



**Universidad
Europea**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID
ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO ÁREA
INGENIERÍA INDUSTRIAL.

GRADO EN INGENIERÍA EN
SISTEMAS INDUSTRIALES

PROYECTO:
TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño y dimensionado de una desaladora
funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte
energético por medio de un campo eólico off-shore.

Alumno: Claudio Bucciarelli.
Director: Ricardo Latorre Dardé.

JUNIO 2023
CURSO ACADÉMICO 2022/2023

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

TÍTULO: Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa
con aporte energético por medio de un campo eólico off-shore.

AUTOR: Claudio Bucciarelli.

DIRECTOR DEL PROYECTO: Ricardo Latorre Dardé.

FECHA: 17/02/2023.

RESUMEN.

En un entorno donde la presencia y el impacto del ser humano se vuelven cada vez más prominentes, y donde la evolución está intrínsecamente ligada a la optimización de la energía, así como al aprovechamiento de uno de los recursos básicos más fundamentales, el agua, se ha tomado la decisión de emplear tecnologías existentes en los ámbitos eólico y marino mediante la hibridación de una planta desaladora basada en el proceso de Osmosis Inversa y un Campo Eólico en alta mar (off-shore).

El presente proyecto tiene como objetivo principal el diseño detallado de los procesos de la planta desaladora, considerando todos los aspectos técnicos y operativos necesarios para su correcto funcionamiento. Además, se realizará el dimensionado adecuado del conjunto de tecnologías involucradas, asegurando la sinergia óptima entre la desaladora y el campo eólico off-shore.

Como parte integral del proyecto, se llevará a cabo un exhaustivo estudio económico que permitirá evaluar la viabilidad y rentabilidad de la implementación propuesta. Se analizarán los costos de inversión, los gastos operativos, los ingresos generados y otros factores relevantes para determinar la viabilidad financiera del documento técnico.

Con este enfoque multidisciplinario, se busca no solo impulsar la sostenibilidad y la eficiencia energética, sino también garantizar el suministro de agua potable en áreas donde su disponibilidad es escasa o limitada. Este proyecto representa un paso significativo hacia una gestión más responsable y consciente de los recursos naturales, al aprovechar las ventajas de la energía eólica y marina en combinación con la tecnología de desalinización.

ABSTRACT.

In an environment where the presence and impact of human beings are becoming increasingly prominent, and where evolution is intrinsically linked to energy optimization and the utilization of one of the most fundamental resources, water, the decision has been made to employ existing technologies in the wind and marine sectors through the hybridization of a desalination plant based on Reverse Osmosis process and an offshore wind farm.

The main objective of this project is to provide a detailed design of the desalination plant processes, considering all the necessary technical and operational aspects for its proper functioning. Furthermore, proper sizing of the involved technologies will be carried out, ensuring optimal synergy between the desalination plant and the offshore wind farm.

As an integral part of the project, a comprehensive economic study will be conducted to evaluate the viability and profitability of the proposed implementation. Analysis will be

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

conducted on investment costs, operational expenses, generated revenue, and other relevant factors to determine the financial feasibility of the technical document.

With this multidisciplinary approach, the aim is not only to promote sustainability and energy efficiency but also to ensure the supply of potable water in areas where its availability is scarce or limited. This project represents a significant step towards a more responsible and mindful management of natural resources, harnessing the advantages of wind and marine energy in conjunction with desalination technology.

ÍNDICE.

ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	19
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	24
1.1 Antecedentes.....	25
1.2 Objeto de proyecto.....	25
1.3 Alcance del proyecto.....	25
Capítulo 2. Introducción teórica al proceso de la Osmosis Inversa.....	26
2.1. Explicación del proceso.....	27
2.2. Otras alternativas.....	28
2.3. Instalación y configuración de una planta.....	30
2.4. Tipologías de membranas disponibles.....	33
2.5. Configuración de las membranas.....	36
2.6. Ecuaciones y parámetros fundamentales.....	36
2.7. Pretratamientos necesarios.....	38
2.8. Pretratamientos necesarios.....	39
2.8.1. Ensuciamiento biológico (cloración y decoloración del agua).....	40
2.8.2. Incrustación.....	41
2.8.3. Parámetros de agua potable.....	41
2.9. Postratamientos necesarios.....	42
2.10. Máquinas para la recuperación de la energía.....	43
2.10.1. Introducción a las turbinas.....	44
2.10.2. Turbina Francis.....	44
2.10.3. Turbina Pelton.....	45
2.10.4. Tecnología Turbocharger.....	46
2.10.5. Tecnología de los intercambiadores de presión isobáricos.....	46
2.11. Introducción a las bombas.....	46
2.11.1 Características de una bomba centrífuga.....	49
2.11.2. Cálculo de un sistema de bombeo.....	50

Capítulo 3.	INTRODUCCIÓN TEÓRICA A LOS PRINCIPIOS EÓLICOS	50
3.1	Circulación del viento.....	50
3.2	Variaciones verticales del viento, coeficientes de potencia y coeficiente de empuje	52
3.3	Variaciones temporales del viento, criterios de selección y caracterización del viento	54
3.3.1	Variaciones temporales del viento	54
3.3.2	Criterios de selección	55
3.3.3	Caracterización del viento.....	55
3.4	Distribución de Weibull y estimación de la energía producida	56
3.4.1	Distribución de Weibull.....	56
3.4.2	Estimación de la energía producida.....	56
3.5	Criterios de implantación de aerogeneradores y clasificación.....	57
3.5.1	Criterios de implantación.....	57
3.5.2	Clasificación de los aerogeneradores.....	58
3.6	Descripción del rotor.....	59
3.7	Diseño de las palas y del rotor de los aerogeneradores.....	61
3.7.1	Diseño de las palas de los aerogeneradores.....	61
3.7.2	Diseño del rotor de los aerogeneradores.....	62
3.8	Perfiles aerodinámicos de las palas y torres de aerogeneradores.....	63
3.8.1	Perfiles aerodinámicos.....	63
3.8.2	Torres de los aerogeneradores.....	63
3.9	Concepto offshore y onshore.....	66
3.10	Sistemas de transmisión mecánica, de orientación y de regulación de potencia.....	68
3.10.1	Sistemas de transmisión mecánica.....	68
3.10.2	Sistemas de orientación.....	69
3.10.3	Sistemas de regulación de potencia.....	69
3.11	Sistemas hidráulicos, sistemas de control y sistemas eléctricos en los aerogeneradores. 69	
3.11.1	Sistemas hidráulicos.....	70
3.11.2	Sistemas de control.....	70
3.11.3	Sistemas eléctricos.....	70
Capítulo 4.	ESTUDIO DEL EMPLAZAMIENTO.....	71

4.1. Análisis del recurso hídrico español.....	71
4.2. Análisis hídrico por Comunidad.	74
4.2.1. Volumen de agua disponible para su potabilización por Comunidad.	74
4.2.2. Evolución del consumo de agua por Comunidad.....	75
4.2.3. Evolución del coste del agua por Comunidad.....	76
4.2.4. Conclusiones.	77
4.3. Análisis de las plantas ya existentes por Comunidad.	78
4.3.1. Presencia de plantas desaladoras en Cataluña.....	78
4.3.2. Presencia de plantas desaladoras en Murcia.....	79
4.3.3. Presencia de plantas desaladoras en la Comunidad Valenciana.	81
4.3.4. Presencia de plantas en Andalucía.	82
4.4. Análisis del recurso eólico español.	83
4.5. Estudio del viento.	83
4.6. Estudio batimétrico.....	97
4.7. Selección final del emplazamiento.	100
4.8. Estudio logístico.	101
4.8.1. Análisis de la red eléctrica.....	101
4.8.2. Mano de obra.....	102
4.8.3. Transporte terrestre.	102
4.8.4. Transporte marítimo.....	103
4.8.5. Transporte aéreo.	104
4.9. Ejercicio de la planta.	105
4.9.1. Ejercicio de la planta de osmosis inversa.....	105
4.9.2. Ejercicio del parque eólico flotante.	122
4.9.3. Consideraciones finales.	125
4.10. Tecnología utilizada.	126
4.10.1. Bombas utilizadas.	126
4.10.2. Tuberías utilizadas.	130
4.10.3. Membranas utilizadas.....	137
4.10.4. Instrumentación empleada.....	138
4.10.5. Otros equipos empleados.	153

4.10.6. Productos para el pretratamiento empleados.	155
4.10.7. Productos para el postratamiento empleados.	155
4.10.8. Recuperadores energéticos empleados.....	156
4.10.9. Aerogeneradores empleados.....	156
4.10.10 Plataformas utilizadas.....	157
4.11. Resultados obtenidos.....	160
Capítulo 5. ESTUDIO DEL HAZOP.....	161
5.1. Introducción teórica.....	161
5.2. Análisis de la planta.	165
5.3. Consecuencias.....	165
5.4. Conclusiones.	173
Capítulo 6. NORMATIVA Y MARCO LEGAL.	174
6.1. Estudios aplicados al proyecto realizado.	174
6.2. Listado de normativa y legislación aplicable al proyecto.	177
6.2.1. Marco legal sobre implantación de la planta desaladora y de la central eólica marina. .	178
6.2.2. Marco legal sobre emplazamiento.	179
Capítulo 7. ESTUDIO DEL IMPACTO.....	180
7.1. Impacto social.	180
7.2. Impacto medio ambiental.....	182
7.3. Impacto económico.	183
Capítulo 8. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....	184
8.1. Concepción.....	184
8.1.1. Estudio de mercado.	185
8.1.2. Tamaño óptimo.....	188
8.2.1. Coste desaladora.....	190
8.2.2 Coste de los aerogeneradores.	191
8.2.3 Coste de las plataformas flotantes.	192
8.2.4. Coste de los sistemas de anclaje y de fondeo.....	192
8.2.5. Almacenamiento y transporte de energía.	193
8.2.6. Mano de obra.....	193
8.2.7. Coste de Ingeniería.	193

8.3. Inversión inicial.	195
8.4 Estimación de los costes.	195
8.5. Costes de mantenimiento.....	197
8.6. Impuestos y tasas.....	197
8.7. Amortización.	198
8.8. Financiación del proyecto.	201
8.9. Previsión de ingresos.	203
8.9.1. Análisis de precios en Cataluña.....	203
8.9.2. Estimación de ingresos.....	214
8.9.3. Cuenta de resultados.	221
8.9.4. Flujo de caja.	226
8.9.6. TIR	231
8.9.7. Periodo de recuperación.....	232
8.9.8. Análisis de sensibilidad.	232
8.9.9. Conclusiones.	233
Capítulo 9. PLANIFICACIÓN TEMPORAL.	233
9.1. Descomposición de actividades.	233
9.2. Estructura de descomposición.....	240
Capítulo 10. PRESUPUESTO FINAL.....	241
10.1. Presupuesto de mediciones.....	241
10.2. Plan de contingencias.	247
Capítulo 11. PLAN DE CONTINGENCIAS.....	262
11.1. Documentos que definen el estudio.....	262
11.2. Compatibilidad y relación entre documentos.	262
11.3. Condiciones generales facultativas.....	262
11.3.1. Responsabilidades y derechos del contratista.....	262
11.3.2. Responsabilidades y derechos del cliente.	263
11.3.3. Responsabilidades y derechos del Proyectista.	263
11.3.4. Responsabilidades y derechos de los Proveedores.	263
11.4. Plazos de ejecución y entrega.....	264
11.5. Normativa aplicable.	268

11.6. Especificaciones técnicas.	270
11.7. Condiciones de ejecución.	274
11.7.1. Limitaciones de suministro y montaje.	274
11.7.2. Criterios de modificación del proyecto.	275
11.7.3. Garantías de suministro y funcionamiento.	275
11.7.4. Límites de presupuesto y penalizaciones.	276
Capítulo 12. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	278
12.1. Conclusión.	278
12.2. Principales limitaciones.	280
12.3. Líneas futuras.	280
BIBLIOGRAFÍA.	282
ANEXOS.	292
ANEXO I – Análisis Hídrico Español.	292
ANEXO II – EDP Planta Desaladora y Parque Eólico.	292
ANEXO III – Ejercicio Campo Eólico Offshore.	292
ANEXO IV – Estudio Económico.	293
ANEXO V – HAZOP.	293
ANEXO VI -Lista Equipos y Líneas de la Planta de Osmosis Inversa y del Parque Eólico.	294
ANEXO VII – Plan de contingencias.	294
ANEXO VIII – Resultados Obtenidos.	295

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Esquema del proceso de Osmosis Inversa.....	28
Fuente:My-personaltrainer – Elaboración propia.....	28
Figura 2: Turbulencias del flujo respecto a la membrana.....	29
Fuente:SEFILTRA.....	29
Figura 3: Instalación y configuración de una planta desaladora.....	30
Fuente: Sigmadaf.....	30
Figura 4:Elementos de la Osmosis Inversa.....	31
Fuente: Desalación. Diseño, Construcción y explotación del Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente.....	31
Figura 5:Etapa de la osmosis inversa – primera etapa .	32
Fuente: Lenntech.....	32
Figura 6:Elementos de la Osmosis Inversa.....	32
Fuente:Lenntech.....	32
Figura 7: Representación Membrana Plato Marco.....	34
Fuente: Lenntech.....	34
Figura 8: Representación Membrana Tubular.....	34
Fuente: Lenntech.....	34
Figura 9:Representación Fibra Hueca.....	35
Fuente: Lenntech.....	35
Figura 10: Representación Membrana Espiral.....	36
Fuente: Lenntech.....	36
Figura 11:Esquema Pretratamientos empleados en la Osmosis Inversa.....	39
Fuente: ESIDIN.....	39
Figura 12: Esquema Recuperador Energético.....	44
Fuente: MIXFLOW.....	44
Figura 13: Representación gráfica Turbina Francis.....	45
Fuente: FLOVEL Energy.....	45
Figura 14: Representación grafica Turbina Pelton.....	45
Fuente: Ghiggia.....	45

Figura 15: Representación gráfica tecnología Turbocharger.....	46
Fuente: SPA TURBO SPA.	46
Figura 16: Aceleración líquido en una bomba centrífuga.....	47
Fuente: Grundfods.....	47
Figura 17: Esquema rodete bomba.....	48
Fuente: Grundfods.....	48
Figura 18: Circulación de viento en función de la altura sobre el suelo.....	51
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	51
Figura 19: Fenómeno de turbulencia.....	52
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	52
Figura 20: Límite de Betz y coeficiente de potencia.....	53
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	53
Figura 21: Gráfico de coeficiente de empuje.....	54
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	54
Figura 22: Distribución de Weibull.....	56
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	56
Figura 23: Estimación de energía producida a partir de curva de duración y curva de potencia.....	57
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	57
Figura 24: Criterios de implantación de aerogeneradores.....	58
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	58
Figura 25: Tipologías de aerogeneradores en base a clase y turbulencia.....	59
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	59
Figura 26: Estructura interna del rotor de un aerogenerador.....	59
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	59
Figura 27: Tipologías de rotores.....	60
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	60
Figura 28: Disposición de aerogeneradores en función de dirección del viento.....	61
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	61
Figura 29: Fuerzas presentes en palas de aerogeneradores.....	62
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	62
Figura 30: Torre tubular tipo celosía.....	64

Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	64
Figura 31: Torre tubular de acero.	64
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	64
Figura 32: Torre tubular de hormigón.	65
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	65
Figura 33: Torre tubular mixta (acero y hormigón).	66
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	66
Figura 34: Central eólica onshore.	67
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	67
Figura 35: Central eólica offshore.....	68
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	68
Figura 36: Interior de buje del aerogenerador.	69
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	69
Figura 37: Esquema eléctrico de rotor	71
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.....	71
Figura 38: Volumen agua potable por Comunidad.....	74
Fuente: Epdata.....	74
Figura 39: Evolución del consumo de agua por Comunidad.....	75
Fuente: Epdata.....	75
Figura 40: Evolución coste de agua por Comunidad.....	76
Fuente: Epdata.....	76
Figura 41: Desaladoras en Cataluña.....	79
Fuente: ACA.	79
Figura 42: Desaladoras en Murcia.	80
Fuente: ACA.	80
Figura 43: Ubicación de las desaladoras en Murcia.....	81
Fuente: ACA.	81
Figura 44: Desaladoras en la Comunidad Valenciana.	81
Fuente: ACA.	81
Figura 45: Desaladoras en Andalucía.	82
Fuente: ACA.	82

Figura 46: Mapa de la velocidad del viento en España.....	84
Fuente: IDEA – Atlas Eólico de España 2011.....	84
Figura 47: Densidad de potencia en España.....	85
Fuente: IDEA – Atlas Eólico de España 2011.....	85
Figura 48: Velocidad del viento en el emplazamiento de Tarifa.	87
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	87
Figura 49: Velocidad del viento en el emplazamiento de Roquetas de Mar.....	87
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	88
Figura 50: Velocidad del viento en el emplazamiento de Cartagena.	88
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	88
Figura 51: Velocidad del viento en el emplazamiento de Elche.	89
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	89
Figura 52: Velocidad del viento en el emplazamiento de Escala.....	89
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	89
Figura 53: Velocidad del viento en el emplazamiento de Turó d´en Llaures.....	90
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	90
Figura 54: Distribución horaria del viento en Tarifa.	91
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	91
Figura 55: Distribución de frecuencias del viento en Tarifa.	91
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	91
Figura 56: Rosa del viento en Tarifa.....	92
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	92
Figura 57: Perfil del viento en Tarifa.....	92
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	92
Figura 58: Distribución horaria del viento Roquetas de Mar.....	93
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	93
Figura 59: Distribución horaria del viento en Roquetas de Mar.....	94
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	94
Figura 60: Rosa del viento en Roquetas de Mar.	94
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	94
Figura 61: Perfil del viento en Roquetas de Mar.	95

Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	95
Figura 62: Distribución horaria del viento en Turó d´en Llaures.	96
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	96
Figura 63: Distribución horaria del viento en Turó d´en Llaures.	96
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	96
Figura 64: Rosa del viento en Turó d´en Llaures.....	97
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	97
Figura 65: Perfil del viento en Turó d´en Llaures.....	97
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.	97
Figura 66: Análisis de la batimetría en Tarifa.....	98
Fuente: mapa.gob.es.	98
Figura 67: Análisis de la batimetría en Roquetas de Mar.	99
Fuente: mapa.gob.es.	99
Figura 68: Análisis de la batimetría en Turó d´en Llaures.....	99
Fuente: mapa.gob.es.	99
Figura 69: Representación gráfica de la desaladora, del inmisario y emisario del emplazamiento...	101
Fuente: Mapas de Google.....	101
Figura 70: Análisis de la red eléctrica en Cataluña – Turó d´en Llaures.	102
Fuente: Ree.es.	102
Figura 71:Autopista E-90.....	103
Fuente: el Economista.es.	103
Figura 72: Autopista AP-2.	103
Fuente: Wikipedia.	103
Figura 73: Puerto “Port de Selva”.	104
Fuente: Gencat.....	104
Figura 74: Aeropuerto de Girona Costa-Brava.....	105
Fuente: Aena.....	105
Figura 75: Representación PFD de la planta	108
Fuente: Elaboración propia.....	108
Figura 76: Representación gráfica Válvula de 3 vías.....	109
Fuente: Patentados.com.....	109

Figura 77: Representación gráfica Válvula.....	110
Fuente: Patentados.com.....	110
Figura 78: Representación gráfica Checkvalve.	110
Fuente: Patentados.com.....	110
Figura 79: Representación gráfica Válvula de presión de seguridad.....	111
Fuente: AccuTest.....	111
Figura 80: Representación gráfica Level Gauge.....	112
Fuente: Ayvaz.....	112
Figura 81: Representación P&ID fase de captación.....	113
Fuente: Elaboración propia.....	113
Figura 82: Representación P&ID fase de pretratamiento.....	115
Fuente: Elaboración propia.....	115
Figura 83: Representación P&ID fase de pretratamiento.....	115
Fuente: Elaboración propia.....	115
Figura 84: Representación P&ID fase de pretratamiento.....	116
Fuente: Elaboración propia.....	116
Figura 85: Representación P&ID fase de pretratamiento.....	117
Fuente: Elaboración propia.....	117
Figura 86: Representación P&ID fase de pretratamiento.....	118
Fuente: Elaboración propia.....	118
Figura 87: Representación P&ID fase de pretratamiento.....	118
Fuente: Elaboración propia.....	118
Figura 88: Representación P&ID fase de osmosis inversa.	120
Fuente: Elaboración propia.....	120
Figura 89: Representación P&ID fase de postratamiento y distribución final.....	121
Fuente: Elaboración propia.....	121
Figura 90: Representación P&ID fase de postratamiento y distribución final.....	122
Fuente: Elaboración propia.....	122
Figura 91: Coeficientes tipo de terreno.	123
Fuente: Elaboración propia.....	123
Figura 92: Grafico de Betz del coeficiente de potencia.	123

Fuente: Energía Eólica.....	123
Figura 93: Aerogenerador SG 8.0-167 DD.....	156
Fuente: Siemens-Gamesa.	156
Figura 94: Plataforma flotante empleada.....	157
Fuente: PivotBuoy 2019.....	157
Figura 95: Estructura de anclaje de plataforma flotante empleada.....	158
Fuente: PivotBuoy 2019.....	158
Figura 96: Estructura de soporte con visibilidad de cables de amarre.....	158
Fuente: Eliovertical 2019.	158
Figura 97: Ilustración de estructura de soporte completa.	159
Fuente: X1Wind, 2019.	159
Figura 98: Configuración en paralelo del parque eólico.....	160
Fuente: Elaboración propia.....	160
Figura 99: Configuración en serie del parque eólico.	160
Fuente: Elaboración propia.....	160
Figura 100: Resultados obtenidos de la planta desaladora en Excel.....	161
Fuente: Elaboración propia.....	161
Figura 101: Resultados obtenidos del parque eólico en Excel.	161
Fuente: Elaboración propia.....	161
Figura 102: Esquema procedimiento HAZOP.....	164
Fuente: Elaboración propia.....	164
Figura 103: Grafico Impacto Social en Girona.	181
Fuente: Reefd.es.....	181
Figura 104: Perfil pala aerogenerador – dientes serrados.	183
Fuente: energialternativa.es.....	183
Figura 105: Grafico capacidad en metros cúbicos de las desaladoras alrededor del mundo.	186
Fuente: iagua.es.....	186
Figura 106: Grafico de las 10 desaladora españolas más grandes del mundo.....	187
Fuente: tecpa.es.....	187
Figura 107: Grafico del incremento de la capacidad eólica en el mundo.....	188
Fuente: norvento.com.....	188

Figura 108: Grafico de la producción de energía eólica por Comunidad.	188
Fuente: norvento.com	188
Figura 109: Subdivisión de los costes del proyecto.	197
Fuente: Elaboración propia.....	197
Figura 110: Grafico plan de contingencias grado 4 – Cableado de 6 y 50 MW.	249
Fuente: LucidAPP.	249
Figura 111: Grafico plan de contingencias grado 3 – Anclaje y subestación.	249
Fuente: LucidAPP.	249
Figura 112: Grafico plan de contingencias grado 3 – Recuperador ERD.	250
Fuente: LucidAPP.	250
Figura 113: Grafico plan de contingencias grado 2 - Drums.....	251
Fuente: LucidAPP.	251
Figura 114: Grafico plan de contingencias grado 2 - Compresores.	252
Fuente: LucidAPP.	252
Figura 115: Grafico plan de contingencias grado 2 - Instrumentación.....	253
Fuente: LucidAPP.	253
Figura 116: Grafico plan de contingencias grado 1 – Tanques de almacenamiento.....	254
Fuente: LucidAPP.	254
Figura 117: Grafico plan de contingencias grado 1 - Bombas.	255
Fuente: LucidAPP.	255
Figura 118: Grafico plan de contingencias grado 1 - Tuberías.....	256
Fuente: LucidAPP.	256
Figura 119: Grafico plan de contingencias grado 1 - Plataformas.	257
Fuente: LucidAPP.	257
Figura 120: Grafico plan de contingencias grado 1 - Turbinas.....	258
Fuente: LucidAPP.	258
Figura 121: Grafico plan de contingencias grado 1 – Suministro de energía eléctrica.....	259
Fuente: LucidAPP.	259

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Características Membranas.....	36
Fuente: Elaboración propia.....	36
Tabla 2: Parámetros de agua potable, frente a valores aceptables.	42
Fuente: Elaboración propia.....	42
Tabla 3: Análisis del recurso hídrico español.....	72
Fuente: Elaboración propia.....	72
Tabla 4: Capacidad de embalse en el mundo.	73
Fuente: Epdata - Elaboración propia.	73
Tabla 5: Posiciones ocupadas por cada Comunidad frente a los parámetros en análisis.	78
Fuente: Epdata - Elaboración propia.	78
Tabla 6: Velocidades medias del viento de las Comunidades escogidas.....	85
Fuente: Atlas Eólico de España - Elaboración propia.....	85
Tabla 7: Densidades medias del viento de las Comunidades escogidas.....	86
Fuente:Atlas Eólico de España - Elaboración propia.....	86
Tabla 8: Velocidades medias del viento de los emplazamientos escogidos.....	86
Fuente: Atlas Eólico de España - Elaboración propia.....	86
Tabla 9: Coordenadas geográficas de los emplazamientos escogidos.	98
Fuente: Elaboración propia.....	98
Tabla 10: Características generales del emplazamiento.....	100
Fuente: Elaboración propia.....	100
Tabla 11: Datos de funcionamiento del aerogenerador SG 8.0-167 DD..	124
Fuente: Elaboración propia.....	124
Tabla 12: Listado de bombas empleadas en la planta y sus características..	129
Fuente: Elaboración propia.....	129
Tabla 13: Listado de líneas y su área de empleo en la planta y sus características.....	137
Fuente: Elaboración propia.....	137
Tabla 14: Listado de membranas y su área de empleo en la planta y sus características.....	137
Fuente: Elaboración propia.....	137
Tabla 15: Listado de instrumentación y su área de empleo en la planta y sus características.	153

Fuente: Elaboración propia.....	153
Tabla 16: Listado de equipos y su área de empleo en la planta y sus características.	155
Fuente: Elaboración propia.....	155
Tabla 17: Listado de equipos para el pretratamiento y su área de empleo en la planta y sus características.	155
Fuente: Elaboración propia.....	155
Tabla 18: Listado de equipos para el postratamiento y su área de empleo en la planta y sus características.	156
Fuente: Elaboración propia.....	156
Tabla 19: Listado de recuperadores energéticos y su área de empleo en la planta y sus características.	156
Fuente: Elaboración propia.....	156
Tabla 20: Parámetros a analizar durante un HAZOP.	163
Fuente: Elaboración propia.....	163
Tabla 21: Parámetros que influyen durante el análisis de un HAZOP.	164
Fuente: Elaboración propia.....	164
Tabla 22: Representación de las capas de seguridad frente a los riesgos identificados y las consecuentes soluciones/mejoras aportadas con el HAZOP.....	170
Fuente: Elaboración propia.....	170
Tabla 23: Valores del VAN y del TIR y sus significados.	190
Fuente: Elaboración propia.....	190
Tabla 24: Subdivisión de los costes de la planta desaladora.	191
Fuente: Elaboración propia.....	191
Tabla 25: Subdivisión de los costes de los aerogeneradores del parque eólico.....	192
Fuente: Elaboración propia.....	192
Tabla 26: Subdivisión de los costes de las plataformas del parque eólico.	192
Fuente: Elaboración propia.....	192
Tabla 27: Subdivisión de los costes de los servicios para la construcción del parque eólico.	193
Fuente: Elaboración propia.....	193
Tabla 28: Subdivisión de los costes de la subestación flotante y del parque eólico.	193
Fuente: Elaboración propia.....	193
Tabla 29: Subdivisión de los costes para la mano de obra del parque eólico.	193

Fuente: Elaboración propia.....	193
Tabla 30: Subdivisión de los costes de ingeniería para las plantas.....	194
Fuente: Elaboración propia.....	194
Tabla 31: Subdivisión de los costes de desmantelamiento para el parque eólico.	194
Fuente: Elaboración propia.....	194
Tabla 32: Subdivisión de los costes de las plantas.....	195
Fuente: Elaboración propia.....	195
Tabla 33: Plan de amortización del proyecto.	201
Fuente: Elaboración propia.....	201
Tabla 34: Descripción de ventajas y desventajas del tipo de sociedad.	202
Fuente: Elaboración propia.....	202
Tabla 35: Descripción de la financiación.....	202
Fuente: Elaboración propia.....	203
Tabla 36: Gasto y producción de la desaladora.	203
Fuente: Elaboración propia.....	203
Tabla 37: Gasto y producción del parque eólico.	203
Fuente: Elaboración propia.....	203
Tabla 38: Evolución del precio del metro cubico de agua en Cataluña hasta el 2022.....	205
Fuente: Elaboración propia.....	205
Tabla 39: Evaluación de la media del precio del metro cubico de agua en Cataluña y su porcentaje de incremento.....	205
Fuente: Elaboración propia.....	205
Tabla 40: Estimación del precio esperado del metro cubico de agua.	208
Fuente: Elaboración propia.....	208
Tabla 41: Evaluación del coste del MWh en Cataluña hasta el 2022.	209
Fuente: Elaboración propia.....	209
Tabla 42: Estimación del precio esperado del MWh en Cataluña.	212
Fuente: Elaboración propia.....	212
Tabla 43: Evaluación del potencial ahorro de la planta desaladora gracias a la implementación del parque eólico.	214
Fuente: Elaboración propia.....	214

Tabla 44: Estimación de ingresos.....	217
Fuente: Elaboración propia.....	217
Tabla 45: Estimación de ingresos.....	219
Fuente: Elaboración propia.....	219
Tabla 46: Estimación de ingresos brutos anuales.....	221
Fuente: Elaboración propia.....	221
Tabla 47: Cuenta de resultados.....	226
Fuente: Elaboración propia.....	226
Tabla 48: Flujo de caja.....	228
Fuente: Elaboración propia.....	228
Tabla 49: Estimación del valor del VAN.....	231
Fuente: Elaboración propia.....	231
Tabla 50: Estimación del porcentaje del TIR.....	232
Fuente: Elaboración propia.....	232
Tabla 51: Estimación de la tasa del descuento y de cómo esta afecte al VAN.....	233
Fuente: Elaboración propia.....	233
Tabla 52: Costes relativos al Grado 1.....	244
Fuente: Elaboración propia.....	244
Tabla 53: Costes relativos al Grado 2.....	246
Fuente: Elaboración propia.....	246
Tabla 54: Costes relativos al Grado 3.....	247
Fuente: Elaboración propia.....	247
Tabla 55: Grado de prioridad de los equipos.....	247
Fuente: Elaboración propia.....	247
Tabla 56: Plan de contingencias por grado de prioridad.....	248
Fuente: Elaboración propia.....	248
Tabla 57: Prioridad de los riesgos.....	260
Fuente: Elaboración propia.....	260
Tabla 58: Cronograma.....	268
Fuente: Elaboración propia.....	268
Tabla 59: Criterio de calidad a seguir para cada equipo.....	273

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Fuente: Elaboración propia.....	273
Tabla 60: Limites de presupuesto y penalizaciones para cada tarea/actividad.	278
Fuente: Elaboración propia.....	278

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.

En el siguiente documento se presenta el trabajo fin de grado del alumno Claudio Bucciarelli con número de expediente 21806603, en el cual se han querido emplear los conocimientos adquiridos a lo largo del grado en Ingeniería en Sistemas Industriales, con mención en Energías en la Universidad Europea de Madrid.

Este proyecto persigue el desarrollo de una central desaladora, mediante ósmosis inversa, con un aporte energético realizado mediante un parque eólico offshore con apoyo sobre plataformas. Para su realización se expondrán antes los aspectos teóricos, relativos a cada una de estas dos tecnologías, para luego evaluar tanto el emplazamiento y el diseño, así como los costes a los que se tendría que hacer frente a corto, medio y largo plazo y finalmente la viabilidad económica del mismo. Se evaluarán diferentes alternativas, tanto en la elección de los equipos y sus características como la zona peninsular española para la implantación.

