



CURSO/GUÍA PRÁCTICA INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?	21
Introducción.	22
PARTE PRIMERA	24
Introducción y Fundamentos de la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante	24
Capítulo 1: Panorama global de la ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante	24
1. Evolución histórica e hitos clave	24
a. Primeros prototipos (Hywind, WindFloat)	24
b. Escalado de potencia y crecimiento de torres	25
c. Normalización y estándares emergentes	25
2. Contexto climático y objetivos de descarbonización	25
a. Compromisos internacionales y Acuerdo de París	25
b. Objetivos 2050 de neutralidad climática en la UE.....	25
c. Contribución de la eólica flotante a los PNIEC.....	26
3. Potencial eólico en aguas profundas a escala mundial	26
a. Mapas globales de recurso viento-ola.....	26
b. Profundidad, distancia a costa y accesibilidad	26
c. Regiones de mayor atractivo (Atlántico, Pacífico, Mediterráneo).....	26
4. Comparativa técnica entre estructuras fijas y flotantes	27
a. Rango de profundidades y criterios de selección	27
b. Ventajas en LCOE y flexibilidad de emplazamiento	27
c. Desafíos de ingeniería compartidos y específicos	27
5. Tendencias de mercado y proyecciones de crecimiento	28
a. Capacidad instalada y cartera de proyectos (pipeline)	28
b. Dinámica de precios y subastas CfD internacionales	28
c. Competencia tecnológica y nuevos actores	28
6. Casos emblemáticos de proyectos pioneros	28
a. Hywind Scotland (Reino Unido).....	28
b. Kincardine (Reino Unido)	29
c. WindFloat Atlantic (Portugal)	30
Capítulo 2: Principios de ingeniería marina y eólica aplicados a la Energía Eólica Marina Flotante	31
1. Aerodinámica de aerogeneradores offshore	31
a. Efecto plataforma en la capa límite marina	31
b. Optimización de perfiles de pala para flotantes	31
c. Modelos BEM y CFD acoplados	32
2. Hidrodinámica y cargas sobre estructuras flotantes	32
a. Teoría de olas y espectros de energía	32
b. Respuesta dinámica plataforma-torre	32
c. Acople aerodinámico-hidrodinámico	32
3. Análisis meteorológico-oceánico para el diseño	33

a. Medidas LIDAR flotante y boyas metoceanicas.....	33
b. Series temporales y estadística de extremos	33
c. Correlación viento-ola-corriente	33
4. Fatiga, fiabilidad y vida útil de componentes	33
a. Métodos de cálculo acumulativo de daño	33
b. Materiales compuestos y corrosión marina.....	34
c. Estrategias de inspección basadas en riesgo	34
5. Métodos de simulación y herramientas de modelización	34
a. Software aero-hidro-elástico integrado	34
b. Bancos de pruebas digitales e HIL	34
c. Validación experimental a escala reducida	34
6. Normas y códigos de diseño internacionales.....	35
a. IEC 61400-3-2 para FOWT	35
b. DNV-ST-0119 Floating Wind.....	35
c. ABS Guide for Building and Classing FOWT	35
PARTE SEGUNDA.....	36
Tecnologías y Diseños de Plataformas en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante	36
Capítulo 3: Tipologías de plataformas flotantes en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....	36
1. Spar-buoy: diseño, fabricación y experiencias.....	36
a. Estabilidad metacéntrica y lastre	36
b. Transporte e instalación vertical	37
c. Costes de hormigonado vs. acero.....	37
2. Semi-sumergible: conceptos y evolución	37
a. Geometría de pontones y columnas	37
b. Dimensionamiento estructural y peso	39
c. Ejemplos WindFloat y PelaStar	39
3. Plataformas de tensión (TLP): principios y aplicaciones	39
a. Tendones y rigidez axial.....	39
b. Control de desplazamiento vertical.....	39
c. Demostradores TetraSpar, VoltturnUS	40
4. Diseños híbridos y multiturbo	40
a. Plataformas con múltiples aerogeneradores	40
b. Integración solar-hidrógeno-eólica	40
c. Interacción aerodinámica entre turbinas	40
5. Materiales avanzados y modularidad estructural	41
a. Hormigón UHPC vs. acero naval	41
b. Segmentar para construcción en serie	41
c. Reparaciones y reemplazo in-situ	41
6. Estudios comparativos de desempeño y coste	42
a. Evaluación de LCOE entre conceptos	42
b. Sensibilidad al escalado de potencia	43
c. Influencia de condiciones meteo-oceánicas.....	43
Capítulo 4: Sistemas de amarre y fondeo en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante	44

1. Tipos de líneas de fondeo y anclas	44
a. Cadenas de eslabón, cable sintético, acero torsionado	44
b. Anclas de chapa, succión, pilotaje	44
c. Selección según batimetría y suelo	45
2. Diseño y análisis de catenarias y taut-line	45
a. Modelos quasi-estáticos y dinámicos	45
b. Rigidez global y amortiguación	46
c. Interacción con cables exportación eléctrica	46
3. Interacción suelo-estructura y campañas geotécnicas	46
a. Ensayos CPT y muestras de núcleo	46
b. Modelos de resistencia no drenada	47
c. Diseño de transición placa-suelo	47
4. Monitorización y mantenimiento de sistemas de amarre	48
a. Sensores de tensión y fatiga	48
b. Inspecciones ROV y DRONES submarinos	48
c. Estrategias de sustitución de líneas	48
5. Logística de instalación y retirada	48
a. Buques fondeadores y barcasas	48
b. Secuencias de fondeo pre-instalado	49
c. Desconexión para tormentas extremas	49
6. Evaluación de impacto ambiental del fondeo	49
a. Efecto en bentos y hábitats marinos	49
b. Pérdida de artes de pesca y tráfico marítimo	50
c. Medidas de mitigación y compensación	50
Capítulo 5: Aerogeneradores para aplicaciones flotantes en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....	52
1. Escalado de potencia y requisitos específicos.....	52
a. Tendencia hacia turbinas >20 MW	52
b. Requisitos de construcción ligera y rigidez	52
c. Adaptación a movimientos plataforma	52
2. Adaptaciones del tren de potencia y sistema de pitch	53
a. Generadores direct-drive vs. multiplicadora	53
b. Pitch individual y control colectivo	53
c. Estrategias anti-torque y yaw eléctrico	53
3. Control de carga y dinámica de movimiento	53
a. Algoritmos feed-forward viento-ola	54
b. Supresión de resonancia torre-plataforma	54
c. Ensayos de banco y validación FAST	54
4. Integración torre-nacelle-plataforma	54
a. Conexiones bridadas y atornilladas	54
b. Criterios de rigidez compatible	54
c. Aisladores sísmicos y disipadores	55
5. Ensayos, certificación y homologación	55
a. Requisitos IEC tipo A, B, C	55
b. Ensayos a escala y laboratorio ORE Catapult	55
c. Procedimientos de fatiga acelerada	55

