



CURSO/GUÍA PRÁCTICA DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?	24
Introducción.	25
PARTE PRIMERA.	27
Fundamentos de drones, fotogrametría y control de producción en obra	27
Capítulo 1: Marco conceptual y objetivos del control de producción con drones en obra ..	27
1. Alcance de “Aire→Datos→Modelo→Producción→Certificación”	27
a. Definición operativa y límites del sistema	27
b. Entradas/salidas esperadas por tipo de obra	28
c. Requisitos de calidad y precisión por uso	29
2. Casos de uso prioritarios en edificación e infraestructuras	29
a. Movimiento de tierras y acopios	29
b. Seguimiento de avance y as-built	30
c. Seguridad, acceso y zonas críticas	30
3. Métricas de producción y su relación con datos de dron	30
a. Cantidades, curvas S y hitos	30
b. SPI/CPI y variaciones de coste/plazo	31
c. Certificación mensual y cierre de obra	31
4. Integración con BIM 4D/5D, CDE e ISO 19650	31
a. Requisitos de información (EIR/AIR)	31
b. Entregables, nomenclatura y versiones	32
c. Flujos de aprobación y permisos	32
5. Gobierno de datos y trazabilidad probatoria	33
a. Metadatos, georreferenciación y sellado de tiempo	33
b. Firma, hash y cadena de custodia	33
c. Políticas de retención y archivo	33
6. Roadmap de adopción en 0–12 meses	34
a. Pilotos, quick wins y escalado	34
b. Roles, formación y procedimientos	34
c. Indicadores clave y auditorías internas	34
Capítulo 2: Arquitectura del sistema de drones y fotogrametría orientado a producción ..	35
1. Componentes y responsabilidades	35
a. Operaciones UAV y seguridad (HSE)	35
b. Geodesia/QA y fotogrametría	36
c. TI/CDE, ciberseguridad y legal	36
2. Requisitos de hardware y software	37
a. Plataformas UAV, sensores y accesorios	37
b. Estaciones base, balizas y GCPs	37
c. Suite de procesado y visualización	38
3. Interoperabilidad y formatos de intercambio	38
a. Imágenes, nubes de puntos y mallas	38

b. IFC, BCF y datos tabulares	38
c. APIs y conectores con ERP/Costes	39
4. Calidad de servicio y niveles de precisión	39
a. RMSE, GSD y tolerancias por disciplina	39
b. Checkpoints y verificación independiente	40
c. Informes de conformidad y aceptaciones	40
5. Escalabilidad y operación multi-obra	40
a. Calendario de vuelos y capacidad	40
b. Priorización por riesgos y valor	41
c. Estándares internos globales	41
6. Indicadores de desempeño del sistema	41
a. Disponibilidad, tiempo de ciclo y lead time	41
b. Precisión efectiva y reprocesos	41
c. Coste total (CAPEX/OPEX) y ROI	42
PARTE SEGUNDA.....	43
Operaciones UAV en obra (España–LatAm) aplicadas al control de producción.....	43
Capítulo 3: Plataformas, sensores y configuraciones para obra.....	43
1. Tipos de UAV y criterios de selección	43
a. Multirrotor vs. ala fija	43
b. Autonomía, carga útil y estabilidad	44
c. Robustez, IP y mantenimiento	44
2. Sensores y ópticas para producción	44
a. RGB, teleobjetivo y gran angular	44
b. Multiespectral/termografía (usos en HSE)	45
c. Parámetros de cámara y calibración	45
3. Accesorios y estaciones en tierra	46
a. RTK/PPK integrado y bases GNSS	46
b. Balizas, paneles y GCPs	46
c. Baterías, cargadores y logística	46
4. Planificación de flota y repuestos	47
a. Rotación de equipos y repuestos críticos	47
b. Gestión de baterías y ciclos	47
c. Protocolos de revisión y bitácoras	47
5. Evaluación de riesgos y entorno de obra	48
a. Obstáculos, grúas y interferencias	48
b. Viento, polvo y reflectancias	48
c. Zonas sensibles y terceros	48
6. Estándares internos de configuración	49
a. Perfiles de misión por caso de uso	49
b. Presets de cámara y altura	49
c. Umbrales de go/no-go	49
Capítulo 4: Plan de vuelo, permisos y seguridad (HSE) para evidencias de producción	50
1. Planificación de misión en obra	50
a. Rutas, solapes y cobertura	50



b. Altura, GSD y resolución requerida	51
c. Ventanas operativas y coordinación.....	51
2. Permisos y condicionantes operativos	52
a. Categorías EASA y requisitos típicos.....	52
b. NOTAM, geocercas y servidumbres	52
c. Autorizaciones locales y coordinación con obra.....	53
3. Briefing de seguridad y comunicación	53
a. Roles, responsabilidades y radio	53
b. Señalización y perímetros	53
c. Plan de emergencia y abortos	54
4. Checklists pre-vuelo, vuelo y post-vuelo	54
a. Inspecciones previas y calibraciones	54
b. Supervisión en vuelo y límites	55
c. Descarga, registro y cierre	55
5. Control de terceros y privacidad in situ	56
a. Minimización de datos de personas/placas	56
b. Áreas de exclusión y rutas seguras.....	56
c. Cartelería y consentimientos cuando proceda	56
6. Registro documental de la operación.....	57
a. Bitácora de vuelo y mantenimiento	57
b. Evidencias fotográficas y metadatos	57
c. Conservación y auditoría	57
PARTE TERCERA.	59
Geodesia, precisión y control metrológico para fotogrametría de producción	59
Capítulo 5: RTK/PPK, GCPs y redes CORS aplicadas a obra	59
1. Estrategias de georreferenciación.....	59
a. RTK vs. PPK: criterios de elección	59
b. Estaciones base y CORS	60
c. Red local y redundancias	60
2. Diseño y marcado de GCPs	61
a. Cantidad, distribución y visibilidad.....	61
b. Materiales, tamaño y contraste	61
c. Referencias y coordenadas	61
3. Checkpoints y control independiente.....	62
a. Número y ubicación óptima	62
b. Precisión esperada y tolerancias	62
c. Registro y reporte	63
4. Flujo de medición y validación.....	63
a. Levantamiento GNSS/estación total.....	63
b. Conversión de sistemas y proyecciones	63
c. Control de cierre y aceptación.....	64
5. Gestión de errores y correcciones.....	64
a. Distorsiones, rolling shutter y parallax	64
b. Errores sistemáticos vs. aleatorios	65
c. Medidas correctoras y reprocesos	65

