



CURSO/GUÍA PRÁCTICA GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?.....	25
Introducción.	26
PARTE PRIMERA.	28
Estrategia y gobierno del CDE para gemelos de obra y de activo	28
Capítulo 1: Propósito y alcance de los gemelos digitales de obra y de activo con CDE.....	28
1. Definiciones operativas y límites (obra vs activo)	28
a. Gemelo de obra (4D/5D, QA/QC) y gemelo operativo (O&M)	28
b. Casos de uso prioritarios por tipología de proyecto	29
c. Criterios de éxito medibles (plazo, coste, calidad, disponibilidad)	29
2. Arquitectura de información centrada en CDE	30
a. CDE como “fuente única de la verdad”	30
b. Integraciones núcleo: BIM, ERP, PLM, CMMS/EAM, BMS/SCADA	30
c. Políticas de versionado, auditoría y retención	31
3. Modelo de gobierno del dato (data governance).....	31
a. Comité de datos, roles y responsabilidades (RACI)	31
b. Propiedad, custodios y patrocinio ejecutivo	32
c. Gestión del cambio y comunicación	32
4. Requisitos de información: EIR/AIR alineados a obra→O&M.....	33
a. Objetivos, preguntas clave y KPIs del EIR/AIR	33
b. Entregables, formatos y niveles de verificación	33
c. Criterios de aceptación y evidencias	34
5. Estrategia de madurez y hoja de ruta.....	34
a. Estado actual, brechas y quick wins	34
b. Fases de despliegue y escalado	34
c. Métricas de madurez y revisiones periódicas.....	35
6. Marco normativo y buenas prácticas (aplicación internacional).....	35
a. ISO 19650 (gestión de la información) orientada a handover	35
b. Principios de ISO 55000 (activos) e ISO 41001 (instalaciones), enfoque práctico	36
c. Interoperabilidad abierta e independencia de proveedor	36
Capítulo 2: Plan CDE y políticas operativas para obra→activo	37
1. Plan CDE (estructura, carpetas, metadatos y nomenclatura)	37
a. Taxonomías, códigos y estados de revisión	37
b. Permisos, visibilidad y segregación por rol	38
c. Trazabilidad y logs	38
2. Flujos de trabajo críticos en CDE.....	39
a. RFIs, submittals, cambios y aprobaciones	39
b. NCRs, punch list y cierre	39
c. Versionado as-built y publicación controlada	40
3. Calidad de la información (Data Quality).....	40
a. Controles automáticos y validaciones	40

b. Reglas de completitud, unicidad y consistencia	40
c. Alertas y remediación	41
4. Seguridad, privacidad y continuidad	41
a. Backups, recuperación y continuidad de negocio	41
b. Segregación de entornos (obra, preproducción, producción)	42
c. Protección de secretos y credenciales	42
5. Integración de proveedores y subcontratas	42
a. Onboarding, formación y guías de uso	42
b. Requisitos de entrega y SLAs de datos	43
c. Penalizaciones y bonos por cumplimiento	43
6. Indicadores operativos del CDE	43
a. Tiempos de ciclo por flujo (aprobaciones, RFIs)	43
b. Cumplimiento de estándares de metadatos	44
c. Uso efectivo por rol y unidad de obra	44
PARTE SEGUNDA.....	45
Interoperabilidad y modelos para handover a O&M	45
Capítulo 3: Estructuración de la información (LOIN/LOI/LOD) y catálogos.....	45
1. LOIN: necesidades de información por caso de uso	45
a. Plazo/coste, QA/QC y commissioning	45
b. O&M: mantenimiento, energía y disponibilidad	46
c. Evidencias regulatorias y auditoría	46
2. LOI/LOD orientados al handover	47
a. Definición por disciplina y fase	47
b. Requisitos mínimos por sistema/equipo	47
c. Criterios de validación previo a entrega	47
3. Catálogos y plantillas de atributos	48
a. Atributos comunes (fabricante, modelo, serie, vida útil)	48
b. Atributos específicos (energía, criticidad, repuestos)	48
c. Jerarquías y relaciones (sistema–equipo–componente)	49
4. Identificación única y persistente	49
a. GUID, códigos legibles y códigos de barras/QR/RFID	49
b. Reglas de cambio y obsolescencia	49
c. Mapeo de equivalencias entre sistemas	50
5. Gestión de versiones y estados.....	50
a. Emisión, revisión, aprobación y publicado	50
b. Congelados para commissioning y O&M.....	50
c. Auditoría de cambios.....	51
6. Librerías y objetos parametrizados	51
a. Librería controlada de familias/objetos	51
b. Reglas de uso y actualización	51
c. Control de calidad previo a obra	52
Capítulo 4: Interoperabilidad práctica: IFC, BCF y COBie en el CDE	53
1. IFC para federación y coordinación	53
a. Estructura IFC relevante para obra y O&M	53

b. Vistas/Model View Definitions aplicables	54
c. Recomendaciones de exportación/recepción	54
2. BCF para incidencias y coordinación técnica.....	55
a. Flujos RFI/NCR/punch con BCF	55
b. Asignación, estados y métricas de resolución	55
c. Evidencias en CDE	55
3. COBie para registro de activos.....	56
a. Tablas clave (Component, System, Type, Spare, Warranty).....	56
b. Validación y verificación automática.....	56
c. Importación a CMMS/EAM.....	57
4. APIs e integraciones	57
a. Conectores con ERP, CMMS/EAM y BMS/SCADA.....	57
b. Webhooks y eventos del CDE.....	58
c. Gobernanza de APIs y límites de uso	58
5. Pruebas de interoperabilidad	58
a. Entorno de pruebas y datos sintéticos	58
b. Casos de prueba por flujo	59
c. Informe de conformidad.....	59
6. Gestión de incidencias de integración	59
a. Catálogo de errores frecuentes.....	59
b. Procedimientos de soporte y escalado	60
c. Lecciones aprendidas.....	60
PARTE TERCERA.	61
Seguimiento de plazo y coste (4D/5D, Valor Ganado)	61
Capítulo 5: Planificación 4D conectada al CDE y control de obra	61
1. Estructura de planificación y EDT/WBS	61
a. Paquetes de trabajo y relación con el modelo	61
b. Curvas S previstas y reales	62
c. Hitos contractuales y de commissioning	62
2. Vinculación 4D (modelo–tareas).....	63
a. Métodos de enlace y mantenimiento	63
b. Revisión visual de progreso	63
c. Control de cambios.....	63
3. Captura de avance	64
a. Partes de trabajo y producción	64
b. Evidencias (fotos, escáner, drones).....	64
c. Conciliación con mediciones.....	64
4. Alertas tempranas de desvíos.....	65
a. Tolerancias y umbrales	65
b. Causas raíz y acciones correctivas	65
c. Replanificación.....	65
5. Medición de productividad.....	66
a. Rendimientos por cuadrilla/equipo.....	66
b. SPI de plazo por área/actividad.....	66
c. Benchmark interno	67

