



CURSO/GUÍA PRÁCTICA GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?.....	31
Introducción.	33
PARTE PRIMERA.	35
Marco estratégico del gemelo digital e integración OT/IT en infraestructuras.....	35
Capítulo 1: Visión, valor y casos de uso del gemelo digital con SCADA/BMS/DCIM.....	35
1. Definiciones y alcances (gemelo digital, SCADA, BMS, DCIM, OT/IT)	35
a. Diferencias y complementariedades.	35
b. Gemelo operativo vs. de ingeniería vs. de negocio.	36
c. Capacidades mínimas del gemelo digital.	36
2. Casos de uso transversales en infraestructuras	36
a. Operación basada en datos y FDD.	36
b. Mantenimiento predictivo y optimización energética.	37
c. Resiliencia y continuidad de servicio.	37
3. Beneficios CAPEX/OPEX y métricas de éxito.....	37
a. Coste total de propiedad (TCO) y retorno (ROI).	37
b. Impacto en disponibilidad, seguridad y sostenibilidad.	38
c. Priorización por criticidad del activo.	38
4. Alcance funcional y límites del sistema	38
a. Sistemas/activos/procesos integrables.	38
b. Dependencias y exclusiones.	39
c. Requisitos regulatorios y de cumplimiento.	39
5. Principios de interoperabilidad OT/IT	39
a. Integración segura y desacoplada.	39
b. Gobernanza del dato operativo.	39
c. Trazabilidad extremo a extremo.	40
6. Hoja de ruta de alto nivel	40
a. Fases: diagnóstico, piloto, escalado.	40
b. Criterios de éxito del piloto.	40
c. Plan de despliegue por sitios/plantas.	40
Capítulo 2: Gobierno organizativo y estrategia de datos para el gemelo digital	42
1. Modelo de gobierno y roles.....	42
a. OT Lead, IT Lead, Data Owner, CISO, O&M.	42
b. Responsabilidades y segregación de funciones.	43
c. Comité de arquitectura e integración.....	43
2. Estrategia de datos operacionales	44
a. Catálogo y taxonomías.	44
b. Calidad, linaje y retención.	44
c. Propiedad y acceso por perfiles.	44
3. Políticas y estándares internos	45
a. Estilo de integración y versionado de APIs.	45

b. Reglas de modelado semántico.....	45
c. Convenciones de tags/señales.....	46
4. Gestión del cambio y capacitación	46
a. Plan de adopción y comunicación.	46
b. Capacidades OT/IT/Analítica.	46
c. Formación continua y certificaciones.	47
5. Gestión del riesgo y conformidad	47
a. Riesgos técnicos y operativos.	47
b. Ciberseguridad y privacidad.	48
c. Continuidad y seguros.	48
6. Roadmap y financiación del programa	49
a. Priorización por valor y esfuerzo.	49
b. Fuentes de financiación (CAPEX/OPEX).....	49
c. Gobernanza del portfolio.....	49
PARTE SEGUNDA.....	51
Arquitecturas e interoperabilidad para SCADA/BMS/DCIM y gemelo digital.....	51
Capítulo 3: Arquitectura de referencia OT/IT para infraestructuras críticas	51
1. Purdue/ISA-95 y zonas de confianza	51
a. Niveles y flujos de datos	51
b. Zonas y conductos	52
c. DMZ industrial	52
2. Edge, core y cloud híbrida	53
a. Casos de uso por capa	53
b. Latencia, coste y disponibilidad.....	53
c. Sincronización y caching	54
3. Integración de SCADA/BMS/DCIM con el gemelo digital	54
a. Patrones pub/sub vs. request/response	54
b. Historians y time-series DB	55
c. Orquestación y buses/middleware.....	55
4. Gestión de identidades y acceso.....	56
a. IAM/Zero Trust para OT/IT	56
b. Segregación de privilegios.....	56
c. Vaults y secretos	56
5. Alta disponibilidad y resiliencia	57
a. N, N+1, 2N y tolerancia a fallos	57
b. Failover y geo-redundancia	57
c. Pruebas de resiliencia	58
6. Observabilidad integral	58
a. Trazas, métricas y logs OT/IT	58
b. Salud de integraciones y flujos	58
c. SLO/SLA técnicos	59
Capítulo 4: Protocolos, modelos de datos y semántica para la interoperabilidad	60
1. Protocolos industriales y de edificio	60
a. OPC UA, MQTT, Modbus, DNP3.	60

b. BACnet, KNX, LonWorks.	61
c. IEC 61850 y CIM.	61
2. Modelado semántico y ontologías	62
a. Project Haystack y Brick Schema.	62
b. Perfiles e instanciación.	62
c. Enlaces con activos/ubicaciones.	63
3. BIM/IFC/COBie y continuidad digital	63
a. Del diseño a la operación (4D/5D/7D).	63
b. Enriquecimiento de COBie.	63
c. Mapeos IFC↔gemelo.	64
4. Esquemas de gemelo digital	64
a. DTDL y lenguajes afines.	64
b. FMI/SSP y co-simulación.	64
c. Versionado de modelos.	65
5. APIs y eventos	65
a. REST/GraphQL/gRPC.	65
b. Diseño event-driven.	65
c. Contratos y pruebas.	66
6. Calidad y gobernanza del dato.....	66
a. Validación y reconciliación.	66
b. Etiquetado y confidencialidad.	66
c. Retención y archivado.	67
PARTE TERCERA.	68
Datos operacionales y plataforma de gemelo digital.....	68
Capítulo 5: Ingesta, historización y plataforma de datos para operación basada en datos 68	
1. Ingesta/ETL-ELT y conectores	68
a. Colección de señales y tags	68
b. Buffers y pasarelas IIoT	69
c. Límite de caudal y compresión	69
2. Time-series y almacenamiento	70
a. Historians vs. TSDB	70
b. Retención por granularidad.....	70
c. Particionado y rendimiento	70
3. Sincronización y reloj de referencia	71
a. NTP/PTP y marcas de tiempo	71
b. Reconciliación de eventos	71
c. Deriva y latencia	71
4. Catálogo, linaje y data products	72
a. Metadatos y catálogos	72
b. Auditoría y trazabilidad	72
c. Dominios y productos de datos	72
5. Privacidad, cumplimiento y licencias	73
a. Minimización y pseudonimización	73
b. Restricciones de uso y licencias.....	73
c. Evaluaciones de impacto (DPIA)	73

6. Operación de la plataforma	74
a. MLOps/DataOps/ModelOps	74
b. Monitorización de pipelines	74
c. Gestión de costes (coste/uso)	74
PARTE CUARTA.	75
Ciberseguridad OT/IT y continuidad en gemelos digitales	75
Capítulo 6: Seguridad, cumplimiento y continuidad para SCADA/BMS/DCIM y gemelo digital	75
1. Marcos y controles (p. ej., IEC 62443)	75
a. Políticas y hardening OT	75
b. Gestión de parches y vulnerabilidades	76
c. Seguridad por diseño	76
2. Segmentación y acceso remoto seguro	77
a. ZTNA y jump servers	77
b. Microsegmentación y firewalls	77
c. Registro y monitorización	77
3. Identidades, llaves y secretos	78
a. MFA y rotación de credenciales	78
b. Firmado y cifrado de datos	78
c. Gestión de certificados	78
4. Detección y respuesta en OT/IT	79
a. IDS/IPS industrial y SIEM	79
b. Playbooks de respuesta	79
c. Simulacros y tabletop	80
5. Continuidad y recuperación	80
a. Copias inmutables y air-gap	80
b. RTO/RPO por criticidad	80
c. DRP/BCP y pruebas periódicas	81
6. Cumplimiento y auditorías	81
a. Evidencias y registros	81
b. No conformidades y planes	81
c. Mejora continua	82
PARTE QUINTA.	83
Integración por dominios: SCADA, BMS y DCIM en el gemelo digital	83
Capítulo 7: Integración SCADA + gemelo digital en infraestructuras operativas	83
1. Arquitectura SCADA y fuentes	83
a. RTUs/PLCs y gateways	83
b. Alarmas y eventos	84
c. Historian y KPIs	84
2. Patrones de integración con el gemelo	84
a. Sincronización de estados	84
b. Contextualización semántica	85
c. Gestión de cambios	85