6. Informe de precisión y conformidad	65
a. RMSE, sigma y gráficos de residuales	65
b. Comparativa contra tolerancias de obra	66
c. Firma, hash y distribución	66
Capítulo 6: QA/QC integral del dato de dron para control de producción	67
1. Control en captura	67
a. Iluminación, solape y textura	67
b. Altura/velocidad y GSD	68
c. Chequeos in situ y repetición	68
2. Control en procesado	69
a. Alineación, optimización y densificación	69
b. Filtrado de ruido y outliers	69
c. Control de mosaico y costuras	69
3. Validación geométrica y volumétrica	70
a. Secciones, perfiles y comparativas	70
b. Cubicaciones de prueba y tolerancias	70
c. Revisión por tercero independiente	70
4. Gestión de versiones y cambios	71
a. Trazabilidad entre campañas de vuelo	71
b. Etiquetado y control de versiones	71
c. Auditoría de modificaciones	71
5. Aseguramiento cruzado con otros sensores	72
a. Escáner láser/estación total	72
b. IoT y sensores de producción	72
c. Fotografías terrestres de apoyo	72
6. Criterios de aceptación/rechazo	73
a. Umbrales, alertas y reprocesos	73
b. Plan de acciones correctoras	73
c. Cierre y lecciones aprendidas	73
PARTE CUARTA.	75
Fotogrametría y productos para producción y certificación	75
Capítulo 7: Captura fotogramétrica orientada a cantidades y avance	75
1. Parámetros de vuelo y solape	75
a. Frontal/lateral y rutas perimetrales	75
b. Altura y ángulo de cámara	76
c. Cobertura de áreas complejas	76
2. Estrategias por tipología de obra	77
a. Tierra y explanaciones	77
b. Estructuras y fachadas	77
c. Obras lineales y parques solares/eólicos	77
3. Gestión de sombras, agua y superficies brillantes	78
a. Horarios óptimos y estaciones	78
b. Rutas alternativas y altura	78
c. Tratamientos posteriores	79

4. Misiones especiales y detalle	79
a. Baja altura y teleobjetivo.....	79
b. Vuelos oblicuos y nadir+oblicuo.....	79
c. Inspección de puntos singulares.....	80
5. Frecuencia de captura y calendarios	80
a. Producción semanal/mensual	80
b. Hitos críticos y previos a certificación	81
c. Integración con programación 4D	81
6. Registro y traspaso a procesado	81
a. Organización de lotes y metadatos	81
b. Verificación previa de integridad	82
c. Traspaso seguro a CDE.....	82
Capítulo 8: Procesado y productos para control y certificación.....	83
1. Nube de puntos y mallas	83
a. Densidad, limpieza y clasificación.....	83
b. Mallas texturizadas y usos.....	84
c. Exportación y formatos.....	84
2. Ortoimagen, DSM y DTM.....	85
a. Parámetros y resoluciones	85
b. Control de mosaico y bordes.....	85
c. Validación contra GCPs	86
3. Entregables para cubicaciones.....	86
a. Superficies y contornos	86
b. Curvas de nivel y secciones	86
c. Comparativas corte/relleno.....	87
4. As-built fotogramétrico y comparación plan/real.....	87
a. Diferencias con diseño/BIM	87
b. Detectar desviaciones de tolerancia	88
c. Reportes de no conformidad	88
5. Dashboards y visualización para producción	88
a. KPIs, mapas temáticos y etiquetas	88
b. Vinculación a partidas y costes	89
c. Accesos por rol y permisos	89
6. Paquete de entrega para certificación	90
a. Informes, anexos y evidencias.....	90
b. Firmas, hash y cadena de custodia.....	90
c. Publicación en CDE y comunicación	90
PARTE QUINTA.	92
Producción, BIM 4D/5D y certificación con drones.....	92
Capítulo 9: Avance de obra con drones y planificación 4D.....	92
1. Vinculación de campañas a cronograma	92
a. Hitos, ventanas y restricciones.....	92
b. Planificación de recursos de vuelo	93
c. Integración con look-ahead semanal.....	93

2. Medición de avance y productividad	94
a. % de avance por partida	94
b. Ritmos de producción y tendencias	94
c. Alertas tempranas de desviación.....	94
3. Curvas S y control de plazos	95
a. Plan vs. real por periodo.....	95
b. Proyecciones a término.....	95
c. Replanificaciones soportadas por evidencia.....	96
4. Integración 5D (coste)	96
a. Vinculación a partidas y precios	96
b. Impacto en certificación mensual	97
c. Control de cambios y órdenes	97
5. QA/QC de producción con evidencia visual	97
a. Punch-list y no conformidades	97
b. Cierres de lote y liberaciones	98
c. Re-trabajos y verificación	98
6. Informes ejecutivos y comité de obra	99
a. Síntesis visual y KPIs	99
b. Riesgos y acciones correctoras	99
c. Decisiones y acuerdos.....	99
Capítulo 10: Cubicaciones, movimientos de tierras y certificaciones mensuales.....	101
1. Metodologías de cubicación con dron.....	101
a. Superficies de referencia y mallas	101
b. Corte/relleno y tolerancias.....	102
c. Muestreos y validación	102
2. Control de acopios y logística de materiales.....	103
a. Volúmenes y mermas	103
b. Rotación e inventarios.....	103
c. Seguridad y accesos	103
3. Certificación mensual y documentación soporte	104
a. Reportes técnicos y anexos	104
b. Evidencia georreferenciada.....	104
c. Aprobaciones y pagos	105
4. Discrepancias y resoluciones rápidas	105
a. Revisión conjunta con contratista/subcontratas.....	105
b. Reprocesos parciales y re-vuelos	105
c. Actas y acuerdos	106
5. Impacto en coste y flujo de caja.....	106
a. Relación con mediciones y precios.....	106
b. Proyecciones de importe certificado.....	106
c. Cash flow y riesgos.....	107
6. Lecciones aprendidas y mejora continua.....	107
a. Indicadores de precisión y eficiencia	107
b. Acciones preventivas.....	107
c. Actualización de estándares	108

