o plana de cómo tomar las imágenes:

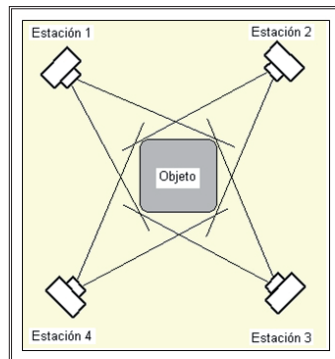


Figura 3.11 Vista Superior (Plana)
Posiciones de las Estaciones de Cámara para un objeto
Fuente: Manual de PhotoModeler Pro.

c) Imágenes de un solo lado de un objeto:

Si se toma la imagen de un solo lado de un objeto tres estaciones de cámara son normalmente suficientes.

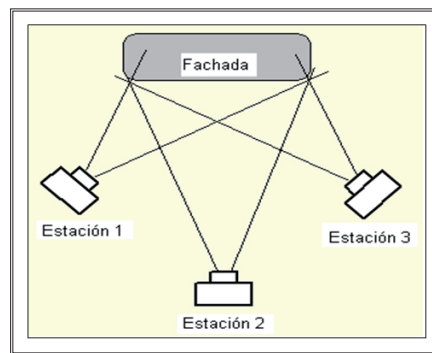


Figura 3.12 Vista Superior (Plana)
Posiciones de las Estaciones de Cámara para la toma de una fachada
Fuente: Manual de PhotoModeler Pro.

Todos los puntos del lado o cara del objeto son tomados en las tres imágenes. Las estaciones de cámara no están en ángulos rectos (la estación 1 y 3 son lo más cercano a un ángulo recto) pero se encuentran en una buena posición.

d) Errores en identificación de puntos:

Un error que puede ocurrir frecuentemente es cuando se marca puntos en la medición. No se puede marcar un punto perfectamente y ocasionalmente el punto que se desea identificar es borroso o de difícil posicionamiento. Si se tiene buenas posiciones en las estaciones de cámara pero se localiza los puntos de una manera imprecisa en la imagen, los puntos generados serán inexactos se recomienda al menos tres imágenes.

Para reducir este problema, hay que marcar el punto que se desea en tres o más imágenes. De esta forma, si el punto se encuentra posicionado de manera incorrecta en una de las imágenes, las otras dos imágenes podrán compensarlo. Si solo se encuentra marcado sobre dos imágenes los errores marcados no podrán ser encontrados y serán la causa de la creación de puntos inexactos en 3D.

La figura 3.13 muestra un caso de la toma de puntos en tres imágenes, en este ejemplo se mide un hoyo o un metido de algún objeto, cuando el hoyo tiene paredes rectas, es difícil obtener los puntos A y B en todas las imágenes si solo se usa tres estaciones, para resolver este tipo de problemas se toma dos imágenes adicionales desde las estaciones C y D, algunos de los puntos de la parte exterior podrán ser observados en cinco imágenes y los puntos A y B podrán ser observados en tres imágenes.

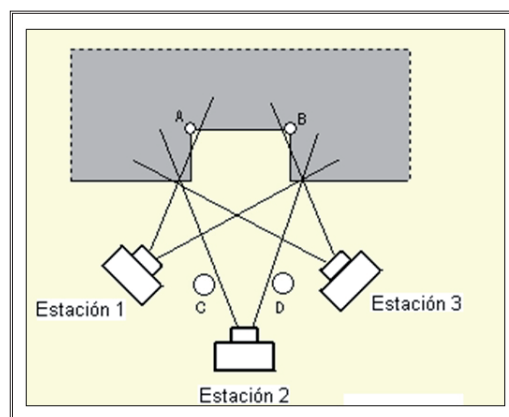


Figura 3.13 Vista Superior (Plana)
Posiciones de las Estaciones de Cámara para la toma de una medida en el objeto.
Fuente: Manual de PhotoModeler Pro.

e) Proyectos con una sola imagen

Es posible de llevar a cabo algunas operaciones en imágenes solas si existen suficientes puntos de control que sean conocidos, se puede hacer la perspectiva de emparejar, dibujado de la superficie, exportar modelos en 3D con las texturas de las fotos y producción de la Orto foto con solo una imagen.

Los requerimientos de las imágenes usadas para un proyecto de una sola imagen no son tan estrictos como las usadas en otros proyectos con múltiples imágenes.

Los principales requerimientos son:

- Imágenes claras y enfocadas.
- Los puntos de control deben ser claramente visibles y esparcidos por sobre toda la imagen.
- Si se trata de recuperar todos los parámetros en el procedimiento inverso de la cámara, la imagen debe estar en la perspectiva de los tres puntos de fuga.

f) Separación horizontal y vertical

Dos cámaras pueden tener ángulos rectos entre las vistas en cualquier orientación tridimensional, las estaciones de cámara no necesitan estar todas en un mismo nivel.

La figura 3.14 es un ejemplo algo extremo de esto, en esta figura un edificio alto está siendo medido. Todas las imágenes pueden ser tomadas desde la superficie, pero los puntos que se encuentran en la azotea estarán muy lejos de la superficie y de aquí en adelante serían más difícil de marcar (porque ellos serían más pequeños en las imágenes que los puntos sobre la superficie).

Esto hará que los puntos sobre la azotea sean menos exactos que los puntos sobre la superficie. La solución será que se tomen imágenes desde arriba del edificio. En este caso las estaciones de cámara que se encuentran sobre el edificio y las de la superficie están fuera de ser los 90°.

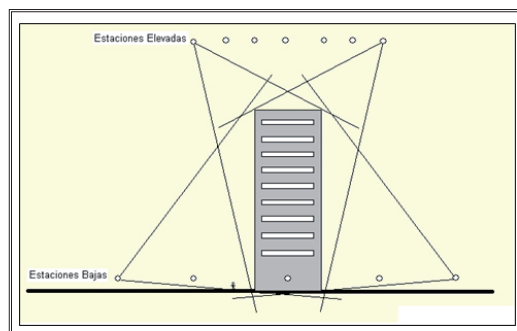


Figura 3.14 Vista lateral (Elevada)
Posiciones de las Estaciones de Cámara para la toma de un objeto alto
Fuente: Manual de PhotoModeler Pro.

g) Superposición (traslapo)

Se necesita de puntos marcados en dos o más imágenes. Imágenes tomadas una al lado de la otra deberían contener muchos de los mismos objetos, características y puntos. PhotoModeler requiere muchos puntos de referencia a lo largo de las imágenes como sea posible, pero el usuario debe minimizar la tarea de marcado ya que demanda tiempo. Para equilibrar esto, es mejor si la superposición (traslapo) de las imágenes fueren lo mayor posible.

La figura 3.15 presenta un caso en el cual dos imágenes no tienen una superposición debido a una obstrucción. Un objeto de forma de caja está siendo medido, pero sobre un lado existe una pared deteniendo al fotógrafo la toma de imágenes de los cuatro lados. Por esta razón los fotógrafos en las estaciones 1 y 4 no tienen superposición.

En otras palabras, no comparten puntos comunes sobre el objeto. Estas medidas pueden ser perjudiciales, pero algunos de los puntos marcados aparecerán solo sobre dos imágenes. Los puntos cerca de la pared probablemente serán menos exactos que el resto de los puntos por una falta en la redundancia y una pobre geometría de la red de puntos y cámaras.

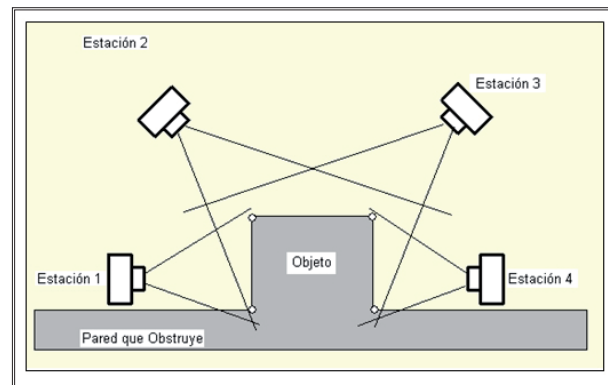


Figura 3.15 Vista Superior (Plana)
Posiciones de las Estaciones de Cámara para la toma de un objeto alto.
Fuente: Manual de PhotoModeler Pro.

Una forma de solucionar este problema que se observa en la figura es de añadir una quinta estación de cámara localizada entre las estaciones 1 y 4 pero sobre la pared, mirando hacia abajo. Esta quinta estación de cámara tendrá superposición con las estaciones 1 y 4 con lo cual aumentara la exactitud de los puntos más cercanos a la pared. Puede también compartir algunos de los puntos de las estaciones 2 y 3 incrementando la redundancia y el fortalecimiento de la red mucho más.

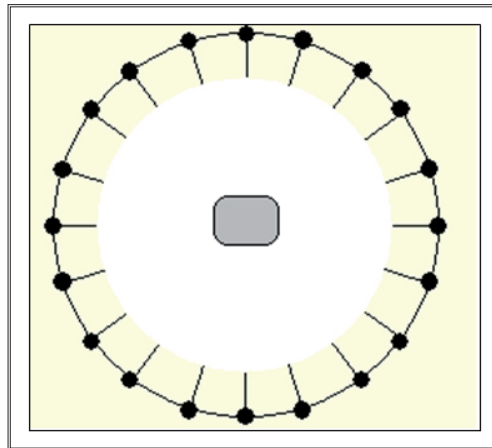
3.3.1.3 Métodos de toma de imágenes

A continuación se presenta varios métodos para la toma de imágenes:

a) Método del anillo

Es un buen método para la toma de imágenes y debe cumplir con todas las guías en el concepto de “anillo”.

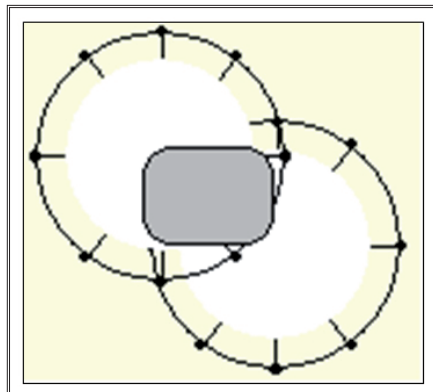
Se coloca de tal manera que todos los objetos a ser medidos puedan ser vistos en el visor de su cámara y que llene el visor en su mayor parte. Se toma una imagen. Luego da un paso alrededor del objeto como si una cuerda atara a la cámara al centro del objeto y la cuerda siempre permanece apretada, tome muchas imágenes cada vez que da un paso alrededor.



*Figura 3.16 Vista superior de las posiciones de la cámara de un objeto alrededor del anillo.
Fuente: Manual de PhotoModeler Pro.*

b) Método del doble anillo

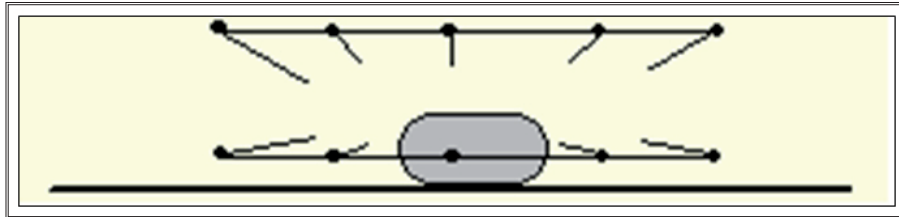
Al ubicarse más cerca al objeto aparece solo una parte del mismo, entonces hay que concentrar en una parte importante del objeto y tomar las imágenes.



*Figura 3.17 Vista superior de las posiciones de la cámara de un objeto establecido por otros anillos.
Fuente: Manual de PhotoModeler Pro.*

c) Método del doble anillo con altura.

Levante la cámara que apunte hacia abajo en el objeto y repite el establecimiento previo de anillos. También baje la cámara para que apunte hacia arriba en el objeto y repita el anillo. Tome las imágenes.



*Figura 3.18 Vista lateral de las posiciones de la cámara en dos anillos con diferentes alturas.
Fuente: Manual de PhotoModeler Pro.*

d) Estableciendo panorama de un anillo completo

Se coloca aún más lejos del objeto para cubrir el mismo y alguna área circundante. De paso en paso se va alrededor de este anillo más grande y se toma las imágenes.

3.3.1.4 Características de un plan de toma

A. Desde un punto de vista técnico:

- El modelo estereoscópico deberá ser lo más uniforme posible en escala y recubrimientos, y este será de superficie máxima.
- La fotografía aérea será tan vertical como sea posible y deberá existir una buena información para poder enderezar los desplazamientos angulares.
- La fotografía cumplirá las condiciones propias de aplicación métrica.

B. Desde el punto de vista económico:

La superficie que ha sido cubierta con el menor número de fotogramas para la escala elegida, tendrá un menor número de modelos, con lo cual disminuirá el número de trabajos, aumentando de esta forma el rendimiento.

El planeamiento de toma debe ser cuidadosamente ejecutado fielmente de acuerdo con el plan de toma.

- **Un mapa de toma que muestra donde deben ser tomadas las imágenes**

Especificaciones que trazan como deben tomarse, incluyendo requisitos concretos tales como resolución de la imagen, escala, altura de toma, recubrimientos, inclinaciones permitidas, etc.

- **Propósito de la imagen**

En el planeamiento de toma hay que considerar cual va a ser la utilización de la imagen, una vez que se tenga definido esto, puede seleccionarse cuál será el equipo óptimo a utilizar, así como los procedimientos.

De los diferentes usos que pueden hacerse de las imágenes, dependerá del tipo de proyecto que este orientado que puede ser como: proyectos topográficos, arquitectónicos, restauraciones, monitoreo de especies, inspecciones de tuberías, entre otras aplicaciones o propósitos, esto también influirá en el método de toma.



3.4 CONTROL TERRESTRE

En la fase de orientación absoluta se necesita conocer las coordenadas terrestre de una serie de puntos del fotograma, para poder ajustar la escala del modelo estereoscópico y realizar la nivelación de éste.

El número mínimo de puntos para poder efectuar esta operación es de tres, dos puntos en X, Y, Z (Planimétrico-Altimétrico) para poder llevar a cabo el ajuste de la escala del modelo y un tercero en Z (Altimétrico) de manera que sumados a los dos anteriores, hacen un total de tres puntos de coordenadas altimétricas conocidas, para poder efectuar la nivelación del modelo.

La determinación de las coordenadas planimétricas (control horizontal) y altimétrica (control vertical) de estos puntos se conoce con el nombre de apoyo de campo. La realización de los trabajos topográficos y geodésicos que lleva consigo la fotogrametría, es necesario utilizar métodos e instrumentos que agilicen al máximo el levantamiento de los puntos de control.

3.4.1 La determinación de los puntos de apoyo

Se puede realizar:

- Utilizando procedimientos clásicos de la topografía.
- Utilización de GPS.

Estos apoyos agilizan mucho la toma de datos en campo, ya que no están condicionados a las observaciones clásicas de los instrumentos topográficos.

3.4.2 Número y distribución de los Puntos de Apoyo fotogramétricos

Anteriormente se ha hecho mención del número mínimo teórico de puntos de apoyo en un par, permitiendo añadir otros para tener un control del modelo.

Se puede adoptar la distribución en la cual aparecen conjuntamente ciertos puntos que son a la vez planimétricos y altimétrico; cuatro puntos con coordenadas X, Y, Z (planimétricos - altimétricos) teniendo, dos puntos de control para la puesta en escala del modelo, el quinto punto de coordenada Z (altimétrica), que, unido a los cuatro anteriores da un total de cinco puntos altimétricos, resultando dos de control, permitiendo de este modo verificar los basculamientos del modelo y las deformaciones de la imagen, por medio del punto central.

3.4.3 Elección de los Puntos de Apoyo fotogramétricos

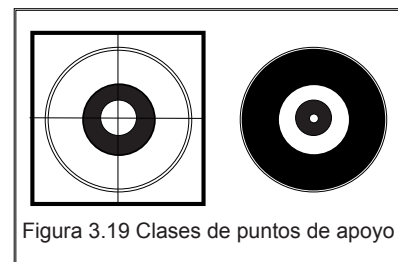
Se realiza de forma aproximada en gabinete, donde con ayuda de la cartografía existente y los fotogramas de toma, se van examinando los entornos donde pueden elegirse en campo.

La elección de los Puntos de Apoyo debe responder a los siguientes criterios:

- El detalle planimétrico deberá ser perfectamente identificable en todos los fotogramas o en la mayor parte de ellos, mínimo dos que recomienda el software.
- Los puntos se elegirán dentro de la zona marcada en gabinete, con la finalidad de que cumplan los requisitos para la realización de la orientación absoluta del modelo.
- Si es posible, los puntos quedarán definidos por alineaciones rectas, tales como esquinas de corrales, esquinas de casas, cruces de caminos, etc. Si se trata de un detalle natural.
- Preferentemente serán un detalle artificial y estable.
- Los puntos altimétricos será conveniente escogerlos sobre partes del terreno de muy débil pendiente (lo más horizontal posible), evitando en lo posible los detalles que se presten a una mala definición estereoscópica.
- Los puntos de apoyo se los identifica para poder marcar en todos los fotogramas mediante PhotoModeler Pro para la restitución.

3.4.4 Señalización y materialización de los puntos de apoyos

La manera de salvar estos inconvenientes es mediante la preseñalización, consistiendo en la materialización en campo de una serie de señales, previamente a la realización de la toma, distribuidas según una densidad y forma, para poder utilizarlos como puntos de apoyos fotogramétricos.



La forma de estas señales normalmente es cuadrada, y el material utilizado es de aluminio, contrachapado o cartón. Las dimensiones de estas señales variarán con la escala de la fotografía.

Otra forma adoptada en algunos organismos es la circular, constituida por círculos blancos trazados con cal sobre el suelo, previamente limpio.

3.4.5 Estimación de los costos

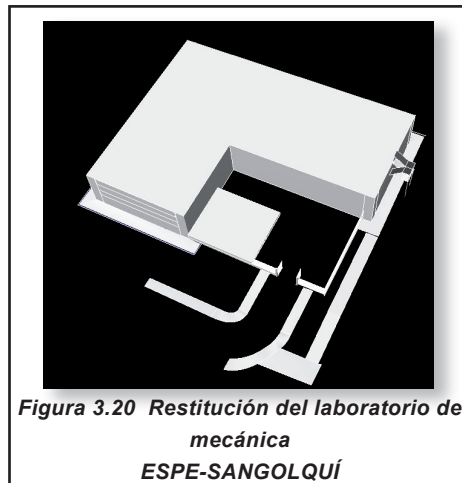
Los costos de la ejecución de una toma fotogramétrica suelen expresarse por superficie (para bloques) o por kilómetros, y es de importancia poder relacionarlos en función de las distintas escalas de la imagen.

Los precios son orientativos, puesto que se ha prescindido de todas las variables que inciden en el costo de estos trabajos (superficie, orografía, climatología, biomasa, etc.).

3.5 RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA NO CONVENCIONAL

El proceso de restitución que se emplea es digital el mismo que trabaja con imágenes digitales, basada en una matemática obtenida por el método de transformación lineal directa que se encuentra operacional dentro del software Photomodeler.

La transformación lineal directa es un método analítico desarrollado por Abdel-Aziz y Karara en la década de los 70 para la obtención de las coordenadas espaciales tridimensionales de un objeto a partir de varias fotografías convergentes del mismo, obtenidas con una cámara no métrica.



Pese a su falta de rigurosidad matemática, es un método que puede llegar a proporcionar precisiones centimétricas cuando el control externo del objeto es suficiente y esta adecuadamente distribuido.

Tanto en la medida de las fotografías como en el posterior tratamiento de la información se emplea sistemas informáticos como cámara fotográfica digital con más de 4 Megapíxeles, ordenador PC, y software de restitución (Photomodeler).

La principal ventaja de la Transformación Lineal Directa (DLT) es su sencillez y fácil resolución, aunque es un método muy dependiente del control externo.

Este control, además de ser redundante, debe estar bien distribuido alrededor del objeto a evaluar y en distintos planos a diferentes profundidades. Por otro lado, este método presenta una grave incorrección matemática, al proceder de las ecuaciones de colinealidad, donde nueve parámetros independientes representan los parámetros internos y externos de una cámara (distancia focal, x_0 , y_0 , coordenadas del punto de vista y tres giros en el espacio), las ecuaciones de la DLT amplían el número de parámetros.

Existe, cierta interdependencia entre los parámetros DLT que, en ocasiones, puede conducir a errores inadmisibles en la reconstrucción espacial de los haces. Un control abundante y adecuado puede evitar estos errores; asimismo se han desarrollado algunos procedimientos matemáticos que incluyen ecuaciones de condición no lineales entre los parámetros de la DLT (Karara, 1989).

En los últimos años, se han desarrollado otros métodos de Fotogrametría Analítica que permiten mayor independencia del control externo, o al menos, que no necesitan de numerosos puntos de apoyo.

Estos métodos sólo requieren alguna medida de distancia dentro del objeto y también contemplan el empleo de equipos de adquisición no métricos. Tales procedimientos, entre los que destaca el ajuste simultáneo de haces y la auto calibración (Ghosh, 1987 y Karara, 1989) son más precisos y flexibles, pero más complejos matemáticamente y requieren el empleo de software especializado.

3.5.1 Formato para colectar los datos

La siguiente forma contiene información que sería útil cuándo se va a usar PhotoModeler y establecer un proyecto nuevo, también puede ser usada por el equipo de campo para inspeccionar.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FECHA:	PROVINCIA:	DATOS CÁMARA:	
CIUDAD:	SECTOR:	NOMBRE:	
RESPONSABLES:		FABRICANTE DEL LENTE:	
		DISTANCIA FOCAL:	
		DISTANCIA FOCAL (ZOOM):	
		DISTANCIA APROX. AL OBJ.:	
CROQUIS, (UBICACIÓN DE TOMA)		OBSERVACIONES:	
		RESPONSABILIDAD TÉCNICA:	

Figura 3.21 Cuadro de ficha de campo

3.5.2 Secuencia de restitución:

a) Ingreso del registro de calibración

El registro de calibración es un documento que realiza el software bajo ciertas especificaciones y valiéndose de algunos métodos.

b) Importar las imágenes

Todas las imágenes deben cumplir las especificaciones de homogeneidad es decir deben tener el mismo formato, resolución y deben tener buenos ángulos de toma entre estaciones.

c) Marcar las características sobre las imágenes

Las imágenes individuales son mostradas por separado y se debe marcar los puntos y líneas que denotan las características más importantes.

d) Identificación de los puntos comunes

Se usa marcas comunes en múltiples imágenes para determinar en dónde un punto está en tres dimensiones. Cuando se marca un punto o una línea en una imagen, se necesita marcar el mismo punto o línea en todas las imágenes en las que aparece, no puede omitir esa información de las imágenes.

e) Ingreso de puntos de control

Puntos de control son ubicaciones conocidas y pre medidas en un marco de coordenadas en 3D. Estos puntos son determinados antes de realizar mediciones de otra parte del objeto y puede ser usado para controlar el tamaño, posición y orientación de las medidas restantes.

En fotogrametría una diferenciación se hace típicamente entre una estación de control, la cual es la posición conocida en el suelo o en el objeto en el mundo real y el punto de control, el cual es la marca en la fotografía correspondiendo a la imagen de una estación del control. Normalmente a ambos se los conoce como puntos de control y cuando se desea conocer solo la marca en la fotografía se llama marca de control.

Los puntos de control pueden venir de tres diferentes fuentes: archivos 3D DXF, archivos ASCII CTL y formas de cubo.

Cuando se usa archivos de 3D DXF como fuente de puntos de control, se puede crear un archivo DXF que contiene puntos en 3D, líneas en 3D y entidades de texto. Las entidades de texto en archivos DXF son usados para marcar el punto más cercano en 3D con un identificador (Id) de punto de control.

f) Procesamiento de los datos

Una vez que el marcado y referenciado está completo, se procesa la información. Si se ha sido cuidadoso en el trabajo, se trabajara con mejor eficiencia (la cantidad de tiempo que dure el procesamiento depende en el número de imágenes y el número de puntos de marca) para producir un modelo fotogramétrico.

g) Generación de Orto imágenes

Para mejores resultados se debe seguir algunos pasos cuando se posiciona la cámara durante la toma de las imágenes.

