



CURSO/GUÍA PRÁCTICA SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?	26
Introducción.	28
PARTE PRIMERA.	30
Arquitectura aplicada a centros de datos: soluciones constructivas críticas	30
Capítulo 1: Propósito, tipologías y criterios de diseño para centros de datos	30
1. Requisitos de misión crítica y niveles de resiliencia	30
a. Continuidad de servicio y tolerancia a fallos	30
b. Clasificaciones Uptime/EN 50600 (interpretación técnica).....	31
c. Objetivos de disponibilidad y mantenibilidad	31
2. Programas funcionales y zonificación técnica	32
a. Salas TI, MEP, soporte, seguridad, logística.....	32
b. Flujos limpios/sucios y accesos segregados	32
c. Planos tipo y relaciones espaciales.....	33
3. Emplazamiento, riesgos y condicionantes urbanísticos	33
a. Riesgos naturales/industriales (inundación, sismo, ruido).....	33
b. Infraestructuras (MT, agua, telecom).....	34
c. Crecimiento por fases y reservas de suelo	34
4. Criterios de capacidad y escalabilidad	35
a. Densidades TI (kW/rack) y crecimiento de carga	35
b. Espacio, potencia, refrigeración (SPC) equilibrados.....	35
c. Modularidad y “rightsizing”	35
5. Indicadores clave de diseño (KPIs)	36
a. PUE, WUE y métricas térmicas	36
b. Disponibilidad, MTBF/MTTR.....	36
c. TCO/LCC (visión técnica)	37
6. Gobernanza del proyecto técnico	37
a. Matriz de requisitos del cliente (EIR/BRI)	37
b. Entregables por fases (conceptual, básico, de detalle)	37
c. Gestión de cambios y control de configuración	38
Capítulo 2: Detalle constructivo del edificio y sistemas pasivos	39
1. Estructura y cargas	39
a. Sobrecargas de salas TI y vibraciones.....	39
b. Antisismo y dilataciones.....	40
c. Patinillos y reservas futuras.....	41
2. Envoltente térmica y acústica	41
a. Aislamientos, puentes térmicos y estanqueidad.....	41
b. Control solar y riesgos de condensación.....	42
c. Emisiones/atenuación acústica exterior-interior.....	42
3. Compartimentación, rutas y cableado estructurado	43
a. Pasarelas, bandejas, shafts y segregación.....	43

b. Suelo técnico y falsos techos.....	43
c. Separación IT/eléctrico/mecánico.....	44
4. Impermeabilización y drenajes.....	44
a. Cubiertas, petos y encuentros críticos.....	44
b. Drenaje perimetral y bombeos.....	45
c. Protección frente a inundación.....	45
5. Seguridad física e intrusión.....	46
a. Perímetro, CCTV, control de accesos.....	46
b. Blindajes locales críticos.....	46
c. Puertas, esclusas, cerramientos.....	47
6. Protección contra incendios (visión constructiva).....	47
a. Sectorización EI y sellados ignífugos.....	47
b. Evacuación y señalización.....	48
c. Integración con detección/extinción.....	48
PARTE SEGUNDA.....	49
Planificación técnica, coste y contratación de soluciones constructivas y tecnológicas.....	49
Capítulo 3: Planificación, BIM/CDE y coordinación técnica.....	49
1. Entorno Común de Datos (CDE) y BEP.....	49
a. Trazabilidad de requisitos (EIR→modelo).....	49
b. Versionado, QA/QC y federación.....	50
c. COBie/IFC para activos MEP.....	50
2. Modelos 3D/4D/5D y clash detection.....	51
a. Coordinación multidisciplinar.....	51
b. Secuenciación constructiva (4D).....	51
c. Estimación técnica 5D orientada a coste.....	52
3. EDT/WBS y paqueteo técnico.....	52
a. Paquetes MEP, obra civil, BMS/DCIM.....	52
b. Límites de alcance y responsabilidades.....	53
c. Interfaces críticos y matriz RACI.....	53
4. Cronograma y ruta crítica.....	54
a. Hitos de energización y agua.....	54
b. Ventanas de pruebas y Cx/IST.....	54
c. Gestión de riesgos de plazo.....	55
5. Gestión documental y handover digital.....	55
a. Librerías, plantillas y nomenclatura.....	55
b. As-built y gemelo operativo.....	55
c. Recepción técnica y cierre de punchlist.....	56
6. Control de cambios y gestión de configuración.....	56
a. RFC técnicos y aprobaciones.....	56
b. Evaluación de impacto (coste/plazo/riesgo).....	57
c. Trazabilidad hasta O&M.....	57
Capítulo 4: CAPEX/OPEX técnico y contratación de soluciones MEP.....	58
1. Estimación de CAPEX MEP y obra.....	58
a. Unidades de coste y benchmarks.....	58



b. Sensibilidades por densidad kW/rack.	59
c. Contingencias y riesgos.	60
2. OPEX y coste del ciclo de vida (LCC/TCO)	60
a. Energía, agua, mantenimiento, repuestos.	60
b. Eficiencia y retorno de mejoras.	61
c. Obsolescencia y renovación.	61
3. Estrategia de compras y proveedores	62
a. RFP/RFQ con requisitos de performance.	62
b. FAT/SAT/IST como requisitos contractuales.	62
c. Evaluación técnica y scoring.	63
4. Modelos de contratación	63
a. EPC/EPCm, loteado por paquetes.	63
b. SLAs de disponibilidad y KPIs técnicos.	64
c. Garantías, penalizaciones y bonus.	64
5. Gestión de riesgos técnicos y aseguramiento	65
a. Matriz de riesgos MEP/obra.	65
b. Mitigaciones y contingencias.	65
c. Seguros técnicos y pruebas.	66
6. Control de costes y reporting.....	66
a. Curvas S y avance físico.	66
b. Variaciones (VO/CO) y claims.	67
c. Cuadros de mando para dirección.	67
PARTE TERCERA.	68
Soluciones eléctricas críticas aplicadas a centros de datos	68
Capítulo 5: Cadena eléctrica de potencia: acometida, MT y conmutación.....	68
1. Subestación y acometidas redundantes	68
a. Topologías (radial, anillo, doble acometida)	68
b. Transformadores y pérdidas	69
c. Protección y selectividad	69
2. Celdas de MT y cuadros de BT	70
a. Interruptores, relés y curvas.....	70
b. Seccionamiento y mantenimiento seguro.....	70
c. Telegestión y monitorización.....	71
3. Conmutación y ATS/STS	71
a. Transferencias automáticas.....	71
b. Sincronismo y calidad de tensión	72
c. Pruebas bajo carga.....	72
4. Puesta a tierra y equipotencialidad	73
a. Mallas, resistividad y mediciones	73
b. Uniones equipotenciales y EMC	73
c. Protección contra sobretensiones	74
5. Distribución principal y selectividad	74
a. RPP, PDU, busbar y derivaciones.....	74
b. Discriminación de fallos.....	75
c. Arc flash: evaluación y mitigación	75