6. Reporte y tablero de plazo	67
a. KPIs (SPI, hitos, camino crítico).....	67
b. Narrativa de riesgos	67
c. Semáforos por disciplina/zona	68
Capítulo 6: 5D, control de coste y Valor Ganado (EVM).....	69
1. Estructura de costes y presupuestos	69
a. CBS/estructura contable y vínculos con WBS.....	69
b. Costes directos/indirectos y contingencias	69
c. Versiones y baseline	70
2. 5D: mediciones y costes vinculados al modelo	70
a. Reglas de medición y QA de cantidades.....	70
b. Precios unitarios y catálogos	71
c. Actualización por cambios	71
3. Valor Ganado: SPI/CPI y proyecciones	71
a. PV, EV, AC y cálculo de índices	71
b. EAC/ETC y escenarios	72
c. Visualización y tendencias	72
4. Gestión de cambios y claims.....	73
a. Solicitudes, aprobaciones y registro	73
b. Impacto en plazo/coste	73
c. Evidencias en CDE	73
5. Control de caja y certificaciones	74
a. Certificación de obra y hitos de pago	74
b. Cash flow de proyecto.....	74
c. Alarmas de desviación	74
6. Reporte financiero de obra.....	75
a. KPIs (CPI, variación de coste, contingencia)	75
b. Riesgos y provisiones.....	75
c. Comité de seguimiento.....	75
PARTE CUARTA.	76
QA/QC en obra soportado por CDE	76
Capítulo 7: Plan de QA/QC, inspecciones y trazabilidad	76
1. Plan maestro de calidad	76
a. Estructura, responsabilidades y checklists	76
b. Puntos de inspección y test (ITPs)	77
c. Requisitos documentales.....	77
2. Inspecciones por disciplina	78
a. Civil/estructura	78
b. Arquitectura/mep	78
c. Sistemas especiales	79
3. Trazabilidad de materiales y lotes	79
a. Certificados, EPD y fichas técnicas	79
b. Lotes, ubicaciones y series	80
c. Reemplazos y obsolescencia.....	80

4. No conformidades (NCR) y acciones.....	80
a. Registro, clasificación y tratamiento	80
b. Plazos y responsables	81
c. Cierre y verificación	81
5. Punch list y precomisionado	81
a. Generación en campo (móvil/BCF).....	81
b. Priorización y rutas de cierre.....	82
c. Aceptación parcial por zonas.....	82
6. Indicadores de calidad	82
a. Tiempos de ciclo y reincidencias	82
b. % NCR abiertas/cerradas.....	83
c. Coste de la no calidad	83
Capítulo 8: Documentación técnica, submittals y aprobaciones	84
1. Submittals y catálogos	84
a. Tipos, contenido y formatos.....	84
b. Flujos de aprobación en CDE.....	85
c. SLA de respuesta.....	85
2. Planos y modelos “para construcción”	86
a. Control de versiones y sellos	86
b. Publicación controlada	86
c. Auditoría de cambios.....	86
3. Manuales y procedimientos	87
a. Procedimientos de montaje/ensayo	87
b. Fichas de seguridad	87
c. Instrucciones O&M provisionales	88
4. Captura de evidencias	88
a. Foto/vídeo georreferenciados.....	88
b. Checklists digitales	88
c. Firmas y certificados	89
5. Coordinación técnica.....	89
a. Colisiones y conflictos.....	89
b. Reuniones y minutas en CDE.....	89
c. Seguimiento de acuerdos	90
6. Cierre de documentación de obra.....	90
a. Entregables por disciplina	90
b. Verificación de completitud	91
c. Publicación para handover	91
PARTE QUINTA.	92
Commissioning (Cx) y aceptación	92
Capítulo 9: Plan de commissioning, FAT/SAT y pruebas integradas	92
1. Alcance del Cx por sistemas.....	92
a. Objetivos y criterios de aceptación	92
b. Dependencias entre sistemas	93
c. Riesgos críticos.....	93

2. Protocolos de prueba	94
a. FAT de fábrica y SAT en sitio	94
b. Pruebas integradas funcionales	94
c. Registros y resultados	94
3. Preparación y prerequisites	95
a. Check de precomisionado	95
b. Personal y equipos	95
c. Ventanas de prueba	96
4. Gestión de incidencias de Cx	96
a. Registro, clasificación y priorización	96
b. Repruebas y evidencias	96
c. Impacto en plazo/coste	97
5. Documentación y firmas	97
a. Protocolos, actas y certificados	97
b. Publicación en CDE	97
c. Aceptación condicional	98
6. KPIs de commissioning	98
a. % pruebas superadas a la primera	98
b. Tiempo medio de resolución	98
c. Desviaciones por sistema	99
Capítulo 10: Handover técnico y cierre de obra	100
1. Paquete de handover	100
a. As-built federado verificado	100
b. Asset register y COBie completos	101
c. Manual digital inicial	101
2. Formación y transferencia	102
a. Formación por rol (O&M, seguridad, energía)	102
b. Sesiones con evidencias	102
c. Evaluación de competencias	102
3. Plan de garantía y arranque	103
a. Periodo de asistencia post-obra	103
b. SLAs de respuesta	103
c. Plan de repuestos críticos	103
4. Auditoría de handover	104
a. Checklist de aceptación	104
b. Ensayos finales y mediciones base	104
c. Informe de conformidad	104
5. Cambio de responsable (obra→O&M)	105
a. Matriz RACI de transición	105
b. Accesos y permisos en CDE	105
c. Custodia de datos y continuidad	105
6. Lecciones aprendidas	106
a. Técnicas, de proceso y de datos	106
b. Acciones de mejora	106
c. Reutilización de plantillas	106