- En lo posible tener ángulos entre la toma lo más cercanos a 90°.
- Tomar al menos tres imágenes.
- Tener todos los puntos importantes en al menos tres imágenes.
- Tomar todo el traslapo posible entre las imágenes adyacentes.
- Obtener imágenes desde arriba y abajo del objeto si es que esto es posible.
- Tomar muchas imágenes del objeto pero solo se usaran cuatro imágenes al principio del proceso hasta que determinemos si se necesita otras.
- Determinar la distancia entre dos puntos claros y visibles.

h) Exportar los resultados en 3d a un CAD o un programa gráfico

Una vez que se ha creado el modelo tridimensional usando PhotoModeler se puede guardar los resultados y exportar el modelo hacia otro programa. El modelo en 3D puede ser leído por cualquier programa que pueda leer archivos de extensiones DXF, 3DS, OBJ, VRML, X o RAW.

Si se desea mediciones simples, tales como longitudes o áreas, se puede realizar directamente del programa PhotoModeler. También se puede definir una escala indicando la longitud conocida de una línea marcada en una imagen. Una rotación y un sistema de coordenadas pueden ser definidos por el objeto si eso es importante durante su modelo de CAD.

PROCESO FOTOGRAMETRICO NO CONVENCIONAL

CALIBRACIÓN DE CÁMARA NO CONVENCIONAL

Parámetros intrínsecos:

Factores de escala: K_x, K_y
Distancia focal: f
Punto principal: C_x, C_y
Distorsión: D_x, D_y

Parámetros extrínsecos:

Vector de traslación: T
Matriz de rotación: R

PLANIFICACIÓN EL PROYECTO

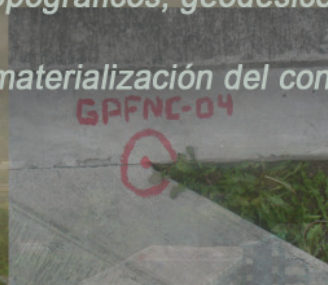
Planificación de toma de imágenes.
Planificación de control terrestre.
Estimación de los costos.

Manejo de espacios.
Optimización de recursos.
Delimitación del área de estudio.

CONTROL TERRESTRE

Procedimientos topográficos, geodésicos tradicionales

Señalización y materialización del control terrestre.



RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA NO CONVENCIONAL

- Ingreso del registro de calibración.
- Importar las imágenes.
- Marcar las características sobre las imágenes.
- Identificación de los puntos comunes.
- Ingreso de puntos de control.
- Procesamiento de los datos.
- Generación de Orto imágenes.
- Exportar los resultados en 3d a un CAD o un programa grafico.



3.6 ANÁLISIS

3.6.1 Modelo no convencional

En el análisis del modelo no convencional existen varias metodologías como son: topográficos, geodésicos, fotogramétricos convencionales. Los mismos que permitan validar el desplazamiento del modelo comparado con cada uno los tradicionales.

El objetivo de esta metodología en el proyecto es complementar con una alternativa que brinde características similares para un desarrollo más afín en este tipo de trabajos.

METODOS		TOPOGRAFICO	GEODESICO	FOTOGRAFETRICO
MODELO NO CONVENCIO NAL	ΔX	$X_T - X_{NC}$	$X_G - X_{NC}$	$X_F - X_{NC}$
	ΔY	$Y_T - Y_{NC}$	$Y_G - Y_{NC}$	$Y_F - Y_{NC}$
	ΔZ	$Z_T - Z_{NC}$	$Z_G - Z_{NC}$	$Z_F - Z_{NC}$

Figura 3.23 Cuadro comparativo del P.F.N.C. con varios métodos similares.

3.6.2 Modelos Estadísticos:

Considerando que las normativas cartográficas y a la vez mencionadas en las ordenanzas municipales exigen trabajos a un nivel catastral dentro de un sector urbano a escalas 1:1000 con un error permisible de 10 cm. Y una escala 1:5000 a nivel rural con error permisible menores del 1 metro.

Considerando estas dos circunstancias se tomará la de mayor exigencia debido a la cotidianidad del asunto en trámites legales municipales dentro del sector urbano, y también a la exigencia del proyecto en cuanto a su validez y cumplimiento a las normas.

Para ello se toma en cuenta modelos estadísticos que permitan analizar la variación de varias metodologías con relación al proyecto propuesto, y determinar niveles de confianza, para poder comprobar la validez del proyecto en manera no convencional, y obtener una confianza del 95% (1- α), en cada punto de comprobación del proyecto con respecto a un modelo tradicional o convencional.

Entre los modelos estadísticos considerados están:

3.6.2.1 Distribución Normal:

La distribución normal es simétrica, con un gran porcentaje en el centro de la distribución y algunos pocos casos en los extremos esto es una distribución teórica y perfectamente normal. En la práctica nunca se encuentra una variable que sea exactamente igual a la distribución normal teórica. En cualquier caso, mientras una variable no se aparte demasiado de la normalidad es posible utilizar una serie de procedimientos estadísticos que se fundamentan en la distribución normal.

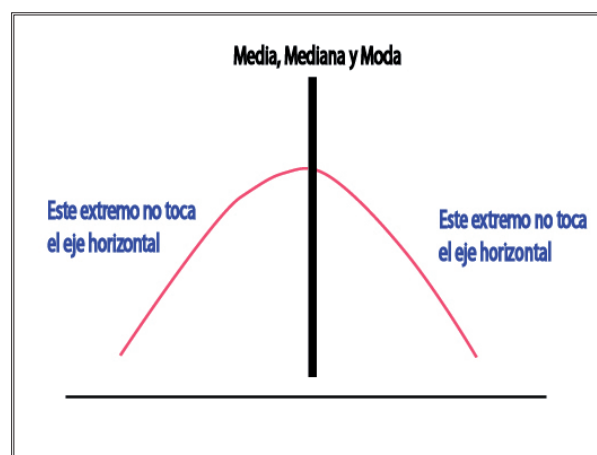
Es una distribución de probabilidad, se puede decir cuál es la probabilidad de ocurrencia de un evento aleatorio proveniente de una población normal.

Su uso es frecuente en las aplicaciones estadísticas, muchas variables aleatorias continuas presentan una función de densidad cuya gráfica tiene forma de campana.

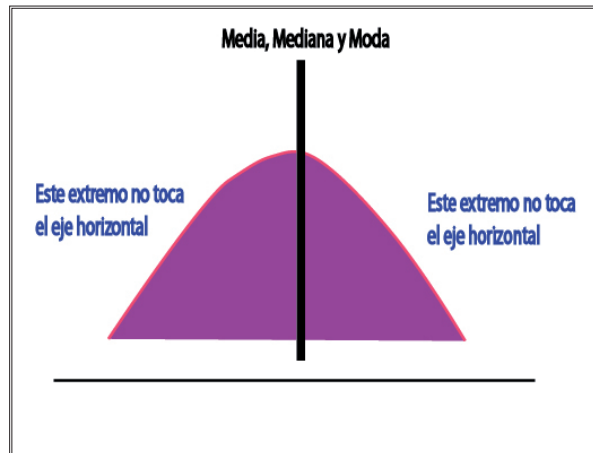
En resumen, la importancia de la distribución normal se debe principalmente a que hay muchas variables asociadas a fenómenos naturales que siguen el modelo de la normal.

Características de la distribución normal de la probabilidad

- La curva tiene un solo pico, por consiguiente es unimodal. Presenta una forma de campana.
- La media de una población distribuida normalmente se encuentra en el centro de su curva normal.
- A causa de la simetría de la distribución normal de probabilidad, la mediana y la moda de la distribución también se hallan en el centro, por tanto en una curva normal, la media, la mediana y la moda poseen el mismo valor.
- Las dos colas (extremos) de una distribución normal de probabilidad se extienden de manera indefinida y nunca tocan el eje horizontal.



- Áreas bajo la curva normal.



- El área total bajo la curva normal será de 1.00 y equivale a probabilidades.

El valor de Z

Z= Número de desviaciones estándar de x respecto a la media de esta distribución.

$$Z = (x - m) / s.$$

X=valor de la variable aleatoria que nos interesa.

m= media de la distribución de esta variable aleatoria.

s = desviación estándar de esta distribución.

Las variables aleatorias distribuidas en forma normal asumen muchas unidades diferentes de medición, por lo se habla de forma estándar y se simboliza con Z.

3.6.2.2 Distribución T-Student

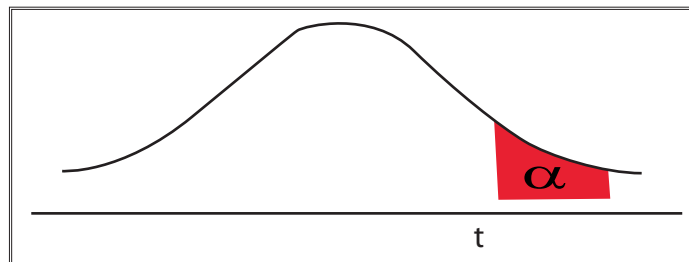
En muchas ocasiones no se conoce s y el número de observaciones en la muestra es menor de 30, si en este caso, se puede utilizar la desviación estándar de la muestra como una estimación de la varianza, pero no es posible usar la distribución Z como estadístico de prueba. El estadístico de prueba adecuado es la distribución t.

Sus aplicaciones en la inferencia estadística son para estimar y probar una media y una diferencia de medias (independiente y pareada).

Características de la distribución t - Student

- Al igual que la distribución Z, es una distribución continua.
- La distribución t tiene una media de cero, es simétrica respecto de la media y se extiende de $-\alpha$ a $+\alpha$ la varianza de t.
- Cuando los grados de libertad son suficientemente grandes la varianza de la distribución t tiende a 1.

- Tiene forma acampanada y simétrica.
- No hay una distribución t, sino una “familia” de distribuciones t. todas con la misma media cero, pero con su respectiva desviación estándar diferente de acuerdo con el tamaño de la muestra n, existe una distribución t para una muestra de 20, otra para una muestra de 22 y así sucesivamente.
- La distribución t es más ancha y más plana en el centro que la distribución normal estándar como resultado de ello se tiene una mayor variabilidad en las medias de muestra calculadas a partir de muestras más pequeñas. Sin embargo, a medida que aumenta el tamaño de la muestra, la distribución t se aproxima a la distribución normal estándar.



Formalmente una variable T con distribución t de Student o simplemente distribución t se define de la forma siguiente:

Sea Z una variable aleatoria normal estándar y sea χ^2 una variable Chi cuadrada con n grados de libertad, entonces:

$$t = \frac{Z}{\sqrt{\frac{\chi^2}{v}}}$$

Dónde:

$$Z = \frac{X - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad \chi^2 = \frac{S^2(n-1)}{\sigma^2}$$

Al sustituir en la fórmula

$$\frac{\sqrt{n}(\bar{X} - \mu)}{s}$$

Por lo tanto

$$t = \frac{X - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Con $n = n-1$ grados de libertad

3.6.2.3 Estimación Puntual e Intervalos de Confianza

Estimación Puntual:

El valor calculado a partir de información de muestreo, que se emplea para estimar el parámetro de población.

La media muestral; es una estimación de la media poblacional, es una estimación puntual y asimismo la desviación estándar es una estimación puntual de la varianza. Sin embargo un valor estimado puntual sólo representa una parte de la historia. Al tiempo que se la espera que la estimación puntual se acerque al parámetro de la población y saber que tan cerca se encuentra, solo un intervalo de confianza puede ayudar en este propósito.

Intervalo de Confianza:

En el contexto de estimar un parámetro poblacional, un intervalo de confianza es un rango de valores (calculado en una muestra) en el cual se encuentra el verdadero valor del parámetro, con una probabilidad determinada.

La probabilidad de que el verdadero valor del parámetro se encuentre en el intervalo construido se denomina nivel de confianza, y se denota $1-\alpha$. La probabilidad de equivocarnos se llama nivel de significancia y se simboliza α . Generalmente se construyen intervalos con confianza $1-\alpha=95\%$ (o significancia $\alpha = 5\%$). Menos frecuentes son los intervalos con $\alpha =10\%$ o $\alpha =1\%$.

Intervalos de confianza derivados de la distribución normal

Para construir un intervalo de confianza, se puede comprobar que la distribución Normal Estándar cumple:

$$P(-1.96 < z < 1.96) = 0.95$$



CAPÍTULO IV

4. PROYECTO FOTOGRAMÉTRICO NO CONVENCIONAL

4.1 CALIBRACIÓN DE CÁMARA

Es el proceso para determinar las características de una cámara para ser usada como un instrumento de medida previo a un proyecto fotogramétrico.

Se puede usar imágenes tomadas por diferentes tipos de cámaras, ya que se usa la información de las imágenes y se necesita información básica de los parámetros específicos de la cámara que se encuentran en los manuales técnicos de las mismas que se basan en ciertos parámetros como son:

- Distancia focal de los lentes,
- Escala de digitalización (el cual es el formato CCD del escáner o de la cámara digital).
- Punto principal (donde el eje de los lentes intercepta la imagen).

Para obtener una mejor exactitud, se usa también parámetros que se describen en las características de distorsión de los lentes. La calibración de cámaras es un método para encontrar los valores de los parámetros de la cámara, una vez que la cámara es calibrada, proporcionará las medidas exactas.

El programa PhotoModeler necesita conocer la distancia focal, punto principal y la escala de digitalización de la cámara usada para poder producir modelos en 3D, pero si no concierne la exactitud de las medidas, entonces no se necesita calibrar la cámara. Para esto se puede crear una cámara aproximada (o cámara no calibrada) directamente en el software (PhotoModeler).

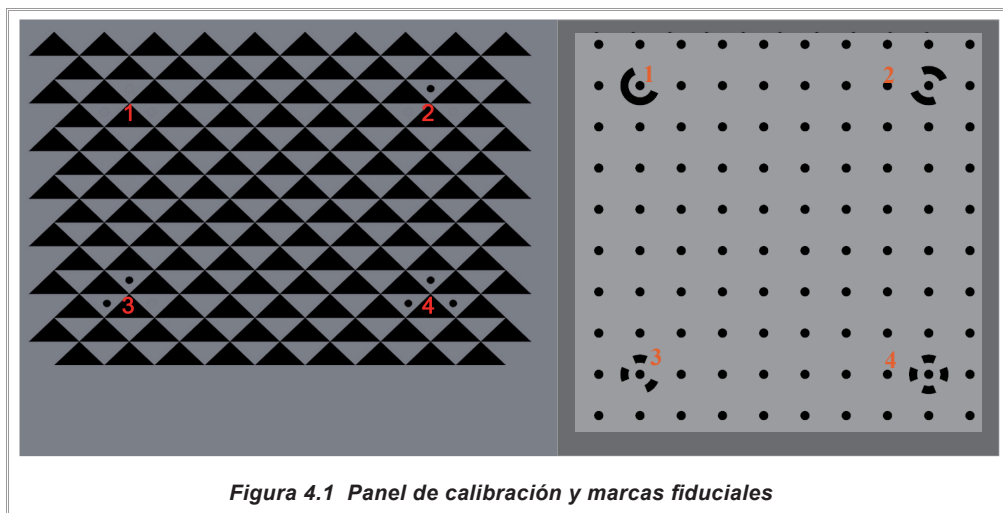
Si se encuentran los estimados para los parámetros de la cámara no se producen buenos modelos 3D, pero si se necesitan de resultados de exactitud se requiere calibrar la cámara.

Se debe calibrar la cámara:

- Antes de realizar un proyecto fotogramétrico de precisión.
- Cuando se usa diferentes lentes en la misma cámara.
- Cuando se cambia la distancia focal del mismo lente en una cámara.
- Cuando se cambie la cámara, se cambie la resolución.
- Cuando se han dañado los lentes de la cámara y han sido reconstruidos.

Si se tiene una sola cámara y una lente con la misma distancia focal para todos los proyectos, solo se necesita realizar la calibración de cámara cada cierto tiempo a consideración del usuario, siguiendo la siguiente secuencia:

a. Panel de calibración



Este panel de calibración puede ser proyectado sobre paredes con la plantilla que viene incluida en el manual del programa o agrandararlo para obtener un póster por medio de ampliaciones.

Pero si se crea un tipo póster de este panel en vez del que se usa para ser proyectado, se toma el archivo calib.dxf o calib.eps (los archivos están instalados en el directorio de PhotoModeler) e imprimirlos o plotearlos usando ploter capaces para esto. La escala del ploter puede ser la más grande que sea posible.

Mientras más cerca el panel de calibración está en la medida de los objetos que se va a medir, la calibración será mejor.

Cuando se usa el panel tipo póster, se debe asegurar antes de la toma de las imágenes que sea lo más plano posible. Si se proyecta el panel de calibración este seguro que se lo proyecte de forma correcta, ya que es cuando los tres círculos vacíos deben aparecer en la esquina superior izquierda. El proceso de calibración fallará si el panel esta al revés.

b. Preparación de la toma de imágenes

Poner la calibración de imágenes puede ser complicada con cámaras de películas de plano insertado, realice varias tomas experimentales primero.

Poner entre paréntesis también las exposiciones ± 3 f-stops. Otra forma es hacer brillar una luz en el lugar del lado izquierdo de la cuadrícula de tal forma que solo la pared es iluminada y nada de la cuadrícula lo es.

De esta manera las fiduciales insertadas serían, en la mayor parte, iluminadas por el brillo de la pared. Idealmente, se necesita calibrar la cámara y la combinación de lentes en la configuración del enfoque en el que se usará para tomas de imágenes para medición. Esto quiere decir que si se mide un edificio grande la cámara probablemente estará enfocada hacia el infinito. Idealmente, se debe calibrar la cámara cuando el lente se enfoca al infinito (algunas cámaras no tienen una configuración de enfoque).

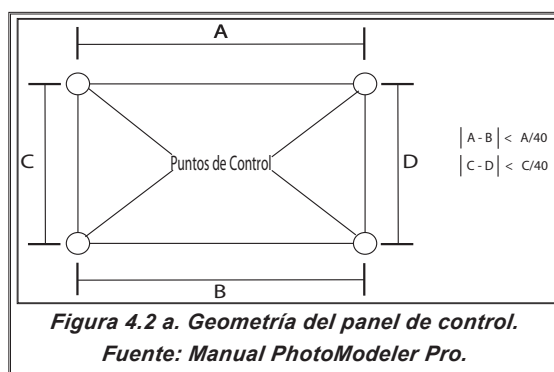
c. Arreglos de posicionamiento

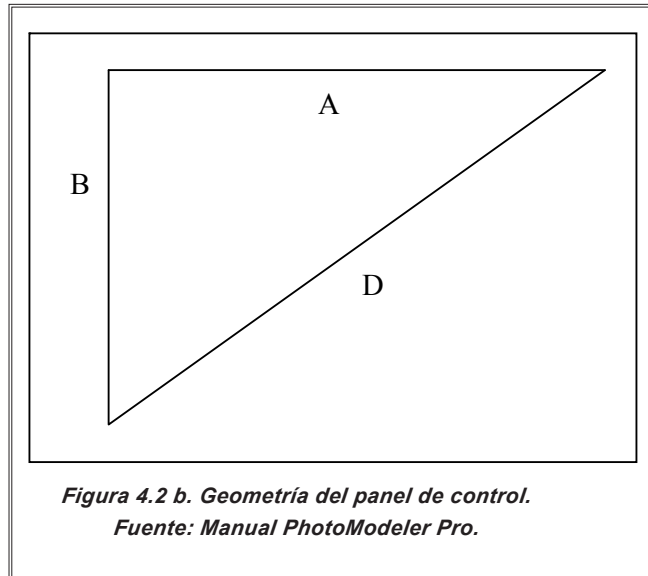
La toma de las imágenes para la calibración puede implicar a veces arreglos. La siguiente lista muestra, en orden de prioridad, las consideraciones para la calibración de las imágenes.

1. El panel de calibración debe ser cuadrado.

La cuadrícula proyectada no debe tener una deformación angular. Por ejemplo, si ha proyectado la cuadrícula de calibración en un metro de anchura, la diferencia entre la longitud A y la longitud B debe ser menos de 2.5 cm. o 1/40 de la anchura. Otro chequeo de cuadratura es cuando se puede medir la diagonal y se compare con la diagonal calculada con Pitágoras.

Eso es $A^2 + B^2 = D^2$. Para tratar de obtener esta igualdad dentro del 1 %.





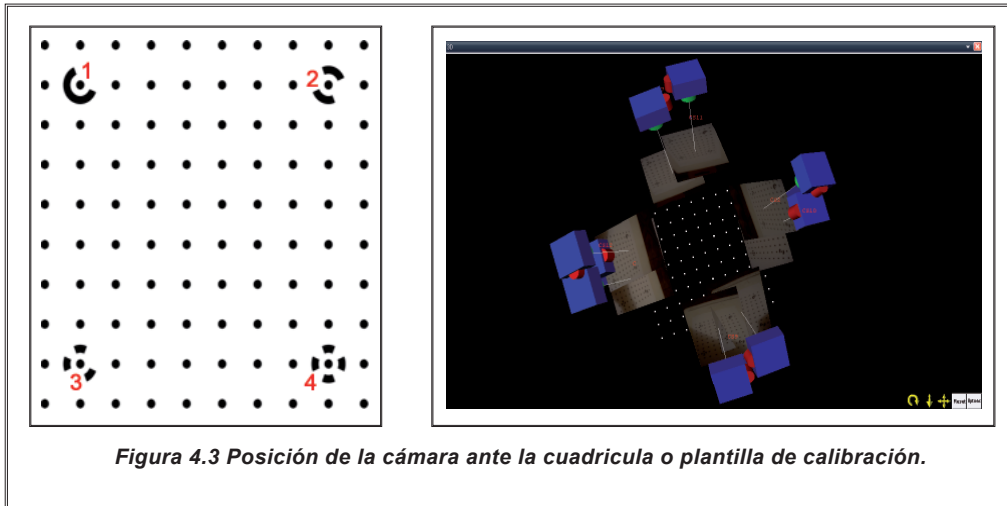
2. Los cuatro puntos de control deben aparecer en todas las imágenes de calibración.
3. El panel de calibración debe ser plano sin ondulaciones y arrugas. La lisura de una pared bien instalada es suficiente.
4. El panel de calibración debe llenar tanto la pantalla de la cámara como posible.
5. El panel debe ser limpio, ninguna sombra ni marcas asentadas deben aparecer en el área del panel de calibración.
6. Las posiciones de la cámara deben ser cerca de los 45 grados de la horizontal y la vertical como se necesite.
7. Las imágenes deben tener un enfoque bueno a través del panel (una cantidad pequeña de mancha debido a la profundidad insuficiente de campo es aceptable).
8. Las imágenes deben tener un contraste bueno, debe haber una orilla clara entre las áreas blancas y negras del panel.
9. Toda imagen debe ser tomada con el mismo enfoque.
10. La cámara se debe enfocar en la distancia que se usará para la mayoría de los proyectos de medición.

d. Posicionamiento de la cámara

Para obtener los datos necesarios para calibrar una cámara, se necesitan seis o más imágenes tomadas de diferentes ángulos de una densa cuadrícula de puntos.

El software de la calibración de la cámara trabaja con una cuadrícula específica de calibración. Se sugiere usar ocho imágenes de la plantilla en las posiciones descritas a continuación.

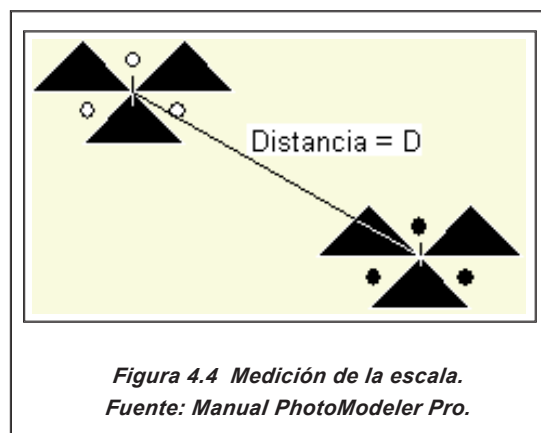
Es muy importante notar que la cuadrícula debe llenar tanto de la imagen como sea posible. La limitación en el tamaño son las cuatro ubicaciones de los puntos de control que deben aparecer en la imagen y no deben ser cortados por la orilla de la imagen.