6. Tendencias en aerogeneradores de gran potencia.....	55
a. Palas ultragigantes de fibra mixta	56
b. Sistemas híbridos superconductores	56
c. Turbinas verticales conceptuales.....	57
PARTE TERCERA	58
Desarrollo de Proyectos e Ingeniería de Detalle en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante	58
Capítulo 6: Estudios preliminares y selección de emplazamiento en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....	58
1. Campañas de medición meteo-oceánica	58
a. Boyas LiDAR y torres meteo offshore	58
b. Datos satelitales y reanálisis.....	59
c. Validación cruzada y reducción de incertidumbre	59
2. Evaluación de restricciones técnicas y ambientales	59
a. Navegación, pesca, cables y tuberías	59
b. Zonas protegidas Natura 2000	60
c. Compatibilidad militar y seguridad aérea	60
3. Análisis de viabilidad técnico-económica	61
a. Screening de coste nivelado (LCOE)	61
b. Matrices multicriterio y factores de exclusión	61
c. Sensibilidades CAPEX-OPEX iniciales	62
4. Coordinación con otras actividades marítimas	62
a. Planificación de espacio marino (MSP)	63
b. Acuerdos con pesca y acuicultura	63
c. Sinergias con producción de hidrógeno	64
5. Gestión de riesgos y licencias iniciales	64
a. Riesgos geotécnicos y meteo extremos	65
b. Marcos de seguro durante desarrollo	65
c. Documentación de licencia y permisos preliminares	66
6. SIG y big data para optimizar ubicaciones	66
a. Plataformas GIS y capas de exclusión	66
b. Algoritmos de optimización evolutiva.....	67
c. Data-rooms interactivos para inversores	68
Capítulo 7: Ingeniería de detalle y diseño integrado en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....	69
1. Flujos de trabajo multidisciplinarios	69
a. Integración CAD-CAE-PLM	69
b. Gestión de interfaces y paquetes	69
c. Herramientas colaborativas en la nube.....	69
2. Interfaz aerogenerador-plataforma-amarre	70
a. Matrices de carga y módulos de inercia	70
b. Modelos acoplados FAST-Orcaflex.....	70
c. Estrategias de reducción de iteraciones	70
3. Diseño eléctrico HVAC/HVDC y conexión a red.....	70

a. Configuraciones colectoras y hub offshore	70
b. Criterios de selección HVDC LCC/CSC o VSC.....	70
c. Dimensionamiento de cables dinámicos	70
4. Modelización CFD y FEA de componentes críticos	71
a. Turbulencia, arrastre y desprendimiento vortex.....	71
b. Análisis fatiga soldaduras y pernos	71
c. Verificación de buckling y pandeo local.....	71
5. Control de calidad y gestión de cambios	71
a. Planes de inspección y ensayo (ITP)	71
b. Herramientas de gestión documental (EDMS)	72
c. Workflows de aprobación y sign-off.....	72
6. Gemelos digitales y plataformas colaborativas	73
a. Sincronización tiempo real SCADA–modelo.....	73
b. Gemelo termomecánico de aerogenerador.....	74
c. Optimización de mantenimiento basado en datos.....	74
PARTE CUARTA	75
Construcción, Logística e Instalación en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....	75
Capítulo 8: Estrategias constructivas y fabricación modular en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....	75
1. Fabricación en astillero vs. fabricación in-situ	75
a. Líneas de producción en dique seco.....	75
b. Prefabricación de secciones y unión flotante.....	76
c. Comparativa de costes y tiempos.....	76
2. Logística portuaria y capacidades de infraestructura	77
a. Requisitos de calado y grúas > 1 000 t	77
b. Racks de almacenaje para palas XXL	77
c. Gestión de acceso y tráfico pesado	78
3. Prefabricación y ensamblaje de aerogeneradores	78
a. Unidades de torre seccionadas y bridadas.....	78
b. Montaje en horizontal vs. vertical.....	79
c. Ensayos de pre-comisionado en muelle	79
4. Control de calidad en producción	80
a. Ensayos no destructivos (NDT) y ultra-sonidos:	80
b. Trazabilidad de soldaduras y lotes:	80
c. Protocolos de aceptación de proveedor:.....	80
5. Cadena de suministro global y planificación Lean.....	80
a. Sincronización Just-in-Time y buffers	81
b. Gestión de riesgos logísticos y divisas	81
c. Estrategias multi-sourcing y locales.....	81
6. Indicadores de productividad y mejora continua.....	82
a. KPI de horas-hombre por tonelada	82
b. Implementación Kaizen y 5S.....	82
c. Lecciones aprendidas y retroalimentación	83
Capítulo 9: Transporte e instalación offshore en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina	

Flotante.....	85
1. Métodos de remolque y transporte pesado	85
a. Buques semisumergibles y barcasas	85
b. Remolque en flotación versus elevación pesada	85
c. Preparación de rutas y permisos marítimos	86
2. Ventanas meteorológicas y planificación operativa	86
a. Criterios Hs, viento y corriente aceptables.....	86
b. Pronóstico meteoceánico a corto plazo	86
c. Estrategias de espera y contingencia.....	86
3. Buques especializados y equipos auxiliares.....	86
a. Heavy Lift Vessel (HLV) y grúas 5 000 t.....	86
b. Cable-lay vessels y ROVs	87
c. Torretas de fondeo pre-tensionado	87
4. Conexión eléctrica y puesta en servicio.....	87
a. Ensayos de cables dinámicos y terminaciones	87
b. Energización gradual y pruebas SAT.....	87
c. Protocolos de handover a O&M	88
5. Gestión HSSE en entornos offshore	88
a. Sistemas de permiso de trabajo (PTW)	88
b. Auditorías de seguridad y simulacros.....	89
c. Planes de emergencia y evacuación	90
6. Lecciones aprendidas de campañas internacionales	90
a. Optimización de tiempos de remolque	90
b. Coordinación multi-contratista en alta mar	91
c. Casos de éxito y mejoras implementadas	91
PARTE QUINTA	93
Operación, Mantenimiento y Fin de Vida en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante . 93	
Capítulo 10: Estrategias de operación y monitorización en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....	93
1. Sistemas SCADA y análisis de datos en tiempo real	93
a. Arquitecturas redundantes y ciberseguridad	93
b. KPI de disponibilidad y rendimiento.....	93
c. Interfaces API para analítica avanzada	94
2. Mantenimiento preventivo y predictivo basado en IA	94
a. Modelos de aprendizaje para fallo de componentes	94
b. Pronóstico de vida restante (RUL).....	94
c. Planificación automática de repuestos.....	94
3. Inspección remota con drones y ROVs	94
a. Fotogrametría 3D de palas	95
b. Monitoreo de bioincrustaciones en casco	95
c. Análisis de fisuras en soldaduras subsea	96
4. Gestión de activos y maximización de disponibilidad	96
a. Estrategias de repotenciación parcial.....	96
b. Contratos de servicio OEM vs. in-house.....	96
c. Optimización de paradas por clima	97