El principal objetivo de una desaladora es conseguir potabilizar agua de mar a través de un caudal constante, su principal limitación reside en las elevada cantidad de energía eléctrica necesaria para su funcionamiento; esto se traduce en un elevado coste de funcionamiento. Sin embargo, el agua potable es un recurso, al mismo tiempo limitado y vital, por esta razón se ha decidido hibridar, la tecnología empleada en las desaladoras con la tecnología eólica, cuyo objetivo es la generación de energía eléctrica de forma sostenible y respetuosa hacia el medio ambiente, a través del aprovechamiento de un recurso ilimitado, el viento.

Para ello se ha decidido desarrollar el trabajo de la siguiente forma:

- Introducción teórica a la tecnología de la ósmosis inversa empleada por las desaladoras y a los principios eólicos sobre los cuales se rigen los aerogeneradores.
- Estudio del emplazamiento, teniendo en cuenta las tecnologías presentes, las características morfológicas del terreno, tanto para la planta desaladora como para el parque eólico, y finalmente las necesidades energética y del suministro de agua, tanto a nivel industrial como para la población cercana. En este apartado se evalúan también los costes y las alternativas de los equipos para el correcto funcionamiento de la planta, estimando los costes si fuera necesario.
- Diseño de procesos de la desaladora a través de PFD y P&ID.
- Estudio del HAZOP para la planta desaladora.
- Estudio económico del proyecto, evaluando en primer lugar la energía gastada por la planta y la generación en m^3 de agua potable para poder dimensionar el parque eólico.
- La planificación temporal del proyecto, realizando una descomposición (EDP) de las tareas a llevar a cabo, para que el proyecto se pueda poner en marcha en los meses finales del año 2025.
- El pliego de condiciones.
- Los resultados y las conclusiones del trabajo.

1.1 Antecedentes.

A nivel mundial se consiguen desalar 200 millones de m^3 cada día de agua, según la Asociación Internacional de Desalinización, actualmente hay contratadas más de 20.000 plantas desaladoras en todo el mundo, la mayor parte de ellas, están ubicadas en Oriente Medio, donde existen pocos recursos hídricos naturales de agua potable.

España, actualmente, está liderando este desarrollo, cómplice también las nuevas subvenciones disponibles para las Canarias y una nueva legislación aprobada por el Parlamento Europeo, enfocada hacia la reutilización de agua para el uso agrario.

A nivel eólico, la creciente demanda energética ha incentivado la implantación de un mayor número de aerogeneradores, así como el impulso de nuevas tecnologías, tanto para uso doméstico como industrial, debido a la necesidad de aumentar la potencia total basada en las energías renovables, como especificado en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC).

Sin embargo, la creciente demanda de energía ha provocado la implantación de un mayor número de instalaciones y plantas eólicas con el objetivo de incrementar la generación de potencia eólica.

Dicha energía resulta ser actualmente puntera en producción energética renovable y se prevé un incremento de hasta un 40% en 2030.

1.2 Objeto de proyecto.

El objetivo principal de este proyecto es conseguir el desarrollo y el diseño de una central de desalinización que funcione mediante Ósmosis Inversa, de medio-pequeño tamaño, cuya necesidad energética, se pueda satisfacer a través del dimensionado de un campo eólico offshore, que emplea plataformas, para obviar el problema de la batimetría presente en las costas españolas.

Para un correcto desarrollo del trabajo, se realizan antes las actividades de estudio teórico de cada tecnología, de tal forma que, una vez definidas las limitaciones y necesidades de cada una, se pueda pasar al diseño de la planta desaladora, tras el cual, se podrá conocer la energía necesaria para su funcionamiento y así poder dimensionar el parque eólico. Finalmente, a través de un estudio económico en el cual se incluirán CAPEX, VAN, TIR y PAYBACK y un estudio de las normativas sobre las cuales se rigen ambas tecnologías, se concluirá el proyecto.

1.3 Alcance del proyecto.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

El funcionamiento de una central desaladora depende de diversos factores que pueden limitar su operabilidad.

Para conseguir el aporte energético por parte del parque eólico, hay que tener en cuenta las limitaciones que existen para el desarrollo de estas tecnologías, en las cuales, cabe destacar, la regulación medioambiental, el emplazamiento final y los límites de la red eléctrica en el mismo.

Por esta razón se ha tenido en cuenta, a lo largo de este trabajo, el marco legal vigente del Estado Español que regula dichas actividades.

El proyecto consta de la generación de energía eólica offshore con aerogeneradores tipo Siemens cuyo modelo es el SG 8.0-167 DD.

La generación de estos recursos contribuirá al Plan Nacional Integrado de Energía y Clima; el cual persigue una descarbonización del 23% y un incremento de la generación de energías limpias de un 73%.

La implantación se realizará en las costas de Cataluña, en el sur de Girona debido al elevado volumen de viento de la zona, lo que generará una mayor cantidad de energía. La estabilización de las plataformas en el mar se realizará gracias a la instalación de las plataformas de la marca X1 Wind.

Capítulo 2. Introducción teórica al proceso de la Osmosis Inversa.

La desalinización es el proceso de eliminación, parcial o total, de las sales disueltas en un líquido como por ejemplo el agua de mar, con el fin de obtener agua dulce. Este proceso se verifica, de forma natural, durante el curso del ciclo hidrológico, en el cual el sol funciona como evaporador y bomba. Este, calienta el planeta Tierra provocando la evaporación de los océanos, lagos, ríos y de los mares; el vapor resultante, constituido de agua dulce, se transporta en la atmósfera por las corrientes del viento, se reúne en masas de aire bajo forma de precipitación y recae sobre la tierra como lluvia.

Los primeros fenómenos relativos a la comprensión humana sobre la desalinización hacen referencia a Aristóteles (284-322 A.C) en el tratado Meteorológica: "El agua salada cuando se hace vaporizar, se convierte en dulce y la consecuente condensación, no produce agua salada".

Sin embargo, las primeras técnicas de desalinización se desarrollaron en el continente asiático, alrededor del 200 A.C. donde se empleaban hojas Guan-PU, para la absorción del agua dulce concentrando la salmuera para la conservación de los alimentos.

La moderna desalinización del agua de mar nació en los últimos años del 1800, de tal forma que, las naves de la Marina Real Británica podían producir agua potable, por esta razón, el

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

desarrollo de la propulsión naval hacia las instalaciones de vapor se consiguió llevar a cabo, ya que se podía garantizar la posibilidad de hacer viajes más largos, por los cuales, no era necesario almacenar mayores cantidades de agua dulce para el equipaje y los pasajeros. Cabe destacar que la instalación a vapor, a parte de la energía mecánica produce también energía térmica (vapor) que podía ser siempre disponible para realizar una desalación industrial. Las primeras desaladoras se crearon en Escocia, país de construcción de las flotas navales británicas, y se trata de instalaciones evaporativas de tipo flash.

En los años 50, el considerable crecimiento económico de los países exportadores de crudo ha visto la difusión de estas instalaciones para usos civiles y el desarrollo de este sector ha generado la creación de muchos proyectos en toda Europa y en España.

2.1. Explicación del proceso.

Se define Ósmosis Inversa cuando se aplica una fuerza superior a la presión osmótica para conseguir mover el flujo de una solución más concentrada a una menos concentrada.

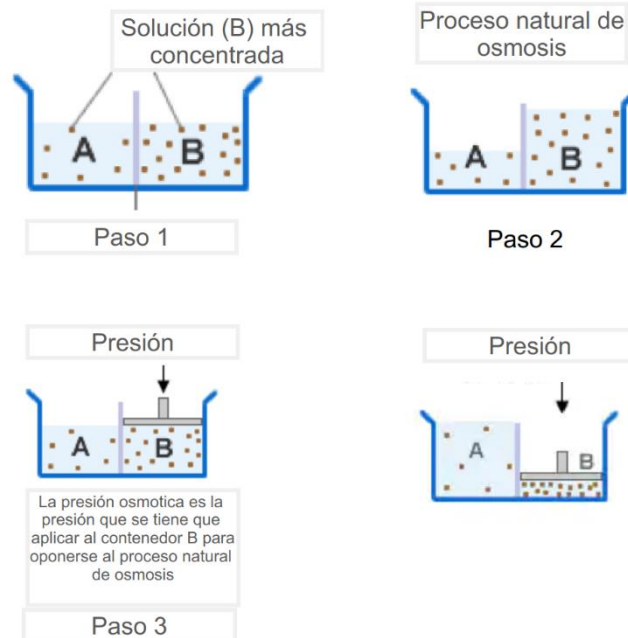
Se trata de un proceso que no es natural, por lo tanto, para realizarlo es necesario aportar energía, para que la membrana, ubicada entre las dos soluciones, pueda detener las impurezas presentes en la solución concentrada, transformándola en una prácticamente purificada.

Cabe destacar que esto no es un proceso únicamente físico, sino que se basa también en la afinidad química de los elementos a filtrar; la presión que se tiene que aplicar depende del tipo de solución concentrada, que en este caso es agua de mar y que por lo tanto necesita decenas de atmósferas.

Los depuradores, que emplean esta técnica, pueden detener elementos contaminantes y dañinos para la salud, como, por ejemplo:

- Amonio.
- Níquel.
- Cadmio.
- Sodio.
- Plomo.
- Silicio.
- Bacterias.
- Fluor.
- Calcio.
- Bromo.
- Hierro.
- Nitrato.
- Fosfato.
- Silicato.
- Mercurio.
- Cloro.

Para comprender mejor este proceso se puede observar la figura 1:



*Figura 1: Esquema del proceso de Osmosis Inversa.
Fuente: My-personaltrainer – Elaboración propia.*

Los dos compartimentos A y B están divididos por un filtro selectivo (es decir permeable solo para el solvente, en este caso el agua); el compartimento A representa una solución diluida, mientras que el compartimento B representa una solución concentrada, ambos poseen el mismo volumen, por lo tanto, las dos, a lo largo del tiempo, trataran de igualar su concentración, de forma natural, esto se define exergónico, porque no necesita ningún aporte energético para realizarse.

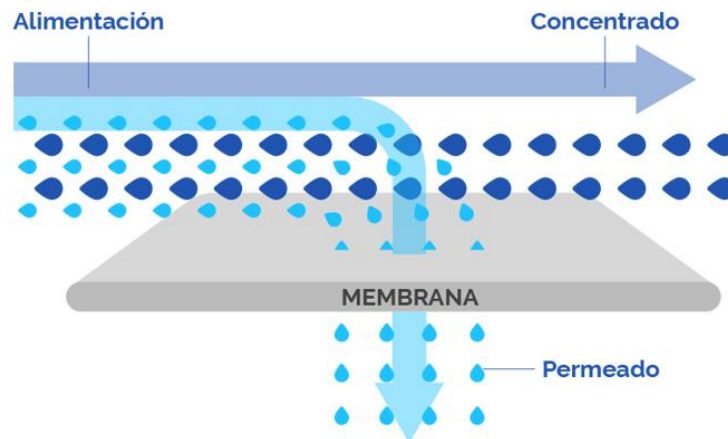
La presión osmótica es la fuerza que se tiene que aplicar, para que el paso del solvente no se siga realizando, es decir, se tiene que aplicar una fuerza opuesta a la natural.

2.2. Otras alternativas.

Existen diferentes técnicas de separación mediante membrana para obtener la filtración:

1. Microfiltración.
2. Nanofiltración.
3. Ultrafiltración.

Cabe destacar que, para reducir las turbulencias del flujo, aumentar la filtración y evitar la generación de atascamientos, el fluido se mueve siempre según la filtración tangencial, es decir, de forma paralela con respecto al plano:



*Figura 2: Turbulencias del flujo respecto a la membrana.
Fuente:SEFILTRA.*

Las membranas se clasifican generalmente en base a las dimensiones según estándares expresados en pulgadas y también según la capacidad de producción, que generalmente se indica en GPD (galones al día).

Las diferencias entre un sistema u otro dependen del tipo del filtro empleado y, en consecuencia, del tipo de partículas filtradas:

1. OSMOSIS INVERSA:

Deja pasar sólo las moléculas H_2O y retiene también los iones monovalentes.

2. MICROFILTRACIÓN:

Permite filtrar moléculas de un tamaño evaluable en micrón, como bacterias y moléculas grasas.

3. ULTRAFILTRACIÓN:

Retiene el flujo de moléculas muy pequeñas como proteínas, de un peso de 1000 Dalton.

4. NANOFILTRACIÓN:

Bloquea el paso a través de moléculas mesoscópicas (tanto orgánicas como inorgánicas) con un peso de 200 Dalton, a través de la membrana.

Una parte muy importante de este proceso es el contenido de sal en el agua, denominado también TDS (Total Dissolved Solid), que se mide en mg/L (o ppm), las membranas osmóticas producen un 20% de permeado respecto al flujo en entrada, sin embargo, instalaciones de mayor tamaño (para uso industrial), emplean varias membranas en serie, donde dicho valor, puede superar el 75% y donde normalmente se consigue eliminar el 95% de las sustancias presentes en el agua (solución concentrada).

Estos sistemas se emplean en diferentes ámbitos:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico. Claudio Bucciarelli.

1. Agua potable, para consumo humano.
2. Riego de cultivos.
3. Aplicaciones industriales.

Sin embargo, el proceso de filtración no es el único que permite obtener agua pura, existen otros procesos como:

- Destilación flash multietapa.
- Destilación por múltiple efecto.
- Compresión de vapor.
- Electrodialisis.
- Congelación.
- Destilación solar.
- Destilación por membranas.
- Formación de hidratos.
- Intercambio iónico.

Cabe destacar que la Ósmosis Inversa resulta el sistema más económico ya que el único aporte energético que se realiza es para las bombas de alta presión, que necesitan alrededor de 5,4 a 8,2 MPa, mientras que la presencia de salmuera (agua con una concentración de sal disuelta superior al 5%) que abandona la membrana de alta presión, es necesaria la implementación de sistemas de recuperación de energía, como turbinas Pelton, Francis o sistemas Turbocharger.

2.3. Instalación y configuración de una planta.

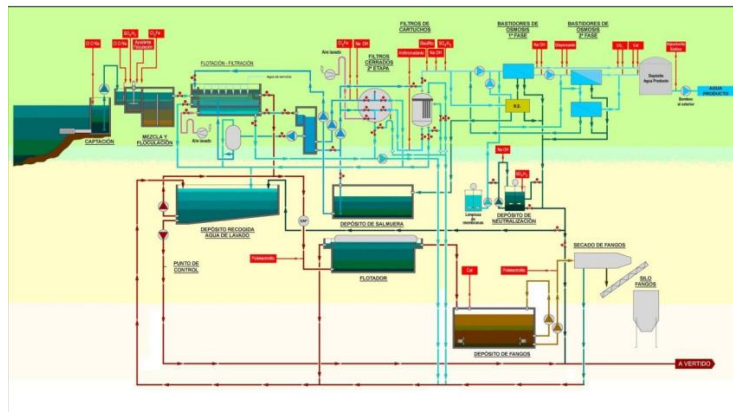


Figura 3: Instalación y configuración de una planta desaladora.

Fuente: Sigmadaf.

A nivel energético estos sistemas dependen del caudal, de las bombas de alta presión empleadas y del retorno energético proporcionado por los sistemas de recuperación. Normalmente el consumo es de 3 a 5 kW/m³ con un rendimiento del 30% al 50% y un factor de concentración de la salmuera que va de 1,25 a 2.

Una instalación industrial consta de:

1. Captación o toma de agua para el suministro.

2. Pretratamiento fisicoquímico para evitar daños en las membranas.
3. Desalación a través del empleo de membranas u otras técnicas.
4. Post-Tratamiento.
5. Distribución.

La captación puede ser cerrada, por medio de pozos o canteras que garanticen agua limpia, mínima actividad orgánica, temperatura y composición química estable, pero con la posibilidad que exista la presencia de metales pesados.

También puede darse el caso que esta sea abierta, por medio de escolleras que garanticen contenido en sólido en suspensión variable, alta actividad biológica, mayor exposición a la contaminación, importante concentración de oxígeno disuelto, composición química variable, presencia de contaminantes y temperatura variable.

Resulta claro que una captación cerrada presenta mayores ventajas, aunque no puede garantizar un suministro de caudal constante. A pesar de esto una captación abierta, aunque tenga menores ventajas, también se puede emplear, teniendo en cuenta, que las etapas de pretratamiento resultan más complejas.

Cabe destacar que un sistema OI se puede configurar de diferentes formas, pero en todos los casos tiene que estar presente la fuente correspondiente a la alimentación, concentrado y permeado, como se puede apreciar en la figura 4:

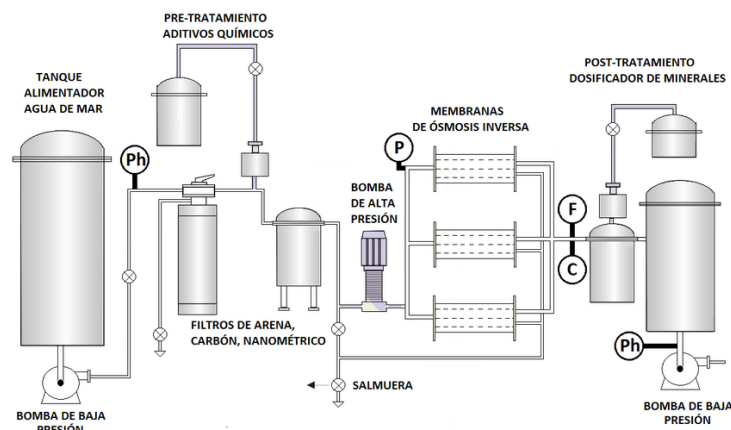


Figura 4: Elementos de la Osmosis Inversa.

Fuente: Desalación. Diseño, Construcción y explotación del Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente.

Las posibilidades son:

1. De una etapa (simple): en esta configuración los tubos de presión se encuentran en paralelo, mientras que las líneas de permeado, concentrado y alimentación son las usuales.
Esta disposición permite obtener un 50%/60% de Factor de Conversión.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

1 etapa de osmosis inversa

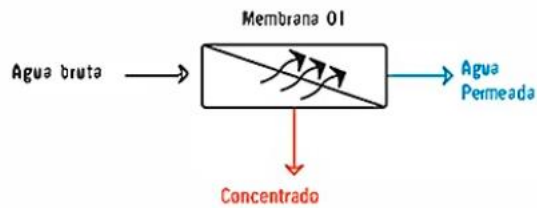


Figura 5: Etapa de la osmosis inversa – primera etapa .

Fuente: Lenntech.

2. De varias etapas (multi): en esta configuración, la parte de alimentación que se rechaza por parte de la membrana (concentrado), se convierte en la alimentación de la siguiente etapa, es decir un sistema parecido al de refinado, donde lo rechazado es la alimentación del siguiente proceso. Obviamente en todas las etapas el resultado esperado es el permeado, que es lo que se extrae.

Esta disposición permite obtener un 75%/80% de Factor de Conversión.

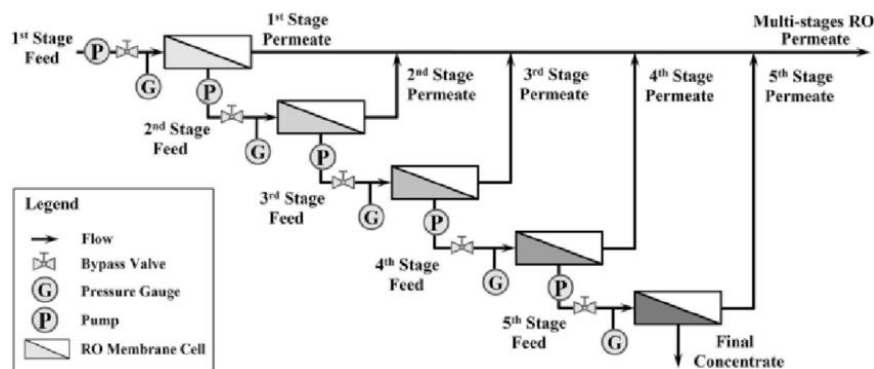


Figura 6: Elementos de la Osmosis Inversa.

Fuente: Lenntech.

Cabe destacar que esta configuración se puede hacer con más de dos etapas, sin embargo, hay que tener en cuenta los costes de operación.

3. Sistema de un paso: en esta configuración parte del concentrado pasa a ser alimentación a través un sistema de recirculación, lo que permite tener un factor de conversión que ronda el 50%, sin embargo, este sistema tiene la desventaja que es necesaria una presión mayor que la de alimentación para la fase de recirculación.

4. Sistema de dos pasos: en esta configuración se consigue tener un factor de conversión del 85%/95% donde el permeado obtenido en el primer paso es la alimentación del segundo paso, mientras que el concentrado del segundo paso se convierte en la alimentación inicial; se trata de un sistema en serie.

5. Sistema con o sin recirculación de permeado: en esta configuración se tiene una hibridación de un sistema a multietapa con uno de un paso; este resulta conveniente cuando la temperatura del flujo de alimentación varía considerablemente a lo largo del año, para evitar que se cambie constantemente la presión de alimentación, una parte del permeado se emplea en la bomba de alta presión.

6. Sistema con o sin mezcla de la alimentación con el permeado: en esta configuración se quiere bajar los equipos necesarios para el funcionamiento de la planta, para ello hay que tener en cuenta el límite de salinidad requerido en el producto. Se suele emplear en plantas donde, por pretratamientos o por baja salinidad de la propia agua, se puede mover parte de la alimentación para evitar sobredimensionar el sistema.

2.4. Tipologías de membranas disponibles.

La membrana osmótica se puede considerar como el corazón de un depurador de agua por osmosis inversa, un elemento que se puede emplear también para usos domésticos. Como dicho anteriormente, este proceso permite eliminar entre el 95 y el 99% de las sustancias nocivas presentes en el agua, que resulta completamente depurada.

La membrana osmótica está compuesta por láminas envueltas sobre sí mismas, hechas con dos materiales estratificados: la poliamida y el acetato de celulosa. Su principal tarea es la de bloquear y desechar todas las sustancias nocivas, los metales pesados y los contaminantes, dejando el paso solo al agua depurada.

La membrana funciona como un elemento de ayuda a la bomba, que purifica el agua, y una pequeña tubería que trata de desechar los elementos contaminantes antes de la depuración.

El agua pasa a través de los poros de la membrana muy pequeños, de dimensiones de 0,0001 micras, por lo tanto, el suministro puede resultar muy lento, sobre todo si existen otros elementos a desechar.

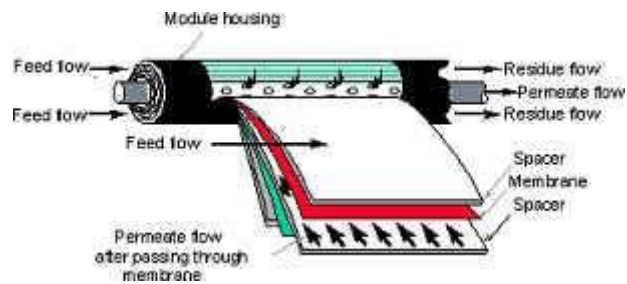
Los poros tienen que ser necesariamente pequeños ya que tienen que bloquear el paso a las sustancias contaminantes.

A nivel industrial, existen las siguientes configuraciones de membranas:

- Plato y Marco.
- Tubular.
- Fibra Hueca.
- Arrollamiento en espiral.

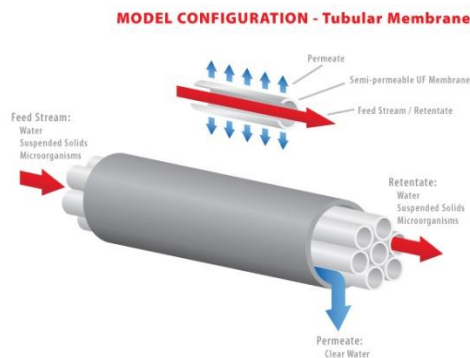
Durante los primeros desarrollos de la tecnología, las membranas que se empleaban eran las de tipo Plato y Marco y Tubular, ambas comparten una menor densidad de empaquetado (proporción del espacio, relleno por las moléculas) de membrana; esto hace que, sean las menos rentables a nivel económico.

Analizando la configuración Plato-Marco, esta presenta una membrana plana que se ubica dentro de un marco de tipo circular o rectangular que permite soportar la misma. El permeado producido se puede recoger debido a la disposición de las membranas, que están ubicadas a ambos lados de un plato.



*Figura 7: Representación Membrana Plato Marco.
Fuente: Lenntech.*

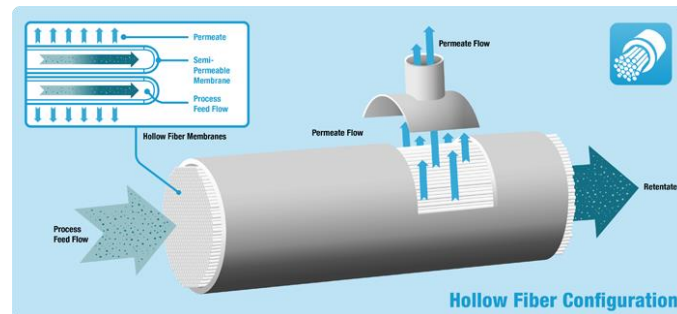
Analizando la configuración tubular, que representa una alternativa a la anterior, esta se compone normalmente de PVC, que permite así soportar la presión de ejercicio. El permeado se puede obtener por la parte exterior del tubo, ya que se recoge en un recipiente, mientras que por su interior circula el flujo de forma tangencial.



*Figura 8: Representación Membrana Tubular.
Fuente: Lenntech.*

Analizando la configuración de la fibra hueca, se puede apreciar como esta presenta una estructura de soporte propia, con unas fibras muy finas, del orden de 84 micras. Su disposición es de tipo tubular, siguiendo una agrupación en "U" y los extremos se encuentran recogidos dentro de una placa epoxi; examinando el recorrido del flujo se puede apreciar

como este, una vez entrado a alta presión, se reparte de forma radial, pasando por las fibras que componen la membrana y recogándose en el tramo final. Esta configuración, representa la mejor opción en relación con la densidad de empaquetado, ya que no existe mucho espacio entre cada fibra, desafortunadamente, esto resulta ser también un problema, ya que, debido a posibles sólidos que vienen arrastrados por el flujo, estos se quedan entre las fibras, atascando el proceso y disminuyendo considerablemente el rendimiento del equipo.



*Figura 9: Representación Fibra Hueca.
Fuente: Lenntech.*

Analizando la configuración de espiral, se tiene un sistema compuesto por láminas que se ubican sobre soportes de poliéster (tejido/no tejido). Cada lámina se agrupa con la otra, pero de forma opuesta y separada para garantizar el movimiento del flujo de alimentación; tanto los lados como por lo menos uno de los extremos se sella mediante pegamento obteniendo una estructura parecida a la de un sobre, en el único extremo abierto es por donde circula el flujo del permeado y por este, es donde se empieza a enrollar la membrana, obteniendo por lo tanto una estructura espiral/circular, dentro del cual circula el flujo. Para evitar el "efecto telescópico" (Se desenredan longitudinal de los elementos enrollados en espiral que da como resultado que las hojas de la membrana de ósmosis inversa se extiendan más allá del material de espaciado entre las hojas) se añaden a los extremos unas piezas de plástico y se hace un recubrimiento externo en fibra de vidrio. Finalmente, esta membrana se ubica dentro de un recipiente cilindro que es capaz de soportar elevadas presiones; cabe destacar que esta tecnología es la que se emplea con más frecuencia dentro de las instalaciones industriales, porque consigue aguantar elevadas fuerzas.

Resumiendo, los elementos que pertenecen a esta tecnología son:

- Membranas/Laminas.
- Espaciadores para la salmuera.
- Espaciadores para el permeado.
- Tubo de permeado.
- Envoltorio final (para evitar el fenómeno del telescoping).
- Junta.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

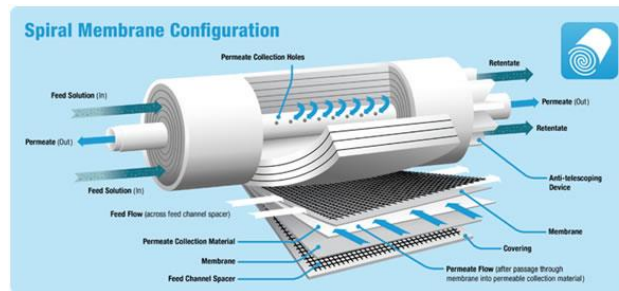


Figura 10: Representación Membrana Espiral.
Fuente: Lenntech.

2.5. Configuración de las membranas.

La configuración de las membranas se puede resumir en la tabla 1:

CARACTERÍSTICAS	PLATO Y MARCO	TUBULAR	ESPIRAL	FIBRA HUECA
Superficie de membrana por módulo (m2)	15-50	1,5-7	30-40	370-575
Volumen de cada módulo (m3)	0,30-0,40	0,03-0,1	0,03	0,04-0,08
Caudal por módulo (m3/d)	9-50	0,9-7	30-38	40-70
Grado de compactación (m2 de membrana por m3)	50-125	50-70	1.000-1.100	5.000-14.000
Productividad por unidad superficie (m3/d por m2)	0,6-1	0,6-1	1-1,1	0,1-0,15
Productividad por unidad de volumen (m3/d por m3)	30-125	30-70	1.000-1-250	900-1.500
Conversion de trabajo por módulo (%)	10	10	10-50	30-50
Perdida de carga por tubo de presión (bar)	2-4	2-3	1-2	1-2
Intercambiabilidad por otra marca	Nula	Nula	Total	Nula
Tolerancia frente a las sustancias coloidales	Mala	Buena	Mala	Mala
Tolerancia frente a las sustancias en suspensión	Mala	Buena	Mala	Muy Mala
Comportamiento frente a la limpieza Mecánica	Regular	Buena	No aplicable	No Aplicable
Comportamiento frente a la limpieza Química	Buena	Buena	Buena	Buena
Comportamiento frente a la limpieza Agua a presión	Excelente	Buena	Buena	Buena
Pretratamiento necesario	Coagulación y filtración a 5 micras	Filtración	Coagulación y filtración a 5 micras	Coagulación y filtración a 1 micras
Aplicaciones	Alimentación	Alimentación	Desalación de aguas salobres y de mar	Desalación de agua salobres y de mar
Aplicaciones	Líquidos poco cargados	Agua residuales y líquidos cargados	Obtención de agua de alta pureza	Obtención de aguas de alta pureza
Aplicaciones	Concentración y recuperación de sustancias	Concentración y recuperación de sustancias	Agua residuales y líquidos poco cargados. Concentración y recuperación de sustancias	Concentración y recuperación de sustancias

Tabla 1: Características Membranas.
Fuente: Elaboración propia.

2.6. Ecuaciones y parámetros fundamentales.

Para poder entender el proceso de Ósmosis Inversa, es necesario introducir las ecuaciones que rigen el proceso, para ello se analizarán:

1. Ecuación de difusión del agua o del solvente: se trata de una ecuación diferencial parcial parabólica y queda definida como $\rightarrow J_w = A * (\Delta P - \pi)$, donde:

- J_w = Flujo de agua en $\frac{L}{m^2 \cdot bar}$.
- A = Coeficiente de permeabilidad de la membrana $\frac{L}{m^2 \cdot bar}$. Este factor resulta típico y varía por cada membrana, ya que depende de la temperatura, de la

presión, así como el pH (potencial de hidrógeno), el factor de conversión y la concentración de la sal en la solución.

- ΔP = Presión diferencial de la transmembrana, bar.
- $\Delta\pi$ = Presión osmótica diferencial, bar.
- $(\Delta P - \Delta\pi)$ este término se puede también expresar como NDP que es el Net Driving Pressure.

