



CURSO/GUÍA PRÁCTICA COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS

MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT — ENTREGA SIN FALLOS



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?	24
Introducción.	25
PARTE PRIMERA.	27
MARCO DE “ENTREGA SIN FALLOS” EN MEP CRÍTICA (CONEXIÓN FAT/SAT → IST → ORAT)	27
Capítulo 1: Fundamentos y posicionamiento de la guía (España–LatAm)	27
1. Propósito, alcance y caso de uso de “entrega sin fallos”	27
a. Definición operativa de éxito (disponibilidad, seguridad, cumplimiento).....	27
b. Relación con nuestras guías de Promoción/Construcción de Centros de Datos y con Commissioning genérico.....	28
c. Aplicabilidad internacional (España–LatAm) y neutralidad normativa	28
2. Terminología clave del título: MEP crítica, FAT, SAT, IST, ORAT, Cx continuo	29
a. Diferencias entre QA/QC, Cx y Puesta en Marcha.....	29
b. Niveles y etapas de Cx orientadas a edificios críticos	29
c. Conceptos de “Día 1 sin fallos” y “reliability run”	30
3. Marcos de referencia internacionales sin colisión local	30
a. Uptime/EN 50600/TIA-942, ASHRAE Guideline 0/1.1, BCxA (visión)	30
b. Integración con gestión de activos (O&M) y continuidad de negocio	31
c. Criterios de adaptación a proyectos España–LatAm	31
4. Principios de diseño y operación para misión crítica	32
a. Seguridad de las personas, del activo y del dato (OT/IT)	32
b. Fiabilidad, mantenibilidad y operabilidad (RAMS)	32
c. Sostenibilidad energética e hídrica (PUE/WUE)	32
5. Métricas de éxito y KPIs de la entrega sin fallos	33
a. Disponibilidad y niveles de servicio (SLA/SLO)	33
b. KPIs de Cx/IST (tasa de incidencias, cierre de punch-list)	33
c. Validación energética y térmica (tendencias, límites de alarma)	34
6. Estructura de la guía y trazabilidad OPR→BOD→Cx→IST→ORAT	34
a. Mapa de PARTES, CAPÍTULOs y entregables maestros	34
b. Flujo documental “as-built/as-commissioned”	35
c. Integración con plantillas y checklists.....	35
PARTE SEGUNDA	36
INGENIERÍA DE REQUISITOS PARA COMMISSIONING (OPR/BOD, DfCx)	36
Capítulo 2: OPR/BOD y Diseño para Commissioning (DfCx)	36
1. OPR (Owner’s Project Requirements) orientado a misión crítica	36
a. Requisitos de carga, redundancia, niveles de servicio y escalabilidad	36
b. Seguridad, compliance y sostenibilidad (criterios medibles)	37
c. Matriz de aceptación y umbrales de pruebas.....	37
2. BOD (Base of Design) y coherencia con el OPR	38
a. Arquitectura MEP y supuestos de diseño (ambientales/operativos)	38

b. Interdependencias OT/IT y filosofía de control.....	39
c. Revisión de coherencia y riesgos tempranos.....	39
3. DfCx (Design for Commissioning) como hilo conductor.....	40
a. Puntos de prueba, accesibilidad y validabilidad.....	40
b. Sensórica, trending, puertos de pruebas y bypasses.....	40
c. Etiquetado, identificación y ready-for-test.....	41
4. RAMS, criticidad y evaluación de riesgos.....	41
a. FMEA/FMECA sobre sistemas MEP y control.....	41
b. Árboles de fallo y escenarios de degradación.....	42
c. Criterios de N+1/2N y eliminación de SPOF.....	42
5. Requisitos de monitorización y alarmas.....	43
a. Definición de umbrales, bandas y deadbands.....	43
b. Defectos latentes y pruebas periódicas automáticas.....	43
c. Integridad de datos, precisión y calibración.....	44
6. Trazabilidad y gestión de cambios de diseño.....	44
a. Matriz OPR/BOD-Cx-IST (coverage & gaps).....	44
b. Control de versiones (documentos/datos) y RACI.....	44
c. Aprobaciones por etapas (gates) y readiness reviews.....	45
PARTE TERCERA.....	46
INTEGRACIÓN DE SISTEMAS Y DATOS (BMS/EPMS/SCADA/OT-IT) PARA ENTREGAS SIN FALLOS	46
Capítulo 3: Arquitectura de control, datos y ciberseguridad OT.....	46
1. BMS/EPMS/SCADA/NMS: funciones y límites de responsabilidad.....	46
a. Arquitectura de redes, segmentación y resiliencia.....	46
b. Integración con DCIM/CMMS y gemelo de datos.....	47
c. Registro, sellado temporal y auditoría de eventos.....	47
2. Normalización de señales y calidad de datos para Cx/IST.....	48
a. Naming, tipologías de punto y estados de prueba.....	48
b. Tiempo de muestreo, latencias y sincronización.....	48
c. Gestión de tags para scripts automáticos.....	49
3. Estrategia de alarmas y tendencias.....	49
a. Clasificación, priorización y racionalización (alarm philosophy).....	49
b. Dashboards de Cx, pre-IST y post-IST.....	50
c. Evidencias y exportables para aceptación.....	50
4. Ciberseguridad OT y continuidad de servicio.....	51
a. Principios IEC 62443 aplicados a MEP crítica.....	51
b. Gestión de parches/firmware y control de cambios.....	51
c. Planes de contingencia ante ciberincidentes.....	52
5. Integración OT/IT con sistemas de seguridad física.....	52
a. ACS/CCTV/IDS y dependencias eléctricas y térmicas.....	52
b. Pruebas de pérdida de comunicaciones y fallback.....	53
c. Registro forense y segregación de dominios.....	53
6. Pruebas en entorno controlado y emulación.....	54
a. Bancos virtuales de señales y FAT de software.....	54
b. SAT de integración y pruebas con cargas simuladas.....	54
c. Criterios de aceptación y rollback plan.....	55

PARTE CUARTA. 56

PLANIFICACIÓN DEL COMMISSIONING: Cx PLAN, QA/QC Y PRE-FUNCTIONAL (PREPARACIÓN PARA FAT/SAT) 56

Capítulo 4: Plan Maestro de Cx y QA/QC orientado a misión crítica 56

1. Cx Plan: objetivos, alcance, organización y RACI 56

- a. Roles: Owner, CxA, Integrador, contratistas, O&M 56
- b. Entregables, hitos (gates) y matriz de responsabilidades 57
- c. Gestión documental y control de versiones 58

2. QA/QC de obra con foco en pruebas futuras 58

- a. Inspecciones, certificados, conformidades y mock-ups 58
- b. Prácticas de limpieza, flushing y preservación 58
- c. Pre-energización y pre “wet” checks 59

3. Pre-functional checks (PFC) por disciplina 59

- a. Verificaciones mecánicas, eléctricas y de control 59
- b. Calibración, etiquetado y direccionalidad de flujos 60
- c. Evidencias fotográficas y registros 60

4. Preparación de scripts y criterios de aceptación 60

- a. Estructura de guiones, “preconditions” y límites 60
- b. Entradas/salidas esperadas y tiempo de respuesta 61
- c. Gestión de desviaciones (NCR) y re-pruebas 61

5. Readiness reviews y go/no-go 61

- a. Checklists de completitud y requisitos previos 61
- b. Gestión de punch-list y priorización 62
- c. Comité de decisión y actas de conformidad 62