PARTE SEXTA.109
Seguridad, privacidad, compliance y marco normativo (España–LatAm).....109
Capítulo 11: Gestión HSE y ciberseguridad en operaciones de drones en obra109
1. PSS específico UAV y análisis de riesgos.....109

- a. Identificación de peligros y mitigaciones 109
- b. Permisos internos y formaciones 110
- c. Simulacros y emergencias..... 110

2. Control operacional en obra activa111

- a. Coordinación con grúas/maquinaria 111
- b. Balizamiento y perímetros 111
- c. Gestión de interferencias 112

3. Privacidad y protección de datos112

- a. Minimización y anonimización 112
- b. Señalización y avisos 113
- c. Gestión de solicitudes y derechos 113

4. Ciberseguridad OT/IT del dato de dron113

- a. Segmentación y cifrado 113
- b. Gestión de credenciales y accesos 114
- c. Monitorización y auditoría 114

5. Cadena de custodia y evidencia digital.....115

- a. Sellado de tiempo y firma..... 115
- b. Trazabilidad y registros 115
- c. Políticas de conservación..... 115

6. Auditorías de cumplimiento116

- a. Auditoría interna y de terceros 116
- b. No conformidades y planes de acción..... 116
- c. Revisión por la dirección..... 116

Capítulo 12: Marco regulatorio operativo (EASA/AESA y panorama LatAm) aplicado a producción.....118
1. Categorías y escenarios estándar118

- a. A1–A3 y específica (EASA) 118
- b. Limitaciones típicas en obra 119
- c. Documentación del operador 119

2. Autorizaciones y zonas especiales120

- a. UAS en entornos urbanos/industriales 120
- b. Aeródromos, helipuertos y servidumbres..... 120
- c. BVLOS y obras lineales..... 120

3. Requisitos del piloto/remoto y seguros121

- a. Formación y habilitaciones..... 121
- b. Seguro de responsabilidad civil 121
- c. Registros y marcados..... 122

4. LatAm: criterios comunes y diferencias.....122

- a. Registros, permisos y zonas..... 122
- b. Limitaciones operativas habituales 122

c. Buenas prácticas regionales	123
5. Contratos y responsabilidad	123
a. Obligaciones del operador y del promotor	123
b. Cláusulas de indemnidad y límites	124
c. Fuerza mayor y suspensión de vuelos	124
6. Evidencia de cumplimiento en auditorías.....	124
a. Listados documentales y trazabilidad	124
b. Registros de vuelo y mantenimiento.....	125
c. Conservación y acceso controlado	125
PARTE SÉPTIMA.	126
Reclamaciones, disputas y peritaje con evidencias de drones.....	126
Capítulo 13: Construcción del dossier probatorio de producción.....	126
1. Qué es evidencia útil para un claim	126
a. Relevancia, autenticidad y completitud	126
b. Georreferenciación y metadatos.....	127
c. Consistencia temporal	127
2. Estructura del dossier.....	128
a. Relato de hechos y cronología.....	128
b. Comparativas plan–real y umbrales	128
c. Anexos técnicos y actas	128
3. Cadena de custodia aplicada a obra	129
a. Roles y accesos	129
b. Sellado y hash de archivos.....	129
c. Registro de transferencias	130
4. Integración con contratos y pliegos	130
a. Requisitos de entrega y formatos.....	130
b. KPI/SLAs y aceptación	130
c. Penalizaciones/bonos	131
5. Revisión por asesoría legal y peritos	131
a. Recomendaciones de forma y fondo.....	131
b. Diagramas y mapas de apoyo.....	131
c. Preparación de declaraciones.....	132
6. Cierre del claim y lecciones.....	132
a. Acuerdo, DRB o arbitraje	132
b. Costes asociados y recuperación.....	132
c. Mejora de procedimientos	133
Capítulo 14: Presentación ante DRB, arbitraje o litigio.....	134
1. Estrategia de presentación	134
a. Mensaje clave y narrativa.....	134
b. Visualizaciones y anexos	134
c. Gestión del tiempo y preguntas	135
2. Estándares y admisibilidad	135
a. Integridad, trazabilidad y peritaje	135
b. Reproducibilidad y terceros	136

c. Buenas prácticas comparadas	136
3. Casuística frecuente en obra	137
a. Plazos y ventanas de trabajo	137
b. Medición y cubificaciones	137
c. Accesos, climatología y seguridad	137
4. Negociación basada en evidencias	138
a. Zonas de acuerdo posible	138
b. Ofertas condicionadas	138
c. Escalada y alternativas	138
5. Gestión de riesgos reputacionales	139
a. Confidencialidad y accesos	139
b. Comunicación interna/externa	139
c. Salvaguarda del know-how	139
6. Post-mortem y actualización de estándares	139
a. Registro de precedentes	139
b. Librería de casos	140
c. Formación interna	140
PARTE OCTAVA.	141
Coste, financiación y contratación de servicios de drones para producción	141
Capítulo 15: CAPEX/OPEX, ROI y contratación (interno vs. proveedor)	141
1. Modelos de prestación del servicio	141
a. Internalizar vs. subcontratar	141
b. Mixto y acuerdos marco	142
c. Criterios de decisión	142
2. Análisis económico-financiero	143
a. CAPEX, OPEX y TCO	143
b. Payback y sensibilidad	144
c. Riesgos y contingencias	144
3. Pliegos, SLAs y KPIs	145
a. Alcance, entregables y calidad	145
b. Tiempos de respuesta y soporte	145
c. Penalizaciones/bonos	145
4. Contratos y responsabilidades	146
a. Propiedad intelectual y licencias	146
b. Seguros y limitación de responsabilidad	146
c. Confidencialidad y datos	147
5. Gestión y supervisión del servicio	147
a. Indicadores y reporting	147
b. Auditorías y revisiones	148
c. Mejora continua	148
6. Escalado regional (España–LatAm)	148
a. Estandarización y localización	148
b. Formación y habilitaciones	149
c. Sinergias y economías de escala	149