2. Ecuación de transporte de sales: en ingeniería, si se consideran dos sistemas, esta permite evaluar los cambios de masa, de energía y del momento lineal y queda definida como $\rightarrow J_s = B * \Delta C$; donde:

- J_s = Flujo de sales en $kg - \frac{m^2}{s}$.
- B = Coeficiente de transferencia de masa en sales, en m/s. Este factor varía por cada membrana, ya que depende de la temperatura, de la presión, así como del pH, el factor de conversión y la concentración de la sal en la solución.
- ΔC = Concentración media diferencial de la transmembrana kg/m^3

De estas dos ecuaciones se puede concluir que, cuanto mayor sea la concentración de sal en la fuente de alimentación, mayor será la concentración de sal en el permeado en la fase de salida; al mismo tiempo, el fenómeno de la polarización (la presencia de dos o más zonas que son opuestas con respecto a una propiedad en concreto) hace que la presencia de sal en el permeado sea mayor de la cantidad teórica.

3. Balance de solvente: corresponde al balance de materia y queda definido como $\rightarrow Q_f = Q_p + Q_c$; donde:

- Q_f = Caudal de alimentación en m^3/h
- Q_p = Caudal del permeado en m^3/h
- Q_c = Caudal de concentrado o rechazo en m^3/h

4. Balance de soluto: corresponde al balance de materia y queda definido como $\rightarrow Q_f * C_f = Q_p * C_p + Q_c * C_c$; donde:

- C_f = Concentración de soluto en la alimentación en kg/m^3
- C_p = Concentración de soluto en el permeado en kg/m^3
- C_c = Concentración de soluto en el concentrado o rechazo en kg/m^3

5. Factor de conversión: representa el resultado que se obtiene (permeado), frente a la alimentación que se proporciona (caudal de entrada) en porcentaje y queda definido como \rightarrow

$Y = \left(\frac{Q_p}{Q_f}\right) = \left(1 - \left(\frac{Q_c}{Q_f}\right)\right)$; donde:

- Q_p = Caudal de permeado en m^3/h
- Q_f = Caudal de alimentación en m^3/h
- Q_c = Caudal de concentrado o rechazo en m^3/h

6. Factor de concentración: está relacionado con el factor de conversión ya que de él depende la concentración en la salmuera y queda definido como $\rightarrow FC = \frac{1}{1-y}$; donde:

- FC= Factor de concentración.
- y= Factor de conversión en tanto por uno.

Como se puede observar, el factor de concentración depende del de conversión, por lo tanto, se puede concluir que, la salinidad en la salida, será 4 veces mayor a la de entrada.

7. Factor de rechazo: representa la calidad del permeado, es decir la eficiencia del sistema y se define como $\rightarrow R = (C_f - C_p)/(C_f)$; donde:

- R= Rechazo de sales. Se trata de la capacidad de una o varias membranas, dependiendo del tipo de sistema empleado.
- C_f =Concentración de sales en la alimentación en kg/m^3
- C_p =Concentración de sales en el permeado en kg/m^3

8. Factor de paso de sales: depende del factor de rechazo y se define como $\rightarrow SP(\%) = 100 - R$

Cabe destacar que estas ecuaciones no son suficientes para entender el proceso, ya que también es necesario definir otros parámetros, como por ejemplo:

1. Caudal: en una instalación que funciona mediante Osmosis Inversa existen tres corrientes, una de alimentación (se trata de aquel volumen que entra al sistema) que tras pasar por la membrana se ramifica en las de permeado (se trata de aquel volumen que pasa por la membrana) y de concentrado (se trata de aquel volumen que sale expulsado por la membrana), se evalúa en m^3/h o GPM (galones por minuto).
2. Caída de presión: como indica la palabra se trata del análisis realizado en el sistema, durante un tiempo de ejercicio x, donde se tienen en cuenta, el caudal de entrada (de alimentación) y el caudal de salida (concentrado) y sus respectivas presiones antes y después de pasar por la membrana, queda definido $\rightarrow dp = P_a - P_c$; donde:
 - dp= caída de presión.
 - P_a = Presión de alimentación.
 - P_c =Presión de concentrado.

3. Presión en la transmembra: se trata de aquella diferencia de presión que existe en la membrana entre el lado de entrada (alimentación) y el de salida (permeado), se define \rightarrow

$TMP = \frac{P_a - P_c}{2} - P_p$; donde:

- P_p =Presión del permeado.
- P_c = Presión del concentrado.
- P_a = Presión de alimentación.

2.7. Pretratamientos necesarios.

El objetivo del pretratamiento es garantizar que el proceso de desalinización se pueda llevar a cabo, sin dañar rápidamente las membranas y consecuentemente no tener que sobredimensionar el sistema.

Para ello se tiene que adecuar las características fisicoquímicas del agua realizando las siguientes acciones:

- Eliminación de los sólidos de mayor tamaño.
- Desinfección a través del empleo de hipoclorito sódico.
- Acidificación donde se emplea ácido sulfúrico para conseguir una reducción de los valores del pH (consiguiendo un valor entre 5-6) para que se haga más efectiva la desinfección.
- Coagulación a través del empleo de cloruro férrico para la agrupación de partículas coloidales (partículas de un diámetro muy bajo, responsables de la turbidez y del color del agua) y su consecuente sedimentación.
- Filtración.
- Decoración, donde se elimina el hipoclorito sódico, añadido previamente en el proceso de desinfección.
- Antiincrustante, se emplean HMP (hexametrafosfatos) y polifosfatos para eliminar las sales residuales.
- Microfiltración, realizada a través de membranas de 5 micras.

El proceso queda así simplificado:

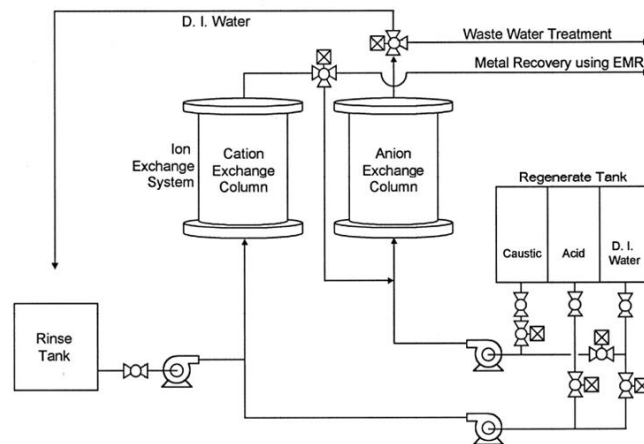


Figura 11: Esquema Pretratamientos empleados en la Osmosis Inversa.

Fuente: ESIDIN.

2.8. Pretratamientos necesarios.

El pretratamiento representa una de las funciones principales para el correcto funcionamiento de cualquier desaladora, en particular de una de ósmosis inversa; la necesidad y la cantidad de etapas de pretratamientos necesarias, dependes exclusivamente de la calidad agua, ya que un control nulo de esta, puede llevar a una degradación total de la membrana, que se traduce en una caída de rendimiento del sistema. Para ello se tiene que llevar un análisis continuo del

agua que entra al sistema de alimentación; cabe destacar que, como se ha explicado anteriormente, el número de etapas necesarias para llegar al estado deseado del agua, antes de la separación, depende de la ubicación de la toma.

Para ello lo que se va a analizar, de forma genérica, son los procesos de purificación del agua (mediante cloración y dechloración del agua) y los procesos necesarios para evitar que la membrana pueda incrustarse.

Antes de analizar cada uno de estos procesos, es necesario describir los siguientes parámetros:

- **SDI:** Se trata del índice de colmatación y permite medir, a través de una prueba, el ensuciamiento potencial en la instalación; para ello se emplea un filtro de las mismas dimensiones que la membrana y una presión de alimentación constante; la prueba empieza midiendo primero el tiempo inicial (t_i) que tarda el agua de alimentación en recolectar medio litro de permeado, pasando por el filtro, luego se vuelve a realizar la prueba durante 15 minutos (T) y finalmente se vuelve a medir el tiempo necesario para conseguir 500 mL de permeado (t_f).

El parámetro queda por lo tanto así definido: $SDI = (1 - \left(\frac{t_i}{t_f}\right)) * \left(\frac{100}{T}\right)$.

Típicamente este tiene que ser menor de 3 (típicamente requerido), aunque un valor menor de 5 se considera idóneo.

- **Turbidez:** Se trata de lo que podemos experimentar durante un baño en el mar, cuando tras entrar en el agua con el fondo arenoso, al movernos, el agua pierde claridad; eso se debe a las partículas de arena (y otras no perceptibles al ojo humano) que se encuentran en suspensión. Durante el proceso de ósmosis inversa se verifica el mismo fenómeno, sólo que se incluyen también organismos microscópicos, la materia inorgánica y el plancton presente en la fuente de alimentación. El parámetro de control para la turbidez se conoce como NTU y se recomienda, para un proceso de ósmosis inversa, que sea menor que 0.5.
- **TDS:** Como explicado anteriormente este parámetro mide la salinidad del agua, aunque sirve también para clasificar el agua de alimentación.
- **Conductividad:** Permite medir la salinidad del agua de forma indirecta.
- **LSI:** Se trata del índice de saturación de Langelier y permita evaluar la tendencia a la corrosión por parte del agua, basándose en su pH, para ello:

$$LSI = p_H - p_{Hs}$$

Si $LSI = 0$ entonces existe un equilibrio químico y por lo tanto no son necesarias acciones correctivas, mientras que, si $LSI > 0$ o $LSI < 0$, se podría verificar incrustación (en el primer caso) y una situación de agua corrosiva (en el segundo caso).

Cabe destacar que este parámetro no es efectivo superada una concentración de TDS = 4000, sin embargo para una desaladora se tiene un TDS mucho mayor, para ello se introduce el parámetro SDSI, que es el equivalente.

2.8.1. Ensuciamiento biológico (cloración y dechloración del agua).

Las membranas representan la última frontera antes de conseguir el resultado deseado, sin embargo, durante su funcionamiento, litros de agua la golpean de forma continua, permitiendo la creación de una película de celulosa, compuesta por algas, bacterias etc. Estás en conjunto generan una caída de las prestaciones en el caudal, en el rechazo de sales y finalmente en una caída de las presiones, para ello se emplean algunos aditivos químicos (oxidantes) como el cloro, que, a pesar de poder eliminar los organismos biológicos presentes en el agua, también puede dañar de forma irreversible la misma membrana. Por esta razón, si se realiza cualquier tipo de proceso de limpieza basado sobre oxidantes, es necesario realizar un proceso de dechloración (añadiendo bisulfito sódico) antes de que el flujo entre en contacto con las membranas.

2.8.2. Incrustación.

Se trata de la aglomeración de las sales presentes en gran cantidad en la parte de rechazo de la membrana, es decir en el concentrado; esto disminuye la presión y disminuye el rechazo de sales.

Para prevenir la formación de estas, se suelen emplear ácidos/desincrustantes en las zonas de interés, para hacer bajar los valores de SDSI o LSI.

Resumiendo, se puede decir que tanto el fenómeno de ensuciamiento biológico, así como el de incrustación se pueden dividir en:

- Materiales que modifican la estructura química del filtro de separación (membrana).
- Materiales que bloquean o impiden de forma física, el correcto paso del flujo de alimentación.

Para conseguir los resultados deseados, independientemente de la calidad del agua, se tienen que añadir o repetir más fases para la misma etapa del proceso, esto se traduce en un aumento de los costes.

2.8.3. Parámetros de agua potable.

PARAMETROS	VALORES ACEPTABLE SEGÚN Real Decreto 140/2003 y/o OMS.
Color.	Se recomiendan valores de Pt/Co (platino-cobalto) por debajo de 15 mg/L, superior a 30 mg/L no es apta para el consumo.
Turbidez.	Se recomiendan valores por debajo de 5 UNF (unidad nefelométrica de turbidez), más de 6 UNF no resulta ser apta.
Olor y Sabor.	Deben presentar una concentración máxima de 3 diluciones a 25 grados Centígrados.

Conductividad.	Se permite un máximo de $2500 \mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$ a 20 grados Centígrados .
pH.	Se permiten valores mínimos de 6,5 y máximos de 9,5.
Amonio.	Se especifica un máximo de 0,5 mg/L de amonio.
Bacterias Coliformes y Escherichia Coli.	No puede presentar bacterias.

*Tabla 2: Parámetros de agua potable, frente a valores aceptables.
Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se explican cada uno de estos parámetros:

1. **Color:** el agua es un líquido transparente, por lo tanto, es posible identificar una contaminación si esto se ve alterado.
Es frecuente que el color se vea producido por parte de un material suspendido, en ese caso se denomina color aparente, mientras que, si incluso después de haber eliminado el material suspendido se sigue teniendo una coloración, entonces se define color real.
2. **Turbidez:** el agua no puede absorber luz, por lo tanto, cualquier tipo de turbidez indica la presencia de un agente contaminante, ya sean materiales suspendidos, disueltos o de origen microbiano.
3. **Olor y Sabor:** el agua pura no tiene ni olor ni sabor, pero puede verificarse el caso en el que esto no sea así, suele verificarse por causas artificiales o naturales; las artificiales son más frecuentes e inocuas pues son debidas a agentes de eliminación de contaminante como el cloro, mientras que las naturales, indican la presencia de impurezas en el agua que pueden generar toxicidad.
4. **Conductividad:** el agua de mar es un millón de veces más conductiva que el agua dulce, esto se debe a las sales disueltas, sin embargo, también el agua dulce puede serlo (en menor magnitud) debido a la presencia de metales o compuestos inorgánicos.
5. **pH:-** determina la concentración de iones de hidrógeno en el agua, donde el mínimo es 0 (solución ácida) y el máximo es 14 (solución alcalina) y el 7 indica una solución neutra.
Cabe destacar que el agua se considera apta para el consumo, aunque su pH no sea exactamente de 7 ya que se permite una ligera oscilación por encima y por debajo de este valor, como se ha presentado en la tabla anterior.
6. **Amonio:** el amonio puede presentarse en el agua de forma natural ya que proviene de la descomposición previa de materia orgánica.
7. **Bacterias Coliformes y Escherichia Coli:** representan el enemigo de la salud pública ya que ponen en riesgo la salud del ciudadano, por esta razón, no está permitida su presencia.

2.9. Postratamientos necesarios.

El proceso de postratamiento representa aquellas modificaciones químicas que se tienen que aportar al agua para que sea apta final para su uso final, entre ellas destacan:

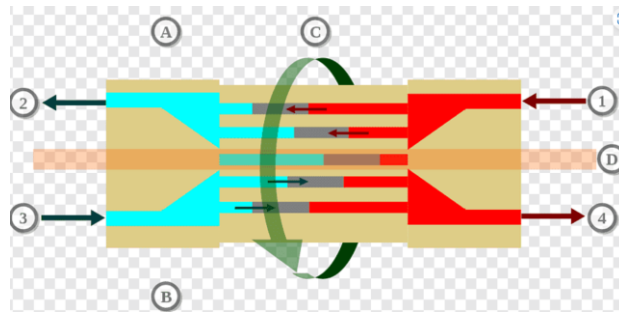
- **Ajuste del pH:**
Debido a las fases de pretratamiento y de separación, el pH es muy bajo (valores menores de 6.5), esto hace que el fluido sea muy agresivo, para ello se realizan las tareas de dosificación o mediante empleo de eliminadores de carbono para incrementar su valor.
- **Deionización:**
Dependiendo del uso que se quiere hacer del agua, se pueden emplear resinas para eliminar los iones del agua.
- **Remineralización:**
Tras el pretratamiento es probable que el permeado salga con una baja cantidad de sales minerales y para ello se puede:
 1. Mezclar el producto obtenido con otras aguas (opción no viable si se pretende desalar agua de mar).
 2. Mediante dosificación de componentes químicos.
- **Esterilización:**
Se trata del último paso antes de que el agua llegue al consumidor; esta se almacena en depósitos para su almacenaje, pero puede pasar que esta se contamine, para evitarlo, la normativa prevé que esta se esterilice, mediante cloración, ozonización o radiación ultravioleta.

2.10. Máquinas para la recuperación de la energía.

El proceso de ósmosis inversa, independientemente del porcentaje de permeado que se quiere obtener, se puede resumir en:

1. Alimentación.
2. Separación por membrana.
3. Agua producto (permeado).
4. Agua concentrada.

Si se analiza el punto 4 (agua concentrada), se puede observar que el agua sale a elevada presión y como en las centrales hidráulicas, esta diferencia se puede aprovechar bajo forma de retorno energético, para proporcionar energía a la bomba de alimentación. Para ello existen unos equipos, denominados ERD (Energy Recovery Device) como las turbinas Pelton o Francis, el sistema turbocharger y los intercambiadores de presión.



*Figura 12: Esquema Recuperador Energético.
Fuente: MIXFLOW.*

2.10.1. Introducción a las turbinas.

Las turbinas son los elementos principales de una central hidráulica y dependiendo de las necesidades, como salto y caudal se pueden emplear unas u otras; existen dos familias de turbinas:

1. Turbinas de acción o impulso → Emplean solo la velocidad del agua y por lo tanto la velocidad del agua, trabajan exclusivamente a presión atmosférica.
2. Turbinas de reacción → Emplean tanto la velocidad del agua como la presión que resta la turbina a la corriente en el instante del impacto. Trabajan con depresión.

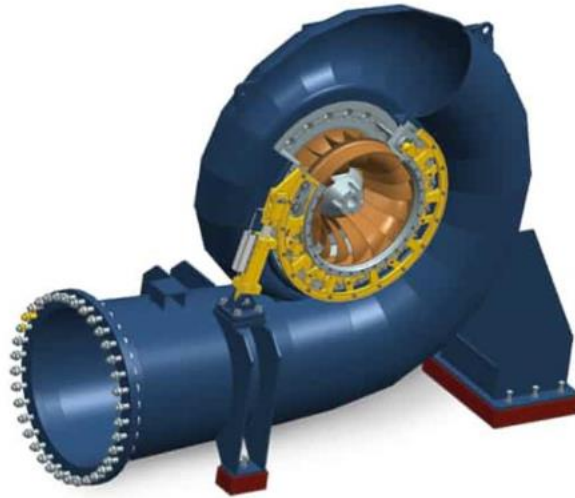
2.10.2. Turbina Francis.

Esta turbina consta de 3 rodetes que actúan dependiendo de la necesidad del generador y de los álabes que tienen una dirección variable.

El funcionamiento se basa sobre la entrada del agua que es espiral y se mantiene hasta que impacte contra los álabes, disminuyendo así la sección de agua y aumentando la velocidad; el agua pierde energía tras el impacto y caen en la toma de descarga perdiendo presión

Debido al avance tecnológico alcanzado, este sistema es el menos empleado hoy en día, ya que tiene un rendimiento muy bajo. Su funcionamiento se basaba en una bomba invertida movida por el flujo de concentrado que alimentaba un motor (fuente adicional de energía para la bomba de alimentación).

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



*Figura 13: Representación gráfica Turbina Francis.
Fuente: FLOVEL Energy.*

2.10.3. Turbina Pelton.

Es una turbina de acción compuesta por una rueda y unas cucharas (de 4 a 6), posee una inyección de agua que permite hacer entrar más o menos agua y una puerta mecánica que se puede cerrar en caso de emergencia.

El agua entra con un grado de incisión perpendicular a las cucharas del rodete y esto permite que su rendimiento sea superior al 90%.

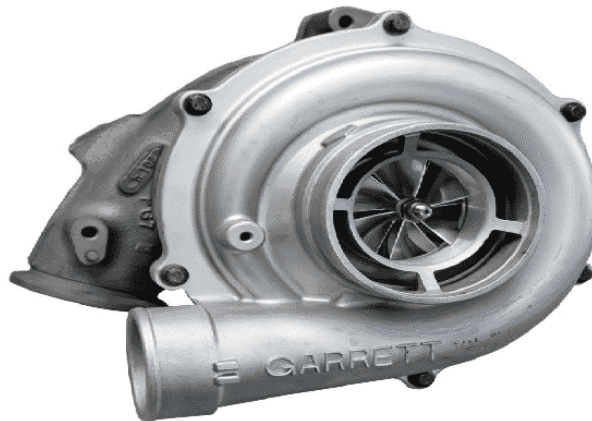
Su utilidad dentro del proceso de ósmosis inversa se basa en la transformación de la energía generada por la presión del concentrado y que pasa a ser energía cinética, gracias al movimiento de los álabes.



*Figura 14: Representación grafica Turbina Pelton.
Fuente: Ghiggia.*

2.10.4. Tecnología Turbocharger.

Se trata de un sistema compuesto por bomba y turbina, que en los sistemas de ósmosis inversa se ubica entre la alimentación y las membranas, esta configuración permite eliminar la necesidad de un motor eléctrico de accionamiento para la bomba, ya que la energía está proporcionada por parte de la turbina.



*Figura 15: Representación gráfica tecnología Turbocharger.
Fuente: SPA TURBO SPA.*

2.10.5. Tecnología de los intercambiadores de presión isobáricos.

En este sistema se introducen en la cámara de intercambio, tanto el agua de concentrado como una parte de agua de alimentación, de tal forma que, la primera entra a alta presión transfiriendo a la segunda (baja presión) consiguiendo así una entrada en la bomba ya a alta presión. Para conseguirlo se puede optar para un diseño basado en:

- Desplazamiento positivo: consiste en introducir en la cámara los dos fluidos para conseguir así la transferencia de presión al agua de alimentación.
- Desplazamiento rotativo: consiste en un rotor que a través de unos canales abiertos permite el paso de la corriente del fluido, este sistema permite alcanzar un rendimiento mayor del 90%, aunque necesita una bomba adicional conocida como booster para aumentar la presión en la fase de alimentación.

2.11. Introducción a las bombas.

Las bombas son equipos hidráulicos que operan con la energía mecánica que reciben por un motor y la transmiten al líquido que pasa por ellas.

Se emplean para subir fluidos desde un nivel inferior hasta un nivel superior proporcionando un "empuje".

Las bombas se pueden clasificar en dos grupos, las que pertenecen al moto rotatorio y aquellas que pertenecen al moto alternativo.

- Bombas cinéticas: en esta, gracias a la acción de fuerzas centrífugas, el líquido incrementa su energía cinética que se transforma en energía de presión.

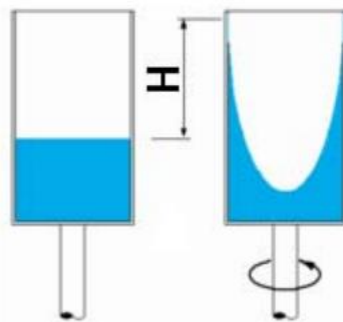
El caudal proporcionado depende de la altura; a esta categoría pertenecen las bombas centrífugas, que son las más comunes y las que se van a emplear en este proyecto.

- Bombas volumétricas: son aquellas encargadas de desplazar grandes volúmenes de líquido para cada ciclo de funcionamiento. Pueden ser tanto alternativas como rotativas. La principal diferencia con las cinéticas es que su caudal no depende de la altura, sino del número de ciclos realizados en la unidad de tiempo.

- Bombas especiales: son aquellas que satisfacen necesidades especiales y no se pueden incluir en las categorías anteriores.

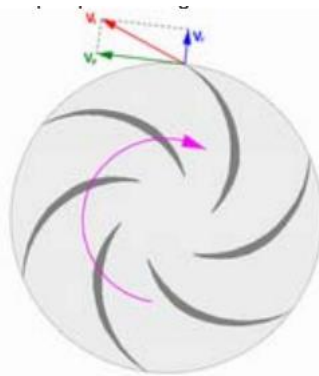
Las bombas centrífugas, como dicho anteriormente, son las más empleada tanto para ámbitos industriales como civiles.

El funcionamiento se puede entender observando la figura 16, el líquido contenido en el cilindro, si este se hace girar sobre sí mismo, hará que el fluido modifique su forma, llegando a obtener una parábola; esto se debe a que la aceleración centrífuga es proporcional al cuadrado del radio de rotación y a la velocidad angular.



*Figura 16: Aceleración líquido en una bomba centrífuga.
Fuente: Grundfods.*

El fluido contenido en el interior del cuerpo está puesto en rotación por un rodete o impulsor, el cual se representa en la figura 17.



*Figura 17: Esquema rodete bomba.
Fuente: Grundfods.*

El alabe gira alrededor del eje con una velocidad periférica V_p y el fluido sale en la extremidad del alabe, con una velocidad V_t .

La composición de las velocidades vectoriales permite definir el caudal y la altura.

A nivel mecánico el cuerpo de la bomba está constituido por una sección creciente, de tal forma que, la componente cinética se transforma en estática, aumentando la altura alcanzable; se componen por:

- Distribuidor: elemento fijo donde se tiene la entrada, en dirección axial, del líquido a bombear y su relativo envío al impulsor.
 - Difusor: elemento fijo que transforma la energía cinética acumulado por el líquido en energía de presión, enviando el líquido, en dirección radial, hacia la conducción de salida.
 - Impulsor: se trata de un elemento móvil, con forma y perfiles diferentes, ubicado en el mástil del motor, por el cual recibe la energía a transferir al líquido.
- El impulsor es el elemento principal de la bomba, constituido por una serie de alabes, cuya corvadura tiene que ser específica dependiendo de las necesidades a satisfacer.

Las bombas centrífugas, cuando se tiene la necesidad de alcanzar elevadas alturas, consiguiendo que los valores del caudal sigan siendo elevados, se emplean bombas con multi-impulsores.

En estas, un determinado número de impulsores están conectados con el mismo mástil, la geometría interna obliga el líquido en salida de un alabe a entrar en el siguiente.

La bomba funciona así como diferentes bombas en serie, pero consiguiendo ser más compacta.

Para este proyecto puede que sea necesario el empleo de una bomba sumergida, cuyo motor eléctrico (empleado para el funcionamiento del impulsor) se encuentra en un contenedor hermético.

Esta bombas por lo tanto, se pueden instalar por debajo del nivel del líquido y se suelen emplear para bombear el líquido desde pozos o similares.

Debido al amplio rango de empleo de estos equipos, es frecuente encontrarlos en sectores petroquímicos para el desplazamiento de sustancias químicas, agua u otros. En conclusión se puede decir que la entrada del líquido en la bomba tiene que verificarse sin que genere colisiones, así como la salida del líquido en la bomba se tiene que realizar con la menor velocidad posible.

2.11.1 Características de una bomba centrífuga.

Como se ha mencionado anteriormente, la bomba transfiere al líquido una energía equivalente a una altura o presión, que se suma a la energía que el líquido ya tenía en la entrada. Por ejemplo, si una bomba transfiere una velocidad equivalente a una altura de veinte (20) metros y el líquido llega a la bomba con una presión de diez (10) metros, la altura total en la salida de la bomba sería de treinta (30) metros.

Por esta razón, cuando se requiere elevar a una gran altura, se pueden instalar varias bombas en serie, de manera que la salida de una bomba sea la entrada de la siguiente. De esta manera, la altura total alcanzada será la suma de las alturas de todas las bombas.

Para cada régimen de velocidad, es decir, para cada número de revoluciones, existe una relación entre:

1. El caudal proporcionado por la bomba.
2. La altura a la que se eleva el líquido.
3. La potencia absorbida por la bomba.

A partir del gráfico proporcionado por el fabricante, podemos determinar fácilmente el caudal correspondiente a cualquier altura y viceversa. La intersección de la curva con el eje de las ordenadas representa la presión alcanzada dentro de la bomba cuando la válvula de regulación está cerrada.

Al analizar la curva (QH) y la potencia absorbida, es posible determinar la eficiencia de la bomba utilizando la fórmula $Q_h = \frac{Q*H}{75*P}$. En esta ecuación:

- P representa la potencia en caballos de vapor (CV).
- Q es el caudal en litros por segundo.
- H indica la altura en metros.
- el peso específico del líquido transportado en kilogramos por decímetro cúbico (kg/dm^3).

Es importante destacar que, en los catálogos, los caudales suelen mostrarse en metros cúbicos por hora, mientras que las alturas se expresan en metros.

2.11.2. Cálculo de un sistema de bombeo.

El objetivo consiste en determinar los diámetros de las tuberías y seleccionar el tipo de bomba con su respectivo rodete para elevar el caudal de agua requerido desde un punto hasta el depósito, asegurando la energía de presión necesaria y evitando la cavitación.

Para evaluar los diámetros de las tuberías se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Limitar las pérdidas de carga provocadas por la fricción en las paredes internas de las tuberías.
- El diámetro seleccionado debe permitir que el agua alcance velocidades internas adecuadas:
- Fase de aspiración: 1,8 m/s.
- Fase de impulsión: 2,5 m/s. Si estas condiciones no se cumplen, pueden surgir problemas de sedimentación (velocidades inferiores a 0,5 m/s) o problemas de abrasión (velocidades superiores a 5 m/s).

La ecuación que relaciona la velocidad con el caudal es: $v = 354 * \left(\frac{Q}{D^2}\right)$

El fenómeno de la cavitación, conocido como NPSH (altura neta positiva de aspiración), es un parámetro que describe la diferencia entre la presión del líquido en el eje del impulsor y su presión de vapor a la temperatura de bombeo. Es un efecto hidrodinámico en el cual puede formarse vapor dentro del agua u otro fluido, causando daños graves al equipo. Para evitarlo, se debe diseñar el sistema considerando dos tipos de NPSH:

- NPSHd (disponible): es un parámetro específico de cada instalación y no depende de la bomba utilizada.
- NPSHr (requerido): es un parámetro propio de la bomba instalada y se proporciona por parte del fabricante.

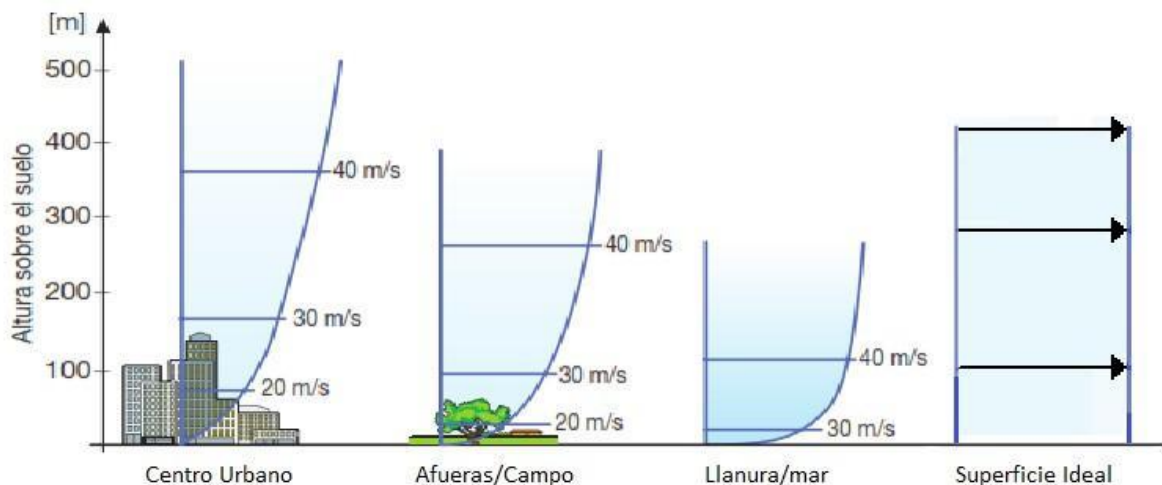
Capítulo 3. INTRODUCCIÓN TEÓRICA A LOS PRINCIPIOS EÓLICOS

Para alcanzar un mayor grado de conocimiento sobre la generación de otros tipos de energía a partir de la energía eólica es necesario tener en consideración los siguientes aspectos. Éstos facilitarán la proposición de ideas, así como determinarán el diseño y la disposición de cada uno de los elementos que componen la planta eólica.

3.1 Circulación del viento

Es cierto que el medio terrestre presenta obstáculos naturales, como árboles, terrenos montañosos y valles, así como obstáculos construidos por el ser humano, como edificios, que afectan la circulación del viento y reducen su velocidad. Estos obstáculos crean resistencia al viento y pueden alterar su dirección y fuerza. Por lo tanto, es importante tener en cuenta estos factores al analizar el flujo del viento y sus efectos en diversas actividades, como la generación de energía eólica.