3. Operación basada en datos	85
a. FDD y análisis de causa raíz.	85
b. Recomendaciones operativas.	86
c. Automatizaciones seguras.	86
4. Simulación y pruebas	86
a. Bancos de señales virtuales.	86
b. Pruebas de regresión.	87
c. Gemelo de pruebas (sandbox).	87
5. Seguridad y segregación	87
a. Límites del control remoto.	87
b. Break-glass procedures.	87
c. Auditoría y trazabilidad.	88
6. KPIs y reporting operativo	88
a. Disponibilidad y rendimiento.	88
b. Seguridad y cumplimiento.	88
c. Coste operativo por activo.	88
Capítulo 8: Integración BMS + gemelo digital en edificios complejos	90
1. Arquitectura BMS y subsistemas	90
a. HVAC, iluminación, ascensores	90
b. Calidad de aire y confort	91
c. Contadores y submetering	91
2. FDD y optimización	92
a. Reglas y gemelos analíticos	92
b. Curvas de rendimiento	92
c. Ajuste de consignas óptimas	93
3. Eficiencia energética y sostenibilidad	93
a. Pistas de ahorro y medidas.	93
b. Seguimiento de emisiones	94
c. Certificaciones y reporting.	94
4. Ocupación y operación adaptativa	94
a. Sensores de presencia/aforo	94
b. Integración con usos/agenda	95
c. Estrategias de carga parcial	95
5. Integración con el gemelo	95
a. Espacios/activos y semántica	95
b. Sincronía tiempo real	96
c. Dashboards operativos	96
6. Seguridad y continuidad	96
a. Alarmas críticas y escalados	96
b. Pruebas de fallback	97
c. Resiliencia de comunicaciones	97
Capítulo 9: Integración DCIM + gemelo digital en centros de datos	98
1. Inventario y capacidad	98
a. Activos IT/OT y ubicación	98
b. Energía, cooling y redes.	99

c. Gestión de cambios (MAC)	99
2. Operación y eficiencia (PUE/DCiE)	99
a. Telemetría y correlaciones	99
b. Optimización de cooling	100
c. Balanceo de cargas	100
3. Integración BMS/SCADA/DCIM	101
a. Gateway y semántica común.....	101
b. Eventos cruzados y C&E	101
c. Workflows unificados	101
4. Resiliencia y continuidad	102
a. Redundancias y pruebas.....	102
b. Mantenimiento sin impacto	102
c. Procedimientos EOP	102
5. Seguridad física y lógica	103
a. Control de accesos/visitas	103
b. Monitorización integrada.....	103
c. Trazabilidad.....	103
6. KPIs, reporting y auditorías	104
a. Disponibilidad y SLA.....	104
b. Energía y sostenibilidad.....	104
c. Coste por rack/servicio	104
PARTE SEXTA.	106
Ciclo de vida: de BIM/IFC/COBie al gemelo operativo y O&M predictivo	106
Capítulo 10: Continuidad digital BIM→Gemelo en infraestructuras.....	106
1. Requisitos de información (EIR/AIR)	106
a. Entregables y granularidad.....	106
b. Roles y responsabilidades	107
c. Vinculación con O&M	107
2. Modelos BIM 4D/5D/7D.....	107
a. Planificación y coste	107
b. Mantenimiento y activos.....	108
c. Sostenibilidad/energía.....	108
3. Mapeos IFC/COBie→gemelo.....	108
a. Identificadores y jerarquías	108
b. Atributos y catálogos.....	109
c. Automatización de mapeos	109
4. Identidad de activo y trazabilidad	109
a. QR/RFID/NFC y seriales	109
b. Historias de mantenimiento.....	110
c. Sustituciones y obsolescencia.....	110
5. Entrega digital (handover)	110
a. Cierre de as-built	110
b. Validación de datos	111
c. Puesta en marcha operativa	111

6. Gobierno de modelos.....	111
a. Versionado y cambios.....	111
b. Librerías y plantillas.....	112
c. Auditoría y control de calidad.....	112

Capítulo 11: Commissioning digital (FAT/SAT/SIT/IST) y verificación de integraciones113

1. Plan de pruebas y criterios de aceptación	113
a. Matriz de trazabilidad.....	113
b. Casos de prueba por sistema.	114
c. Evidencias y registros.....	114
2. Pruebas de señales y alarmas	115
a. End-to-end y escalados.....	115
b. Prioridades y deadbands.	115
c. Enriquecimiento semántico.	116
3. Rendimiento y capacidad	116
a. Caudal de eventos y picos.	116
b. Latencia y jitter.	116
c. Degradación controlada.	117
4. Resiliencia y fallback	117
a. Failover y reinicios.	117
b. Modo degradado.....	117
c. Recuperación de colas.	118
5. Handover al O&M y formación	118
a. Manuales y SOP.	118
b. Formación de turnos.	118
c. Transferencia de responsabilidades.	119
6. Lecciones aprendidas y cierre	119
a. No conformidades y acciones.....	119
b. Mejora de plantillas.....	119
c. Cierre contractual.	120

Capítulo 12: Operación y mantenimiento predictivo con gemelo digital (APM/RCM/CBM)121

1. Estrategia de mantenimiento	121
a. RCM y criticidad.....	121
b. CBM vs. TBM	122
c. Plan maestro O&M	122
2. Sensórica y datos	123
a. Vibración, térmica y acústica.....	123
b. Eléctrica y de proceso.....	124
c. Calidad de datos	124
3. Analítica avanzada e IA	125
a. Modelos físicos vs. data-driven	125
b. Detección/diagnóstico/prognosis	125
c. Gestión de drift y MLOps	126
4. Workflows EAM/CMMS	127
a. Alertas→OT/WO automáticos.....	127
b. Repuestos y logística	127

c. Cierre y feedback al modelo	128
5. KPIs y cuadros de mando.....	128
a. MTBF, MTTR, coste por activo.....	128
b. Disponibilidad y seguridad	129
c. Energía y sostenibilidad	129
6. Evaluación económica.....	129
a. TCO y ROI del PdM.....	129
b. Reducción de paradas	130
c. Justificación de inversión	130
PARTE SÉPTIMA.	132
Análítica avanzada, IA y optimización en el gemelo digital	132
Capítulo 13: Gemelos de simulación, co-simulación y pruebas virtuales	132
1. Modelos físico-matemáticos	132
a. Modelos 1D/2D/3D	132
b. Parámetros y calibración	133
c. Validación cruzada	133
2. Co-simulación e interoperabilidad	133
a. FMI/SSP	133
b. Acoplamiento débil/fuerte	134
c. Orquestación temporal.....	134
3. Bancos de pruebas virtuales	134
a. Escenarios y perturbaciones.....	134
b. Emulación de señales	134
c. Stress testing.....	135
4. Gemelos híbridos (físico + datos)	135
a. Fusión de modelos.....	135
b. Observadores y estimadores.....	135
c. Mantenimiento de modelos	135
5. Métricas de exactitud y rendimiento	136
a. Error y robustez	136
b. Estabilidad numérica	136
c. Coste computacional	136
6. Integración con operación real	137
a. Ciclo online/offline	137
b. Gateways de sincronización	137
c. Gestión de versiones	137
Capítulo 14: Control avanzado y optimización operativa con IA	138
1. Control predictivo y MPC	138
a. Formulación y restricciones.....	138
b. Horizontes y actualización.....	139
c. Casos de uso SCADA/BMS/DCIM	139
2. Aprendizaje por refuerzo seguro	140
a. Políticas y seguridad	140
b. Entrenamiento offline/online.....	140

