



CURSO/GUÍA PRÁCTICA INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?	19
Introducción.	20
PARTE PRIMERA	22
Contexto y Fundamentos de la Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación.	22
Capítulo 1: Contexto estratégico de la electrificación global	22
1. Historia y evolución de la electrificación mundial	22
a. Hitos desde finales del siglo XIX:	22
b. Crisis del petróleo de 1973 y creación de la AIE:.....	23
c. Electrificación en la era digital:.....	23
2. Seguridad eléctrica y geopolítica	24
a. Definición y alcance de la seguridad energética:	24
b. Diversificación de fuentes y orígenes:.....	24
c. Embargos, sanciones y cadenas de suministro:.....	24
3. Actores y organismos internacionales	25
a. Agencia Internacional de la Energía (AIE):.....	25
b. Unión Europea y ENTSO-E:.....	25
c. Bancos multilaterales y agencias de crédito a la exportación:	25
4. Reglas de oro de la AIE aplicadas a proyectos	26
a. Diversificación:	26
b. Predictibilidad regulatoria:.....	26
c. Cooperación internacional:	26
5. Lecciones de crisis recientes	26
a. Política de Estados Unidos y renovables:	26
b. Ausencia de China en foros energéticos:	27
c. Impacto de embargos de la OPEP:.....	27
6. Megatendencias y perspectivas futuras	27
a. Crecimiento de la demanda eléctrica	27
b. Digitalización industrial y smart cities	28
c. Objetivos de descarbonización	30
Capítulo 2: Demanda y tendencias tecnológicas de la Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación	33
1. Crecimiento de la demanda eléctrica	33
a. Datos globales desde 2010:	33
b. Sectores motores: movilidad, IA y centros de datos	34
c. Proyecciones hasta 2050:	34
2. Transición del mix energético	35
a. Renovables vs. convencionales	35
b. Evolución de nuclear y carbón	35
c. Papel de la hidráulica.....	36

3. Retos de intermitencia y estabilidad	36
a. Periodos de baja generación renovable:	36
b. Reservas y redes robustas:	37
c. Previsión meteorológica avanzada:	37
4. Soluciones de flexibilidad	37
a. Almacenamiento electroquímico	37
b. Bombeo hidráulico y térmico	38
c. Gestión activa de la demanda	38
5. Smart grids (redes eléctricas que incorporan infraestructura de comunicaciones) y digitalización.	39
a. Infraestructura de telecomunicaciones.....	39
b. SCADA y sistemas de control distribuidos	39
c. Ciberseguridad y normas IEC/IEEE.....	39
6. Tecnologías emergentes.....	40
a. Hidrógeno verde y Power-to-Gas (P2G)	40
b. Vehicle-to-Grid (V2G) en vehículos eléctricos	40
c. Microrredes y generación distribuida.....	41
Capítulo 3: Marco normativo y regulatorio internacional de la Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación.....	42
1. Convenios y acuerdos globales	42
a. Acuerdo de París:.....	42
b. Pacto Verde Europeo:	42
c. Foros G20 y OMC:	43
2. Procedimientos de planificación y permisos.....	43
a. NSIPs en la UE:.....	43
b. Trámites en LATAM (Perú, Chile, México):.....	44
c. Licencias en Asia (China, India):	44
3. Evaluación ambiental y social	45
a. Estudios de impacto ambiental	45
b. Participación pública y consultas	45
c. Planes de mitigación y compensación	46
4. Simplificación y plazos	47
a. Ventanillas únicas digitales.....	47
b. Plazos máximos y sanciones.....	47
c. Experiencias de agilización	48
5. Modelos de gobernanza	48
a. Coordinación interministerial:.....	48
b. Agencias regulatorias independientes:	49
c. Comités público-privados:	49
6. Tendencias regulatorias	49
a. Tarifas reguladas vs. mercado mayorista:	49
b. Incentivos y contratos de ajuste:	50
c. Evolución post-2030:	50
PARTE SEGUNDA.....	51
Planificación y Diseño de Infraestructuras de la Ingeniería, construcción y financiación de proyectos	