PARTE SEXTA.	107
O&M, gemelo operativo e integraciones	107
Capítulo 11: Asset register, jerarquías y mínimos de datos para O&M	107
1. Jerarquía de activos (site-área-sistema-equipo)	107
a. Codificación y etiquetado físico	107
b. Criticidad y modos de fallo	108
c. Enlace con CMMS/EAM	108
2. Datos mínimos por tipo de equipo	109
a. Identificadores y técnicos	109
b. Garantías y repuestos	109
c. Planes de mantenimiento iniciales	110
3. Carga y verificación de datos	110
a. Importaciones (COBie/APIs)	110
b. Controles de calidad	110
c. Evidencias de validación	111
4. Documentación O&M viva	111
a. Manual digital y revisiones	111
b. Relación con cambios de activo	111
c. Archivo legal y de seguridad	112
5. KPIs de O&M	112
a. Disponibilidad, MTBF, MTTR	112
b. Coste de mantenimiento y energía	112
c. Backlog y cumplimiento de órdenes	113
6. Gobernanza en operación	113
a. Roles y permisos	113
b. Gestión de cambios	113
c. Auditorías periódicas	113
Capítulo 12: Integraciones con CMMS/EAM, BMS/SCADA e IoT	115
1. Flujos CDE↔CMMS/EAM	115
a. Altas/bajas/cambios de activos	115
b. Órdenes de trabajo y repuestos	116
c. Historial y trazabilidad	116
2. Integración con BMS/SCADA	116
a. Puntos, alarmas y tendencias	116
b. Eventos y mantenibilidad	117
c. Seguridad OT/IT	117
3. Plataformas IoT y data lake	118
a. Ingesta, almacenamiento y series temporales	118
b. Retención y costes	118
c. Calidad y etiquetas	119
4. APIs y conectores	119
a. Catálogo y contratos de API	119
b. Monitorización de integraciones	119
c. Pruebas de regresión	119

5. Modelos analíticos	120
a. Reglas, umbrales y ML opcional	120
b. Casos de uso priorizados	120
c. Validación y ROI	121
6. Continuidad y resiliencia	121
a. Redundancias y failover	121
b. Planes de contingencia	121
c. Ensayos periódicos.....	122
PARTE SÉPTIMA.	123
Sensores e IoT en obra y en operación	123
Capítulo 13: Sensores en obra para calidad, seguridad y progreso	123
1. Casos de uso de obra	123
a. Curado, humedad, vibraciones.....	123
b. CO ₂ /partículas y HSE	124
c. Geolocalización/anticolisión	124
2. Selección tecnológica y redes	125
a. Tipos de sensor y precisión.....	125
b. Redes (LTE/LoRaWiFi).....	125
c. Autonomía y mantenimiento.....	126
3. Instalación y calibración	126
a. Procedimientos y responsables	126
b. Calibraciones y certificaciones	127
c. Verificación en CDE.....	127
4. Captura y calidad de datos	127
a. Frecuencias y buffers.....	127
b. Validaciones y limpieza	128
c. Sincronización temporal	128
5. Dashboards de obra basados en sensores	128
a. Indicadores de seguridad/ambiente	128
b. Alarmas y workflows	129
c. Informes diarios/semana	129
6. Desmontaje y traspaso.....	130
a. Cierre de proyecto y archivo	130
b. Reutilización de sensores	130
c. Lecciones aprendidas.....	130
Capítulo 14: Sensores en operación para condición, energía y confort	132
1. Casos de uso de O&M	132
a. Condition-based maintenance.	132
b. Eficiencia energética.....	133
c. Confort y calidad de aire.....	133
2. Arquitectura técnica	134
a. Gateways y protocolos (BACnet/Modbus).	134
b. Time-series y almacenamiento.	134
c. Ciberseguridad OT.	134

3. Métricas y consignas	135
a. Disponibilidad y alarmas críticas.	135
b. KPI energéticos (kWh/m ² , PUE).....	135
c. Confort (PMV/PPD).....	136
4. Estrategia de alarmas.....	136
a. Priorización y escalados.....	136
b. Fatiga de alarmas.	136
c. Mejora continua.	137
5. Integración con gemelo operativo	137
a. Enriquecimiento del modelo.	137
b. Vistas por sistema/espacio.....	137
c. Simulación y “what-if”.	138
6. Medición y verificación de ahorros	138
a. Baselines y periodos comparables.	138
b. Ajustes por clima/uso.....	138
c. Informe M&V.....	139
PARTE OCTAVA.	140
Dashboards y analítica para dirección, obra y O&M.....	140
Capítulo 15: Cuadros de mando y KPIs para control integral	140
1. Diseño de dashboards por audiencia	140
a. Dirección (plazo/coste/calidad).....	140
b. Obra (producción y riesgos)	141
c. O&M (disponibilidad y energía).....	141
2. Modelo de datos y semántica.....	142
a. Catálogo de KPIs y definiciones	142
b. Orígenes y linaje de datos	142
c. Reglas de cálculo y periodicidad	143
3. Visualizaciones efectivas	143
a. Curvas S, SPI/CPI, burn-down	143
b. Mapas de calor y andon	144
c. Alertas y storytelling	144
4. Automatización de informes	144
a. Publicaciones programadas.....	144
b. Versiones y firmas digitales.....	145
c. Archivo y trazabilidad	145
5. Control y auditoría de KPIs	145
a. Verificación y validación	145
b. Gestión de cambios de fórmula	146
c. Ensayos de consistencia.....	146
6. Ética y transparencia del dato	146
a. Accesibilidad por rol	146
b. Contexto y notas metodológicas	147
c. Evidencias y anexos	147
PARTE NOVENA.	148

Contratación, SLAs y riesgos en datos y sistemas	148
Capítulo 16: Cláusulas, SLAs y ciberseguridad para CDE y gemelos.....	148
1. Cláusulas de datos y propiedad intelectual	148
a. Acceso, uso y reuso	148
b. Reversibilidad y fin de contrato.....	149
c. Licencias de librerías/objetos	149
2. SLAs de plataforma y soporte	150
a. Disponibilidad, tiempos de respuesta	150
b. Backup y RTO/RPO	150
c. Mantenimiento y actualizaciones	151
3. Riesgos y seguros	151
a. Riesgo tecnológico/operacional	151
b. Responsabilidades y límites.....	151
c. Ciberseguro (OT/IT)	152
4. Cumplimiento y privacidad.....	152
a. Datos personales y metadatos	152
b. Registros y auditorías	153
c. Retención y borrado seguro	153
5. Planes de contingencia.....	153
a. Manual de continuidad	153
b. Escenarios y simulacros.....	154
c. Restauración y comunicación	154
6. Evaluación de proveedores	154
a. Criterios técnicos y de seguridad.....	154
b. Due diligence de integraciones	155
c. Pruebas de aceptación del servicio	155
PARTE DÉCIMA.	156
Implantación, personas y cambio	156
Capítulo 17: Organización, competencias y roadmap 12–24 meses	156
1. Roles y capacidades por fase	156
a. Obra, commissioning y O&M.....	156
b. Data stewards y administradores CDE.	157
c. Integradores y analistas.....	157
2. Formación y certificaciones	158
a. Plan por rol y itinerarios.	158
b. Evaluaciones y reciclaje.	158
c. Biblioteca de microcontenidos.	159
3. Pilotos y escalado	159
a. Selección de pilotos y KPIs.....	159
b. Criterios de éxito y réplica.....	159
c. Gestión del portafolio.....	160
4. Presupuesto y financiación.....	160
a. CAPEX/OPEX del programa.....	160
b. ROI esperado y business case.....	160