PARTE NOVENA.	150
HERRAMIENTAS DE DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA- CHECKLISTS Y FORMULARIOS OPERATIVOS.	150
Capítulo 16: Checklists operativos de vuelo, seguridad y compliance	150
CHECKLIST Nº 16.01 — Pre-vuelo (obligatorio).....	150
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	150
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	151
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	151
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	152
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	152
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	152
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	152
Sección 8. Evidencias y referencias	153
CHECKLIST Nº 16.02 — En vuelo	153
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	153
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	154
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	154
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	154
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	154
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	155
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	155
Sección 8. Evidencias y referencias	155
CHECKLIST Nº 16.03 — Post-vuelo	155
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	155
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	156
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	156
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	156
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	156
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	156
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	157
Sección 8. Evidencias y referencias	157
CHECKLIST Nº 16.04 — HSE específico UAV.....	157
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	157
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	157
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	158
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	158
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	158
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	158
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	158
Sección 8. Evidencias y referencias	159
CHECKLIST Nº 16.05 — Privacidad y protección de datos.....	159
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	159
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	159
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	159
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	160
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	160
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	160
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	160

Sección 8. Evidencias y referencias	160
CHECKLIST Nº 16.06 — Auditoría express de cumplimiento.....	161
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	161
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	161
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	161
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	161
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	162
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	162
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	162
Sección 8. Evidencias y referencias	162
Capítulo 17: Formularios geodésicos y QA/QC de fotogrametría.....	163
FORMULARIO Nº 17.01 — Registro de GCPs y checkpoints.....	163
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	163
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	164
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	164
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	164
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	164
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	164
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	165
Sección 8. Evidencias y referencias	165
FORMULARIO Nº 17.02 — Acta de implantación RTK/PPK	166
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	166
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	166
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	166
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	167
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	167
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	167
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	167
Sección 8. Evidencias y referencias	167
FORMULARIO Nº 17.03 — Informe de precisión (RMSE/GSD).....	168
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	168
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	168
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	168
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	169
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	169
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	169
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	169
Sección 8. Evidencias y referencias	169
CHECKLIST Nº 17.04 — Control de versiones de datasets	170
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	170
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	170
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	170
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	170
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	171
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	171
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	171
Sección 8. Evidencias y referencias	171
FORMULARIO Nº 17.05 — No conformidades y acciones.....	172
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	172

Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	172
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	172
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	172
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	173
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	173
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	173
Sección 8. Evidencias y referencias	173

FORMULARIO Nº 17.06 — Lista de distribución y permisos174

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	174
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	174
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	174
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	174
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	175
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	175
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	175
Sección 8. Evidencias y referencias	175

Capítulo 18: Plantillas de informes, cubicaciones y dossier de claims176

FORMULARIO Nº 18.01 — Informe de campaña de vuelo.....176

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	176
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	177
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	177
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	177
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	177
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	178
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	178
Sección 8. Evidencias y referencias	178

FORMULARIO Nº 18.02 — Informe de ortomosaico/nube/DSM178

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	178
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	179
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	179
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	179
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	179
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	179
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	180
Sección 8. Evidencias y referencias	180

FORMULARIO Nº 18.03 — Plantilla de cubicaciones.....180

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	180
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	180
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	181
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	181
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	181
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	181
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	181
Sección 8. Evidencias y referencias	181

FORMULARIO Nº 18.04 — Certificación mensual con evidencia.....182

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	182
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	182
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	182
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	183

Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	183
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	183
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	183
Sección 8. Evidencias y referencias	183
FORMULARIO Nº 18.05 — Dossier de claim (estructura)	184
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	184
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	184
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	184
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	185
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	185
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	185
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	185
Sección 8. Evidencias y referencias	185
FORMULARIO Nº 18.06 — Actas y minutas asociadas	186
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	186
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	186
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	186
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	186
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	187
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	187
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	187
Sección 8. Evidencias y referencias	187
PARTE DÉCIMA.	188
Práctica de drones, fotogrametría y control de producción en obra.....	188
Capítulo 19: Caso integral en autovía – movimientos de tierras y control de producción .188	
1. Alcance y contexto del proyecto.....	188
a. Trazado, lotes y restricciones	188
b. Objetivos de producción y control	189
c. Hitos contractuales y certificación.....	189
2. Preparación operativa y geodésica	190
a. Plan de vuelo, RTK/PPK y GCPs.....	190
b. Riesgos HSE y coordinación	190
c. Calendario de campañas.....	190
3. Captura y procesado	191
a. Parámetros de misión y GSD	191
b. Orto/DSM y nube de puntos	191
c. QA/QC y RMSE objetivo	191
4. Producción y cubicaciones.....	192
a. Corte/relleno por tramos	192
b. Curvas S y SPI/CPI	192
c. Discrepancias y resolución.....	192
5. Evidencias y certificación mensual	193
a. Reportes y anexos georreferenciados	193
b. Aprobaciones y pagos	193
c. Lecciones aprendidas.....	193
6. Claim ejemplar (si aplica)	194

a. Hechos, evidencia y análisis	194
b. Negociación y resultado	194
c. Acciones preventivas	194

Capítulo 20: Caso integral en planta fotovoltaica – replanteo, acopios y accesos196

1. Alcance y objetivos de control	196
a. Parcelas, viales y plataformas.....	196
b. Ritmo de hincado y montaje	197
c. KPIs de producción	197
2. Preparación y permisos	198
a. Zonas sensibles y privacidad.....	198
b. RTK/PPK y checkpoints	198
c. Plan de frecuencias (semanal)	198
3. Captura y procesado	199
a. Nadir+oblicuo y detalle.....	199
b. Orto, mallas y secciones	199
c. QA/QC y tolerancias	199
4. Control de acopios y logística	200
a. Volúmenes y rotación.....	200
b. Inventarios y mermas	200
c. Seguridad y accesos	201
5. Certificación y costes.....	201
a. Medición por partidas (€)	201
b. Desviaciones y órdenes de cambio	202
c. Cash flow y previsiones	202
6. Evidencias para auditoría/claim	202
a. Metadatos y cadena de custodia.....	202
b. Dossier visual para comité.....	203
c. Cierre y lecciones	203

Capítulo 21: Caso integral en edificio – estructura, fachadas y as-built fotogramétrico ...204

1. Objetivos de control y QA/QC	204
a. Tolerancias de estructura/fachada.....	204
b. Hitos de liberación de lotes	205
c. Coordinación con BIM 4D/5D	205
2. Preparación y riesgos	206
a. Vuelo en entorno urbano	206
b. Geocercas y permisos.....	206
c. GCPs y checkpoints en verticales.....	207
3. Captura especializada	207
a. Oblicuos/teleobjetivo y baja altura	207
b. Rutas perimetrales y patios	207
c. Iluminación y sombras	208
4. Procesado y comparación plan-real	208
a. Nube/malla vs. modelo BIM	208
b. Desviaciones de tolerancia.....	209
c. No conformidades y retrabajos	209