5. Repotenciación y actualización de hardware.....	97
a. Sustitución de nacelle y retrofit electrónico	97
b. Mejora de controladores y firmware	97
c. Incremento de altura de torre y nuevas palas.....	97
6. Indicadores de rendimiento (KPIs) y benchmarking.....	97
a. Tasa de fallo (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR).....	97
b. Coste de mantenimiento por MWh generado	98
c. Benchmarking internacional y best-in-class	98

Capítulo 11: Desmantelamiento, repotenciación y economía circular en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante

1. Marco regulador post-concesión y responsabilidades	99
a. Garantías financieras de desmantelamiento.....	99
b. Requisitos de retirada de infraestructuras.....	99
c. Planes de restauración de hábitats.....	100
2. Estrategias de desmantelamiento seguro	100
a. Corte subsea y levantamiento pesado	100
b. Logística inversa y rutas de reciclaje	100
c. Minimización de vertido de residuos.....	101
3. Reciclaje de materiales compuestos y metales.....	101
a. Tecnologías de pirólisis y solvolisis de palas.....	101
b. Revalorización de acero y cobre.....	101
c. Certificación de contenido reciclado	101
4. Reutilización de infraestructuras offshore.....	101
a. Conversión a acuicultura o energía de las olas.....	101
b. Plataformas de investigación marina	102
c. Almacenamiento de carbono (CCS)	102
5. Análisis de ciclo de vida (LCA) y huella de carbono	102
a. Metodologías ISO 14040/44	102
b. Factores de emisión y evitadas	103
c. Comparativa con sistemas de generación fósil.....	103
6. Modelos de negocio de economía circular	104
a. Contratos de recompra y repotenciación.....	104
b. Mercado secundario de componentes.....	104
c. Incentivos fiscales y políticas de la UE	105

PARTE SEXTA

Financiación, Contratación y Gestión de Riesgos en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante	106
--	------------

Capítulo 12: Modelización financiera y estructura de capital en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....

1. Estimación de CAPEX, OPEX y costes de desmantelamiento	106
a. Bases de costes actualizadas y curvas de aprendizaje	106
b. Contingencias y escaladores de precio.....	107
c. Índices de materias primas y su impacto.....	107
2. Análisis de sensibilidad y escenarios de precios	107

a. Curvas forward de electricidad y PPA.....	107
b. Modelos de escenarios estocásticos	108
c. Elasticidad de LCOE a tasas de descuento	108
3. Esquemas de Project Finance y garantías	109
a. Deuda senior, mezzanine y equity.....	109
b. Garantías corporativas y subordinadas	110
c. Rol de multilaterales y ECAs	110
4. Estructuras de participación y alianzas estratégicas	111
a. Joint-ventures 50/50 vs. club deals	111
b. Entrada de fondos de infraestructuras.....	111
c. Ventas parciales en COD y post-COD.....	112
5. Evaluación de LCOE y retorno de la inversión	112
a. Cálculo del LCOE (Coste Nivelado de Energía).....	112
b. Indicadores de rentabilidad: VAN, TIR y payback descontado	113
c. Comparación con otras tecnologías	113
6. Gestión de divisa, tipos de interés y seguros	114
a. Coberturas de tipos de interés y divisa	114
b. Seguros CAR, Delay in Start-up y O&M	115
c. Programas de garantía de ingreso (CfD, PPA).....	115
Capítulo 13: Contratación, compras y cadena de suministro en la Ingeniería de la Energía	
Eólica Marina Flotante.....	117
1. Contratos EPC, EPCI y split packages	117
a. Alcances y responsabilidades	117
b. Penalizaciones LDs y bonos de desempeño	118
c. Estrategias de passing-through de riesgo	118
2. Modalidades de suministro de aerogeneradores y componentes	118
a. Paquete “llave en mano” vs. “libre albedrío”	119
b. Cronograma de entregas y pagos por hitos	119
c. Garantías extendidas y repuestos críticos	120
3. Aprovisionamiento y logística internacional	120
a. INCOTERMS y rutas de envío heavylift	120
b. Aduanas y exenciones arancelarias.....	120
c. Gestión de inventario de seguridad.....	121
4. Colaboración con astilleros y puertos	121
a. Contratos de slot y exclusividad de muelle	121
b. Servicios auxiliares y almacenaje temporal.....	121
c. Estrategias de minimización de colas	121
5. Contenido local y requisitos de sostenibilidad.....	121
a. Políticas de local content (UK, FR, KR)	122
b. Normas ISO 45001 y 14001	122
c. Reporte ESG y taxonomía europea.....	123
6. Resolución de disputas y reclamaciones	123
a. ADR, conciliación y arbitraje ICC.....	123
b. Seguros de responsabilidad cruzada (“cross-liability”)	124
c. Documentación de evidencias y peritaje.....	124
PARTE SÉPTIMA	126

Marco Normativo, Medio Ambiente y Sociedad en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante126

Capítulo 14: Legislación y permisos internacionales en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....126