c. Supervisión humana	140
3. Optimización energética y de costes	141
a. Curvas de rendimiento	141
b. Tarifas y precios.....	141
c. Programación horaria	141
4. Gestión de picos y demanda.....	142
a. Peak shaving y load shifting.....	142
b. Baterías y almacenamiento	142
c. Alarmas económicas	142
5. Orquestación multiobjetivo.....	143
a. Disponibilidad, coste y emisiones.....	143
b. Ponderaciones y trade-offs	143
c. Resolución en tiempo real	143
6. Aseguramiento y verificación	144
a. Pruebas A/B y canary.....	144
b. KPIs de control.....	144
c. Rollback seguro	144
PARTE OCTAVA.	146
Energía, sostenibilidad y respuesta a la demanda con gemelo digital	146
Capítulo 15: Gestión energética integrada (EMS/BEMS/DERMS) y gemelo digital	146
1. Arquitectura EMS y fuentes.....	146
a. Medida avanzada y submetering	146
b. DER: FV, baterías, CHP.....	147
c. Integración con BMS/DCIM	147
2. Plan de medida y verificación (M&V)	147
a. Línea base y normalización.....	147
b. Ahorros verificados	148
c. Contratos de rendimiento	148
3. Optimización tarifaria	148
a. Estructuras de precios	148
b. Programas de demanda	148
c. Curvas horarias	149
4. Integración con mercados energéticos.....	149
a. PPAs y autoconsumo	149
b. Agregadores y flexibilidad	149
c. Señales de precio en tiempo real	149
5. Resiliencia energética.....	150
a. Microredes e islas.....	150
b. Gestión de blackouts.....	150
c. Ensayos de respaldo	150
6. KPIs y reporting energético	151
a. PUE/DCiE, kWh/m ² o por servicio	151
b. Coste energético por activo	151
c. Emisiones evitadas.....	151



Capítulo 16: Sostenibilidad, ESG y economía circular habilitadas por el gemelo152

1. Huella de carbono y emisiones	152
a. Alcances 1, 2 y 3	152
b. Factores de emisión	153
c. Trazabilidad de datos.....	153
2. Taxonomía y regulaciones	153
a. Requisitos UE y LatAm	153
b. Informes CSRD/GRI.....	154
c. Evidencias verificables	154
3. Agua, residuos y circularidad	154
a. KPIs de recursos.....	154
b. Reutilización y reciclaje	155
c. Diseño para desmontaje	155
4. Bienestar y salud en edificios	155
a. IAQ/IEQ y confort	155
b. Certificaciones	155
c. Alertas y acciones	156
5. Estrategia de materiales y pasaporte digital.....	156
a. Inventarios y pasaportes	156
b. Obsolescencia y sustitución	156
c. Recuperación de valor	156
6. Evaluación coste-beneficio ESG	157
a. Coste evitado y riesgo	157
b. Incentivos y financiación verde	157
c. Métricas de impacto	157

PARTE NOVENA.159

Escalado operativo, multisede y resiliencia organizativa	159
--	-----

Capítulo 17: Operaciones 24x7, multisede y centros de control (NOC/SOC)159

1. Modelos de operación distribuida	159
a. Sedes y jerarquías.....	159
b. Roles on-site y remotos.....	160
c. Escalados y on-call	160
2. Playbooks y SRE para OT/IT	160
a. SLO/SLA y error budgets.....	160
b. Gestión de incidencias.....	161
c. Post-mortems y mejora	161
3. War-rooms y respuesta coordinada	162
a. Comunicación y mando	162
b. Integración NOC/SOC	162
c. Proveedores y terceros.....	162
4. Gestión de cambios a escala	163
a. Ventanas y CAB.....	163
b. Despliegues controlados	163
c. Gestión de versiones	163

5. Observabilidad y salud de flujos	164
a. KPIs de plataforma	164
b. Alertas y correlación	164
c. Capacidad y crecimiento	164
6. Economía de escala	165
a. Coste unitario por sitio	165
b. Benchmarking interno	165
c. Priorización de inversiones	165
PARTE DÉCIMA.	167
Modelos económicos, contratación y ROI del gemelo digital	167
Capítulo 18: Modelos de contratación, licencias y retorno económico	167
1. Modelos de precios y licencias	167
a. Per-tag, per-usuario, por servicio	167
b. SaaS vs. on-prem/híbrido	168
c. Escalado y límites	168
2. Estructuras CAPEX/OPEX	169
a. Amortización y vida útil	169
b. Coste operativo recurrente	169
c. Optimización fiscal	169
3. Contratos basados en rendimiento	170
a. KPIs y pagos variables	170
b. Riesgos y garantías	170
c. Penalizaciones e incentivos	170
4. Business case y sensibilidad	171
a. Ahorros y evitaciones de coste	171
b. Escenarios y riesgos	171
c. VAN/TIR y payback	171
5. Financiación y seguros	172
a. Financiación verde y subvenciones	172
b. Seguros cibernéticos/operativos	172
c. Requisitos de aseguradoras	173
6. Gestión del portfolio	173
a. Priorización por beneficio/importe	173
b. Revisión periódica de ROI	173
c. Desinversión/migración	173
PARTE UNDÉCIMA.	175
Regulación, estándares y cumplimiento internacional	175
Capítulo 19: Estándares, normativa y cumplimiento en España y Latinoamérica	175
1. Marcos y estándares clave	175
a. IEC 62443, ISO 27001/55001/19650	175
b. ISA/IEC 61511/61508 y afines	176
c. UNE/EN aplicables	176
2. Ciberseguridad y resiliencia	177

a. NIS2 y equivalentes	177
b. Protección de infraestructuras críticas.....	177
c. Notificación de incidentes	177
3. Protección de datos y soberanía	178
a. RGPD y equivalentes.....	178
b. Datos operativos vs. personales.....	178
c. Transferencias internacionales.....	178
4. Contratación pública y requisitos técnicos	179
a. Pliegos y especificaciones.....	179
b. Ensayos y verificaciones	179
c. Trazabilidad de evidencias.....	179
5. Conformidad ambiental y energética	180
a. Normas de eficiencia	180
b. Informes y auditorías	180
c. Etiquetado y certificados	180
6. Gobernanza y actualización normativa	181
a. Vigilancia regulatoria.....	181
b. Roadmap de cumplimiento	181
c. Auditorías de madurez.....	181
PARTE DUODÉCIMA.	183
HERRAMIENTAS DEL GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS.	
CHECKLISTS Y FORMULARIOS	183
Capítulo 20: Checklists de requisitos de datos e integración para gemelo digital.....	183
FORMULARIO Nº 20.01 — Inventario de fuentes y tags (SCADA/BMS/DCIM→Gemelo)	183
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
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional).....	186
CHECKLIST Nº 20.02 — Calidad y validación de datos operacionales.....	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	187
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	187
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	188
FORMULARIO Nº 20.03 — Semántica, ontologías y mapeos (Brick/Haystack→DTDL)	188
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	188
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	188
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)	189
Sección 8. Evidencias y referencias	190
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	190
CHECKLIST Nº 20.04 — Historian/TSDB, retención y exportaciones	190
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	190
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)	191
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	191
Sección 8. Evidencias y referencias	192
FORMULARIO Nº 20.05 — APIs y eventos (contratos, seguridad y pruebas).....	192
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	192
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	192
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	193
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	193
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	193
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	193
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	193
Sección 8. Evidencias y referencias	194
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	194
CHECKLIST Nº 20.06 — Gobernanza, acceso y auditoría (roles/permisos/cumplimiento).....	194
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	194
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)	195
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	195
Sección 8. Evidencias y referencias	196
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	196
Capítulo 21: Formularios de arquitectura y ciberseguridad OT/IT.....	197
FORMULARIO Nº 21.01 — Topología y segmentación OT/IT (zonas, conductos y flujos aprobados)	197
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	197
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	198
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	198
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	198
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	198
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	199
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	199
Sección 8. Evidencias y referencias	199
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	199
CHECKLIST Nº 21.02 — Acceso remoto y bastionado (jump servers, MFA y políticas de sesión) 200	200
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	200
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	200

Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	200
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	201
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	201
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	201
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	201
Sección 8. Evidencias y referencias	201
Módulo Riesgos y Seguridad (opcional)	202
FORMULARIO Nº 21.03 — Gestión de identidades y secretos (roles, rotaciones y certificados) 202	
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	202
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	202
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	203
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	203
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	203
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	203
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	203
Sección 8. Evidencias y referencias	204
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	204
CHECKLIST Nº 21.04 — Parches y vulnerabilidades (inventario, CVEs y ventanas)204	
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	204
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	205
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	205
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	205
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	205
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	205
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	205
Sección 8. Evidencias y referencias	206
Módulo Riesgos y Seguridad (opcional)	206
FORMULARIO Nº 21.05 — Continuidad y copias (RTO/RPO, pruebas y evidencias)206	
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	206
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	207
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	207
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	207
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	207
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	207
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	208
Sección 8. Evidencias y referencias	208
Módulo Riesgos y Seguridad (opcional)	208
CHECKLIST Nº 21.06 — Conformidad y auditoría (controles, hallazgos y remediaciones)208	
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	209
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	209
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	209
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	209
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	209
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	210
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	210
Sección 8. Evidencias y referencias	210
Módulo Jurídico-Contractual (opcional)	210
Capítulo 22: Planillas de commissioning y pruebas de integraciones211	
FORMULARIO Nº 22.01 — FAT/SAT de equipos y sistemas (criterios, evidencias, responsables y	

aprobaciones).....	211
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	211
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	212
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	212
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	212
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	212
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	213
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	213
Sección 8. Evidencias y referencias	213
Módulo Técnico–Construcción (opcional).....	213

CHECKLIST Nº 22.02 — Pruebas de señales y alarmas (Matrices C&E, escalados y priorización) 214

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	214
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	214
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	214
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	215
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	215
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	215
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	215
Sección 8. Evidencias y referencias	215
Módulo Riesgos y Seguridad (opcional)	216

FORMULARIO Nº 22.03 — Pruebas de rendimiento bajo carga (inyección de eventos, latencia y límites).....216

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	216
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	216
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	217
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	217
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	217
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	217
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	217
Sección 8. Evidencias y referencias	218
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	218

CHECKLIST Nº 22.04 — Resiliencia y failover (procedimientos, resultados y acciones).....218

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	218
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	219
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	219
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	219
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	219
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	219
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	219
Sección 8. Evidencias y referencias	220
Módulo Operación y Mantenimiento (opcional)	220

FORMULARIO Nº 22.05 — Handover y documentación (SOPs, firmas y formación)220

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	220
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	221
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	221
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	221
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	221
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	221
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	221
Sección 8. Evidencias y referencias	222

Módulo Operación y Mantenimiento (opcional)	222
CHECKLIST Nº 22.06 — Lecciones aprendidas (incidencias, causas raíz y mejoras)	222
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	222
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	223
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	223
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	223
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	223
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	223
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	224
Sección 8. Evidencias y referencias	224
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	224
Capítulo 23: Plantillas O&M predictivo (APM/RCM/CBM) y operación basada en datos..225	
FORMULARIO Nº 23.01 — Matriz crítico-riesgo y estrategia RCM por sistema	225
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	225
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	226
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	226
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	226
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	226
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	227
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	227
Sección 8. Evidencias y referencias	227
Módulo Operación y Mantenimiento (opcional)	227
CHECKLIST Nº 23.02 — FMEA/FMECA de equipo crítico	228
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	228
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	228
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	228
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	229
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	229
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	229
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	229
Sección 8. Evidencias y referencias	229
Módulo Operación y Mantenimiento (opcional)	229
FORMULARIO Nº 23.03 — Plan CBM por activo (variables, umbrales, frecuencias y rondas digitales)	230
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	230
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	230
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	230
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	231
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	231
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	231
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	231
Sección 8. Evidencias y referencias	231
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	232
FORMULARIO Nº 23.04 — Integración EAM/CMMS (triggers automáticos, SLA/OLA y cierre de órdenes).....	232
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	232
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	232
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	232
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	233

Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	233
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	233
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	233
Sección 8. Evidencias y referencias	233
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	234

CHECKLIST Nº 23.05 — KPIs de O&M (disponibilidad/MTBF/MTTR, coste por activo, energía/emisiones).....234

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	234
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	234
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	235
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	235
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	235
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	235
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	235
Sección 8. Evidencias y referencias	236
Módulo Ambiental–Sostenibilidad (opcional)	236

FORMULARIO Nº 23.06 — Repuestos críticos y obsolescencia (stock mínimo, alternativas y plan de sustitución)236

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	236
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	237
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	237
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	237
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	237
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	237
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	237
Sección 8. Evidencias y referencias	238
Módulo Jurídico–Contractual (opcional)	238

Capítulo 24: SLA/OLA, cuadros de mando y reporting ejecutivo239

FORMULARIO Nº 24.01 — SLA/OLA de operación (definiciones, alcances, exclusiones y penalizaciones).....239

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	239
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	240
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	240
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	240
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	240
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	241
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	241
Sección 8. Evidencias y referencias	241
Módulo Jurídico–Contractual (opcional)	241

CHECKLIST Nº 24.02 — KPIs y niveles-objetivo (técnicos/negocio, energía/sostenibilidad, seguridad/cumplimiento)241

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	242
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	242
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	242
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	242
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	242
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	243
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	243
Sección 8. Evidencias y referencias	243
Módulo Ambiental–Sostenibilidad (opcional)	243

FORMULARIO Nº 24.03 — Cuadros de mando (operativos en tiempo real, tácticos mensuales y ejecutivos).....243

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	244
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	244
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	244
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	244
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	244
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	245
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	245
Sección 8. Evidencias y referencias	245
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	245

CHECKLIST Nº 24.04 — Reporting y auditoría (formatos, frecuencias, evidencias y firmas/aceptaciones).....245

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	246
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	246
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	246
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	246
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	246
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	247
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	247
Sección 8. Evidencias y referencias	247
Módulo Jurídico-Contractual (opcional)	247

FORMULARIO Nº 24.05 — Revisión de servicio (comités, cadencias, acciones correctivas y mejora continua).....247

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	248
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	248
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	248
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	248
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	248
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	249
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	249
Sección 8. Evidencias y referencias	249
Módulo Operación y Mantenimiento (opcional)	249

FORMULARIO Nº 24.06 — Gestión económica (coste por servicio/activo, TCO y benchmarking, optimización)249

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	250
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	250
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	250
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	250
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	251
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	251
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	251
Sección 8. Evidencias y referencias	251
Módulo Inmobiliario-Financiero (opcional)	251

Capítulo 25: RFP, evaluación de proveedores y business case del gemelo digital252

FORMULARIO Nº 25.01 — RFP de requisitos funcionales y técnicos del gemelo digital.....252

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	252
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	253
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	253

Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	253
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	253
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	254
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	254
Sección 8. Evidencias y referencias	254
Módulo Jurídico-Contractual (opcional)	254

CHECKLIST Nº 25.02 — Interoperabilidad del gemelo digital (protocolos, semántica y APIs/eventos)

.....	254
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	255
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	255
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	255
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	255
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	256
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	256
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	256
Sección 8. Evidencias y referencias	256
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	256

FORMULARIO Nº 25.03 — Modelo de implantación del gemelo (fases, equipo y transferencia de conocimiento).