En consecuencia y persiguiendo el objetivo de la mayor generación posible de energía eólica, los aerogeneradores de la planta deberán situarse a elevadas alturas. Además, el recurso eólico se ve afectado por el tipo de suelo donde se encuentre posicionada la planta. Así, debemos tener en consideración el denominado coeficiente de rugosidad del terreno, cuyos valores oscilan de 0,1 en superficies lisas (como el mar) a 0,27 en aquellas zonas cercanas a ciudades.



*Figura 18: Circulación de viento en función de la altura sobre el suelo.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.*

Además, es crucial considerar la dirección del viento, ya que los aerogeneradores deben recibirlo de manera perpendicular para evitar cargas estructurales no deseadas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que una vez que el recurso eólico ha sido aprovechado por los aerogeneradores, se generan fenómenos de turbulencia que pueden alterar la dirección del viento, lo que puede tener un impacto significativo en otras instalaciones.

Estos eventos de turbulencia pueden poner en riesgo los perfiles aerodinámicos de los aerogeneradores, lo que resulta en posibles daños y una disminución en la vida útil de los equipos. Por lo tanto, es fundamental estudiar y tener en cuenta estos efectos de la turbulencia al diseñar y operar plantas de energía eólica, implementando medidas adecuadas para minimizar los impactos negativos y garantizar el rendimiento óptimo de los aerogeneradores.

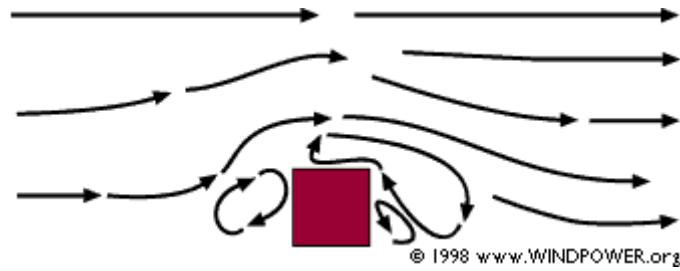


Figura 19: Fenómeno de turbulencia.

Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.

3.2 Variaciones verticales del viento, coeficientes de potencia y coeficiente de empuje

La variación vertical del viento es la variación de la velocidad con respecto a la tipología de terreno y pone en relación las velocidades del viento medidas a dos alturas diferentes. Dicha relación es observable en la siguiente ecuación:

$$\frac{U(z_1)}{U(z_2)} = \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^\alpha$$

Donde el término U hace referencia a la velocidad de viento, z se refiere a la altura y representa un coeficiente de valor 0,2.

El coeficiente de potencia útil no depende solo de la potencia eólica sino también de las características del equipo. Dicho coeficiente tiene en cuenta la gráfica de Betz, que analiza todos los equipos y los rendimientos que estos tienen con respecto al número de palas que los componen.

El límite de Betz es igual a 0,59 y actualmente los únicos equipos que permiten acercarse a dichos valores son los que presentan tres y dos palas.

Gracias al coeficiente de potencia se puede evaluar la potencia real lograda por el aerogenerador.

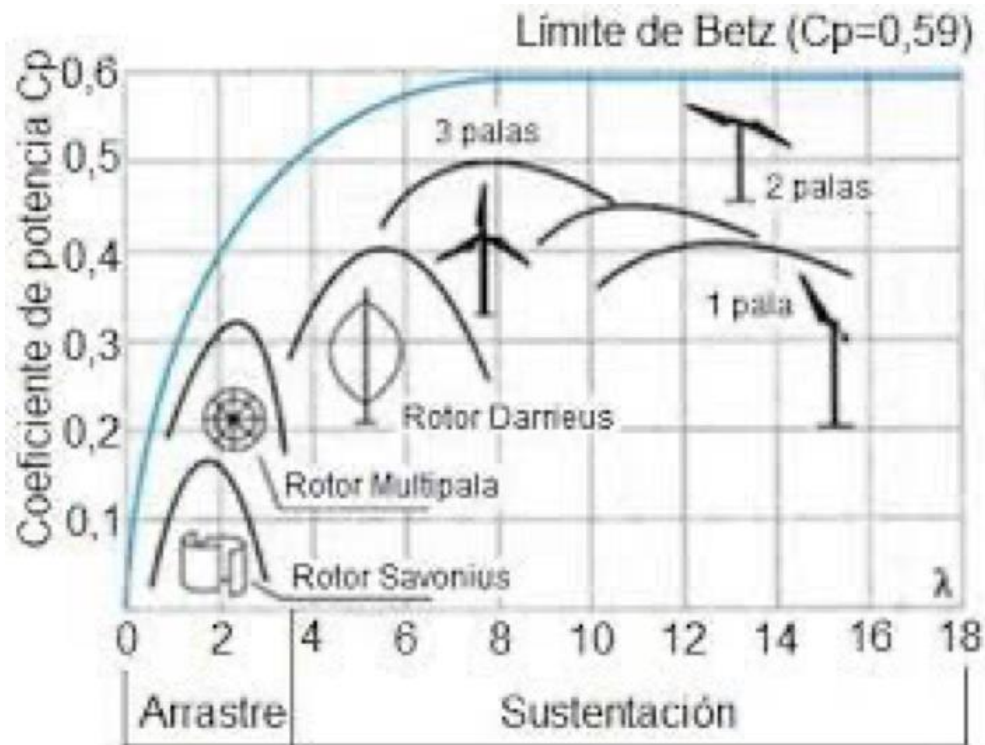


Figura 20: Límite de Betz y coeficiente de potencia.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.

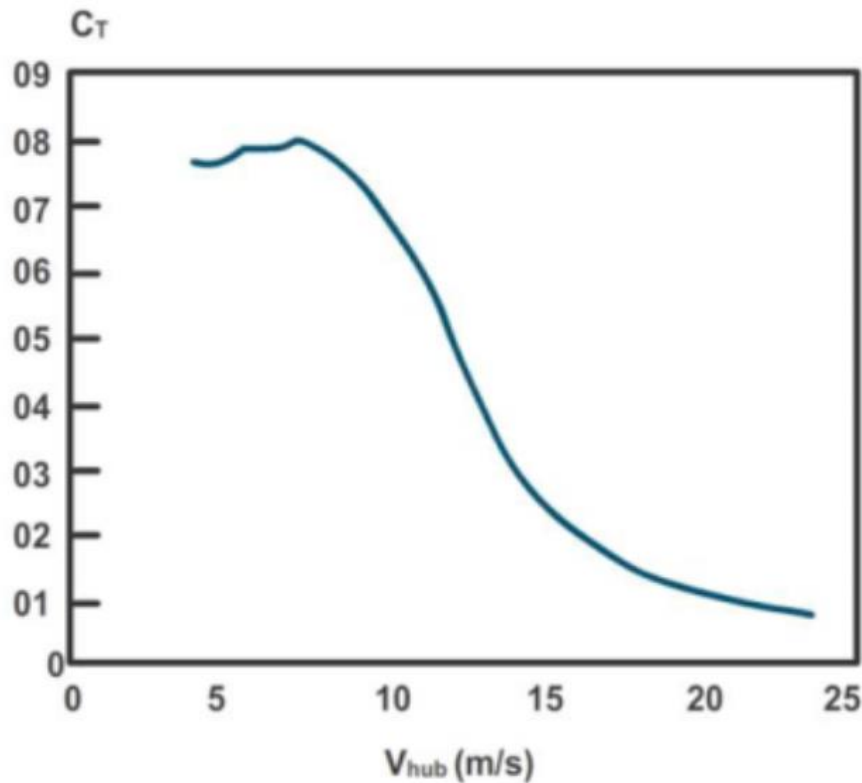
$$P_a = C_p * \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * A * v^3$$

donde C_p es el denominado “factor de potencia” de cada equipo, conocido también como límite de Betz, ρ es la densidad de viento (variable en función de la presión y temperatura), A es el área de barrido de aerogenerador y v hace referencia a la velocidad del viento (registrada en el buje).

El coeficiente de empuje se basa en que la fuerza del viento que actúa sobre el aerogenerador es igual y en sentido contrario a la que el aerogenerador ejerce sobre dicha fuerza. Cuanta más resistencia se genera, mayor será el área de turbulencia y se expresa como CT :

$$CT = \frac{F}{\frac{1}{2}} * \rho * v^2 * \left(\frac{\pi * D^2}{4}\right)$$

donde F corresponde a la fuerza del viento, ρ a la densidad de este, v la velocidad y D el diámetro del rotor.



*Figura 21: Gráfico de coeficiente de empuje.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.*

3.3 Variaciones temporales del viento, criterios de selección y caracterización del viento

3.3.1 Variaciones temporales del viento

Las variaciones temporales del viento son la turbulencia y la rafagosidad:

- **Turbulencia:** Se trata de un factor negativo pues dificulta el aprovechamiento del viento, debido a su heterogeneidad, provocando el desgaste de las palas de forma más rápida debido a la fatiga que los materiales sufren a nivel estructural. Se trata de variaciones temporales de 10 minutos y que pueden captarse a una altura de hasta 10 metros.

Producen cargas estructurales y cambios de potencia. Se suelen controlar con bastante frecuencia y es aconsejable que dicho factor no supere el 30%, pues la localización de implantación sería equivocada.

- Rafagosidad : posee un carácter más peligroso que la turbulencia ya que se caracteriza por variaciones repentinas de potencia, lo que desgasta de manera más rápida los equipos.

3.3.2 Criterios de selección

Los criterios de selección para la ubicación de un campo eólico son varios y resultan ser todos fundamentales ya que pueden hacer variar la producción anual de energía y son los siguientes:

- Velocidad media: lo más elevada posible.
- Variación de la velocidad media: lo más baja posible.
- Niveles de turbulencia: lo más bajos posible.

Para poder encontrar estos datos, se puede realizar un análisis del viento de diferentes formas:

- Virtualmente: a partir de datos almacenados durante años por medio del uso de satélites cuyo error de medida oscila entre valores de 5% y 10%.
- Basándose en el terreno: la ubicación de un medidor de viento a la altura del buje permite medir los valores durante un intervalo de tiempo. El principal inconveniente de esta técnica es que requiere mucho tiempo para la toma de datos.

La ubicación dependerá de los siguientes parámetros:

- Accesibilidad sencilla.
- Poca vegetación y obstáculos.
- Respeto al medio ambiente.

3.3.3 Caracterización del viento

Los componentes que definen las características del viento están determinados por la ubicación de la planta y desempeñan un papel crucial, como se mencionó anteriormente. A continuación, se presentan estos elementos de manera detallada:

- Velocidad: Media, máxima y mínima.

- Rugosidad del terreno
- Fenómenos de turbulencias: Los intervalos en los que se verifican.
- Dirección del viento: Se emplea el uso de una rosa de los vientos.
- Densidad del aire: Dada por presión y temperatura.
- Rafagosidad: Los valores máximos.

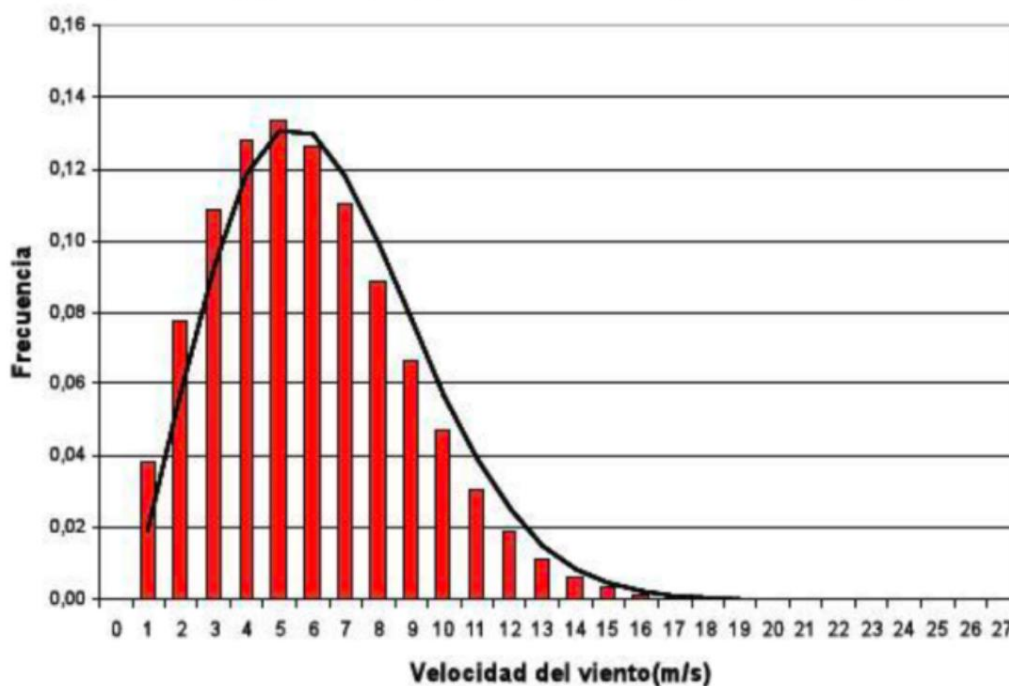
3.4 Distribución de Weibull y estimación de la energía producida

3.4.1 Distribución de Weibull

Se trata de una curva de duración que permite determinar la distribución de la velocidad del viento. Suele ser asimétrica debido a que es muy común obtener variaciones inferiores a la velocidad media. La fórmula para su diseño es la siguiente:

$$P(v) = \left(\frac{k}{c}\right) * \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * \exp\left(-\frac{v}{c}\right)^k$$

donde k es una constante de valor 2, corresponde al parámetro de escala y v hace referencia a la velocidad media del viento.



*Figura 22: Distribución de Weibull.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.*

3.4.2 Estimación de la energía producida.

Existe un enfoque estático para estimar la producción de energía, que implica combinar la curva de probabilidad del viento en un intervalo de tiempo específico (utilizando el modelo Weibull) con la curva de potencia. Este método permite calcular la energía generada en kilovatios-hora por año.

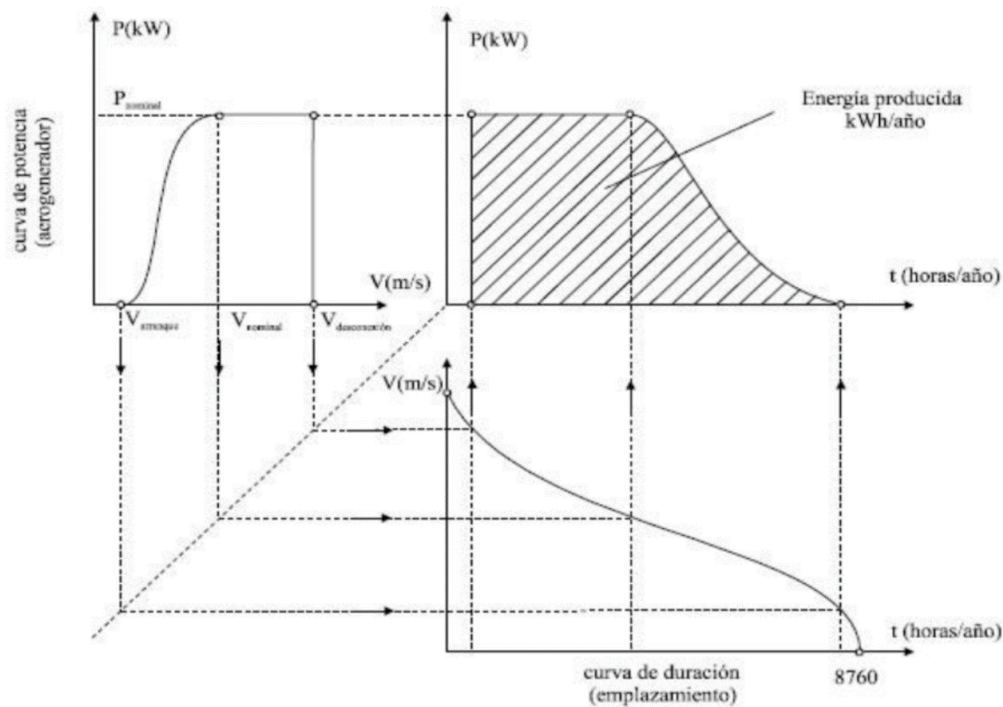


Figura 23: Estimación de energía producida a partir de curva de duración y curva de potencia.

Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.

Una forma para poder calcular la energía producida anualmente es utilizar el factor de capacidad, denominado FC, que nos dará un porcentaje:

$$FC = \frac{E(kWh)}{P_n(kW)} * 8760(h)$$

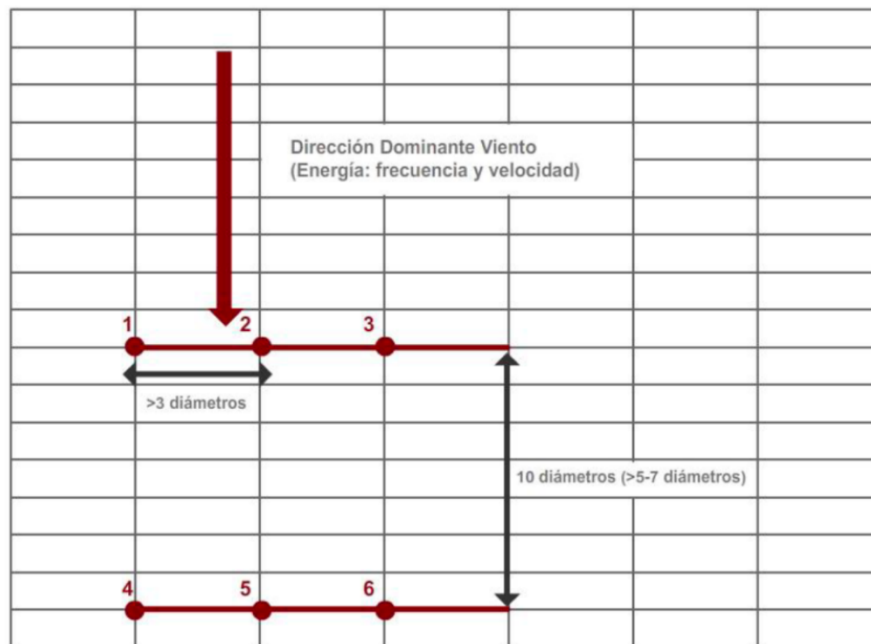
donde E corresponde a la energía, P_n hace referencia a la potencia de aerogenerador que se multiplica por un el número de horas anuales (equivalente a 8.760 horas).

3.5 Criterios de implantación de aerogeneradores y clasificación.

3.5.1 Criterios de implantación

Es fundamental tener en cuenta los criterios de ubicación al seleccionar un sitio de implantación que cumpla con los requisitos necesarios. Sin embargo, es importante garantizar que el viento que sale de un aerogenerador no afecte la entrada del siguiente, por lo que se requiere una separación adecuada entre ellos. La distancia necesaria dependerá de si las torres están dispuestas en serie o en paralelo.

- Serie: distancia de 5/7 veces el diámetro.
- Paralelo: distancia de 3 veces el diámetro.



*Figura 24: Criterios de implantación de aerogeneradores.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.*

3.5.2 Clasificación de los aerogeneradores.

Existen tres tipos de aerogeneradores elegidos en base a la velocidad media: I , II , III ; y en base a la turbulencia: A, B , C. Las diferencias entre los distintos tipos de aerogeneradores se encuentran recogidos en la figura 25:

Clase de aerogenerador	I	II	III	S
V_{ref} (m/s)	50	42,5	37,5	
A $I_{ref(-)}$		0,16		valores especificados por el diseñador
B $I_{ref(-)}$		0,14		
C $I_{ref(-)}$		0,12		

Figura 25: Tipologías de aerogeneradores en base a clase y turbulencia.

Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.

3.6 Descripción del rotor.

El rotor está compuesto por las palas que se encuentran ubicadas en el buje y su principal objetivo es transformar la energía cinética en energía mecánica.



Figura 26: Estructura interna del rotor de un aerogenerador

Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.

Los rotores se encuentran dentro del cilindro y pueden ser horizontales o verticales.

- Los rotores verticales tienen la ventaja que este se encuentra en la parte baja de la torre y por lo tanto es más sencillo realizar operaciones de mantenimiento.



Figura 27: Tipologías de rotores.

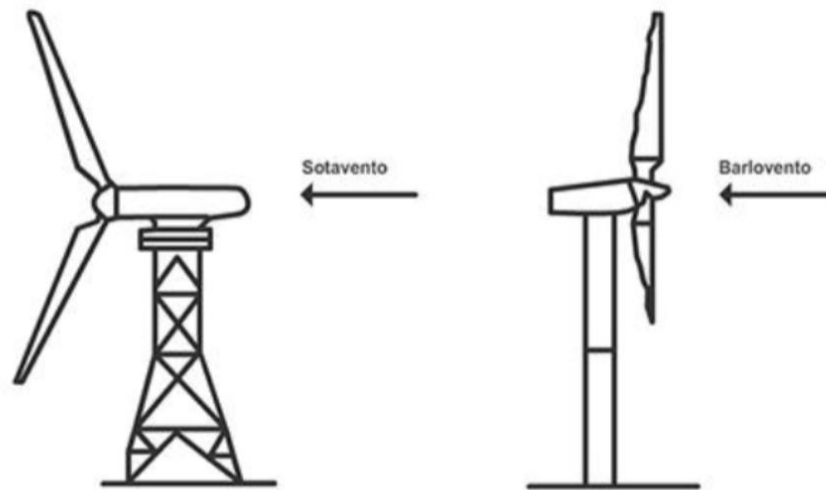
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.

- Los rotores horizontales se dividen en dos tipologías: La denominada tipo eólica y el tipo multipala.
 - Los rotores tipo eólico se pueden encontrar con disposición a barlovento. Esto implica una recepción del viento de cara al buje, sin generación de zonas de sombra y necesitando regulaciones ya que su funcionamiento depende de la perpendicularidad de la dirección del viento.

Los aerogeneradores de tipo eólico con disposición a sotavento experimentan el viento desde atrás del buje, lo que significa que no requieren sistemas de orientación. Sin embargo, esta disposición conlleva algunos aspectos negativos, como un mayor desgaste de las palas y la generación de fenómenos de sombra.

Independientemente de la disposición, los aerogeneradores pueden tener tres palas o dos palas. En el caso de los de tres palas, se logra una mayor estabilidad, una producción de ruido más baja y un mayor rendimiento en general. Por otro lado, los aerogeneradores de dos palas ofrecen una mayor velocidad de giro y una instalación más sencilla, pero el control resulta más complejo y se produce un mayor nivel de ruido.

En general estos aerogeneradores son capaces de producir un par elevado gracias a los perfiles aerodinámicos de las palas y el rendimiento que se consigue es del 50%, mientras que la velocidad lineal (velocidad en la punta de la pala) es 6/14 veces superior a la del viento.



*Figura 28: Disposición de aerogeneradores en función de dirección del viento.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.*

- Los rotores tipo multipala constan de 6/24 palas y el rendimiento resulta ser más bajo (alrededor del 15%). En consecuencia, se suelen utilizar para el bombeo de agua en granjas.

3.7 Diseño de las palas y del rotor de los aerogeneradores.

3.7.1 Diseño de las palas de los aerogeneradores.

Las palas experimentan el impacto del viento horizontalmente, pero es el viento relativo lo que les proporciona la fuerza necesaria para su movimiento. Estos componentes no solo perciben la velocidad del viento, sino también un conjunto de fuerzas. Para determinar la fuerza resultante, se requiere la fuerza de sustentación L (que contrarresta la deportancia y permite el fenómeno de la ascensión) y la fuerza de arrastre D (que es la resistencia que enfrenta la pala).

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

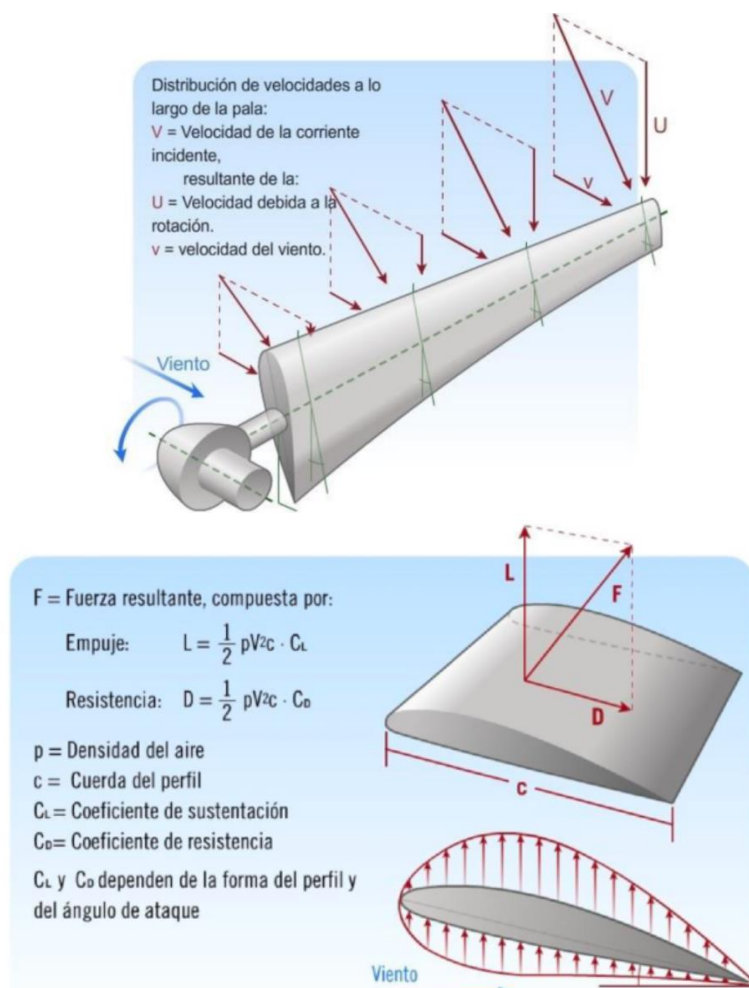


Figura 29: Fuerzas presentes en palas de aerogeneradores.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.

3.7.2 Diseño del rotor de los aerogeneradores.

Siempre se persigue tener un diseño de pala que permita alcanzar una fuerza de sustentación alta y una fuerza de arrastre baja. Dichas fuerzas dependen también del ángulo de ataque, que es el ángulo de enganche entre las palas y el buje, se denomina α .

Si $\alpha < 15$ grados entonces la capa límite se adhiere y permite que el flujo del viento pueda deslizarse.

Si $\alpha > 15$ grados entonces la capa límite se separa del perfil y se generan cargas alternativas y vibraciones y baja la fuerza de sustentación.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Aunque el objetivo sea siempre querer tener una fuerza de sustentación alta, resulta de elevada importancia la posibilidad de disminuirla en función del ángulo de ataque debido a que un incremento en el viento podría provocar valores límite de trabajo (sufriendo los equipos daños irreversibles).

3.8 Perfiles aerodinámicos de las palas y torres de aerogeneradores.

3.8.1 Perfiles aerodinámicos.

En los primeros años del desarrollo eólico se utilizaban perfiles con proveniencia aeronáutica. Actualmente, tras años de evolución, se han realizado mejoras centradas en:

- Aumento del rendimiento.
- Disminución de las cargas.
- Disminución del ruido (solo para estructuras onshore).

Actualmente las palas están diseñadas para tener un coeficiente de sustentación (factor ligado a la fuerza L) con un valor incluido entre 1 y 1,2, un bajo coeficiente de arrastre (factor ligado a la fuerza D) y un amplio margen de ángulo de ataque.

3.8.2 Torres de los aerogeneradores.

Las torres de los aerogeneradores tienen la importante función de soportar el peso del rotor y la góndola. Durante el proceso de diseño, surge el desafío de abordar las alturas, lo cual implica dificultades tanto en la instalación como en el mantenimiento. Por esta razón, se requiere la intervención de personal especializado y habilidades específicas para llevar a cabo cualquier modificación o tarea en los equipos.

Existen diversas tipologías de torres, las cuales varían según el material utilizado y la ubicación del aerogenerador.

1. Tubular tipo celosía: Son torres fáciles de transportar y son las más comunes de encontrar ya que pertenecen a las primeras generaciones. Debido a su desarrollo tecnológico poco avanzado, son las más difíciles de arreglar.



*Figura 30: Torre tubular tipo celosía.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.*

2. Tubular de acero: Compuestas por tres secciones, se unen de forma troncocónica directamente en el emplazamiento, facilitando la instalación.



*Figura 31: Torre tubular de acero.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.*

3. Tubular de hormigón: Su empleo es exclusivamente reservado para emplazamientos offshore y por esta razón consigue alcanzar alturas elevadas (100 - 200 metros). Su construcción se puede realizar de dos formas:



Figura 32: Torre tubular de hormigón.

Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.

– Hormigón armado: Se construye en el emplazamiento derramando el producto en un molde. Esto hace que se pueda obtener una alta calidad en los acabados, pero el proceso resulta ser muy largo.

– Hormigón pretensado: Se construye la torre en una fábrica y esto permite bajar los tiempos de construcción, teniendo como aspecto negativo la generación de problemas de transporte.

4. Mixta: Está compuesto tanto por acero como por hormigón y se consiguen alturas de 90 -100 metros, realizando tres cuartos de la construcción en hormigón para dar mayor estabilidad a la estructura y los últimos, 20 - 30 metros en acero.



*Figura 33: Torre tubular mixta (acero y hormigón).
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.*

3.9 Concepto offshore y onshore.

La ubicación y la tipología de aerogeneradores que se utilizan en un campo eólico dependen del área circundante a los equipos:

- Instalaciones onshore: Se instalan en tierra y debido a la cercanía a núcleos de población deben tener en cuenta la producción de ruido y el efecto visual que estos tienen.

En consecuencia, cada aerogenerador tiene una capacidad de producción de potencia nominal que varía de 2 a 6 MW. Estos equipos se destacan por su eficiente generación de energía en relación a su costo, lo que los convierte en la opción más económica y ampliamente utilizada entre los aerogeneradores disponibles.

Actualmente una planta onshore consigue una media de producción energética de 79,8 GW y en el 2020 se ha conseguido una producción mundial de 743 GW.



*Figura 34: Central eólica onshore.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.*

- Instalaciones offshore : Se instalan en mar abierto y debido a la lejanía de núcleos de población permiten prescindir de las limitaciones de ruido, consiguiendo por lo tanto elevadas alturas y una producción de potencia nominal que está comprendida entre 8 y 14 MW.

Las desventajas que presentan estos equipos están relacionadas con las dificultades y los elevados costes en las instalaciones debido al complicado logro en cuanto a estabilidad y al elevado costes de los mismos aerogeneradores.

Como resultado de estas limitaciones, la producción mundial actual de instalaciones marinas (offshore) es de 33 GW.



Figura 35: Central eólica offshore.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.

3.10 Sistemas de transmisión mecánica, de orientación y de regulación de potencia.

3.10.1 Sistemas de transmisión mecánica.

Se emplean debido a que la velocidad de las palas en sus extremos no es la misma que la percibida por el generador. Es por ello, por lo que se utilizan los multiplicadores compuestos por:

- Eje de baja velocidad.
- Eje de alta velocidad.
- Cojinetes de unión de ejes de alta y baja.
- Caja multiplicadora.
- Freno mecánico.

Cabe destacar que actualmente es posible que en los nuevos diseños el multiplicador no esté presente.



*Figura 36: Interior de buje del aerogenerador.
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.*

3.10.2 Sistemas de orientación.

Se utilizan para asegurar que el viento sea capturado de manera perpendicular al eje del rotor, ya sea desde la dirección del viento (barlovento) o desde la dirección opuesta al viento (sotavento). Para lograrlo, se coloca una veleta en la parte superior del generador. Los sistemas empleados utilizan engranajes tipo corona y motores para permitir los movimientos de giro necesarios.

3.10.3 Sistemas de regulación de potencia.

La potencia que se genera se tiene que controlar y los controles se pueden realizar de dos formas:

- Control por cambio de paso de palo (pitch control) : Este sistema permite controlar el giro del rotor, frenar aerodinámicamente el sistema y girar las palas. Consta de elementos eléctricos e hidráulicos.
- Control por pérdida aerodinámica (stall) : Este sistema permite, gracias a su diseño, generar turbulencias de tal forma que se pueda disminuir la fuerza de sustentación (L) sin necesidad de realizar ningún giro.