6. Calidad de energía	76
a. THD, flicker y armónicos	76
b. Filtros activos/pasivos	76
c. Factor de potencia y penalizaciones	76
Capítulo 6: UPS, baterías y generación de respaldo	78
1. Arquitecturas de UPS	78
a. Doble conversión, Line-Interactive, ECS	78
b. Paralelo/redundancia (N+1, 2N)	79
c. By-pass y mantenimiento	79
2. Almacenamiento: VRLA, Li-ion y alternativas	80
a. Dimensionado y C-rate	80
b. BMS de batería y seguridad	81
c. Vida útil y reemplazo	81
3. Generadores diésel/gas e HVO	82
a. Dimensionado y arranque en negro	82
b. SCR aftertreatment y emisiones	82
c. Integración con UPS ride-through	83
4. Combustible y autonomía	83
a. Tanques, doble pared y cubetos	83
b. Políticas de reposición y pruebas	83
c. Gestión de riesgos y derrames	84
5. Load bank y pruebas de potencia	84
a. Resistivos reactivos modulares	84
b. Procedimientos de prueba	85
c. Seguridad y ventilación	85
6. Estrategias de operación	85
a. Test mensuales trimestrales	85
b. Modo isla y sincronización	86
c. Respuesta a incidentes	86
PARTE CUARTA.	87
Soluciones térmicas críticas aplicadas a centros de datos	87
Capítulo 7: Central térmica: producción y rechazo de calor	87
1. Cálculo de cargas y perfiles	87
a. IT vs no IT y factores de simultaneidad	87
b. Margen de crecimiento	88
c. Redundancias térmicas	89
2. Enfriadoras y bombas	89
a. Aire/agua, tornillo, centrífugas, free-cooling	89
b. Curvas de rendimiento y control	90
c. Eficiencia estacional	90
3. Torres y dry coolers	91
a. Húmedas vs adiabáticas vs secas	91
b. Controles de caudal/velocidad	91
c. Ruido y deriva	92

4. Hidráulica y colectores	92
a. Primario-secundario/variable.....	92
b. Anticorrosión y tratamiento.....	93
c. Equilibraje y válvulas.....	93
5. Recuperación de calor y usos.....	94
a. Distritos térmicos y ACS.....	94
b. Intercambiadores y placas.....	94
c. Control y medición.....	95
6. Estrategias de eficiencia	95
a. Curvas de consigna flotantes.....	95
b. Economizador aire/agua	96
c. Métricas térmicas complementarias	96
Capítulo 8: Refrigeración en sala y soluciones líquidas.....	98
1. Distribución de aire.....	98
a. Contención pasillos (caliente/frío)	98
b. CRAH/CRAC e in-row	99
c. Balance de caudales y ΔT	99
2. Gestión de puntos calientes	100
a. Layout, obturadores y blanking.....	100
b. Perforados y tasa de fuga.....	100
c. Monitorización térmica 3D	101
3. Puertas traseras e intercambiadores	101
a. Aire-agua y capacidades	101
b. Bombas locales y control.....	102
c. Integración hidráulica	102
4. Refrigeración líquida directa (D2C)	103
a. Placas frías y manifolds.....	103
b. Requisitos de calidad del agua	103
c. Seguridad y detección de fugas	104
5. Inmersión (single/dual-phase).....	104
a. Fluidos, materiales y compatibilidades	104
b. Mantenimiento y manipulación	105
c. Implicaciones en densidad y PUE	105
6. Transición aire→líquido	106
a. Estrategias híbridas y pilotos.....	106
b. Impacto en infraestructura existente.....	106
c. Roadmap por fases	107
PARTE QUINTA.	108
Integración digital: BMS, DCIM, SCADA, EMS y gemelo operativo.....	108
Capítulo 9: Arquitectura de control, datos y ciberseguridad OT/IT	108
1. Topologías y protocolos	108
a. BACnet/Modbus/SNMP/OPC-UA.	108
b. Gateways y normalización.....	109
c. Latencias y redundancia de red.	109

2. DCIM y gestión de capacidad	110
a. Inventario, energía y espacio	110
b. Tendencias y capacity planning	110
c. What-if y simulación	111
3. BMS/SCADA y secuencias de control	111
a. Algoritmos MEP y modos de fallo	111
b. Alarmas, enclavamientos y prioridades	112
c. Gestión de consignas	112
4. EMS y medición/verificación	113
a. Submetering y balances energéticos	113
b. Dashboards y reporting ESG	113
c. Detección de anomalías	114
5. Ciberseguridad y segregación	114
a. Zonas y conductos (seguridad OT)	114
b. Hardening, backups y parches	115
c. Gestión de credenciales y accesos	115
6. Gemelo operativo y CMMS	116
a. Integración con mantenimiento	116
b. Workflows, órdenes y repuestos	116
c. KPIs de fiabilidad	117
PARTE SEXTA	118
Industrialización y modularidad aplicadas a centros de datos	118
Capítulo 10: DfMA, skids y pods	118
1. Principios DfMA y estándar de catálogo	118
a. Sub-sistemas repetibles	118
b. Interfaces y conectores	119
c. Tolerancias y QA	119
2. Salas eléctricas y térmicas modulares	120
a. Prefabricación en fábrica	120
b. FAT integrado y sello de calidad	121
c. Transporte y izado	121
3. Módulos TI y contenedores	122
a. Climatización y seguridad integradas	122
b. Escalado por bloques	122
c. Integración con edificio	123
4. Logística y just-in-time	123
a. Secuencia de entregas y buffer	123
b. Plan de izados y accesos	124
c. Minimizar trabajos in-situ	124
5. Estandarización documental	125
a. Hojas de datos y wiring diagrams	125
b. ITP por familia de equipos	125
c. Manuales tipo	125
6. Lecciones aprendidas y “productización”	126
a. Catálogos y variantes	126

b. Coste y plazo comparados.....	126
c. Indicadores de repetitividad.....	127
PARTE SÉPTIMA.....	128
Commissioning (Cx), pruebas e IST en centros de datos	128
Capítulo 11: Plan de commissioning y QA/QC.....	128
1. Niveles 0–5 de Cx.....	128
a. Objetivos por fase.....	128
b. Roles y responsabilidades	129
c. Entregables de Cx	129
2. ITP e inspecciones.....	130
a. Checkpoints por disciplina	130
b. Evidencias y registros	130
c. No conformidades (NCR)	131
3. FAT y SAT.....	131
a. Protocolos y criterios de aceptación	131
b. Bancos de carga y escenarios	132
c. Informes y punchlist	132
4. Puesta en marcha por sistemas	133
a. Eléctrico: pruebas de protección	133
b. Térmico: equilibrado y control	133
c. BMS/DCIM: alarmas y tendencias	134
5. Coordinación con obra y seguridad.....	134
a. Permisos de trabajo y LOTO	134
b. Energizaciones seguras.....	135
c. Gestión de interferencias	135
6. Documentación y handover de Cx	136
a. O&M packs y as-built.....	136
b. Plan de formación	136
c. Transferencia a O&M.....	137
Capítulo 12: IST (Integrated Systems Testing) y validación integral.....	138
1. Matriz de escenarios	138
a. Fallos simples/múltiples.	138
b. Backups y reversiones.	139
c. “Black building” y estrés.	140
2. Secuencias y guiones.....	141
a. Roles en sala de control.....	141
b. Tiempos y registros.	141
c. Criterios de éxito.....	142
3. Seguridad y contingencias	142
a. Planes de emergencia.....	142
b. Observadores y stop test.....	143
c. Comunicación y escalado.....	143
4. Métricas y aceptación	144
a. KPIs de respuesta y estabilidad.	144

b. Análisis de transitorios	145
c. Informe de cierre	145
5. Correcciones y re-pruebas	146
a. NCR y CAPA.....	146
b. Ventanas de re-test.	146
c. Cierre contractual.	147
6. Transición a operación	147
a. Run-in y periodo de garantía.	147
b. KPIs iniciales de O&M.....	148
c. Plan 30-60-90 días.	148
PARTE OCTAVA.	150
Operación, mantenimiento y gestión de la disponibilidad	150
Capítulo 13: Estrategia O&M, RCM y gestión de repuestos	150
1. Organización y roles	150
a. Turnos, on-call y competencias	150
b. Matriz de habilitaciones	151
c. Proveedores O&M	151
2. RCM y planes preventivos	152
a. Criticidad por activo	152
b. Periodicidades y rutas	152
c. Predictivo (vibración, IR, PD)	153
3. Gestión de repuestos	154
a. Mínimos y lead times	154
b. Ubicaciones y control	154
c. Obsolescencia	155
4. Permisos de trabajo y LOTO	155
a. Procedimientos y auditorías	155
b. Hot works y accesos	156
c. Bloqueos y desbloques	156
5. Gestión de cambios e incidentes.....	157
a. ITIL-lite para MEP	157
b. CAB técnico y ventanas	157
c. Post-mortem y RCA.....	158
6. KPIs operativos y reporting	158
a. Disponibilidad y eventos.....	158
b. Energía/agua y costes.....	159
c. Mejora continua	159
PARTE NOVENA.	160
Sostenibilidad, energía y agua aplicadas a centros de datos	160
Capítulo 14: Eficiencia, renovables y gestión hídrica	160
1. Eficiencia energética avanzada	160
a. Optimización de consignas	160
b. Control basado en datos/IA.....	161
c. Retrofits de alto impacto	161