6. Coordinación con seguridad y permisos 62

- a. Plan de riesgos, LOTO y procedimientos de trabajo 62
- b. Interferencias entre contratas y ventanas de prueba 63
- c. Comunicación con cliente y stakeholders 63

PARTE QUINTA. 64

FAT/SAT: LOGÍSTICA, INSTRUMENTACIÓN Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN (ANTESALA DEL IST) ... 64

Capítulo 5: FAT/SAT para MEP crítica y control 64

1. FAT de equipos y sistemas complejos 64

- a. Alcance, banco de pruebas y límites de representatividad 64
- b. Protocolos de proveedor y testigos de cliente 65
- c. No conformidades y acciones correctoras 65

2. SAT de campo y validación de interfaces 66

- a. Pruebas de instalación, energización y lazos 66
- b. Verificación de selectividad y protecciones 66
- c. Pruebas de comunicación e integración 67

3. Instrumentación y metrología para pruebas 67

- a. Equipos, exactitud, calibración y certificados 67
- b. Preparación de puntos de medida y seguridad 67
- c. Plan de gestión de instrumentos (custodia/estado) 68

4. Bancos de carga y estrategias de aplicación	68
a. Eléctricos (resistivos/reactivos) y térmicos (dummy loads)	68
b. Ubicación, distribución y seguridad operativa	68
c. Procedimientos de subida/bajada y monitorización	69
5. Criterios de aceptación y reporting	69
a. Valores objetivo, tolerancias y ventanas de prueba	69
b. Formatos de registro y “redlines”	69
c. Firma, archivo y trazabilidad.....	70
6. Transición FAT/SAT → Functional Cx → IST	70
a. Cierre de precondiciones y arranque escalonado	70
b. Plan de contingencias y fallback.....	70
c. Lecciones tempranas y ajustes de scripts	71
PARTE SEXTA.	72
COMMISSIONING FUNCIONAL (MEP CRÍTICA) POR SISTEMAS	72
Capítulo 6: Potencia y continuidad eléctrica (del Cx funcional al IST)	72
1. Subestación, aparamenta y distribución	72
a. Ensayos de servicio, protecciones y selectividad	72
b. Transferencias automáticas y manuales	73
c. Coordinación con EPMS y registros	73
2. UPS/SAI y baterías	74
a. Autonomía, pruebas de descarga y rendimiento	74
b. By-pass estático/mantenimiento y transitorios	74
c. Alarmas, eventos y diagnósticos.....	75
3. Grupos electrógenos y combustible	75
a. Arranque en negro, sincronismos y carga	75
b. Gestión de combustible y riesgos.....	76
c. Exigencias acústicas/ambientales en prueba	76
4. Calidad de potencia y armónicos	76
a. THD, flicker y desbalances	76
b. Mitigaciones y filtros	77
c. Protección de electrónica sensible	77
5. Puestas a tierra y compatibilidad electromagnética	77
a. Mallas, equipotencialidad y pruebas.....	77
b. Registros y continuidad	78
c. Integración con sistemas de protección	78
6. Protocolos de reversión y estabilidad	78
a. Vuelta a estado normal (post-fallo).....	78
b. Procedimientos de “fail functional” vs “safe fail”	79
c. Evidencias y criterios de aptitud	79
Capítulo 7: Térmico/HVAC, PCI y seguridad de vida (del Cx funcional al IST)	80
1. Producción térmica y enfriamiento crítico	80
a. Chillers, torres/adiabáticos, bombas y válvulas	80
b. Free-cooling, economización y control	81
c. Estabilidad térmica y rampas.....	81

2. Salas blancas/IT: CRAH/CRAC y contención	82
a. Flujo de aire, ΔT , hot/cold aisle	82
b. Humedad y partículas (si aplica)	82
c. Balanceo y pruebas de estrés térmico	83
3. Ventilación, presiones y estanqueidad	83
a. Pressurización de espacios críticos	83
b. Caudales, estanqueidad y calidad de aire	84
c. Alarmas de condiciones fuera de rango	84
4. Protección contra incendios (PCI)	84
a. Detección, alarmas y secuencias	84
b. Supresión (agua/gas) y enclavamientos	85
c. Reset, recarga y tiempos de recuperación	85
5. Seguridad de vida y evacuación	85
a. Iluminación de emergencia y señalización	85
b. Control de humos y compartimentación	86
c. Integraciones con ACS/CCTV/PA	86
6. Integración con BMS/EPMS y criterios de aceptación	86
a. Scripts de control y pruebas cruzadas	86
b. Trending y bandas de estabilidad	87
c. Documentación “as-commissioned”	87
PARTE SÉPTIMA	88
PRUEBAS INTEGRADAS (IST): ESCENARIOS, SCRIPTS Y APTITUD PARA OPERAR	88
Capítulo 8: Diseño y ejecución del IST (black-building, fallos en cascada)	88
1. Matriz de interdependencias y riesgos	88
a. Señales críticas, enclavamientos y estados seguros	88
b. Jerarquía de cargas y prioridades	89
c. Puntos de fallo y contención	89
2. Escenarios de IST y guiones	90
a. Pérdida de utility y degradación parcial	90
b. Conmutaciones fallidas y fallo múltiple	90
c. Retorno a normal y verificación pos-evento	91
3. Organización, seguridad y comunicación	91
a. Roles, briefings y “timekeepers”	91
b. LOTO, permisos y control de energías peligrosas	91
c. Comunicación con operación/seguridad	92
4. Instrumentación y evidencias	92
a. Puntos de medida y “time stamping”	92
b. Vídeo/registro y captura de eventos	93
c. Trazabilidad y replicabilidad	93
5. Criterios de aptitud y cierre de punch-list	93
a. Umbrales de aceptación por escenario	93
b. Gestión de NCR y re-pruebas	94
c. Informe final de aptitud para operar	94
6. Reliability run y validación de SLAs	94
a. Duración (72–120 h), cargas y variabilidad	94

b. Estabilidad de control y alarmas	95
c. Firma de aceptación y handover	95
PARTE OCTAVA.	96
HANDOVER Y ORAT: MOP/SOP/EOP, FORMACIÓN Y “DÍA 1 SIN FALLOS”	96
Capítulo 9: Transferencia a operación (ORAT) y preparación del equipo O&M	96
1. Documentación de handover y datos “as-commissioned”	96
a. Manuales, planos, listas de activos y repuestos	96
b. Configuraciones de control y setpoints	97
c. Carga al CMMS/DCIM y gobernanza de datos	97
2. Procedimientos MOP/SOP/EOP.....	98
a. Estructura, numeración y control de cambios.....	98
b. Operaciones rutinarias y maniobras críticas	98
c. Respuesta a emergencias y escalado	99
3. Formación, simulacros y certificación de competencias.....	99
a. Plan de capacitación y check de desempeño	99
b. Drills de fallo y ejercicios integrados	99
c. Criterios de reentrenamiento y refresco	100
4. Operación temprana y ajuste estacional	100
a. Fine-tuning de control y setpoints.....	100
b. Gestión de alarmas y umbrales	100
c. Re-commissioning planificado	101
5. Gestión de cambios y upgrades en vivo	101
a. MOPs de modificación y ventanas de riesgo	101
b. Ensayos previos y rollback.....	101
c. Evidencias y aceptación post-cambio	102
6. Cierre contractual y garantías/LDs/bonus-malus	102
a. KPIs de “Día 1” y periodos de observación.....	102
b. Corrección de defectos y plazos	102
c. Acta final y “lessons learned”	103
PARTE NOVENA.	104
CONTRATACIÓN Y RIESGOS DE INTEGRACIÓN (PLIEGOS Cx/IST Y GOBERNANZA).....	104
Capítulo 10: Pliegos, seguros y performance management para Cx/IST/ORAT	104
1. Requisitos contractuales de Cx/IST en RFP/Pliegos	104
a. Alcances, entregables y criterios de aceptación.....	104
b. Plan de pruebas por etapas y evidencias mínimas.....	105
c. Interfaces y responsabilidades (RACI contractual)	105
2. Rol del Integrador y del CxA	106
a. Independencia, autoridad y reporting.....	106
b. Conflictos de interés y gobierno.....	106
c. Métricas de desempeño del equipo	106
3. Riesgos de integración y matriz de asignación.....	107
a. Técnicos, de planificación y de coordinación	107
b. De ciberseguridad y continuidad.....	107
c. Mitigaciones, contingencias y seguros	107