5. Certificación y documentación	209
a. Evidencia visual por partida.....	209
b. Informes y anexos	210
c. Aprobaciones y pagos	210
6. Claim por plazo/calidad (si aplica)	211
a. Cronología y pruebas.....	211
b. Negociación y resolución.....	211
c. Medidas de mejora	211

Capítulo 22: Caso integral en puerto/cantera – acopios, seguridad y operación multi-obra

1. Alcance y riesgos específicos	212
a. Tráfico pesado y zonas restringidas.....	212
b. Polvo, agua y superficies brillantes	212
c. Objetivos de control	213
2. Preparación y coordinación	213
a. HSE y señalización	213
b. RTK/PPK y red local	214
c. Programación de vuelos	214
3. Captura y QA	214
a. Alturas/solapes y rutas seguras.....	214
b. Orto/DSM y clasificación	215
c. Validación volumétrica	215
4. Producción y logística.....	215
a. Acopios y rotación	215
b. KPI de carga/descarga	216
c. Alertas tempranas	216
5. Evidencias y auditorías	216
a. Dossiers y metadatos	216
b. Controles de acceso a datos.....	217
c. Revisión por terceros.....	217
6. Resultados y lecciones	217
a. Impacto en coste/plazo	217
b. Mejora de procesos.....	217
c. Estandarización	218

Capítulo 23: Casuística rápida – 10 minicasos “problema→solución” en control de producción

.....	219
1. Retrabajos por tolerancias	219
a. Detección temprana	219
b. Evidencia y decisión.....	219
c. Cierre	220
2. Falta de cobertura/solape	220
a. Diagnóstico	220
b. Re-vuelo y parámetros	220
c. Prevención	220
3. Superficies brillantes/agua	221
a. Mitigación en captura.....	221

b. Corrección en procesado.....	221
c. Validación	221

4. Interferencias y viento221

a. Go/no-go y ventanas	221
b. Rutas alternativas.....	222
c. Registro y justificación	222

5. Acopios irregulares222

a. Modelado y secciones	222
b. Verificación volumétrica.....	222
c. Informe de discrepancias.....	222

6. Privacidad en entorno urbano223

a. Minimización de datos	223
b. Cartelería/consentimiento	223
c. Evidencia de cumplimiento.....	223

Capítulo 24: Lecciones aprendidas, benchmarks y KPIs de referencia en España–LatAm ..224

1. Benchmarks de precisión y tiempos.....224

a. RMSE/GSD por tipología.....	224
b. Lead time de ciclo de datos	225
c. Ratios de reproceso	225

2. KPIs de producción con dron226

a. SPI/CPI y curvas S.....	226
b. % partidas con evidencia válida	226
c. Incidencias por campaña	227

3. Coste y ROI por escenario.....227

a. Internalizar vs. proveedor	227
b. Frecuencia y cobertura.....	227
c. Sensibilidades clave	228

4. Riesgos y mitigaciones228

a. Técnicos y operativos	228
b. Legales y de privacidad.....	229
c. Datos y ciberseguridad	229

5. Estándares internos229

a. Nomenclatura y versiones	229
b. Plantillas y formularios	230
c. Auditorías y formación	230

6. Roadmap de mejora continua230

a. Priorización de iniciativas	230
b. Escalado regional.....	231
c. Revisión anual del sistema	231

Capítulo 25: Casos prácticos de drones, fotogrametría y control de producción en obra. .232

Caso práctico 1. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Implantación básica de control semanal de tierras con dron RTK en fase inicial de urbanización.....232

Causa del Problema	232
Soluciones Propuestas.....	232
1) Servicio externalizado "llave en mano" de fotogrametría con dron RTK orientado a cubriciones ..	232
2) Implantación interna mínima viable (CAPEX contenido) para control semanal	233

Consecuencias Previstas.....	233
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	234
Lecciones Aprendidas.....	235
Caso práctico 2. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA."	
Implementación de as-built fotogramétrico semanal en estructura de hormigón	236
Causa del Problema.....	236
Soluciones Propuestas.....	236
1) Captura semanal con dron RTK nadir + oblicuo, vinculada a BIM 4D/5D	236
2) Vuelos de baja altura con teleobjetivo para control de anclajes, ménsulas y cantos de forjado	236
3) Protocolo de QA/QC y validación cruzada con estación total en puntos singulares	237
Consecuencias Previstas.....	237
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	238
Lecciones Aprendidas.....	239
Caso práctico 3. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Inventario mensual de acopios con dron y dashboard de costes en planta de áridos	
240	
Causa del Problema.....	240
Soluciones Propuestas.....	240
1) Campaña fotogramétrica mensual con dron RTK/PPK y segmentación estandarizada de acopios ..	240
2) Integración con CDE/ERP y dashboard de inventario–coste con alertas.....	240
3) Protocolo HSE y operación coordinada con logística interna	241
Consecuencias Previstas.....	241
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	242
Lecciones Aprendidas.....	243
Caso práctico 4. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Seguimiento de avance en obra lineal (carretera) con doble plataforma UAV y control SPI/CPI.....	
244	
Causa del Problema.....	244
Soluciones Propuestas.....	244
1) Captura combinada con UAV de ala fija (corredor) y multirrotor (nodos críticos).....	244
2) Flujo 4D/5D con KPIs de producción por tramo y curvas S.....	244
3) Protocolo de seguridad vial y permisos operativos	245
4) QA/QC metrológico y validación cruzada	245
Consecuencias Previstas.....	245
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	246
Lecciones Aprendidas.....	247
Caso práctico 5. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Cubicaciones en zona de acceso restringido con PPK y verificación independiente para certificación	
248	
Causa del Problema.....	248
Soluciones Propuestas.....	248
1) Estrategia de captura con dron PPK/RTK sin GCPs y cámara calibrada	248
2) Checkpoints remotos y targets elevados medidos desde perímetro seguro	248
3) Verificación cruzada con escáner láser terrestre desde perímetro y fusión de nubes.....	249
4) Flujo de QA/QC, cadena de custodia y paquete probatorio para certificación	249
Consecuencias Previstas.....	250
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	250
Lecciones Aprendidas.....	251
Caso práctico 6. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Control de montaje y alineación de fachada ventilada con dron oblicuo y validación 5D.....	
252	
Causa del Problema.....	252
Soluciones Propuestas.....	252
1) Captura oblicua perimetral con dron RTK y micro-ortos de detalle con teleobjetivo	252