2. Integración renovable y almacenamiento	162
a. PPAs y autoconsumo	162
b. BESS y control de picos.....	162
c. Calidad de red	163
3. Gestión del agua	163
a. Ciclos de concentración y tratamiento	163
b. Alternativas de bajo consumo.....	164
c. Reuso y vertidos.....	164
4. Refrigerantes y normativa ambiental.....	165
a. GWP y transición tecnológica	165
b. Detección de fugas y registro	165
c. Fin de vida y recuperación	165
5. Reaprovechamiento de calor	166
a. District heating y usuarios cercanos	166
b. Intercambiadores y caudales	166
c. Modelos de acuerdo técnico	167
6. Métricas ESG y verificación.....	167
a. PUE/WUE/CUE y auditorías	167
b. M&V y certificaciones voluntarias.....	167
c. Reportes y transparencia	168
PARTE DÉCIMA.	169
Calidad, normativa técnica y seguridad	169
Capítulo 15: Sistemas de calidad y cumplimiento técnico.....	169
1. EN 50600 (enfoque práctico)	169
a. Partes relevantes y trazabilidad	169
b. Ensayos y documentación	170
c. Auditorías internas	170
2. Normas internacionales clave (visión aplicada)	171
a. IEC/ISO (eléctrico, gestión, energía)	171
b. Requisitos de documentación técnica.....	172
c. Compatibilidad electromagnética.....	172
3. Seguridad eléctrica y arc flash	173
a. Estudios y etiquetado	173
b. EPIs y procedimientos	173
c. Formación y simulacros	174
4. Seguridad en trabajos MEP.....	174
a. Riesgos mecánicos e hidráulicos	174
b. Alturas, izados y espacios confinados	175
c. Planes específicos por sistema	175
5. Gestión de contratistas	176
a. Calificación y onboarding	176
b. Permisos específicos	176
c. Supervisión y cierre	176
6. Auditoría periódica y mejora	177
a. Hallazgos y planes de acción	177



b. Revisión por la dirección	177
c. Lecciones aprendidas.....	178

PARTE UNDÉCIMA.179

HERRAMIENTAS DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS. CHECKLISTS Y FORMULARIOS.....179

Capítulo 16: Formularios de diseño y requisitos iniciales.....179

FORMULARIO Nº 16.01 — Requisitos del cliente (BRI/EIR)179

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	179
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	180
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	180
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	181
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	181
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	181
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	181
Sección 8. Evidencias y referencias	182
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	182

CHECKLIST Nº 16.02 — Matriz de cumplimiento técnico (Arquitectura–Eléctrico–Térmico–Digital)182

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	182
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	183
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	183
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	183
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	183
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	183
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	184
Sección 8. Evidencias y referencias	184

FORMULARIO Nº 16.03 — Hojas de datos de equipos críticos

(Transformadores/UPS/Baterías/Generadores/Celdas/PDUs/Enfriadoras/Torres/CRAH)184

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	184
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	185
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	185
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	185
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	185
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	186
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	186
Sección 8. Evidencias y referencias	186

CHECKLIST Nº 16.04 — Lista de interfaces y límites (Paquetes/Señales/Pruebas compartidas).186

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	186
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	187
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)	188
Sección 8. Evidencias y referencias	188

FORMULARIO Nº 16.05 — Plantilla de EDT/WBS técnica.....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	188

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	189

FORMULARIO Nº 16.06 — Formulario de riesgos técnicos

(Identificación/Probabilidad/Impacto/Mitigación/Propietario/Seguimiento)190

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	190
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	190
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	190
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	191
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	191

Capítulo 17: Checklists de obra civil y arquitectura192

CHECKLIST Nº 17.01 — Estructura y cargas (revisiones, pruebas y NC)192

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	192
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	193
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	193
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	193
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	194
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	194
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	194
Sección 8. Evidencias y referencias	194
Módulo Técnico–Construcción.....	194
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	194

CHECKLIST Nº 17.02 — Envolvente y estanqueidad (ensayos, aislamientos y cubiertas)195

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	195
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	195
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	196
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	196
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	196
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	196
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	196
Sección 8. Evidencias y referencias	197
Módulo Técnico–Construcción.....	197
Módulo Ambiental–Sostenibilidad	197

CHECKLIST Nº 17.03 — Compartimentación y sellados (EI, penetraciones y evidencias)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)	198
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	199
Sección 8. Evidencias y referencias	199
Módulo Técnico–Construcción.....	199
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	199

CHECKLIST Nº 17.04 — Rutas y suelos técnicos (bandejas, accesibilidad y limpieza).....	199
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	200
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 Técnico–Construcción.....	201
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	201
CHECKLIST Nº 17.05 — Seguridad física y accesos (obra y provisionales)	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	202
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	203
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	204
Módulo Técnico–Construcción.....	204
CHECKLIST Nº 17.06 — PCI constructiva (sectorización, señalización e integración).....	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)	206
Sección 8. Evidencias y referencias	206
Módulo Técnico–Construcción.....	206
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	206
Capítulo 18: Checklists eléctricos y térmicos	207
CHECKLIST Nº 18.01 — Eléctrico MT/BT (conexiones, relés y aislamiento)	207
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	207
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	208
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	208
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	208
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	208
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	209
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	209
Sección 8. Evidencias y referencias	209
Módulo Técnico–Construcción.....	209
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	209
CHECKLIST Nº 18.02 — UPS y baterías (configuración, BMS y autonomía).....	209
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	210
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	210
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	210

Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	211
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	211
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	211
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	211
Sección 8. Evidencias y referencias	211
Módulo Técnico–Construcción.....	211
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	211
CHECKLIST Nº 18.03 — Generadores y combustible (arranque, alarmas y pruebas con carga) ..	212
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	212
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	213
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	213
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.....	214
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	214
CHECKLIST Nº 18.04 — Refrigeración central (hidráulica, control y tratamiento de agua).....	214
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	214
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	215
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	215
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	216
Módulo Técnico–Construcción.....	216
Módulo Ambiental–Sostenibilidad	216
CHECKLIST Nº 18.05 — Refrigeración en sala (contención, ΔT y alarmas/sondas).....	216
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	216
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	217
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)	218
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	218
Sección 8. Evidencias y referencias	218
Módulo Técnico–Construcción.....	218
Módulo Operación y Mantenimiento.....	218
CHECKLIST Nº 18.06 — Puesta a tierra y SPD (medidas, equipotenciales y registros).....	218
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	219
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.....	220
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	220
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	220
Sección 8. Evidencias y referencias	220
Módulo Técnico–Construcción.....	220
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	220