4. LDs/bonus-malus y esquema de incentivos	108
a. Calidad de pruebas, plazos y disponibilidad	108
b. Energía/eficiencia y KPIs de operación temprana	108
c. Retenciones y garantías	109
5. Compliance y requisitos HSE.....	109
a. LOTO, permisos y formación exigible	109
b. Gestión de contratistas y subcontratas.....	109
c. Auditorías y no conformidades.....	109
6. Gestión de claims y resolución de disputas	110
a. Registro de hechos, evidencia y peritaje	110
b. Mecanismos escalonados (DRB, mediación)	110
c. Lecciones para futuros contratos	110
PARTE DÉCIMA.	111
HERRAMIENTAS DEL COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT. CHECKLISTS Y FORMULARIOS	111
Capítulo 11: Formularios Cx Plan, RACI, interdependencias.....	111
FORMULARIO Nº 11.01 — Cx Plan maestro (completo)	111
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	112
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	112
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	112
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	113
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	113
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	113
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	113
Sección 8. Evidencias y referencias	114
CHECKLIST Nº 11.02 — Matriz de responsabilidades (RACI) por etapa	114
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	114
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	114
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	115
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	115
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	115
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	115
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	115
Sección 8. Evidencias y referencias	115
FORMULARIO Nº 11.03 — Matriz de interdependencias para IST	116
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	116
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	116
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	116
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	116
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	117
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	117
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	117
Sección 8. Evidencias y referencias	117
CHECKLIST Nº 11.04 — Readiness review (go/no-go)	117
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	118
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	118
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	118

Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	118
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	118
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	118
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	119
Sección 8. Evidencias y referencias	119
FORMULARIO Nº 11.05 — Registro de issues/NCR y punch-list	119
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	119
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	119
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	120
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	120
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	120
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	120
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	120
Sección 8. Evidencias y referencias	120
FORMULARIO Nº 11.06 — Acta de prueba e informe (FAT/SAT/Cx/IST/ORAT).....	121
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	121
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	121
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	121
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	122
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	122
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	122
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	122
Sección 8. Evidencias y referencias	122
Capítulo 12: Checklists pre-funcionales y funcionales.....	123
CHECKLIST Nº 12.01 — Eléctrico (pre-funcionales: inspección, protecciones, energización segura)123	
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	123
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	124
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	124
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	124
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	125
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	125
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	125
Sección 8. Evidencias y referencias	125
CHECKLIST Nº 12.02 — Eléctrico (funcionales: UPS/Grupos/ATS, calidad de potencia, reversión)125	
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	125
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	126
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	126
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	126
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	126
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	127
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	127
Sección 8. Evidencias y referencias	127
CHECKLIST Nº 12.03 — Térmico/HVAC (pre-funcionales: flushing, flujos, sensórica).....	127
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	127
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	128
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	128
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	128
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	128
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	129

Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	129
Sección 8. Evidencias y referencias	129
CHECKLIST Nº 12.04 — Térmico/HVAC (funcionales: control T/RH, CRAH/CRAC, estabilidad) ...	129
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	129
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	129
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	130
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	130
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	130
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	130
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	130
Sección 8. Evidencias y referencias	131
CHECKLIST Nº 12.05 — PCI y seguridad de vida (detección, supresión, evacuación).....	131
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	131
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	131
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	131
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	132
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	132
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	132
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	132
Sección 8. Evidencias y referencias	132
CHECKLIST Nº 12.06 — OT/IT y seguridad física (integraciones, alarmas, comunicaciones).....	133
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	133
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	133
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	133
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	134
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	134
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	134
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	134
Sección 8. Evidencias y referencias	134
Capítulo 13: Scripts listos y paquetes de operación (SCRIPTS IST, ORAT, MOP/SOP/EOP, registros)	135
FORMULARIO Nº 13.01 — Script IST — Pérdida de utility y conmutaciones	135
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	135
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	136
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	136
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	136
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	136
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	136
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	137
Sección 8. Evidencias y referencias	137
FORMULARIO Nº 13.02 — Script IST — Fallos en cascada y black-building	137
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	137
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	137
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	138
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	138
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	138
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	138
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	138
Sección 8. Evidencias y referencias	138

FORMULARIO Nº 13.03 — Script IST — Retorno a normal y verificación pos-evento	139
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	139
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	139
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	139
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	139
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	140
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	140
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	140
Sección 8. Evidencias y referencias	140
CHECKLIST Nº 13.04 — ORAT — Lista de comprobación de handover (“Día 1 sin fallos”)	140
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	140
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	141
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	141
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	141
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	141
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	141
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	141
Sección 8. Evidencias y referencias	141
FORMULARIO Nº 13.05 — ORAT — Pruebas de familiarización	142
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	142
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	142
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	142
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	142
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	142
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	143
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	143
Sección 8. Evidencias y referencias	143
FORMULARIO Nº 13.06 — ORAT — Plan de transición a O&M.....	143
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	143
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	143
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	143
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	144
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	144
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	144
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	144
Sección 8. Evidencias y referencias	144
FORMULARIO Nº 13.07 — Plantilla MOP (procedimiento de maniobra)	144
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	145
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	145
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	145
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	145
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	145
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	145
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	145
Sección 8. Evidencias y referencias	145
FORMULARIO Nº 13.08 — Plantilla SOP (operación estándar)	146
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	146
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	146
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	146

Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	146
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	146
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	147
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	147
Sección 8. Evidencias y referencias	147
FORMULARIO Nº 13.09 — Plantilla EOP (emergencia).....	147
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	147
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	147
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	147
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	148
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	148
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	148
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	148
Sección 8. Evidencias y referencias	148
FORMULARIO Nº 13.10 — Plan de formación y evaluaciones (sesiones y temarios)	148
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	149
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	149
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	149
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	149
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	149
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	149
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	149
Sección 8. Evidencias y referencias	149
FORMULARIO Nº 13.11 — Registro de asistencia/competencia (por persona)	150
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	150
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	150
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	150
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	150
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	150
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	150
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	151
Sección 8. Evidencias y referencias	151
CHECKLIST Nº 13.12 — Criterios de aptitud (certificación por rol).....	151
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	151
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	151
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	151
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	152
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	152
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	152
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	152
Sección 8. Evidencias y referencias	152
FORMULARIO Nº 13.13 — Registro PUE/WUE y límites operativos.....	152
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	152
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	153
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	153
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	153
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	153
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	153
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	153
Sección 8. Evidencias y referencias	153

CHECKLIST Nº 13.14 — Alarmas y reporting (racionalización y envíos).....154

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	154
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	154
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	154
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	154
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	154
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	155
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	155
Sección 8. Evidencias y referencias	155