2) Comparación plan–real contra BIM y detección semiautomática de líneas de junta	253
3) Validación cruzada de planeidad y verticalidad con estación total y escuadras láser	253
4) Flujo 5D de certificación, cadena de custodia y privacidad	253
Consecuencias Previstas.....	254
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	254
Lecciones Aprendidas.....	255
Caso práctico 7. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Control de extendido y espesor de capas granulares con DTM diferencial y verificación de densidades	256
Causa del Problema	256
Soluciones Propuestas.....	256
1) Captura tri-semanal con dron RTK y cálculo de DTM diferencial pre/post extendido	256
2) Verificación metrológica con catas testigo y correlación densidad–espesor	257
3) Integración 5D y control de consumos vs. producción	257
4) Protocolo HSE y operación coordinada con extendido/compactación	257
Consecuencias Previstas.....	258
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	258
Lecciones Aprendidas.....	259
Caso práctico 8. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Control integral de hincado, alineación y accesos en planta fotovoltaica con integración 5D	260
Causa del Problema	260
Soluciones Propuestas.....	260
1) Captura aérea semanal nadir + oblicuo con RTK y detección automática de postes/mesas.....	260
2) Cartografía de transitabilidad de viales y plataformas mediante ΔDTM, pendientes y rugosidad ...	260
3) Integración 4D/5D en CDE con certificación basada en evidencia y cadena de custodia.....	261
4) Verificación cruzada en puntos críticos (topografía y torque de hincado)	261
Consecuencias Previstas.....	261
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	262
Lecciones Aprendidas.....	263
Caso práctico 9. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Control de excavación y sostenimiento en túnel con dron LiDAR-SLAM y fotogrametría asistida.....	264
Causa del Problema	264
Soluciones Propuestas.....	264
1) Cartografiado de la frente y hastiales con micro-UAV de jaula y LiDAR-SLAM.....	264
2) Fotogrametría asistida con iluminación LED para textura y fisuración superficial	265
3) Comparación plan–real y cálculo automático de overbreak/underbreak y espesores de gunita	265
4) Flujo 4D/5D con cadena de custodia y seguridad operacional subterránea	265
Consecuencias Previstas.....	266
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	266
Lecciones Aprendidas.....	267
Caso práctico 10. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Control de hormigonado masivo en losa de cimentación con dron RGB/termográfico y certificación 5D ...	268
Causa del Problema	268
Soluciones Propuestas.....	268
1) Fotogrametría RGB escalonada (inicio–mitad–cierre) para cartografiar la secuencia de vertido	268
2) Termografía aérea para control de gradientes térmicos y detección temprana de zonas de riesgo	268
3) Integración 5D y conciliación con albaranes en CDE (ISO 19650).....	269
4) QA/QC y correlación con sensores de madurez/termopares	269
5) HSE y operación nocturna coordinada.....	270
Consecuencias Previstas.....	270
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	270

Lecciones Aprendidas	271
Caso práctico 11. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA."	
Rehabilitación nocturna de pista aeroportuaria: control de fresado, extendido y temperatura con UAV RTK/termografía	273
Causa del Problema	273
Soluciones Propuestas.....	273
1) Operación específica con permisos, NOTAM y geocercas coordinadas	273
2) Captura RGB/RTK pre y post-fresado y post-extendido para Δ DTM de espesor	273
3) Termografía radiométrica para segregación térmica y continuidad de tendido	274
4) QA/QC y verificación independiente (testigos y densidades).....	274
5) Integración 5D y cadena de custodia en CDE (ISO 19650)	274
Consecuencias Previstas.....	275
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	275
Lecciones Aprendidas	276
Caso práctico 12. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Control geométrico de dovelas y cimbra autolanzable en viaducto segmental	277
Causa del Problema	277
Soluciones Propuestas.....	277
1) Captura oblicua diaria con dron RTK y micro-ortos de caras de dovela	277
2) Medición de flecha/contra-flecha y cotas de coronación mediante secciones y ejes 3D	277
3) Integración con tablas de tesado y control de rotaciones (roll/pitch/yaw) de cada dovela	278
4) QA/QC y verificación independiente con estación total y nivelación de precisión	278
5) Flujo 4D/5D, cadena de custodia y seguridad.....	278
Consecuencias Previstas.....	279
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	279
Lecciones Aprendidas	280
Caso práctico 13. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Dossier probatorio de producción para un claim de plazo y mediciones	281
Causa del Problema	281
Soluciones Propuestas.....	281
1) Auditoría técnica y reconstrucción cronológica de campañas "Aire→Datos→Modelo"	281
2) Cubicaciones independientes y comparación plan-real por PK/5 m con umbrales de tolerancia....	282
3) Evidencias de transitabilidad y fuerza mayor: Δ DTM de viales, pendientes y roderas con correlación pluviométrica	282
4) Cadena de custodia, hash y sellado de tiempo; gobernanza de datos en CDE (ISO 19650)	282
5) Verificación independiente por tercero y dictamen pericial	283
6) Paquete de presentación para DRB/negociación: narrativa, anexos y simulación de preguntas.....	283
Consecuencias Previstas.....	283
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	284
Lecciones Aprendidas	285
Caso práctico 14. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA."	
Presentación ante DRB con evidencia fotogramétrica para resolver disputa de plazo y cubicaciones en obra internacional.....	286
Causa del Problema	286
Soluciones Propuestas.....	286
1) Estrategia de presentación y narrativa probatoria unificada	286
2) Reprocesado estandarizado de campañas UAV y paquete QA/QC con cadena de custodia	287
3) Carpeta de demostraciones reproducibles ("open file") y peritaje independiente	287
4) Visualizaciones de transitabilidad y correlación pluviométrica para EOT	287
5) Preparación de preguntas difíciles ("hot seat") y estándares de admisibilidad	287