Capítulo 19: Plantillas de Cx/IST, O&M y KPIs221

FORMULARIO Nº 19.01 — Protocolos FAT/SAT/Cx (estructura, herramientas y evidencias)221

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	221
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	222
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	222
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)	223
Sección 8. Evidencias y referencias	223
Módulo Técnico–Construcción.....	224
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	224

CHECKLIST Nº 19.02 — Guiones IST por escenarios (alimentación, térmico y recuperación)224

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	224
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	224
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	225
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	225
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	225
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	225
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	226
Sección 8. Evidencias y referencias	226

FORMULARIO Nº 19.03 — Handover y O&M packs (inventario, preventivos y formación)226

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	226
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	227
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	227
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	227
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	227
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	228
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	228
Sección 8. Evidencias y referencias	228
Módulo Operación y Mantenimiento.....	228
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	228

FORMULARIO Nº 19.04 — Permisos de trabajo y LOTO (formularios, autorizaciones y auditoría)229

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	229
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	229
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	229
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	230
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	230
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	230
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	230
Sección 8. Evidencias y referencias	230
Módulo Riesgos y Seguridad (PRL/operativa)	231

CHECKLIST Nº 19.05 — Cuadros de mando y KPIs (disponibilidad, PUE/WUE y backlog)231

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	231
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	231
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	231
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	232
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	232
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	232

Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	232
Sección 8. Evidencias y referencias	232
Módulo Datos e Interoperabilidad (opcional)	233
FORMULARIO Nº 19.06 — Lecciones aprendidas y RCA (post-mortem, CAPA y cierre)	233
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	233
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	233
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	234
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	234
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes	234
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	234
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	235
Sección 8. Evidencias y referencias	235
Módulo Operación y Mantenimiento	235
PARTE DUODÉCIMA.	236
PRÁCTICA DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS	236
Capítulo 20: Tres escenarios reales y sus métricas	236
1. Greenfield 8 MW modular (Fase 1→3)	236
a. Elección de topología eléctrica	236
b. Estrategia térmica y PUE objetivo	237
c. Plan de Cx/IST por hitos	237
2. Retrofit brownfield con refrigeración líquida	238
a. Interfaz con central térmica existente	238
b. Gestión de riesgos en transición	238
c. Resultados en densidad/rendimiento	239
3. RCA de evento eléctrico significativo	239
a. Secuencia de fallos y protecciones	239
b. Acciones inmediatas y CAPA	240
c. Cambios operativos y de diseño	240
4. Migración TI en vivo por fases	241
a. Estrategia de doble alimentación	241
b. Ventanas y coordinación	241
c. Métricas de éxito	242
5. Heat reuse con distrito térmico	242
a. Ingeniería contractual y técnica	242
b. Impacto en WUE y PUE	242
c. Operación y acuerdos	243
6. Lecciones generales (transversales)	243
a. Coste/plazo/riesgo	243
b. Estandarización vs ad hoc	243
c. Data-driven O&M	244
Capítulo 21: Casos prácticos de soluciones constructivas y tecnológicas aplicadas a centros de datos.	245
Caso práctico 1. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Corrección integral de puntos calientes mediante contención, equilibrado de caudales y gobernanza operativa en sala TI en producción.	245

Causa del Problema	245
Soluciones Propuestas.....	246
1) Contención de pasillos fríos y sellados sistemáticos	246
2) Equilibrado de caudales, control por ΔT y optimización de consignas (CRAH y planta).....	246
3) Monitorización granular, M&V y gobernanza de cambios (BMS/DCIM "ligero")	247
4) Housekeeping del suelo técnico y gestión de cableado (quick wins de baja inversión).....	248
Consecuencias Previstas.....	248
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	249
Lecciones Aprendidas.....	250

Caso práctico 2. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Reconfiguración de arquitectura UPS a N+1 y renovación de baterías VRLA por Li-ion sin indisponibilidad.....253

Causa del Problema	253
Soluciones Propuestas.....	253
1) Migración a arquitectura UPS modular N+1 con MBP y paralelismo inteligente por bloque	253
2) Renovación de baterías: VRLA $\rightarrow$ Li-ion con BMS, autonomía y seguridad integradas.....	254
3) Normalización de doble alimentación TI y ATS de rack para cargas monocaual	254
4) Estudio de protecciones, selectividad y mitigación de arc flash en BT.....	255
5) Plan de transición "sin parada" con sombra temporal, FAT/SAT, Cx e IST eléctrico	255
Consecuencias Previstas.....	255
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	256
Lecciones Aprendidas.....	257

Caso práctico 3. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Reingeniería de la central térmica con free-cooling indirecto adiabático, caudal variable y recuperación de calor sin parada operativa.260

Causa del Problema	260
Soluciones Propuestas.....	260
1) Sustitución progresiva de la producción por enfriadoras aire-agua con free-cooling integrado y adiabático indirecto + batería de dry-coolers de alta superficie	260
2) Migración a hidráulica de primario variable con ΔT objetivo 10–12 K y bombas de velocidad variable.....	261
3) Secuencias de control avanzadas en BMS: setpoint flotante, optimizador económico y lógica anti-cortociclo	261
4) Eliminación de torres de refrigeración, gestión hídrica y calidad del agua de adiabático.....	262
5) Recuperación de calor para usos externos (distrito térmico/ACS de edificio cercano).....	262
6) Plan de transición sin parada con skids temporales y pruebas FAT/SAT/Cx/IST	262
Consecuencias Previstas.....	263
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	264
Lecciones Aprendidas.....	265

Caso práctico 4. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Migración híbrida a refrigeración líquida directa al chip (D2C) y puertas traseras en clúster HPC de 30–80 kW/rack sin parar producción.268

Causa del Problema	268
Soluciones Propuestas.....	268
1) Subred hidráulica secundaria con CDUs para D2C (placas frías) y manifolds por fila.....	268
2) Puertas traseras refrigeradas (rear-door HX) para cerrar el balance térmico del rack	269
3) Sistema integral de seguridad de líquidos: detección, contención y respuesta (LOD 1–3)	269
4) Secuencias de control y BMS/DCIM: setpoints, enclavamientos y KPIs	270
5) Roadmap de transición en producción: pilotos, liberación de filas y ventanas.....	270
6) Alternativa evaluada: inmersión monofásica para lotes de súper densidad (no implementada en esta fase)	271
Consecuencias Previstas.....	271

Resultados de las Medidas Adoptadas.....	272
Lecciones Aprendidas.....	273

Caso práctico 5. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Repotenciación eléctrica con doble acometida en MT, anillo telemandado, STS de sala y filtrado activo de armónicos sin indisponibilidad.275

Causa del Problema.....	275
Soluciones Propuestas.....	275
1) Nueva subestación compacta de MT con doble acometida y anillo telemandado	275
2) Transformación N+1 y refuerzo de BT con cuadros seccionables	276
3) STS de sala para cargas críticas y normalización de ATS de rack	276
4) Calidad de energía: filtros activos, compensación estática (SVG) y SPDs en cascada	277
5) Seguridad eléctrica: estudio de arc flash, ZSI y relés de arco con fibra óptica	277
6) Plan de transición sin parada: "sombra" en MT/BT, Cx/IST eléctrico y coordinación con la distribuidora	278
Consecuencias Previstas.....	278
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	279
Lecciones Aprendidas.....	280

Caso práctico 6. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Industrialización DfMA con salas eléctricas modulares (E-House) y skids térmicos: acelerar la Fase 1 (8 MW TI) con FAT integrado y handover digital.283