FORMULARIO Nº 13.15 — Calendario de tendencias y responsables (energía/fiabilidad).....155

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	155
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	155
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	156
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	156
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	156
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	156
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	156
Sección 8. Evidencias y referencias	156

FORMULARIO Nº 13.16 — Lecciones aprendidas (captura estructurada)157

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	157
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	157
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	157
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	157
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	157
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	158
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	158
Sección 8. Evidencias y referencias	158

CHECKLIST Nº 13.17 — Clasificación y difusión (lecciones).....158

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	158
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	158
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	158
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	159
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	159
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	159
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	159
Sección 8. Evidencias y referencias	159

FORMULARIO Nº 13.18 — Retroalimentación al OPR/BOD (cierre).....159

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	160
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	160
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	160
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	160
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	160
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	160
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	160
Sección 8. Evidencias y referencias	160

PARTE UNDÉCIMA.161
PRÁCTICA DEL COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT.....161



Capítulo 14: Aplicaciones reales en centros de datos y edificios críticos.....161

1. Data Center Tier III/IV: calendario Cx e IST completos	161
a. Decisiones clave y riesgos emergentes	161
b. Métricas de éxito y errores evitados	162
c. Lecciones aplicables a LatAm/España	162
2. Hospital con UCI y quirófanos: HVAC-eléctrico-PCI	163
a. Validación integrada y continuidad asistencial	163
b. Ensayos de gases/seguridad de vida	163
c. ORAT con personal clínico y técnico	164
3. Planta pharma/cleanroom: compatibilidad Cx-IQ/OQ/PQ	164
a. Delimitación de alcances y evidencias	164
b. Control de partículas y presión	164
c. Gestión de cambios regulados	165
4. Centro de control/CPD de administración pública	165
a. Seguridad, soberanía del dato y continuidad	165
b. Black-building y comunicación de crisis	165
c. Operación temprana y ajustes	166
5. Ampliación "live" sin parada	166
a. Estrategia de fases y MOPs críticos	166
b. Pruebas con cargas temporales	166
c. Cierre y transferencia segura	167
6. Síntesis de lecciones y "do/don't"	167
a. Patrones de éxito repetibles	167
b. Antipatrones y señales de alerta	167
c. Checklist de replicación	167

Capítulo 15: Casos prácticos del commissioning de centros de datos y edificios críticos: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT.....169

Caso práctico 1. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Puesta en marcha básica con bancos de carga y secuencias ATS-UPS-grupos en un CPD edge.....	169
Causa del Problema	169
Soluciones Propuestas.....	170
1) Establecimiento exprés del Plan de Commissioning (Cx Plan), RACI y readiness	170
2) Alquiler y despliegue de bancos de carga resistivos (600 kW) y plan de instrumentación	170
3) Reconfiguración de protecciones y ATS (selectividad y tiempos de transferencia)	170
4) Verificación integral de UPS (descarga controlada, bypass y alarmas)	170
5) Normalización de datos en BMS/EPMS y tendencias a 1 s durante las pruebas	171
6) ORAT inicial y MOP/SOP de maniobras críticas	171
Consecuencias Previstas.....	171
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	172
Lecciones Aprendidas	172
Caso práctico 2. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Estabilización térmica y equilibrado hidráulico en planta de enfriamiento con free-cooling.	174
Causa del Problema	174
Soluciones Propuestas.....	174



1) Gobierno de Cx térmico específico (Cx Plan térmico, RACI y gates de readiness).....	174
2) Flushing, limpieza química selectiva y preservación.....	174
3) Instrumentación temporal y normalización de datos (muestreo a 1 s con sello NTP)	175
4) Equilibrado hidráulico y autoridad de válvulas (PICV y gestión de bypass).....	175
5) Reubicación y calibración de sensores de temperatura	175
6) Sintonización de lazos (PID) y DP reset basado en válvula crítica	175
7) Revisión de estrategia de free-cooling y economización.....	175
8) Pruebas con cargas térmicas distribuidas y scripts de aceptación	176
9) ORAT térmico y operaciones: MOP/SOP/EOP, formación y plan estacional.....	176
Consecuencias Previstas.....	176
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	177
Lecciones Aprendidas.....	177

Caso práctico 3. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Integración BMS/EPMS y racionalización de alarmas para un IST reproducible.179

Causa del Problema	179
Soluciones Propuestas.....	179
1) Modelo de datos maestro e ICD (Interface Control Document) con diccionario de tags único	179
2) Sincronización temporal NTP/PTP y sello temporal consistente	179
3) Historian unificado y ETL de datos con muestreo a 1 s en ventana de pruebas	180
4) Filosofía de alarmas (alarm philosophy) y racionalización	180
5) Estados de prueba, "test harness" y flags de trazabilidad.....	180
6) Dashboards de Cx/IST y "sequence-of-events" (SOE) sub-segundo en EPMS/ATS	180
7) Ciberseguridad OT durante pruebas: cuentas de servicio, whitelisting y control de cambios	181
8) Formación express para operación (alarm handling, exportables y post-IST).....	181
Consecuencias Previstas.....	181
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	182
Lecciones Aprendidas.....	182

Caso práctico 4. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Coordinación PCI–HVAC–eléctrico en un hospital crítico: presurización, control de humos y transferencia eléctrica sin interrumpir la asistencia.183

Causa del Problema	183
Soluciones Propuestas.....	183
1) Plan director de IST sanitario con zonificación "caliente/fría" y ventanas asistenciales	183
2) Validación y corrección de la matriz Causa–Efecto PCI (incendio) y direccionamiento de compuertas.....	184
3) Estabilización de presurización: sensores, PID y control de puertas	184
4) Racionalización de secuencias HVAC en quirófanos y UCI.....	184
5) Pruebas de humo frío (fog) y verificación de control de humos.....	184
6) Coordinación eléctrica esencial: ATS, selectividad y alumbrado de emergencia	184
7) Historian temporal, badges de contexto y exportables firmados	185
8) ORAT sanitario: MOP/SOP/EOP y formación con simulacros	185
9) Gobierno de cambios y ciberseguridad OT en PCI/BMS	185
Consecuencias Previstas.....	185
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	186
Lecciones Aprendidas.....	187

Caso práctico 5. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Asegurar la fiabilidad de los grupos electrógenos ante contaminación de diésel durante el reliability run.188

Causa del Problema	188
Soluciones Propuestas.....	188
1) Diagnóstico forense del combustible (bulk y day tanks)	188
2) Pulido (polishing) temporal de combustible y tratamiento biocida	188

3) Instrumentación e integración EPMS para el tren de combustible	189
4) Rediseño mínimo viable: circuito “kidney loop” permanente y filtración duplex	189
5) Ensayos eléctricos con bancos de carga y step-tests de gobernadores	189
6) Revisión de ATS, selectividad y modos de transferencia	189
7) Plan de calidad de combustible, MOP/SOP/EOP y cadena de suministro	190
8) Gestión contractual y de riesgos	190
Consecuencias Previstas	190
Resultados de las Medidas Adoptadas	191
Lecciones Aprendidas	191

Caso práctico 6. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Mitigación de armónicos y resonancias para cumplir KPIs de calidad de potencia.193