.....	257
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	257
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	257
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	257
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	258
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	258
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	258
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	258
Sección 8. Evidencias y referencias	258
Módulo Operación y Mantenimiento (opcional)	258

CHECKLIST Nº 25.04 — Evaluación y puntuación de ofertas (criterios, POC/piloto, referencias y riesgos)

.....	259
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	259
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	259
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	259
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	260
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	260
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	260
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	260
Sección 8. Evidencias y referencias	260
Módulo Jurídico-Contractual (opcional)	260

FORMULARIO Nº 25.05 — Condiciones económicas y business case (licencias/servicios, TCO/financiación y métricas de ahorro)

.....	261
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	261
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	261
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	261
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	262
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	262
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	262
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	262
Sección 8. Evidencias y referencias	262
Módulo Inmobiliario-Financiero (opcional)	263

CHECKLIST Nº 25.06 — Contrato y gobernanza del servicio (SLA/OLA/KPIs, penalizaciones/incentivos, comité de dirección)	263
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	263
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	263
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	264
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	264
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	264
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	264
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	264
Sección 8. Evidencias y referencias	264
Módulo Jurídico-Contractual (opcional)	265

PARTE DÉCIMOTERCERA.266

PRÁCTICA DEL GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS. CHECKLISTS Y FORMULARIOS	266
---	------------

Capítulo 26: Casos prácticos del gemelo digital e integración SCADA/BMS/DCIM en infraestructuras. Checklists y Formularios266

Caso práctico 1. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Implantación de un gemelo digital inicial en un edificio administrativo con BMS heredado.	266
Causa del Problema	266
Soluciones Propuestas.....	267
0) Preparación (común a ambas alternativas)	267
1) Normalización semántica y gobierno del dato operativo	267
2) Plataforma de datos y gemelo digital (comparativa de alternativas)	267
3) FDD (Fault Detection & Diagnostics) y optimización energética	268
4) Integración con EAM/CMMS y workflows automáticos	268
5) Ciberseguridad OT/IT y continuidad (mínimo esencial)	268
6) Operación diaria y cambio cultural	269
Consecuencias Previstas.....	269
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses, Alternativa A implantada)	270
Lecciones Aprendidas	271

Caso práctico 2. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Conexión del SCADA de una planta de tratamiento de agua al gemelo digital para operación predictiva.	273
Causa del Problema	273
Soluciones Propuestas.....	273
1) Arquitectura OT/IT segura con DMZ industrial (Purdue/ISA-95)	273
2) Conectividad y estandarización de protocolos	273
3) Modelado semántico y esquema del gemelo	274
4) Plataforma de datos: historización y retención por granularidad	274
5) FDD (Fault Detection & Diagnostics) y optimización de proceso.....	274
6) CBM y RCM integrados con EAM/CMMS.....	275
7) Gestión energética y picos de demanda	275
8) Commissioning digital y aceptación.....	275
9) Adopción y formación por roles	275
Consecuencias Previstas.....	276
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses tras escalado)	276
Lecciones Aprendidas	277

Caso práctico 3. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS."

Orquestación DCIM–BMS–SCADA en un centro de datos para reducir PUE y aumentar la capacidad útil.280

Causa del Problema	280
Soluciones Propuestas.....	280
1) Arquitectura de integración e interoperabilidad (OT/IT).....	280
2) Semántica común y esquema del gemelo	281
3) Ingesta, historización y retención por granularidad	281
4) Reconciliación DCIM↔BMS↔SCADA en el gemelo	281
5) Análítica térmica FDD y optimización HVAC	281
6) Control predictivo (MPC) y automatizaciones seguras	282
7) Co-simulación CFD ligera + validación en sandbox	282
8) CBM/RCM y EAM/CMMS integrados.....	282
9) Ciberseguridad y continuidad	282
10) Adopción, operación 24x7 y gobierno	283
Consecuencias Previstas.....	283
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses)	284
Lecciones Aprendidas	285

Caso práctico 4. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS."

Orquestación del BMS hospitalario con gemelo digital para confort, seguridad y eficiencia.287

Causa del Problema	287
Soluciones Propuestas.....	287
0) Baseline de datos y gobierno del programa	287
1) Arquitectura de integración y semántica sanitaria	287
2) Sensórica IAQ/IEQ y verificación metrológica	288
3) FDD sanitario y operación basada en datos.....	288
4) Control avanzado y coordinación con agendas clínicas	288
5) CBM/RCM y CMMS integrado	289
6) Continuidad y ciberseguridad OT/IT	289
7) Commissioning digital (FAT/SAT/SIT/IST) y aceptación	289
8) Adopción y operación 24x7	289
Consecuencias Previstas.....	290
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses, tras 3 meses de estabilización).....	291
Lecciones Aprendidas	292

Caso práctico 5. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS."

Integración aeroportuaria del BMS de terminal, SCADA de pista/AGL y sistemas auxiliares para resiliencia operacional y eficiencia energética.294

Causa del Problema	294
Soluciones Propuestas.....	294
0) Baseline y gobierno del programa	294
1) Arquitectura OT/IT con DMZ industrial (Purdue/ISA-95).....	295
2) Conectividad y estandarización de protocolos	295
3) Semántica aeroportuaria y esquema del gemelo	295
4) Plataforma de datos y retención por granularidad.....	295
5) FDD aeroportuario (librería de 70 reglas físico-datos)	296
6) Control avanzado coordinado con AODB (agenda de vuelos)	296
7) CBM/RCM y CMMS integrado	296
8) Continuidad y ciberseguridad OT/IT	297
9) Commissioning digital (FAT/SAT/SIT/IST) y adopción.....	297
Consecuencias Previstas.....	297
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses, 3 de estabilización).....	298
Lecciones Aprendidas	299

Caso práctico 6. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Programa integral de ciberseguridad OT/IT y continuidad del gemelo digital en una red metropolitana (estaciones + OCC).301

Causa del Problema.....	301
Soluciones Propuestas.....	301
1) Evaluación de madurez y gobierno (IEC 62443 e ISO 27001)	301
2) Segmentación de red y DMZ industrial (zonas/conductos)	302
3) Acceso remoto seguro y PAM para proveedores	302
4) Identidades, llaves y secretos (IAM + Vault + PKI OPC UA)	302
5) Detección y respuesta OT/IT (IDS/IPS, SIEM y playbooks)	303
6) Continuidad, RTO/RPO y copias inmutables	303
7) Hardening y gestión de parches/vulnerabilidades	303
8) Gemelo digital "secure-by-design"	303
9) Commissioning y verificación de controles.....	304
10) Capacitación y cambio cultural	304
Consecuencias Previstas.....	304
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses)	305
Lecciones Aprendidas	306

Caso práctico 7. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Integración del SCADA eléctrico (IEC 61850/104) con un gemelo digital para resiliencia y mantenimiento predictivo en subestaciones y centros de transformación.....309

Causa del Problema	309
Soluciones Propuestas.....	309
1) Arquitectura OT/IT con DMZ industrial y pasarelas normalizadas	309
2) Semántica de red con CIM y esquema del gemelo (DTDLEquivalente)	310
3) Plataforma de datos: TSDB + Event Store y sincronización temporal.....	310
4) FDIR asistido y estimación de estado (operación basada en datos)	310
5) CBM de transformadores y apartamiento de potencia	311
6) Optimización de reactiva y picos (EMS ligero orientado a red interna)	311
7) Integración con EAM/CMMS y trazabilidad técnico-económica	311
8) Ciberseguridad y continuidad (IEC 62443 mínimo esencial).....	311
9) Commissioning digital (FAT/SAT/SIT/IST) y validación en sandbox	312
10) Adopción y operación 24x7	312
Consecuencias Previstas.....	312
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización).....	313
Lecciones Aprendidas	314

Caso práctico 8. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Orquestación de BMS federado y operación adaptativa por ocupación en un campus universitario multi-edificio.....317