Causa del Problema.....	283
Soluciones Propuestas.....	283
1) Diseño DfMA y catálogo estándar de módulos (eléctrico, térmico y TI)	283
2) Salas eléctricas modulares (E-House) para BT/UPS/BMS listas para "drop-in"	284
3) Skids térmicos prefabricados (bombas/colectores/intercambiadores/VFD) con primario variable	284
4) Logística, izados y just-in-time (JIT) con plan de accesos y almacenamiento mínimo.....	285
5) Cx/IST adelantados: FAT extendido, SAT fast-track y guiones de prueba integrados	285
6) Handover digital: as-built federado (IFC/COBie), librería de activos y conectividad BMS/DCIM	285
Consecuencias Previstas.....	286
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	287
Lecciones Aprendidas.....	288

Caso práctico 7. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Reconversión integral de PCI: detección aspirante multicriterio, sectorización EI y sustitución de halocarbonados por gases inertes, con water mist en salas de baterías Li-ion y pruebas de estanqueidad.....290

Causa del Problema.....	290
Soluciones Propuestas.....	290
1) Detección temprana por aspiración multicriterio (ASD) en salas TI, falso suelo y falso techo	290
2) Sectorización EI, sellados y "door fan test" para estanqueidad y retención	291
3) Sustitución de halocarbonado por gas inerte (IG-541) en salas TI con control de sobrepresión y extracción post-descarga	291
4) Protección específica de salas de baterías Li-ion: water mist + detección de off-gas y enclavamientos con BMS.....	292
5) Red de control y señalización PCI en anillo redundante y gobierno de EPO/permiso de trabajo	292
6) Plan de Cx/IST de PCI con descargas de demostración y formación de reentrada segura	293
Consecuencias Previstas.....	293
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	294
Lecciones Aprendidas.....	295

Caso práctico 8. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Integración BMS/DCIM/SCADA con gemelo operativo y ciberseguridad OT/IT para gestión

de capacidad y eficiencia en tiempo real.	298
Causa del Problema	298
Soluciones Propuestas.....	298
1) Red OT segmentada (zonas y conductos) y core de datos con alta disponibilidad	298
2) Normalización de protocolos y modelo semántico común (OPC-UA + data dictionary)	299
3) DCIM de capacidad energética y térmica con “what-if” y reconciliación automática	299
4) Secuencias de control BMS estandarizadas y optimización de consignas (aire/agua/eléctrico)	300
5) Gemelo operativo enlazado a CMMS y analítica de anomalías	300
6) Ciberseguridad OT/IT: hardening, registros y respuesta	300
7) Submetering y EMS para M&V, reporting y respuesta a tarifas	301
Consecuencias Previstas.....	301
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	302
Lecciones Aprendidas	303

Caso práctico 9. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Integración fotovoltaica on-site, BESS y EMS para reducción de picos, arbitraje energético y soporte de red sin comprometer la disponibilidad.

Causa del Problema	306
Soluciones Propuestas.....	306
1) Planta fotovoltaica distribuida (3.500 kWp) en cubierta, marquesinas de parking y fachadas activas.....	306
2) Sistema de almacenamiento BESS 8 MW / 16 MWh (LFP), acoplamiento CA en MT y PCS bidireccional	307
3) EMS/GEMS de optimización multiobjetivo con previsión (PV, demanda y precio) y reglas de “no interferencia TI”	307
4) Calidad de red y protecciones: filtros activos, SVG y cumplimiento de código de red (P/Q, LVRT/OVRT)	308
5) Integración con cadena crítica: coordinación UPS–BESS–diésel, ride-through y black-start asistido	308
6) Contratos energéticos y M&V: PPA on-site/off-site, garantías de origen y verificación de ahorros	309
Consecuencias Previstas.....	309
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	310
Lecciones Aprendidas	311

Caso práctico 10. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Commissioning (Cx) por niveles 0–5 e IST integral con “black-building” controlado en un campus multi-sala de 16 MW TI.

Causa del Problema	314
Soluciones Propuestas.....	314
1) Plan maestro de Cx por niveles 0–5 con matriz RACI y criterios de aceptación por sistema	314
2) ITPs disciplinares y QA/QC federados en CDE con numeración única y fotos firmadas	315
3) FAT reforzado y SAT secuenciado con bancos de carga resistivos/reactivos y pruebas de control ..	315
4) IST integral con matriz de escenarios: fallos simples/múltiples y “black-building” controlado	316
5) Seguridad, permisos y LOTO específicos para pruebas de energía y térmicas	316
6) Handover digital: as-built federado, o&m packs, librería de puntos BMS/DCIM y formación 30-60-90316	317
7) Gestión de NCR y CAPA con SLA, ventana de re-test y reporting ejecutivo	317
Consecuencias Previstas.....	317
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	318
Lecciones Aprendidas	319

Caso práctico 11. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Mitigación integral de riesgo de inundación: impermeabilización, drenaje perimetral, bombeo redundante y sellado de penetraciones en campus brownfield.....

Causa del Problema	322
Soluciones Propuestas.....	322
1) Modelización hidrológica-hidráulica del emplazamiento y definición de cotas de diseño	322

2) Drenaje perimetral tipo francés y plataforma de pozos de bombeo N+1 con VFD.....	323
3) Impermeabilización de muros y losas: membrana bentonítica + inyecciones y waterstops.....	323
4) Sellado certificado de penetraciones y válvulas antirretorno en saneamiento	323
5) Contención local en salas críticas: zócalos estancos, puertas water-tight y zanjillas de guarda	324
6) Red de pluviales y cubierta: sobredimensionamiento, rebosaderos y separación pluvial/saneamiento.....	324
7) Telemetría y control en BMS/SCADA: sondas, caudalímetros, alarmas y automatismos	325
Consecuencias Previstas.....	325
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	326
Lecciones Aprendidas.....	327

Caso práctico 12. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Normalización integral de puesta a tierra, equipotencialidad y EMC en campus multi-edificio con SPD en cascada y control de corrientes vagabundas.330

Causa del Problema.....	330
Soluciones Propuestas.....	331
1) Campaña de resistividad del terreno y modelización de malla: método Wenner 4-puntos, "fall-of-potential" y simulación de tensiones de paso/contacto	331
2) Red de equipotencialidad tipo RBN en campus y Mesh-BN en salas TI; eliminación de PEN heredados y neutral único en trafo	331
3) SPD en cascada clase I/II/III coordinados; contadores de eventos y M&V	332
4) Mitigación de corrientes vagabundas y armónicos: neutros saneados, filtros activos selectivos y VFD con filtros dV/dt/EMC.....	332
5) EMC de detalle: blindajes 360°, referencias de señal, apantallamientos y rutas	332
6) Monitorización permanente de tierra/EMC y puntos de prueba normalizados	333
7) Plan de transición sin caída TI: by-pass, ventanas y Cx/IST eléctrico-EMC.....	333
Consecuencias Previstas.....	333
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	335
Lecciones Aprendidas.....	336

Caso práctico 13. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Transformación O&M basada en RCM con monitorización predictiva (vibración/IR/PD), ventanas LOTO y repuestos críticos, incluyendo mejoras constructivas para mantenibilidad en un campus de 14 MW TI.338

Causa del Problema.....	338
Soluciones Propuestas.....	338
1) Organización O&M y matriz de competencias con turnos y on-call reforzados.....	338
2) RCM: criticidad de activos y planes preventivos por condición (PdM) en CMMS	339
3) Mejoras constructivas para mantenibilidad segura: ventanas IR, puertos de prueba, drenajes y "quick-connects"	339
4) Programa de monitorización predictiva: vibración, IR, ultrasonidos y descargas parciales on-line..	340
5) Permisos de trabajo y LOTO: procedimiento robusto con auditoría, "try-out" y kits	340
6) Gestión de repuestos críticos, lead times y almacén con trazabilidad	340
7) Gestión de cambios (CAB técnico), incidentes y post-mortem (RCA).....	341
8) KPIs operativos y reporting: disponibilidad, MTBF/MTTR, PUE/WUE, backlog y costes	341
Consecuencias Previstas.....	342
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	343
Lecciones Aprendidas.....	344