de electrificación.....	51
Capítulo 4: Diseño de redes de transmisión de alta tensión.....	51
1. Selección de tecnología.....	51
a. Corriente alterna (AC):	51
b. Corriente continua HVDC:	51
c. Criterios de distancia y capacidad:	52
2. Cálculo de capacidades y perfiles de carga	52
a. Métodos de dimensionado:	52
b. Análisis de picos y variabilidad:	52
c. Software de simulación:	53
3. Topologías de red	53
a. Anillos:	53
b. Mallas:	53
c. Nodos estratégicos:	53
4. Análisis de contingencias.....	53
a. Criterio N-1:	54
b. Estudios de estabilidad eléctrica:	54
c. Planes de recuperación:	54
5. Impacto ambiental y servidumbres.....	54
a. Evaluación de trazados	54
b. Gestión de servidumbres	55
c. Medidas de mitigación	55
6. Sistemas de control y automatización.....	55
a. SCADA:	55
b. PMUs:	56
c. Redundancia y ciberseguridad:.....	56
Capítulo 5: Diseño de redes de distribución y últimos kilómetros	57
1. Arquitectura de subestaciones secundarias	57
a. Tipologías y capacidades:	57
b. Equipos principales:	58
c. Configuración modular:	58
2. Cableado aéreo vs. subterráneo	58
a. Costes y plazos.....	59
b. Impacto urbano y ambiental	59
c. Mantenimiento y accesibilidad.....	59
3. Conexión de nuevos agentes	60
a. Puntos de recarga EV:.....	60
b. Centros de datos:	60
c. Autoconsumo y prosumidores:.....	60
4. Smart meters y gestión de la demanda	61
a. Funcionalidades básicas:	61
b. Integración con plataformas AMI:.....	61
c. Ventajas para la compañía y el usuario:	61
5. Integración de generación distribuida.....	61
a. Inyección a red:	62

b. Control de flujos bidireccionales:	62
c. Protocolos de interconexión:	62
6. Ciberseguridad en distribución	62
a. Principales vectores de ataque:	62
b. Buenas prácticas de protección:	63
c. Normativa aplicable:	63
Capítulo 6: Integración de renovables y sistemas inteligentes.....	64
1. Estudios de recurso	64
a. Análisis de viento:	64
b. Radiación solar:	64
c. Otras fuentes (geotérmica, biomasa):	65
2. Dimensionado de plantas eólicas y solares	65
a. Escala de proyecto:	65
b. Tecnología de aerogeneradores y paneles:	65
c. Optimización de diseño:	66
3. Sistemas híbridos y microrredes	66
a. Concepto y casos de uso	66
b. Control de energías mixtas.....	67
c. Ejemplos de proyectos aislados.....	67
4. Almacenamiento y gestión	67
a. Baterías de litio y alternativas	67
b. Almacenamiento térmico.....	68
c. Sistemas P2G (Power-to-Gas)	68
5. Plataformas de gestión de recursos distribuidos	69
a. DERMS:	69
b. EMS:	70
c. Integración con DMS:	70
6. Protocolos y estándares	70
a. IEC 61850:	70
b. IEEE 2030:	70
c. OASIS y otros:	71
PARTE TERCERA	72
Ingeniería y Construcción de proyectos de electrificación.	72
Capítulo 7: Procesos de ingeniería en proyectos de electrificación	72
1. Ingeniería básica (FEED - Front End Engineering Design)	72
a. Alcance y objetivos:	72
b. Metodología de definición de requisitos:	73
c. Entregables principales:	73
2. Ingeniería de detalle	73
a. Diagramas unifilares y esquemas	73
b. Cálculos eléctricos y estructurales	74
c. Planos y listados de materiales.....	74
3. Selección de proveedores y licitación técnica	75
a. Criterios de evaluación técnica.....	75

b. Bases de licitación y documentación.....	76
c. Gestión de ofertas y adjudicación	76
4. Estudios de viabilidad y análisis multicriterio	77
a. Viabilidad técnica:	77
b. Viabilidad económica:	77
c. Viabilidad ambiental	78
5. Gestión de cambios.....	78
a. Procedimiento de control de modificaciones.....	78
b. Evaluación de impactos de coste y plazo	79
c. Aprobación y trazabilidad	79
6. Herramientas BIM y modelado 3D	80
a. Beneficios en coordinación	80
b. Integración con ERP y sistemas de proyecto	80
c. Colaboración multidisciplinar	81
Capítulo 8: Gestión de obra y logística de la Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación.....	82
1. Contratación y modelos de obra	82
a. EPC vs. EPCM:	82
b. Cláusulas de riesgo y garantías:.....	82
c. Ejemplos de contratos tipo:	83
2. Planificación de obra	83
a. Estructura de desglose de trabajo (EDT):	83
b. Diagrama de Gantt y hitos críticos:	83
c. Herramientas de gestión (MS Project, Primavera):	84
3. Logística de equipos pesados.....	84
a. Transporte y maniobra:	84
b. Almacenaje en parcela:	84
c. Protocolos de seguridad:	85
4. Seguridad y salud laboral	85
a. Identificación de riesgos:.....	85
b. Plan de seguridad y prevención:	85
c. Formación y seguimiento:	85
5. Coordinación de subcontratistas	86
a. Interfaces entre actividades:	86
b. Gestión de calidad de suministros:	86
c. Comunicación y reporting:.....	86
6. Seguimiento y control de avances	87
a. Indicadores clave (KPIs):	87
b. Informes periódicos:	87
c. Acciones correctivas:	87
Capítulo 9: Sostenibilidad y evaluación de impactos de la Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación.....	88
1. Análisis de ciclo de vida (ACV)	88
a. Alcance y límites del estudio:	88
b. Herramientas y bases de datos:	89