1. Convención de la ONU sobre el Derecho del Mar (UNCLOS).....	126
a. Zonas económicas exclusivas y alta mar	126
b. Derechos de paso y cables submarinos.....	126
c. Obligaciones medioambientales.....	127
2. Directivas europeas y transposición nacional	127
a. RED III y Fit-for-55.....	127
b. Directiva de hábitats y aves marinas	127
c. Requisitos de evaluación ambiental	127
3. Procesos de concesión y CfD por país.....	128
a. Subastas AR(n) Francia y ScotWind (Reino Unido)	128
b. Licitaciones COREAA (Corea del Sur) y BOEM (EE.UU.)	128
c. Modelos de canon y tarifa regulada	129
4. Coordinación con autoridades marítimas y de aviación	129
a. Señalización AIS y balizamiento.....	129
b. Corredores de tráfico y VTS.....	130
c. Espacios aéreos y radares.....	130
5. Normativas de interconexión y acceso a red	131
a. Códigos de red TSO/DSO	131
b. Reglas de capacidad y congestión	132
c. Tarifas de conexión y peajes.....	132
6. Estrategias de cumplimiento y reporting regulatorio	133
a. Planes de monitoreo ambiental continuo	133
b. Reporting de emisiones y sostenibilidad.....	134
c. Auditorías regulatorias y sanciones	134

Capítulo 15: Evaluación de impacto ambiental y aceptación social en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante136

1. Impactos físicos y biológicos identificados	136
a. Alteración de hábitat bentónico.....	136
b. Colisiones avifauna y marinas	136
c. Cambios hidrodinámicos locales.....	136
2. Estudios de biodiversidad y mamíferos marinos.....	137
a. Monitoreo PAM y cámaras térmicas	137
b. Protocolos de parada suave y soft-start.....	137
c. Corredores migratorios y exclusión temporal	137
3. Ruido submarino y medidas de mitigación.....	137
a. Umbrales de dB re 1 μ Pa	137
b. Cortinas de burbujas y faldones	138
c. Tecnología de vibración en vez de percusión	138
4. Integración paisajística y distancia a costa	138
a. Análisis visual y fotomontajes	138
b. Efecto en turismo y recreo	138

c. Modelos de compensación visual	139
5. Participación de comunidades y stakeholders	139
a. Consultas públicas y talleres	139
b. Compensaciones socioeconómicas	139
c. Programas de formación y empleo local	139
6. Programas de seguimiento post-operacional	139
a. Indicadores ambientales de largo plazo	139
b. Informes anuales a autoridades	140
c. Ajuste adaptativo de medidas	140
PARTE OCTAVA	141
Herramientas Prácticas, Checklists y Formularios en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante	141
Capítulo 16: Checklists y formularios de gestión integral en Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....	141
1. Checklist de selección de emplazamiento	141
Bloque A: Parámetros meteo-oceánicos mínimos	141
Bloque B: Exclusiones medioambientales y socioeconómicas	142
Bloque C: Acceso a red y logística portuaria	142
2. Checklist de diseño y cumplimiento normativo	143
Bloque A: Verificación de normas internacionales y locales	144
Bloque B: Revisión de factores de seguridad	144
Bloque C: Conformidad regulatoria y permisos	144
3. Formulario de análisis de riesgos y mitigación.....	145
A. Datos generales del proyecto	145
B. Matriz de probabilidad-impacto (1 = bajo, 5 = alto)	145
C. Planes de contingencia y responsables	146
D. Registro de acciones y seguimiento	146
E. Validación y aprobación	147
4. Checklist de verificación de fabricación y calidad	147
A. Ensayos no destructivos (NDT) — alcance y aceptación	148
B. Inspección de soldaduras y armaduras	148
C. Control dimensional y tolerancias	149
D. Documentación y liberación	149
5. Formulario de planificación de instalación offshore	149
A. Datos del proyecto	150
B. Secuencia de operaciones y buques asignados	150
C. Ventanas climáticas y criterios Go/No-Go	151
D. Recursos humanos y requisitos HSSE	151
E. Validación, autorización y distribución	152
6. Checklist de operación, mantenimiento y desmantelamiento.....	152
A. Inspecciones periódicas, lubricación y registros	152
B. Gestión de repuestos y vida útil residual (RUL)	153
C. Plan de retirada y reciclaje certificado	153
D. Validación y aprobación	154
Capítulo 17: Formularios y Plantillas de Actas, Órdenes y Registros	155

1. MODELO DE CONTRATO EPC “LLAVE EN MANO” PARA EL DISEÑO, SUMINISTRO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PARQUE EÓLICO MARINO FLOTANTE155

1. PARTES.....	156
2. DEFINICIONES E INTERPRETACIÓN	157
3. DOCUMENTOS CONTRACTUALES Y JERARQUÍA	157
4. OBJETO Y ALCANCE DEL CONTRATO	158
5. PLAZO CONTRACTUAL Y CALENDARIO DETALLADO	158
6. PRECIO, FORMA DE PAGO Y GARANTÍAS FINANCIERAS	159
7. DISEÑO E INGENIERÍA.....	159
8. COMPRAS Y SUMINISTRO DE EQUIPOS.....	159
9. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE ONSHORE Y OFFSHORE	160
10. SUPERVISIÓN, HSE Y CONTROL DE CALIDAD	160
11. PUESTA EN SERVICIO, PRUEBAS Y ACEPTACIÓN	160
12. GARANTÍAS DE RENDIMIENTO Y DISPONIBILIDAD	160
13. VARIACIONES (CAMBIOS DE ALCANCE)	160
14. FUERZA MAYOR.....	161
15. RETRASOS Y PENALIZACIONES (LDs).....	161
16. BONIFICACIONES	161
17. RESPONSABILIDADES, SEGUROS Y RIESGOS	161
18. PROPIEDAD INTELECTUAL Y LICENCIAS DE SOFTWARE.....	161
19. CONFIDENCIALIDAD Y PROTECCIÓN DE DATOS	161
20. CUMPLIMIENTO NORMATIVO, ESG Y ANTICORRUPCIÓN	162
21. CAMBIO EN LA LEY Y AJUSTE NORMATIVO	162
22. TRANSFERENCIA DE TÍTULO, RIESGO Y PROPIEDAD.....	162
23. LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD	162
24. RESOLUCIÓN DE DISPUTAS Y LEY APLICABLE	162
25. SUSPENSIÓN Y TERMINACIÓN.....	162
26. CESIÓN, NOVACIÓN Y SUBCONTRATACIÓN	162
27. MISCELÁNEA.....	163
28. FIRMAS	163
29. ANEXOS (LISTA NO LIMITATIVA).....	163

2. MODELO DE CONTRATO EPCI “LLAVE EN MANO TOTAL” PARA EL DISEÑO, SUMINISTRO, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO MARINO FLOTANTE164