c. Optimización de licencias.	161
5. Gestión del cambio	161
a. Patrocinio y comunicación.	161
b. Redes de champions.....	161
c. Métricas de adopción.	162
6. Revisión y mejora continua	162
a. Auditorías de proceso y datos.	162
b. Roadmap anual.....	163
c. Innovación incremental.	163
PARTE UNDÉCIMA.	164
HERRAMIENTAS PARA GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE. CHECKLISTS Y FORMULARIOS	164
Capítulo 18: Herramientas CDE y QA/QC en obra (plantillas y flujos)	164
FORMULARIO Nº 18.01 — Plan CDE, matriz RACI y política de metadatos	164
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	164
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	165
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	165
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	165
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	166
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	166
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	166
Sección 8. Evidencias y referencias	166
FORMULARIO Nº 18.02 — RFIs, submittals, cambios y minutas en CDE	167
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	167
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	167
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	167
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	168
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	168
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	168
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	168
Sección 8. Evidencias y referencias	168
CHECKLIST Nº 18.03 — ITPs y checklists QA/QC por disciplina	169
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	169
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	169
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	169
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	169
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	170
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	170
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	170
Sección 8. Evidencias y referencias	170
FORMULARIO Nº 18.04 — Registro de no conformidades (NCR) y punch list.....	170
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	170
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	171
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	171
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	171
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	172
FORMULARIO Nº 18.05 — Captura de evidencias en campo, firma digital y archivo legal	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	173
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	173
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
CHECKLIST Nº 18.06 — Cuadros de mando operativos de obra y SLA internos	174
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 19: Herramientas de plazo/coste y Valor Ganado (4D/5D, reporting)	176
FORMULARIO Nº 19.01 — Estructuras WBS/CBS y plantillas de presupuesto	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	178
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	178
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	178
Sección 8. Evidencias y referencias	178
FORMULARIO Nº 19.02 — Medición 5D y control de cambios	179
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	179
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	180
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	180
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	180
Sección 8. Evidencias y referencias	180
FORMULARIO Nº 19.03 — Valor Ganado (EVM), SPI/CPI y proyecciones	180
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	181
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	181
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)	182
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	182
Sección 8. Evidencias y referencias	182
FORMULARIO Nº 19.04 — Certificaciones y cash flow	182

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	182
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	183
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	183
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 19.05 — Gestión de cambios, claims y disputas.....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	184
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

CHECKLIST Nº 19.06 — Pack de reporting ejecutivo (dirección/obra/finanzas).....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

Capítulo 20: Herramientas de commissioning, handover y O&M (COBie/asset register, M&V)188

FORMULARIO Nº 20.01 — Protocolos Cx: FAT/SAT y pruebas integradas.....188

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	188
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	189
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	189
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	189
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	189
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	189
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	190
Sección 8. Evidencias y referencias	190

CHECKLIST Nº 20.02 — Handover: as-built y checklist de aceptación190

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	191
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	191
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	191
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	191
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	191
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	192
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	192
Sección 8. Evidencias y referencias	192

FORMULARIO Nº 20.03 — Asset register y COBie listos para CMMS/EAM192

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	192
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	193

Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	193
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	193
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	194
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	194
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	194
Sección 8. Evidencias y referencias	194
FORMULARIO Nº 20.04 — Manual digital y paquete de formación O&M.....	194
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	195
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	195
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	195
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	195
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	195
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	196
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	196
Sección 8. Evidencias y referencias	196
CHECKLIST Nº 20.05 — KPIs de operación e informe mensual O&M	196
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	197
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	197
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	197
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	197
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	197
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	197
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	198
Sección 8. Evidencias y referencias	198
FORMULARIO Nº 20.06 — Medición y Verificación (M&V) de ahorros	198
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	198
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	199
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	199
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	199
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	199
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	199
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	200
Sección 8. Evidencias y referencias	200
PARTE DUODÉCIMA.	201
Práctica para gemelos digitales de obra y de activo con CDE	201
Capítulo 21: Casos sectoriales con KPIs y lecciones aprendidas (España y Latinoamérica) 201	
1. Hospital de alta complejidad (España)	201
a. CDE, QA/QC y Cx en sistemas críticos.....	201
b. Handover y CMMS/EAM	202
c. KPI: disponibilidad y energía.....	202
2. Puente e infraestructura vial (LatAm)	202
a. Sensores estructurales y gemelo operativo	202
b. Mantenimiento por condición	203
c. KPI: SPI/CPI y MTBF.....	203
3. Torre de oficinas (España)	203
a. 4D/5D y control de cambios	203
b. BMS/SCADA y confort	204

c. KPI: costes y ocupación.....	204
4. Planta industrial (LatAm).....	204
a. Commissioning integrado y seguridad OT	204
b. Integración con EAM y repuestos	205
c. KPI: OEE y consumo específico	205
5. Campus educativo (España).....	205
a. Portafolio en CDE y dashboards	205
b. Eficiencia energética y M&V.....	205
c. KPI: PUE/CUE y confort	206
6. Infraestructura urbana (LatAm)	206
a. Multicontratista y gobierno del dato	206
b. Interoperabilidad y SLAs.....	206
c. KPI: tiempos de ciclo y no calidad.....	207
Capítulo 22: Casos prácticos para gemelos digitales de obra y de activo con CDE	208
Caso práctico 1. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Migración a CDE y gemelo de obra en una rehabilitación con handover operativo mínimo viable.....	208
Causa del Problema	208
Soluciones Propuestas.....	208
1) Implantación de un CDE como "fuente única de la verdad"	208
2) Gemelo de obra 4D/5D conectado a planificación y presupuesto	209
3) Programa de QA/QC digital con ITPs, NCR y punch list	209
4) Handover operativo mínimo viable (COBie/asset register) e integración con CMMS.....	209
5) Sensores básicos post-obra para energía y confort (M&V)	209
6) Gestión del cambio y capacitación por roles	210
Presupuesto de Implantación (CAPEX/OPEX)	210
Consecuencias Previstas.....	210
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	211
Lecciones Aprendidas	212
Caso práctico 2. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Coordinación multicontratista y control de cambios en una planta industrial	213
Causa del Problema	213
Soluciones Propuestas.....	213
1) CDE reforzado con gobierno del dato multicontratista	213
2) Planificación 4D con línea de balance y 5D con EVM	213
3) Gestión de cambios y claims basada en evidencias	214
4) COBie temprano y pruebas de interoperabilidad EAM/BMS.....	214
5) Sensorización focalizada de obra y tablero HSE-Calidad	214
6) Contratación y adopción: SLAs de datos y bonos/penalizaciones	214
Consecuencias Previstas.....	215
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	215
Lecciones Aprendidas	216
Caso práctico 3. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Submittals, commissioning y handover con BMS/SCADA en una torre de oficinas	218
Causa del Problema	218
Soluciones Propuestas.....	218
1) Reencuadre del EIR/AIR y LOIN orientados a obra→O&M	218
2) Gestión integral de submittals y planos en CDE con SLAs	218
3) Programa de QA/QC digital en fachada y MEP	218