c. Interpretación de resultados:	89
2. Compensación de huella de carbono	89
a. Cálculo de emisiones:	89
b. Mecanismos de compensación:	90
c. Certificaciones voluntarias:	90
3. Impacto social y comunitario.....	90
a. Evaluación de stakeholders:	90
b. Programas de responsabilidad social:	91
c. Gestión de reclamaciones:.....	91
4. Biodiversidad y restauración	91
a. Identificación de hábitats críticos:.....	91
b. Planes de restauración:	91
c. Seguimiento post-obra:	92
5. Certificaciones de sostenibilidad	92
a. ISO 14001:	92
b. EDGE y LEED:	92
c. Otros estándares sectoriales:	92
6. Gobernanza ESG	93
a. Marcos de reporte (GRI, SASB):.....	93
b. Integración en la estrategia de proyecto:	93
c. Transparencia y auditoría:	93
Capítulo 10: Problemática de la obra en proyectos de electrificación	95
1. Preparación de obra civil especializada en electrificación	95
a. Accesos y plataformas temporales.....	95
b. Cimentaciones de torres y subestaciones	95
c. Gestión de drenajes y control de erosión	95
2. Montaje de estructuras y equipos eléctricos	96
a. Técnicas de izado de torres	96
b. Montaje de celdas GIS y transformadores	96
c. Coordinación de recursos críticos.....	96
3. Tendido de líneas aéreas de alta tensión	97
a. Técnicas de desplazamiento de conductores	97
b. Tensado y fijación en torre.....	97
c. Procedimientos de seguridad y calidad	97
4. Cableado subterráneo y canalizaciones	97
a. Técnicas de excavación y protección	98
b. Instalación del cable y empalmes.....	98
c. Mantenimiento y restauración de superficie	98
5. Integración de energías renovables y obra concurrente	98
a. Coordinación con obras de generación renovable	98
b. Montaje de armarios de control y estaciones de medida	99
c. Gestión de la intermitencia durante construcción	99
6. Puesta en servicio y validación de obra.....	99
a. Pruebas eléctricas de aceptación	99
b. Pruebas de carga y sincronización.....	99
c. Entrega as-built y cierre documental.....	100

PARTE CUARTA	101
Financiación y Modelización Económica de proyectos de electrificación.....	101
Capítulo 11: Modelización financiera y estructuración de capital de proyectos de electrificación	101
1. Fundamentos de modelización financiera	101
a. Estructura de hoja de cálculo:	101
b. Supuestos macro y sectoriales:	102
c. Validación de modelos:.....	102
2. Flujo de caja descontado (DCF)	102
a. Construcción del estado de flujos:	103
b. Selección de tasa de descuento (WACC):	103
c. Sensibilidades clave:	103
3. Estructuras de financiación.....	104
a. Deuda sénior y mezzanine:.....	104
b. Aportaciones de equity:	104
c. Financiación verde y bonos:	104
4. Análisis de sensibilidad y escenarios	105
a. Variables de mercado:	105
b. Test de estrés financiero:	105
c. Informe de desviaciones:.....	105
5. Indicadores de rentabilidad	106
a. VAN (VPN):.....	106
b. TIR:.....	106
c. Pay-back y ratios de cobertura:	106
6. Due diligence financiera	106
a. Verificación de supuestos:.....	106
b. Revisión de contratos y garantías:	107
c. Informe de riesgos financieros:	107
Capítulo 12: Gestión de riesgos y seguros de la Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación.....	108
1. Identificación de riesgos.....	108
a. Técnicos y de ingeniería:	108
b. Comerciales y de mercado:	108
c. Geopolíticos y regulatorios:.....	109
2. Cuantificación y priorización.....	109
a. Matrices de probabilidad e impacto:	109
b. Técnicas cualitativas y cuantitativas:.....	109
c. Reporte de riesgo residual:.....	110
3. Estrategias de mitigación	110
a. Contratos y cláusulas de garantía:.....	110
b. Coberturas financieras (hedging):	110
c. Planes de contingencia:	111
4. Seguros de construcción y montaje	111
a. Coberturas básicas:	111