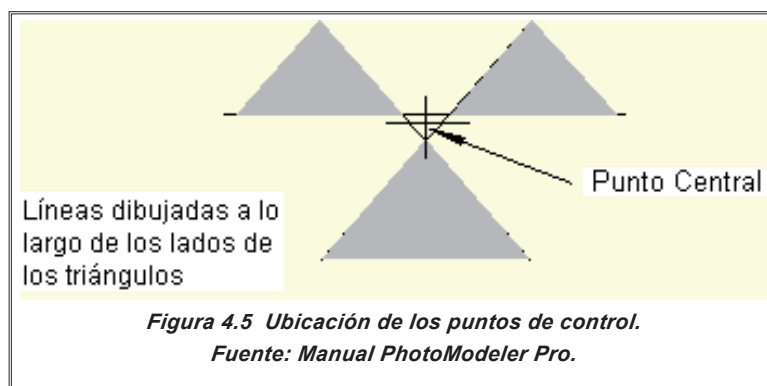
e. La medición de la escala

El calibrador de cámara del programa necesita la distancia entre los puntos de control 1 y 4 en la plantilla de calibración proyectada o impresa, como se muestra en la figura 4.4. Esta distancia se debe medir al mismo tiempo que se toman las imágenes de la calibración, mediante un flexómetro tan exactamente como sea posible.

Se sugiere que se realice esta medida dos veces: desde el punto 1 hasta el 4 y entonces desde el punto 4 hasta el punto 1 para estar seguro de su resultado. Registre esta distancia para su uso posterior.



Si se puede marcar sobre la pared o en sobre la impresión, se puede obtener una medida más precisa de la distancia. Dibuje líneas a lo largo de la orilla de cada triángulo y estime el centro de ese triángulo:



f. Transfiriendo las imágenes dentro del computador para la calibración

Las imágenes deben ser convertidas a una representación digital, el calibrador de cámaras trabaja con imágenes digitales en muchos formatos como: Targa- TGA, TIFF, GIF, PCX, DCX, BMP, DIB, JPEG, WMF, WPG, PICT, IFF, -PSD y Kodak PhotoCD-PCD.

Para las cámaras digitales, todo lo que se debe hacer es copiar las imágenes de la cámara al disco duro de la computadora. Las cámaras de la película requieren los negativos que serán escaneados y las cámaras de video requieren una tabla de digitalizar.

Ciertas cámaras digitales realizan la nitidez automática en las imágenes que toman. Esto se hace para retratos nítidos aunque sea artificialmente. Por otro lado, los algoritmos de procesamiento de imágenes aprecian que como el Auto-marker en el calibrador no aprecie la nitidez de imágenes porque ellas tienden a tener una distorsión adicional no deseada y filos extras falsos.

Las imágenes que se hacen nítidas usualmente no se auto marcan bien y hace que la calibración sea pobre. También se puede apagar esta característica en la cámara si usted desea o efectuar cambios en sus imágenes en un programa de imágenes como Adobe PhotoShop antes de usarlos en el calibrador de cámaras.

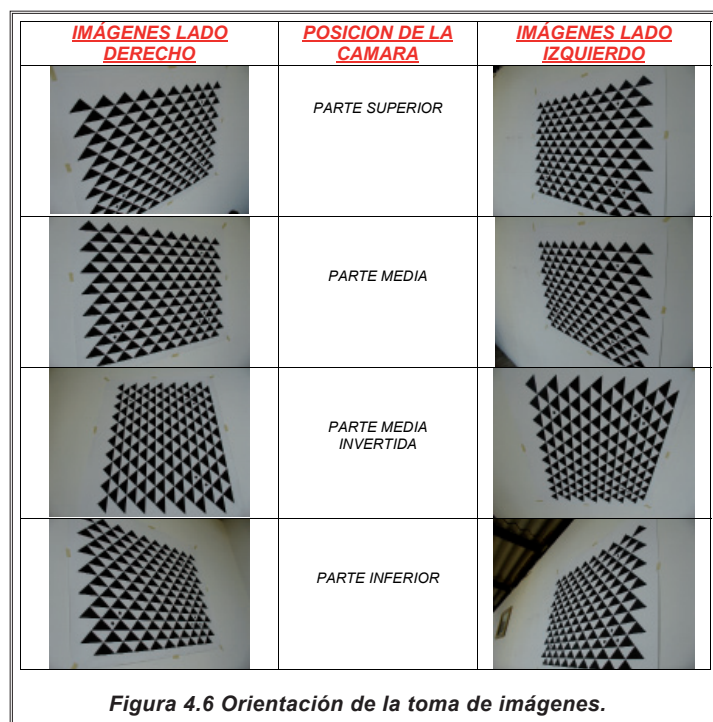
Ciertas cámaras digitales realizan la rotación automática de la imagen cuando ellas detectan la cámara en tipo retrato (giran 90 grados) la orientación. Las imágenes se almacenan en el disco girado.

PhotoModeler y el calibrador de cámaras necesita que todas las imágenes estén con la misma orientación (usualmente en modo paisaje) así que es mejor apagar esta característica en la cámara cuando se tomen imágenes para PhotoModeler.

4.1.1 Procedimiento en la calibración de cámaras

Para llevar a cabo una calibración de cámara para el programa PhotoModeler, se recomienda los siguientes pasos:

1. Establecer un método de proyección del modelo.
 - Si se usa un cartel, obtenga el modelo impreso o el tramado con la orientación mostrada en la sección del Panel de Calibración y pegue el cartel en una pared plana.
 - Si usa un proyector de slide, proyecte la cuadrícula de la calibración en una pared plana.
 - Si usa un proyector de acetatos, obtenga el slide impreso en un acetato de un material de transparencia y proyecte la cuadrícula de la calibración en una pared plana.
 - Para el proyecto se hace referencia a un cartel o panel de calibración impresa en una A0.
2. Establecer puntos de toma que fueron discutidos y planeados en la decisión y toma de las imágenes.
3. Se toma como referencia ocho imágenes de la cuadrícula o panel de calibración.
4. Se mide una distancia exacta sobre la cuadrícula de calibración.



5. Transferir las imágenes de la cámara digital, escáner o PhotoCD al disco duro en un directorio creado a conveniencia.
6. Tomar nota del tipo de cámara y la distancia focal del lente que se está usando.

- El procesamiento del proyecto de calibración en el Programa Photomodeler. La calibración de la cámara es un proceso de dos etapas, primero el calibrador usa las técnicas de análisis de imágenes para localizar las esquinas de cada triángulo en la cuadrícula de la calibración en cada imagen, entonces estas ubicaciones de las esquinas se usan para determinar numéricamente los parámetros de su cámara. Estas etapas se refieren como “Paso 1: Auto Marcar los puntos” y “Paso 2: Procesamiento de Cámara”.

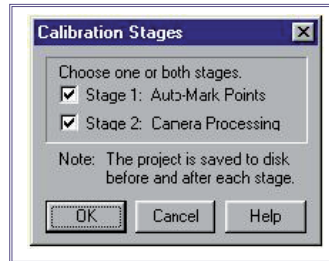


Figura 4.7 Etapas de PhotoModeler Camara Calibration
Fuente: Manual de Photo-Modeler pro.

- Revisar los valores obtenidos de sus iteraciones en el proceso de ajuste, se considera una calibración exitosa aquellos valores que se encuentren menores de 2, y a partir de ahí se define las diferentes precisiones, si se desea mejorar la precisión los valores obtenidos en la calibración debe ser menores de 1 e incluso del 0.5.
- Guardar el proceso de calibración en un archivo con extensiones CAM o PMR (propio de PhotoModeler), que será requerido a futuro en un proyecto de restitución fotogramétrica.

4.1.2 Ejemplos de la barra del error de la calibración

Los siguientes ejemplos de exposiciones de Ventana de Diálogo del Error Total después de procesar un proyecto de la calibración:



Figura 4.8 Barras del error de calibración.



4.2 PLANIFICACIÓN FOTOGRAMÉTRICA NO CONVENCIONAL

Para una planificación exitosa se debe obtener toda la información previa requerida en el campo como es:

- Reporte de cámara.
- Extensión y dimensión del proyecto.
- Cartas topográficas.
- Levantamientos previos.
- Orto imágenes.
- Y demás información que nos pueda ser de utilidad.

4.2.1 Reporte de cámara

El reporte de cámara es un documento en el que se describe los parámetros de ajuste de las lentes de cámara el mismo que es previo al proyecto ya que se define su alcance y precisiones, etc.

4.2.2 Extensión y ubicación del proyecto

Como ejemplo de se ha seleccionado:

- Dos edificaciones en el Campus de la ESPE, Laboratorio de mecánica, Laboratorios de la CEA.

4.2.3 Diagnostico de la información previa

En el proyecto se utilizó información previa como:

- Cartas topográficas a escala 1:25000 del Instituto Geográfico Militar.
- Orto imagen de la ESPE con resolución de 30 cm.
- Y levantamientos topográficos previos a escala 1:1000.

4.2.4 Descripción del área de trabajo

Los objetivos de toma presentan un nivel de detalle muy alto ya que su resolución es de 5 cm, las dos edificaciones presentan varios aspectos como por ejemplo escaleras, graderíos, entre otras.

4.2.5 Polígono de cubrimiento

Si se considera el formato de una imagen digital producida por una cámara que está dado por su resolución ya que en el mercado existen varios formatos como son de 4 MP, 5 MP, 6 MP, 7 MP, o más.

Si además se considera una altura de vuelo entre 0-100 metros, para la región sierra debido a sus cambios de vientos, esta altura es la considerada para este tipo de proyectos siguiendo un esquema presentado a continuación:

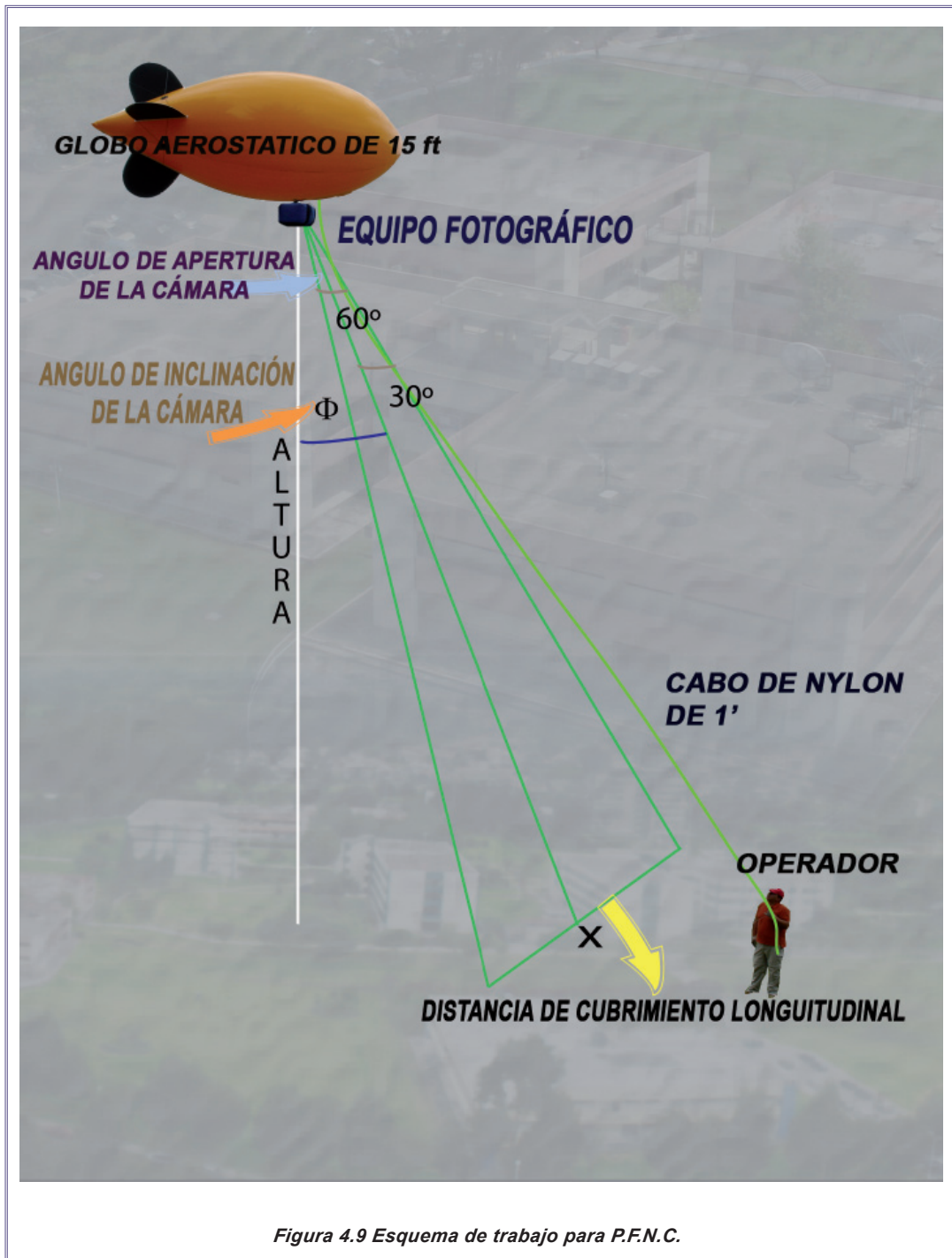


Figura 4.9 Esquema de trabajo para P.F.N.C.

Se considera un ángulo de inclinación que varía entre 0-90° para poder captar la perspectiva de altura del objeto a fotografiar y un ángulo de 60° que hace referencia al ángulo de apertura producido por la distancia focal de la cámara sacada de su ficha técnica (manual de la cámara) aclaradas ciertas características dentro del proceso de toma, la siguiente ecuaciones para calcular el polígono de cubrimiento:

$$X = 2 * \left(\frac{H}{\cos(\phi)} \right) * \tan(30^\circ)$$

Una vez calculada X, a una altura referencial de 100 metros, que es la distancia longitudinal se obtendrá la resolución longitudinal del polígono que será la relación de la distancia en metros con la resolución longitudinal en píxeles.

$$\Gamma_x = \frac{X}{\tau_{longitudinal}}$$

$$\Gamma_x = \frac{163.2993 \text{ m}}{3072 \text{ píxeles}}$$

$$\Gamma_x = 0.053 \text{ m} \cong 5.3 \text{ cm}$$

Conociendo la resolución longitudinal del polígono se procede a calcular el cubrimiento trasversal que es lo mismo que el ancho.

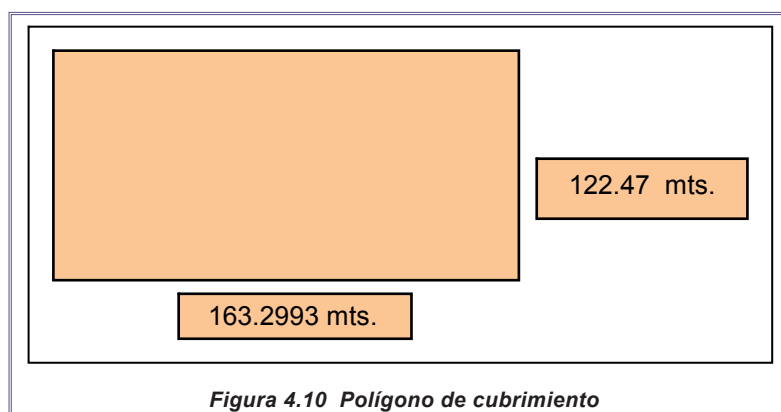
$$\Gamma_x \approx \Gamma_y$$

$$Y = \Gamma * \tau_{trasversal}$$

$$Y = 0.053 \frac{\text{m}}{\text{píxeles}} * 2304 \text{ píxeles}$$

$$Y = 122.47 \text{ m}$$

Es decir que las dimensiones del polígono es de:



Con estas dimensiones del polígono el área de cubrimiento es 2 hectáreas, la misma que se utiliza para conocer el número aproximado de modelos que se generan para el proyecto.

Nota: Se hace referencia como ejemplo a la Cámara Sony V-3, para el cálculo del polígono de recubrimiento.

4.2.6 Número de modelos fotogramétricos no convencionales

El número de modelos dependerá de la optimización de espacios en relación a su toma, considerando también un polígono de toma el mismo que servirá para distribución de espacios de toma presentado a continuación:

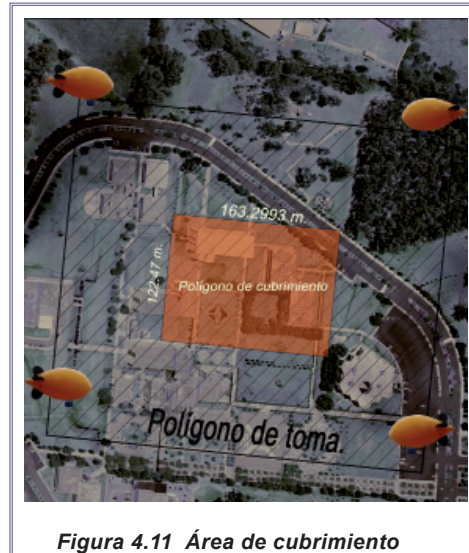


Figura 4.11 Área de cubrimiento

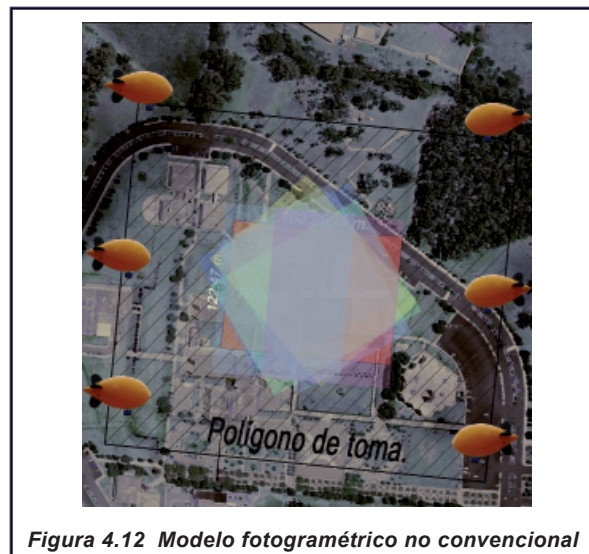


Figura 4.12 Modelo fotogramétrico no convencional

4.2.7 Control Terrestre o control externo

Hace referencia al control de campo mediante elementos foto identificables en cada fotograma, se considera que para georeferenciar cualquier plano se requiere por lo menos de dos puntos siempre y cuando su escala y proyección se encuentren bien, para el proyecto se necesita por lo menos dos puntos para su georeferenciación, además de los puntos se puede emplear elementos lineales como distancia de una esquina a otra o la altura de un lado del elemento fotografiado los mismos que servirá para su geometría y a la vez para su escala.

Aclarada esta instancia, se diagnostica que la precisión requerida es proporcional a la resolución de la imagen si se considera que las imágenes tienen una resolución de 5.3cm, tomada con la cámara CybertShot V3 de Sony con una resolución de 7.2 MP, mediante el cual la metodología de toma en el control terrestre va a ser de una tradicional como es la: Topográfica o la geodésica, partiendo de puntos de referencia situados dentro del campus politécnico tanto en su control vertical y horizontal.

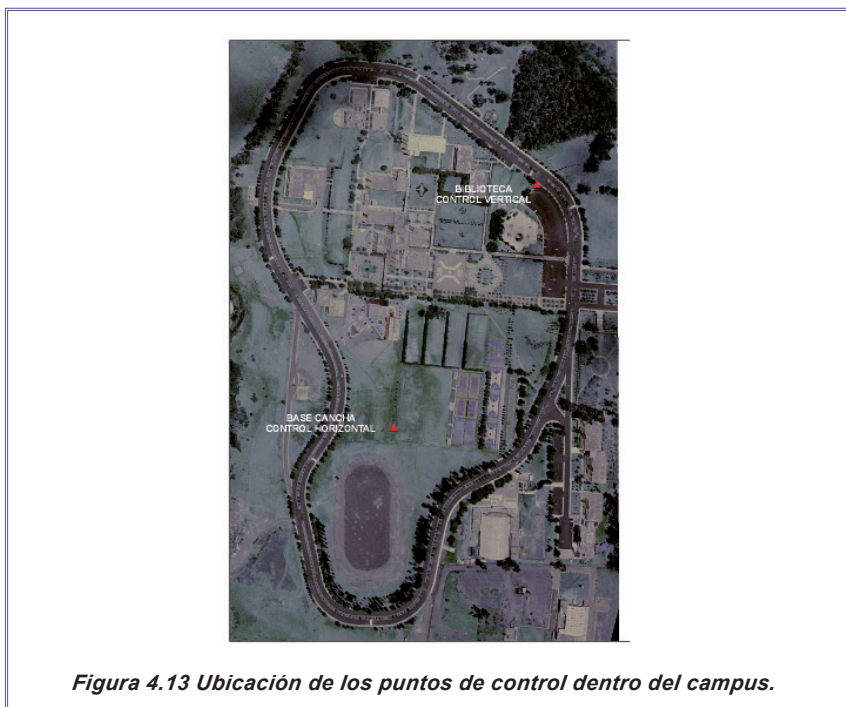


Figura 4.13 Ubicación de los puntos de control dentro del campus.

La instrumentación que se requiere tanto como en equipo topográfico y geodésico, debe cumplir con la especificación de 5cm de precisión, por lo que no existirá ningún inconveniente en las instrumentaciones mencionadas.

Cuadro 4.1 Cuadro de equipamiento para el control terrestre

MARCA	EQUIPO	PRECISIÓN
TRIMBLE	Estación Total	5 cm + 2ppm
SOKIA STRATUS L1	GPS L1	1 cm con una hora de posicionamiento hasta 15 km
TLM-210	Metro Láser	0.02 cm hasta distancias de 80 m.

El número de puntos de control hace referencia al número de fotogramas requeridos, para cada fotograma se requiere como mínimo de tres puntos de control georeferenciados o un elemento lineal, esto va hacer que para cada 5 fotogramas se necesita 10 puntos georeferenciados o 5 elementos lineales.

Otra de las maneras de controlar los movimientos o toma de imágenes sin descartar de las mencionadas anteriormente más bien con el fin de completar ya lo propuesto para un mayor control, es realizada mediante mecanismos autónomos que dé seguimiento a los movimientos del vehículo no tripulado un claro ejemplo de ello es el Eagle Eyes TM FPV, que es un sistema que integra cuatro de los principales componentes que necesita para un control guiado desde el suelo y vigilancia de toma.

El sistema EagleEyes TM FPV estación proporciona todas las siguientes características:

- * *Receptor de la Diversidad.*
- * *Antena de seguimiento.*
- * *Telemetría.*
- * *Diversor de Cuatro canales A/V Distribución.*

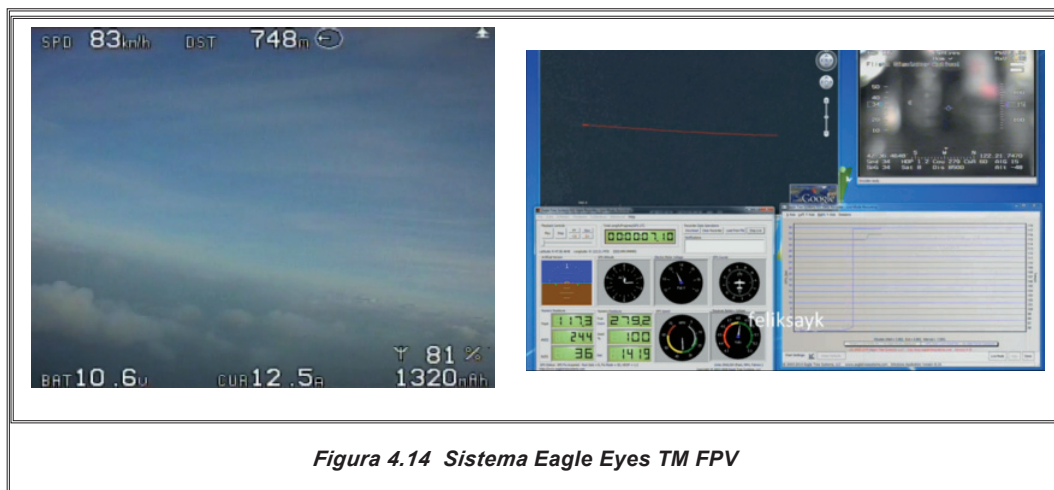


Figura 4.14 Sistema Eagle Eyes TM FPV

4.3 RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA NO CONVENCIONAL

En este proceso se realiza mediante el software PhotoModeler el mismo que permite operar una secuencia de imágenes capturadas según las metodologías descritas en el capítulo anterior.