4) Commissioning (Cx) estructurado: FAT/SAT y pruebas integradas.....	219
5) COBie por lotes y asset register temprano con importación a CMMS	219
6) Integración BMS/SCADA↔CDE/CMMS e ingeniería de datos OT	219
7) Capacitación por rol e incentivos vinculados a datos	219
Consecuencias Previstas.....	220
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	220
Lecciones Aprendidas.....	221

Caso práctico 4. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Gemelo operativo de un puente atirantado y tramo vial con mantenimiento por condición222

Causa del Problema	222
Soluciones Propuestas.....	222
1) CDE como repositorio maestro y verificación as-built/COBie	222
2) Sensorización estructural y ambiental para SHM (Structural Health Monitoring)	222
3) Modelos analíticos por reglas/umbrales y pruebas dinámicas de referencia	223
4) Integración CDE↔EAM/SCADA y tablero de operación	223
5) Programa de inspección digital y QA/QC con BCF	223
6) Gobierno del dato y ciberseguridad OT/IT	223
7) Capacitación y simulacros de evento extremo	224
Consecuencias Previstas.....	224
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	225
Lecciones Aprendidas.....	226

Caso práctico 5. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Gemelo hospitalario: QA/QC, commissioning clínico y handover operativo en un hospital de alta complejidad227

Causa del Problema	227
Soluciones Propuestas.....	227
1) Reencuadre del EIR/AIR y LOIN hospitalario orientado a O&M.....	227
2) Plan CDE hospitalario: submittals críticos, publicación controlada y auditoría	227
3) QA/QC digital en salas limpias, PCI y gases medicinales	228
4) Commissioning clínico estructurado (FAT/SAT) y pruebas integradas.....	228
5) COBie por lotes, asset register y pruebas de importación a CMMS.....	228
6) Integración BMS/SCADA↔CDE/CMMS e ingeniería de datos OT	228
7) Sensorización focalizada y M&V de IAQ/energía en áreas críticas	229
8) Capacitación por rol e incentivos vinculados a datos	229
Consecuencias Previstas.....	229
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	230
Lecciones Aprendidas.....	231

Caso práctico 6. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Gemelo operativo de campus educativo: portafolio CDE, estandarización BMS y M&V de energía y confort232

Causa del Problema	232
Soluciones Propuestas.....	232
1) Programa CDE de portafolio y "fuente única de la verdad"	232
2) Handover retroactivo ("backfill") y COBie utilizable.....	232
3) Integración BMS/SCADA↔CDE/CMMS y normalización de etiquetas	233
4) Submetering y sensorización de confort con M&V	233
5) Obras de verano con 4D/5D y control de cambios	233
6) Dashboards por audiencia y contrato de desempeño	233
7) Gobierno del dato y ciberseguridad OT/IT	233
Consecuencias Previstas.....	234
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	234
Lecciones Aprendidas.....	235

Caso práctico 7. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Gemelo de centro de datos: integración DCIM–CDE–EPMS/BMS para disponibilidad, PUE y ampliación sin paradas236

Causa del Problema	236
Soluciones Propuestas.....	236
1) Plan CDE para instalaciones críticas y gobierno del dato	236
2) Integración DCIM/EPMS/BMS↔CDE/CMMS y diccionario de puntos OT.....	236
3) 4D/5D para ampliación en sitio vivo y control de cambios	237
4) QA/QC digital para unifilares, térmico y estanqueidad	237
5) Commissioning continuo e IST (Integrated Systems Testing)	237
6) Asset register y COBie para equipos facility y TI.....	237
7) Analítica de eficiencia (PUE/WUE) y M&V de medidas	237
8) Ciberseguridad OT/IT y continuidad	238
Consecuencias Previstas.....	238
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	239
Lecciones Aprendidas	240

Caso práctico 8. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Gemelo aeroportuario: SATE, BMS/SCADA y AODB integrados para apertura sin retrasos241

Causa del Problema	241
Soluciones Propuestas.....	241
1) Plan CDE aeroportuario con gobierno multicontratista	241
2) EIR/AIR y LOIN/LOI específicos para SATE, seguridad y pasarelas.....	241
3) 4D/5D en "zona estéril" y control de cambios.....	242
4) QA/QC digital para EDS/transportadores/pasarelas y seguridad	242
5) Commissioning por cascada y IST con evidencia en CDE	242
6) COBie por lotes e importación a CMMS/EAM	242
7) Integración AODB↔CDE↔BMS/SCADA↔CMMS y data lake de series temporales.....	242
8) Sensorización focalizada y M&V de colas/energía/confort	243
9) Capacitación por rol y contrato de desempeño ligado a datos	243
Consecuencias Previstas.....	243
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	244
Lecciones Aprendidas	245

Caso práctico 9. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Gemelo GMP para planta farmacéutica: BMS/EMS, LIMS e integridad de datos ALCOA+.....246

Causa del Problema	246
Soluciones Propuestas.....	246
1) EIR/AIR GMP y LOIN orientado a operación regulada	246
2) Plan CDE GxP con control de cambios, firmas electrónicas y auditoría.....	246
3) QA/QC digital y trazabilidad de lotes, calibraciones y materiales	247
4) Commissioning & Qualification integrado (DQ/IQ/OQ/PQ) con matriz de trazabilidad.....	247
5) Integración BMS/EMS↔LIMS/CMMS y data historian GMP	247
6) Sensorización focalizada de IAQ y M&V energético en salas críticas	247
7) Gobierno del dato e integridad (ALCOA+)	248
8) Capacitación por rol y contrato de desempeño vinculado a datos	248
Consecuencias Previstas.....	248
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	249
Lecciones Aprendidas	250

Caso práctico 10. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Terminal de contenedores: integración TOS–CDE–SCADA para productividad, energía y seguridad operacional251