Causa del Problema	193
Soluciones Propuestas	193
1) Campaña de medidas Clase A y modelado de calidad de potencia	193
2) Reconfiguración de UPS y desactivación de eco-mode	193
3) Filtros activos de armónicos (AHF) en barras de distribución	194
4) Retirada de baterías de condensadores “desintonizadas” y sustitución por bancos con reactancias (pfc detunado)	194
5) Gestión del neutro y armónicos triplén	194
6) Protecciones y selectividad con presencia de armónicos	194
7) Integración en EPMS de PQ y SOE; dashboards de Cx/IST	194
8) Guiones eléctricos de IST con escenarios de peor caso	194
9) ORAT eléctrico: MOP/SOP/EOP y mantenimiento predictivo de PQ	195
Consecuencias Previstas	195
Resultados de las Medidas Adoptadas	195
Lecciones Aprendidas	196

Caso práctico 7. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Integridad de recinto, presión y acústica en descargas de agente limpio (gas) en salas IT.197

Causa del Problema	197
Soluciones Propuestas	197
1) Revisión integral de la matriz Causa-Efecto (PCI) y enclavamientos con HVAC/compuertas	197
2) Programa de estanqueidad y retención: “room integrity” (10 minutos)	197
3) Redimensionado y coordinación de alivio de presión (pressure relief)	198
4) Mitigación de riesgo acústico en descarga	198
5) Filtrado de falsas alarmas en ASD y coordinación con humidificación	198
6) Ensayo de descarga controlada sin agente (nitrógeno) y con agente (reducción de carga)	199
7) Ajuste de enclavamientos HVAC/CRAH para preservar uniformidad y no “diluir”	199
8) ORAT-PCI: procedimientos, formación y simulacros	199
9) Ciberseguridad y control de cambios en FAS/BMS durante pruebas	199
Consecuencias Previstas	199
Resultados de las Medidas Adoptadas	200
Lecciones Aprendidas	201

Caso práctico 8. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Black-building controlado con fallos en cascada y verificación de aptitud para operar.202

Causa del Problema	202
Soluciones Propuestas	202
1) Matriz de interdependencias crítica y FMEA de fallos encadenados (pre-IST)	202
2) Secuenciación ATS/UPS/Grupos y “generator mode” integral	203
3) Estrategia de arranque escalonado de HVAC y mitigación de cold load pick-up	203

4) Reingeniería del shedding y prioridades de carga (SOP de contingencias)	203
5) Resiliencia de comunicaciones OT durante IST (BMS/EPMS/NTP-PTP)	203
6) Instrumentación de alta resolución y SOE sub-segundo	204
7) Guiones de IST por oleadas con "timekeepers" y abortos seguros	204
8) Gestión térmica durante el evento: buffers y límites de estabilidad.....	204
9) ORAT y reliability run de 120 h con variabilidad de carga	204
Consecuencias Previstas.....	204
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	205
Lecciones Aprendidas.....	206

Caso práctico 9. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Ciberseguridad OT en commissioning: segmentación IEC 62443, parches y pruebas ofensivas controladas sin interrumpir el IST.207

Causa del Problema.....	207
Soluciones Propuestas.....	207
1) Inventario de activos OT y SBOM (Software Bill of Materials)	207
2) Segmentación por zonas y conductos (IEC 62443) con firewalls OT y ACL.....	207
3) Gobierno de identidades y accesos (IAM) con salto (jump server) y MFA	208
4) Gestión de parches y firmware con banco de pruebas (testbed) y ventanas Cx	208
5) Endurecimiento de HMIs/servidores: whitelisting y control de puertos	208
6) Monitoreo y logging central (SIEM ligero) con NTP/PTP	208
7) Acceso remoto seguro para proveedores.....	208
8) Backups, restores y runbooks de recuperación	208
9) Ejercicio ofensivo controlado (purple team) y tabletop	209
10) ORAT de ciberseguridad y documentación de cumplimiento	209
Consecuencias Previstas.....	209
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	210
Lecciones Aprendidas.....	210

Caso práctico 10. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." ORAT y handover integral: MOP/SOP/EOP, formación por competencias y "Día 1 sin fallos".212

Causa del Problema.....	212
Soluciones Propuestas.....	212
1) Paquete ORAT "llave en mano" con gobierno documental y control de versiones	212
2) MOP/SOP/EOP normalizados y testeados en "dry-run"	212
3) Matriz de competencias y plan de formación basado en modos de fallo (FMEA→skills)	213
4) Carga al CMMS/DCIM y "first fix kit" de repuestos críticos	213
5) Tablero de "Día 1" y backlog de punch-list gobernado	213
6) Runbook de "cambios en vivo" (ventanas, pruebas previas y rollback)	213
7) Programa de simulacros integrados (eléctrico-térmico-PCI-OT).....	213
8) Gestión de garantías/LDs/bonus-malus alineada con el "Día 1"	214
9) Paquete de comunicación y "playbooks" para incidentes.....	214
Consecuencias Previstas.....	214
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	214
Lecciones Aprendidas.....	215

Caso práctico 11. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Coordinación de protecciones y selectividad MT/BT con inyección primaria-secundaria y esquema de tierra seguro.216

Causa del Problema.....	216
Soluciones Propuestas.....	216
1) Revisión de estudios de cortocircuito/tcc y "as-built" (redlines) con cálculo actualizado	216
2) Campaña de inyección secundaria en relés MT/BT y verificación de polaridades de TC/TP	217

3) Inyección primaria selectiva en BT y prueba de curva en campo ("primary current injection")	217
4) Ajuste de protecciones de tierra (51N/50N) y filosofía de sensibilidad coordinada	217
5) Verificación de protecciones de frecuencia/tensión (81U/O, 27/59) y "generator mode"	217
6) Selectividad con PDU's y magnetotérmicos finales (curvas B/C/D y ajustes de UPS)	217
7) Esquema de tierra y equipotencialidad: verificación de impedancias y lazo de falla	218
8) SOE sub-segundo y calidad de potencia Clase A integrados en EPMS	218
9) Procedimientos MOP/SOP de pruebas eléctricas y formación O&M	218
10) Gobernanza de cambios (CMDB) y "curvas firmadas"	218
Consecuencias Previstas	218
Resultados de las Medidas Adoptadas	219
Lecciones Aprendidas	220

Caso práctico 12. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Digitalización de checklists pre-funcionales y funcionales y cierre de punch-list a gran escala en un campus multisedes.

Causa del Problema	221
Soluciones Propuestas	221
1) Plataforma digital de Cx con checklists normalizados, QR de activo y firma electrónica	221
2) Biblioteca maestra PFC/F-Tests "DfCx" enlazada a OPR/BOD y a scripts IST	221
3) Programa de metrología y caducidades: "kit de instrumento verificado"	222
4) QA/QC eléctrico: pares de apriete, etiquetado, IR/PI y pre-energización	222
5) QA/QC mecánico-hidráulico: flushing, limpieza, orientación y estanqueidad	222
6) PFC de control/OT: puntos, escalas, naming y NTP	222
7) Readiness reviews por "gates": go/no-go con requisitos duros	223
8) "War room" diario y tablero visual de punch-list por criticidad	223
9) Bootcamp de PFC/F-Tests para contratistas y supervisores	223
10) Integración CMMS/DCIM y "test gating" automático	223
11) Control de cambios y ciberseguridad durante PFC/F-Tests	223
12) Paquete económico y planificación "tacto quirúrgico"	223
Consecuencias Previstas	224
Resultados de las Medidas Adoptadas	224
Lecciones Aprendidas	225

Caso práctico 13. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Ampliación "live" de potencia y refrigeración en un CPD en producción sin pérdida de servicio.