El proceso es similar que en cualquier otro software especializado en fotogrametría tradicional, se tiene en cuenta que aquí no se realiza la ubicación de puntos de Gruber, marcas fiduciales, sino más bien elementos foto identificables para realizar la restitución mediante el proceso de multi-imágenes.

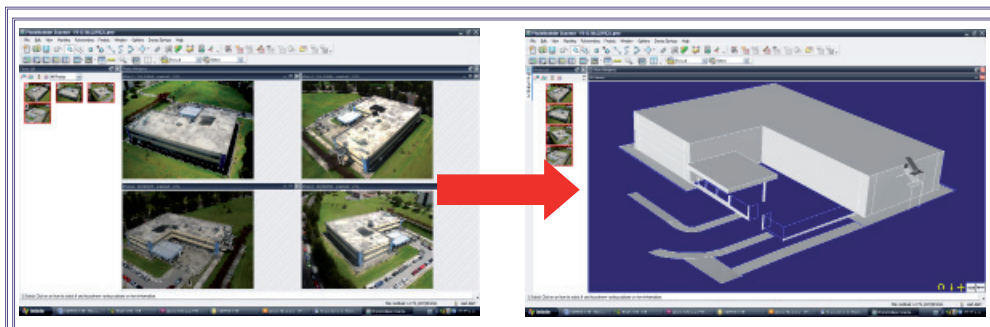


Figura 4.15 Restitución fotogramétrica no convencional del laboratorio de mecánica del campus politécnico.

4.3.1 Orientaciones interiores, externas y escala

El reporte de cámara es factible en cuanto se determina las correcciones de la lente bajo los parámetros de ajuste de distorsiones, pero en cuanto a las orientaciones que se realiza bajo el comando de PhotoModeler se encuentra sujeto en ciertas especificaciones como son la metodología de toma, elementos foto identificables en la restitución, puntos de control georeferenciados si lo tenemos y dimensiones de elementos lineales.

Las orientaciones interiores para cada imagen se generan mediante el proceso de ejecución dentro de la restitución mostrada en la siguiente figura.

Photo #	Image Chip	Descri...	Oriented	Proces...	Can be Proces...	Image Width (pixels)	Image Height (pixels)	Camera	RMS Residual (pixels)	Camera's Exif Focal Length	Photo's Exif Focal Length	Largest Residual (pixels)
1		DSC00...	yes	Use an...	yes	3072	2304	CAMA...	2.4891...	7.000000000000	7.000000000000	11.035920636937
2		DSC00...	yes	Use an...	yes	3072	2304	CAMA...	1.2197...	7.000000000000	7.000000000000	3.509696158613
3		DSC00...	yes	Use an...	yes	3072	2304	CAMA...	1.1490...	7.000000000000	7.000000000000	3.460137045760
4		DSC00...	yes	Use an...	yes	3072	2304	CAMA...	2.3024...	7.000000000000	7.000000000000	12.793988887406

Figura 4.16 Cuadro de proceso, ajustes y orientaciones

Es un poco diferente en cuanto a sus orientaciones exteriores, ya que PhotoMolder maneja varias extensiones pero la más común es el formato ASCII o de tipo texto donde identifica el nombre del punto, coordenada en x, coordenada en y, altura, con las precisiones obtenidas para cada punto, y en cuanto a sus elementos lineales lo que permite es obtener una escala más realista para el modelo fotogramétrico al introducir el valor medido in situ de sus elementos lineales dentro del comparador del programa.



Figura 4.17 Definición de elementos lineales

4.3.2 Ajuste y corrección del modelo fotogramétrico no convencional

Al igual que en otros restituidores se debe considerar que entre más exacto se ubique el punto a restituir es mejor ya que brinda resultados de mayor precisión.

Los puntos restituidos tienen en consideración que se deberá repetir por lo menos en dos imágenes para que exista correlación en la matemática del modelo propuesto dentro del software que es la transformación lineal directa (DLT) que es una metodología de bajo costo.

El ajuste del procesamiento se encuentra dentro de la manipulación de los puntos a restituir el alejarse a acercarse al punto en la realidad dependerá básicamente de la apreciación del operador.



Figura 4.18 Procesamiento, ajuste y precisiones de puntos a restituir

4.3.3 Exportación del modelo fotogramétrico no convencional

Una vez que se realiza los ajustes y con la debida certeza del modelo fotogramétrico se lo puede exportar en diferentes extensiones conocidas para ser manipuladas en cualquier otro software los formatos extraíbles son: dxf, ASCII, puntos3d, también se lo exporta con extensiones propias para modelamiento 3d bajo software especializados en el manejo de realidades virtuales como son 3d Studio, Cinema Max 4.

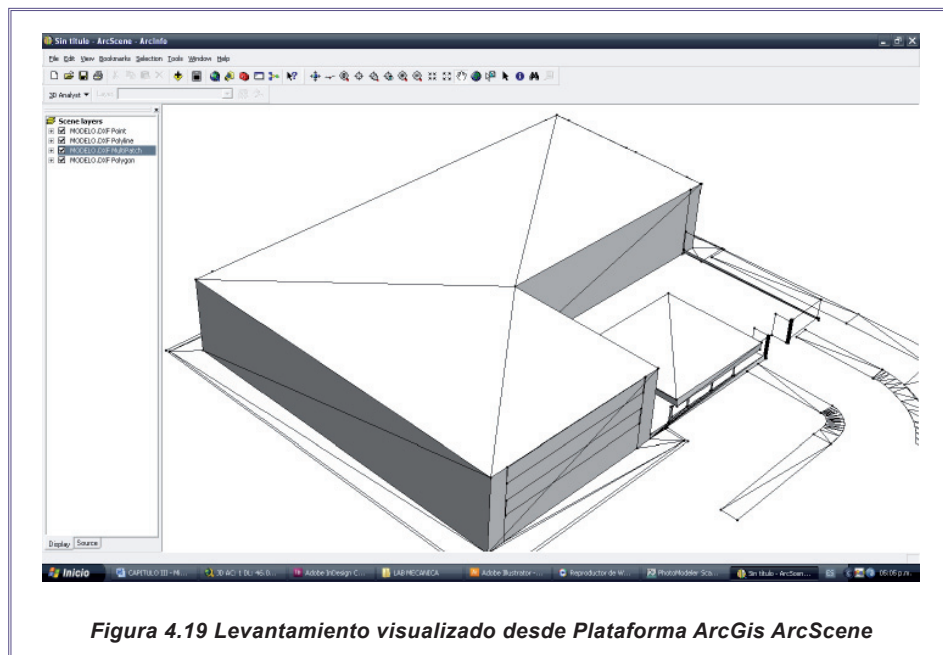


Figura 4.19 Levantamiento visualizado desde Plataforma ArcGis ArcScene

Inclusive se lo puede manejar a una manera más compleja que es el modelamiento 3d de levantamientos tridimensionales o tan solo montarlo en elementos gráficos georeferenciados como una ortoimagen, gracias a los visualizadores GIS, como son ArcScene de ArcGis, Erdas, Envi, PCI, entre otros.

La figura 4.19 detalla la forma del levantamiento fotogramétrico en un nuevo panorama al momento de realizar escenarios virtuales, reales de construcciones nuevas o incluso si se desea planificar una futura construcción, o simplemente el tratar de actualizar un escenario que por ende la fotogrametría actual lleva grandes costos de adquisición sumados a varios aspectos que lo hacen posible como los cambios climáticos, la extensión del proyecto y la resolución del producto, lo cual todo esto suman su valor sin contar el valor de procesamiento.

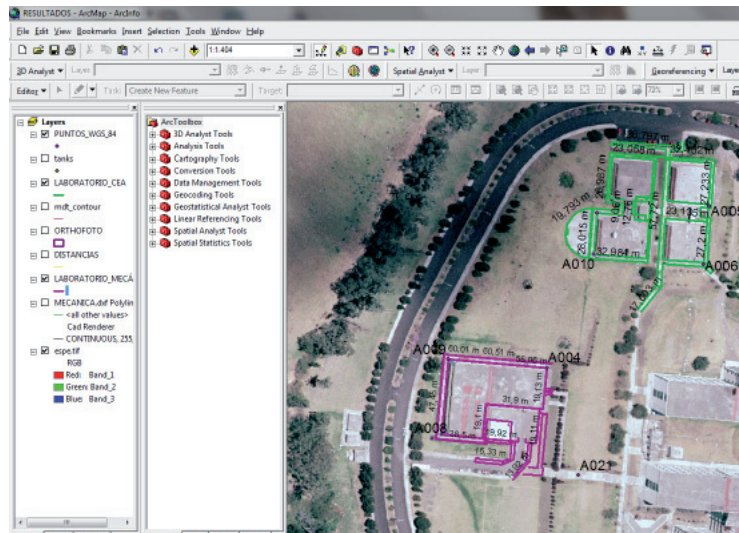


Figura 4.20 Visualización planimétrica del levantamiento fotogramétrico no convencional en plataforma ArcGis

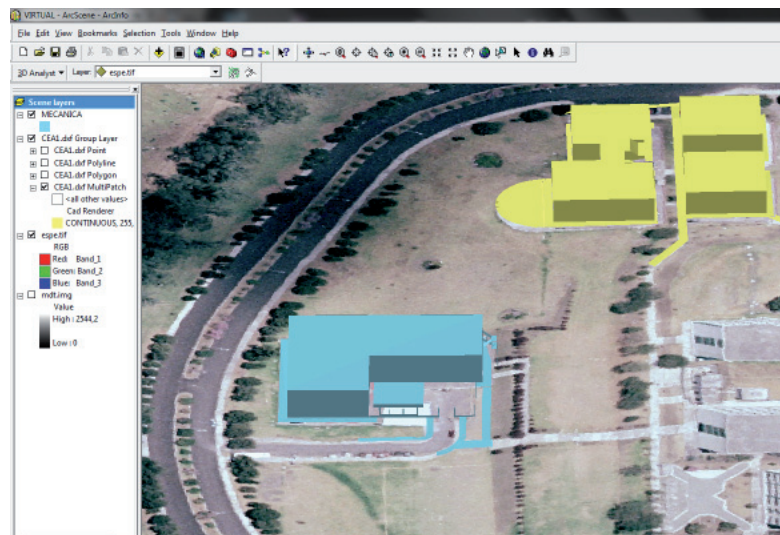
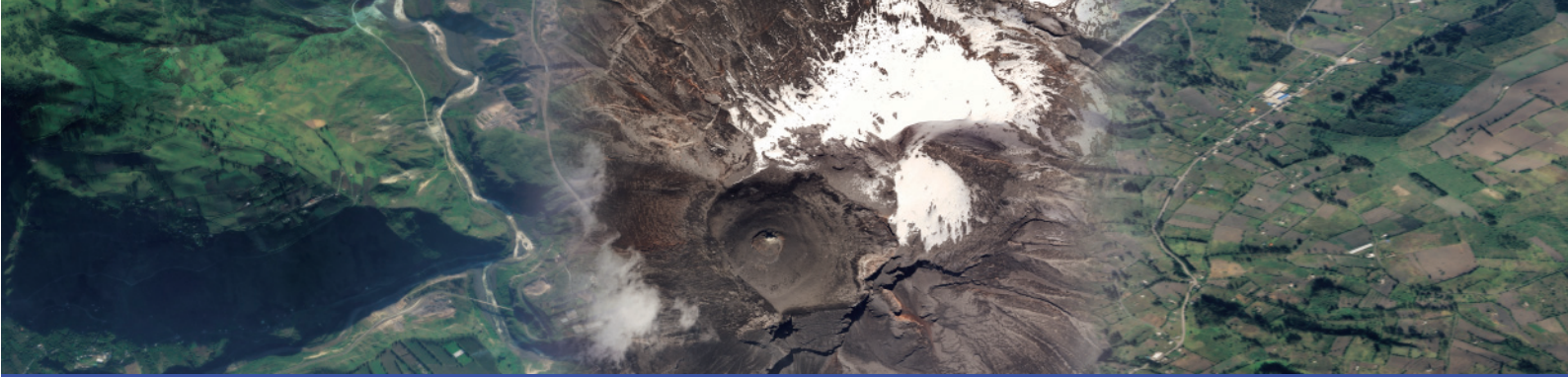


Figura 4.21 Modelo Virtual visualizado en ArcScene como producto del levantamiento fotogramétrico no convencional



CAPÍTULO V

5. DESARROLLO DEL PROYECTO FOTOGRAMÉTRICO NO CONVENCIONAL

El objetivo o meta del proyecto es con gran afinidad a métodos tradicionales o llamados también convencionales de medición, conocidos entre ellos como la topografía, fotogrametría, geodesia, entre otras pero que ninguna al momento de la verdad resulta que no son indiferentes entre ellas ya que no se puede hablar de fotogrametría sin puntos de apoyo tomados directamente en campo con ayuda de instrumentación siendo de gran preferencia equipos GPS (*SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL*), el tiempo e incluso el tipo de posicionamiento dependerá mucho del grado de precisión que se desea, entre mayor sea la resolución de las imágenes se requiere métodos más precisos, o también de hablar de topografía que es un método de gran precisión debido a sus equipos de nueva generación permitiendo obtener precisiones de hasta 5 cm en 4500 m de distancia a condiciones normales que al momento de una geometría funcionan perfectamente pero que carecen de georeferenciación directa por lo que se requiere instrumentación adicional, excepto equipos topográficos que incluyen GPS incorporados pero de alto costo de adquisición.

Todo lo mencionado corresponde a una primera comparación de un método tradicional y sus componentes que lo atribuyen, sin tomar en cuenta otro gran problema como es la accesibilidad o disponibilidad al momento de obtener lecturas en campo o disparos láser de una estación total, hay que considerar un alcance entre los 300 a 400 m efectivo sin prisma a condiciones normales, es cuando se realiza la pregunta se puede obtener datos de puntos ciegos o muertos, denominados así debido a que su visibilidad es cero, una manera de compensar esta falla en campo es mediante triangulaciones o geometría pero sin poder tener evidencia en donde se lo encuentra es aquí donde aparece como solución la toma aérea no convencional para la captura de información de puntos ciegos, denominada también fotogrametría de corto alcance debido a sus límites entre proyectos.

Si bien es cierto este método no viene a suplantar a métodos tradicionales más bien a complementar en la ayuda cuando los demás métodos no puedan o encuentra un obstáculo alimentado por la incertidumbre, este tipo de fotogrametría parte del mismo concepto de la convencional es decir que como primer objetivo, calibrar la cámara, los siguientes se verá en el desarrollo del presente capítulo.

5.1 CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA

Para el proyecto, se ha seleccionado 3 cámaras digitales de diferentes resoluciones y fabricantes para comprobar sus características de calibración.

Estas son: Sony DSC-V3 de 7 MP, una Nikon Coolpix S210 y una Canon G9, que por enlace e interacción con el sistema de toma son los que se ajustan en la transmisión de datos por ondas de radio.

Antes de la toma de las imágenes se debe considerar el método de calibración de la cámara, existen varios y a la vez varios programas para realizarlos, uno de ellos es mediante la toma inversa, es decir que se tiene un objetivo de toma con puntos obtenidos con instrumentación adecuada para poder calcular desde ahí los parámetros de la cámara, o con programas comerciales como el EFoto, Photomodeler que el mismo se ha seleccionado como objeto de estudio ya que es versátil y dinámico en el momento de la calibración de la cámara, que cuenta con una extensión de calibración automática debido a su diseño y construcción de la ficha de calibración, lo que hace su proceso automático.

Así como también la posición de la cámara al instante de la captura, esto permitirá relacionar la mayor parte del área de la imagen al poder comparar estas medidas en cada una de las posiciones de la cámara con cada lado de la ficha o panel de calibración, es decir que se generaran 12 imágenes, esto simulará primeramente el momento que la cámara está sometida a cambios o exista inestabilidad para la toma y la otra a la construcción de la lente expresada en los llamados modelos de distorsión, las tomas recomendadas que deben realizarse son de por lo menos de 8 imágenes.

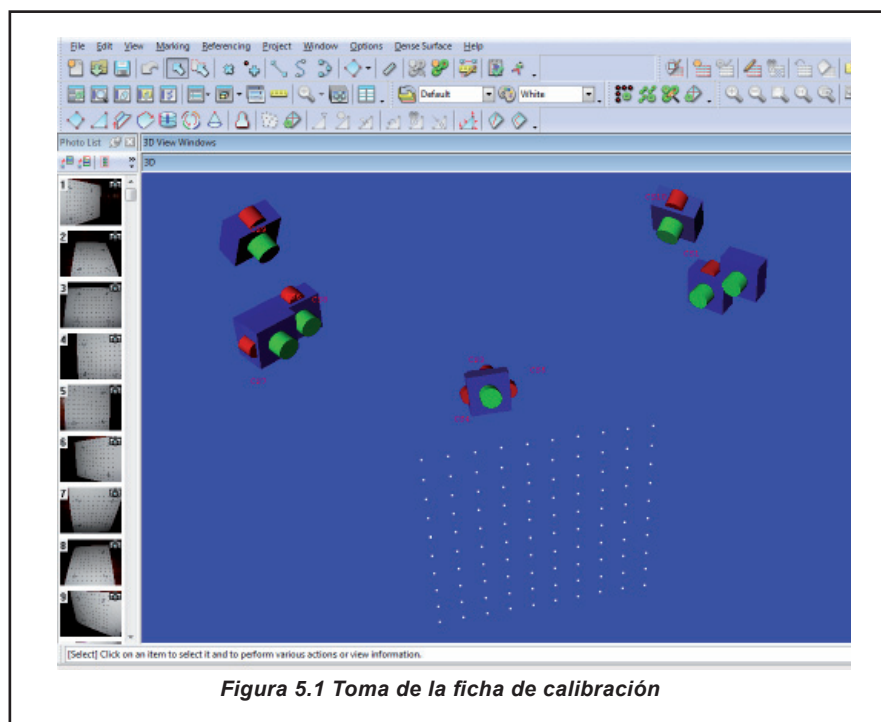


Tabla 5.1 comparación de los parámetros de calibración de diferentes cámaras digitales

	SONY DSC-V3	SONY HD-20	NIKON S210
RESOLUCIÓN	7.2 MP	10 MP	8 MP
LONGITUD FOCAL	6.61	6.28	6.69
FORMATO (mm)	3.20 X 2.40	5.5252 X 2.2569	5.9659 x 4.4763
Xp (mm)	1.59203	2.8458	2.9399
Yp (mm)	1.14793	2.2569	2.2950
K1	2.040e-004	5.443e-003	1.370e-003
K2	-1.959e-007	-8.322e-005	1.300e004
K3	0	0	0
P1	2.121e-006	-2.060e-004	3.756e-004
P2	-7.009e-6	2.030e-004	-5.927e-004

5.1.1 Modelo de distorsión

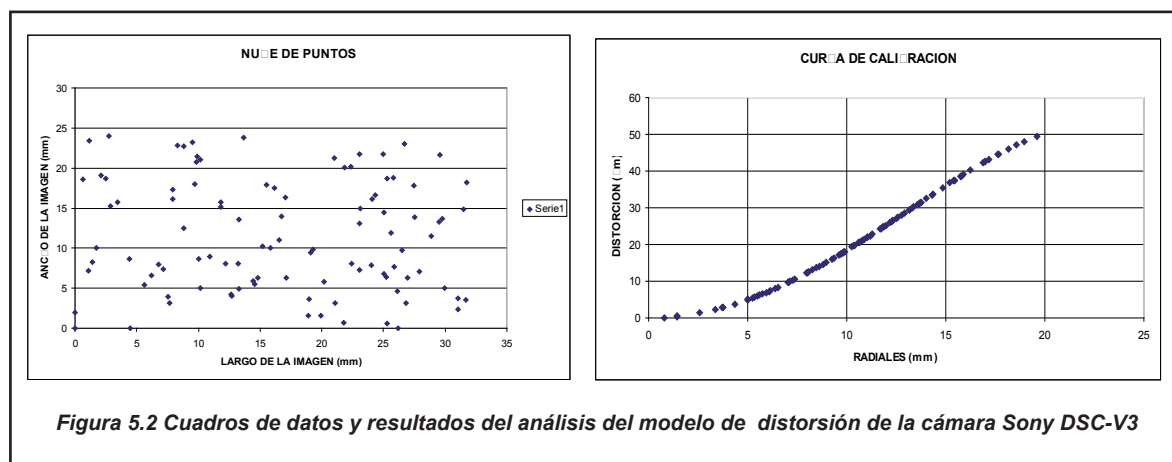
Un modelo de distorsión permite analizar cuál es el comportamiento de la lente de la cámara que debido a su construcción y fabricación varía de unas a otras, cabe recalcar que al usar este tipo de cámaras de bajo costo es muy diferentes en su diseño, construcción e incluso en la fabricación a cámaras métricas de casas comerciales como Leica, Zeiss, Trimble entre otras que son netamente cámaras digitales métricas.

Por lo cual dichos parámetros obtenidos en el proceso de calibración de la cámara, permiten realizar la construcción de la lente mediante el modelo de distorsiones que se utiliza el Gaussiano balanceado indicado anteriormente y expresado por la ecuación:

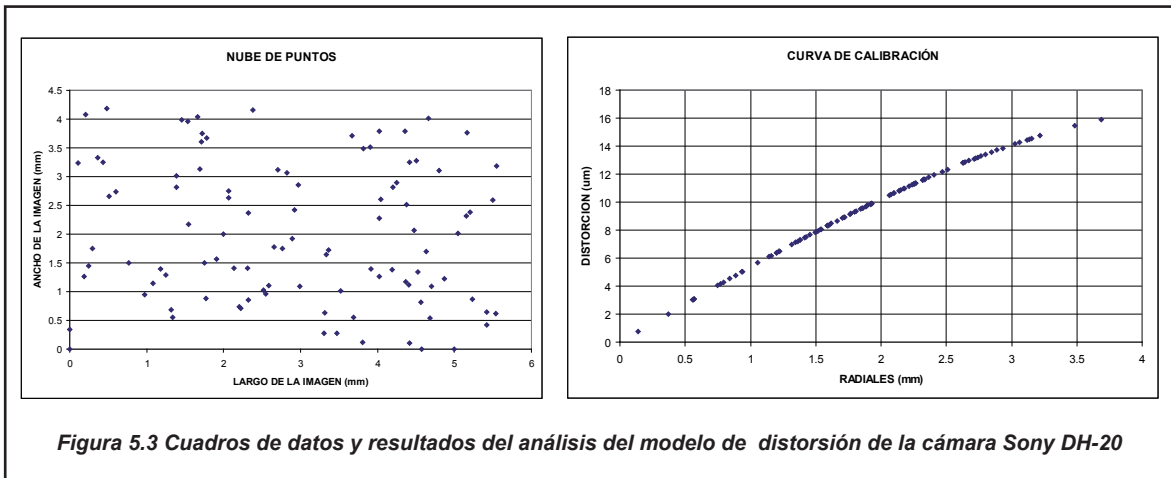
$$d = r * K1 + r^3 K2 + r^5 K3$$

La misma que es utilizada para cada cámara de la siguiente manera:

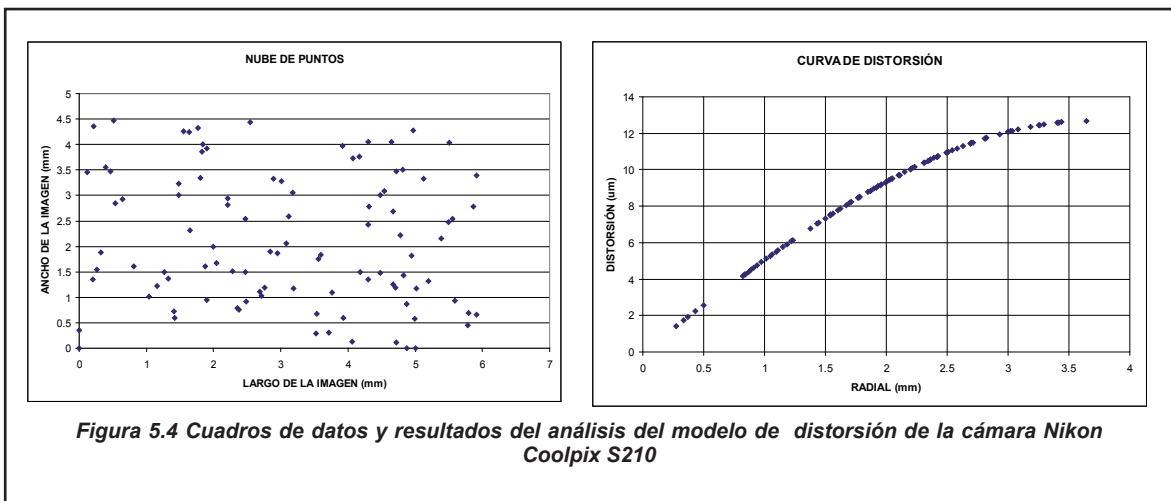
Cámara Sony DSC-V3:



Cámara Sony HD-20:



Cámara Nikon Coolpix S210:



La calibración de la cámara es un proceso que no se puede dejar de suplir ya que el simple hecho de usar cámaras de costos reducidos presentan varios problemas en el instante de utilizarlos con finalidades métricas, debido a las curvaturas de las lentes las mismas que son accesibles para todo tipo de personas, no tienen un ajuste en su lente, ni parámetros de fábrica que permitan corregir estas curvaturas de la lente.