1. PARTES.....	165
2. DEFINICIONES E INTERPRETACIÓN	165
3. DOCUMENTOS CONTRACTUALES Y JERARQUÍA	166
4. OBJETO, ALCANCE Y LLAVE EN MANO.....	166
5. PLAZO CONTRACTUAL E HITOS CRÍTICOS.....	167
6. PRECIO, ESTRUCTURA DE PAGOS Y GARANTÍAS	167
7. INGENIERÍA Y DISEÑO INTEGRAL.....	168
8. ADQUISICIONES Y CADENA DE SUMINISTRO	168
9. CONSTRUCCIÓN ONSHORE Y PRE-MONTAJE	169
10. LOGÍSTICA MARÍTIMA Y GESTIÓN PORTUARIA	169
11. INSTALACIÓN OFFSHORE Y PUESTA EN SERVICIO	169
12. HSE, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE	169
13. GARANTÍAS DE RENDIMIENTO Y DISPONIBILIDAD	169
14. VARIACIONES Y GESTIÓN DE INTERFACES.....	170
15. RIESGOS, SEGUROS Y RESPONSABILIDAD.....	170
16. FUERZA MAYOR Y ALTO OLEAJE	170
17. RETRASOS, PENALIZACIONES Y BONIFICACIONES	170
18. PROPIEDAD INTELECTUAL, SOFTWARE Y CIBERSEGURIDAD	170
19. CUMPLIMIENTO LEGAL, ESG Y ANTICORRUPCIÓN	171

20. CAMBIO NORMATIVO Y DE ESTÁNDARES	171
21. CONFIDENCIALIDAD Y PROTECCIÓN DE DATOS	171
22. TRANSFERENCIA DE TÍTULO Y RIESGO.....	171
23. LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD	171
24. RESOLUCIÓN DE DISPUTAS Y LEY APLICABLE	171
25. SUSPENSIÓN Y TERMINACIÓN ANTICIPADA.....	171
26. CESIÓN, NOVACIÓN Y FINANCIACIÓN “STEP-IN”	172
27. MISCELÁNEA.....	172
28. FIRMAS	172
29. ANEXOS	172

3. MODELO DE CONTRATO MARCO DE COORDINACIÓN E INTERFACES (MC&I) PARA PROYECTO DE PARQUE EÓLICO MARINO FLOTANTE MEDIANTE ESTRATEGIA DE “SPLIT PACKAGES”173

1. PARTES.....	174
2. DEFINICIONES E INTERPRETACIÓN	175
3. DOCUMENTOS CONTRACTUALES Y JERARQUÍA	175
4. OBJETO, ALCANCE Y ESTRATEGIA DE PAQUETES	175
5. MATRIZ DE PAQUETES Y RESPONSABILIDADES	176
6. PLAN DE COORDINACIÓN E INTERFACES.....	176
7. CRONOGRAMA MAESTRO Y ENTREGABLES CLAVE	177
8. PRECIO, PAGOS CRUZADOS Y GARANTÍAS FINANCIERAS	177
9. OBLIGACIONES GENERALES DE LOS CONTRATISTAS DE PAQUETE	178
10. OBLIGACIONES DEL GESTOR DE INTERFACES (IM)	178
11. CONTROL DE CALIDAD, HSE Y MEDIOAMBIENTE	178
12. VARIACIONES, GESTIÓN DE CAMBIOS E INTERFACES	178
13. SEGUROS, RESPONSABILIDAD Y COMPENSACIÓN CRUZADA.....	179
14. FUERZA MAYOR.....	179
15. PENALIZACIONES, BONIFICACIONES Y “BACK-TO-BACK”	179
16. PROPIEDAD INTELECTUAL Y LICENCIAS DE SOFTWARE.....	179
17. CUMPLIMIENTO NORMATIVO, ESG Y ANTICORRUPCIÓN	179
18. CONFIDENCIALIDAD Y PROTECCIÓN DE DATOS	180
19. CESIÓN, NOVACIÓN Y FINANCIACIÓN	180
20. SUSPENSIÓN Y TERMINACIÓN.....	180
21. RESOLUCIÓN DE DISPUTAS Y LEY APLICABLE	180
22. MISCELÁNEA.....	180
23. FIRMAS	181
24. ANEXOS (LISTA NO LIMITATIVA).....	181

PARTE NOVENA182

Innovación y Futuro de la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante182

Capítulo 18: Digitalización, IA y gemelos digitales en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....182

1. Automatización del diseño y optimización paramétrica.....	182
a. Algoritmos generativos y CFD rápido:	182
b. Sensibilidades multi-objetivo LCOE-peso:	182
c. Plataformas SaaS colaborativas:	183
2. Algoritmos de control y adaptación de carga	183
a. Control MIMO avanzado y feed-forward:	183
b. Mitigación de resonancia torre-plataforma:	183
c. Validación Hardware-in-the-Loop:	183

3. Analítica avanzada de datos operativos	184
a. Machine Learning para SCADA 10 Hz:	184
b. Detección temprana de anomalías:	184
c. Dashboards en tiempo real y alertas:	184
4. Gemelos digitales para pronóstico y mantenimiento.....	184
a. Actualización continua con sensores IoT:	184
b. Simulaciones de fatiga a ciclo completo:	184
c. Planificación predictiva de paradas:	185
5. Ciberseguridad en infraestructuras marinas.....	185
a. Normas IEC 62443 y NIS2:	185
b. Arquitecturas de red segmentadas:	185
c. Respuesta a incidentes y backups:	185
6. Programas de I+D y colaboración abierta	186
a. Consorcios público-privados y Horizon Europe:	186
b. Bancos de ensayo virtual compartido:	186
c. Roadmaps tecnológicos	186
Capítulo 19: Almacenamiento, híbridos y sistemas energéticos integrados en la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante	187
1. Integración con baterías y producción de hidrógeno verde.....	187
a. Contenedores BESS offshore flotantes	187
b. Electrólisis alcalina vs. PEM en plataformas.....	187
c. Sinergias con mercado de balance	188
2. Conexión a islas energéticas y hubs offshore	188
a. Concepto de Energy Island Dinamarca	188
b. Plataforma multipropósito HVDC.....	188
c. Gestión multidireccional de potencia	188
3. Hibridación con solar flotante y eólica fija	188
a. Cálculo de factor de simultaneidad	188
b. Diseño de infraestructuras compartidas	189
c. Optimización CAPEX conjunta	189
4. Sistemas Power-to-X y combustibles sintéticos.....	189
a. Metanol verde y amoníaco como vectores	189
b. Captura directa de CO ₂ y síntesis Sabatier.....	189
c. Cadena de valor y transporte marítimo.....	189
5. Modelos de negocio sector acoplado	190
a. PPAs multiplata y contratos cruzados	190
b. Ingresos por servicios de red y flexibilidad	190
c. Mercado de certificados de origen	191
6. Casos piloto y lecciones aprendidas	192
a. Proyecto ERM Dolphyn (Reino Unido).....	192
b. H2RES (Dinamarca).....	192
c. Estudios demostrativos en España y Portugal	192
PARTE DÉCIMA	194
Práctica de la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante	194