6) Gestión de confidencialidad y versión pública/privada del expediente	288
Consecuencias Previstas.....	288
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	289
Lecciones Aprendidas.....	290
Caso práctico 15. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Decisión make-or-buy y ROI en programa multi-obra España-LatAm	291
Causa del Problema	291
Soluciones Propuestas.....	291
1) Internalización parcial: célula UAV corporativa para campañas regulares y urgentes (España)	291
2) Acuerdo marco de subcontratación (España-LatAm) con SLAs/KPIs y precios escalonados	291
3) Modelo mixto (recomendado): célula interna + acuerdo marco multi-región + QA independiente trimestral	292
Consecuencias Previstas.....	292
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	293
Lecciones Aprendidas.....	294
Caso práctico 16. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Estandarización de checklists y auditoría express de cumplimiento en un programa multi-obra	296
Causa del Problema	296
Soluciones Propuestas.....	296
1) Rediseño integral de checklists "pre-en-post vuelo" con enfoque HSE, metrología y compliance .	296
2) Plan de cartelería, rutas seguras y privacidad "by design" en obra activa	297
3) Registro documental reforzado y cadena de custodia "lista para auditoría"	297
4) Formación y simulacros operativos/auditoría para pilotos y jefes de obra	297
5) Digitalización de checklists y registros con integración a CDE.....	298
Consecuencias Previstas.....	298
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	298
Lecciones Aprendidas.....	299
Caso práctico 17. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Corrección geodésica integral por sesgo vertical en campañas UAV y re-liquidación de certificaciones.....	301
Causa del Problema	301
Soluciones Propuestas.....	301
1) Auditoría geodésica forense y bloqueo de versión ("freeze") en CDE	301
2) Reprocesado fotogramétrico con georreferenciación correcta y doble apoyo (RTK/PPK + GCPs limpios)	302
3) Transformación reprocesada→original para trazabilidad contable y simulación de impacto (€).....	302
4) Re-liquidación 5D y plan de continuidad con controles reforzados	302
Consecuencias Previstas.....	303
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	303
Lecciones Aprendidas.....	304
Caso práctico 18. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Automatización del paquete de certificación mensual con evidencias UAV y trazabilidad probatoria (CDE-ERP 5D) en programa España-LatAm.....	306
Causa del Problema	306
Soluciones Propuestas.....	306
1) Plantillas de entregables y nomenclatura ISO 19650 con metadatos obligatorios	306
2) Pipeline de procesamiento QA/QC con generación automática de hash, sellado de tiempo y firma	307
3) Conector CDE→ERP 5D para volúmenes e importes certificables	307
4) Cuadro de mandos de certificación con KPIs, BCF y control de versiones.....	307
5) Gobierno de datos y permisos (roles) con auditoría de accesos	308
Consecuencias Previstas.....	308

Resultados de las Medidas Adoptadas.....	308
Lecciones Aprendidas.....	309

Caso práctico 19. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Caso integral de autovía: movimientos de tierras, control 4D/5D y certificación con evidencia semanal311

Causa del Problema.....	311
Soluciones Propuestas.....	311
1) Captura mixta de corredor con ala fija + multirrotor RTK/PPK y campañas semanales sectorizadas	311
2) Flujo fotogramétrico-geodésico y QA/QC con verificación independiente	311
3) Cálculo de ΔDTM por PK/5 m, control de acopios y modelos de corte/relleno con referencias estables	312
4) Integración 4D/5D en CDE y tablero ejecutivo con SPI/CPI, curvas S y BCF	312
5) Protocolo HSE-operativo y privacidad en obra lineal.....	312
Consecuencias Previstas.....	313
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	313
Lecciones Aprendidas.....	314

Caso práctico 20. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Caso integral en planta fotovoltaica: replanteo, acopios y accesos con integración 4D/5D316

Causa del Problema.....	316
Soluciones Propuestas.....	316
1) Replanteo base y as-built fotogramétrico de filas y bancadas	316
2) Control de acopios e inventarios con volumetría y visión por ordenador.....	316
3) Cartografía de transitabilidad y drenaje con ΔDTM, pendientes y "rutting"	317
4) Seguimiento de zanjas/cableado y cruces con evidencia certificable	317
5) Integración 4D/5D y paquete de certificación con cadena de custodia	317
Consecuencias Previstas.....	318
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	318
Lecciones Aprendidas.....	319

Caso práctico 21. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." As-built estructural y fachadas en edificio en altura con integración BIM 4D/5D y control de tolerancias321

Causa del Problema.....	321
Soluciones Propuestas.....	321
1) Captura multiescala con dron RTK/PPK y micro-ortos de detalle.....	321
2) Control metrológico de estructura: plomos, cotas y flechas de losa.....	322
3) Validación de reservas MEP y huecos críticos con micro-ortos y verificación cruzada TLS ligera	322
4) Seguimiento de fachada unitizada: alineación, planeidad y juntas	322
5) Integración BIM 4D/5D, CDE y cadena de custodia probatoria	323
6) Operación HSE y privacidad en entorno urbano.....	323
Consecuencias Previstas.....	323
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	323
Lecciones Aprendidas.....	325

Caso práctico 22. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Operación multi-obra en terminal portuaria y cantera: acopios, conciliación con básculas y seguridad HSE con UAV RTK/LiDAR326

Causa del Problema.....	326
Soluciones Propuestas.....	326
1) Campañas UAV combinadas (RGB/RTK + LiDAR) por tipología de acopio y entorno	326
2) Modelo metrológico de acopios y banco de densidades/humedades por material	327
3) Conciliación triple (inventario-entradas-salidas) e integración CDE→ERP 5D.....	327
4) Operación HSE y compliance portuario: geocercas, permisos y rutas seguras	327
5) Verificación independiente y QA/QC volumétrico.....	328

Consecuencias Previstas.....	328
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	328
Lecciones Aprendidas.....	330

Caso práctico 23. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Casuística rápida de producción: 10 minicasos "problema→solución" con evidencia UAV331

Causa del Problema.....	331
Soluciones Propuestas.....	331
1) Retrabajos por tolerancias de taludes y cajeos (sobreexcavación/infraexcavación)	331
2) Falta de cobertura/solape en ortomosaico	331
3) Superficies brillantes/agua y reflejos.....	331
4) Interferencias y viento: geometría debilitada	331
5) Acopios irregulares y contornos mal definidos.....	332
6) Privacidad en entorno urbano/industrial	332
7) GSD inadecuado frente a tolerancia de obra.....	332
8) Pérdida intermitente de RTK/PPK y georreferenciación débil.....	332
9) Sombras largas y falta de textura en estructura/fachada	332
10) Densidades de material desactualizadas en acopios	332
Consecuencias Previstas.....	333
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	333
Lecciones Aprendidas.....	335