Causa del Problema	251
Soluciones Propuestas.....	251

1) Plan CDE portuario como "fuente única de la verdad"	251
2) Integración TOS↔CDE↔EAM/CMMS y SCADA/PLC	251
3) 4D/5D para ampliación en operación (sitio vivo) y libro de cambios	252
4) QA/QC digital en grúas, subestaciones y reefer racks	252
5) Commissioning por cascada e IST operativo	252
6) Sensorización y M&V: condición, energía y operación	252
7) Dashboards por audiencia y contrato de desempeño	252
8) Gobierno del dato y ciberseguridad OT/IT	253
9) Capacitación por rol y red de champions	253
Consecuencias Previstas	253
Resultados de las Medidas Adoptadas	254
Lecciones Aprendidas	255
Caso práctico 11. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Normalización del asset register y jerarquías O&M en una planta de proceso ligera	256
Causa del Problema	256
Soluciones Propuestas	256
1) Definición de jerarquías y codificación única (tagging) de activos	256
2) Modelo de datos mínimos para O&M (LOIN/LOI por tipo de equipo)	256
3) Carga masiva controlada (COBie/APIs) y "golden record"	257
4) Verificación en campo (walkdown) y etiquetado físico	257
5) Documentación O&M viva y vínculo a cambios de activo	257
6) Integración CDE↔CMMS/EAM y flujos de altas/bajas/cambios	257
7) Cuadros de mando O&M y KPIs operativos	258
8) Gobierno del dato, formación y adopción	258
Consecuencias Previstas	258
Resultados de las Medidas Adoptadas	259
Lecciones Aprendidas	260
Caso práctico 12. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Integración CMMS/EAM, BMS/SCADA e IoT en un portafolio internacional con gobierno de APIs y seguridad OT	261
Causa del Problema	261
Soluciones Propuestas	261
1) Arquitectura de integración y CDE como "fuente única de la verdad"	261
2) Catálogo de APIs, contratos y gobernanza	261
3) Normalización de etiquetas OT y jerarquías de activos	262
4) Conectividad BMS/SCADA segura y "edge buffering"	262
5) Integración CMMS/EAM y "golden record" de activos	262
6) IoT focalizado y submetering para M&V	262
7) Estrategia de alarmas y workflows automáticos	262
8) Modelos analíticos (reglas + ML opcional) y casos de uso priorizados	263
9) Ciberseguridad OT/IT y continuidad (RTO/RPO)	263
10) Adopción, formación y contrato de desempeño	263
Consecuencias Previstas	264
Resultados de las Medidas Adoptadas	264
Lecciones Aprendidas	265
Caso práctico 13. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Sensorización de obra para calidad del hormigón, seguridad y control de progreso 4D	266
Causa del Problema	266
Soluciones Propuestas	266
1) Arquitectura IoT de obra integrada en el CDE	266
2) Sensores de madurez del hormigón y control de curado	266
3) Seguridad y HSE: calidad de aire, ruido y anticolidión UWB	266

4) Progreso 4D y mediciones con drones/escáner	267
5) Calidad del dato: calibración, sincronización y QA de series	267
6) Dashboards operativos y flujos automáticos en el CDE	267
7) Gestión del cambio y formación rápida en campo	267
8) Desmontaje y traspaso al gemelo operativo	267
Consecuencias Previstas	268
Resultados de las Medidas Adoptadas	268
Lecciones Aprendidas	269

Caso práctico 14. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Sensorización en operación para mantenimiento por condición, eficiencia energética y confort en un complejo mixto

.....	271
Causa del Problema	271
Soluciones Propuestas	271
1) Arquitectura técnica de sensorización y series temporales integrada con el CDE	271
2) Diccionario de puntos y normalización semántica (OT)	271
3) Sensorización de mantenimiento por condición (CBM) en equipos críticos	272
4) Submetering y medición térmica para M&V	272
5) Confort e IAQ con control por demanda	272
6) Estrategia de alarmas y workflows automáticos con CMMS/EAM	272
7) Reglas FDD (Fault Detection & Diagnostics) y analítica ligera	272
8) Integración con gemelo operativo (modelo/espacios/sistemas) y vistas "what-if"	273
9) Ciberseguridad OT/IT y continuidad	273
10) Gestión del cambio y capacitación por roles	273
Consecuencias Previstas	274
Resultados de las Medidas Adoptadas	274
Lecciones Aprendidas	275

Caso práctico 15. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Cuadros de mando ejecutivos y operativos para dirección, obra y O&M con gobierno de KPIs

.....	276
Causa del Problema	276
Soluciones Propuestas	276
1) Marco corporativo de KPIs con semántica y responsables	276
2) Modelo de datos y linaje (data lineage) conectado al CDE	276
3) Diseño de dashboards por audiencia (Dirección, Obra y O&M)	277
4) Umbrales y alertas tempranas (reglas y tolerancias)	277
5) Automatización de informes y firmas digitales	277
6) Control y auditoría de KPIs (calidad de la información)	277
7) Ética y transparencia del dato	278
8) Capacitación, adopción y contrato de desempeño	278
Consecuencias Previstas	278
Resultados de las Medidas Adoptadas	279
Lecciones Aprendidas	280

Caso práctico 16. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Cláusulas contractuales, SLAs y ciberseguridad para garantizar continuidad y reversibilidad del CDE y del gemelo digital

.....	281
Causa del Problema	281
Soluciones Propuestas	281
1) Adenda de propiedad intelectual y del dato (Data Ownership & IP)	281
2) Reversibilidad y fin de contrato (Exit Plan) con pruebas obligatorias	281
3) SLAs de plataforma con créditos y métricas verificables	282
4) Seguridad OT/IT y controles de acceso (Zero Trust)	282
5) Continuidad de negocio y recuperación ante desastres (BCP/DRP)	282
6) Contratos de API y gobernanza de integraciones	282

7) Auditorías, certificaciones y pruebas de seguridad	283
8) Gestión de incidentes y comunicación	283
9) Modelo económico, topes de precio y optimización de licencias	283
10) Ciberseguro y transferencia de riesgo	283
Consecuencias Previstas.....	284
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	284
Lecciones Aprendidas.....	285

Caso práctico 17. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Implantación 12–24 meses: organización, competencias y roadmap de programa corporativo

Causa del Problema	286
Soluciones Propuestas.....	286
1) Modelo organizativo y RACI corporativo (oficina del programa y Centro de Excelencia)	286
2) Roadmap 12–24 meses por olas (pilotos→escala)	286
3) Estándares corporativos: EIR/AIR, LOIN/LOI/LOD y Plan CDE	287
4) Itinerarios de formación y certificación por rol	287
5) Integración y gobierno de APIs (ERP, CMMS/EAM, BMS/SCADA, IoT)	287
6) Gestión del cambio y comunicación (personas y subcontratas)	287
7) Métricas de adopción y calidad de información (Data Quality)	287
8) "Kit de arranque" reutilizable (plantillas, objetos, scripts)	288
9) Gestión de riesgos del programa (personas, proveedor, seguridad).....	288
10) Mejora continua y revisión ejecutiva.....	288
Consecuencias Previstas.....	289
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	289
Lecciones Aprendidas.....	290

Caso práctico 18. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Paquete corporativo de herramientas CDE y QA/QC en obra: plantillas, flujos y control operativo