5.2 PLANIFICACIÓN DE TOMA

Antes de nada es importante delimitar el área de toma u objetivos los cuales permiten analizar y realizar una mejor planificación, en esta etapa hay que señalar ciertos objetivos de toma que se encuentran ubicados en diferentes sectores como fines de pruebas pilotos considerando que la altura permisible del vehículo aéreo es de 100 m, y el sistema de toma tiene un alcance más allá de los 500 m, debido a la emisora que cuenta con un sistema automático de identificación de señal permitiendo así manejar una señal independiente e indiferente a las demás señales que ocupen el mismo canal en ese momento.

Tabla 5.2 Descripción de los objetivos de toma

OBJETIVOS	UBICACIÓN	TIPO DE TOMA
Laboratorio de Mecánica.	Campus politécnico de la “ESPE”	Panorámica
Laboratorio de electrónica y CEA	Campus politécnico de la “ESPE”	Panorámica
Edificio de Postgrados	Campus politécnico de la “ESPE”	Panorámica
Edificio de la MED	Campus politécnico de la “ESPE”	Panorámica
Edificio Bloque A y B	Campus politécnico de la “ESPE”	Panorámica
Edificio Central	Campus politécnico de la “ESPE”	Panorámica

Una vez descritas las áreas, se debe realizar el alcance de la cámara al momento de toma lo cual ya se indicó al hablar del polígono de cubrimiento.

El análisis previo fue de determinar el largo y ancho del objetivo de toma que fue aproximadamente de 80 x 70 metros aproximadamente para el laboratorio de mecánica y también para los laboratorios de electrónica y CEA, es decir que la altura de vuelo será entre los 50 - 60 m, caso contrario en los bloques A y B que se su altura de vuelo promedio será de 100 metros así como también para el edificio central.

5.2.1 Determinación de estaciones georeferenciadas y puntos de apoyo

Este proceso consta de dos etapas, la primera determinación de estaciones georeferenciadas y la segunda partir de las estaciones georeferenciada para obtener los puntos de apoyo para los fotogramas determinados los mismos que son posicionados.

Las estaciones son determinadas por instrumentación GPS ESTRATUS L1 utiliza como base la estación de referencia de continua ubicada en COTECMI S.A. que se encuentra ubica en la Av. 6 de Diciembre y Av. de los Shyris a un radio dentro de los 40 Km de cobertura para este tipo de equipo.

Tomando en cuenta la base adicional de la cancha de fútbol del campus politécnico de la ESPE, como evidencia de dos bases para el proceso de los puntos GPS con intervalos de tiempo de 30 min, obteniendo precisiones de bajo los 2 cm en el post-proceso de los mismos.

Tabla 5.3 Coordenadas de las estaciones de control para el campus politécnico de la ESPE en proyección cartográfica UTM en el sistema de referencia WGS 84

NOMBRE	ESTE	NORTE	AL_ELIP	ALTURA
CANCHA DE FUTBO	784350,072	9964965,452	2516,894	2491,479
P001	784668,67	9965154,449	2524,939	2499,524
P002	784574,383	9965189,901	2525,092	2499,677
P003	784568,929	9965288,166	2522,832	2497,417
P004	784513,289	9965308,53	2525,156	2499,741
P005	784407,077	9965298,992	2523,69	2498,275
P006	784445,997	9965190,515	2495,079	2469,664
P007	784262,294	9965293,96	2492,684	2467,269
P008	784299,922	9965084,428	2487,854	2462,439
P009	784553,724	9964881,717	2505,58	2480,165
P010	784372,983	9965454,773	2500,195	2474,78
P011	784311,525	9964703,468	2494,426	2469,011

Estos puntos al igual que en el proceso tradicional deben ser materializadas para que quede de evidencia de la estación.



Figura 5.5 Materialización y toma de las estaciones de referencia

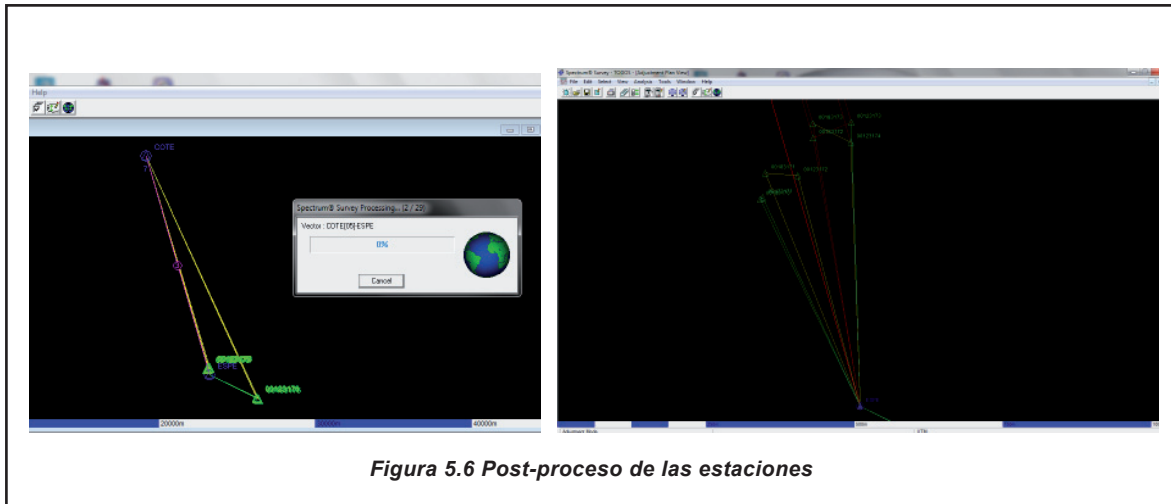


Figura 5.6 Post-proceso de las estaciones

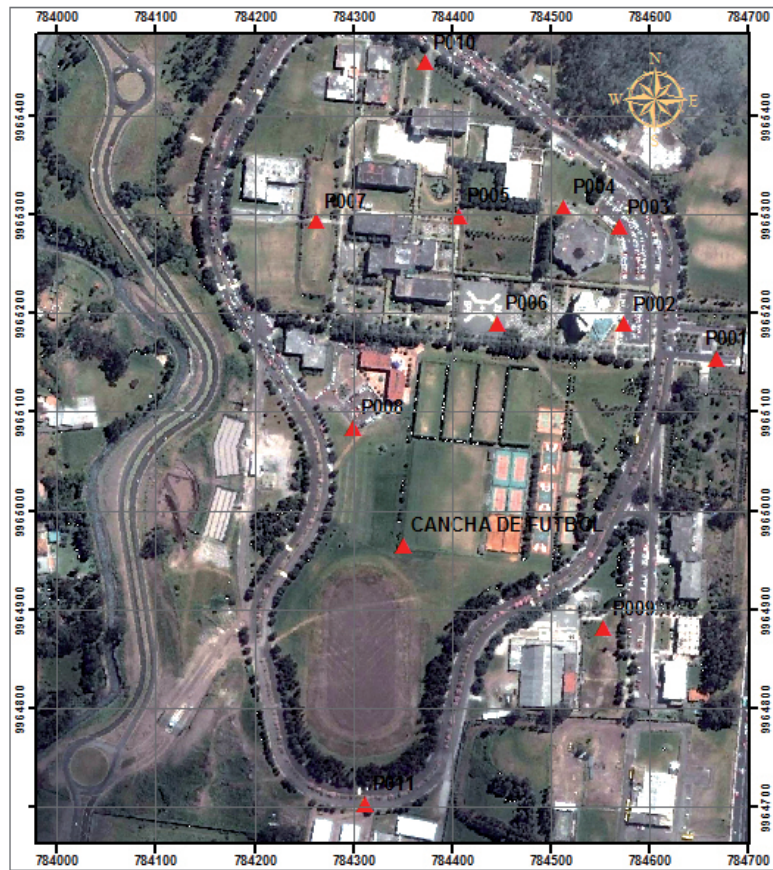


Figura 5.7 Ubicación de los puntos de apoyo en el campus politécnico de la ESPE

Los puntos de apoyo permiten dar la georeferenciación a los objetos seleccionados, caso contrario solo con la medición de una distancia visible en cada imagen o por lo menos en más de dos lo hacen suficiente pero recalcando que la medición de una distancia no permite obtener elementos georeferenciados.

En esta etapa el apoyo de la Estación Total Trimble M-3 fue requerido para partir de las estaciones de referencia y obtener los puntos adicionales para los fotogramas como se presenta a continuación.

Tabla 5.4 Coordenadas de los puntos de control para los fotogramas en proyección cartográfica UTM en el sistema de referencia WGS 84

PUNTO	UBICACIÓN	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA (m) ORTOGONAL
BASE ESPE.	Cancha de fútbol del campus politécnico de la ESPE	784350.072	9964965.452	2490.770
A001	Laboratorio Mecánica	784186.031	9965316.439	2488.577
A002	Laboratorio Mecánica	784189.930	9965358.163	2488.499
A003	Laboratorio Mecánica	784244.647	9965353.420	2488.593
A004	Laboratorio de Electrónica	784270.955	9965416.503	2492.505
A005	Laboratorio de Electrónica	784272.499	9965439.504	2492.414
A006	CEA	784332.058	9965411.112	2494.660
A007	CEA	784335.231	9965443.535	2494.224
A008	CEINCE	784457.418	9965385.736	2509.501
A009	CEINCE	784434.492	9965387.572	2509.550
A010	CEINCE	784431.448	9965352.644	2509.499
A011	POSTGRADOS	784358.556	9965404.680	2513.413
A012	POSTGRADOS	784356.854	9965385.024	2513.395
A013	POSTGRADOS	784413.488	9965400.027	2513.421
A014	MED	784304.599	9965349.702	2514.841
A015	MED	784302.956	9965329.886	2514.799
A016	MED	784342.991	9965346.229	2514.812
A017	BLOQUES A Y B	784315.689	9965265.640	2513.216
A018	BLOQUES A Y B	784313.223	9965239.375	2513.195
A019	BLOQUES A Y B	784395.493	9965232.821	2513.199
A020	EDIFICIO CENTRAL	784521.681	9965199.123	2535.742
A021	EDIFICIO CENTRAL	784537.021	9965188.327	2535.695
A022	EDIFICIO CENTRAL	784541.881	9965206.225	2535.713

Estos puntos al igual que en el proceso tradicional también deben ser foto identificables, para su correcta ubicación en las imágenes, y a la vez para su correcto proceso en la etapa de restitución. En caso de no contar con elementos foto identificables se debe requerir ayuda al programa Photomodeler Scanner que cuenta con una plantilla propia de impresión para distribuirlo a lo largo del objetivo de toma, esta plantilla de puntos se denomina diana.

5.2.2 Calibración del sistema de toma

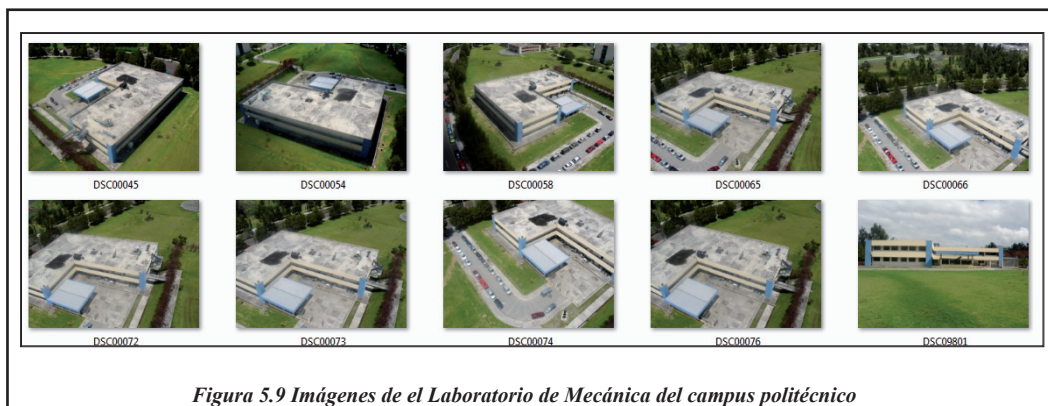
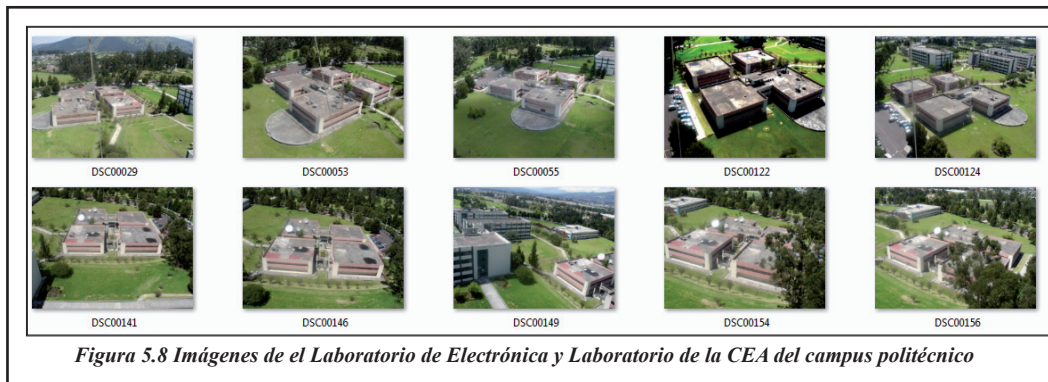
Este proceso permite tener el enlace adecuado y funcionamiento de sus interfaces tanto en la señal como en la transmisión de datos y visibilidad de la toma, así como también la lectura altimétrica del sensor GPS y el seguimiento del vehículo a través de su antena Tracker.

Las baterías también son una parte importante ya que podría haber percances, además de las conexiones que deben estar adecuadamente conectadas sin dejar descubiertos a una posible falla eléctrica que podría ocasionar un corto circuito (*ver manual de especificaciones técnicas*).

5.2.3 Toma de imágenes

Se realiza una vez que se obtenga la mayor visibilidad del objetivo en la cámara tratando de aprovechar la totalidad de la imagen pero considerando la proporcionalidad, evitar puntos ciegos en la toma, apoyado también con toma terrestre en caso que los puntos poco visibles lo requieran.

El número de imágenes van de acuerdo a los detalles que se desea recubrir es decir entre mayor sea la dificultad del detalle mayor será el número de imágenes.



5.2.4 Restitución Digital

Como se ha referido a lo largo del documento un restituidor digital es fundamental al momento de procesar las imágenes y crear modelos digitales fotogramétricos en 3d, un apoyo que permite realizar este proceso es Photomodeler Scanner 6 en el cual es fundamental tener el registro de calibración de la cámara con la que se realizó la toma.

Una vez que se quiera procesar las imágenes los pasos o secuencias en relación de un restituidor tradicional no difieren mucho y los enunciamos a continuación.

- Ingreso del registro de calibración.

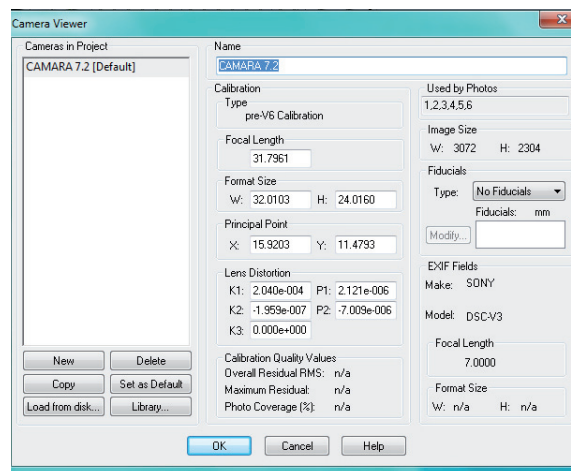


Figura 5.10 Registro de calibración

- Lectura de imágenes.

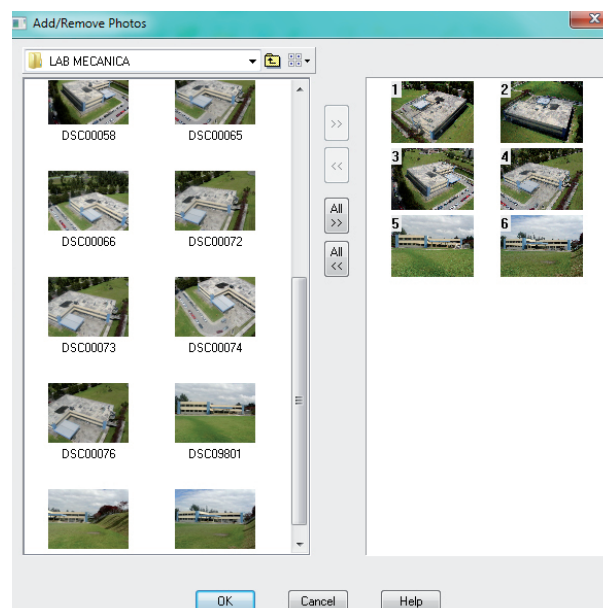


Figura 5.11 Importar imágenes

- Ubicación de puntos homólogos.

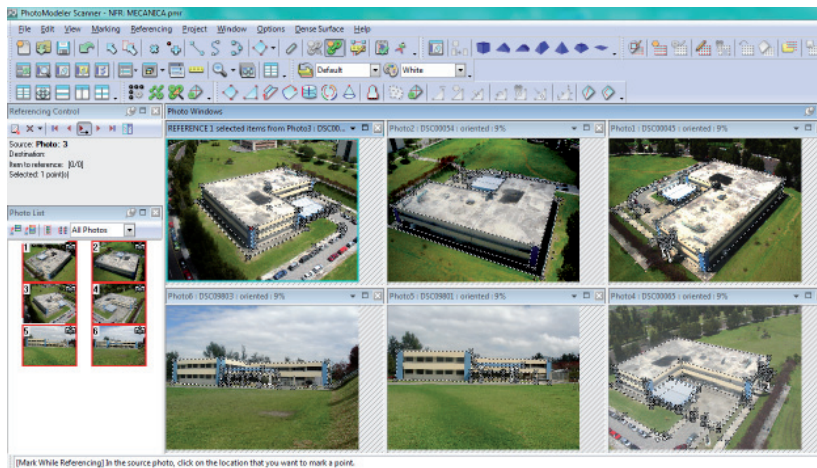


Figura 5.12 Marcar puntos homólogos

- Ingreso de puntos georeferenciados.

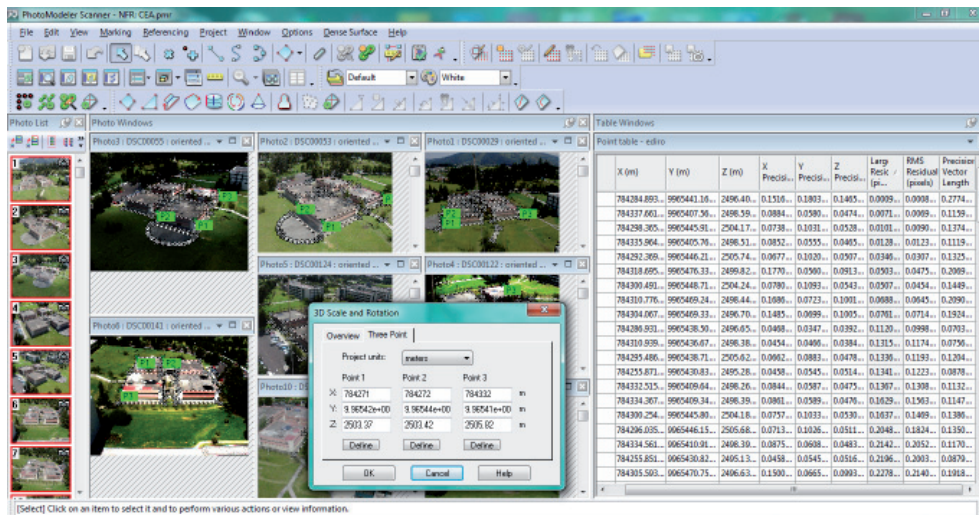


Figura 5.13 Georeferenciación

- Procesamiento y ajuste de puntos levantados.

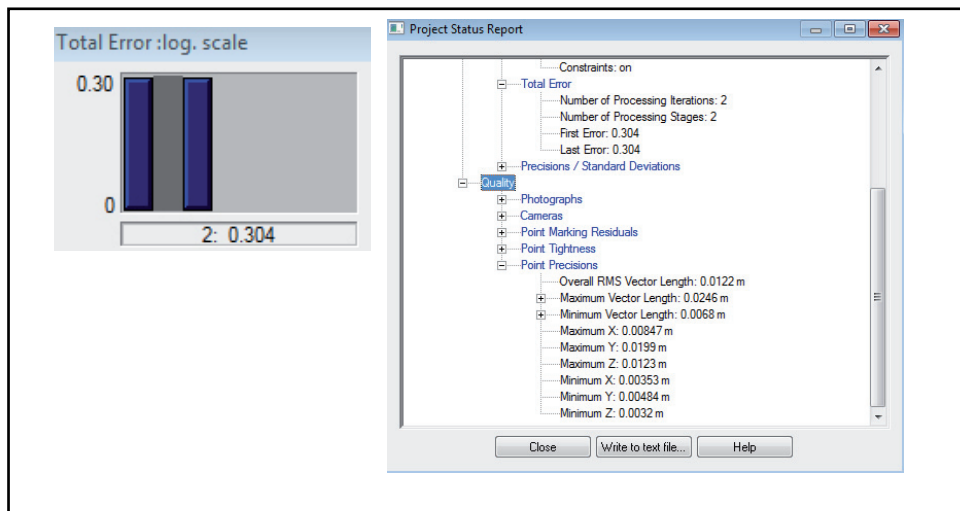


Figura 5.14 Cuadro de precisiones

- Creación de superficies y modelamiento 3D.

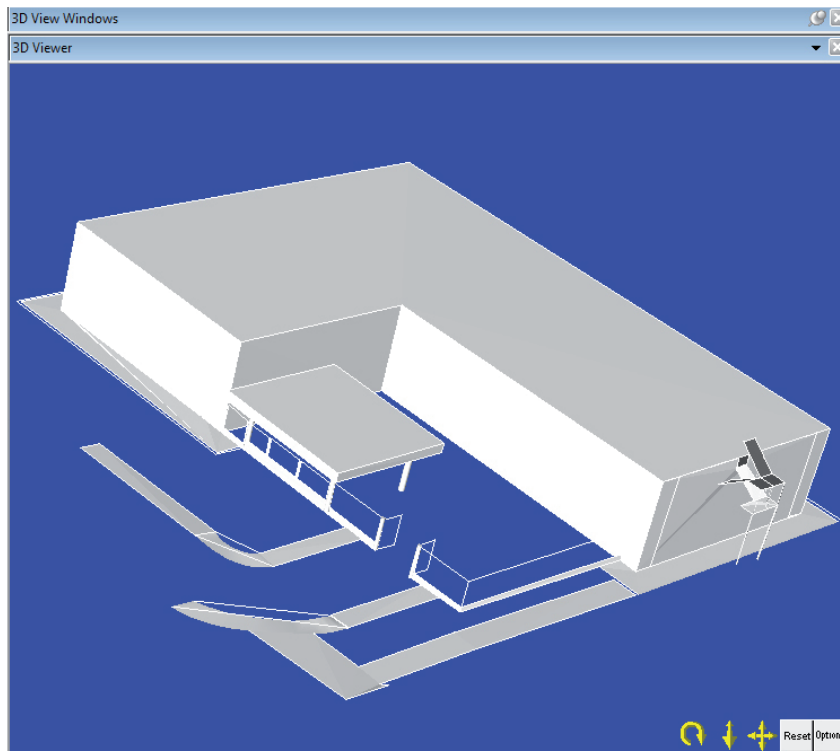


Figura 5.15 Creación de superficies

- Creación de texturas.