Causa del Problema	317
Soluciones Propuestas.....	317
1) Gobierno del dato y baseline técnico-operativo	317
2) Arquitectura de integración segura (edge federado + DMZ + bus de eventos).....	317
3) Semántica unificada (Haystack/Brick) y esquema del gemelo (DTDLEquivalente)	318
4) Plataforma de datos: TSDB + lago con retención por granularidad y linaje	318
5) Integración con sistemas académicos y de ocupación	318
6) FDD (Fault Detection & Diagnostics) y operación basada en datos.....	318
7) Control adaptativo por ocupación y clima (MPC ligero)	319
8) Eficiencia energética, sostenibilidad y reporting ESG	319
9) Integración con CMMS/EAM y CBM	319
10) Ciberseguridad/continuidad y commissioning digital.....	319

Consecuencias Previstas.....	320
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización).....	320
Lecciones Aprendidas.....	321

Caso práctico 9. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Orquestación del edge TELCO (120 sites) con gemelo digital para disponibilidad 24x7, ahorro energético y mantenimiento predictivo.....324

Causa del Problema.....	324
Soluciones Propuestas.....	324
1) Arquitectura OT/IT segura y federada (DMZ + edge por site)	324
2) Semántica TELCO y esquema del gemelo (DTDL-equivalente)	325
3) Plataforma de datos (TSDB + Event Store) y retención por granularidad.....	325
4) FDD TELCO (librería de 85 reglas físico-datos).....	325
5) CBM de potencia DC/AC y HVAC	325
6) Control adaptativo HVAC (free-cooling y consignas) con límites de servicio	326
7) EMS ligero para picos y alarmas económicas	326
8) Integración NOC/CMMS/EAM y "cerrar el ciclo"	326
9) Ciberseguridad y continuidad (mínimo esencial)	326
10) Adopción, operación 24x7 y despliegue por "lotes"	326
Consecuencias Previstas.....	327
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses tras estabilización de 3 meses).....	328
Lecciones Aprendidas.....	329

Caso práctico 10. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Continuidad digital BIM→Gemelo operativo en un parque logístico multisede (España y Latinoamérica).331

Causa del Problema.....	331
Soluciones Propuestas.....	331
1) EIR/AIR orientados a operación y BEP revisado.....	331
2) Limpieza y enriquecimiento de COBie + reconciliación IFC↔as-built	332
3) Identidad persistente de activo y etiquetado físico (QR/RFID/NFC)	332
4) Mapeos IFC/COBie→esquema del gemelo (DTDL-equivalente) y semántica	332
5) Integración SCADA/BMS/DCIM con gobierno del dato	333
6) Commissioning digital (FAT/SAT/SIT/IST) y cierre de as-built.....	333
7) Handover operativo: documentación viva y vínculos al gemelo	333
8) Integración CMMS/EAM y workflows E2E	333
9) Formación, adopción y gobernanza de modelos	334
10) Ciberseguridad y continuidad	334
Consecuencias Previstas.....	334
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización).....	335
Lecciones Aprendidas.....	336

Caso práctico 11. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Commissioning digital FAT/SAT/SIT/IST y verificación de integraciones en una planta farmacéutica GMP.....338

Causa del Problema.....	338
Soluciones Propuestas.....	338
1) Plan maestro de pruebas y matriz de trazabilidad (FAT/SAT/SIT/IST)	338
2) Gemelo de pruebas y banco de señales virtuales.....	339
3) Sincronización temporal y estampillado en origen.....	339
4) Normalización de alarmas y escalados al CMMS.....	339
5) Validación de datos críticos (ALCOA+) y firmas electrónicas.....	339
6) Pruebas de rendimiento, capacidad y "tormentas de eventos"	339
7) Resiliencia, failover y recuperación de colas	340

8) Integración con MES/LIMS y DCIM (sello extremo a extremo)	340
9) Gestión del cambio y control de versiones (config y modelo)	340
10) Ciberseguridad esencial en commissioning	340
11) Formación por roles y "playbooks" de sala limpia	340
12) Estandarización de evidencias y cierre IST	341
Consecuencias Previstas	341
Resultados de las Medidas Adoptadas (9–12 meses; 6 semanas de estabilización)	342
Lecciones Aprendidas	343

Caso práctico 12. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Operación y mantenimiento predictivo (APM/RCM/CBM) en ciclo integral del agua con gemelo digital.345

Causa del Problema	345
Soluciones Propuestas	345
1) Estrategia APM y análisis de criticidad (RCM)	345
2) Arquitectura OT/IT y gemelo digital operativo	346
3) Semántica unificada y esquema del gemelo	346
4) Sensórica CBM y calidad de datos	346
5) FDD/CBM por familia de equipo	346
6) Control avanzado de aireación y bombeo	347
7) Integración CMMS/EAM y workflows E2E	347
8) MLOps/ModelOps y gestión del drift	347
9) Continuidad y ciberseguridad	347
10) Capacitación y adopción por roles	347
Consecuencias Previstas	348
Resultados de las Medidas Adoptadas	348
Lecciones Aprendidas	350

Caso práctico 13. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Gemelo de simulación termo-fluidodinámica (CFD 3D) y co-simulación energética para optimizar un centro de datos Tier III.352

Causa del Problema	352
Soluciones Propuestas	352
1) Gobierno, baseline y reloj maestro	352
2) Malla sensórica y datos para calibración	353
3) Modelo CFD 3D del white-space (flujo y calor)	353
4) Modelo energético 1D/2D de planta de frío y distribución	353
5) Co-simulación FMI/SSP (CFD ↔ planta de frío)	353
6) Gemelo híbrido con modelos reducidos (ROM) para operación	353
7) Banco de pruebas virtual y "caja de arena" de cambios (sandbox)	354
8) Control avanzado (MPC) y secuenciación óptima	354
9) Integración con BMS/DCIM/CMMS y reporting	354
10) Ciberseguridad/continuidad y commissioning digital	354
Consecuencias Previstas	355
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización)	355
Lecciones Aprendidas	357

Caso práctico 14. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Control predictivo (MPC) y aprendizaje por refuerzo seguro para optimización energética multiobjetivo en red hospitalaria.359

Causa del Problema	359
Soluciones Propuestas	359
1) Gobierno, baseline y reloj maestro	359
2) Arquitectura OT/IT segura con DMZ industrial	360

3) Modelo energético termo-hidráulico (1D/2D) y perfiles de ocupación/clima	360
4) MPC de planta de frío y distribución	360
5) MPC de UTA y ventilación por demanda (zonas no críticas)	360
6) Aprendizaje por refuerzo seguro (AR-seguro) para VAV/caudales locales	360
7) Orquestación multiobjetivo coste-emisiones-confort	361
8) Gestión de picos y respuesta a la demanda (DR)	361
9) Aseguramiento, verificación y despliegue seguro	361
10) Integración SCADA/BMS/DCIM y CMMS (cierre del ciclo)	361
11) Ciberseguridad y continuidad	361
12) Capacitación por roles y operación 24x7	361
Consecuencias Previstas	362
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización)	362
Lecciones Aprendidas	364

Caso práctico 15. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Integración EMS/BEMS/DERMS con gemelo digital para optimización energética, flexibilidad y resiliencia en una red multisede.....366

Causa del Problema	366
Soluciones Propuestas	366
1) Gobierno energético, baseline y reloj maestro	366
2) Arquitectura OT/IT segura (DMZ + edges) y plataforma de datos	367
3) Semántica energética y esquema del gemelo (Haystack/Brick + DTDL-equivalente)	367
4) Submetering y plan de medida	367
5) Forecasting de demanda/producción/precio y normalización climática	367
6) EMS corporativo (despacho económico y alarmas económicas)	367
7) Orquestación de baterías (arbitraje y recorte de picos)	368
8) Optimización de CHP con acople térmico	368
9) Integración DERMS y respuesta a la demanda (DR)	368
10) M&V (IPMVP) y reporting ESG	368
11) Resiliencia: modos isla y continuidad	368
12) Capacitación por roles y despliegue por oleadas	368
Consecuencias Previstas	369
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización)	370
Lecciones Aprendidas	371

Caso práctico 16. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Plataforma ESG con gemelo digital para descarbonización, bienestar (IAQ/IEQ) y economía circular en un portfolio corporativo iberoamericano.....373