Caso práctico 24. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Benchmarks y KPIs corporativos para producción con drones en obra336

Causa del Problema.....	336
Soluciones Propuestas.....	336
1) Diccionario corporativo de KPIs y tolerancias por disciplina	336
2) Normalización/estratificación por tipología y contexto	337
3) Protocolo de muestreo y verificación independiente	337
4) Pipeline de datos y tablero corporativo (CDE→KPIs→ERP 5D).....	337
5) SLAs/penalizaciones y bonus por desempeño	338
6) Formación, clínicas de benchmark y auditoría semestral.....	338
7) Roadmap de mejora continua	338
Consecuencias Previstas.....	338
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	339
Lecciones Aprendidas.....	340

Caso práctico 25. "DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA." Corredor ferroviario de 310 km: control EVLOS de plataforma, balasto y estructuras con "drone-in-a-box" y certificación 4D/5D.....341

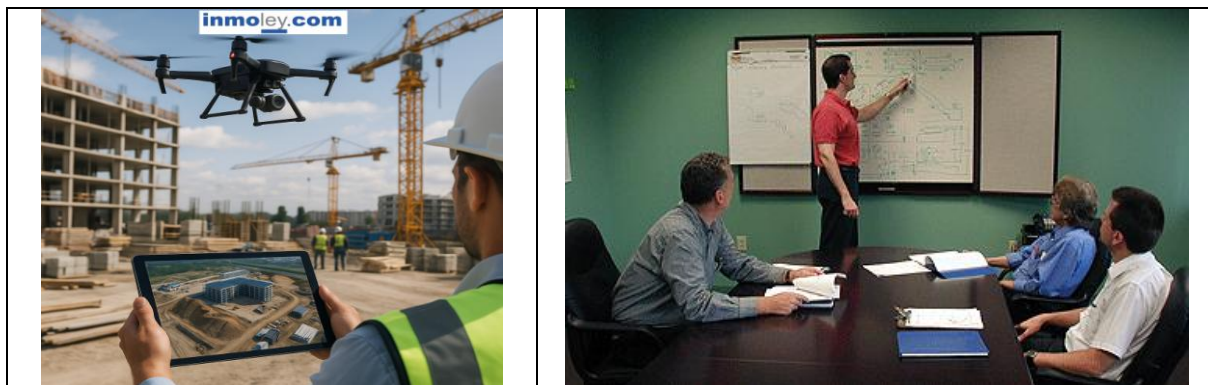
Causa del Problema.....	341
Soluciones Propuestas.....	341
1) Red de estaciones "drone-in-a-box" y operación EVLOS con handover por sectores	341
2) Geodesia lineal, RTK/PPK y red de GCPs/checkpoints con referencia por PK	342
3) Fotogrametría orientada a producción y Δ DTM por PK/5 m; control específico de balasto	342
4) Integración con BIM 4D/5D, CDE y cadena de custodia probatoria	342
5) HSE y compliance multi-entorno (rural/urbano/industrial) y privacidad "by design"	343
6) Panel ejecutivo y alertas: SPI/CPI, sobreexcavación, mermas y riesgo de penalización	343
7) Dossier probatorio para claims (si aplica)	343
Consecuencias Previstas.....	343
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	344
Lecciones Aprendidas.....	345

¿QUÉ APRENDERÁ?



- Fundamentos de drones y fotogrametría aplicados a la construcción
- Planificación y ejecución de vuelos en obra con seguridad HSE
- Integración de datos fotogramétricos en BIM 4D/5D y CDE
- Estrategias de georreferenciación con RTK, PPK y GCPs
- Procesado de ortomosaicos, nubes de puntos y modelos DSM/DTM
- Control de calidad QA/QC y validación metrológica de datos
- Medición de avances, cubicaciones y certificaciones mensuales
- Gestión de evidencias digitales y cadena de custodia probatoria
- Cumplimiento normativo y protección de datos en España y LatAm
- Análisis de costes, CAPEX/OPEX y cálculo de ROI del programa UAV
- Elaboración de informes técnicos, dashboards y KPIs de producción
- Preparación de dossiers para reclamaciones, arbitraje y peritaje

Introducción.



DRONES, FOTOGRAMETRÍA Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN OBRA: INNOVACIÓN Y PRECISIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN MODERNA

En un sector de la construcción cada vez más competitivo, la capacidad de controlar la producción con precisión milimétrica se ha convertido en una ventaja estratégica. Los drones y la fotogrametría ya no son herramientas futuristas, sino aliados indispensables para promotores, ingenieros y jefes de obra que buscan optimizar costes, plazos y calidad. La necesidad de disponer de datos fiables, en tiempo real y perfectamente georreferenciados es hoy una realidad incuestionable para cualquier proyecto de edificación o infraestructura.

La Guía Práctica de Drones, Fotogrametría y Control de Producción en Obra ofrece un enfoque exhaustivo y operativo, que abarca desde los fundamentos técnicos hasta la implantación de campañas UAV con integración en entornos BIM 4D/5D. Sus capítulos detallan la planificación de vuelos, el procesamiento de datos, la gestión de evidencias y la certificación mensual, además de incluir checklists, formularios y una amplia selección de casos prácticos que permiten aplicar de inmediato cada estrategia en la obra.

Con esta guía, el profesional aprenderá a mejorar la gestión de costes, a controlar con rigor las cubriciones y a anticiparse a desviaciones de plazos. Obtendrá las competencias necesarias para generar informes probatorios sólidos, reforzar la trazabilidad de los datos y asegurar la cadena de custodia, aspectos clave para la resolución de reclamaciones y para mantener la confianza de inversores y clientes.

Invertir en este conocimiento es dar un paso decisivo hacia la excelencia. La guía no solo aporta herramientas técnicas, sino que también impulsa una mentalidad innovadora que permite liderar proyectos con mayor eficacia y seguridad. Cada página es una oportunidad para transformar la manera de planificar, ejecutar y certificar las obras.

Actualícese, amplíe su perspectiva y conviértase en referente de un sector que demanda precisión y agilidad. Esta guía es la llave para dominar las tecnologías



que marcarán el futuro inmediato de la construcción. Adquiérala y lleve su gestión profesional al siguiente nivel.