La estrategia de control de potencia se puede emplear cuando:

1. Se tiene una velocidad constante.
2. Se tienen pequeñas variaciones en la velocidad de giro.
3. Se tiene una velocidad variable.

3.11 Sistemas hidráulicos, sistemas de control y sistemas eléctricos en los aerogeneradores.

3.11.1 Sistemas hidráulicos.

Permiten detener el sistema en caso de emergencia a través de una motobomba.

3.11.2 Sistemas de control.

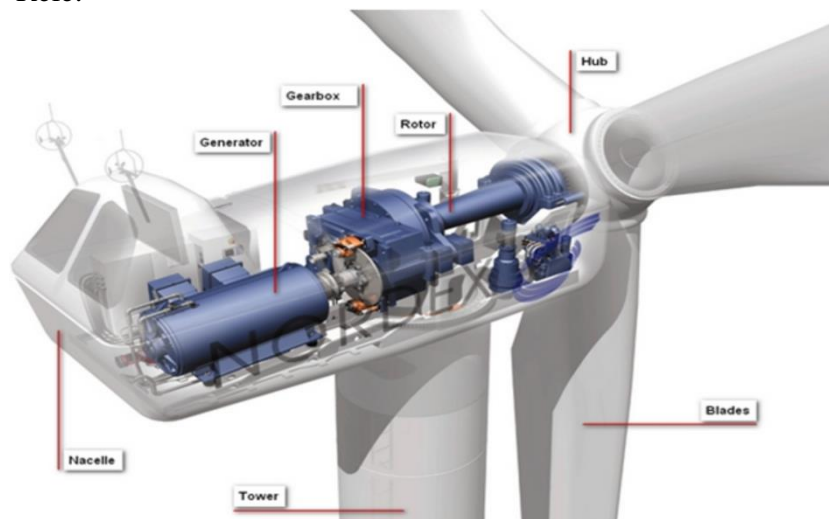
Los sistemas de control están conformados por:

- Sensores que controlan el viento.
- Sistema de control (software).
- Actuadores que modifican la orientación de la góndola.
- Temperatura del multiplicador.
- Vibraciones.
- Velocidades.
- Presiones.
- Potencias generadas.
- Estados de los cables.

3.11.3 Sistemas eléctricos.

El sistema eléctrico se encuentra posicionado en la base de la torre. Se trata de un panel que contiene los siguientes componentes:

- Condensadores.
- Contadores.
- Interruptores.
- Relé.



*Figura 37: Esquema eléctrico de rotor .
Fuente: Curso 2021-2022 Energías Renovables.*

Capítulo 4. ESTUDIO DEL EMPLAZAMIENTO.

En el estudio del emplazamiento se quiere conseguir la mejor ubicación para ambas tecnologías pues la de osmosis requiere unos determinados parámetros de agua y al mismo tiempo una obra civil alcanzable, mientras que, la tecnología eólica, requiere lugares donde el aprovechamiento del viento sea máximo y al mismo tiempo donde la batimetría permita la localización de las plataformas de apoyo.

Para ello se han tenido en cuenta las necesidades hídricas de cada comunidad, estudiando el [INE\(La situación del agua en España y en el mundo, en gráficos \(epdata.es\)\)](#), así como la evolución del gasto de agua y electricidad a lo largo de los últimos años. mientras que para el análisis de la producción eólica se han analizado los mapas eólicos de la península ibérica disponibles en el IDAE para hallar las velocidades del viento a diferentes alturas y han sido contrastados con la base de datos disponible en el [siguiente enlace \(Calcula la producción eólica y solar con un solo click \(enair.es\)\)](#), mientras que, para el análisis batimétrico se ha empleado la plataforma europea EMODnet disponible en el [siguiente enlace \(Bathymetry | European Marine Observation and Data Network \(EMODnet\) \(europa.eu\)\)](#).

Finalmente se ha evaluado el alcance tecnológico actual para el desplazamiento de equipos (logística) y de la red eléctrica.

4.1. Análisis del recurso hídrico español.

Cuando se analiza el recurso de un país hay que tener en cuenta tanto su disponibilidad como los sectores en los que se gasta, en el caso del agua en España:

DENOMINACION.	VALORES.
Disponibilidad natural de agua anual (datos de todas las presas en España 27 julio 2022).	$5.281 \cdot 10^7 \text{ m}^3 / \text{año}$
Producción artificial de agua a partir de tecnologías industriales al año.	$27.922.500 \text{ m}^3 / \text{año}$
Gasto de agua para uso humano al año.	$10.562 \cdot 10^5 \text{ m}^3 / \text{año}$

Gasto de agua para uso industrial al año.	$95.058 \cdot 10^5 \text{ m}^3 / \text{año}$
Gasto de agua para uso agrícola al año.	$2.900 \cdot 10^7 \text{ m}^3 / \text{año}$
Agua regenerada al año.	$289 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{año}$

*Tabla 3: Análisis del recurso hídrico español.
Fuente: Elaboración propia.*

Analizando estos números lo que se puede concluir es que no todo el recurso hídrico se gasta, dejando disponibles alrededor de $13.248.000.000 \text{ m}^3$ de agua cada año, a los cuales se suman las aguas desaladas y regeneradas, llegando a un total de $13.564.922.500 \text{ m}^3$.

Esto significa que ambas tecnologías consiguen aportar un 2,3% a la cantidad de agua resultante, teniendo en cuenta que, España tiene actualmente en funcionamiento 765 plantas de depuración de agua, las cuales tienen una producción de $100 \text{ m}^3 / \text{día}$.

Cabe destacar que, de las 765 instalaciones, 360 son desaladoras y 405 recuperadoras y más de la mitad están diseñadas con una capacidad media (de 500 a $10.000 \text{ m}^3 / \text{día}$).

Para complementar estos datos resulta útil analizar la tabla 4, que representa los 25 países con mayor capacidad de embalse en el mundo:

Año.	Periodo de análisis.	País.	Kilómetros cúbicos.
2019	Año	Argentina	131,6
2019	Año	Australia	77,79
2019	Año	Brasil	700,4
2019	Año	Canadá	841,5
2019	Año	China	829,8
2019	Año	Costa de Marfil	37,24
2019	Año	Egipto	168,2
2019	Año	España	53,81
2019	Año	Estados Unidos	735,9
2019	Año	Ghana	148,5

2019	Año	India	224
2019	Año	Irak	151,8
2019	Año	Kazajistán	79,95
2019	Año	México	150
2019	Año	Mozambique	74,14
2019	Año	Nigeria	50,67
2019	Año	Rusia	801,5
2019	Año	Tailandia	68,28
2019	Año	Tanzania	104,2
2019	Año	Turquía	157,3
2019	Año	Ucrania	55,5
2019	Año	Uganda	80
2019	Año	Venezuela	157,6
2019	Año	Zambia	101,1
2019	Año	Zimbabue	99,93

Tabla 4: Capacidad de embalse en el mundo.

Fuente: Epdata - Elaboración propia.

Cabe destacar que, analizando el Plan Hidrológico del 2022-2026 se prevé invertir alrededor de 25 millones de euros entre 2020 y 2030 en depuración de agua (actualmente se están invirtiendo 12,5 millones), ya que en los últimos años se han acumulado un total de 50 millones de Euros en sanciones por parte de Europa, debido a la escasa recuperación de aguas residuales; además el estrés hídrico generado y el calentamiento global, permitirán tener el recurso disponible hasta el 2050, después de esta fecha, 27 millones de habitantes sufrirán escasez de agua.

A esto se tiene que añadir el reciente aumento del coste del agua, ya que, entre 2018 y 2020 se ha registrado un máximo por región de 1,92 Euros/m³ de agua mientras que, actualmente es de 2,68 Euros/m³.

4.2. Análisis hídrico por Comunidad.

Cuando se analiza el recurso hídrico a nivel de Comunidades se debe tener en cuenta la disponibilidad de agua potable, debido a recursos naturales, o a la posibilidad de potabilización (cercanía con mares u otras fuentes) y al mismo tiempo el consumo que se realiza, para ello se presentan los siguientes gráficos, disponibles en el [siguiente enlace \(La situación del agua en España y en el mundo, en gráficos \(epdata.es\)\)](#).

4.2.1. Volumen de agua disponible para su potabilización por Comunidad.

Se trata de la cantidad de agua (en m^3 por Comunidad) que tras un proceso de depuración y/o desalinización es potabilizable:

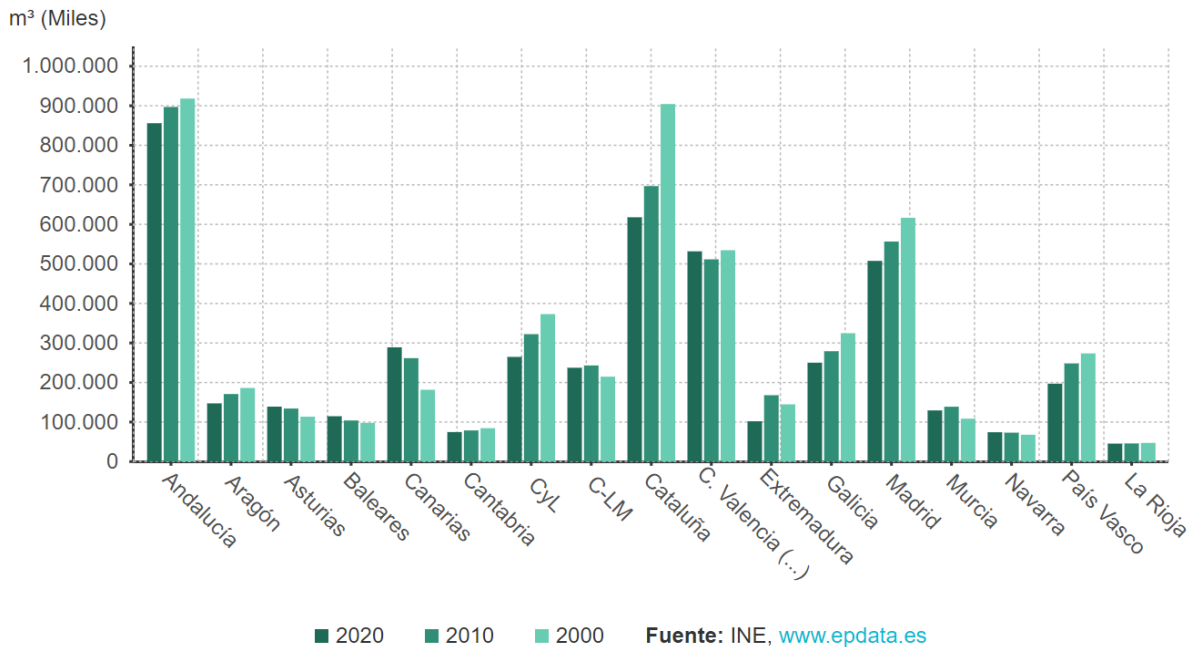


Figura 38: Volumen agua potable por Comunidad.
Fuente: Epdata.

Observando el gráfico se puede concluir que actualmente las Comunidades que más disponibilidad de volumen de agua (en 2020) tienen son:

1. Andalucía: $918.192 m^3$.
2. Cataluña: $904.455 m^3$.
3. Madrid: $616.722 m^3$.
4. Comunidad Valenciana: $534.621 m^3$.
5. Galicia: $324.781 m^3$.
6. País Vasco: $273.582 m^3$.

7. Castilla La Mancha: 214.724 m³.
8. Canarias: 181.581 m³.
9. Aragón: 186.109 m³.
10. Extremadura: 144.792 m³.

Esto nos indica:

1. Presencia de depuradoras y/o desaladoras.
2. Mayor necesidad de agua potable debido a un recurso natural escaso.

4.2.2. Evolución del consumo de agua por Comunidad.

Se trata de la evolución del coste del agua que cada región ha tenido a lo largo de dos años (2018 frente a 2020):

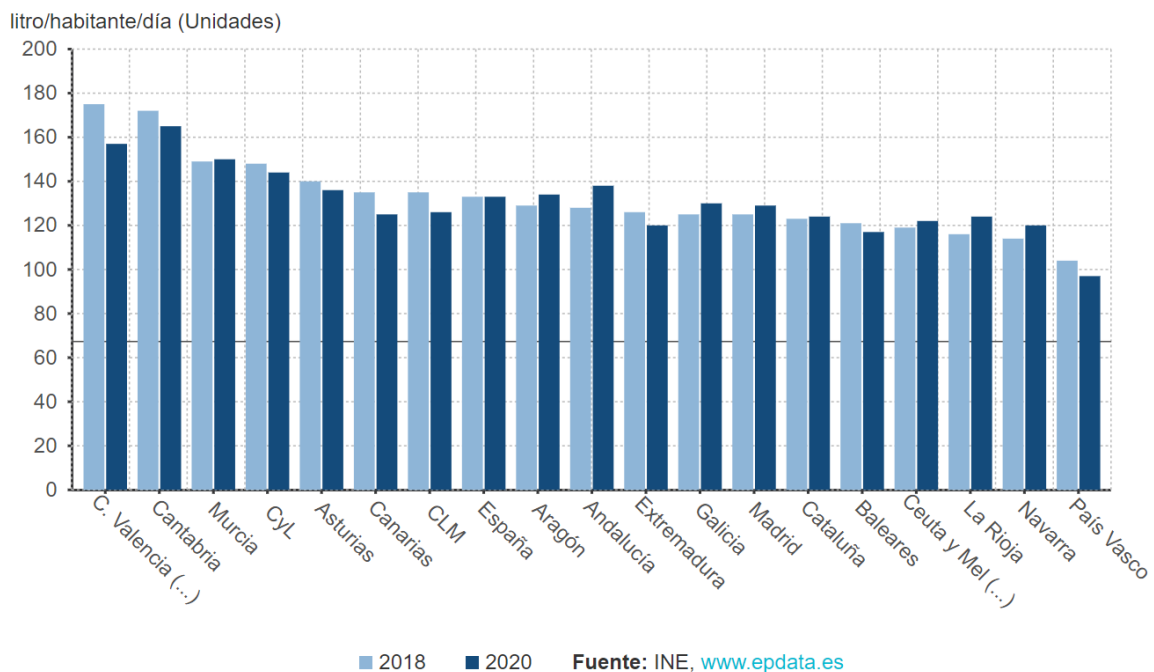


Figura 39: Evolución del consumo de agua por Comunidad.

Fuente: Epdata.

Observando el gráfico se puede concluir que actualmente las Comunidades que más consumo por habitante presentan son:

1. Cantabria: 174 Litros/habitante*día.
2. Comunidad Valenciana: 172 Litros/habitante*día.
3. Murcia: 149 Litros/habitantes*día.
4. Asturias: 140 Litros/habitantes*día.
5. Canarias: 135 Litros/habitante*día.

6. Aragón: 129 Litros/habitante*día.
7. Andalucía: 128 Litros/habitante*día.
8. Extremadura: 126 Litros/habitante*día.
9. Galicia: 125 Litros/habitante*día.
10. Madrid: 125 Litros/habitante/día.

4.2.3. Evolución del coste del agua por Comunidad.

Como se ha anticipado en el análisis del plan hidrológico, el coste del agua ha subido en los últimos años y esto en parte se debe a unas escasas inversiones en este ámbito y al mismo tiempo por el cambio climático. En el siguiente gráfico se puede apreciar la evolución de este parámetro relacionando los costes medios (Euro/m³) tenidos en los años 2018 y en 2020:

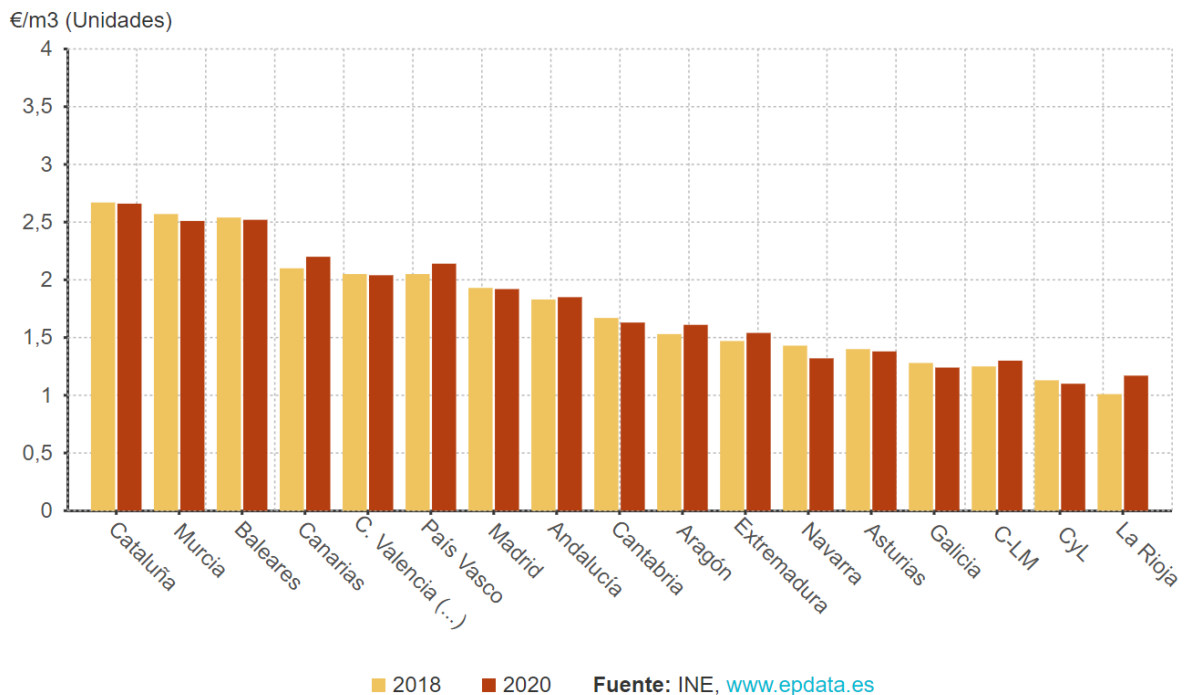


Figura 40: Evolución coste de agua por Comunidad.

Fuente: Epdata.

Observando el gráfico se puede concluir que las Comunidades donde el coste por metro cúbico de agua es más alto son:

1. Cataluña: 2,67 Euro/m³.
2. Baleares: 2,52 Euro/m³.
3. Murcia: 2,51 Euro/m³.
4. Canarias: 2,2 Euro/m³.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

5. País Vasco: 2,14 Euro/m³.
6. C. Valenciana: 2,04 Euro/m³.
7. Madrid: 1,92 Euro/m³.
8. Andalucía: 1,85 Euro/m³.
9. Cantabria: 1,63 Euro/m³.
10. Aragón: 1,61 Euro/m³.

4.2.4. Conclusiones.

En la tabla 5 se presenta el resumen de los valores encontrados en los anteriores gráficos y las correspondientes "posiciones" ocupadas, de las 10 primeras Comunidades:

Nombre Comunidad.	Volumen disponible para su potabilización.	Evolución del consumo de agua por Comunidad.	Evolución del coste del agua.	Posiciones ocupadas.
Madrid.	616.722 m ³ .	125 L/h/d.	1,92 euro/m ³ .	3, 10, 6
Cataluña.	904.455 m ³ .	124 L/h/d.	2,67 euro/m ³ .	2, /, 1
Andalucía.	918.192 m ³ .	128 L/h/d.	1,85 euro/m ³ .	1, 7, 7
C. Valenciana.	534.621 m ³ .	172 L/h/d.	2,04 euro/m ³ .	4, 2, 5
Galicia.	324.781 m ³ .	125 L/h/d.	/	5, 9, /
País Vasco.	273.582 m ³ .	95 L/h/d.	2,14 euro/m ³ .	6, /, 4
Castilla La Mancha.	214.724 m ³ .	126 L/h/d.	/	7, 8, /

Canarias.	181.581 m ³ .	135 L/h/d.	2,2 euro/m ³ .	9, 5, 3
Aragón	186.109 m ³ .	129 L/d/h.	1,61 euro/m ³ .	8, 6, 9
Extremadura.	144.792 m ³ .	126 L/d/h	/	10, 8,
Cantabria.	84.472 m ³ .	174 L/h/d.	1,63 euro/m ³ .	/, 1, 8
Murcia	108.496 m ³ .	149 L/h/d.	2,51 euro/m ³ .	/, 3, 2
Asturias	113.550 m ³ .	140 L/h/d.	/	/, 4, /

*Tabla 5: Posiciones ocupadas por cada Comunidad frente a los parámetros en análisis.
Fuente: Epdata - Elaboración propia.*

Como se puede observar:

1. Cataluña es la Comunidad que:
 - Tiene el mayor coste por metro cúbico de agua.
 - Dispone de un elevado volumen de agua para la potabilización.
2. Murcia es la Comunidad que:
 - Tiene una elevada evolución del consumo y del coste de agua.
3. La Comunidad Valenciana es la que:
 - Tiene una elevada evolución del consumo de agua por Comunidad.
4. Andalucía es la Comunidad que:
 - Tiene el mayor volumen disponible para su potabilización.

Aunque se trate de un análisis muy sencillo, esta permite enfocar los siguientes estudios presentes en el documento, para hallar la mejor ubicación de la planta, descartando aquellas Comunidades que o no necesitan este tipo de tecnologías o no tienen los recursos necesarios para su funcionamiento.

4.3. Análisis de las plantas ya existentes por Comunidad.

La primera planta desaladora instalada en España se construyó en el 1964 en Lanzarote y tenía una capacidad de producción de 2.500 m³, hoy en día España representa uno de los países donde existen más plantas desaladoras.

4.3.1. Presencia de plantas desaladoras en Cataluña.



Figura 41: Desaladoras en Cataluña.

Fuente: ACA.

En 2009 en Cataluña, según la información proporcionada por la Agencia Catalán del Agua, había dos desalinizadoras que permiten generar un aporte de $80 \text{ hm}^3/\text{año}$ de agua potable; desafortunadamente esta era la cantidad que Barcelona gastaba en cuatro meses. Para ello se decidió añadir otra planta, denominada Llobregat, para conseguir aportar $60 \text{ hm}^3/\text{año}$, resultado conseguido recientemente.

En 2022 el gobierno ha decidido ampliar las plantas existentes o buscar alternativas, debido a la sequía, para ello se ha destinado, por parte de la Generalitat, una cantidad de 90 millones de Euros para la construcción de nuevas plantas.

4.3.2. Presencia de plantas desaladoras en Murcia.

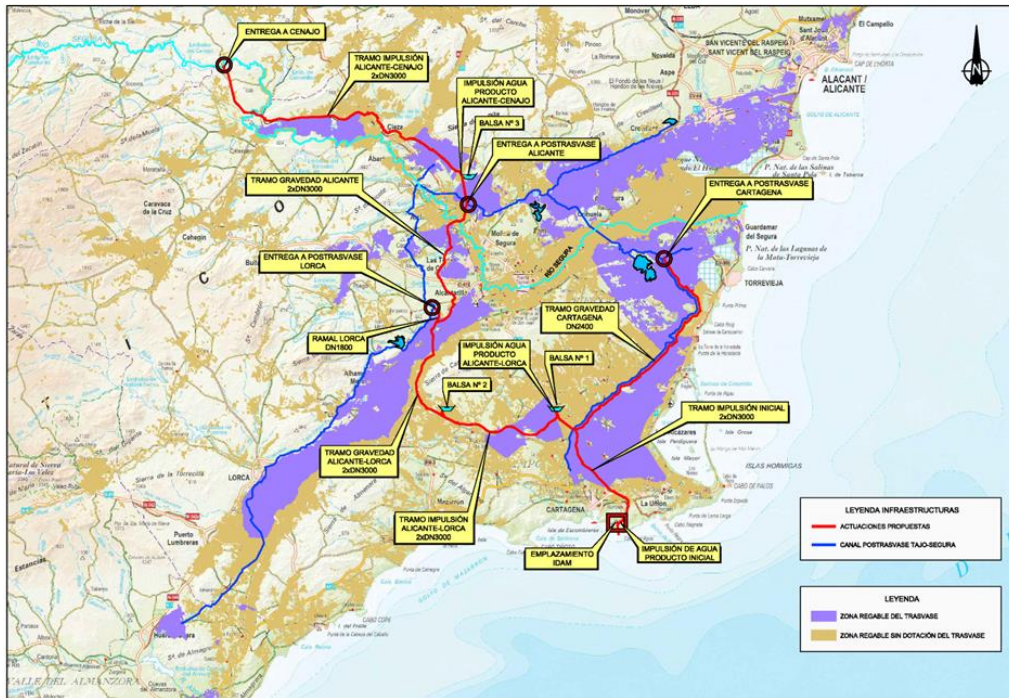
Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



*Figura 42: Desaladoras en Murcia.
Fuente: ACA.*

Actualmente Murcia cuenta con una de las 13 desaladoras con mayor producción en España, se trata de la planta desaladora de Aguilas-Guadalentín que posee un caudal de $70 \text{ hm}^3/\text{año}$. No obstante, para cubrir el déficit hídrico de la Cuenta del Segura, se ha decidido construir en la Valle de Escombreras una instalación con una producción de $600 \text{ hm}^3/\text{año}$, ocupando un total de 270.000 metros cuadrados y un gasto de 2.700 MW/año.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



*Figura 43: Ubicación de las desaladoras en Murcia.
Fuente: ACA.*

4.3.3. Presencia de plantas desaladoras en la Comunidad Valenciana.



*Figura 44: Desaladoras en la Comunidad Valenciana.
Fuente: ACA.*

La Comunidad Valenciana cuenta con el mayor número de desaladoras y además 5 de ellas pertenecen a las de mayor producción en España:

1. Torrevieja: $80 \text{ hm}^3/\text{año}$ → Abastece a 140.000 habitantes y el regadío de 80.000.000 m^2 .
2. Oropesa: $13,5 \text{ hm}^3/\text{año}$ → Abastece a 150.000 personas.
3. Sagunto: $25,6 \text{ hm}^3/\text{año}$ → Beneficia a 65.000 personas.
4. De la Marina Baja; $18 \text{ hm}^3/\text{año}$ → Beneficia a 200.000 personas.
5. Moncofa: $19,8 \text{ hm}^3/\text{año}$ → Beneficia a 120.000 personas.

Cabe destacar que para la construcción de estas se hizo una inversión de 550 millones de euros, a pesar de esto, todas las plantas están trabajando muy por debajo de su capacidad, debido a una falta de demanda, mala planificación y tensiones políticas.

4.3.4. Presencia de plantas en Andalucía.



*Figura 45: Desaladoras en Andalucía.
Fuente: ACA.*

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

En Andalucía, frente a la elevada sequía registrada en los últimos años, se ha decidido instalar plantas capaces de potabilizar agua de mar, llegando a completar seis; Almería es la provincia que cuenta con un mayor número de desaladoras:

- Campo del Bajo Almanzora → producción de hasta 20 hectómetros cúbicos de agua desalada al año
- Campo de Dalías → producción de hasta 30 hectómetros cúbicos de agua desalada al año.
- Carboneras → producción de hasta 42 hectómetros cúbicos de agua desalada al año.
- El Ejido.

Cabe destacar que una de las instalaciones presentes en Andalucía, pertenece a una de las desaladoras con mayor producción en España, se trata de la planta de El Atabal y se encuentra en Málaga.

A estas se suman una planta presente en Málaga y un futuro proyecto, ubicado en Vélez-Málaga (se estima una producción de 25 hectómetros cúbicos al año), que permitiría ampliar la producción total a más de 240 millones de metros cúbicos de agua al año.

4.4. Análisis del recurso eólico español.

Después de haber analizado el recurso hídrico por cada Comunidad, se ha conseguido identificar aquellas zonas en España, donde resulta más necesario la implementación de una planta desaladora.

Sin embargo, debido a la voluntad de conseguir el funcionamiento de dicha instalación, mediante energías renovables, a través de la energía eólica, se tienen que evaluar los emplazamientos para que se permita la ubicación de una planta offshore.

Por esta razón se estudian tanto el viento como la batimetría de los siguientes emplazamientos y finalmente se escoge la más adecuada:

1. Cataluña.
2. Murcia.
3. C. Valenciana.
4. Andalucía.

4.5. Estudio del viento.

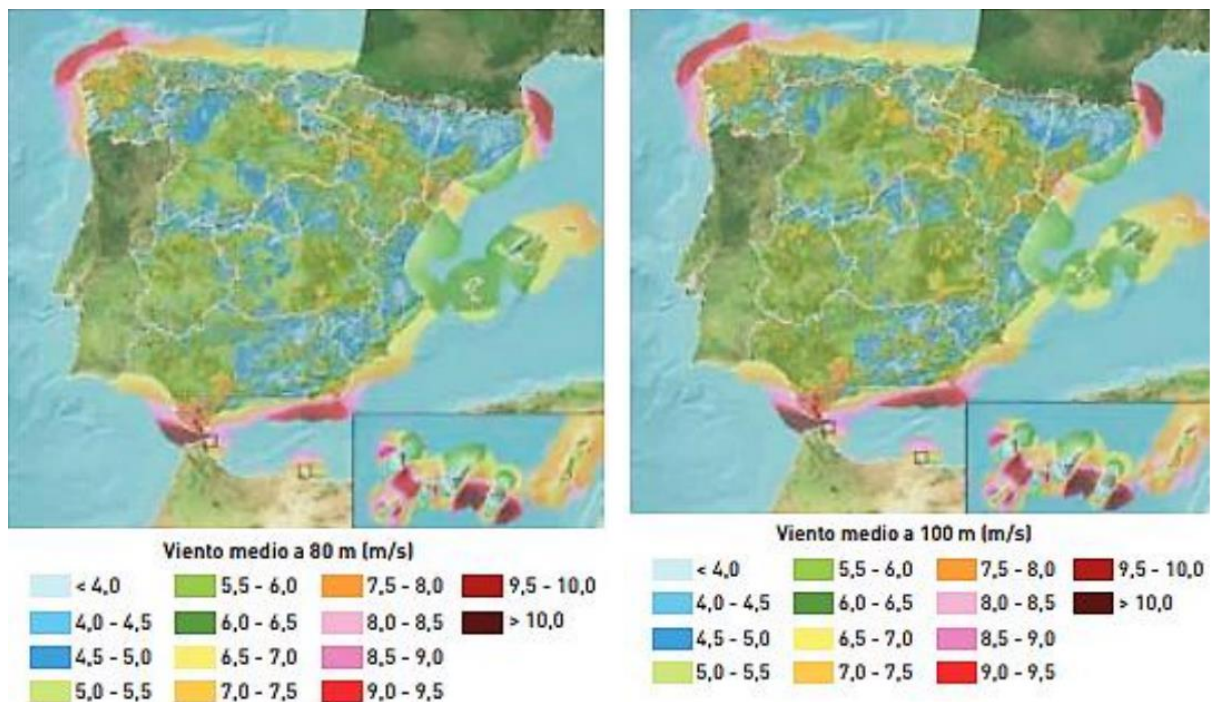
La ubicación del parque eólico depende de las dimensiones de este, de la tecnología empleada y de la velocidad del viento en dicho emplazamiento, para ello es necesario realizar en primer lugar una estimación, muy aproximativa, del gasto de la central, para así conseguir dimensionar de forma adecuada el parque eólico.

Esto es necesario ya que, aunque la tecnología de cada aerogenerador sea la misma, existe una variación dependiendo de la potencia, modificando así características como la altura del

buje, diámetro de las palas, ruido emitido y finalmente hay que tener en cuenta la alteración de la velocidad del viento.

Por lo tanto, una estimación inicial de la planta desaladora ubica su producción en 30 hectómetros cúbicos al año, lo que se traduce en 30.000.000 m³/año y sabiendo que, una planta desaladora con tecnología de ósmosis inversa tiene un gasto aproximado de 3 kWh/m³, se puede concluir que el gasto aproximado de la planta será 90.000 MWh/año.