b. Extensiones y exclusiones:	111
c. Proceso de reclamación:	112
5. Seguros de operación	112
a. Daños a equipos:	112
b. Pérdidas de ingresos por indisponibilidad:	112
c. Responsabilidad civil:	112
6. Monitoreo y revisión continua	113
a. Informes periódicos de riesgo:	113
b. Actualización de la matriz de riesgo:	113
c. Lecciones aprendidas y mejora continua:	113
Capítulo 13: Principales desafíos financieros en proyectos de electrificación	114
1. ¿Cómo gestionar el riesgo de sobrecostos en CAPEX inicial?	114
a. Identificación de fuentes de sobrecoste:	114
b. Estrategias de mitigación:	114
c. Herramientas de control:	114
2. ¿Cómo afrontar la variabilidad de ingresos por precios de energía y PPA?	115
a. Riesgos de ingresos:	115
b. Instrumentos de cobertura:	115
c. Herramientas de modelización y monitoreo:	115
3. ¿Qué hacer ante el riesgo de expiración o refinanciación de deuda?	116
a. Identificación del riesgo de “refinanciación”:	116
b. Estrategias de mitigación:	116
c. Herramientas de planificación y seguimiento:	116
4. ¿Cómo cubrir el riesgo de tipos de interés?	117
a. Exposición al tipo flotante:	117
b. Instrumentos de cobertura:	117
c. Herramientas de monitorización y gestión:	117
5. ¿Cómo mitigar el riesgo de tipo de cambio?	117
a. Identificación de la exposición cambiaria:	118
b. Instrumentos de cobertura cambiaria:	118
c. Herramientas de seguimiento y gestión:	118
6. ¿Cómo gestionar la incertidumbre regulatoria y tarifaria?	118
a. Identificación de riesgos regulatorios:	118
b. Estrategias de mitigación:	119
c. Herramientas de seguimiento y respuesta:	119
PARTE QUINTA	120
Operación y Gestión de Activos de la Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación.	120
Capítulo 14: Operación y mantenimiento de infraestructuras eléctricas	120
1. Puesta en servicio y arranque	120
a. Pruebas de sincronización y carga:	120
b. Requisitos de aceptación:	121
c. Protocolos de seguridad:	121
2. Estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo	122

a. Programación basada en condición:	122
b. Técnicas de análisis de vibraciones y termografía:	122
c. Planificación de paradas programadas:	122
3. Gestión de repuestos estratégicos	123
a. Métodos de clasificación (ABC, VED):	123
b. Optimización de inventarios:	123
c. Contratos de suministro a largo plazo:	123
4. Monitoreo de rendimiento y KPIs de operación	124
a. Disponibilidad y factor de planta:	124
b. Eficiencia energética y pérdidas:	124
c. Benchmarking frente a la industria:	124
5. Sistemas CMMS y digital twin	125
a. Integración con SCADA y ERP:	125
b. Arquitectura IoT para mantenimiento predictivo:	125
c. Visualización 3D y simulación de fallos:	125
6. Respuesta ante incidencias y recuperación	126
a. Planes de contingencia y black-start:	126
b. Coordinación con operadores de red:	126
c. Evaluación post-incidente:	127
Capítulo 15: Optimización de activos y repotenciación de la Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación	128
1. Análisis de degradación y vida útil residual	128
a. Modelos de envejecimiento de equipos:	128
b. Ensayos no destructivos:	128
c. Criterios de sustitución o mejora:	129
2. Repotenciación de plantas renovables	129
a. Upgrade de aerogeneradores y paneles:	129
b. Nuevas configuraciones de inversores:	130
c. Gestión de permisos y licencias:	130
3. Integración de almacenamiento en activos existentes	130
a. Estudios de viabilidad técnica y económica:	130
b. Configuración AC-coupled vs. DC-coupled:	131
c. Casos de éxito de hybrid retrofits:	131
4. Estrategias de optimización de ingresos	131
a. Participación en mercados de servicios de ajuste:	131
b. Power Purchase Agreements (PPAs) dinámicos:	132
c. Certificados de energía verde y garantías de origen:	132
5. Herramientas avanzadas de analítica y AI	132
a. Modelos de predicción de fallos:	132
b. Optimización de despacho y bidding:	133
c. Gemelos digitales impulsados por ML:	133
6. Planificación de desmantelamiento y reciclaje	133
a. Decommissioning plan y costes asociados:	133
b. Gestión de residuos y economía circular:	134
c. Normativa específica de reciclaje de componentes:	134
PARTE SEXTA	135

Herramientas Prácticas de la Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación.
.....135

Capítulo 16: Checklists y formularios de la Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación.....135