Causa del Problema	226
Soluciones Propuestas	226
1) Plan maestro de fases con matriz de interdependencias y "ventanas micro"	226
2) Diseño de bypasses temporales y "bridge feeds" para UPS y busbar	227
3) "Shadow load" con bancos de carga y perfil de rampa	227
4) Coordinación de protecciones y ATS (firmware y curvas)	227
5) Hidráulica con PICV y "bypass alto" controlado	227
6) Doble alimentación de comunicaciones OT y reloj común	227
7) MOP/SOP/EOP de "ampliación live" con puntos de abortar y rollback	228
8) Estrategia térmica preventiva (buffers)	228
9) Historial unificado y evidencias automáticas	228
10) "Shadow IST" por microescenarios antes del corte real	228
11) Gestión contractual y de riesgos (bonus-malus de fase)	228
12) ORAT específico de ampliación y formación en campo	228
Consecuencias Previstas	229
Resultados de las Medidas Adoptadas	229
Lecciones Aprendidas	230

Caso práctico 14. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Orquestación del calendario integrado de Cx e IST en un Data Center Tier IV con obras solapadas.231

Causa del Problema	231
Soluciones Propuestas.....	231
1) Cx Plan Maestro con WBS de pruebas y "gates" de readiness (G0→G3).....	231
2) Calendario "por tiras de prueba" (test-lining) y camino crítico de Cx/IST.....	232
3) Pipeline de FAT "cerrables" y testigos remotos con control de representatividad	232
4) Paquetes de Cx funcional "contenibles" (Powerpath A/B, Térmico, PCI/seguridad, OT)	232
5) Logística centralizada de instrumentos y bancos de carga (pooling)	232
6) Coordinación constructiva con contención y "ventanas de polvo-cero"	233
7) Readiness reviews semanales y "war room" diario de Cx	233
8) Seguridad y permisos: LOTO, permisos de trabajo y plan de riesgos por script.....	233
9) Historian unificado 1 s/100 ms, NTP/PTP y exportables con hash	233
10) ORAT adelantado: MOP/SOP/EOP y formación "dentro del Cx"	233
11) Gestión de riesgos con buffers explícitos y análisis Monte Carlo del planning de Cx/IST	233
12) Cierre contractual gradual por sala (partial handover) con bonus-malus	234
Consecuencias Previstas.....	234
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	234
Lecciones Aprendidas.....	235

Caso práctico 15. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Validación de PUE/WUE y ajuste estacional de control tras el IST con garantías energéticas.....236

Causa del Problema	236
Soluciones Propuestas.....	236
1) Plan de Medida y Verificación (M&V) conforme a IPMVP (Opción B/C) y fronteras de PUE/WUE ...	236
2) Instrumentación adicional, recalibración y sincronización temporal	236
3) Modelo energético estacional y mapa de operación (load-ambient).....	237
4) Reset de setpoints de agua fría y DP por válvula crítica	237
5) Racionalización de ventilación de salas y control por temperatura de suministro (no por presión) ..	237
6) Reglas de economización (free-cooling) basadas en wet-bulb, histéresis y bloqueos temporales ...	237
7) Gestión del agua adiabática y optimización de purgas (WUE)	238
8) Reliability run energético de 120 h con escalones y "clima simulado"	238
9) Dashboards energéticos, alarmas "inteligentes" y reporting automático.....	238
10) ORAT energético: MOP/SOP/EOP y ritual de revisión mensual	238
Consecuencias Previstas.....	239
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	239
Lecciones Aprendidas.....	240

Caso práctico 16. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Integración de BESS y modo isla: microred con UPS y grupos, pruebas HIL→IST y seguridad UL9540A.241

Causa del Problema	241
Soluciones Propuestas.....	241
1) Arquitectura de control de microred y modos del PCS (grid-forming vs grid-following)	241
2) Coordinación de protecciones con fuentes de baja corriente de defecto.....	242
3) Política de SoC con reservas de resiliencia y ventanas de arbitraje	242
4) Ensayos HIL (hardware-in-the-loop) y FAT de control	242
5) Estrategias de anti-isla, ROCOF y sincronismo con generadores.....	242
6) Procedimientos de black-start y arranque escalonado	242
7) Seguridad de BESS (UL9540A) y ventilación de emergencia.....	243
8) Integración OT/seguridad del BESS.....	243

9) IST eléctrico con microescenarios (utility loss, island, re-sync, fault under island).....	243
10) ORAT y operación energética del BESS.....	243
Consecuencias Previstas.....	244
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	244
Lecciones Aprendidas.....	245
Caso práctico 17. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Optimización de contención y balance aerodinámico para estabilidad térmica con carga TI variable.....	246
Causa del Problema.....	246
Soluciones Propuestas.....	246
1) Diagnóstico aerotérmico avanzado y cartografiado del plenum.....	246
2) Sellado de bypasses de aire y coronación de racks.....	247
3) Rediseño de parrilla de losas perforadas por mapa de cargas y autoridad de válvulas.....	247
4) Control de CRAH por temperatura de suministro y ΔT en toma de rack.....	247
5) Reset de ΔP de suelo por losa crítica y aplanado del plenum.....	247
6) Válvulas de equilibrio en bypass alto y estrategia de "anti-caza".....	247
7) Densificación de sensórica en tomas de rack e IoT de pasillo.....	248
8) Campaña de pruebas térmicas con perfiles "bursty" y microfallos.....	248
9) Optimización acústica y confort de mantenimiento.....	248
10) Integración DCIM↔BMS y "capacity aware control".....	248
11) ORAT térmico y MOP/SOP/EOP.....	248
12) Ciberseguridad y control de cambios en BMS.....	248
Consecuencias Previstas.....	249
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	249
Lecciones Aprendidas.....	250
Caso práctico 18. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Integración de enfriamiento indirecto evaporativo y adiabáticos con control sanitario y psicrométrico para pasar el IST sin penalizar la WUE.	251
Causa del Problema.....	251
Soluciones Propuestas.....	251
1) Auditoría sanitaria e hidráulica del sistema IEC/IDEC con plan de muestreo.....	251
2) Rediseño de separadores de gotas y control de velocidad frontal.....	251
3) Trazabilidad de agua y gobierno de ciclos de concentración.....	252
4) Corrección de bandejas, pendientes y puntos muertos; filtración de derivación.....	252
5) Control psicrométrico por bulbo húmedo efectivo y punto de rocío de sala.....	252
6) Estrategia "anti-overspray" en dry-coolers adiabáticos.....	252
7) Programa de prevención de legionela y seguridad del agua en commissioning.....	253
8) Instrumentación y trending 1 s/100 ms con reloj común.....	253
9) Scripts de IST higrotérmicos y de arrastres.....	253
10) ORAT de agua y psicrometría.....	253
11) Ciberseguridad de dosificación y control (OT).....	253
12) Gestión contractual de garantías energéticas WUE/PUE.....	253
Consecuencias Previstas.....	254
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	254
Lecciones Aprendidas.....	255
Caso práctico 19. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." IST activo-activo metropolitano: pérdida total de un sitio, absorción de carga en el sitio hermano y retorno a normal sin impacto TI.	256
Causa del Problema.....	256
Soluciones Propuestas.....	256
1) Matriz de interdependencias intersite y RACI único MEP-OT-TI.....	256

2) Reloj común con PTP disciplinado por GNSS y SOE a 10 ms en ambos sitios	257
3) Secuenciación eléctrica coordinada (ATS/UPS/grupos) y “generator mode” integral	257
4) Gestión térmica anticipativa en Sitio B (buffers y ΔT protegido).....	257
5) Fuel assurance y pruebas de trasiego en carga en Sitio A	257
6) Racionalización de alarmas y “landing zone” única de eventos intersite	257
7) Ciberseguridad de la integración intersite (bastión, MFA, control de cambios)	258
8) Permisos HSE y ambientales para run prolongado	258
9) Guiones IST intersite por oleadas con timekeepers y abortos seguros	258
10) ORAT intersite, MOP/SOP/EOP “de ida y vuelta” y simulacros conjuntos	258
Consecuencias Previstas.....	259
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	259
Lecciones Aprendidas.....	260