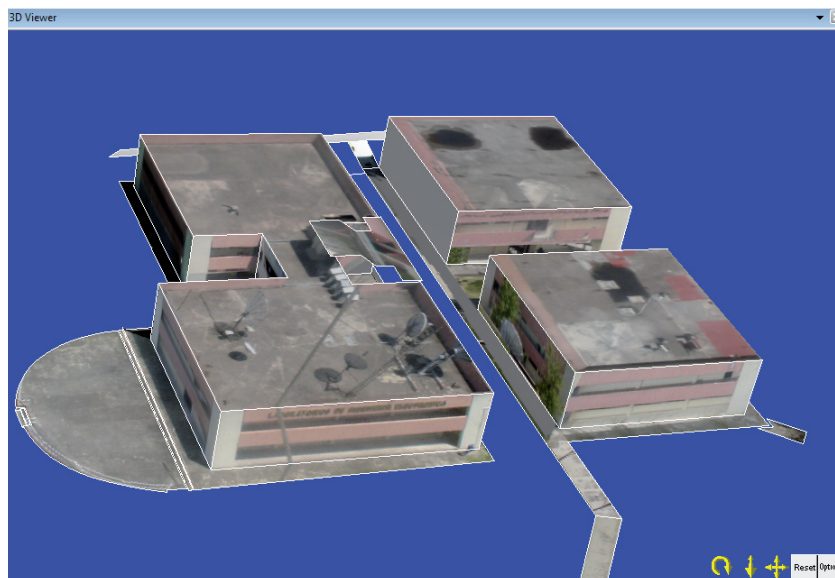


Figura 5.16 Creación de texturas

- Exportación de la restitución digital.

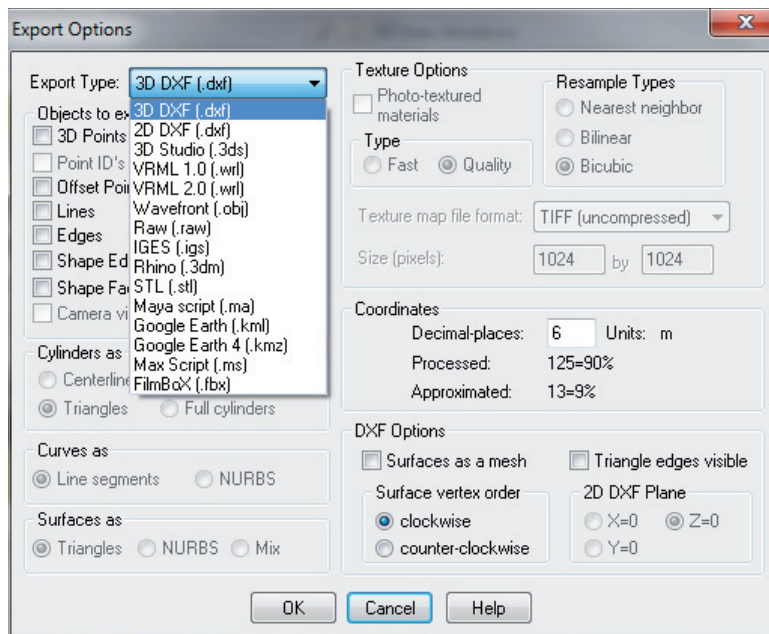


Figura 5.17 Exportación de archivos

- Importación a plataforma GIS.

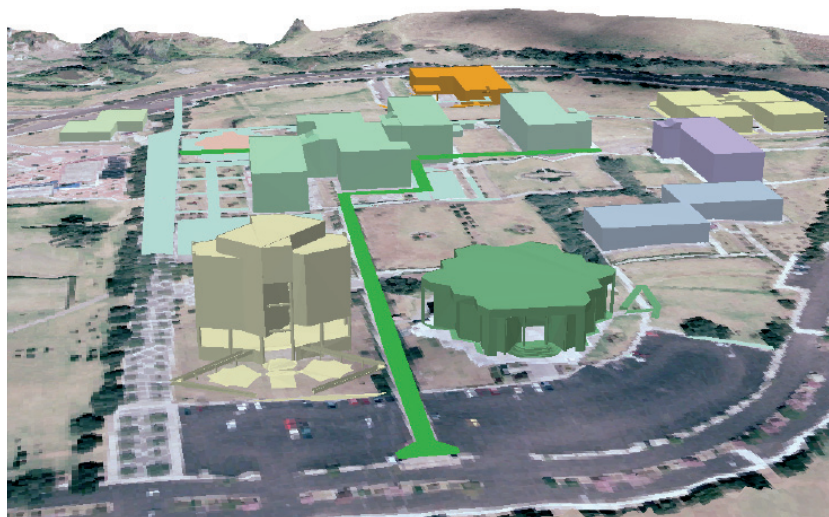


Figura 5.18 Construcción virtual del campus

- **Para mayor información sobre la restitución digital consultar en el manual de usuario**

5.2.5 Control de calidad

En la Producción Cartográfica engloba cualquier proceso de gestión y manipulación de bases de datos geográficos orientados a la obtención de productos, según unas especificaciones. Por tanto, en el ámbito de la ingeniería cartográfica, como en cualquier otra ingeniería, se han de controlar los procesos, tanto de gestión como de producción.

Lamentablemente, la digitalización de la información geográfica ha llevado a un grado de confianza que no cuestiona la verdadera calidad del producto.

Por estas circunstancias se debe comprobar la cartografía para saber hasta dónde se puede llegar con los productos del sistema presentado a lo largo del proyecto, una de las comprobaciones más simples y sencillas es en la geometría del producto por su rapidez y equipamiento simple lo cual se emplea un distanciómetro láser con precisiones de 2 mm hasta 80 metros de lectura.

Control calidad del modelo geométrico

A manera experimental en las pruebas de hipótesis con una tolerancia de 15 cm de precisión en distancias absolutas como se muestra a continuación:

$$H_0 = \mu \geq 15 \text{ cm}$$

$$H_1 = \mu > 15 \text{ cm}$$

Para los modelos fotogramétricos se utiliza pruebas estadísticas en el caso del posicionamiento de dos muestras independientes, considerando que el rango de precisión es de los 10 cm según la normativa cartográfica para el posicionamiento, en la elaboración de información catastral a escala 1:1000. El análisis estadístico parte mediante las siguientes pruebas de hipótesis.

$$H_0 = \mu \geq 10 \text{ cm}$$

$$H_1 = \mu > 10 \text{ cm}$$

En la tabla 5.5 presentan las distancia medidas desde el PhotoModeler Scanner versus obtenido con un distanciómetro láser de precisión de 2 mm.

Tabla 5.5 Comparación de distancias entre PhotoModeler Scanner y un Distanciómetro láser

DISTANCIAS	PHOTOMODELER (C1) mts.	DISTANCIÓMETRO (C2) mts.	C2-C1
L01	23.035	23.06	0.025
L02	41.940	41.921	-0.019
L03	22.965	22.964	-0.001
L04	19.353	19.320	-0.033
L05	2.091	2.068	-0.023
L06	2.029	2.026	-0.003
L07	22.960	22.924	-0.036
L08	23.020	22.963	-0.057
L09	29.279	29.286	0.007
L10	22.965	22.953	-0.012
L11	9.610	9.597	-0.013
L12	9.070	9.10	0.030
L13	55.097	55.071	-0.026

Descripción del distanciómetro:

Nombre: MEDIDOR DE DISTANCIA GEOSURV Modelo: PD-38

Medidor de Distancia pequeños y de fácil manejo con las funciones básicas.

Especificaciones:

Rango de Medición: de 0.05m-80 mts

Precisión: 2mm

Lectura Mínima: 1mm

Tipo de Láser: Grado 2

Poder de alimentación del Láser: < 1 milliwatt

Funciones de Medición: Largo, área, volumen

Resistencia a la Humedad: Waterproof y dustproof Norma IP 54

Almacenamiento: 20 datos.



Figura 5.19 Distanciómetro

ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL PHOTODELER VS DISTANCIÓMETRO SOFTWARE MINITAB 15

Variable	Media del Error		Media	estándar	TrMean	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
	N	N*						
DISTANCIOMETRO	13	0	21,79	4,14	20,56	14,92	222,62	68,48
PHOTODELER	13	0	21,80	4,14	20,57	14,93	222,77	68,46

Variable	Suma	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
DISTANCIOMETRO	283,25	2,03	9,35	22,95	26,17	55,07	53,05
PHOTODELER	283,41	2,03	9,34	22,97	26,16	55,10	53,07

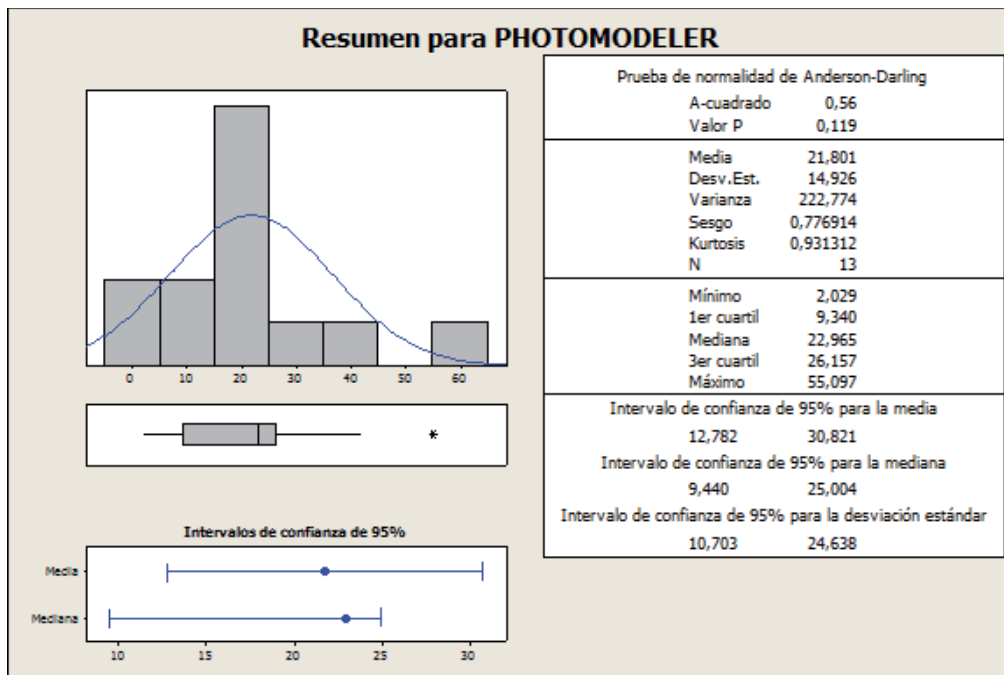


Figura 5.20 Resumen estadístico para PhotoModeler

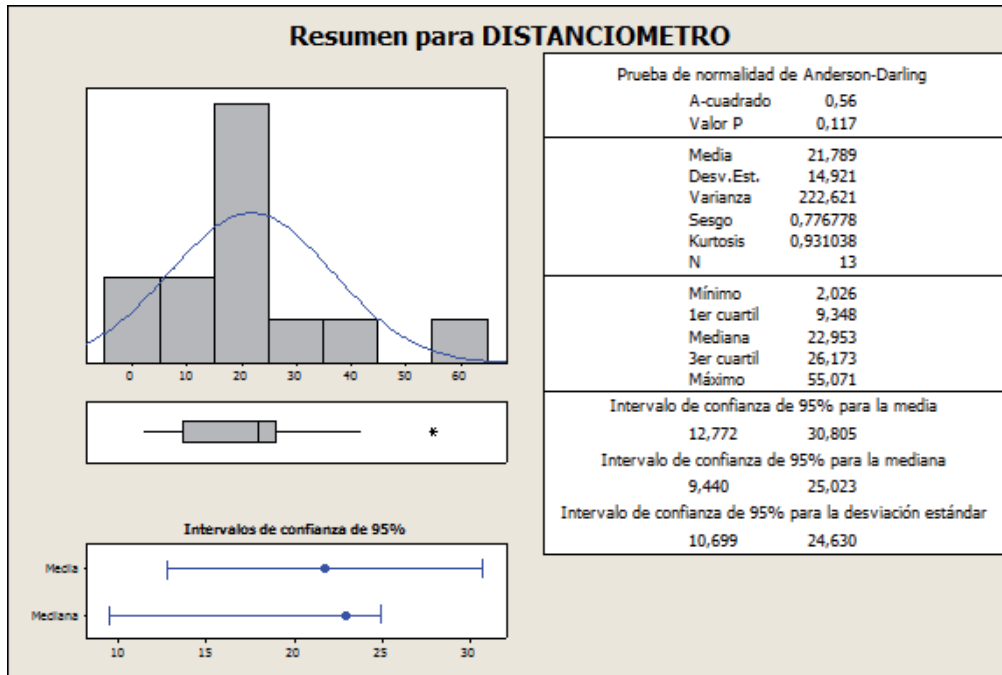


Figura 5.21 Resumen estadístico para Distanciómetro

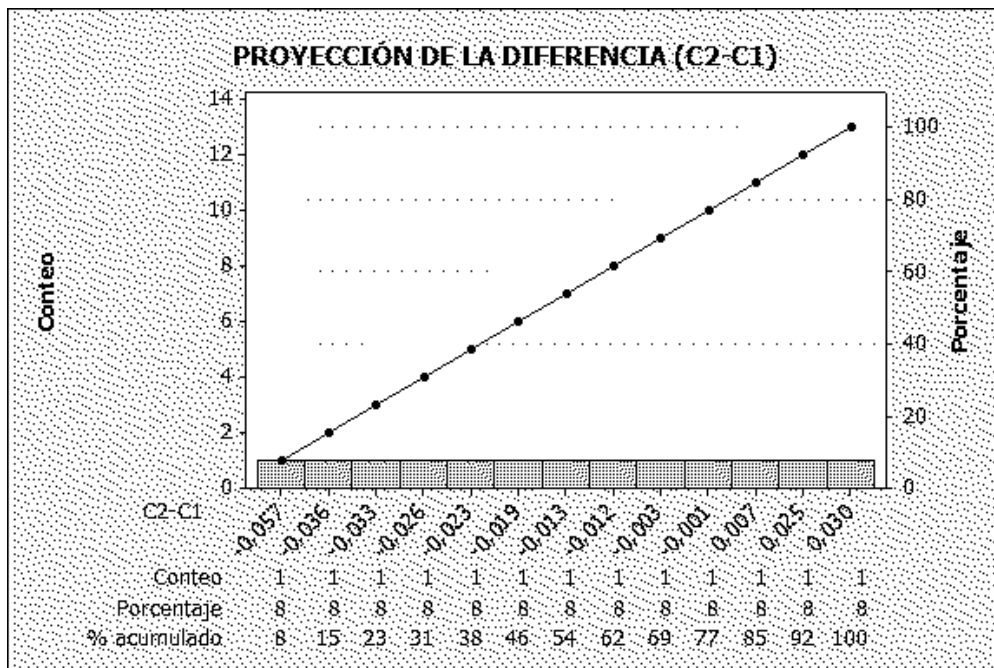


Figura 5.22 Proyección de la diferencia de las dos muestras

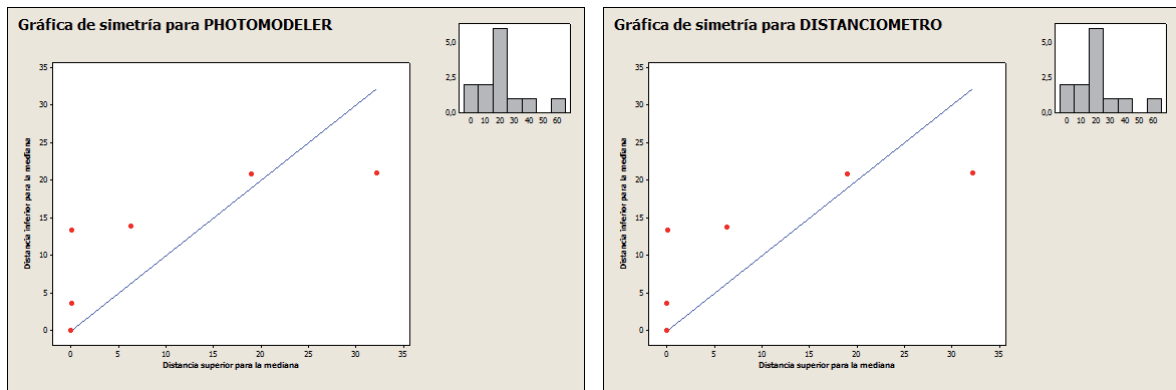


Figura 5.23 Gráficos de simetría

Prueba T-Student e IC de dos muestras: DISTANCIOMETRO. PHOTODELER

T de dos muestras para DISTANCIOMETRO vs. PHOTODELER

	Media del Error	Desv.Est. estándar	N
DISTANCIOMETRO	21,8	14,9	13
PHOTODELER	21,8	14,9	13

Diferencia = μ (DISTANCIOMETRO) - μ (PHOTODELER)

Estimado de la diferencia: -0,01

Límite superior 95% de la diferencia: 10,02

Prueba T de diferencia = 0,15 (vs. <):

Valor T = -0,03

Valor P = 0,489

GL = 23

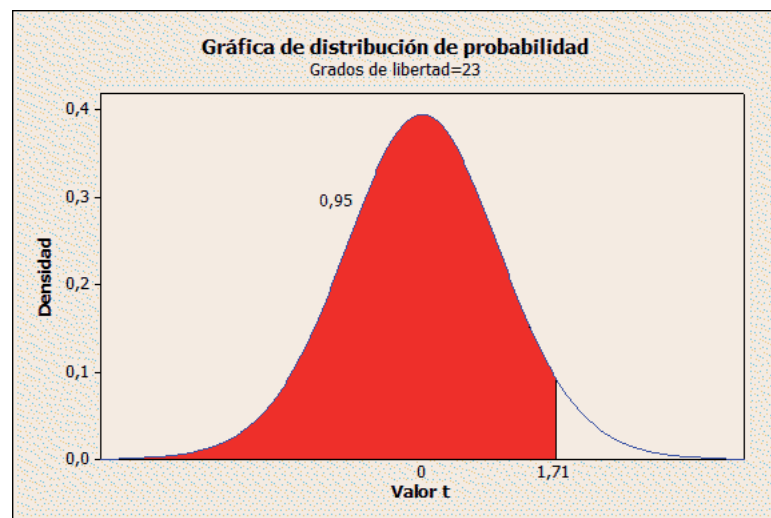


Figura 5.24 Distribución de probabilidad

Finalizado el análisis estadístico se concluye que los datos están relacionados en un 98% las muestras de los modelos fotogramétricos con su relación al distanciómetro láser, tomando como error en la distancia de 15 cm el mismo que es permisible dentro de cartografía a escala 1:1000, desarrollada para fines catastrales.

Como se puede apreciar en el gráfico de la figura 5.22, se concluye:

- Menor que: presenta cola de distribución a la izquierda.
- No es igual: presenta las dos colas de distribución.
- Mayor que: presenta la cola de distribución hacia la derecha.

Cabe recalcar que no se realizó ningún tipo de realce en las imágenes como objeto de analizar hasta qué punto se podría llegar en condiciones mucho más bajas a las ideales, también se debe considerar que se puede tratar de mejorar las imágenes mediante realces u otro tipo de tratamiento digital de imágenes, pero a la vez el mejoramiento de los modelos fotogramétricos dependerán también de la calidad de toma así como el método de toma, la distancia de toma y el tipo de cámara que se emplea.

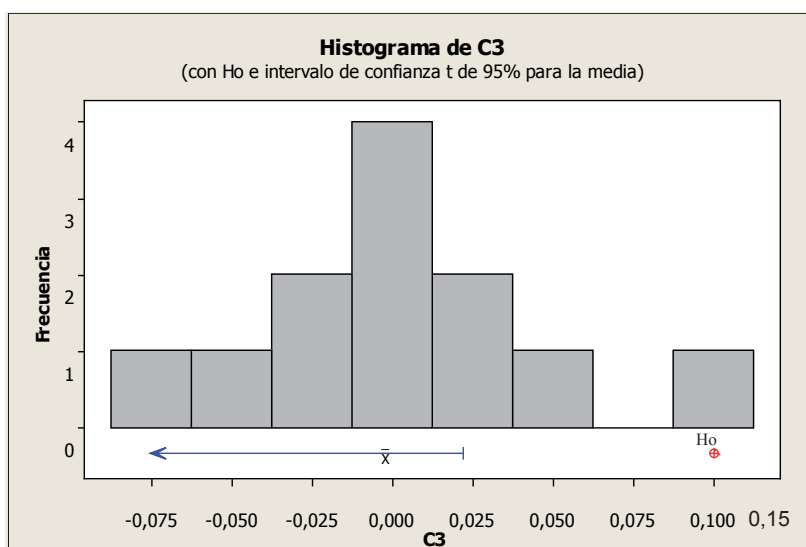


Figura 5.25 Análisis de intervalos de confianza

En este análisis de intervalos de confianza se observa que los valores del sistema han logrado superar una prueba de hipótesis establecida anteriormente como se muestra en la figura 5.22, por lo tanto se aprueba la hipótesis nula.

INFORME DEL CONTROL DE CALIDAD

En este procedimiento se detalla la calidad del sistema en relación a un distanciómetro en el control de distancias, la gráfica de Xbarra y la gráfica S detalla la similitud o calidad del proceso establecida por límites de color rojo, las mismas que limitan hasta donde se pierde fidelidad mientras más en el centro se encuentra es mejor.

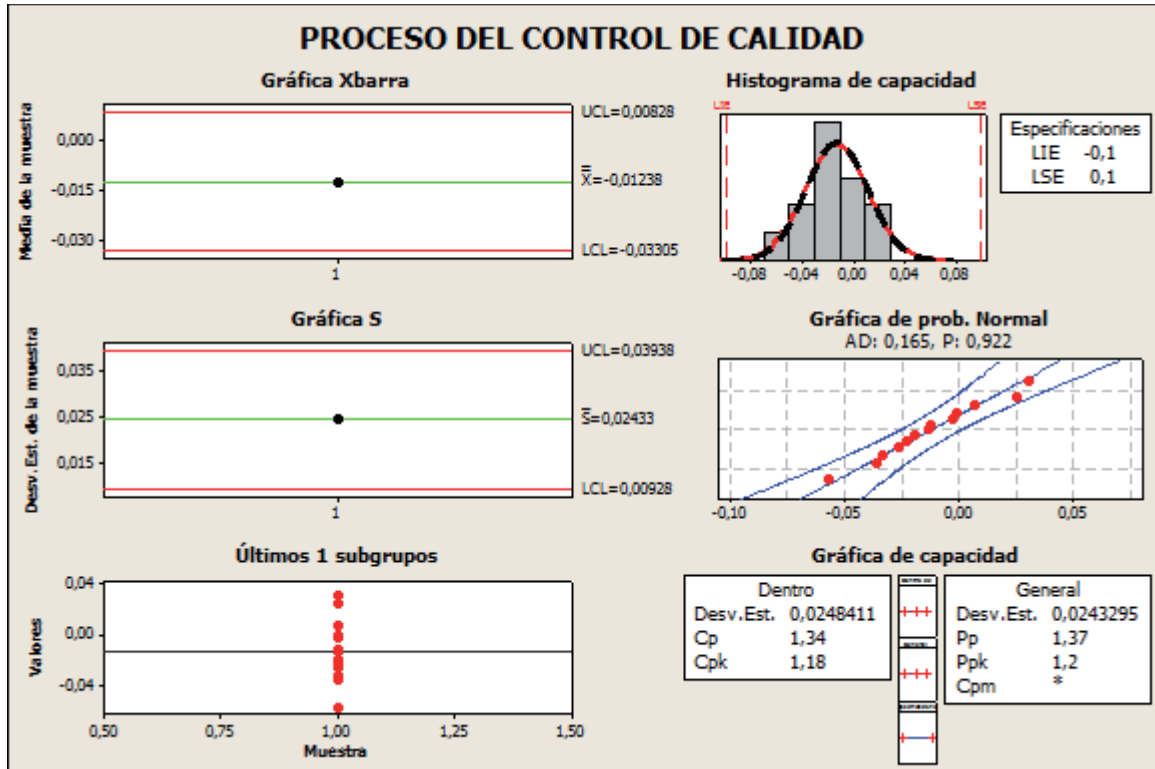


Figura 5.26 Proceso de calidad

Control de calidad para la precisión posicional

Este control se realiza mediante el resultado de la restitución digital obtenido con el PhotoMoldeler luego de haber ingresado los puntos de control para cada fotograma, los mismos que son utilizados por el software para realizar los debidos ajustes.