Los aerogeneradores offshore ubican el buje a alturas de 80-100 metros, por esta razón es necesario consultar el Atlas Eólico de España (versión IDAE 2011) para poder analizar la información relativa a las velocidades medias registradas. Contrastando los datos relativos a las velocidades de Cut-in e Cut-off de cada tecnología, se tiene una media de 3 m/s como velocidad de arranque mínima y 25 m/s como velocidad límite, por lo tanto se han evaluado como zonas apta para la construcción, aquellas donde la media sea igual o superior a 4 m/s.



*Figura 46: Mapa de la velocidad del viento en España.
Fuente: IDEA – Atlas Eólico de España 2011.*

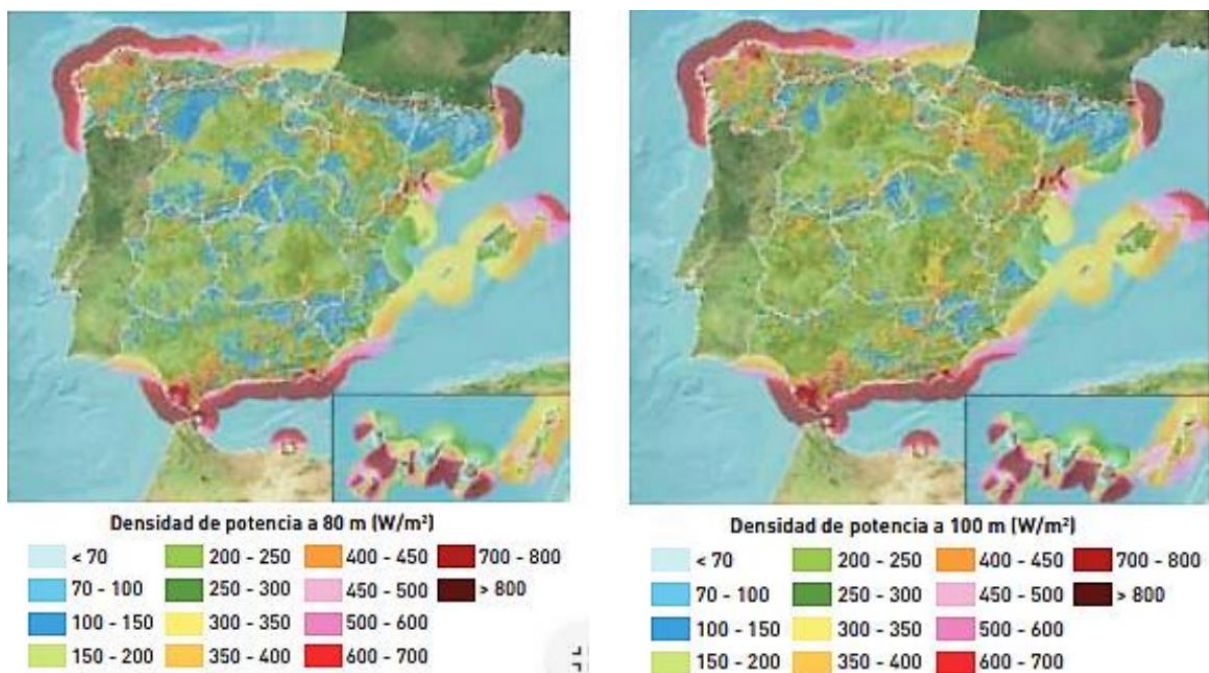
Como se puede apreciar, prácticamente toda la costa de la península española favorece la implementación de esta tecnología, aunque cabe destacar que los mejores emplazamientos son aquellos ubicados en el norte de Cataluña, en el sur de Andalucía y en el archipiélago Canario.

En la tabla 6 se pueden observar las velocidades medias del viento según los emplazamientos de interés:

Emplazamiento.	Velocidades medias registradas.
Cataluña.	6,5 m/s - 10 m/s.
Murcia.	6,5 m/s - 7,5 m/s.
Comunidad Valenciana.	6 m/s - 7 m/s.
Andalucía.	8 m/s - 10 m/s.

*Tabla 6: Velocidades medias del viento de las Comunidades escogidas.
Fuente: Atlas Eólico de España - Elaboración propia.*

Como se ha explicado anteriormente otro factor para tener en cuenta es la densidad del aire registrada ya que de esta dependerá el valor de la potencia del viento (W/m^2); actualmente para que se tenga una buena rentabilidad dicho valor tiene que estar en un rango de $400 (W/m^2) / 700 (W/m^2)$.



*Figura 47: Densidad de potencia en España.
Fuente: IDEA – Atlas Eólico de España 2011.*

Emplazamiento.	Densidad de potencia.
Cataluña.	250 (W/m ²) - 800 (W/m ²).
Murcia.	450 (W/m ²) - 500 (W/m ²).
Comunidad Valenciana.	250 (W/m ²) - 450 (W/m ²).
Andalucía.	700 (W/m ²) - 800 (W/m ²).

*Tabla 7: Densidades medias del viento de las Comunidades escogidas.
Fuente: Atlas Eólico de España - Elaboración propia.*

Como se puede observar aquellas zonas que tienen un valor de velocidad media del viento más altos, son los mismos que presentan valores de densidad de potencia más elevados y esto se debe a la siguiente fórmula, que pone en relación estos valores:

$$P_{ideal} = \frac{1}{2} * (A * v^3)$$

Sin embargo, esto permite hacer una primera clasificación de emplazamientos:

Emplazamiento.	Velocidades medias registradas.	Densidad de potencia.
1. Andalucía.	8 m/s - 10 m/s.	700 (W/m ²) - 800 (W/m ²).
2. Cataluña.	6,5 m/s - 10 m/s.	250 (W/m ²) - 800 (W/m ²).
3. Murcia.	6,5 m/s - 7,5 m/s.	450 (W/m ²) - 500 (W/m ²).
4. Comunidad Valenciana.	6 m/s - 7 m/s.	250 (W/m ²) - 450 (W/m ²).

*Tabla 8: Velocidades medias del viento de los emplazamientos escogidos.
Fuente: Atlas Eólico de España - Elaboración propia.*

Para concluir el estudio es necesario evaluar las coordenadas geográficas del mejor emplazamiento por región, para ello se emplea el Mapa Ibérico de alta resolución, evaluando la velocidad media del viento a una altura de 100 metros.

Posibles emplazamientos para la región de Andalucía:

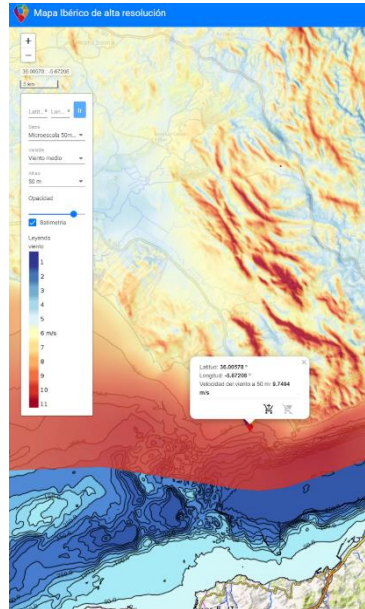
1. Tarifa:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Latitud: 36.00578

Longitud: -5.67206

Velocidad del viento a 100 metros de altitud: 9,87 m/s.



*Figura 48: Velocidad del viento en el emplazamiento de Tarifa.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

2. Roquetas de Mar:

Latitud: 36.70586

Longitud: -2.37481

Velocidad del viento a 100 metros: 8,54 m/s.

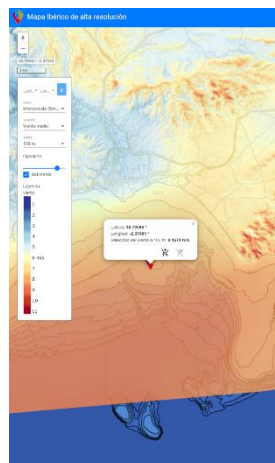


Figura 49: Velocidad del viento en el emplazamiento de Roquetas de Mar.

Fuente: Mapa Eólico Ibérico.

Posible emplazamiento para la región de Murcia:

1. Cartagena:

Latitud: 37.41453

Longitud: -0.87117

Velocidad del viento a 100 metros: 6,56 m/s.

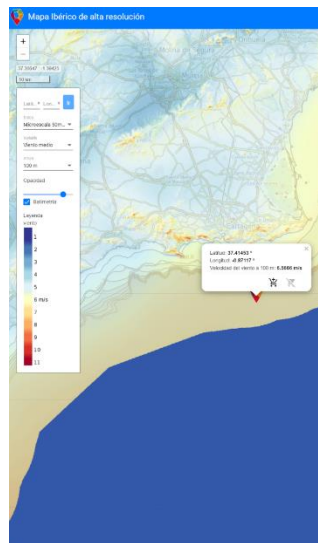


Figura 50: Velocidad del viento en el emplazamiento de Cartagena.

Fuente: Mapa Eólico Ibérico.

Posible emplazamiento para la Comunidad Valenciana:

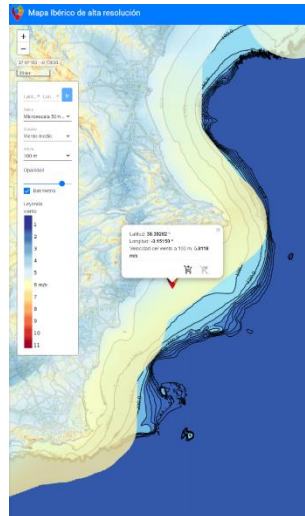
1. Elche:

Latitud: 38.39262

Longitud: -0.15150

Velocidad del viento a 100 metros: 5,8118 m/s.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



*Figura 51: Velocidad del viento en el emplazamiento de Elche.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

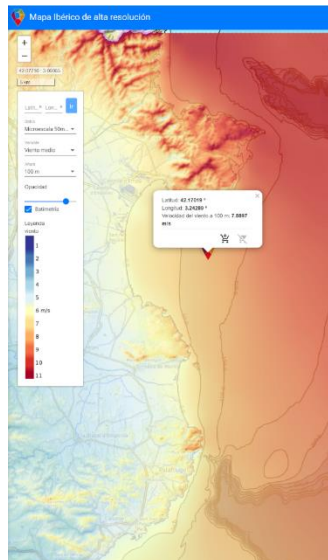
Posibles emplazamientos para el norte de Cataluña:

1. Escala:

Latitud: 42.17019

Longitud: 3.24289

Velocidad del viento a 100 metros: 7,8897 m/s.



*Figura 52: Velocidad del viento en el emplazamiento de Escala.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

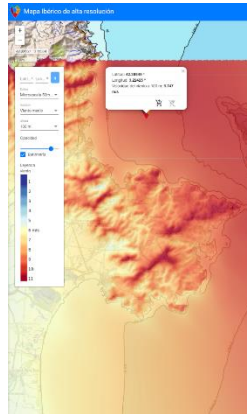
Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

2. Turó d'en Llaures:

Latitud: 42.38949

Longitud: 3.22425

Velocidad del viento a 100 metros: 9,747 m/s



*Figura 53: Velocidad del viento en el emplazamiento de Turó d'en Llaures.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

Para poder realizar un estudio más preciso, se tienen que evaluar parámetros como el coeficiente de rugosidad (que en este caso se ubica entre 0,001 y 0,03), la distribución de Weibull y la rosa de vientos. Para ello se han elegido los siguientes emplazamientos:

1. Tarifa (Andalucía):

- Media horaria - Perfil medio diario de velocidad.

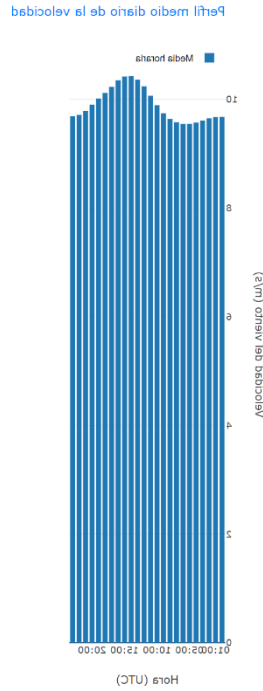


Figura 54: Distribución horaria del viento en Tarifa.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.

- Distribución de frecuencias:

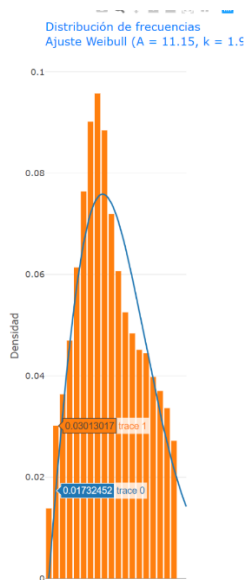
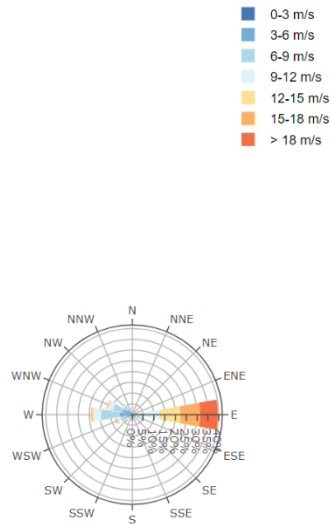


Figura 55: Distribución de frecuencias del viento en Tarifa.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.

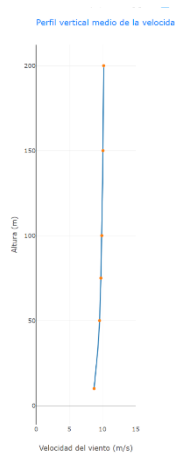
- Rosa de vientos a 100 metros de altura:

Rosa de vientos a la altura seleccionada



*Figura 56: Rosa del viento en Tarifa.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

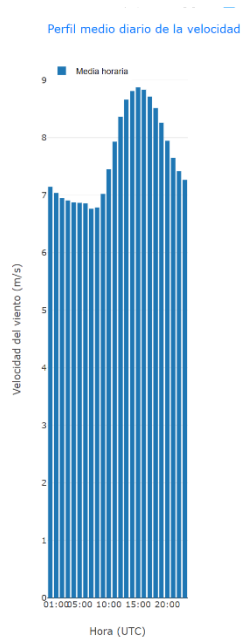
- Perfil vertical medio de la velocidad:



*Figura 57: Perfil del viento en Tarifa.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

2. Roquetas de Mar (Andalucía):

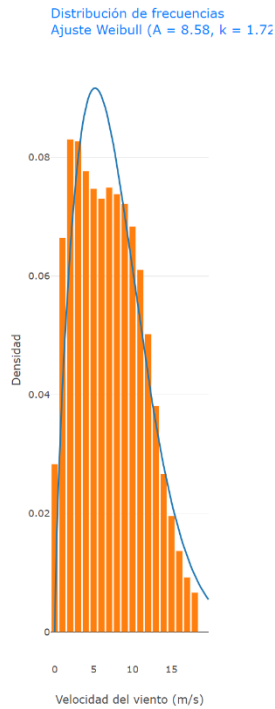
- Media horaria - Perfil medio diario de velocidad.



*Figura 58: Distribución horaria del viento Roquetas de Mar.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

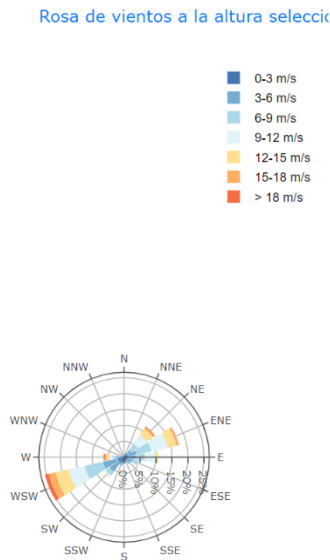
- Distribución de frecuencias:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



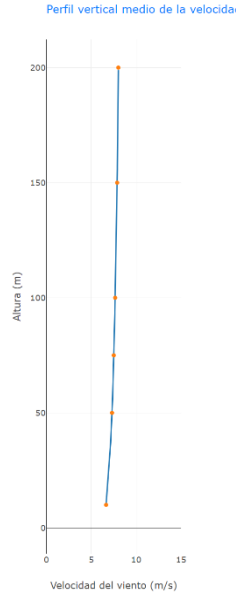
*Figura 59: Distribución horaria del viento en Roquetas de Mar.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

- Rosa de vientos a 100 metros de altura:



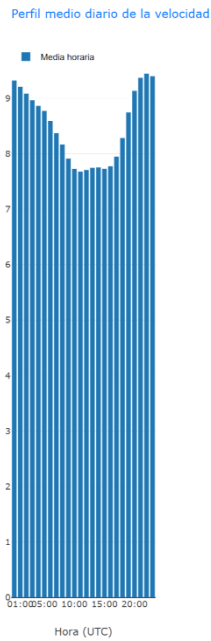
*Figura 60: Rosa del viento en Roquetas de Mar.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

- Perfil vertical medio de la velocidad:



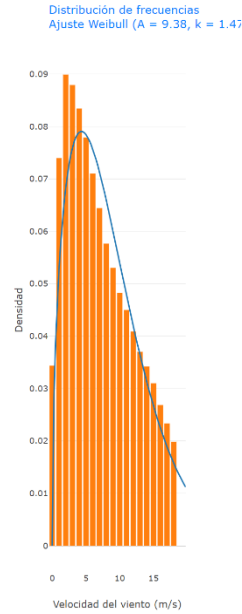
*Figura 61: Perfil del viento en Roquetas de Mar.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

3. Turó d'en Llaures (Cataluña):
 - Media horaria - Perfil medio diario de velocidad.



*Figura 62: Distribución horaria del viento en Turó d'en Llaures.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

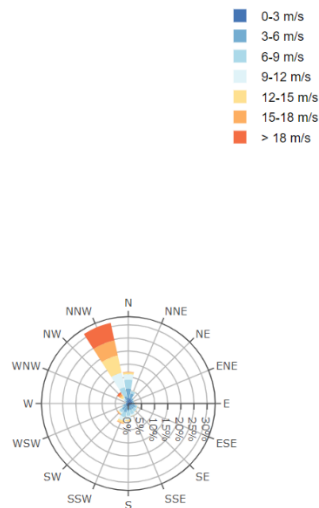
- Distribución de frecuencias:



*Figura 63: Distribución horaria del viento en Turó d'en Llaures.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

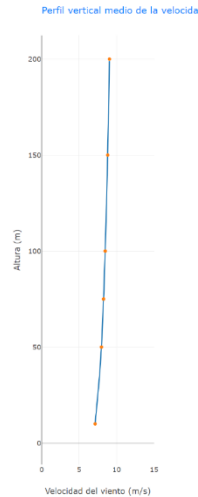
- Rosa de vientos a 100 metros de altura:

Rosa de vientos a la altura seleccionada



*Figura 64: Rosa del viento en Turó d'en Llaures.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

- Perfil vertical medio de la velocidad:



*Figura 65: Perfil del viento en Turó d'en Llaures.
Fuente: Mapa Eólico Ibérico.*

4.6. Estudio batimétrico.

Debido a la batimetría de las costas españolas resulta imposible realizar una obra civil para el anclaje de los aerogeneradores al fondo marino, ya que a pocas millas de la costa ya se tienen profundidades mayores de 50 metros, por esta razón se ha decidido implementar la tecnología flotante (plataformas) para lograr respetar la distancia mínima de 8 km (5 millas) y máxima de 50 km (30 millas) y conseguir ubicar el parque eólico.

Para evaluar correctamente los perfiles batimétricos para cada emplazamiento es necesario convertir las coordenadas en grados decimales (GD) halladas anteriormente y convertirlas en grados, minutos y segundos (GMS), para ello se emplea el programa disponible en el [siguiente enlace \(Convertir coordenadas GPS | Conversión GD <=> GMS \(coordenadas-gps.com\)\)](http://coordenadas-gps.com):

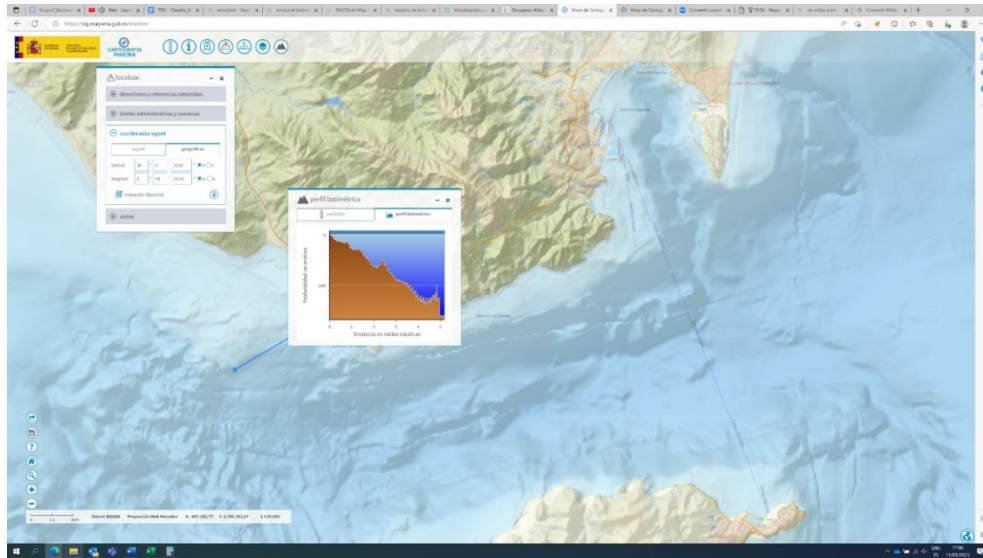
Emplazamiento.	GD.	GMS.
Tarifa.	36.00578 (Longitud). -5.67206 (Latitud).	36 (grado) 0 (minuto) 20.808 (segundo) 5 (grado) 40 (minuto) 19.416 (segundo)
Roquetas de Mar.	36.70586 (Longitud). -2.37481 (Latitud).	36 (grado) 42 (minuto) 21.096 (segundo) 2 (grado) 22 (minuto) 29.316 (segundo)

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Turo d'en Llaures.	42.38949 (Longitud). 3.22425 (Latitud).	42 (grado) 23 (minuto) 22.164 (segundo) 3 (grado) 13 (minuto) 27.3 (segundo)
--------------------	--	---

*Tabla 9: Coordenadas geográficas de los emplazamientos escogidos.
Fuente: Elaboración propia.*

Análisis de la batimetría en las coordenadas del emplazamiento de Tarfía:

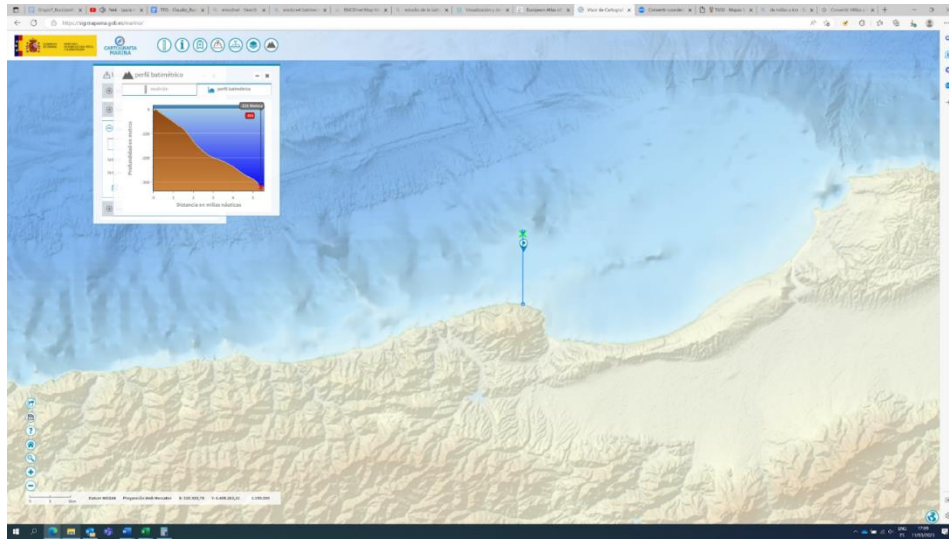


*Figura 66: Análisis de la batimetría en Tarifa.
Fuente: mapa.gob.es.*

Como se puede apreciar, este emplazamiento tiene una distancia de la costa de 5,17 millas y una profundidad de 161 metros.

Análisis de la batimetría en las coordenadas del emplazamiento de Roquetas de Mar:

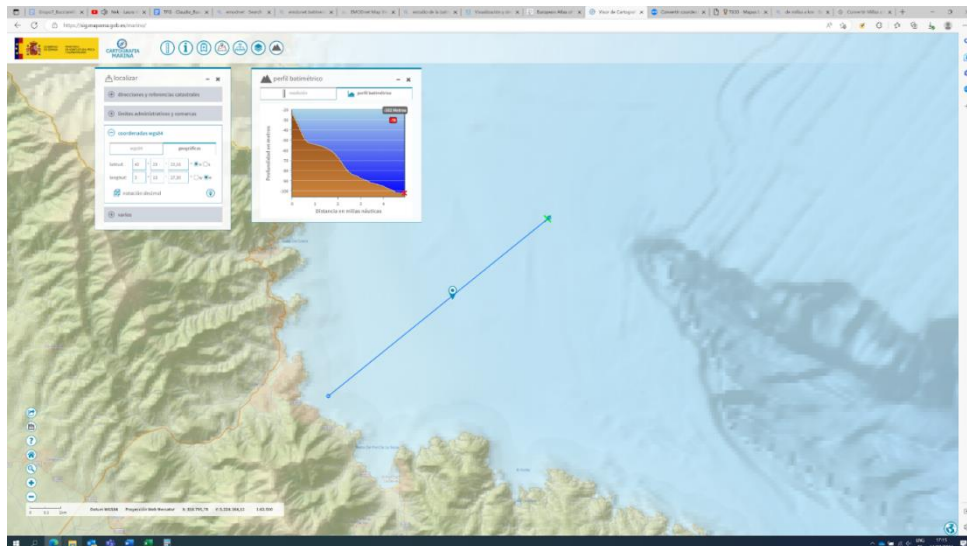
Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico. Claudio Bucciarelli.



*Figura 67: Análisis de la batimetría en Roquetas de Mar.
Fuente: mapa.gob.es.*

Como se puede apreciar, este emplazamiento tiene una distancia de la costa de 5,57 millas y una profundidad de 321 metros.

Análisis de la batimetría en las coordenadas del emplazamiento de Turó d'en Llaures:



*Figura 68: Análisis de la batimetría en Turó d'en Llaures.
Fuente: mapa.gob.es.*

Como se puede apreciar, este emplazamiento tiene una distancia de la costa de 5,27 millas y una profundidad de 102 metros.

4.7. Selección final del emplazamiento.

En conclusión, debido a las necesidades anteriormente expuestas como el volumen de agua disponible para la potabilización, la evolución del consumo de agua por Comunidad, la evolución del coste del agua y el análisis del perfil batimétrico, el perfil seleccionado resulta ser el de Turó d'en Llaures que se encuentra en el norte de Cataluña.

Para ello, a modo de resumen, se ha generado la tabla 10:

Emplazamiento	Turó d'en Llaures (Cataluña).
Volumen disponible para su potabilización.	904.455 m ³
Coordenadas del emplazamiento	Longitud: 42.38949 Latitud: 3.22425
Evolución del consumo de agua por Comunidad.	123 L/h/d.
Evolución del coste del agua.	2,67 Euro/m ³ .
Velocidades medias registradas.	6.5 m/s - 10 m/s.
Densidad de potencia.	250 (W/m ²) - 800 (W/m ²).
Velocidad del viento a 100 metros de altitud.	9,747 m/s.
Mejor ubicación según rosa de vientos.	NNW (12 m/s - >18 m/s).
Coefficiente de rugosidad considerado.	0,03

Tabla 10: Características generales del emplazamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 69 se puede observar la ubicación del emplazamiento (en rojo), la ubicación de la línea de captación (amarillo) y la ubicación de la línea de rechazo (morado).

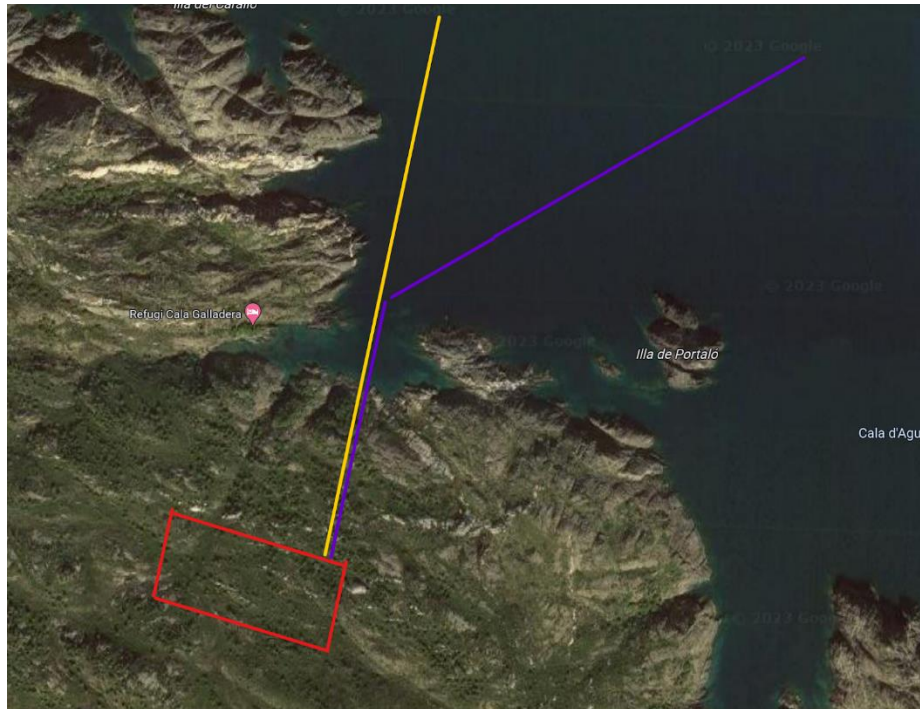


Figura 69: Representación gráfica de la desaladora, del inmisario y emisario del emplazamiento.

Fuente: Mapas de Google.

4.8. Estudio logístico.

Como se ha podido apreciar en los anteriores puntos, la construcción de la planta depende del recurso y de las características del emplazamiento, tanto para el desarrollo de la tecnología terrestre (central desaladora) como para el de la tecnología marina (parque eólico off-shore), por lo tanto, aunque el emplazamiento final, debido a los valores encontrados, se quiere realizar en Cataluña, es necesario evaluar la situación logística de la ubicación, ya que de este depende la obra.

En este análisis se evalúa la disponibilidad para el transporte de las tecnologías necesarias a nivel terrestre, aéreo y marino ya que pueden repercutir a nivel económico, temporal y de factibilidad.

4.8.1. Análisis de la red eléctrica.

Debido a la elevada demanda eléctrica que la planta realizará, se ha decidido implementar un parque eólico marino, sin embargo, aunque el dimensionamiento de esta se va a realizar para el aprovechamiento de la desaladora, es necesario evaluar la presencia de subestaciones en la cercanía, para poder volcar posibles excesos de producción.

Turó d'en Llaures se ubica en la Comunidad de Girona, la cual en julio de 2011 ha inaugurado la subestación de Bescanó (para la alimentación del sistema eléctrico de 220 kw y de 132 kw) que se encuentra a 87,6 km de distancia y que tiene los objetivos de mejorar el suministro, alimentar el tren de alta velocidad y favorecer la implementación energética de los campos eólicos onshore que se encuentran en la cercanía.



*Figura 70: Análisis de la red eléctrica en Cataluña – Turó d'en Llaures.
Fuente: Ree.es.*

4.8.2. Mano de obra.

Para la realización de la obra es necesario realizar estudios ingenieriles y de consultoría, así como el montaje, la fabricación y el mantenimiento de los equipos; analizando cada uno de estos elementos fundamentales en la cadena logística, se considera que, tanto las personas como las empresas presentes en España pueden llevar a cabo el desarrollo de la planta.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que existe la posibilidad que tanto los equipos como la tecnología que se emplea se tiene que adquirir a segundas partes.