Formulario 1 • Checklist de viabilidad y pre-EPC135

- A. Alcance del proyecto..... 135
- B. Requisitos regulatorios..... 136
- C. Evaluación preliminar de costes y plazos 137

Formulario 2 • Solicitud de licencias y permisos138

- A. Datos del promotor 138
- B. Documentación técnica requerida Adjunta Observaciones..... 138
- C. Calendario de trámites 139
- D. Declaración y firma 139
- E. Uso exclusivo de la administración 140

Formulario 3 • Checklist de control de obra y calidad140

- A. Inspección de cimentaciones 140
- B. Supervisión de montaje de torres y equipos..... 140
- C. Ensayos de soldadura y pruebas eléctricas 141
- D. Observaciones generales y acciones correctivas 141
- E. Firmas de conformidad..... 141

Formulario 4 • Análisis de riesgos de proyecto142

- A. Identificación y descripción del riesgo 142
- B. Valoración de probabilidad e impacto 142
- C. Plan de mitigación y responsables 142
- D. Revaluación y cierre 143

Formulario 5 • Checklist de comisionado y pruebas FAT/SAT143

- A. Verificación de especificaciones técnicas 143
- B. Ensayos funcionales y de carga 144
- C. Registro de resultados y aprobaciones 144
- D. Cierre y distribución 144

Formulario 6 • Cierre financiero y lecciones aprendidas.....145

- A. Certificación de entregables finales 145
- B. Informe de desviaciones de importe y plazo 145
- C. Registro de recomendaciones para futuros proyectos 146
- D. Aprobaciones y distribución 146

Formulario 7 • Auditoría HSSE (Health, Safety, Security & Environment)146

- A. Datos generales de la auditoría 147
- B. Control documental HSSE 147
- C. Inspección in situ 147
- D. Accidentabilidad y KPI (últimos 30 días) 148
- E. Conclusiones y acciones correctivas..... 148
- F. Firmas 148

Formulario 8 • Checklist de Cumplimiento Ambiental y Social (E&S)148

- A. Datos básicos de la auditoría 148
- B. Verificación ambiental 148
- C. Cumplimiento social 149
- D. KPI y seguimiento..... 149

E. Plan de acción / mejoras	149
Formulario 9 • Auditoría de Ciberseguridad OT/SCADA	149
A. Datos de la inspección.....	149
B. Hardening de dispositivos IED y PLC	149
C. Arquitectura de red	149
D. Registros y monitoreo.....	150
E. Pruebas de intrusión y vulnerabilidades	150
Formulario 10 • Checklist de Handover a Operación y Mantenimiento (O&M)	150
A. Datos de transferencia	150
B. Documentación entregada.....	150
C. Formación y capacitación.....	151
F. Firmas de transferencia	151
PARTE SÉPTIMA	152
Estrategias y hoja de ruta para la expansión y modernización de la infraestructura eléctrica ...	152
Capítulo 17: Recomendaciones estratégicas para la expansión y modernización de la red eléctrica.....	152
1. Escalar inversiones en almacenamiento a escala nacional	152
2. Acelerar interconexiones HVDC y AC	153
3. Desplegar plataformas DERMS/AMI para monitorización del autoconsumo	153
4. Refuerzo de inercia y reservas giratorias.....	153
5. Roadmap de digitalización avanzada	154
6. Conclusión y hoja de ruta operativa.....	154
a. Prioridades a corto plazo	155
b. Consolidación a medio plazo	155
c. Visión a largo plazo y métricas de impacto	155
d. Síntesis de gobernanza y riesgo	156
e. Convergencia con objetivos de descarbonización y seguridad energética	156
f. Declaración final.....	156
PARTE OCTAVA	157
Práctica de Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación.	157
Capítulo 17: Casos prácticos de Ingeniería, construcción y financiación de proyectos de electrificación.	157
Caso práctico 1. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Instalación de alumbrado público solar en un pequeño municipio rural. ...	157
Causa del Problema	157
Soluciones Propuestas.....	158
1. Sistema fotovoltaico autónomo con luminarias LED integradas	158
2. Microred híbrida comunitaria en edificios municipales.....	158
3. Contrato de servicio energético (PPA) con operador especializado	158
Consecuencias Previstas.....	158
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	159
Lecciones Aprendidas	159
Caso práctico 2. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE	



ELECTRIFICACIÓN." Electrificación de una escuela rural mediante microred híbrida fotovoltaica–diésel con almacenamiento.....161