Cuadro 5.6 se presenta las precisiones máximas obtenidas mediante el software.

BLOQUE	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
MECANICA	0.847	1.99	1.23
CEA	3.82	3.64	2.96
MED	3.71	1.77	1.67
CEINCE	5.88	1.59	2.47
CENTRAL	4.64	5.3	2.76
POSTGRADOS	3.16	1.35	1.58
BLOQUES A Y B	5.42	3.35	2.1

De una manera similar a la anterior se realizará el test de calidad o prueba estadística de la calidad de los productos obtenidos con el sistema implementado.

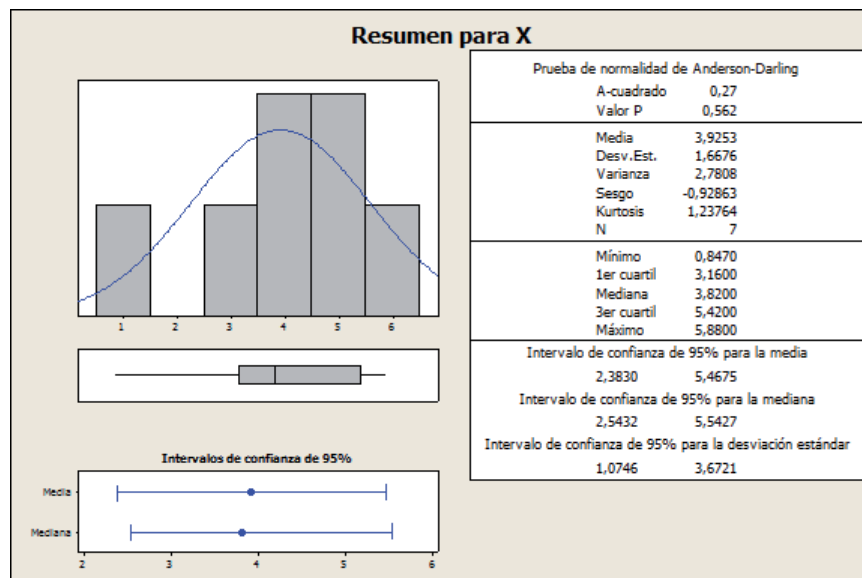


Figura 5.27 Resumen estadístico para precisión de X

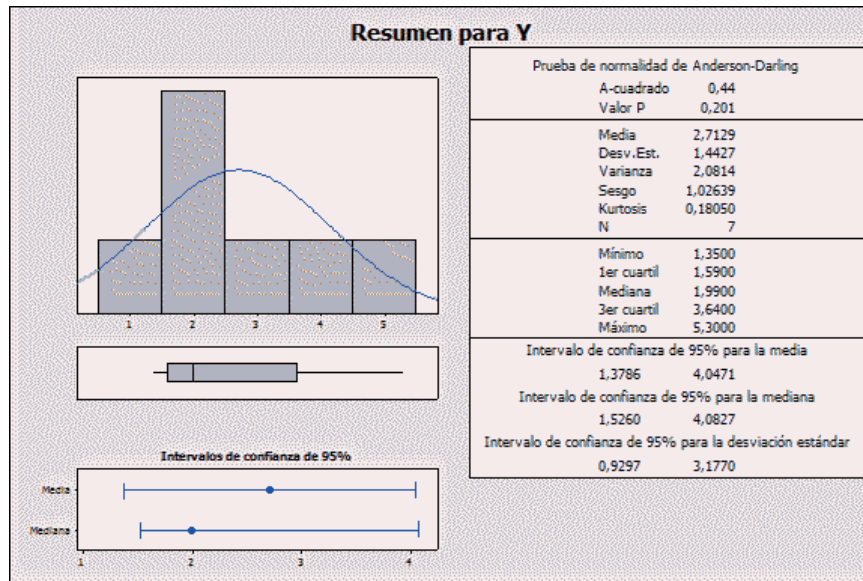


Figura 5.28 Resumen estadístico para precisión de Y

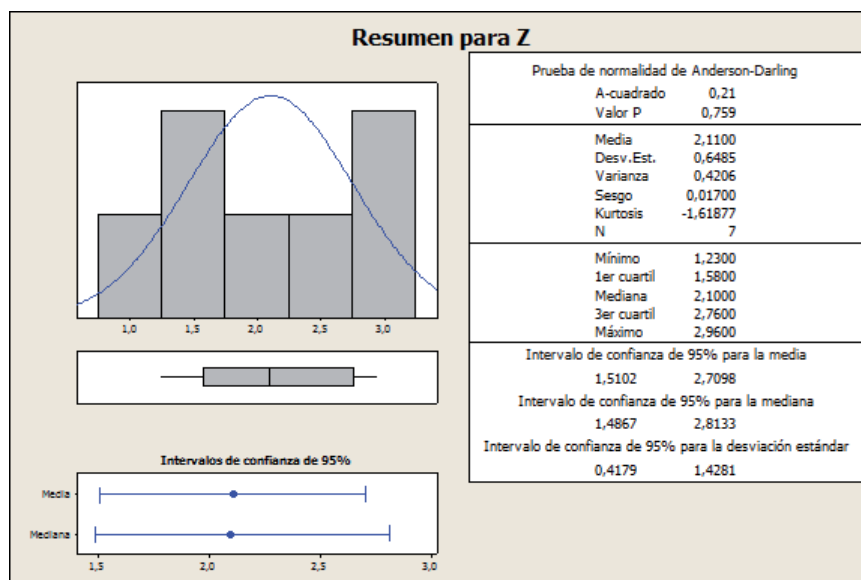


Figura 5.29 Resumen estadístico para precisión de Z

De igual manera continuamos con la prueba de hipótesis basado en la normativa cartográfica para el país de 10 cm de precisión en el posicionamiento.

$$H_0 = \mu \geq 10 \text{ cm}$$

$$H_1 = \mu > 10 \text{ cm}$$

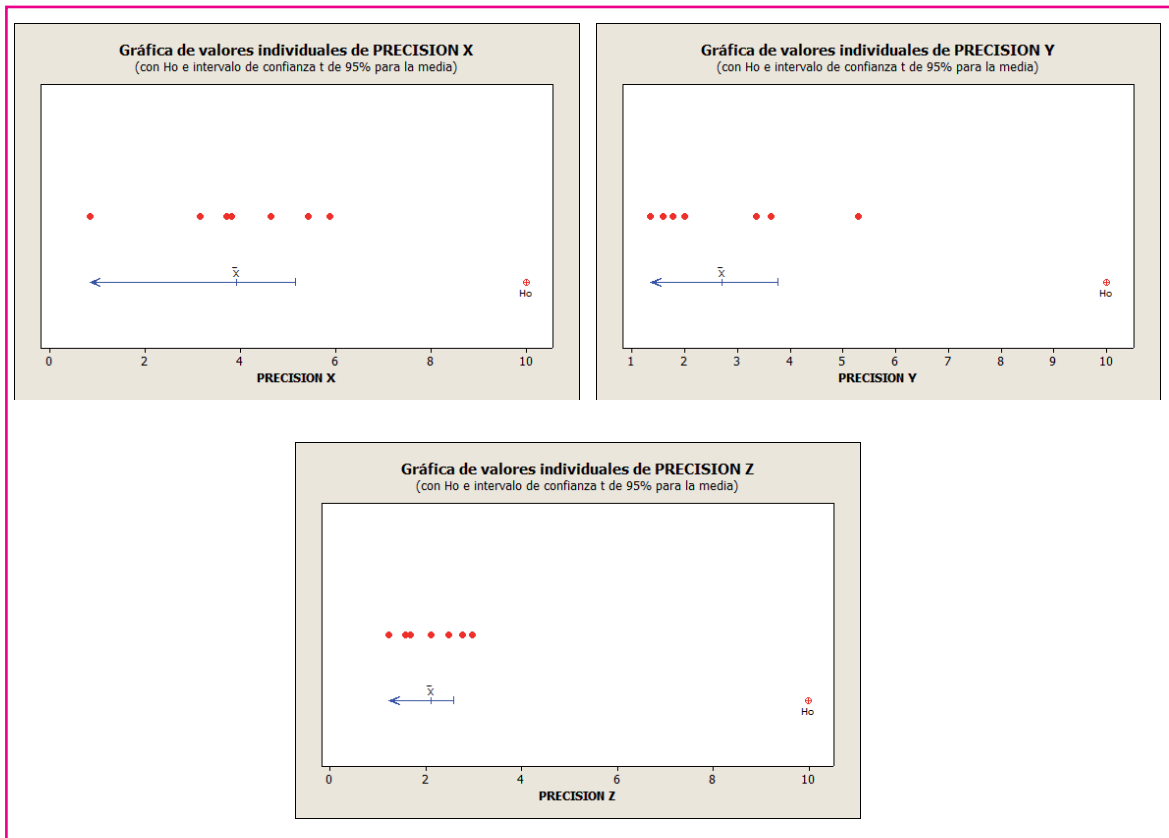
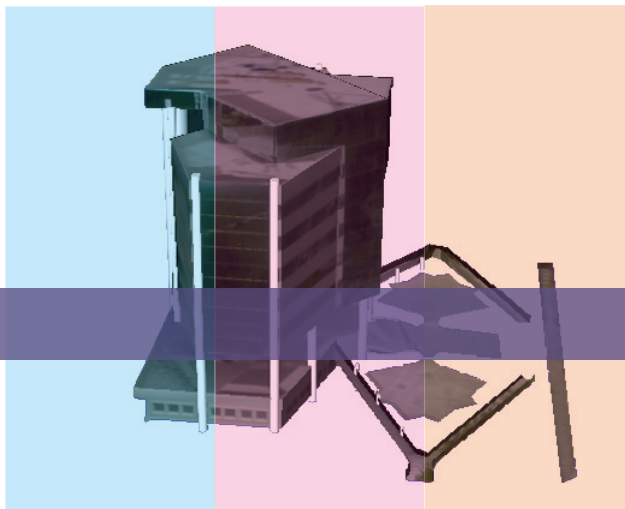


Figura 5.30 Análisis de intervalos de confianza a un 95%

En este análisis de intervalos de confianza se observa que los valores del sistema han logrado superar una prueba de hipótesis establecida anteriormente como se muestra en la figura 5.30, por lo tanto se aprueba la hipótesis nula.

CAPÍTULO VI



6. RESULTADOS

6.1 Manual de especificaciones técnicas

El manual de especificaciones técnicas permite el conocimiento básico y detallado del sistema y la interface con sus dispositivos, cabe indicar que se requiere conocimientos básicos del tema y familiarizarse con términos electrónicos.

En este documento se presentan los beneficios y limitaciones de uso así como las condiciones requeridas para el adecuado funcionamiento del sistema. La prevención de aquellos incidentes hará el trabajo más simple y con rendimientos óptimos en su transferencia de datos como interacción de sus componentes electrónicos. (Ver Anexo 4.0)

6.2 Manual de usuario de software de restitución

PhotoModeler es el software escogido para la restitución digital por su gran facilidad de aprendizaje, accesibilidad, e incluso por su ambiente amigable mediante plataforma Windows, linux, en PC o MAC.

Este software tiene un proceso distinto al tradicional pero a la vez tan válido como cualquier restituidor, de costos altos, pero cabe recalcar dentro del ámbito de la fotogrametría de corto alcance. (Ver Anexo 5.0)

6.4 Plan de toma

Se basa en un polígono de cubrimiento el cual está en relación con el tipo de cámara, altura de toma en incluso con la resolución de la cámara.

Tabla 6.1 Distribución de bloques para el plan de toma

BLOQUE	POLÍGONO	N° FOTOGRAMAS	ALTURA DE TOMA	DISTANCIA DE ENFOQUE
MECANICA	82 X 62 mts	4	50 mts	70 mts
CEA	82 X 62 mts	6	50 mts	70 mts
MED	82 X 62 mts	4	50 mts	70 mts
CEINCE	82 X 62 mts	4	50 mts	70 mts
CENTRAL	122 X 92 mts	6	75 mts	106 mts
POSTGRADOS	82 X 62 mts	6	50 mts	70 mts
BLOQUES A Y B	164 X 124 mts	9	100 mts	140 mts

Este plan de toma está diseñado para la toma panorámica y no para el tipo estereoscópico, el número de fotografías dependerá del grado de dificultad de lo que se desea restituir es decir el nivel de detalle a representarse, en el proyecto el nivel detalle está relacionado a la altura o distancia de enfoque que se realicen las capturas de las imágenes, en este proyecto se obtuvieron resoluciones de 2.6 cm para una altura de 50 m, 3.98 cm para una altura de 75 m, y de 5.3 cm para una altura de 100 m, la cámara emplea es de la Sony V-3, con resolución de 7.2 MP.



Figura 6.1 Fotografías para el bloque de mecánica

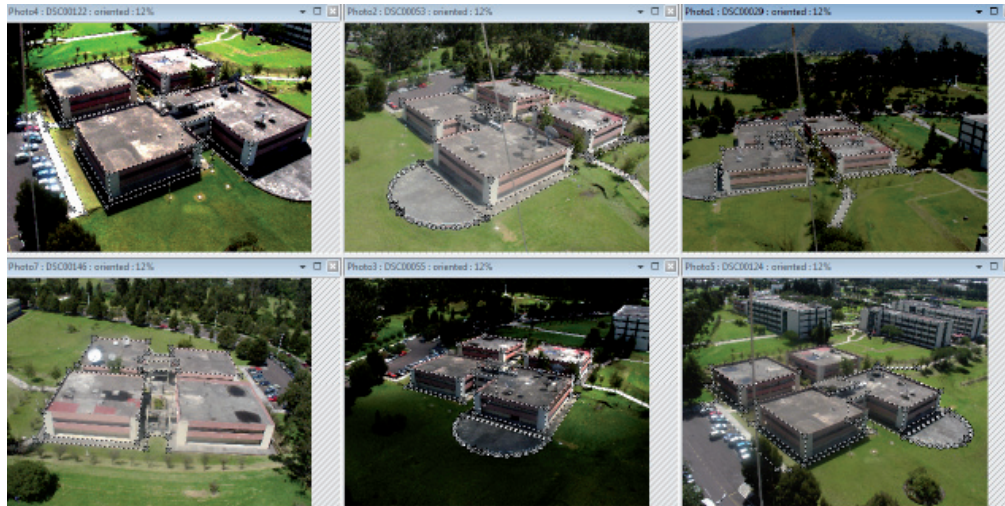


Figura 6.2 Fotogramas para el bloque de la CEA

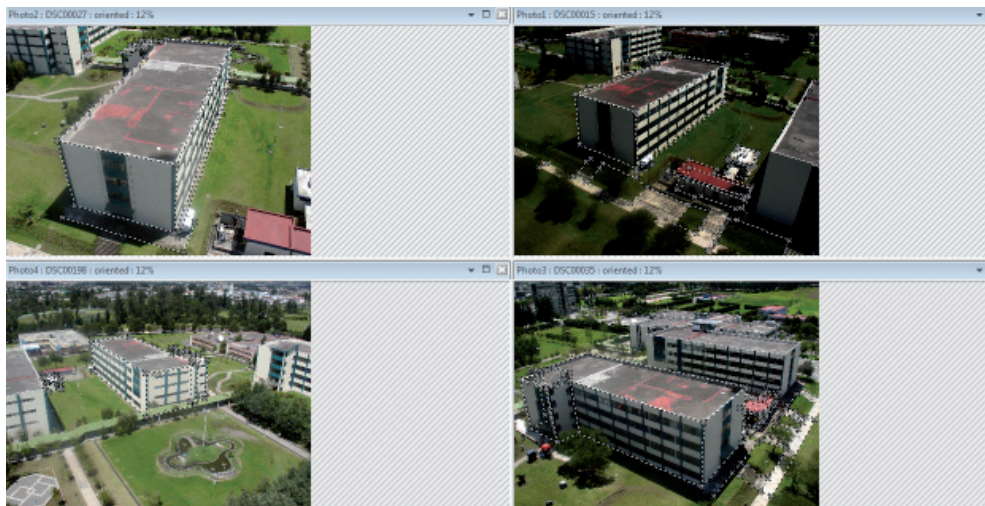


Figura 6.3 Fotogramas para el bloque de la MED

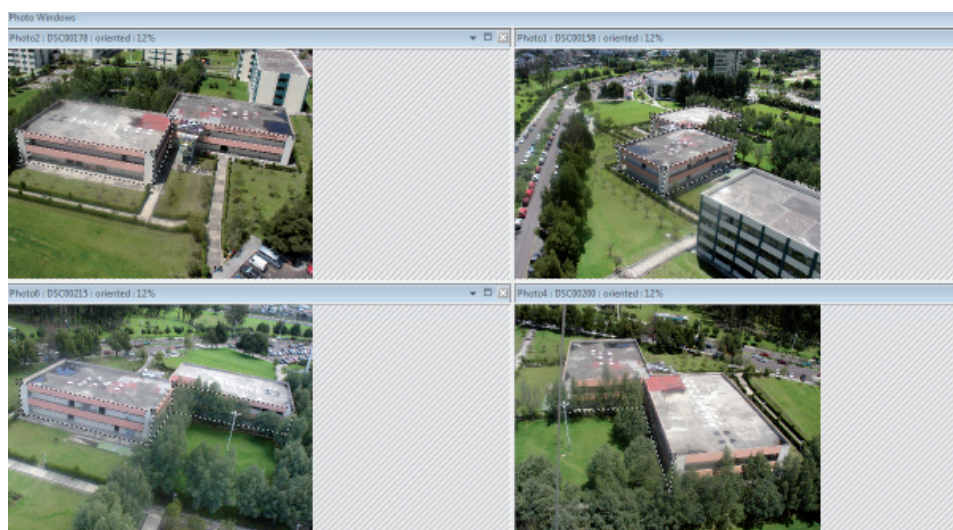


Figura 6.4 Fotogramas para el bloque del CEINCE

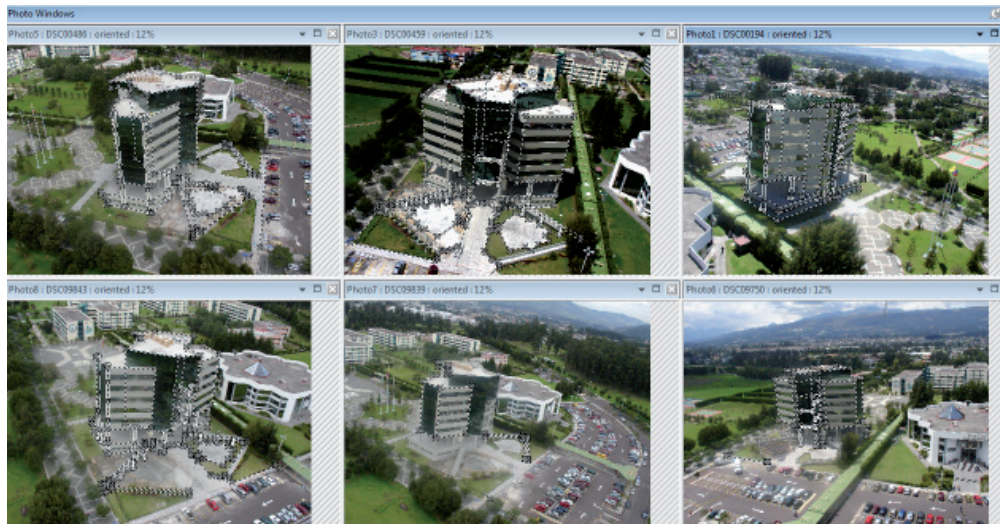


Figura 6.5 Fotogramas para el bloque de central

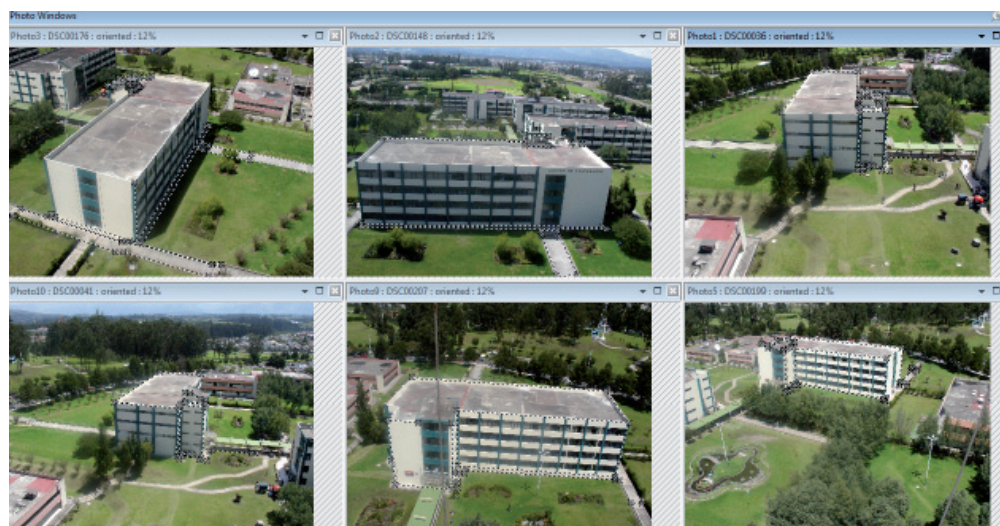


Figura 6.6 Fotogramas para el bloque de Postgrados

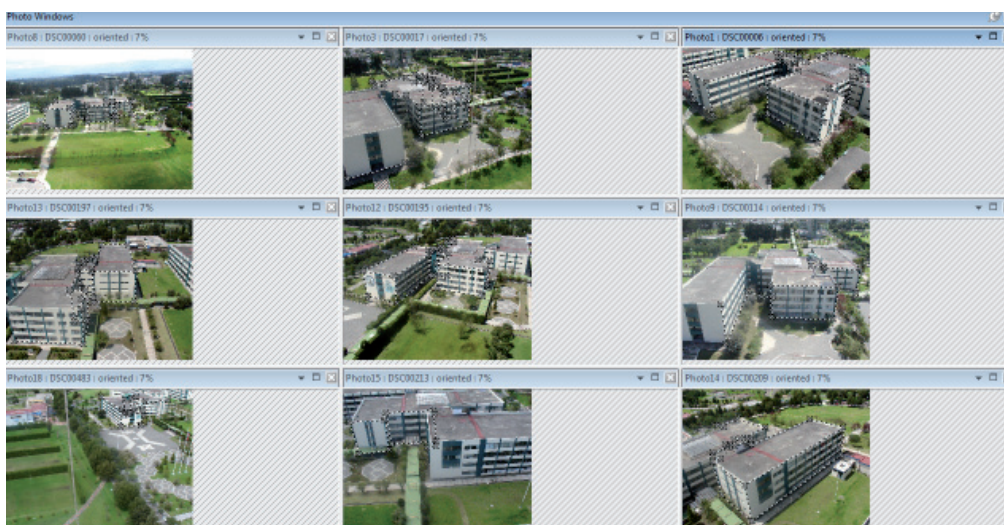


Figura 6.7 Fotogramas para el bloque A y B

Tabla 6.2 *Coordenadas de los puntos control empleados para la rectificación de los fotogramas. WGS 84 17sur con proyección cartográfica UTM*

PUNTO	UBICACIÓN	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTURA (m) ORTOGONAL
BASE ESPE.	Cancha de fútbol del campus politécnico de la ESPE	784350.072	9964965.452	2490.770
A001	Laboratorio Mecánica	784186.031	9965316.439	2488.577
A002	Laboratorio Mecánica	784189.930	9965358.163	2488.499
A003	Laboratorio Mecánica	784244.647	9965353.420	2488.593
A004	Laboratorio de Electrónica	784270.955	9965416.503	2492.505
A005	Laboratorio de Electrónica	784272.499	9965439.504	2492.414
A006	CEA	784332.058	9965411.112	2494.660
A007	CEA	784335.231	9965443.535	2494.224
A008	CEINCE	784457.418	9965385.736	2509.501
A009	CEINCE	784434.492	9965387.572	2509.550
A010	CEINCE	784431.448	9965352.644	2509.499
A011	POSTGRADOS	784358.556	9965404.680	2513.413
A012	POSTGRADOS	784356.854	9965385.024	2513.395
A013	POSTGRADOS	784413.488	9965400.027	2513.421
A014	MED	784304.599	9965349.702	2514.841
A015	MED	784302.956	9965329.886	2514.799
A016	MED	784342.991	9965346.229	2514.812
A017	BLOQUES A Y B	784315.689	9965265.640	2513.216
A018	BLOQUES A Y B	784313.223	9965239.375	2513.195
A019	BLOQUES A Y B	784395.493	9965232.821	2513.199
A020	EDIFICIO CENTRAL	784521.681	9965199.123	2535.742
A021	EDIFICIO CENTRAL	784537.021	9965188.327	2535.695
A022	EDIFICIO CENTRAL	784541.881	9965206.225	2535.713
A023	BIBLIOTECA	784519.166	9965249.456	2510.230
A024	BIBLIOTECA	784542.724	9965251.910	2510.156
A025	BIBLIOTECA	784543.689	9965282.66	2510.210

6.4 Reporte de ajuste, matrices de varianza covarianza

El siguiente reporte se obtiene desde el PhotoModeler de manera similar a los que otorgan los diferentes restituidores comerciales.