Causa del Problema	373
Soluciones Propuestas	374
1) Gobierno ESG, baseline y reloj maestro	374
2) Arquitectura de integración segura (DMZ + edges) y plataforma de datos	374
3) Semántica ESG y esquema del gemelo (Haystack/Brick + DTDL-equivalente)	374
4) Catálogo de factores de emisión y motor de cálculo	374
5) Ingesta holística (energía, agua, residuos) y enriquecimiento	375
6) IAQ/IEQ y bienestar vinculados a ocupación	375
7) Economía circular y pasaporte digital de materiales/activos	375
8) Data products ESG (M&V IPMVP, CSRD/GRI) y linaje ALCOA+	375
9) FDD energético y medidas operativas "no-regrets"	375
10) Integración CMMS/EAM y proveedores circulares	375
11) Ciberseguridad y privacidad (RGPD)	376
12) Capacitación, cambio y escalado	376
Consecuencias Previstas	376

Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización).....	377
Lecciones Aprendidas.....	378

Caso práctico 17. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Operación 24x7 multisede con NOC/SOC unificado y SRE OT/IT en túneles y autopistas urbanas (España y Latinoamérica).380

Causa del Problema.....	380
Soluciones Propuestas.....	381
1) Modelo de operación distribuida 24x7 (multinivel y multisede).....	381
2) NOC/SOC unificado con "sala de cristal" y gemelo digital.....	381
3) Observabilidad integral OT/IT.....	381
4) SRE para OT/IT (SLO/SLA y error budgets).....	381
5) Gestión de incidencias e "Incident Command System" (ICS).....	381
6) Integración NOC↔SOC y detección en OT.....	382
7) Gestión del cambio a escala (CAB, canary y ventanas).....	382
8) Health checks, capacidad y "chaos drills".....	382
9) Automatizaciones seguras (runbooks) y "break-glass".....	382
10) ITSM/CMMS integrado y "cerrar el ciclo".....	382
11) Ciberseguridad y continuidad.....	383
12) Economía de escala y cuadro ejecutivo.....	383
Consecuencias Previstas.....	383
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización).....	384
Lecciones Aprendidas.....	385

Caso práctico 18. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Modelos de contratación, licencias y retorno económico en un programa corporativo de gemelo digital (España y Latinoamérica).387

Causa del Problema.....	387
Soluciones Propuestas.....	387
1) Inventario económico y "driver" métrico único (tags, usuarios, eventos).....	387
2) Escenarios de licenciamiento comparables.....	388
3) Make-or-Buy y arquitectura de implantación (SaaS vs. on-prem/híbrido).....	388
4) Contrato marco multinacional y catálogo de servicios.....	388
5) Cláusulas anti lock-in y reversibilidad de datos.....	388
6) Modelo económico con tramos, ramp-up y topes de crecimiento.....	389
7) Pagos variables por rendimiento (gain-share / penalizaciones).....	389
8) RFP, POC y scoring económico-técnico.....	389
9) Business case y análisis de sensibilidad.....	389
10) PMO económico y FinOps de plataforma.....	389
Consecuencias Previstas.....	390
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	390
Lecciones Aprendidas.....	392

Caso práctico 19. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." Programa integral de cumplimiento y estandarización OT/IT para el gemelo digital en infraestructuras críticas iberoamericanas.394

Causa del Problema.....	394
Soluciones Propuestas.....	395
1) Marco normativo unificado y matriz de trazabilidad.....	395
2) Gobierno y roles (RACI OT/IT/Legal/ESG).....	395
3) Inventario de activos, criticidad y zonas/conductos.....	395
4) Política de acceso e identidades (Zero Trust OT).....	395
5) Hardening, parches y vulnerabilidades.....	396
6) Registro, trazabilidad y evidencias ALCOA+.....	396

7) Continuidad (DRP/BCP) y pruebas periódicas.....	396
8) Protección de datos y soberanía (operativos vs. personales).....	396
9) Contratación pública y pliegos técnicos.....	396
10) Auditorías internas/externas y GRC.....	397
11) Comms y respuesta a incidentes	397
12) Capacitación por roles y certificaciones	397
Consecuencias Previstas.....	397
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización).....	398
Lecciones Aprendidas.....	399

Caso práctico 20. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." **Checklists y formularios corporativos de datos e integración para acelerar el despliegue del gemelo digital.....401**

Causa del Problema.....	401
Soluciones Propuestas.....	401
1) Programa y biblioteca corporativa de checklists (Cap. 20 completo).....	401
2) C1 — Inventario de fuentes y tags.....	402
3) C2 — Calidad y validación	402
4) C3 — Semántica y mapeos.....	402
5) C4 — Historian/TSDb y retención	402
6) C5 — APIs y eventos	403
7) C6 — Gobernanza y acceso.....	403
8) Herramienta "Checklist Builder" (CLI + web) y plantillas vivas	403
9) CI/CD de integraciones con "quality gates"	403
10) Piloto España–LatAm y escalado por oleadas.....	403
11) Contratación y pliegos anexos a C1–C6	404
12) Capacitación por roles y cambio cultural.....	404
Consecuencias Previstas.....	404
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización).....	405
Lecciones Aprendidas.....	406

Caso práctico 21. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." **Formularios corporativos de arquitectura y ciberseguridad OT/IT para un despliegue seguro del gemelo digital en España y Latinoamérica.408**

Causa del Problema.....	408
Soluciones Propuestas.....	409
1) F-OT/IT-0: Gobierno, alcance y RACI.....	409
2) F-OT/IT-1: Topología y segmentación (zonas/conductos)	409
3) F-OT/IT-2: Flujos aprobados y firewalls/listas.....	409
4) F-OT/IT-3: Acceso remoto y bastionado	409
5) F-OT/IT-4: Gestión de identidades, llaves y secretos.....	409
6) F-OT/IT-5: Parches y vulnerabilidades	410
7) F-OT/IT-6: Continuidad y copias (RTO/RPO, WORM y ensayos)	410
8) F-OT/IT-7: Observabilidad y reloj maestro	410
9) F-OT/IT-8: Conformidad, evidencias y auditoría	410
10) F-OT/IT-9: Seguridad en APIs/eventos del gemelo	410
11) F-OT/IT-10: Aprobación CAB y "lista de verificación" de traspaso a producción	410
12) F-OT/IT-11: Capacitación y simulacros	411
Consecuencias Previstas.....	411
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización).....	411
Lecciones Aprendidas.....	412

Caso práctico 22. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." **Planillas de commissioning digital (FAT/SAT/SIT/IST) y verificación extremo a extremo en un**

complejo aeroportuario.....	414
Causa del Problema	414
Soluciones Propuestas.....	415
1) Plan maestro de commissioning y matriz de trazabilidad	415
2) Planillas FAT por familia.....	415
3) Planillas SAT en campo	415
4) Pruebas SIT/IST end-to-end de señales y alarmas	415
5) Matrices C&E, prioridades y deadbands.....	415
6) Banco de pruebas virtual y sandbox de integraciones	416
7) Rendimiento, picos y capacidad	416
8) Resiliencia/failover y modos degradados	416
9) Limpieza de overrides y “lista de pre-go-live”	416
10) Handover digital y documentación.....	416
11) Gestión de no conformidades y retesteo	416
12) Capacitación por roles y drills	417
Consecuencias Previstas.....	417
Resultados de las Medidas Adoptadas (apertura + 6 meses de estabilización)	417
Lecciones Aprendidas	419

Caso práctico 23. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." **Plantillas de O&M predictivo (APM/RCM/CBM) y operación basada en datos en un portfolio industrial y terciario iberoamericano.....**