Caso práctico 14. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Transición aire→líquido por fases: puertas traseras e intercambiadores D2C con CDUs redundantes, control de fugas y tratamiento de agua para densidades de 30–80 kW/rack sin parar la operación.347

Causa del Problema.....	347
-------------------------	-----

Soluciones Propuestas.....	347
1) Auditoría térmica 3D y plan de transición aire→líquido	347
2) Puertas traseras (RDHx) aire-agua en filas seleccionadas con CDUs de fila (N+1) y conectores secos.....	348
3) Circuito D2C (Direct-to-Chip) para racks 60–80 kW con CDUs de pod, manifolds redundantes y placas frías	348
4) Integración hidráulica con central térmica, free-cooling y dry coolers suplementarios	349
5) Calidad del agua, corrosión y bioseguridad: M&V continuo y mantenimiento	349
6) Detección y gestión de fugas: sensores, bandejas, válvulas rápidas y simulacros	349
7) Optimización residual de aire (para legacy): obturadores, tasa de fuga y control ΔT por pasillo	350
8) Integración BMS/DCIM y “capacity planning” líquido	350
Consecuencias Previstas.....	350
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	352
Lecciones Aprendidas.....	353

Caso práctico 15. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Programa integral de seguridad eléctrica y arc flash: estudio IEEE 1584, etiquetado, EPIs, coordinación de protecciones, modos de mantenimiento y maniobras seguras.355

Causa del Problema	355
Soluciones Propuestas.....	355
1) Estudio de cortocircuito, coordinación y energía incidente (IEEE 1584-2018) con escenarios operativos	355
2) Medidas de reducción de energía incidente por diseño y parametrización (ERMS, ZSI, relés rápidos y limitación)	356
3) Etiquetado normalizado de arc flash y cartografía digital por “punto de trabajo”	356
4) Procedimientos de maniobra y switching con permisos, checklists y “dos canales”	357
5) EPIs certificados y kits por zona con ergonomía y tiempos de colocación	357
6) Formación práctica avanzada: relés, ERMS, lectura de TCC, LOTO y respuesta post-incidente.....	357
7) Ingeniería de mantenibilidad y maniobra a distancia (remote racking, interlocks, puntos de prueba).....	358
8) Gobierno continuo: auditorías, KPIs, CDE y control de cambios de protecciones.....	358
Consecuencias Previstas.....	359
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	360
Lecciones Aprendidas	361

Caso práctico 16. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Licitación internacional por paquetes MEP con especificaciones de performance, FAT/SAT/IST contractuales y scoring multicriterio para un greenfield de 12 MW TI.364

Causa del Problema	364
Soluciones Propuestas.....	364
1) EDT/WBS y paqueteo técnico con matriz de límites e interfaces (RACI de contratación).....	364
2) RFP/RFO con especificaciones de performance y requisitos verificables.....	365
3) Clarificaciones técnicas y matriz de cumplimiento con scoring multicriterio.....	365
4) Modelo de contratación EPCm con lotes y condiciones de pago ligadas a hitos FAT/SAT/IST.....	366
5) Requisitos FAT/SAT/IST como parte del contrato (criterios, instrumentación y datos)	366
6) Gestión de riesgos y seguros técnicos (CAR/EAR, Delay in Start Up, garantía de performance)	366
7) Control 5D, curvas S y reporting ejecutivo mensual.....	367
8) Handover contractual y O&M packs con repuestos críticos y formación.....	367
Consecuencias Previstas.....	367
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	368
Lecciones Aprendidas	369

Caso práctico 17. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Reaprovechamiento de calor a red de distrito: subestación de intercambio, bombas de calor de alta temperatura, control EMS/SCADA y M&V IPMVP para reducir WUE/PUE y generar ingresos térmicos.372

Causa del Problema	372
Soluciones Propuestas	372
1) Auditoría térmica y “pinch analysis” de exergía con perfiles horarios (8.760 h)	372
Descripción	372
2) Subestación de intercambio térmico en skid con HX de placas, válvulas PICV y control diferencial	373
3) Bombas de calor (HP) de alta temperatura 2x3,5 MWth (N+1) con refrigerante natural y CO ₂ ≥ 2,8 @ 30→75 °C	373
4) Trazado enterrado campus-DH con intercambiador de red, dilataciones y valvulería de seccionamiento	373
5) Almacenamiento térmico (buffer) 250 m ³ con control EMS para desacoplar picos y suavizar la operación	374
6) Integración SCADA/BMS/EMS con lógica de “no interferencia TI” y métricas PUE/WUE/CUE	374
7) Contrato térmico y M&V: tarifa €/MWhth, garantías y reparto de riesgos	375
Descripción	375
8) Gestión hídrica y acústica: reducción de adiabático, silenciadores en dry y horario nocturno	375
Consecuencias Previstas	375
Resultados de las Medidas Adoptadas	376
Lecciones Aprendidas	378

Caso práctico 18. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Arquitectura convergente BMS/DCIM/SCADA/EMS con ciberseguridad OT/IT y gemelo operativo en campus multi-sala.380

Causa del Problema	380
Soluciones Propuestas	380
1) Red OT segmentada por zonas y conductos (IEC 62443) con core redundante, DMZ y sincronización temporal	380
2) Normalización de datos, gateways y diccionario único (DataOps)	381
3) Plataforma DCIM integrada (inventario, capacidad y energía) con API al BMS/EMS	381
4) Programa de gestión de alarmas (ISA 18.2/EEMUA 191): racionalización, prioridades y shelving ...	381
5) Gemelo operativo (eléctrico+térmico) con modo formación y “sandbox” de secuencias	382
6) Ciberseguridad IEC 62443: hardening, MFA, gestión de parches/backups y acceso remoto seguro	382
7) Alta disponibilidad: servidores BMS/DCIM activos-activos, historian replicado y fallback local	383
8) Gobierno de cambios, versionado de secuencias y trazabilidad (DevOps OT)	383
Consecuencias Previstas	383
Resultados de las Medidas Adoptadas	384
Lecciones Aprendidas	386

Caso práctico 19. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Estandarización de plantillas Cx/IST, O&M y KPIs con handover digital y auditoría continua en un despliegue multi-sitio europeo.388

Causa del Problema	388
Soluciones Propuestas	389
1) Librería corporativa de plantillas FAT/SAT/Cx/IST con estructura y criterios “pass/fail” normalizados	389
2) Mapa de datos de prueba y “dataset mínimo” para M&V de cada sistema	389
3) Handover digital obligatorio en CDE: as-built federado, O&M packs y listas de repuestos críticos..	389
4) Formularios uniformes de permisos de trabajo, LOTO y seguridad (con evidencia fotográfica y “try-out”)	390
5) Cuadro de KPIs operativos corporativos y definiciones normalizadas (glosario)	390
6) Plantillas de RCA y lecciones aprendidas (post-mortem) con CAPA y trazabilidad	390
7) Programa de auditoría continua y “readiness reviews” por hitos	390
8) Plan de adopción por adendas contractuales y gobierno del cambio	391
Consecuencias Previstas	391
Resultados de las Medidas Adoptadas	392

Lecciones Aprendidas.....	393
---------------------------	-----

Caso práctico 20. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Evaluación comparada de un greenfield modular, un retrofit con refrigeración líquida y una migración TI en vivo con reaprovechamiento de calor, incluyendo RCA de evento eléctrico y métricas operativas.396