Causa del Problema	291
Soluciones Propuestas.....	291
1) CDE: Plan CDE, matriz RACI y política de metadatos	291
2) Formularios de flujo en obra (RFIs, submittals, cambios y minutas)	291
3) QA/QC: ITPs y checklists por disciplina integrados con BCF	292
4) No conformidades (NCR) y punch list con rutas de cierre	292
5) Captura de evidencias en campo: formularios móviles, firmas y archivo legal	292
6) Cuadros de mando operativos de obra	293
Consecuencias Previstas.....	293
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	294
Lecciones Aprendidas.....	295

Caso práctico 19. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Control 4D/5D y Valor Ganado en obra compleja con WBS/CBS unificadas y reporting EVM conectado al CDE

Causa del Problema	296
Soluciones Propuestas.....	296
1) Estructura WBS/CBS única y mapeo modelo–partida	296
2) 5D: reglas de medición auditables y QA de cantidades	296
3) 4D conectado al CDE y mantenimiento del enlace	297
4) EVM: PV/EV/AC y métricas SPI/CPI con linaje al CDE/ERP.....	297
5) Gestión de cambios y claims en el CDE con impacto EVM	297
6) Certificación y cash flow conectados a 5D/EVM.....	297
7) Data Quality: reglas, auditorías y formación EVM	297
Consecuencias Previstas.....	298
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	298
Lecciones Aprendidas.....	299

Caso práctico 20. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Commissioning, handover y M&V en una torre corporativa con COBie y manual digital300

Causa del Problema	300
Soluciones Propuestas.....	300
1) Protocolos de commissioning (Cx) por cascada con trazabilidad en CDE	300
2) Paquete de handover y checklist de aceptación de obra→O&M	300
3) Asset register y COBie listo para CMMS/EAM	301
4) Manual digital y formación por rol (O&M, energía, seguridad)	301
5) Integración BMS/SCADA↔CDE↔CMMS con diccionario de puntos	301
6) M&V de ahorro energético (IPMVP B/C) y dashboards de operación	301
7) Periodo de garantía y arranque (12 meses) con SLAs.....	301
8) Auditoría de handover y aceptación condicional	302
Consecuencias Previstas.....	302
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	303
Lecciones Aprendidas	304

Caso práctico 21. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Hospital de alta complejidad: CDE, QA/QC y commissioning con handover a CMMS/EAM y eficiencia energética305

Causa del Problema	305
Soluciones Propuestas.....	305
1) Plan CDE hospitalario y gobierno del dato.....	305
2) EIR/AIR y LOIN/LOI clínicos (obra→O&M).....	305
3) QA/QC digital con ITPs y BCF	306
4) Commissioning (FAT/SAT/Pruebas Integradas Funcionales) gobernado desde el CDE	306
5) COBie completo e importación a CMMS/EAM	306
6) Integración BMS/SCADA↔CDE↔CMMS y diccionario de puntos OT	306
7) Sensorización focalizada e IAQ en áreas críticas.....	307
8) Dashboards por audiencia (Dirección, Obra, O&M/Clínica)	307
9) Formación por rol y transición obra→O&M.....	307
10) M&V energético (IPMVP) y contrato de desempeño	307
Consecuencias Previstas.....	308
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	308
Lecciones Aprendidas	309

Caso práctico 22. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Viaducto atirantado: gemelo de obra y gemelo operativo con SHM, WIM y mantenimiento por condición.....311

Causa del Problema	311
Soluciones Propuestas.....	311
1) EIR/AIR y LOIN para obra→activo estructural	311
2) Plan CDE y gobierno del dato estructural	311
3) 4D/5D y control geométrico con nube de puntos	312
4) QA/QC digital para atirantado, soldaduras y hormigonado	312
5) Commissioning estructural (pruebas estáticas y modales) con prerequisites	312
6) SHM permanente integrado (gemelo operativo)	312
7) WIM (weigh-in-motion) y correlación tráfico-respuesta	313
8) Analítica estructural: FDD y modelos "what-if"	313
9) Asset register, COBie→CMMS/EAM y mantenimiento por condición	313
10) Ciberseguridad OT/IT y continuidad	313
Consecuencias Previstas.....	314
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	314
Lecciones Aprendidas	315

Caso práctico 23. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." 4D/5D, control de

cambios y confort operativo en una torre de oficinas de alta exigencia	317
Causa del Problema	317
Soluciones Propuestas.....	317
1) Plan CDE y EIR/AIR orientados a obra→operación.....	317
2) 4D conectado al CDE con mantenimiento del enlace.....	317
3) 5D y reglas de medición auditables	318
4) Gestión de cambios y claims con impacto 4D/5D/EVM.....	318
5) QA/QC digital y BCF por disciplina	318
6) Commissioning integrado e IST por sistemas críticos.....	318
7) Integración BMS/SCADA↔CDE↔CMMS y diccionario de puntos	318
8) IAQ, submetering y control por demanda	318
9) Dashboards por audiencia con linaje.....	319
10) Formación y adopción (obra y operación)	319
Consecuencias Previstas.....	319
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	320
Lecciones Aprendidas	321

Caso práctico 24. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Planta industrial de proceso pesado: commissioning integrado, seguridad OT y EAM con repuestos críticos enlazados a gemelo operativo

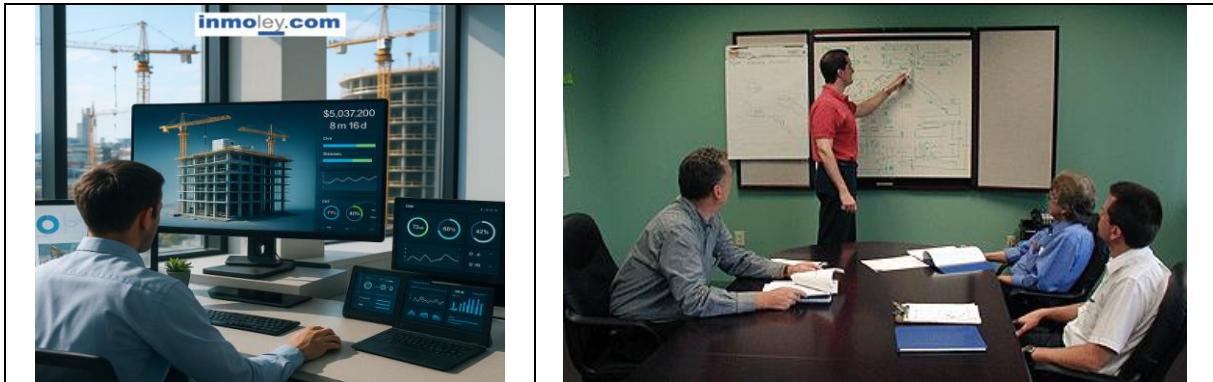
gemelo operativo	322
Causa del Problema	322
Soluciones Propuestas.....	322
1) Plan CDE de obra→activo con EIR/AIR y LOIN industriales	322
2) Commissioning integrado (FAT/SAT/IST) con matriz de prerequisites	322
3) Libro de cambios y control de claims con impacto 4D/5D/EVM	323
4) COBie completo y "golden record" de equipos para EAM/CMMS	323
5) Repuestos críticos y almacén enlazado a equipos.....	323
6) Integración DCS/SCADA↔CDE↔EAM y diccionario de puntos OT	323
7) Seguridad OT/IT y continuidad	323
8) Sensores de condición y analítica ligera (CBM + FDD)	324
9) Dashboards OEE y energía con linaje.....	324
10) Formación por rol y adopción	324
Consecuencias Previstas.....	325
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	325
Lecciones Aprendidas	326