.....	421
Causa del Problema	421
Soluciones Propuestas.....	422
1) Criticidad y RCM corporativo (matriz crítico-riesgo).....	422
2) Catálogo de activos y “árbol funcional” (padres/hijos)	422
3) FMEA/FMECA por familia (HVAC, bombas, compresores, UPS/SAI, transformadores, PCI)	422
4) Plan CBM por activo (variables, umbrales, frecuencias y “rondas digitales”)	422
5) Calidad del dato y calibración	423
6) Análítica avanzada e IA (gemelos analíticos)	423
7) Integración EAM/CMMS: alertas→OT/WO automáticos con contexto	423
8) KPIs y cuadros de mando de O&M (operativos, tácticos y ejecutivos).....	423
9) Inventario de repuestos, criticidad y obsolescencia	424
10) Playbooks de intervención y seguridad (SOP/EOP)	424
11) Gestión del cambio y formación (rondas digitales)	424
12) Economía y PMO de O&M predictivo	424
Consecuencias Previstas.....	425
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización).....	425
Lecciones Aprendidas	427

Caso práctico 24. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS." **Acuerdos SLA/OLA, cuadros de mando y reporting ejecutivo en una red hospitalaria y campus sanitario iberoamericano.....**

.....	429
Causa del Problema	429
Soluciones Propuestas.....	430
1) Catálogo de servicios y mapa de criticidad sanitaria	430
2) Definición corporativa de SLA/OLA y métricas normalizadas.....	430
3) Contratos SLA con proveedores y OLA internos	430
4) Telemetría y linaje ALCOA+ para KPIs.....	430
5) Cuadro de mando operativo (tiempo real y diario)	431
6) Cuadro táctico/mensual (rendimiento y mejora continua)	431
7) Cuadro ejecutivo (dirección y comité clínico).....	431
8) Reporting estandarizado y calendario (M/T/Q/A)	431



9) Revisión de servicio (Comité SLA) y gestión de acciones.....	431
10) Economía del servicio: coste por servicio/activo, TCO y benchmarking.....	431
11) Bonos/penalizaciones y “gain-sharing”	432
12) Capacitación y adopción (roles clínicos y técnicos)	432
Consecuencias Previstas.....	432
Resultados de las Medidas Adoptadas (12 meses; 3 de estabilización).....	433
Lecciones Aprendidas.....	434

Caso práctico 25. "GEMELO DIGITAL E INTEGRACIÓN SCADA/BMS/DCIM EN INFRAESTRUCTURAS."

Licitación competitiva (RFP), evaluación de proveedores y business case corporativo para un gemelo digital OT/IT multisector (España y Latinoamérica).436

Causa del Problema	436
Soluciones Propuestas.....	436
1) Alcance del RFP y drivers económicos corporativos.....	436
2) Requisitos funcionales y técnicos (hoja de especificaciones)	437
3) Criterios de interoperabilidad y semántica.....	437
4) Seguridad y cumplimiento (IEC 62443/ISO 27001) en el RFP	437
5) Diseño del POC (8 semanas, 2 sedes)	437
6) Matriz de evaluación y scoring	437
7) Modelos de precios y tramos + caps de crecimiento.....	438
8) Cláusulas anti lock-in y reversibilidad	438
9) Pagos variables por rendimiento (gain-sharing)	438
10) Business case a 5 años y sensibilidad	438
11) PMO de selección y gobernanza contractual.....	438
12) Plan de transición y despliegue por oleadas.....	438
Consecuencias Previstas.....	439
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	440
Lecciones Aprendidas.....	441

¿QUÉ APRENDERÁ?



- Definir el gemelo digital y su integración con SCADA/BMS/DCIM en entornos OT/IT.
- Diseñar la arquitectura de referencia (Purdue/ISA-95, edge-core-cloud) y zonas de confianza.
- Seleccionar y aplicar protocolos y semántica (OPC UA, MQTT, BACnet, Project Haystack/Brick, DTDL).
- Construir la plataforma de datos operacionales: ingesta, historización TSDB y gobierno del dato.
- Implantar ciberseguridad OT/IT y continuidad (IEC 62443, DMZ industrial, copias inmutables, RTO/RPO).
- Integrar SCADA, BMS y DCIM en el gemelo con FDD, contextualización y automatizaciones seguras.
- Asegurar la continuidad digital BIM/IFC/COBie→gemelo y el handover operativo.
- Realizar commissioning digital FAT/SAT/SIT/IST y pruebas de rendimiento y resiliencia.
- Desplegar O&M predictivo (RCM/CBM/APM), flujos EAM/CMMS y KPIs de disponibilidad y coste.
- Optimizar energía, costes y emisiones con EMS/BEMS/DERMS, respuesta a la demanda y MPC.
- Escalar operación multisede 24x7 con NOC/SOC, SRE OT/IT y cuadros de mando ejecutivos.



-
- Elaborar RFP, evaluar proveedores y construir el business case (TCO, ROI, penalizaciones e incentivos).

Introducción.



DEL DATO A LA DECISIÓN: guía práctica de gemelo digital e integración SCADA/BMS/DCIM para operaciones de alto rendimiento

En un contexto de presión regulatoria, costes energéticos volátiles y exigencias de disponibilidad 24x7, las infraestructuras han pasado de “controlar equipos” a “gestionar información crítica en tiempo real”. El gemelo digital, integrado con SCADA/BMS/DCIM, permite convertir señales dispersas en decisiones operativas, ahorro medible y resiliencia. Sin embargo, muchas organizaciones se pierden entre promesas tecnológicas, falta de interoperabilidad y dificultad para “vender” internamente el programa: asegurar financiación, alinear a Dirección y coordinar OT/IT no es trivial. Esta guía nace para resolver ese hueco: qué hacer, cómo hacerlo y, sobre todo, cómo justificarlo con métricas sólidas.

La guía ofrece un recorrido completo, práctico y accionable. Encontrará el marco estratégico del gemelo digital, arquitecturas OT/IT (Purdue, edge-core-cloud) y principios de interoperabilidad; protocolos y semántica (OPC UA, MQTT, BACnet, Project Haystack/Brick, DTDL); plataforma de datos operacionales (ingesta, TSDB, linaje y gobierno); ciberseguridad y continuidad (IEC 62443, Zero Trust, RTO/RPO); integración por dominios (SCADA, BMS, DCIM); continuidad digital BIM→Gemelo y commissioning FAT/SAT/SIT/IST; O&M predictivo (RCM/CBM/APM) y FDD; analítica avanzada y control predictivo; energía, sostenibilidad y ESG; operación multisede 24x7 con NOC/SOC; modelos económicos, ROI y RFP; normativa en España y Latinoamérica; y, como pilar diferencial, un amplio repertorio de checklists, formularios y casos reales listos para aplicar desde el primer día.

Como profesional, esta guía le ayudará a afinar su propuesta de valor y su estrategia de “marketing técnico”: articular beneficios comprensibles para Dirección, Promotor y Operación; traducir requisitos a contratos claros; construir un business case con TCO, ROI y payback; y diseñar una RFP que evite dependencias y maximice la interoperabilidad. Obtendrá plantillas reutilizables para acelerar commissioning y handover, cuadros de mando con KPIs relevantes (disponibilidad, MTTR, PUE, coste por servicio, emisiones), y un método para priorizar inversiones según criticidad y retorno. El beneficio tangible es directo —



menos incidencias, menor consumo, más disponibilidad—; el intangible, igual de valioso: credibilidad, trazabilidad y una cultura de decisión basada en datos.



Si busca una herramienta que combine rigor técnico y orientación a resultados, esta guía es una inversión modesta frente al impacto que puede desbloquear en su organización. Adquiérala y utilice sus checklists y formularios como palanca inmediata para asegurar financiación, alinear equipos y reducir riesgos desde la primera semana de trabajo.



Mantenerse actualizado no es opcional cuando la competencia optimiza en tiempo real y los requisitos de cumplimiento se endurecen. Dé el siguiente paso hacia la excelencia: convierta sus datos en decisiones, y sus decisiones en resultados sostenibles y auditables. La guía le acompaña, de principio a fin, con criterios, ejemplos y herramientas que funcionan.