Causa del Problema.....	396
Soluciones Propuestas.....	396
1) Greenfield 8 MW modular (Fase 1→3): topología eléctrica, estrategia térmica y plan Cx/IST.....	396
2) Retrofit brownfield con refrigeración líquida (RDHx + D2C): interfaz térmica, riesgos de transición y densidad/rendimiento	397
3) RCA de evento eléctrico significativo: secuencia de fallos, acciones CAPA y cambios de diseño/operación	397
4) Migración TI en vivo por fases: doble alimentación, ventanas y coordinación	398
5) Reaprovechamiento de calor con distrito térmico: ingeniería contractual/técnica, impacto en WUE/PUE y operación	398
Consecuencias Previstas.....	399
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	400
Lecciones Aprendidas.....	401

Caso práctico 21. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Industrialización DfMA de salas eléctricas y térmicas modulares con FAT integrado, logística just-in-time e interfaces estandarizadas para un despliegue rápido de 6 MW TI.403

Causa del Problema.....	403
Soluciones Propuestas.....	403
1) Catálogo DfMA y kit de interfaces estandarizadas por familia de módulos	403
2) Salas eléctricas modulares (E-House) prefabricadas con UPS, celdas MT, cuadros BT y by-pass mantenible	404
3) Skids térmicos modulares con free-cooling, bombas VFD y colectores PICV en N+1	404
4) Pre-comisionado en fábrica (pre-SAT) con BMS/DCIM/SCADA simulados	404
5) Ingeniería de izados, accesos y cimientos: plan de maniobras y secuencia JIT	405
6) Conexiones "battery limits" y paquetes de conexión rápida (eléctrico/hidráulico/control).....	405
7) Plan de Cx/IST orientado a modular: protocolos por lote y "black-building" por bloques.....	405
8) Estandarización documental y handover digital (CDE) desde fábrica.....	406
9) Estrategia contractual EPCm con hitos de pago ligados a FAT/SAT/IST y cláusulas de sustitución equivalente	406
10) Seguridad y mantenibilidad: accesos, EPIs y "modo mantenimiento" integrado	406
Consecuencias Previstas.....	407
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	407
Lecciones Aprendidas.....	409

Caso práctico 22. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Integración renovable con PPA y autoconsumo, BESS 10 MW/20 MWh para control de picos y calidad de red, coordinado con UPS y generadores diésel en campus de 16 MW TI.....411

Causa del Problema.....	411
Soluciones Propuestas.....	411
1) Modelo energético-financiero y estrategia PPA + autoconsumo	411
2) Integración fotovoltaica 5 MWp en cubierta y marquesinas con strings segmentados y protección anti-isla	412
3) BESS 10 MW/20 MWh acoplado a 20 kV con transformador dedicado, celda de interconexión y sala técnica segura	412
4) EMS/MGC (control de microred): arbitraje, control de picos y reservas de emergencia	413
5) Coordinación con UPS y generadores: soporte PQ, black start y reducción de arranques diésel	413
6) Calidad de energía y compensación: filtros activos/armónicos, factor de potencia y THD.....	413

7) Protecciones, anti-isla y selectividad con flujos bidireccionales.....	414
8) Seguridad PCI y HSE del BESS: detección, contención y ventilación.....	414
9) Contratación, handover digital y O&M del sistema.....	414
Consecuencias Previstas.....	415
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	416
Lecciones Aprendidas.....	417

Caso práctico 23. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Protección contra incendios integral: sectorización EI, sellados, detección por aspiración multizona, agente limpio + preacción doble interbloqueo, micro-supresión en cuadros, seguridad Li-ion y matriz causa-efecto con BMS/SCADA.420

Causa del Problema.....	420
Soluciones Propuestas.....	420
1) Sectorización EI y sellados certificados (cámaras técnicas, shafts y salas TI)	420
2) Detección temprana multizona por aspiración (ASD) + detección puntual redundante	421
3) Supresión por agente limpio en salas TI + preacción de doble interbloqueo como respaldo estructural	421
4) Micro-supresión en cuadros (RPP/PDU/ATS/SGDB) y aerosoles en envolventes eléctricas específicas.....	422
5) Gestión Li-ion en salas UPS (no BESS MT): detección de off-gas, ventilación, "cool-down" y supresión compatible	422
6) Combustibles y grupos diésel: espuma/agua nebulizada, cubetos y ventilación segura	422
7) Matriz causa-efecto y enclavamientos con BMS/SCADA/DCIM (operación coordinada)	423
8) Programa de pruebas, integridad y mantenimiento (Cx/IST PCI)	423
Consecuencias Previstas.....	424
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	425
Lecciones Aprendidas.....	426

Caso práctico 24. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Implantación de refrigeración por inmersión (monofase y bifase) para cargas HPC/IA de muy alta densidad, con integración hidráulica, seguridad HSE, O&M y roadmap de transición aire→líquido.....428

Causa del Problema.....	428
Soluciones Propuestas.....	428
1) Estudio de viabilidad y selección tecnológica (single-phase vs dual-phase) con criterios de seguridad, rendimiento y TCO	428
2) Diseño modular de pods de inmersión y back-end hidráulico N+1 con CDU y colectores	429
3) Gestión de fluidos dieléctricos: calidad, almacenamiento, control de contaminación y fin de vida	429
4) Integración eléctrica y seguridad: distribución, equipotencialidad y maniobras en mojado	430
5) HSE: ventilación, detección y protección contra incendios específica de inmersión	430
6) Integración con BMS/DCIM/EMS: telemetría, alarmas y capacity planning "líquido"	430
7) O&M de inmersión: filtros, limpieza, cambio de fluido, ergonomía y EPI	431
8) Cx/IST térmico-eléctrico: emuladores de carga, escalado por etapas y escenarios de fallo	431
9) Roadmap de transición aire→líquido por oleadas y convivencia con RDHx/D2C	431
10) Análisis económico (CAPEX/OPEX/TCO) y caso de negocio por densidad habilitada.....	432
Consecuencias Previstas.....	432
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	433
Lecciones Aprendidas.....	435

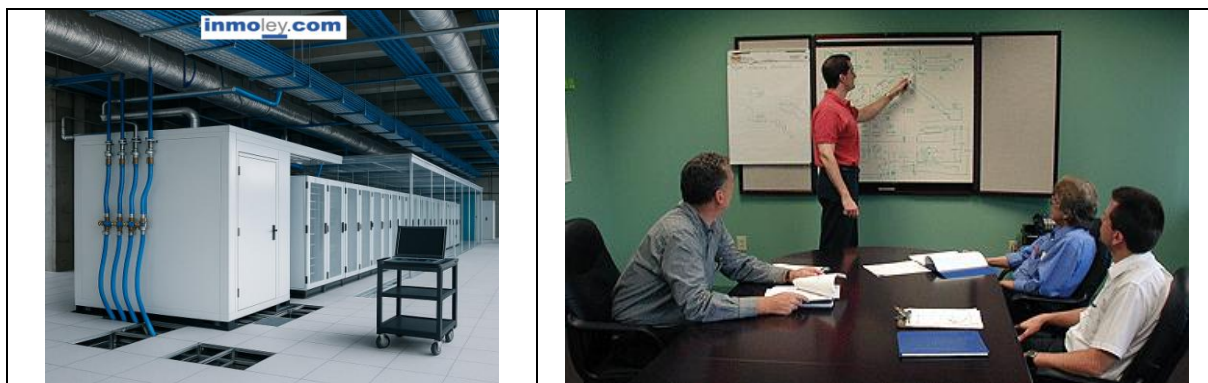
Caso práctico 25. "SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS APLICADAS A CENTROS DE DATOS." Sistema integral de calidad, cumplimiento técnico y seguridad eléctrica basado en EN 50600, IEC/ISO y programa de auditoría continua en un campus de 20 MW TI.....437