Capítulo 20: Casos prácticos de la Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante.....194

Caso práctico 1. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Evaluación de un prototipo semisumergible para un piloto de baja potencia.194

Causa del Problema	194
Soluciones Propuestas.....	195
1. Desarrollo de modelo numérico avanzado CFD–BEM acoplado.....	195
2. Ensayo físico en tanque de olas a escala 1:50 con instrumentación multigrado.....	195
3. Optimización evolutiva del lastre y geometría de pontones	195
Consecuencias Previstas.....	196
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	196
Lecciones Aprendidas.....	196

Caso práctico 2. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Diseño e instalación de sistema de amarre en fondo blando.198

Causa del Problema	198
Soluciones Propuestas.....	198
1. Rediseño de anclas de succión y profundización de skirt	198
2. Implementación de sensores con amortiguación viscosa integrada	199
3. Campaña geotécnica avanzada con tomografía eléctrica y medición in situ de corte directo.....	199
Consecuencias Previstas.....	199
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	200
Lecciones Aprendidas.....	200

Caso práctico 3. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Integración de sistemas eléctricos HVDC en plataformas semisumergibles.201

Causa del Problema	201
Soluciones Propuestas.....	201
1. Rediseño de interfaz convertidor–transformador con filtro pasivo-sintonizado.....	201
2. Reconfiguración de la red colectora interna a sistema híbrido AC–DC	202
3. Actualización de especificación de cable dinámico a gemelo bifásico DC	202
Consecuencias Previstas.....	202
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	203
Lecciones Aprendidas.....	203

Caso práctico 4. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Planificación y gestión de ventanas meteorológicas para campaña de instalación offshore.204

Causa del Problema	204
Soluciones Propuestas.....	204
1. Desarrollo de modelo probabilístico de ventanas meteorológicas	204
2. Acuerdo marco de “weather standby” con opción de demoras flexibles	204
3. Plataforma de monitorización y alerta temprana integrando LIDAR flotante y modelo AI.....	205
Consecuencias Previstas.....	205
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	206
Lecciones Aprendidas.....	206

Caso práctico 5. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Optimización aerodinámica de palas para reducir fluctuaciones de carga en plataforma flotante.207

Causa del Problema	207
Soluciones Propuestas.....	207
1. Rediseño del perfil de pala con control adaptativo de flap pasivo	207
2. Implementación de un control activo MIMO basado en medición LIDAR upstream	208
3. Calibración del modelo BEM con corrección de gradiente vertical y acople ola–viento	208
Consecuencias Previstas.....	208

Resultados de las Medidas Adoptadas.....	209
Lecciones Aprendidas.....	209
Caso práctico 6. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Gestión y análisis de fatiga en líneas de amarre y cables dinámicos.	210
Causa del Problema.....	210
Soluciones Propuestas.....	210
1. Instalación de sensores de fibra óptica FBG (Fiber Bragg Grating) en amarres y cable dinámico	210
2. Materiales avanzados: líneas HMPE reforzadas con nano-composite.....	210
3. Modelización avanzada de fatiga multispectral y validación in situ	211
Consecuencias Previstas.....	211
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	212
Lecciones Aprendidas.....	212
Caso práctico 7. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Diseño e implementación de un programa de inspección remota con drones y ROVs.	213
Causa del Problema.....	213
Soluciones Propuestas.....	213
1. Programa híbrido de drones AUV y ROV con sensores multispectrales	213
2. Integración de IA para análisis de imagen y diagnóstico automático	214
3. Plan de mantenimiento predictivo basado en gemelos digitales y monitorización SCADA.....	214
Consecuencias Previstas.....	214
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	215
Lecciones Aprendidas.....	215
Caso práctico 8. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Optimización de la cadena de suministro global y planificación Lean en fabricación modular.....	217
Causa del Problema.....	217
Soluciones Propuestas.....	217
1. Implantación de metodología Lean Six Sigma y sistema Kanban.....	217
2. Diversificación de proveedores y estrategia multi-sourcing regional.....	218
3. Digitalización de la cadena con trazabilidad IoT y blockchain	218
Consecuencias Previstas.....	218
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	219
Lecciones Aprendidas.....	219
Caso práctico 9. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Transporte e instalación offshore de plataformas semisumergibles.	221
Causa del Problema.....	221
Soluciones Propuestas.....	221
1. Análisis dinámico de ruta de remolque y sistema de posicionamiento ASV	221
2. Reevaluación de diseño de interfaces y fabricación de adaptadores estándar	222
3. Plan de contingencia meteorológica y uso de grúas flotantes ligeras	222
Consecuencias Previstas.....	222
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	223
Lecciones Aprendidas.....	223
Caso práctico 10. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Implementación y optimización de sistemas SCADA y análisis de datos en tiempo real.	225
Causa del Problema.....	225
Soluciones Propuestas.....	225
1. Revisión y modernización de la arquitectura SCADA	225
2. Implementación de analítica avanzada y paneles KPI en tiempo real	225
3. Integración de IA para detección temprana de anomalías	226
Consecuencias Previstas.....	226