Caso práctico 25. "GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE." Gemelo operativo de campus universitario con microred, PUE/CUE y gestión de espacios orientada a cero neto

campus universitario con microred, PUE/CUE y gestión de espacios orientada a cero neto	327
Causa del Problema	327
Soluciones Propuestas.....	327
1) Gobierno del CDE de portafolio y "fuente única de la verdad"	327
2) Asset register con COBie y sincronización con CMMS/EAM.....	328
3) Integración BMS/SCADA, DCIM y time-series con el CDE.....	328
4) EMS de microred y optimización energética con precios/ocupación/clima.....	328
5) IAQ y ocupación para control por demanda y gestión de espacios	328
6) Recommissioning (RCx) y tuning del CPD y de sistemas centrales	328
7) Estrategia de alarmas, FDD y workflows automáticos con EAM	329
8) Dashboards con linaje: Dirección, Operación y Energía	329
9) Ciberseguridad OT/IT y continuidad	329
10) Formación por rol y contrato de desempeño (SLAs de datos)	329
Consecuencias Previstas.....	330
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	330
Lecciones Aprendidas	331

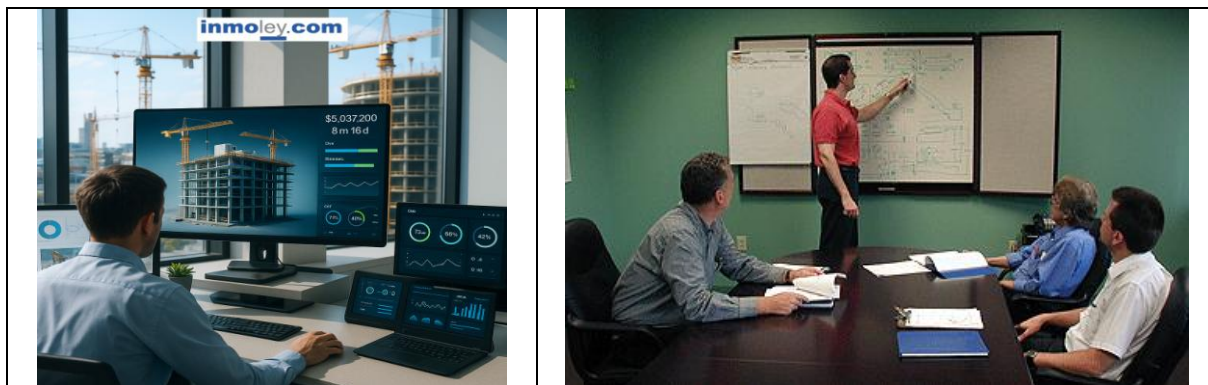


¿QUÉ APRENDERÁ?



- Estrategia y gobierno del CDE para proyectos de obra y de activo
- Planificación 4D/5D y control integral de plazo y coste
- Aplicación del método de Valor Ganado (EVM) con KPIs SPI y CPI
- Modelos de datos, interoperabilidad e integración BIM-ERP-CMMS
- QA/QC en obra con trazabilidad y control de calidad digital
- Commissioning, handover y operación con COBie y asset register
- Integración de sensores e IoT para obra y mantenimiento por condición
- Dashboards y analítica avanzada para dirección, obra y O&M
- Gestión de riesgos, ciberseguridad y cláusulas contractuales de datos
- Organización, competencias y roadmap de implantación 12-24 meses
- Herramientas, checklists y formularios prácticos para CDE y QA/QC
- Casos reales España-Latinoamérica con KPIs y lecciones aprendidas

Introducción.



GEMELOS DIGITALES DE OBRA Y DE ACTIVO CON CDE: LA CLAVE PARA EL CONTROL INTEGRAL Y LA EFICIENCIA

En un sector de la construcción y la gestión de activos cada vez más competitivo y tecnológicamente avanzado, disponer de información precisa, en tiempo real y perfectamente integrada es esencial para asegurar la rentabilidad y la sostenibilidad de los proyectos. Los gemelos digitales de obra y de activo, apoyados en un Entorno Común de Datos (CDE), se han convertido en una herramienta estratégica que transforma la forma de planificar, ejecutar y operar edificaciones e infraestructuras. Sin una visión clara de estos procesos, los promotores, inversores y gestores de activos corren el riesgo de perder eficiencia, aumentar el coste y comprometer la calidad de sus operaciones.

La Guía Práctica de Gemelos Digitales de Obra y de Activo con CDE ofrece una hoja de ruta completa para dominar esta tecnología. A lo largo de sus capítulos se abordan en profundidad la planificación 4D/5D, la interoperabilidad con BIM y sistemas CMMS/EAM, la integración de sensores IoT, la implantación de cuadros de mando y KPIs, así como las mejores prácticas en commissioning, operación y mantenimiento. Cada sección combina teoría avanzada con casos prácticos reales que facilitan la aplicación directa de los conceptos en proyectos de cualquier envergadura.

Para el profesional del sector, esta guía supone una oportunidad de elevar sus competencias en marketing técnico y estratégico, al posicionar sus servicios como referentes en innovación y control integral. Al aplicar las metodologías descritas, podrá optimizar el coste y el plazo de ejecución, mejorar la gestión de datos y ofrecer a sus clientes una propuesta de valor basada en evidencias cuantificables. El dominio de los gemelos digitales con CDE se traduce en ventajas competitivas claras: mayor eficiencia energética, mejor planificación financiera, reducción de incidencias y una comunicación más transparente con todos los actores del proyecto.

Invertir en este conocimiento es apostar por el futuro. Adquirir la *Guía Práctica de Gemelos Digitales de Obra y de Activo con CDE* significa dar un paso decisivo



hacia la excelencia profesional, garantizando que cada decisión se apoye en datos fiables y en las mejores estrategias de gestión de la información.



Mantenerse actualizado es la clave para liderar en un mercado en constante evolución. No espere a que la competencia marque el ritmo: conviértase en el referente que integra tecnología, calidad y eficiencia en cada proyecto. Esta guía es su pasaporte hacia una gestión de obras y activos más inteligente y rentable.