4.8.3. Transporte terrestre.

El transporte terrestre incluye toda aquella fase de desplazamiento para los aerogeneradores, los equipos de bombeo, las tuberías y otros elementos necesarios para la realización de las

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

instalaciones; se considera que todos los elementos se pueden transportar y por lo tanto solo se analiza el escenario donde, desde el aeropuerto más grande de España (Barajas-Madrid) se llega hasta Turó d'en Llaures.

Cabe destacar que la conexión terrestre resulta muy avanzada en toda España, permitiendo cumplir con el recorrido deseado, sin embargo, resulta útil conocer el itinerario a cumplir, para ello es obligatorio recorrer 765 km, pasando por la carretera europea E-90, por la AP-2 (autopista Zaragoza-Mediterráneo), por la AP-7 (autopista del Mediterráneo), por la E-1, por la N-11 y finalmente por la GI-614.



*Figura 71: Autopista E-90.
Fuente: el Economista.es.*



*Figura 72: Autopista AP-2.
Fuente: Wikipedia.*

4.8.4. Transporte marítimo.

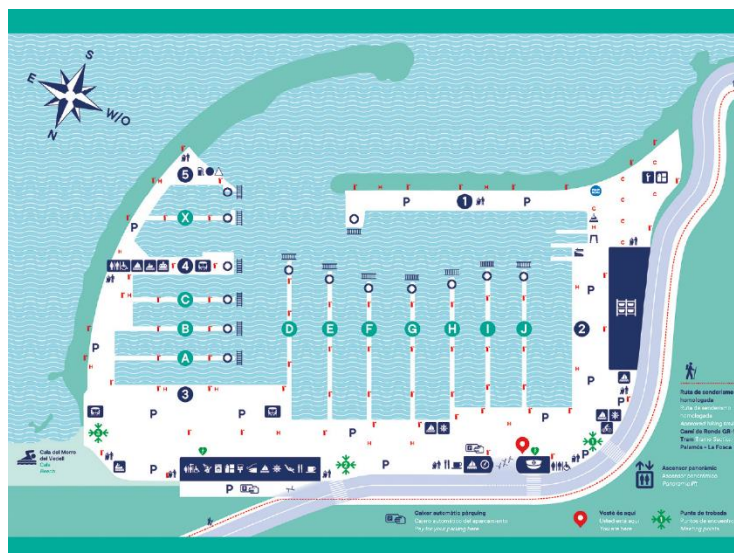
Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico. Claudio Bucciarelli.

El transporte marítimo es aquel medio de transporte que resulta más sensible de cara a la obra, ya que es aquel que involucra el desplazamiento de las palas de los aerogeneradores, así como de las torres que son los elementos más largos y por lo tanto más difíciles de transportar.

Cerca del emplazamiento se encuentra el puerto "Port de la Selva", desafortunadamente se trata de un puerto muy pequeño y empleado principalmente para actividades deportivas.

Para conseguir evaluar el puerto más adecuado se ha accedido al [siguiente enlace \(Mapa y sistema portuario catalán - Ports de la Generalitat \(gencat.cat\)\)](#) donde es posible identificar todos los que están disponibles en la zona norte, sur o central de Cataluña.

El puerto elegido es el de Palamós con una disponibilidad de 250 amarres para embarcaciones de hasta 25 metros de eslora; este se encuentra a 70 millas de la ubicación del parque.



*Figura 73: Puerto "Port de Selva".
Fuente: Gencat.*

4.8.5. Transporte aéreo.

El transporte aéreo resulta fundamental para aquellas situaciones de emergencia donde se necesita una acción rápida para poder evitar daños irreversibles a la planta o a los operadores, para ello existe el Aeropuerto de Girona Costa-Brava que cuenta con una pista de aterrizaje de 2400 metros de longitud y 50 plataformas para aeronaves.



*Figura 74: Aeropuerto de Girona Costa-Brava
Fuente: Aena.*

4.9. Ejercicio de la planta.

Para poder realizar una evaluación de los costes de inversión de la planta es necesario conocer los precios de cada elemento que componen y en el caso de que no sean disponibles, estimarlos.

En el caso del parque eólico los costes se reflejan principalmente en la tecnología compuesta por los aerogeneradores, las plataformas, los cables de conexión y la mano de obra; sin embargo, en el caso de la desaladora, hay muchos más elementos para tener en cuenta, como por ejemplo tuberías, instrumentación, bombas, recuperadores energéticos, depósitos, filtros, membranas, edificios de operación etc.

Por esta razón, se ha decidido analizar cada tecnología por separado, para así poder también establecer su alcance de este.

4.9.1. Ejercicio de la planta de osmosis inversa.

En el caso de la desaladora, para conseguir realizar un diseño completo y poder evaluar el número de elementos necesarios, el gasto exacto y la producción total, son necesarios programas de cálculo más avanzados empleado por enteros departamentos de ingeniería como, procesos, instrumentación, tuberías, mecánico etc.

Para tener una visión global del proyecto se ha decidido estudiar la operación de una planta de ósmosis inversa y con el conocimiento adquirido realizar un PFD (process flow diagram) donde se exponen las bases del proceso y los equipos fundamentales para su funcionamiento, un P&ID (piping and instrumentation diagram) donde se analiza cada parte del proceso: captación, pretratamiento, ósmosis inversa, postratamiento y distribución (empleando la

herramienta disponible en el [siguiente enlace](#)) y finalmente realizar un HAZOP (análisis funcional de operatividad).

4.9.1.1. PFD.

Los diagramas de flujo de proceso son una representación esquemática del proceso que se quiere analizar y permiten observar el diseño de la planta, así como los equipos necesarios para su funcionamiento.

Debido a la dificultad de encontrar un programa capaz de representar tanto las líneas como los equipos y los instrumentos necesarios para el control de la planta, se ha decidido presentar los dibujos realizados a mano con la consecuente explicación del proceso paso a paso.

Paso 1. Captación del agua.

El proceso empieza con la captación del agua que, debido a la normativa española se realiza a más de 1000 metros de la costa; todas las tuberías tienen que ser de polímero, ya que si la composición fuera otra, la salinidad del agua las podría fácilmente dañar, por esta razón el material empleado es el polietileno de alta densidad (polímero termoplástico).

El inmisario se ubica bajo la superficie, a una altura aproximada de 10 metros y propiamente señalizada con boyas, a medida que este se va acercando a la costa, para evitar las vibraciones causadas por el oleaje, se refuerza la estructura con un tramo de hormigón.

A través de un grupo de bombas centrífugas, el fluido se hace pasar por el edificio de captación donde se realiza un primer filtrado con consecuente almacenamiento en depósitos y finalmente un segundo filtrado previo al paso de pretratamiento.

Paso 2. Pretratamiento.

El proceso de pretratamiento resulta ser el más largo pues tiene que preparar el agua para la ósmosis inversa, este consta de varios depósitos, divididos en 5 grupos a los cuales se añade hipoclorito sódico, ácido sulfúrico, cloruro férrico, bisulfito sódico y antiincrustante, los cuales se encuentran almacenados en depósitos individuales y expulsados posteriormente por un conjunto de bombas propio hacia los depósitos, donde se mezclan con el fluido a través de agitadores.

Paso 3. Filtrado final.

Debido a que las líneas y las bombas de alta presión, así como las membranas de ósmosis inversa resultan ser los equipos más valiosos de la central, resulta imprescindible realizar un

último filtrado compuesto por varias películas, antes de empezar el último paso de la desalinización.

Paso 4. Osmosis Inversa.

Este paso está compuesto por las líneas de alta presión, que usualmente prevén un grupo de bombas en serie capaces de impulsar el fluido hacia las membranas y conseguir los valores deseados y al mismo tiempo por una línea de baja presión que se conecta con el recuperador de energía, que, en este caso, es un intercambiador de presiones.

Estos equipos reciben como entrada la línea de baja presión, que es una ramificación de la de alta y al mismo tiempo el rechazo de la membrana de osmosis inversa (salmuera), a la salida se ubica una bomba booster que aporta el fluido (ya a elevada presión) a la línea de alta presión justo antes de empezar el proceso de ósmosis inversa.

El rechazo ya no se puede tratar y se envía, a través del emisario submarino que recorre, durante los primeros metros, el mismo recorrido del inmisario, y finalmente se desvía a más de 1000 metros de la costa y que se expulsa mediante boquillas difusoras.

Paso 5. Postratamiento.

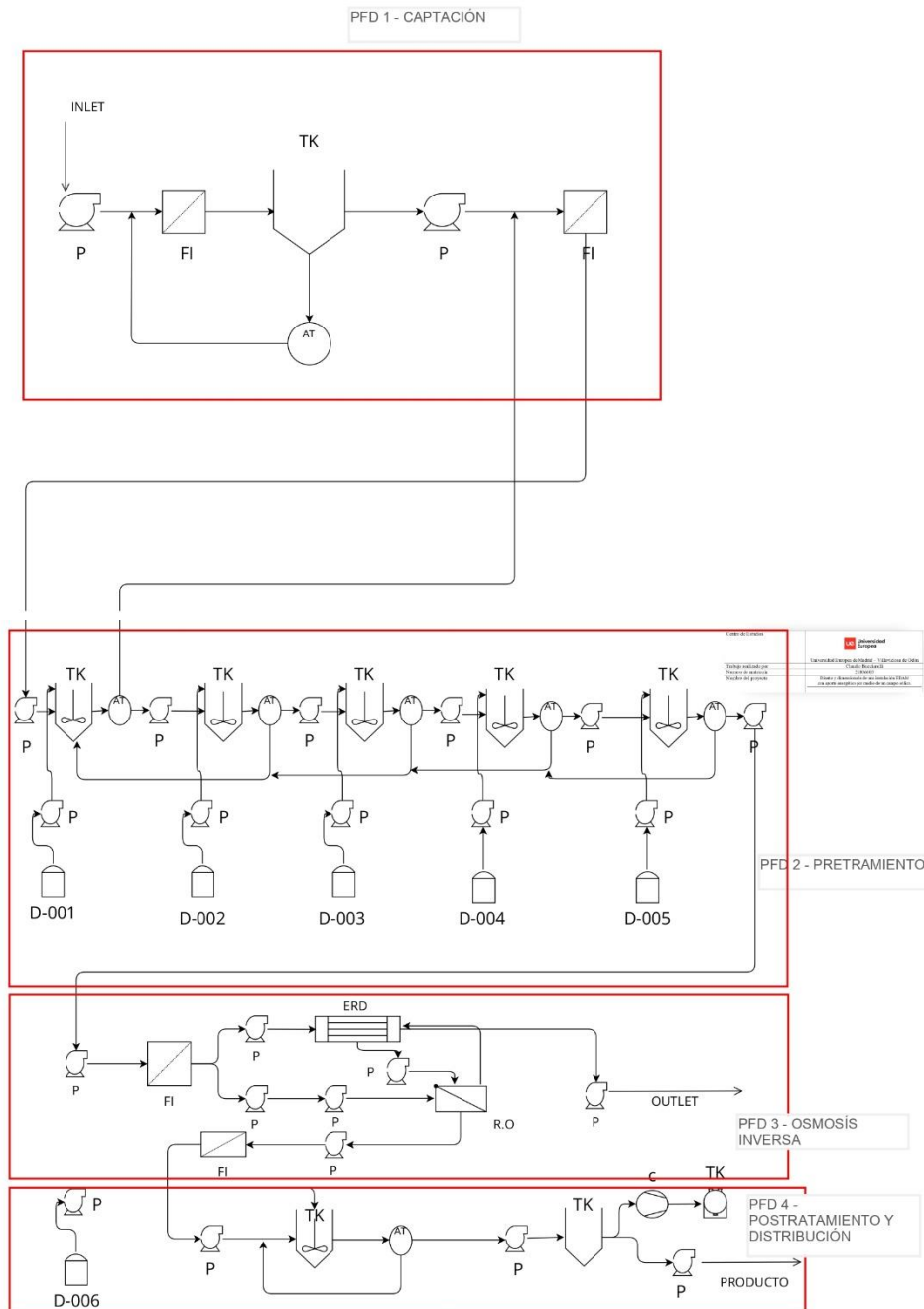
Previo a la distribución se encuentra la etapa de postratamiento, donde al fluido, dentro de un conjunto de depósitos, se remineraliza, mientras que, el CO_2 se almacena en un depósito criogénico y se vende para usos alimenticios.

Paso 6. Almacenamiento y distribución.

El agua ya tratada recibe los últimos controles mientras se almacena en un edificio compuesto por un grupo de depósitos y finalmente se impulsa hacia la red de distribución.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Curso de Estudios	Grado en Ingeniería
Departamento	Ingeniería de Energías de Maquinaria y Vehículos de Océano
Asignatura	Grado de Ingeniería
Nombre de materia	Diseño y Dimensionado de una planta de Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Nombre del profesor	Claudio Bucciarelli



*Figura 75: Representación PFD de la planta
Fuente: Elaboración propia.*

4.9.1.2. P&ID.

El diagrama de tuberías e instrumentación permite analizar el funcionamiento de cada equipo, así como la lógica para el funcionamiento de la planta; resulta ser una representación más detallada de un PFD ya que se emplea también para estudios de seguridad como HAZOP y LOPA.

Cabe destacar que un P&ID no tiene por qué representar de forma fiel la disposición final de las tuberías o de los equipos y que este puede recibir importantes modificaciones a la hora de la construcción de la planta.

Antes de analizar los P&ID correspondientes a este proceso resulta útil la explicación de los siguientes equipos e instrumentos de control:

- Válvula de 3 vías:



*Figura 76: Representación gráfica Válvula de 3 vías.
Fuente: Patentados.com*

Se trata de una válvula que puede recibir 2 entradas y proporcionar 1 salida o al revés, su regulación se puede realizar tanto de forma manual como de forma automática, dependiendo del tipo de planta y del tipo de líneas en entrada que está recibiendo.

- Válvula:



*Figura 77: Representación gráfica Válvula.
Fuente: Patentados.com*

Se trata de una válvula que recibe una entrada y proporciona una salida, su regulación (cerrada/abierta) se puede realizar de forma manual o automática dependiendo del tipo de planta y del tipo de líneas en entrada que está recibiendo.

- Check Valve:



*Figura 78: Representación gráfica Checkvalve.
Fuente: Patentados.com*

Se trata de una válvula de control que permite que el flujo circule sólo en una dirección, cerrándose si se verifica un retorno de flujo. Su función es la de proporcionar seguridad a las tuberías y a los equipos de bombeo.

- Instrumentación:

1. LI → se trata de un indicador electrónico de nivel. (Level Indicator)
2. LT → se trata de un transmisor electrónico de nivel que va conectado al indicador, para que se pueda visionar en el cuarto de control. (Level Transmitter)
3. IS → se trata de un actuador electrónico (interlock) que tiene la función de bloquear los equipos.
4. LALL → se trata de un indicador electrónico de bajo nivel. (Low Level)
5. LAHH → se trata de un indicador electrónico de alto nivel. (High Level)
6. AT → se trata de un analizador electrónico.
7. PSV → se trata de un instrumento mecánico compuesto por un muelle diseñado para el funcionamiento dentro de unos determinados parámetros de presión, si estos se superan, el muelle se ve vencido y deja el paso al flujo. Sirve como capa de seguridad para tuberías u otros equipos.



*Figura 79: Representación gráfica Válvula de presión de seguridad
Fuente: AccuTest.*

8. LG → se trata de un instrumento mecánico para el visionado del nivel de líquidos dentro de tanques o depósitos. (Level Gauge).



Figura 80: Representación gráfica Level Gauge.

Fuente: Ayvaz.

1. Fase de captación:

El proceso empieza con la línea INLET, que toma el agua desde el punto de captación y la lleva hasta la primera zona de filtrado.

En esta existe un equipo de bombeo, denominado P-001 (bomba centrífuga accionada automáticamente), para que se pueda llevar al filtro FI-001.

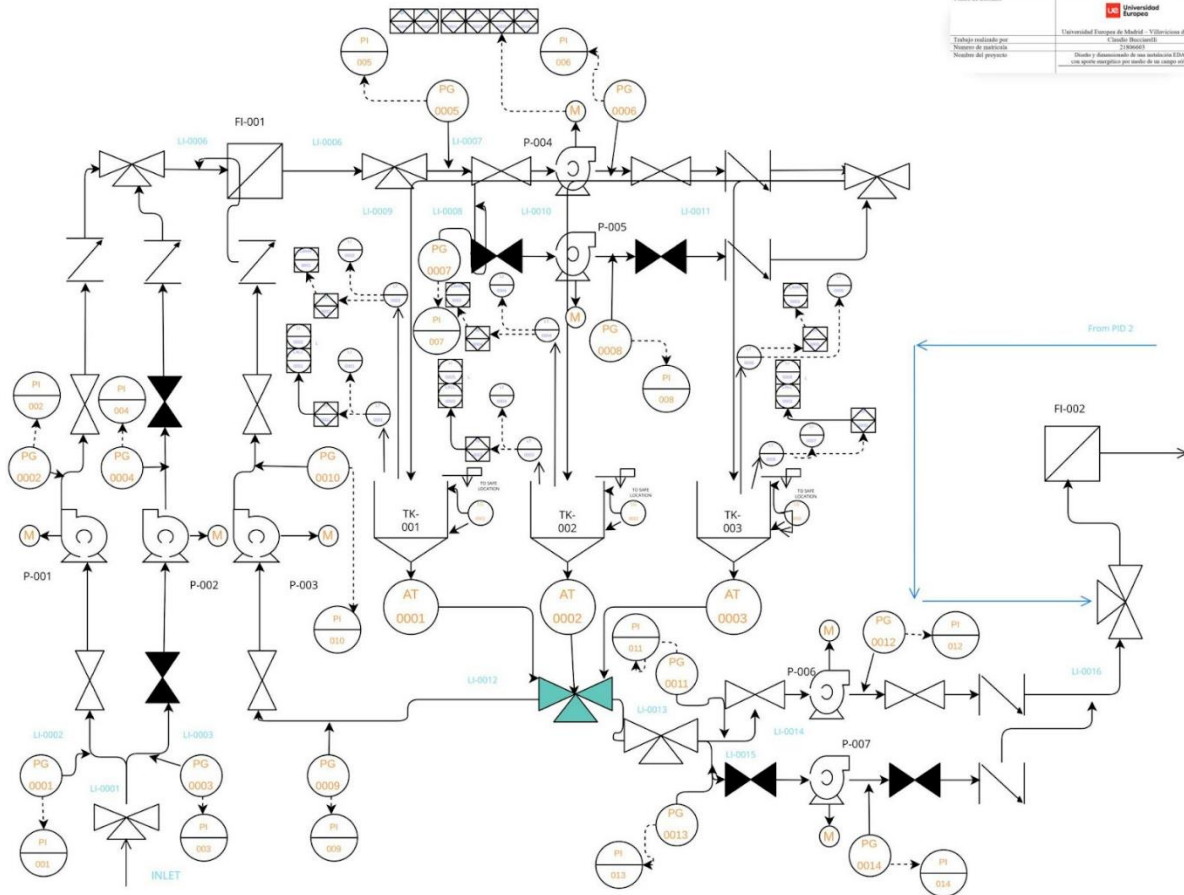
Para garantizar el funcionamiento de esta etapa, se ha añadido otra bomba spare (bomba de reserva igual a la anterior) que puede llevar a cabo la tarea cerrando y abriendo las válvulas de 3 vías puestas río arriba y río abajo.

Tras pasar por el primer filtro otro equipo de bombeo denominado P-004 lleva el fluido a los dos primeros tanques de almacenamiento: TK-001 y TK-002, el tanque TK-003 y la bomba P-005 son de reserva frente a posibles mantenimientos o fugas.

A la salida de cada tanque existe un transmisor que analiza el fluido, si este se encuentra fuera de los parámetros preestablecidos, la válvula de 3 vías lo enviará, gracias al equipo de bombeo P-003 antes del filtro FI-001 para repetir el proceso, en caso contrario la bomba P-006 mandará el agua al filtro FI-002, que representa la última etapa antes de entrar en la fase de pretratamiento.

Cabe destacar que el equipo de bombeo P-007 ubicado en la línea LI-0015 sirve de reserva y que al mismo tiempo **todas** las bombas tienen indicadores de presión, antes de las válvulas, en el campo, para que el operador las pueda visionar en el cuarto de control (PG conectadas a PI), al mismo tiempo los tanques tienen indicadores de alto y bajo nivel también conectados con el cuarto de control (LT, IS, LALL, LAHH, LI), así como indicadores de nivel en el campo (LG) para que el operador las pueda visionar y finalmente, en caso de fallo de estas capas de seguridad, tratándose de agua y por lo tanto, no de una sustancia peligrosa, existe una salida de emergencia del líquido, a ubicar en un sitio seguro (TO SAFE LOCATION).

Centro de Estudios	Universidad Europea
Trabajo realizado por	Claudio Bucciarelli
Número de matrícula	21080441
Número del proyecto	Diseño y dimensionado de una desaladora EIAM con aporte energético por medio de un campo eólico.



*Figura 81: Representación P&ID fase de captación.
Fuente: Elaboración propia.*

2. Fase de pretratamiento:

La segunda parte del proceso empieza en la línea LI-0016, que viene del P&ID 1, donde el fluido, a través del equipo de bombeo P-008 y el P-009 (reserva) lleva el líquido hacia el tanque TK-004.

El hipoclorito sódico es el primer aditivo de este proceso, se almacena en el drum D-001 y a través del equipo de bombeo P-010 y el P-011 (reserva), lo envía hacia el tanque TK-004 donde, gracias al agitador A-001, se lleva a cabo la primera de las cinco fases del pretratamiento.

A la salida está ubicado un analizador AT-004 que establece si el agua puede ir a la siguiente etapa, la válvula de tres vías permite desviar el flujo hacia la bomba P-011 que a su vez impulsa el fluido hacia el filtro FI-002 ubicado en el P&ID 1.

Sin embargo, si el analizador confirma que los parámetros del agua son los correctos este se mueve hacia el tanque TK-006 gracias a los equipos de bombeo P-012 y P-013 (reserva).

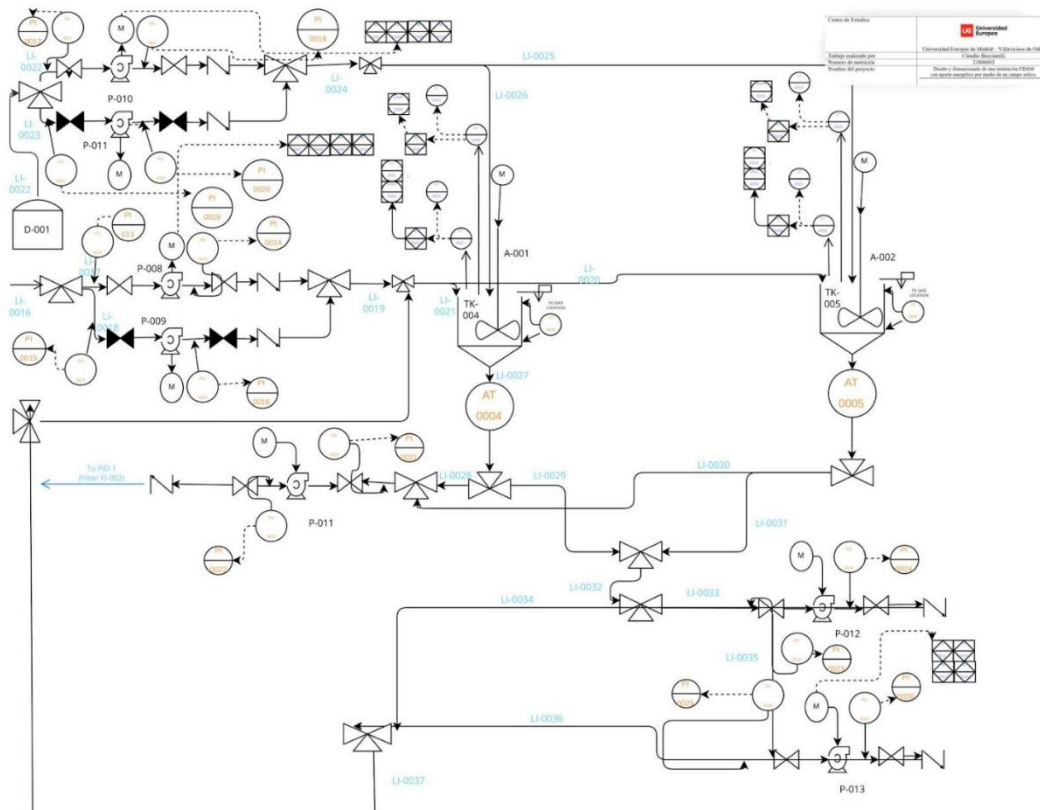
Cabe destacar que, como en los anteriores procesos los tanques están equipados con sensores de nivel visibles tanto en el cuarto de control como en el campo, mientras que, en caso de emergencia el fluido puede salir hacia un lugar seguro (TO SAFE LOCATION).

Las siguientes 4 etapas, donde se añade Ácido Sulfúrico, Cloruro Férrico, Bisulfito Sódico y Antiincrustante (almacenados en los drums D-002, D-003, D-004 y D-005), tienen la misma lógica que la anteriormente explicada, ya que los pasos a realizar son los mismos.

Las líneas LI-0053, LI-0054, LI-0074, LI-0073, LI-0096, LI-0095 y LI-0117 sirven para enviar los rechazos de las etapas posteriores al tanque TK-004 donde se repite el proceso de tratamiento, gracias al empleo de las bombas P-016, P-021, P-026 y P-031.

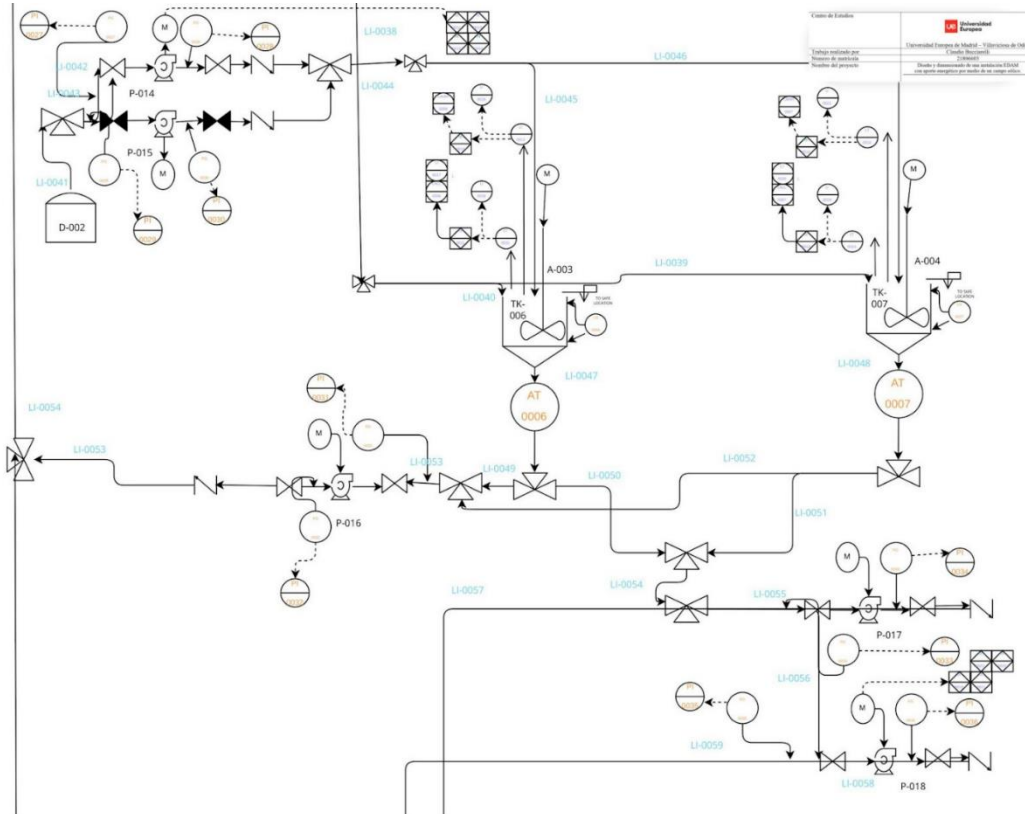
El equipo de bombeo P-032 y P-033 (reserva) ubicado a la salida del último tanque de pretratamiento TK-012 y TK-013 (reserva) impulsan el fluido hacia la fase de osmosis inversa.

A modo de resumen se puede decir que esta fase del proceso consta de 26 bombas centrífugas de baja-media presión (15 de reserva), 10 tanques para el pretratamiento (5 de reserva), 5 drums donde se almacenan los diferentes aditivos químicos y un total de 10 agitadores (5 de reserva) y más de 120 alarmas/sensores.