Resultados de las Medidas Adoptadas.....	227
Lecciones Aprendidas.....	227
Caso práctico 11. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Repotenciación y estrategia de economía circular tras 15 años de operación.	228
Causa del Problema.....	228
Soluciones Propuestas.....	228
1. Repotenciación parcial con turbinas de 7 MW y palas híbridas carbono-fibra.....	228
2. Reciclaje químico de palas vía pirólisis y valorización de polímeros.....	228
3. Estrategia de economía circular para metales y componentes eléctricos.....	229
Consecuencias Previstas.....	229
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	230
Lecciones Aprendidas.....	230
Caso práctico 12. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Modelización financiera y estructura de capital de un proyecto semisumergible.	231
Causa del Problema.....	231
Soluciones Propuestas.....	231
1. Reestructuración del modelo de LCOE y análisis de sensibilidad	231
2. Estructura de capital con mezcla senior, mezzanine y equity	231
3. Coberturas y contratos de servicios de ingresos (CfD/PPA)	232
Consecuencias Previstas.....	232
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	233
Lecciones Aprendidas.....	233
Caso práctico 13. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Gestión de contratos EPC/EPCI y split-packages en un proyecto multi-sitio.	234
Causa del Problema.....	234
Soluciones Propuestas.....	234
1. Redefinición de split-packages y alcance contractual claro	234
2. Mecanismo de precios fijos y cláusulas de ajuste de riesgo de mercado	235
3. Estrategia de local content y sostenibilidad en compras.....	235
Consecuencias Previstas.....	235
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	236
Lecciones Aprendidas.....	236
Caso práctico 14. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Tramitación de permisos en aguas transfronterizas y cumplimiento UNCLOS & RED III.	237
Causa del Problema.....	237
Soluciones Propuestas.....	237
1. Mapeo jurídico UNCLOS y articulación de marco binacional.....	237
2. Protocolo armonizado de EIA transfronterizo conforme a RED III.....	238
3. Plan de coordinación marítimo-aviación y AIS integrado	238
Consecuencias Previstas.....	238
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	239
Lecciones Aprendidas.....	239
Caso práctico 15. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Evaluación de impacto ambiental y estrategias de aceptación social para parque flotante en zona turística.	240
Causa del Problema.....	240
Soluciones Propuestas.....	240
1. Monitoreo acústico pasivo (PAM) y barreras de burbujas temporales	240
2. Fotomontajes dinámicos y realidad aumentada para percepción visual.....	241
3. Programa de participación comunitaria y beneficios compartidos	241
Consecuencias Previstas.....	241

Resultados de las Medidas Adoptadas.....	242
Lecciones Aprendidas.....	242
Caso práctico 16. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Selección de emplazamiento de parque flotante en aguas profundas.	244
Causa del Problema.....	244
Soluciones Propuestas.....	244
1. Diseño e implantación de un checklist de parámetros meteo-oceánicos mínimos.....	244
2. Integración GIS y análisis multicriterio de exclusiones ambientales y socioeconómicas	244
3. Desarrollo de formulario de evaluación económico-logístico para acceso a red y puerto.....	245
Consecuencias Previstas.....	245
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	245
Lecciones Aprendidas.....	246
Caso práctico 17. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Desarrollo de gemelo digital e IA para mantenimiento predictivo.....	247
Causa del Problema.....	247
Soluciones Propuestas.....	247
1. Creación de un gemelo digital multirresolución	247
2. Implementación de IA LSTM-AE para detección temprana de anomalías	248
3. Integración de planificador de mantenimiento basado en optimización multiobjetivo.....	248
Consecuencias Previstas.....	248
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	249
Lecciones Aprendidas.....	249
Caso práctico 18. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Integración de almacenamiento energético y producción de hidrógeno verde en plataforma flotante.	251
Causa del Problema.....	251
Soluciones Propuestas.....	251
1. Reconfiguración modular del espacio pontón y refuerzos locales	251
2. Sistema de gestión térmica integrado	251
3. Optimización eléctrica con cables DC intermedios y reguladores de tensión	252
Consecuencias Previstas.....	252
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	252
Lecciones Aprendidas.....	253
Caso práctico 19. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Desarrollo e implementación de sistema de monitorización de corrosión y protección catódica.....	254
Causa del Problema.....	254
Soluciones Propuestas.....	254
1. Sistema de monitorización en tiempo real con sensores multiplexados	254
2. Optimización de protección catódica activa (ICCP)	254
3. Programación de intervenciones y optimización de recubrimientos	255
Consecuencias Previstas.....	255
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	255
Lecciones Aprendidas.....	256
Caso práctico 20. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Desarrollo e implementación de checklist y formularios de gestión integral para campaña offshore.	257
Causa del Problema.....	257
Soluciones Propuestas.....	257
1. Checklist de secuencias de remolque y pre-towing	257
2. Formulario de comprobación de sistema de amarre	258
3. Checklist de izado de aerogenerador y formulario de condiciones operativas	258
4. Formulario de energización y pruebas SAT	258