Causa del Problema	161
Soluciones Propuestas.....	161
1. Microred híbrida fotovoltaica–diésel con almacenamiento en baterías	161
2. Financiación mediante fondo de electrificación rural y leasing operativo	161
3. Formación y transferencia de operación a la comunidad educativa	162
Consecuencias Previstas.....	162
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	163
Lecciones Aprendidas.....	163

Caso práctico 3. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Modernización de subestación MT/BT y red interna de un polígono industrial.164

Causa del Problema	164
Soluciones Propuestas.....	164
1. Sustitución de subestación MT/BT y cuadro de protecciones digitales.....	164
2. Tendido de red subterránea MT y armarios secundarios con sensorización.....	164
3. Financiación mixta con leasing financiero y aportación de usuarios	165
Consecuencias Previstas.....	165
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	165
Lecciones Aprendidas.....	166

Caso práctico 4. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Instalación de cargadores ultrarrápidos para vehículos eléctricos en una autopista de alta capacidad.167

Causa del Problema	167
Soluciones Propuestas.....	167
1. Instalación de 8 cargadores ultrarrápidos de 150 kW	167
2. Integración de generación solar y almacenamiento (BESS).....	167
3. Financiación mediante concesión mixta y tarifa dinamizada	168
Consecuencias Previstas.....	168
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	168
Lecciones Aprendidas.....	169

Caso práctico 5. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Rediseño de la red de distribución urbana en un barrio periférico para integrar autoconsumo y recarga de vehículos eléctricos.170

Causa del Problema	170
Soluciones Propuestas.....	170
1. Modernización de subestaciones secundarias con regulación de tensión y protecciones digitales ..	170
2. Reemplazo de líneas aéreas por cableado subterráneo preensamblado sensorizado	170
3. Financiación mediante Contrato de Servicio Energético (ESCO) y subvención Next Generation EU	171
Consecuencias Previstas.....	171
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	172
Lecciones Aprendidas.....	172

Caso práctico 6. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Diseño y construcción de línea de transmisión de 220 kV para evacuación de energía de parque eólico offshore.....173

Causa del Problema	173
Soluciones Propuestas.....	173
1. Línea de transmisión mixta HVAC 220 kV (submarina + aérea)	173
2. Sistema HVDC en configuración VSC (convertidores modulados por prestolón)	173

3. Financiación mediante proyecto “balanceado” con cofinanciación EIB y concesión BOOT	174
Consecuencias Previstas.....	174
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	175
Lecciones Aprendidas.....	175
Caso práctico 7. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Desarrollo de ingeniería básica y de detalle para una subestación de 400 kV en conexión de gran parque solar.	176
Causa del Problema	176
Soluciones Propuestas.....	176
1. Ingeniería básica (FEED)	176
2. Ingeniería de detalle	176
3. Financiación y licitación técnica.....	177
Consecuencias Previstas.....	177
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	177
Lecciones Aprendidas.....	178
Caso práctico 8. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Gestión de obra y logística para la construcción de una subestación de 400 kV y línea de interconexión en terreno montañoso.	179
Causa del Problema	179
Soluciones Propuestas.....	179
1. Adopción de modelo EPC con contratista único	179
2. Planificación logística y rutas de transporte excepcionales	179
3. Gestión de seguridad y salud laboral	180
4. Coordinación de subcontratistas y calidad de suministros	180
Consecuencias Previstas.....	180
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	181
Lecciones Aprendidas.....	181
Caso práctico 9. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Realización de Análisis de Ciclo de Vida y Plan de Compensación de Huella de Carbono en red de distribución urbana.	182
Causa del Problema	182
Soluciones Propuestas.....	182
1. Análisis de Ciclo de Vida (ACV) conforme a ISO 14040/44	182
2. Plan de Compensación de Huella y Certificaciones	182
3. Integración de medidas de mitigación y economía circular	183
Consecuencias Previstas.....	183
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	184
Lecciones Aprendidas.....	184
Caso práctico 10. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Modelización financiera y estructuración de capital para un parque fotovoltaico de 50 MW.....	185
Causa del Problema	185
Soluciones Propuestas.....	185
1. Elaboración de modelo DCF completo	185
2. Estructura de financiación mixta	185
3. Implementación de covenant y fondos de reserva	186
Consecuencias Previstas.....	186
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	187
Lecciones Aprendidas.....	187

Caso práctico 11. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Desarrollo de un plan de gestión de riesgos e implementación de seguros en un parque eólico terrestre de 100 MW.....188

Causa del Problema	188
Soluciones Propuestas.....	188
1. Identificación y priorización de riesgos.....	188
2. Desarrollo de estrategias de mitigación y contingencia	188
3. Contratación de seguros especializados	189
Consecuencias Previstas.....	189
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	190
Lecciones Aprendidas	190