Caso práctico 20. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Sala TI híbrida aire-líquido: integración de refrigeración líquida directa al chip (DLC) y puertas traseras refrigeradas (RDHx) sin condensación ni fugas.261

Causa del Problema	261
Soluciones Propuestas.....	261
1) DfCx líquido: matriz de materiales, fluidos y compatibilidades	261
2) Programa de calidad de agua y desgasificación.....	262
3) Control anti-condensación por punto de rocío efectivo (DP_sala).....	262
4) Caudal autorregulado a placas frías y balance fino	262
5) Detección de fugas en múltiples tecnologías y secuencias de aislamiento	262
6) Pruebas de estanqueidad combinadas: hidrostática + helio	262
7) Bandejas, drenajes y válvulas anti-retorno	263
8) Actualización de firmware CDU y normalización de naming/ICD	263
9) Integración con orquestador HPC para rampas de carga seguras	263
10) Scripts de IST térmico-hidráulico y fallos en cascada	263
11) ORAT líquido y formación por competencias	263
12) Ciberseguridad OT en CDUs, RDHx y BMS	263
Consecuencias Previstas.....	264
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	264
Lecciones Aprendidas.....	265

Caso práctico 21. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Validación integral de PCI con agente gaseoso: estanqueidad del recinto, seguridad acústica para HDD y tiempos de recuperación post-descarga.266

Causa del Problema	266
Soluciones Propuestas.....	266
1) Cálculo hidráulico “as-built” y rediseño fino de boquillas/PRV	266
2) Programa de estanqueidad de recinto y sellado EI	267
3) Estrategia acústica de descarga segura para HDD.....	267
4) Enclavamientos “modo PCI” con BMS/CRAH/ACS/EPMS	267
5) Racionalización de detección VESDA y filtrado temporal durante obra	267
6) Secuencias de control de humo compatibles con “hold time”	267
7) Script de prueba “descarga fría” (sin agente) y “descarga controlada” parcial.....	267
8) Plan de recuperación post-descarga y “black start” térmico	268
9) Formación y simulacros de evacuación/PCI.....	268
10) Ciberseguridad y cadena de custodia de setpoints	268
11) Paquete contractual de garantías y repuestos	268
12) IST PCI integrado por escenarios	268
Consecuencias Previstas.....	269
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	269

Lecciones Aprendidas	270
----------------------------	-----

Caso práctico 22. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Calidad de potencia en IST: armónicos, flicker y resonancias con UPS/VFD

— mitigación activa y aceptación Clase A.271

Causa del Problema	271
Soluciones Propuestas.....	271
1) Campaña de medida Clase A y modelado armónico "as-built"	271
2) Ajuste de UPS y "generator mode" homogéneo	271
3) Filtros activos (AHF) en barras de PDUs y feeders críticos	272
4) Desintonización/retirada de bancos de condensadores en MT y filtro pasivo sintonizado	272
5) Secuenciación de VFD y perfiles de rampa anti-flicker	272
6) Neutral y puesta a tierra: mitigación de triplen y EMC.....	272
7) Medición True-RMS y revisión de protecciones bajo distorsión	272
8) Calidad de potencia en isla (grupos): droop, reguladores y filtros	273
9) EPMS Clase A + SOE 10 ms y reloj común (PTP/NTP)	273
10) Scripts IST de calidad de potencia (utility y grupo).....	273
11) ORAT de calidad de potencia y alarmas inteligentes	273
12) Ciberseguridad y CMDB de ajustes eléctricos.....	273
Consecuencias Previstas.....	273
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	274
Lecciones Aprendidas	275

Caso práctico 23. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Gestión de transitorios hidráulicos en IST "black-building": evitar golpe de

ariete, cavitación y reversión de caudales en agua fría.....276

Causa del Problema	276
Soluciones Propuestas.....	276
1) Estudio de transitorios "as-built" (surge analysis) con escenarios IST	276
2) Mitigación con acumuladores y válvulas de alivio/transitorio	276
3) Sustitución/ajuste de clapetas y antirretorno "non-slam" con amortiguación	277
4) Estrategia de válvulas y actuadores: "fail-as-is" y tiempos de cierre	277
5) Re-arranque escalonado de bombas y perfiles de rampa (VFD)	277
6) Sensórica rápida y registradores de presión transitoria	277
7) Desgasificación continua y purga/llenado por vacío	277
8) Protección de chillers: NPSH y lógica anti-reversa.....	277
9) Limpieza/filtración y mallas reforzadas	278
10) Scripts IST hidráulicos y de retorno a normal	278
11) ORAT hidráulico y HSE de pruebas	278
12) Ciberseguridad/CMDB de parámetros de control	278
Consecuencias Previstas.....	278
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	279
Lecciones Aprendidas	279

Caso práctico 24. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." Respuesta a un ciberincidente OT durante el IST con operación en modo

degradado y recuperación segura.....281

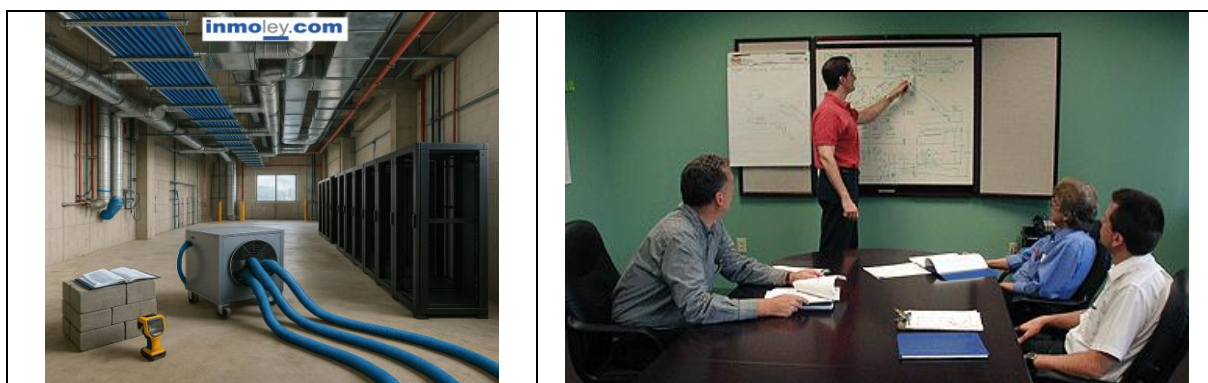
Causa del Problema	281
Soluciones Propuestas.....	281
1) Activación del plan de respuesta a ciberincidentes OT (CSIRT) con mando único	281
2) Aislamiento y contención: SDN/ACL "air-gap lógico" por zonas críticas	281
3) Paso a modo degradado seguro (operación manual/local)	282
4) Congelación y preservación forense ("golden hour").....	282
5) Restablecimiento de control desde "golden images" firmadas.....	282