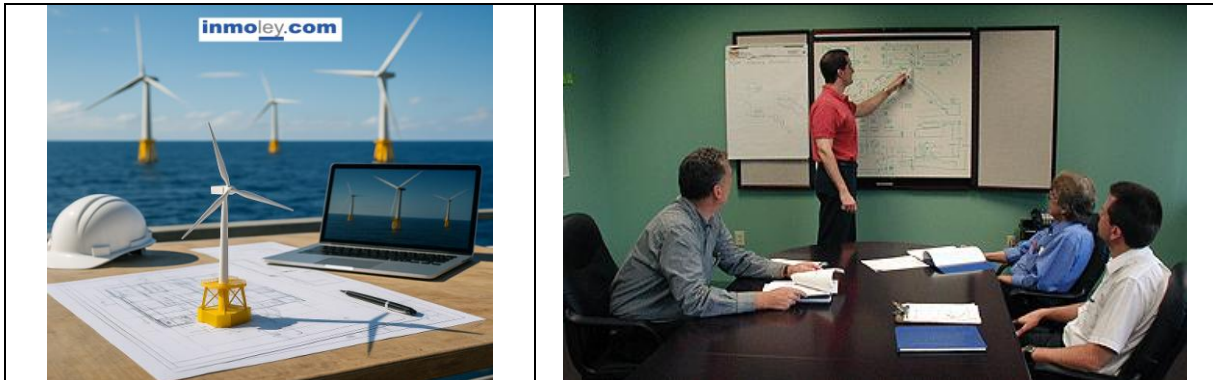


Consecuencias Previstas.....	259
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	259
Lecciones Aprendidas.....	259
Caso práctico 21. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Desarrollo de checklist integral de operación, mantenimiento y fin de vida.....	261
Causa del Problema.....	261
Soluciones Propuestas.....	261
1. Checklist unificado de operación y seguridad diaria.....	261
2. Protocolo de mantenimiento preventivo y predictivo mensual.....	261
3. Roadmap y formulario de desmantelamiento progresivo.....	262
Consecuencias Previstas.....	262
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	262
Lecciones Aprendidas.....	263
Caso práctico 22. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Optimización de aprovisionamiento y logística internacional para componentes críticos.....	264
Causa del Problema.....	264
Soluciones Propuestas.....	264
1. Revisión de INCOTERMS y acuerdos DDP para componentes críticos.....	264
2. Implantación de almacén aduanero y stock de seguridad multisourcing.....	264
3. Digitalización de documentación y trazabilidad logística.....	265
Consecuencias Previstas.....	265
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	266
Lecciones Aprendidas.....	266
Caso práctico 23. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Checklist de verificación de fabricación y calidad en astillero.....	267
Causa del Problema.....	267
Soluciones Propuestas.....	267
1. Implantación de Checklist de Fabricación "First-Pass".....	267
2. Protocolo de Ensayos No Destructivos Secuenciales y Aceptación por Muestreo.....	267
3. Formación y Certificación "Quality First" para Operarios y Supervisores.....	268
Consecuencias Previstas.....	268
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	269
Lecciones Aprendidas.....	269
Caso práctico 24. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Planificación de instalación offshore: checklist de planificación offshore y coordinación de flota.....	270
Causa del Problema.....	270
Soluciones Propuestas.....	270
1. Checklist de ventanas meteorológicas y asignación de buques.....	270
2. Formulario de secuencia de fondeo y validación de posición.....	270
3. Checklist de equipamiento y disposición en cubierta.....	271
Consecuencias Previstas.....	271
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	271
Lecciones Aprendidas.....	272
Caso práctico 25. "INGENIERÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE." Integración de convertidores undimotrices y aerogeneradores en una plataforma híbrida.....	273
Causa del Problema.....	273
Soluciones Propuestas.....	273
1. Modelo numérico acoplado aero-hidro-eléctrico.....	273
2. Sistema de control activo híbrido MIMO-MPC.....	274
3. Reoptimización del amarre y refuerzo estructural localizado.....	274



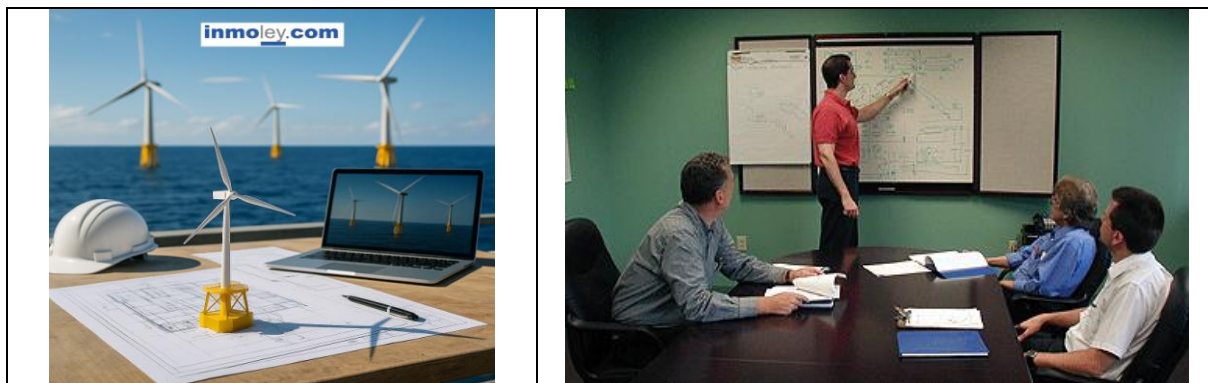
Consecuencias Previstas.....	274
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	275
Lecciones Aprendidas.....	275

¿QUÉ APRENDERÁ?



- Panorama global y evolución histórica
- Fundamentos aerodinámicos offshore
- Principios hidrodinámicos y cargas en flotantes
- Tipologías de plataformas flotantes
- Diseño de sistemas de amarre y fondeo
- Adaptaciones en aerogeneradores para flotantes
- Selección de emplazamiento y estudios preliminares
- Ingeniería de detalle y modelización integrada
- Construcción, logística y transporte offshore
- Operación, mantenimiento y monitorización avanzada
- Desmantelamiento, repotenciación y economía circular
- Financiación, contratación y gestión de riesgos

Introducción.



La energía eólica marina flotante está llamado a convertirse en uno de los pilares de la transición energética global: capaz de conquistar recursos de viento en aguas profundas y de incrementar sinergias con hidrógeno verde, almacenamiento y redes inteligentes. Esta guía práctica, “Ingeniería de la Energía Eólica Marina Flotante”, te acompaña paso a paso desde los fundamentos técnicos y las tipologías de plataformas hasta el desarrollo de proyectos, la instalación offshore, la operación y mantenimiento, y los modelos de financiación y contratación que hacen viables las megafactorías flotantes de generación limpia.

En sus más de veinte capítulos encontrarás:

- Un panorama global de la evolución y el potencial de la eólica flotante, con casos pioneros como Hywind o WindFloat.
- Los principios aerodinámicos e hidrodinámicos que condicionan el diseño de turbinas y plataformas, junto a las normas IEC, DNV o ABS que garantizan su fiabilidad.
- Un recorrido por spar-buoys, semisumergibles y TLPs, sus amarrajes, anclajes y los desafíos de logística y montaje en alta mar.
- Claves de la interfaz aerogenerador-plataforma, los sistemas eléctricos HVAC/HVDC, y las herramientas de modelización CFD-BEM y gemelos digitales que optimizan cada iteración de diseño.
- Estrategias de prefabricación, Lean 4.0 en astillero, métodos de instalación offshore, y los protocolos HSSE indispensables en entornos marítimos.
- Las mejores prácticas de operación, inspección remota, mantenimiento predictivo con IA, repotenciación y economía circular para maximizar la vida útil y minimizar el impacto ambiental.



- Modelos de project finance, seguros, contratos EPC/EPCI y split-packages, así como evaluación de riesgos, permisos UNCLOS y subastas CfD que hacen el proyecto atractivo para inversores.
- Un compendio de checklists, formularios y contratos modelo listos para aplicar en cada fase: desde la selección de emplazamiento y la ingeniería de detalle, hasta el desmantelamiento y reciclaje de materiales.



Tanto si eres ingeniero de diseño, líder de proyecto, planificador financiero o responsable de O&M, esta guía te brinda el marco práctico, los instrumentos normativos y los casos reales necesarios para llevar la eólica marina flotante de la propuesta al mar, acelerando la descarbonización y garantizando la rentabilidad de tus proyectos. ¡Adentrémonos juntos en la era de las turbinas flotantes!