Caso práctico 12. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Operación y mantenimiento de infraestructuras eléctricas en una planta de tratamiento de agua potable.191

Causa del Problema	191
Soluciones Propuestas.....	191
1. Implementación de un CMMS y estrategia de mantenimiento preventivo/predictivo.....	191
2. Desarrollo de un gemelo digital (digital twin) para simulación de fallos	191
3. Creación de stock estratégico de repuestos y contrato de mantenimiento en sitio	192
Consecuencias Previstas.....	192
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	193
Lecciones Aprendidas	193

Caso práctico 13. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Repotenciación y optimización de una planta fotovoltaica de 20 MW en explotación.194

Causa del Problema	194
Soluciones Propuestas.....	194
1. Reemplazo de módulos y rediseño de strings.....	194
2. Actualización de inversores y sistema de monitorización avanzada	194
3. Financiación de repotenciación mediante lease-back y bono verde	195
Consecuencias Previstas.....	195
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	195
Lecciones Aprendidas	196

Caso práctico 14. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Desarrollo e implantación de checklists de viabilidad y pre-EPC para un proyecto de subestación de 220 kV.....197

Causa del Problema	197
Soluciones Propuestas.....	197
1. Diseño de un checklist de viabilidad y pre-EPC.....	197
2. Piloto de validación en un proyecto previo	197
3. Implantación formal y seguimiento	198
Consecuencias Previstas.....	198
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	198
Lecciones Aprendidas	198

Caso práctico 15. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Formulario de solicitud de licencias y permisos para la ejecución de una red de distribución urbana.200

Causa del Problema	200
Soluciones Propuestas.....	200

1. Diseño de formulario unificado de solicitud de licencias y permisos	200
2. Validación interna y coordinación interdisciplinar	201
3. Presentación y seguimiento en plataforma de tramitación electrónica	201
Consecuencias Previstas.....	201
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	202
Lecciones Aprendidas.....	202
Caso práctico 16. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Checklist de control de obra y calidad en instalación de una línea de transmisión de 132 kV.	203
Causa del Problema	203
Soluciones Propuestas.....	203
1. Diseño de checklist de control de obra y calidad	203
2. Piloto de aplicación en primer hito	203
3. Implantación completa y seguimiento digital	204
Consecuencias Previstas.....	204
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	205
Lecciones Aprendidas.....	205
Caso práctico 17. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Checklist de comisionado y pruebas FAT/SAT para puesta en servicio de una subestación de 132/33 kV.	206
Causa del Problema	206
Soluciones Propuestas.....	206
1. Diseño de checklist FAT/SAT exhaustivo	206
2. Coordinación de equipos FAT y SAT	207
3. Digitalización y seguimiento de no conformidades	207
Consecuencias Previstas.....	207
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	208
Lecciones Aprendidas.....	208
Caso práctico 18. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Formulario de cierre financiero y registro de lecciones aprendidas en proyecto de electrificación rural.	209
Causa del Problema	209
Soluciones Propuestas.....	209
1. Diseño de formulario de cierre financiero	209
2. Prueba piloto en proyecto similar	209
3. Implantación formal y seguimiento	210
Consecuencias Previstas.....	210
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	211
Lecciones Aprendidas.....	211
Caso práctico 19. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Optimización de ingresos mediante PPA dinámicos y certificados de origen en una planta solar de 10 MW.	212
Causa del Problema	212
Soluciones Propuestas.....	212
1. Migración a PPA dinámico indexado al mercado mayorista (OMIE).....	212
2. Venta de Garantías de Origen y certificados de energía renovable	212
3. Participación en mercado de servicios de ajuste (reserva primaria y secundaria)	213
Consecuencias Previstas.....	213
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	213
Lecciones Aprendidas.....	214

Caso práctico 20. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Desarrollo e implantación de un formulario de análisis de riesgos para la construcción de una subestación de 220 kV.215

Causa del Problema	215
Soluciones Propuestas.....	215
1. Diseño de formulario de análisis de riesgos.....	215
2. Piloto de validación en obras civiles	215
3. Implantación formal y seguimiento continuo	216
Consecuencias Previstas.....	216
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	216
Lecciones Aprendidas	217

Caso práctico 21. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Diseño e implementación de microrred inteligente en distrito urbano.218

Causa del Problema	218
Soluciones Propuestas.....	218
1. Arquitectura de microrred inteligente con DERMS y BESS	218
2. Financiación vía contrato OPEX con ESCO y bono verde municipal.....	218
3. Gobernanza y participación ciudadana.....	219
Consecuencias Previstas.....	219
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	219
Lecciones Aprendidas	219