Causa del Problema.....	437
Soluciones Propuestas.....	437



1) Diagnóstico EN 50600 y matriz de cumplimiento con trazabilidad a requisitos (EIR/BRI → diseño → pruebas → O&M).....	437
2) SGCC: procedimientos QA/QC, ITP por disciplina y handover digital obligatorio.....	438
3) Programa de seguridad eléctrica y arc flash (IEEE 1584/IEC 61482): ingeniería, protecciones, etiquetado y ERMS.....	438
4) Permisos de trabajo y LOTO digital con “try-out” y evidencia fotográfica	438
5) Gestión de contratistas: calificación, onboarding y control de habilitaciones	439
6) Formación y simulacros: maniobras eléctricas, “black-building” y emergencias	439
7) Ensayos y cumplimiento IEC/ISO por familia de equipos (IEC 61439, 60204, 60034, etc.) y FAT/SAT exigibles	439
8) Cuadros de mando de cumplimiento: KPIs y reporting ejecutivo mensual	440
9) Auditoría continua (interna trimestral + externa anual) y mejora	440
10) Alineamiento con aseguradora y DSU: ingeniería de riesgo y pólizas	440
Consecuencias Previstas.....	441
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	442
Lecciones Aprendidas	443

¿QUÉ APRENDERÁ?

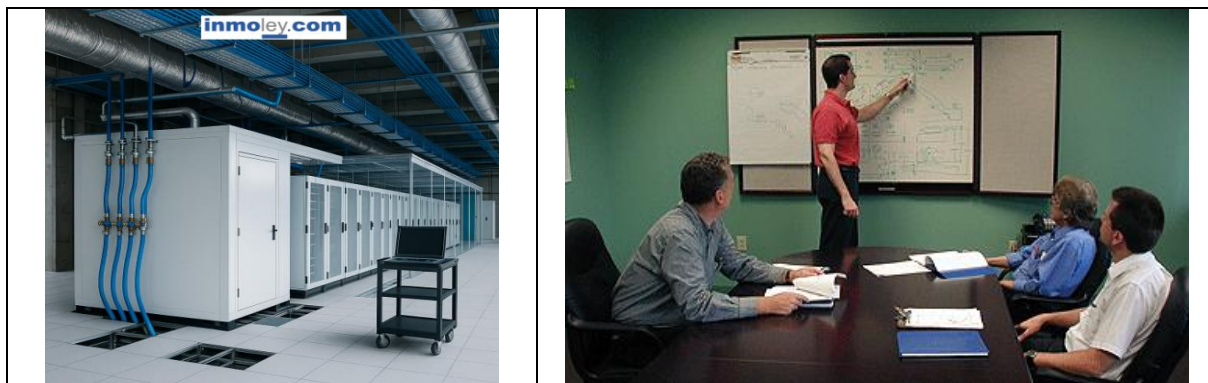


- Diseñar tipologías y criterios de resiliencia conforme a Uptime/EN 50600 con objetivos de disponibilidad y mantenibilidad.
- Planificar programas funcionales, zonificación técnica y flujos segregados para salas TI y MEP.
- Dimensionar SPC (espacio, potencia, refrigeración) y escalabilidad modular con DfMA, skids y E-House.
- Definir la cadena eléctrica MT/BT: subestación, protecciones y selectividad, UPS, baterías Li-ion, generadores y calidad de energía.
- Diseñar y optimizar soluciones térmicas: enfriadoras y free-cooling, hidráulica variable, RDHx y refrigeración líquida D2C/inmersión.
- Integrar BMS/DCIM/SCADA/EMS y gemelo operativo con ciberseguridad OT/IT y gobierno del dato.
- Elaborar CAPEX/OPEX y LCC/TCO, estrategias de contratación EPC/EPCm y control 5D de coste y plazo.
- Aplicar QA/QC, ITPs y Commissioning por niveles 0-5, SAT e IST con guiones y criterios de aceptación.
- Implantar O&M basado en RCM, CMMS, permisos de trabajo y LOTO, repuestos críticos y KPIs operativos.
- Cumplir normativa y seguridad: EN 50600, IEC/ISO, PCI constructiva, arc flash y prevención de riesgos.
- Mejorar sostenibilidad: PUE/WUE/CUE, renovables, BESS, gestión del agua y reaprovechamiento de calor.



-
- Utilizar formularios y checklists listos para uso para requisitos, interfaces, pruebas, handover y auditoría.

Introducción.



Del plano a la demanda: cómo posicionar y vender soluciones constructivas y tecnológicas de centros de datos con rigor técnico y orientación a valor

El mercado de centros de datos vive una competencia intensa donde ya no basta con una ingeniería solvente: hay que saber explicar el valor técnico en términos de negocio, riesgo y tiempo. Promotores, ingenierías, constructoras y operadores compiten por captar inversión y ganar licitaciones con propuestas claras, medibles y alineadas con objetivos de disponibilidad, eficiencia y sostenibilidad. Esta guía práctica nace para resolver un problema recurrente: transformar especificaciones técnicas complejas en un relato convincente que reduzca la incertidumbre del cliente, acelere la decisión y mejore la rentabilidad del proyecto.

La guía ofrece un recorrido práctico que integra ingeniería y marketing B2B especializado en centros de datos. Combina soluciones constructivas y MEP crítica con técnicas para convertirlas en propuestas ganadoras: arquitectura y detalle constructivo orientados a valor; cadena eléctrica y térmica traducidas a KPIs relevantes como disponibilidad, PUE y WUE; commissioning y pruebas como prueba social técnica; integración digital (BMS, DCIM, SCADA, EMS) para argumentar operación basada en datos; industrialización DfMA para acortar plazo y reducir riesgo; O&M y RCM como promesa de coste del ciclo de vida; sostenibilidad y reaprovechamiento de calor como ventaja competitiva; calidad y normativa (EN 50600, IEC/ISO) como garantías de cumplimiento. Incluye plantillas de RFP/RFQ, hojas de datos, matrices de cumplimiento, protocolos FAT/SAT/Cx/IST, cuadros de mando y casos prácticos completos para utilizar en ofertas, presentaciones y defensas técnicas.

El lector aprenderá a construir una propuesta de valor sólida y verificable, enlazando decisiones técnicas con resultados de negocio: reducción de riesgo y plazo, optimización del coste total de propiedad, impacto en consumo energético y agua, y mejora de la disponibilidad. Podrá justificar inversiones ante dirección financiera y comités de inversión con modelos LCC/TCO, demostrar cumplimiento con evidencias, y diferenciarse con industrialización, digitalización y gobernanza operativa. La guía aporta un lenguaje común entre ingeniería, compras,



operación y promotor, acorta ciclos de venta, mejora la tasa de adjudicación y habilita una comunicación técnica clara con cuadros, checklists y formularios listos para uso. Los casos reales proporcionan argumentos y métricas que facilitan la comprensión y permiten replicar soluciones con confianza.

Si desea convertir su conocimiento técnico en ventaja competitiva y presentar ofertas que ganen por valor y no solo por importe, esta guía práctica es la inversión más rentable en su desarrollo profesional. Adquiérala, incorpore sus plantillas a su metodología y utilice los casos prácticos para reforzar su discurso ante clientes, socios y financiadores.

Quien lidera el mercado no es quien más habla de tecnología, sino quien mejor la conecta con resultados y riesgos controlados. Mantenerse actualizado, dominar las métricas y comunicar con precisión marcará la diferencia en su próxima adjudicación. Dé el siguiente paso hacia la excelencia: convierta su ingeniería en una propuesta ganadora y haga de cada decisión técnica un argumento que convence y cierra.