Ejemplo de un reporte del proceso fotogramétrico no convencional.

Project Name: MECANICA.pmr

Problems and Suggestions (0)

Project Problems (0)

Problems related to most recent processing (0)

Information from most recent processing

Last Processing Attempt: Sat Jan 01 12:34:03 2011

PhotoModeler Version: 6.2.2.596 - final,full

Status: successful

Processing Options

Orientation: off

Global Optimization: on

Calibration: off

Constraints: on

Total Error

Number of Processing Iterations: 2

Number of Processing Stages: 2

First Error: 0.304

Last Error: 0.304

Precisions / Standard Deviations

Photograph Standard Deviations

Photo 1: DSC00045.JPG

Omega

Value: 0.387948 deg

Deviation: Omega: 0.008 deg

Correlations over 95.0%: Y:-98.5%

Phi

Value: 0.295298 deg

Deviation: Phi: 0.007 deg

Correlations over 95.0%: X:97.0%

Kappa

Value: 0.247060 deg

Deviation: Kappa: 0.005 deg

Xc

Value: 0.260220

Deviation: X: 0.006

Correlations over 95.0%: Phi:97.0%

Yc

Value: -0.343788

Deviation: Y: 0.006

Correlations over 95.0%: Omega:-98.5%

Zc

Value: -0.243458

Deviation: Z: 0.005

Photo 2: DSC00054.JPG

Omega

Value: -32.820410 deg

Deviation: Omega: 0.013 deg

Phi

Value: 49.163834 deg

Deviation: Phi: 0.008 deg

Kappa

Value: 62.604143 deg

Deviation: Kappa: 0.009 deg

Xc

Value: 36.146269

Deviation: X: 0.004

Yc

Value: 17.406145

Deviation: Y: 0.007

Zc

Value: -23.682611

Deviation: Z: 0.008

Photo 3: DSC00058.JPG

Omega

Value: -115.060747 deg

Deviation: Omega: 0.007 deg

Phi

Value: -10.330391 deg

Deviation: Phi: 0.007 deg

Correlations over 95.0%: X:99.2%

Kappa

Value: -176.196078 deg

Deviation: Kappa: 0.006 deg

Xc

Value: -5.083718

Deviation: X: 0.006

Correlations over 95.0%: Phi:99.2%

Yc

Value: 47.709700

Deviation: Y: 0.007

Zc

Value: -72.452719

Deviation: Z: 0.004

Photo 4: DSC00065.JPG

Omega

Value: -68.664434 deg

Deviation: Omega: 0.016 deg

Correlations over 95.0%: Kappa:98.3%

Phi

Value: -63.004260 deg

Deviation: Phi: 0.010 deg

Kappa

Value: -109.024655 deg

Deviation: Kappa: 0.013 deg

Correlations over 95.0%: Omega:98.3%

Xc
Value: -42.335092
Deviation: X: 0.003

Yc
Value: 19.801559
Deviation: Y: 0.007

Zc
Value: -37.703726
Deviation: Z: 0.006

Photo 5: DSC09801.JPG

Omega
Value: -150.482895 deg
Deviation: Omega: 0.023 deg

Phi
Value: -46.440268 deg
Deviation: Phi: 0.011 deg

Kappa
Value: 173.381509 deg
Deviation: Kappa: 0.021 deg

Xc
Value: -30.491595
Deviation: X: 0.006

Yc
Value: 16.335226
Deviation: Y: 0.008

Zc
Value: -74.919870
Deviation: Z: 0.007

Photo 6: DSC09803.JPG

Omega
Value: -162.098764 deg
Deviation: Omega: 0.034 deg
Correlations over 95.0%: Kappa:98.6%, Y:95.5%

Phi
Value: -70.099193 deg
Deviation: Phi: 0.009 deg

Kappa
Value: 162.767873 deg
Deviation: Kappa: 0.034 deg
Correlations over 95.0%: Omega:98.6%

Xc
Value: -41.645062
Deviation: X: 0.005

Yc
Value: 6.385782
Deviation: Y: 0.007
Correlations over 95.0%: Omega:95.5%

Zc
Value: -61.927066
Deviation: Z: 0.006

Quality

Photographs

Total Number: 6
Bad Photos: 0
Weak Photos: 0
OK Photos: 6
Number Oriented: 6
Number with inverse camera flags set: 0

Cameras

Camera1: CAMARA 7.2
Calibration: yes
Number of photos using camera: 6
Average Photo Point Coverage: NOT SET

Point Marking Residuals

Overall RMS: 0.260 pixels
Maximum: 0.779 pixels
Point 7 on Photo 2
Minimum: 0.002 pixels
Point 86 on Photo 4
Maximum RMS: 0.517 pixels
Point 81
Minimum RMS: 0.002 pixels
Point 86

Point Tightness

Maximum: 0.032 m
Point 4
Minimum: 0.0001 m
Point 86

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 0.0122 m
Maximum Vector Length: 0.0246 m
Point 33
Minimum Vector Length: 0.0068 m
Point 5
Maximum X: 0.00847 m
Maximum Y: 0.0199 m
Maximum Z: 0.0123 m
Minimum X: 0.00353 m
Minimum Y: 0.00484 m
Minimum Z: 0.0032 m

El presente es un ejemplo del reporte de ajustes de la restitución fotogramétrica, dando prioridad a la matriz de residuales considerando los valores máximos ya que estos definen que tan válido es el método a continuación se presenta los residuales de los diferentes bloques.

Bloque de mecánica:

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 0.0122 m

Maximum Vector Length: 0.0246 m

Point 33

Minimum Vector Length: 0.0068 m

Point 5

Maximum X: 0.00847 m

Maximum Y: 0.0199 m

Maximum Z: 0.0123 m

Minimum X: 0.00353 m

Minimum Y: 0.00484 m

Minimum Z: 0.0032 m

Bloque de la CEA:

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 0.0207 m

Maximum Vector Length: 0.056 m

Point 125

Minimum Vector Length: 0.00731 m

Point 5

Maximum X: 0.0382 m

Maximum Y: 0.0364 m

Maximum Z: 0.0296 m

Minimum X: 0.0043 m

Minimum Y: 0.00422 m

Minimum Z: 0.00369 m

Bloque de la CEINCE:

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 0.0242 m

Maximum Vector Length: 0.0643 m

Point 36

Minimum Vector Length: 0.0124 m

Point 5

Maximum X: 0.0588 m

Maximum Y: 0.0159 m

Maximum Z: 0.0247 m

Minimum X: 0.00832 m

Minimum Y: 0.00572 m

Minimum Z: 0.00462 m

Bloque de la MED:

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 0.0111 m

Maximum Vector Length: 0.0414 m

Point 225

Minimum Vector Length: 0.0062 m

Point 9

Maximum X: 0.0371 m

Maximum Y: 0.0177 m

Maximum Z: 0.0167 m

Minimum X: 0.0037 m

Minimum Y: 0.00306 m

Minimum Z: 0.00302 m

Bloque de Postgrados:

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 0.0172 m

Maximum Vector Length: 0.0361 m

Point 138

Minimum Vector Length: 0.0063 m

Point 33

Maximum X: 0.0316 m

Maximum Y: 0.0135 m

Maximum Z: 0.0158 m

Minimum X: 0.00303 m

Minimum Y: 0.00289 m

Minimum Z: 0.00333 m

Bloque del bloque A y B:

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 0.0233 m

Maximum Vector Length: 0.063 m

Point 180

Minimum Vector Length: 0.0128 m

Point 39

Maximum X: 0.0542 m

Maximum Y: 0.0335 m

Maximum Z: 0.021 m

Minimum X: 0.00844 m

Minimum Y: 0.00637 m

Minimum Z: 0.00527 m

Bloque Central:

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 0.0269 m

Maximum Vector Length: 0.0686 m

Point 508

Minimum Vector Length: 0.00981 m

Point 39

Maximum X: 0.0464 m

Maximum Y: 0.053 m

Maximum Z: 0.0276 m

Minimum X: 0.00559 m

Minimum Y: 0.00503 m

Minimum Z: 0.00484 m

6.5 Creación de ambientes virtuales

El desarrollo de procesadores de mayor velocidad, el crecimiento de las memorias RAM y la miniaturización siempre creciente de los componentes junto a los avances en el diseño de sofisticados programas de gráfica han hecho aparecer en las pantallas “mundos” completamente artificiales. Es así que llega al ámbito cartográfico el tratar de construir escenarios con ambiente virtual, el construir ciudades virtuales para la visualización y efecto 3D producidos simplemente con fotografías pero con la perspectiva necesaria para poder producir estos ambientes.

Actualmente vivimos en una época de Realidad Virtual. Por tanto, ficción, emulación, que se asimila a través de los canales que se tiene a disposición desde la TV hasta las revistas.

Se considera estas dos definiciones:

- La Realidad es la cualidad o estado de ser real o verdadero.
- Lo virtual es lo que resulta en esencia o efecto, pero no como forma, nombre o hecho real.

El scrolling de toda computadora ejemplifica la RV, al hacer scrolling de un mapa el usuario tiene la facilidad de que con el Mouse puede ir viendo la parte del mapa que prefiera, esto da la sensación de ir navegando por el mapa, pero este no está en ningún lado, ya que no es cierto que el computador este viendo un pedazo del mapa y lo demás esté oculto en el espacio, ya que lo que se está viendo no se encuentra en ningún lado, porque la información está en el disco y al darle la instrucción a la máquina de que busque la información está la busca en el rígido y la procesa a tal velocidad que la impresión que le da al usuario es que el mapa está ahí pero en realidad, no existe.

En el presente proyecto se modela y procesa la información obtenida desde PhotoModeler, si se desea un ambiente más globalizado se puede hacer en ArcScene de Esri o simplemente trabajando en modelos individuales con Photomodeler.

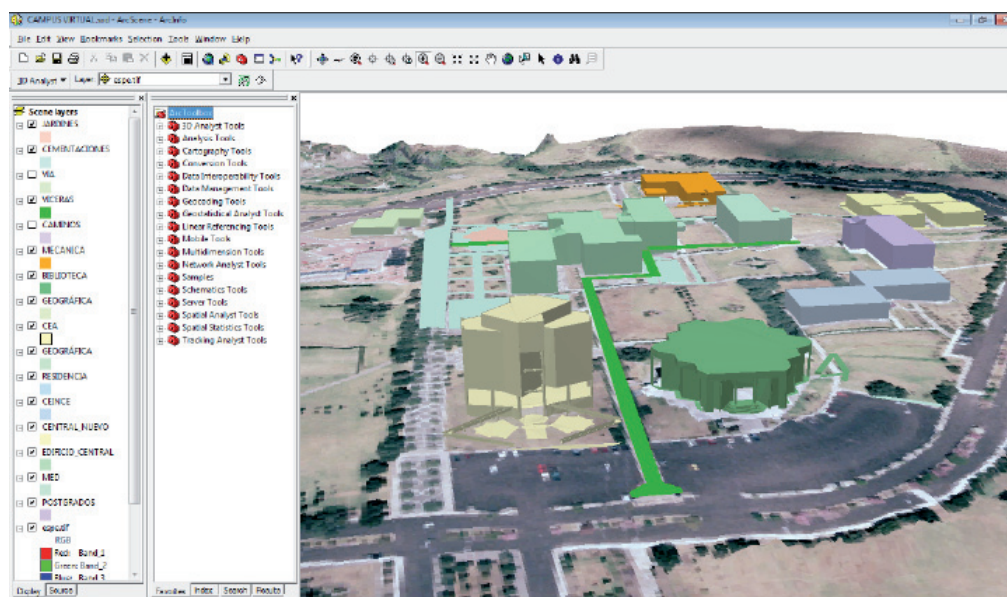


Figura 6.8 Construcción de escenario virtual desde ArcScene



Figura 6.9 Imagen panorámica del campus politécnico

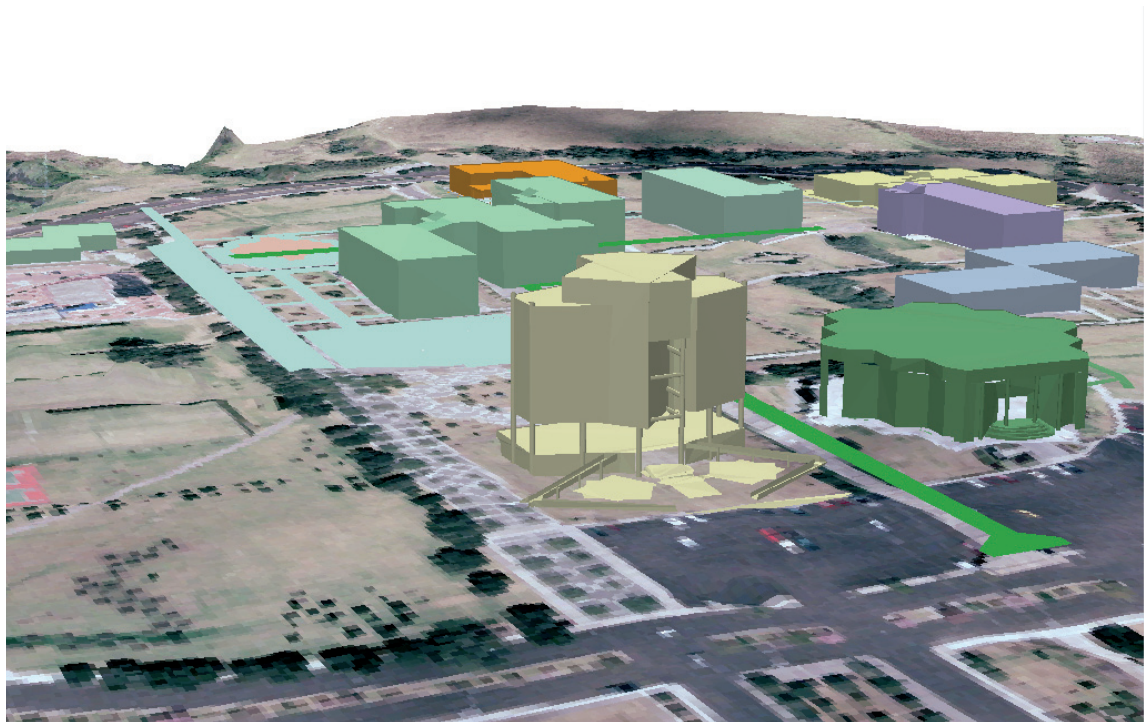


Figura 6.10 Construcción virtual del campus politécnico

6.6 Levantamiento planimétrico del campus politécnico

Uno de los productos es una representación planimétrica de la construcción del escenario virtual del campus politécnico de la ESPE, llevada al ArcGis para creación del plano. (Anexo 3.0)

6.7 Plano estructural del sistema

Se presenta un plano estructural del sistema de cómo está construido y sus componentes se encuentran interrelacionadas entre si el mismo permite revisar las uniones entre la interface de comunicación, toma de imágenes y su sistema de navegación, que por derechos de autor no se presentara a escala de trabajo.

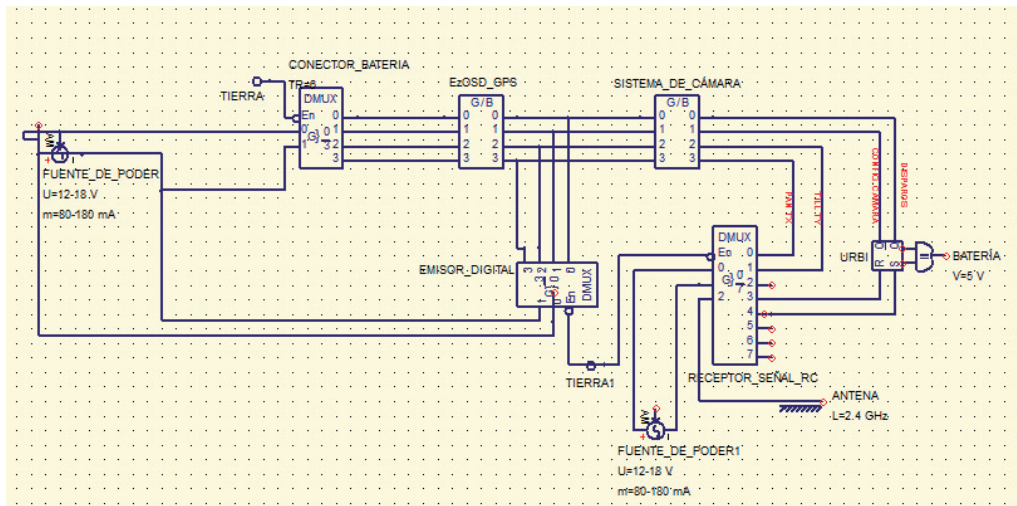


Figura 6.11 Plano estructural del sistema

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Para poder realizar el proyecto se aplicó diferentes temas de electrónica básica, mecánica básica, telecomunicaciones, así como en el campo geomático: posicionamiento, georeferenciación y restitución digital dentro de la fotogrametría digital y además el empleo de sistemas de información geográficos, por lo cual se concluye que se requirió un vasto conocimiento para poder ejecutarlo con éxito.
- Los pliegos de especificaciones técnicas, definen las configuraciones, equipamiento e instalaciones del sistema fotogramétrico, para la interface de los periféricos ya que su interacción dependerá la eficiencia del sistema en el desarrollo del proyecto fotogramétrico de corto alcance.
- La selección de la cámara digital adecuada para el sistema, lo definirá la resolución, peso y el acceso de manera externa a configuraciones manuales como: el enfoque, la rotación y la velocidad de exposición.
- La configuración del sistema de navegación es simple, ya que el mismo permite al usuario tener acceso en el momento del seteo en dónde se inicia el sistema para empezar con el proceso de navegación.
- Los factores climatológicos influyen en la manipulación del sistema fotogramétrico debido a las velocidades aleatorias del viento, humedad y lluvia pueden dañar las conexiones electrónicas o tarjetas de circuitos provocando fallas en el sistema.
- El posicionamiento de puntos de control empleados en el desarrollo de los modelos fotogramétricos, fue realizado por GPS, con el método estático con un tiempo de posicionamiento de 1 hora para los puntos de control con una precisión bajo los 10 cm en el ajuste y para los puntos adicionales se empleó topografía.

- Los ajustes en los modelos fotogramétricos están dentro del error permisible del software expresado en la matriz de residuales bajo los 10 cm. Empleando los puntos de control y los adicionales para un mejor cierre en la geometría como en la georeferenciación de los modelos.
- Para la creación de los escenarios virtuales se utilizó el restituidor PhotoModeler y se exportó a una plataforma GIS con soporte en 3D que es el ArcScene para su respectiva visualización.
- La elaboración de los manuales de usuario se basó en la experiencia adquirida con el software PhotoModeler en el transcurso del proyecto desde el sistema de toma, la planificación, toma de imágenes y restitución.

Recomendaciones:

- Se recomienda tener un mayor conocimiento en circuitos electrónicos, mecánica, telecomunicaciones, procesos para obtener información cartográfica y GIS, especificaciones para el ensamblado y emulación de cada componente del sistema fotogramétrico de corto alcance 3D.
- Para el ensamblaje se recomienda tomar las debidas medidas de seguridad como son: gafas transparentes, guantes, tener lugares con ventilación, buena iluminación, un lugar seco.
- Se recomienda cámaras Nikon y Cannon con más de 4 MP, debido a su interface con el computador, mecánica y peso, que se adaptan perfectamente al sistema, las cámaras réflex son la mejor opción pero por precio aplican las cámaras semiprofesionales que presentan características similares a un precio más accesible.
- En el momento de las tomas de las imágenes es recomendable alejarse de cables eléctricos, cables de alta tensión, lluvias y vientos fuertes ya que pueden ocasionar accidentes.
- En la toma y ajuste tanto de los puntos de control como los puntos adicionales se recomienda realizarlo mediante procesos topográficos convencionales normales.
- La creación de ambientes virtuales se debe tomar en cuenta la perspectiva que se realizó la toma desde el sistema, para lo cual se recomiendan tomas claras, bien enfocadas y la correcta exportación de ficheros para ser visualizadas en el ArcScene.

BIBLIOGRAFÍA

- <http://aprendiendofotografia.blogspot.com/2008/07/tipos-de-lentes-fotograficos.html>
- <http://arte-on-line.blog.com.es/2009/03/20/perspectiva-aerea-3-puntos-de-fuga-5874016/>
- <http://edgar-wwwtovyteca-edgar.blogspot.com/2008/02/tipos-de-perspectivas.html>
- <http://joaclintistgud.wordpress.com/2008/01/04/gimp-analizando-el-filtro-distorsionesdistorsion-de-lente/>
- <http://oa.upm.es/601/1/10200206.pdf>
- <http://perseo.cs.buap.mx/bellatrix/tesis/TES954.pdf>
- <http://perseo.cs.buap.mx/bellatrix/tesis/TES954.pdf>
- <http://perspectivadis3.blogspot.com/2008/12/perspectiva.html>
- http://www.caesoft.es/productos/Photodeler/Ejemplos/ejemplos_precision.htm#ej1mango
- <http://www.ciberhabitat.com.mx/medios/camaras/funcionamiento.htm>
- http://www.gratiszona.com/fotografia_digital/hacer_buenas_fotos/perspectiva.htm
- http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/Geodesia/Seccion_Temas_de_Fotogrametria/Historia_de_la_Fotogrametria.html
- http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=434
- http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=434
- <http://www.scribd.com/doc/22385148/99/Modelo-de-Distorsion-de-la-Lente-I>
- <http://www.sonystyle.com.mx/mx/site/catalog/CompareProductsResults.jsp?category=cameras&id=DSLR-A300K&pageNum=01&parentCatId=cat2820027&stockType=A>
- http://www.um.es/fontela/index.php?option=com_content&task=view&id=1391&Itemid=1
- www.efn.uncor.edu/otros/foto/Teoria_Foto.htm
- www.fing.edu.uy/ia/deptogeom/FotoAp/FOTOGRAMETRIA%20APLICADA%20.doc
- www.isprs.org/publications/related/semana_geomatica05/front/abstracts/Dimecres9/F17.pdf
- www.Southern Balloon Works, Inc.htm
- Manual técnico de la cámara digital, Sony V-3, 7mpx
- Manual de PhotoModeler Scanner 6.0.2