Caso práctico 22. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Emisión de bonos verdes y estructuras híbridas de financiación para parque eólico de 150 MW.....221

Causa del Problema	221
Soluciones Propuestas.....	221
1. Emisión de Green Project Bonds.....	221
2. Debenture convertible y mezzanine verde	221
3. Syndication con EIB y banco multilateral	221
Consecuencias Previstas.....	222
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	222
Lecciones Aprendidas	222

Caso práctico 23. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Integración de gobernanza ESG y reporte GRI en un consorcio multinacional de proyectos de electrificación.223

Causa del Problema	223
Soluciones Propuestas.....	223
1. Diseño de marco ESG corporativo y políticas de due diligence	223
2. Plataforma de reporte y trazabilidad GRI	223
3. Formación y cultura ESG	223
Consecuencias Previstas.....	224
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	224
Lecciones Aprendidas	224

Caso práctico 24. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Plan de desmantelamiento y economía circular de un parque solar de 30 MW al final de su vida útil.225

Causa del Problema	225
Soluciones Propuestas.....	225
1. Plan de desmantelamiento ("Decommissioning Plan") conforme a economía circular	225



2. Financiación y provisión de garantías de desmantelamiento	225
3. Aprovechamiento de materiales y subproductos	225
Consecuencias Previstas.....	226
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	226
Lecciones Aprendidas.....	226
 Caso práctico 25. "INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y FINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN." Implantación de plataforma de Digital Twin para operación multi-activo en empresa distribuidora.228	
Causa del Problema	228
Soluciones Propuestas.....	228
1. Desarrollo de gemelo digital corporativo (enterprise-grade)	228
2. Financiación y piloto modular	228
3. Implementación y gobernanza del Digital Twin.....	228
Consecuencias Previstas.....	229
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	229
Lecciones Aprendidas	229

¿QUÉ APRENDERÁ?



- Comprender el contexto estratégico y geopolítico de la electrificación global
- Identificar las megatendencias y perspectivas futuras del sector eléctrico
- Analizar la evolución del mix energético y la transición hacia renovables
- Dimensionar redes de transmisión y distribución de alta y media tensión
- Diseñar subestaciones, topologías de red y análisis de contingencias
- Integrar sistemas inteligentes, smart grids y digitalización SCADA
- Evaluar viabilidad, licencias y procedimientos normativos internacionales
- Desarrollar modelos financieros, flujo de caja descontado (DCF) y estructuración de capital
- Gestionar riesgos, seguros y estrategias de mitigación en proyectos
- Planificar y supervisar la construcción: EPC, logística y control de obra
- Implementar mantenimiento predictivo, CMMS y digital twin en operación
- Aplicar herramientas prácticas: checklists, formularios y casos de estudio realistas

Introducción.



Vivimos una era en la que la electrificación ya no es solo una herramienta de desarrollo, sino la columna vertebral de nuestra transición energética. Desde la extensión de redes de alta tensión hasta la puesta en marcha de micro-redes inteligentes y grandes parques renovables, cada proyecto de electrificación es una oportunidad para reinventar la forma en que generamos, distribuimos y consumimos energía. Esta guía práctica te acompañará paso a paso, reuniendo todo el conocimiento necesario para diseñar, construir y financiar infraestructuras eléctricas modernas, robustas y sostenibles.

En sus páginas descubrirás cómo:

- Contextualizar estratégicamente tus proyectos en el marco global de la electrificación, identificando megatendencias, regulaciones y actores clave.
- Planificar y diseñar redes de transmisión y distribución, integrar recursos renovables, sistemas de almacenamiento y tecnologías digitales que garanticen flexibilidad y resiliencia.
- Dominar la ingeniería de detalle, la ejecución de obra y la logística especializada, aplicando metodologías BIM, SCADA y prácticas de seguridad que reducen riesgos y aceleran los plazos.
- Estructurar la financiación óptima: construir modelos financieros sólidos (DCF, WACC, PPAs verdes), gestionar riesgos y emplear instrumentos innovadores —desde bonos verdes hasta esquemas OPEX— para asegurar la viabilidad económica de cada iniciativa.
- Optimizar y operar tus activos con estrategias de mantenimiento predictivo, gemelos digitales y programas de repotenciación que maximicen la vida útil y el retorno de la inversión.

Tanto si eres un ingeniero buscando ampliar tu cartera de proyectos, un constructor que afronta retos técnicos cada vez más complejos, o un inversor que exige sólidas garantías de rentabilidad y sostenibilidad, aquí encontrarás las



herramientas, checklists y casos reales que convertirán cualquier desafío de electrificación en un éxito tangible. ¡Empecemos a iluminar juntos el futuro de la infraestructura energética!