6) Reimposición de firmware y lógicas en BCU/PLC (whitelisting)	282
7) Validación de integridad y SBOM (Software Bill of Materials)	282
8) Replanteo del IST: microescenarios seguros y escalado progresivo	282
9) Fortificación de acceso: bastión endurecido, PAM y MFA “en todo”	283
10) Telemetría fuera de banda y “caja negra” de IST	283
11) Pruebas de ciber-resiliencia post-recuperación (purple team)	283
12) ORAT y ajuste contractual: MOP/SOP/EOP “modo ciber”, KPI y pliegos	283
Consecuencias Previstas	283
Resultados de las Medidas Adoptadas	284
Lecciones Aprendidas	285

Caso práctico 25. "COMMISSIONING DE CENTROS DE DATOS Y EDIFICIOS CRÍTICOS: MEP DEL FAT/SAT AL IST Y ORAT." ORAT multi-inquilino y “Día 1 sin fallos”: handover integral, operación temprana (90 días), cambios en vivo y cierre contractual.286

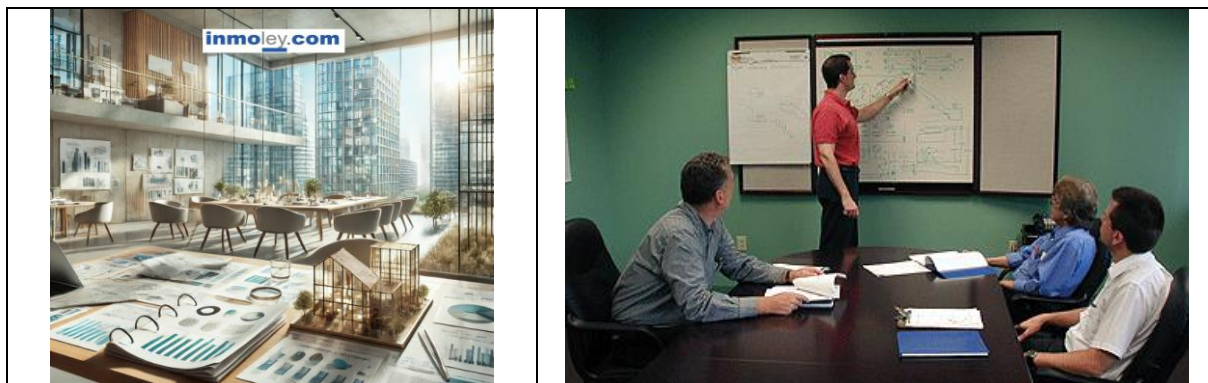
Causa del Problema	286
Soluciones Propuestas	286
1) Plan Maestro ORAT con RACI, gates y “check de aptitud operativa”	286
2) Repositorio único “as-commissioned” y CMDB de versiones/firmware	287
3) Carga integral al CMMS: jerarquía de activos, preventivos y repuestos críticos	287
4) Normalización DCIM↔EPMS↔BMS y umbrales operativos	287
5) Biblioteca MOP/SOP/EOP “lista para auditoría”	287
6) Programa de competencias y simulacros: certificación “apto para operar”	287
7) Gestión de cambios en vivo (CAB), ventanas de riesgo y MOC	287
8) Baselines energéticos e hídricos y “línea de oro” de setpoints	288
9) Onboarding de clientes: “Ready for tenant” y pruebas de aceptación por jaula	288
10) Paquete de garantías, claims y LDs/bonus–malus	288
11) Gestión de crisis y comunicación 24/7 (ICS)	288
12) Hiper-care 90 días y re-commissioning planificado (RCx)	288
Consecuencias Previstas	289
Resultados de las Medidas Adoptadas	289
Lecciones Aprendidas	290

¿QUÉ APRENDERÁ?



- Definir OPR/BOD y aplicar Diseño para Commissioning (DfCx) orientado a misión crítica.
- Elaborar el Cx Plan maestro, QA/QC de obra y pre-functional checks verificables.
- Integrar BMS/EPMS/SCADA/DCIM/CMMS con gobernanza de datos y trazabilidad.
- Planificar y ejecutar FAT/SAT con criterios de aceptación, metrología y evidencias firmadas.
- Realizar el Cx funcional eléctrico asegurando selectividad, UPS, grupos y ATS/STS.
- Realizar el Cx funcional térmico/HVAC con CRAH/CRAC, contención y estabilidad de sala IT.
- Diseñar y ejecutar el IST por escenarios (black-building, fallos en cascada y retorno a normal).
- Preparar ORAT y un handover completo con MOP/SOP/EOP para un "Día 1 sin fallos".
- Implantar ciberseguridad OT y continuidad de servicio conforme a IEC 62443.
- Medir y mejorar KPIs de disponibilidad, PUE/WUE y alarmas con reporting y tendencias.
- Gestionar contratación, RACI, LDs/bonus-malus, seguros y cumplimiento HSE/LOTO.
- Aplicar checklists, formularios y scripts listos para usar y capturar lecciones aprendidas.

Introducción.



Entrega sin fallos desde el FAT/SAT al IST y ORAT: la ventaja competitiva del commissioning en MEP crítica

En un mercado donde los centros de datos y los edificios críticos crecen en capacidad y complejidad, competir ya no va de prometer, sino de demostrar. Penalizaciones por indisponibilidad, exigencias normativas cada vez más estrictas, compromisos ESG y ciber-riesgos convierten la puesta en marcha en un área estratégica. El problema es conocido: retrasos, re-trabajos, ruido de alarmas, entregas documentales incompletas y handovers que trasladan incertidumbre a Operación. Esta guía nace para resolver esa brecha: transformar la teoría en un método replicable de "entrega sin fallos" desde el FAT/SAT hasta el IST y el ORAT, con trazabilidad técnica y documental de principio a fin.

Esta guía práctica ofrece un recorrido completo y aplicable España-LatAm, alineado con marcos como EN 50600, TIA-942, ASHRAE y IEC 62443. Encontrará cómo definir OPR/BOD y aplicar Diseño para Commissioning (DfCx); cómo estructurar el Cx Plan y el QA/QC de obra; la integración de BMS/EPMS/SCADA/DCIM/CMMS; la ejecución de FAT/SAT y del Cx funcional por sistemas (eléctrico y térmico/HVAC, PCI y seguridad de vida); el diseño de IST por escenarios (incluido black-building) y el ORAT para un "Día 1" sólido. Se incluyen capítulos de contratación y gestión de riesgos, así como un compendio de checklists, formularios y scripts listos para usar, con casos reales que facilitan la comprensión y aceleran la implementación.

Para el profesional, el beneficio es doble. En lo técnico, dispondrá de un método que reduce el riesgo de fallos, acorta plazos, mejora la seguridad, estabiliza el control y eleva la eficiencia energética (PUE/WUE) desde el primer día. En lo ejecutivo, contará con argumentos verificables para licitar mejor, negociar con claridad (RACI, KPIs, LDs/bonus-malus), defender evidencias ante auditorías y estandarizar su operación con MOP/SOP/EOP robustos. El resultado es menos incertidumbre, menos reclamaciones y más previsibilidad financiera: menos re-trabajo, menos horas improductivas y mayor control del coste total de propiedad.



Si desea diferenciar sus propuestas, ganar previsibilidad en plazos y asegurar una aceptación sin sobresaltos, esta guía es una inversión en conocimiento con retorno directo. Cada plantilla, cada checklist y cada script ha sido diseñado para ahorrar horas y evitar errores críticos, convirtiendo su experiencia en un proceso reproducible y auditable.

La tecnología, los estándares y las expectativas del cliente evolucionan. Mantenerse actualizado no es opcional cuando la disponibilidad y la reputación están en juego. Dé el siguiente paso: convierta su experiencia en un sistema y su sistema en resultados medibles. Empiece hoy a construir su propia "entrega sin fallos".