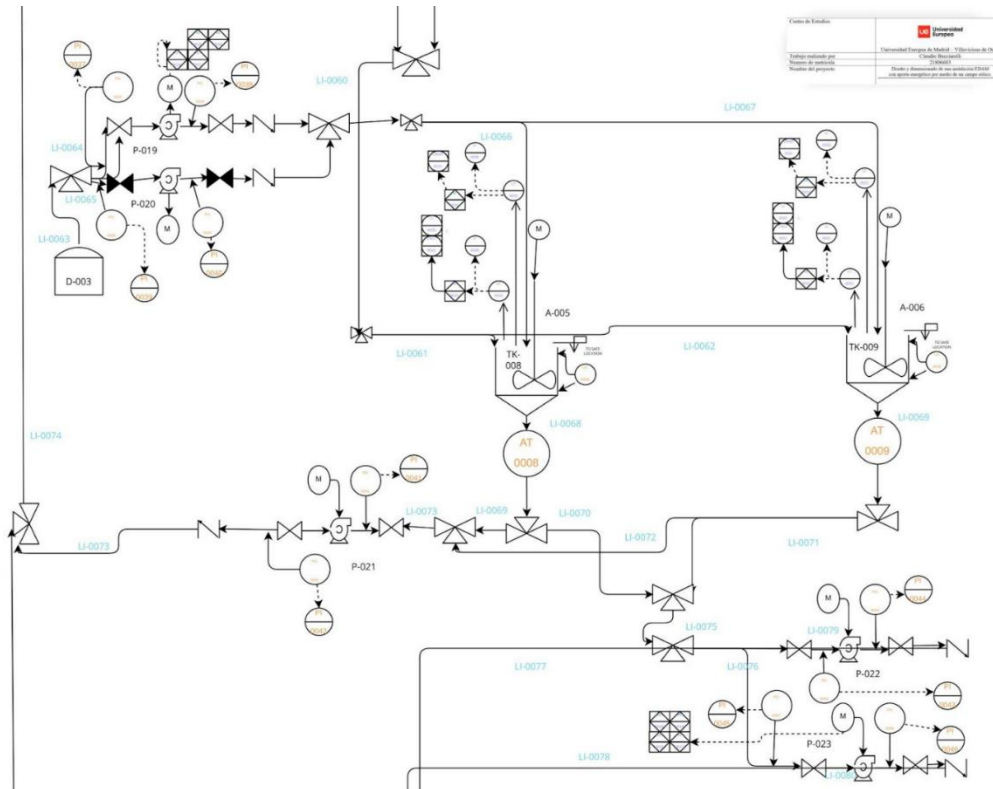
Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

*Figura 82: Representación P&ID fase de pretratamiento.
Fuente: Elaboración propia.*



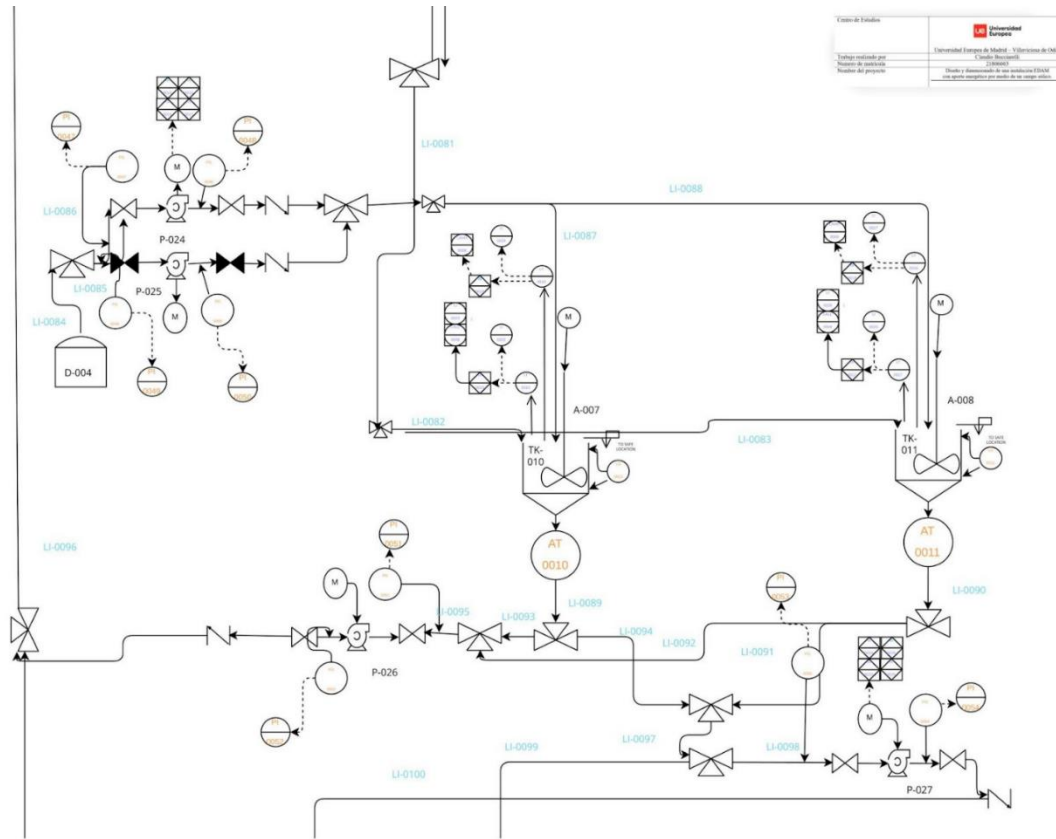
*Figura 83: Representación P&ID fase de pretratamiento.
Fuente: Elaboración propia.*

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



*Figura 84: Representación P&ID fase de pretratamiento.
Fuente: Elaboración propia.*

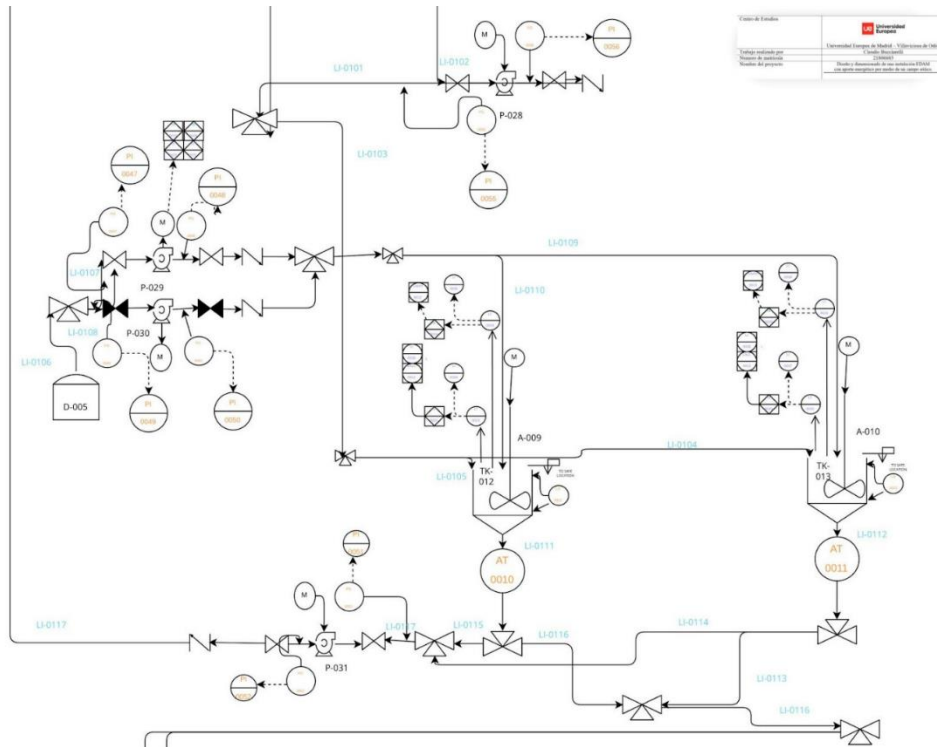
Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



Código de Estudio		ue Universidad Europea
Trabajo realizado por		Universidad Europea de Madrid - V. Barralón de Otero
Número de expediente		00000000
Nombre del profesor		Nombre y Apellido de profesor responsable del curso

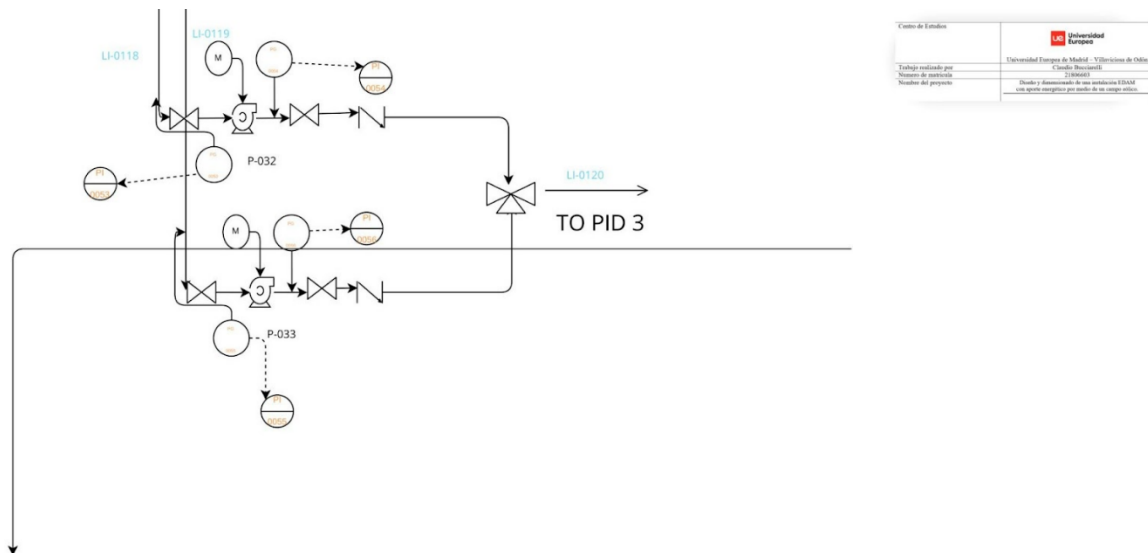
*Figura 85: Representación P&ID fase de pretratamiento.
Fuente: Elaboración propia.*

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



Centro de Estudios		ue Universidad Europea
Trabajo realizado por:		Universidad Europea de Madrid - Villavieja de Ojeda
Número de matrícula:		Claudio Bucciarelli
Número del proyecto:		2100401
		Diseño y dimensionado de una desaladora EROSM con aporte energético por medio de un campo eólico.

*Figura 86: Representación P&ID fase de pretratamiento.
Fuente: Elaboración propia.*



Centro de Estudios		ue Universidad Europea
Trabajo realizado por:		Universidad Europea de Madrid - Villavieja de Ojeda
Número de matrícula:		Claudio Bucciarelli
Número del proyecto:		2100401
		Diseño y dimensionado de una desaladora EROSM con aporte energético por medio de un campo eólico.

*Figura 87: Representación P&ID fase de pretratamiento.
Fuente: Elaboración propia.*

3. Fase de Osmosis Inversa.

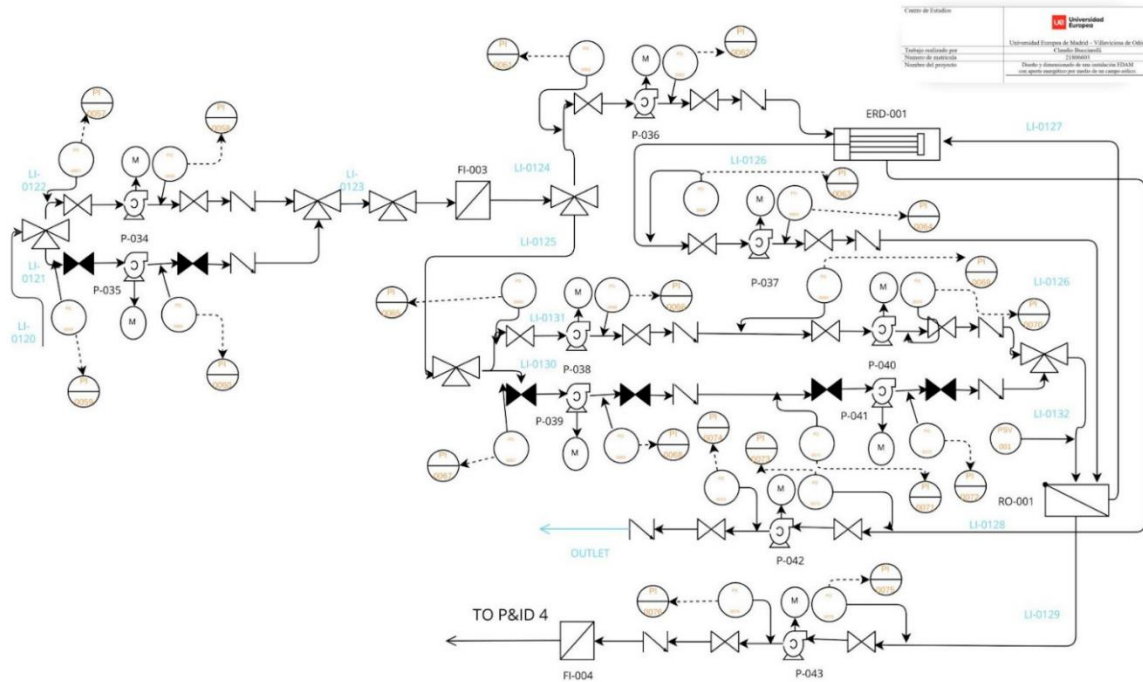
La tercera parte del proceso es la más importante porque es la de Osmosis Inversa, empieza con la línea LI-0120 que viene del pretratamiento donde el equipo de bombeo P-034 y el P-035 (reserva) envían el fluido pretratado al filtro FI-003 previo a la desviación de la línea de alta y de baja presión.

El recuperador energético ERD-001 recibe como entradas la líneas de baja presión LI-0124 controlada por el equipo de bombeo P-036 y el rechazo de la membrana (salmuera) a través de la línea LI-0127 y proporciona la salida del fluido a alta presión, impulsado por el equipo de bombeo P-037 hacia la entrada de la membrana; el rechazo de este equipo se envía a través de la línea LI-0128 y del equipo de bombeo P-042 directamente al mar.

La línea de alta presión (LI-0125) está constituida, por razones económicas, por dos grupos de bombas en serie (P-038 y P-040), más otras dos de reserva (P-039 y P-041), que envían el fluido a la membrana RO-001, cuyos límites de presión están controlados, gracias al equipo mecánico PSV-001.

Esta capa de seguridad resulta ser fundamental ya que, aunque las bombas están diseñadas para respetar los límites de presión establecidos por la membrana, a la salida se tiene un caudal menor y si se analiza el siguiente gráfico, se puede ver como a menor flujo corresponde un aumento de presión que podría dañar el equipo de osmosis inversa.

A la salida del equipo RO-001 existe un equipo de bombeo P-043 que hace pasar el permeado a través del filtro FI-004 donde se acaba esta parte del proceso.



*Figura 88: Representación P&ID fase de osmosis inversa.
Fuente: Elaboración propia.*

4. Fase de postratamiento y distribución final.

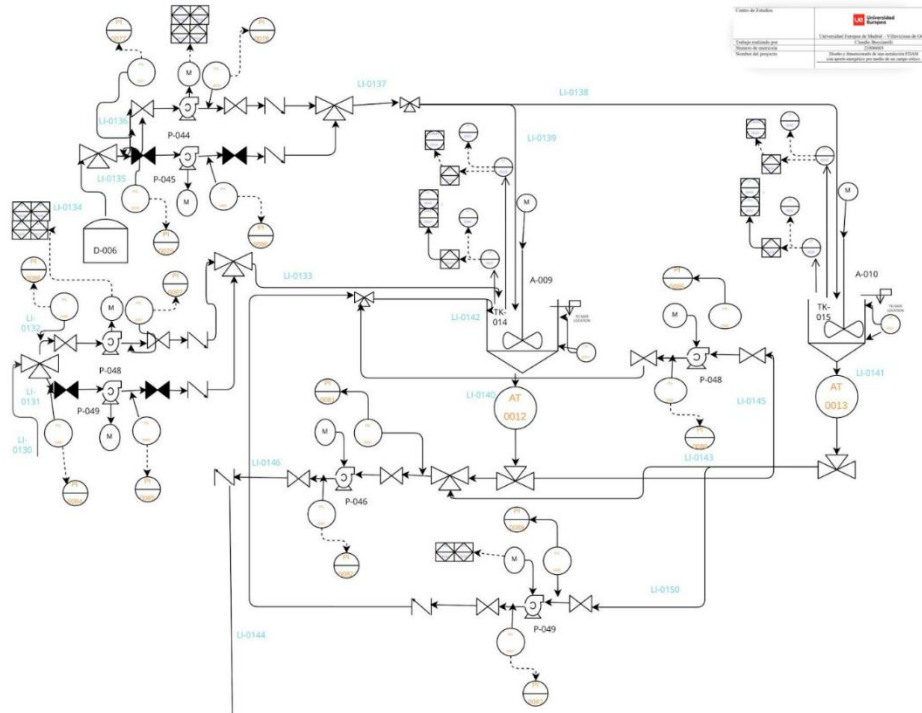
La cuarta fase del proceso es la de post tratamiento y distribución que empieza con la línea LI-0130, compuesta por el equipo de bombeo P-048 y P-049 (reserva) que envían el fluido al tanque TK-014 y TK-015 (reserva) donde se añade el aditivo correspondiente para realizar la remineralización contenido en el drum D-006 y movido por el equipo de bombeo P-044 y P-045 (reserva) y mezclado con los agitadores A-009 y A-010 (reserva).

A la salida de ambos tanques están ubicados los analizadores para verificar si el agua respeta los parámetros preestablecidos, en caso de que no lo haga los equipos de bombeo P-048 y P-049 ubicados en las líneas LI-0150 y LI-0145 devuelven el fluido a la entrada de los tanques; en caso contrario el equipo de bombeo P-046 de la línea LI-0146 envía el agua al tanque de almacenamiento cerrado TK-016.

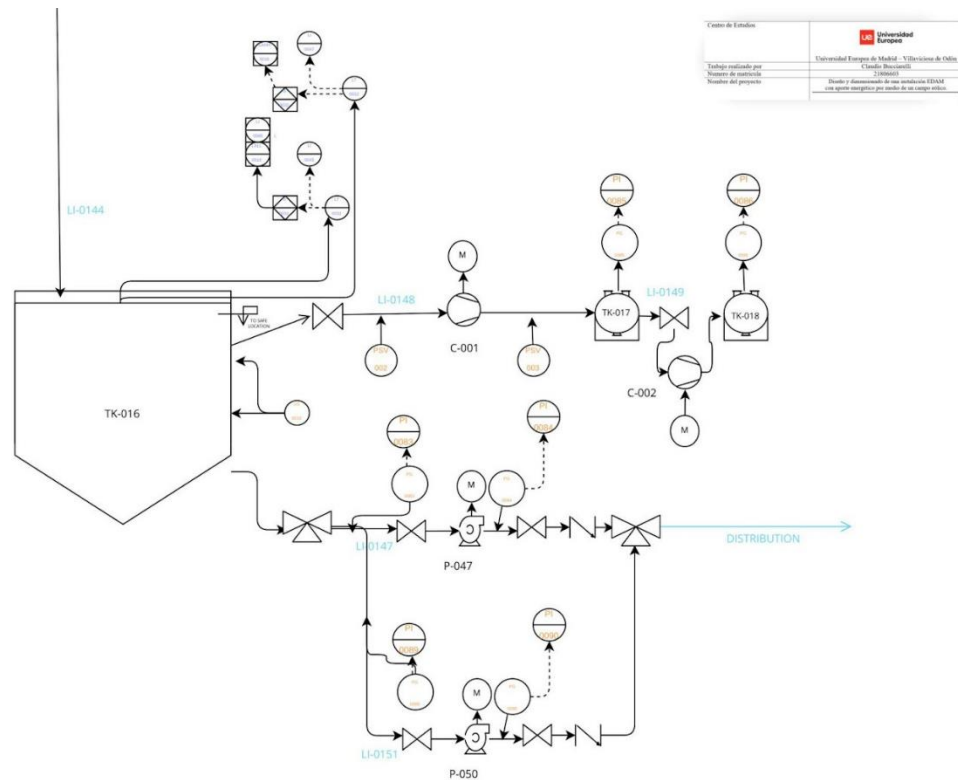
En este tanque se debe tener en cuenta la producción de CO₂ que se hará pasar a los tanques esféricos TK-017 y TK-018 (reserva) gracias a los compresores C-001 y C-002 ubicados en las líneas LI-0148 y LI-0149, las cuales están equipadas con controladores mecánicos de presión PSV.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Cabe destacar que tratándose de gases es útil ubicar también en los tanques controladores de presión (PG y PI) que permitan la visión del estado de los equipos en el cuarto de control. Sin embargo, en el tanque TK-016 se ubica también la salida del producto final, movido gracias al equipo de bombeo P-047 y P-050 (reserva) hacia la línea de distribución.



*Figura 89: Representación P&ID fase de postratamiento y distribución final.
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 90: Representación P&ID fase de postratamiento y distribución final.
Fuente: Elaboración propia.*

Cabe destacar que, aunque la lógica y el proceso presentados, representan de forma fiel el correcto funcionamiento de la planta, es posible que la tecnología se adquiriera a un licenciante, que tenga patentes propias y que por lo tanto existe la posibilidad de más capas de seguridad o de una variación en el diseño, también debida a las diferentes necesidades del cliente.

4.9.2. Ejercicio del parque eólico flotante.

Una vez que ya se tienen definidos los parámetros de trabajo de la planta de ósmosis inversa, así como sus gastos y producción aproximada, se puede empezar con la evaluación de la producción del parque eólico flotante.

Para ello se ha realizado el ejercicio en la herramienta de cálculo Excel y se puede encontrar en los adjuntos de este proyecto, de todas formas, para su realización, se ha tenido en cuenta lo siguiente:

1. Fórmula para la evaluación de la potencia del rotor: $P_{rotor} = CP * 0,5 * A * v^3$

Donde:

- P = Potencia del rotor.
- CP= Coeficiente de potencia
- ρ = densidad del aire
- A = Área transversal del aerogenerador
- v^3 = Velocidad media del aire a la altura del aerogenerador

2. Factor de carga, útil para evaluar el aprovechamiento de la capacidad instalada:

$$FC = (\text{Energía anual} / \text{Potencia Aerogenerador}) \text{ (kWh/kW)}$$

$$FC\% = (FC(\text{kWh/kW})) / (8760) * 100$$

3. Tabla de los coeficientes de potencia:

Tipo de terreno	Coeficientes de potencia	
Liso (mar, arena, nieve)	0,1	0,13
Moderatamente rugoso (hierba trigo)	0,13	0,2
Rugoso (bosques, barrios)	0,2	0,27

Figura 91: Coeficientes tipo de terreno.

Fuente: Elaboración propia.

Debido al emplazamiento, el tipo de aerogenerador (alto rendimiento) y el siguiente gráfico se ha decidido establecer para los cálculos un coeficiente de potencia de 0,5.

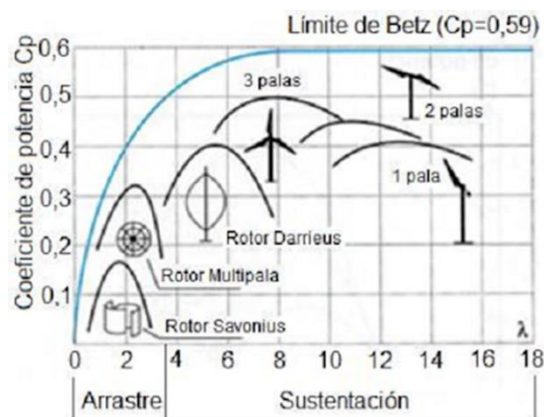


Figura 92: Gráfico de Betz del coeficiente de potencia.

Fuente: Energía Eólica.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

4. Características del aerogenerador:

La información relativa a este equipo se puede encontrar en la página del vendedor disponible en el [siguiente enlace \(Aerogenerador offshore SG 8.0-167 DD I Siemens Gamesa\)](#).

De todas formas, se han resumido las características principales, útiles para la realización de este ejercicio.

DATOS AEROGENERADOR	
Marca	SIEMENS-GAMESA
Modelo	SG 8.0-167 DD
Potencia	8 MW
Velocidad Cut-IN	3 m/s
Velocidad Cut-OFF	25 m/s
Área Barrido (m ²)	219000

*Tabla 11: Datos de funcionamiento del aerogenerador SG 8.0-167 DD..
Fuente: Elaboración propia.*

5. Evaluación de las horas totales por cada velocidad registrada.

Para conseguir realizar el cálculo de la planta hay que tener en cuenta cuantas horas totales se tienen a una determinada velocidad, teniendo en cuenta el Cut-IN y el Cut-OFF del aerogenerador, donde, por lo tanto, se tendrán valores iguales a cero hasta 3 m/s (incluido) y desde 25 m/s (incluido). Para ello se ha accedido a la [siguiente base de datos](#) donde están disponibles los registros de velocidad media máxima por día en Cabo de Creus, localidad muy cercana al emplazamiento final.

Se han evaluado más de 365 días (porque en algunos días se han perdido los registros) y tras pasar las velocidades, de km/h a m/s y finalmente se ha hecho un sumatorio total de horas para cada velocidad, para un cálculo más completo se podrían tener en cuenta más días, aunque la variación sería mínima.

6. Consideraciones finales previas a la resolución del problema.

Se supone un parque eólico compuesto por 10 aerogeneradores tripala de alta potencia para el empleo offshore. Cada uno se ubica a una altura de 100 metros con un área de barrido de 21.900 metros cuadrados. Se considera un terreno liso (coeficiente de potencia igual a 0,5) y una velocidad media de 10,5 m/s, medida a una altura de 100 metros. Finalmente se evalúa, a través de una serie de cálculos, la energía generada al cabo del año por el conjunto de

aerogeneradores, teniendo en cuenta que la velocidad de arranque es 3 m/s, la de desconexión es 25 m/s y que la densidad del aire es constante y vale $1,225 \text{ kg/m}^3$.

7. Resultados obtenidos.

Teniendo en cuenta que, el parque está compuesto por 10 aerogeneradores, la producción en MWh al año del conjunto de equipos es de 1.177.661,791 MWh.

Velocidad del viento en m/s a 100 metros de altura.	Horas anuales a la velocidad correspondiente	Potencia generada en W	Energía generada en Wh	Energía generada en kWh	Energía generada en MWh	Energía total generada en MWh	Energía total generada por el parque en MWh
1	0	6706,875	0	0	0	117766,1791	1177661,791
2	0	53655	0	0	0		
3	0	181085,625	0	0	0		
4	312	429240	133922880	133922,88	133,92288		
5	456	838359,375	382291875	382291,875	382,291875		
6	600	1448685	869211000	869211	869,211		
7	456	2300458,125	1049008905	1049008,905	1049,008905		
8	816	3433920	2802078720	2802078,72	2802,07872		
9	792	4889311,875	3872335005	3872335,005	3872,335005		
10	504	6706875	3380265000	3380265	3380,265		
11	624	8926850,625	5570354790	5570354,79	5570,35479		
12	264	11589480	3059622720	3059622,72	3059,62272		
13	312	14735004,38	4597321365	4597321,365	4597,321365		
14	192	18403665	3533503680	3533503,68	3533,50368		
15	120	22635703,13	2716284375	2716284,375	2716,284375		
16	288	27471360	7911751680	7911751,68	7911,75168		
17	288	32950876,88	9489852540	9489852,54	9489,85254		
18	336	39114495	13142470320	13142470,32	13142,47032		
19	96	46002455,63	4416235740	4416235,74	4416,23574		
20	264	53655000	14164920000	14164920	14164,92		
21	120	62112369,38	7453484325	7453484,325	7453,484325		
22	120	71414805	8569776600	8569776,6	8569,7766		
23	144	81602548,13	11750766930	11750766,93	11750,76693		
24	96	92715840	8900720640	8900720,64	8900,72064		
25	0	104794921,9	0	0	0		

Figura 91: Tabla de Excel producción energética campo eólica.

Fuente: Elaboración propia.

4.9.3. Consideraciones finales.

Para dar por finalizada la evaluación de la planta desalinizadora y del parque eólico se ha considerado lo siguiente:

- Aunque las horas totales en las cuales se ha evaluado la producción del campo corresponden a 7.440, hay que tener en cuenta que cualquier tipo de instalación industrial trabaja 8.000 horas en un año, frente a las 8.760 disponibles. Por lo tanto, para un cálculo conservador se ha considerado un factor reductor del 15% sobre la producción total, es decir, se ha tenido en cuenta que las posibles operaciones de mantenimiento que se suelen realizar en las 760 horas (8.760-8.000) se hagan cuando existe la mayor producción energética.

Lo que se traduce en una producción final de 176.649,2886 MWh/año.

- El gasto total de la planta desaladora, como expuesto en el punto 4,5 se ubica en 90.000 MWh/año.

4.10. Tecnología utilizada.

Aunque muchos equipos ya se han presentado en los anteriores estudios, resulta conveniente realizar un listado de estos ya que se podría usar para la estimación de los costes del proyecto.

Para ello se ha realizado una hoja de cálculo en formato Excel (disponible en los adjuntos de este proyecto), donde se puede consultar todo el conjunto de equipos, instrumentos y tuberías empleadas para la planta desaladora, para que el análisis de este proyecto resulte más sencillo, se han trasladado los datos y se pueden encontrar a continuación.

4.10.1. Bombas utilizadas.

NOMBRE EQUIPOS	TAREA	ÁREA DE EMPLEO
P-001	Bomba de captación	Captación
P-002	Bomba de captación (reserva)	Captación
P-003	Bomba de recirculación si los parámetros del agua están fuera de las especificaciones	Captación
P-004	Bomba de distribución a los tanques.	Captación
P-005	Bomba de distribución a los tanques (reserva)	Captación
P-006	Bomba de distribución al filtro	Captación
P-007	Bomba de distribución al filtro (reserva)	Captación
P-008	Bomba de distribución del agua filtrada a los tanques de mezcla (1)	Pretratamiento
P-009	Bomba de distribución del agua filtrada a los tanques de mezcla (1) (reserva)	Pretratamiento
P-010	Bomba de distribución del primer aditivo químico	Pretratamiento

P-011	Bomba de distribución del primer aditivo químico (reserva)	Pretratamiento
P-012	Bomba de distribución a la segunda etapa de pretratamiento (reserva)	Pretratamiento
P-013	Bomba de distribución a la segunda etapa de pretratamiento	Pretratamiento
P-014	Bomba de distribución del segundo aditivo químico	Pretratamiento
P-015	Bomba de distribución del segundo aditivo químico (reserva)	Pretratamiento
P-016	Bomba de recirculación si los parámetros del agua están fuera de las especificaciones	Pretratamiento
P-017	Bomba de distribución a la tercera fase de pretratamiento (reserva)	Pretratamiento
P-018	Bomba de distribución a la tercera fase de pretratamiento	Pretratamiento
P-019	Bomba de distribución del tercer aditivo químico	Pretratamiento
P-020	Bomba de distribución del tercer aditivo químico (reserva)	Pretratamiento
P-021	Bomba de recirculación si los parámetros del agua están fuera de las especificaciones	Pretratamiento
P-022	Bomba de distribución a la cuarta fase de pretratamiento (reserva)	Pretratamiento
P-023	Bomba de distribución a la cuarta fase de pretratamiento	Pretratamiento
P-024	Bomba de distribución del cuarto aditivo químico	Pretratamiento
P-025	Bomba de distribución del cuarto aditivo químico (reserva)	Pretratamiento

P-026	Bomba de recirculación si los parámetros del agua están fuera de las especificaciones	Pretratamiento
P-027	Bomba de distribución a la quinta fase del pretratamiento	Pretratamiento
P-028	Bomba de distribución a la quinta fase del pretratamiento (reserva)	Pretratamiento
P-029	Bomba de distribución del quinto aditivo químico	Pretratamiento
P-030	Bomba de distribución del quinto aditivo químico (reserva)	Pretratamiento
P-031	Bomba de recirculación si los parámetros del agua están fuera de las especificaciones	Pretratamiento
P-032	Bomba de distribución a la fase de Osmosis Inversa	Pretratamiento
P-033	Bomba de distribución a la fase de Osmosis Inversa (reserva)	Pretratamiento
P-034	Bomba de distribución al filtro previo a la ósmosis inversa	Osmosis Inversa
P-035	Bomba de distribución al filtro previo a la osmosis inversa (reserva)	Osmosis Inversa
P-036	Bomba de distribución de la línea de baja presión para el recuperador energético	Osmosis Inversa
P-037	Bomba booster	Osmosis Inversa
P-038	Bomba de alta presión (1)	Osmosis Inversa
P-039	Bomba de alta presión (1) (reserva)	Osmosis Inversa
P-040	Bomba de alta presión (2)	Osmosis Inversa
P-041	Bomba de alta presión (2) (reserva)	Osmosis Inversa

P-042	Bomba de distribución para la salida del producto no deseado	Osmosis Inversa
P-043	Bomba de distribución para la fase del post tratamiento y distribución	Osmosis Inversa
P-044	Bomba de distribución para la remineralización	Post Tratamiento y Distribución
P-045	Bomba de distribución para la remineralización (reserva)	Post Tratamiento y Distribución
P-046	Bomba de distribución para el tanque de almacenamiento	Post Tratamiento y Distribución
P-047	Bomba de recirculación si los parámetros del agua están fuera de las especificaciones	Post Tratamiento y Distribución
P-048	Bomba de distribución al tanque de remineralización	Post Tratamiento y Distribución
P-049	Bomba de distribución al tanque de remineralización (reserva)	Post Tratamiento y Distribución
P-050	Bomba de distribución final	Post Tratamiento y Distribución
P-051	Bomba de recirculación si los parámetros del agua están fuera de las especificaciones	Captación
P-052	Bomba de recirculación si los parámetros del agua están fuera de las especificaciones	Post Tratamiento y Distribución
P-053	Bomba de distribución final (reserva)	Post Tratamiento y Distribución

Tabla 12: Listado de bombas empleadas en la planta y sus características..

Fuente: Elaboración propia.

En total hay 53 bombas, donde 4 se emplean para las líneas de alta presión de la membrana de Ósmosis Inversa, una de ella cumple la tarea de bomba booster, mientras que las restantes se emplean en las líneas de media-baja presión.

Cabe destacar que, aunque el diseño del proyecto ha sido conservador, puesto que se han añadido muchos equipos de reserva para garantizar ulteriores capas de seguridad, es posible que, en un diseño real, el número de bombas empleadas sea más alto.

4.10.2. Tuberías utilizadas.

LINEAS	TAREA	ÁREA DE EMPLEO
LI-001	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-002	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-003	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-004	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-005	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-006	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-007	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-008	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-009	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-010	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-011	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-012	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-013	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-014	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-015	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-016	Línea de distribución de media-baja presión	Captación
LI-017	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-018	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-019	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-020	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-021	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento

LI-022	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-023	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-024	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-025	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-026	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-027	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-028	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-029	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-030	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-031	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-032	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-033	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-034	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-035	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-036	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-037	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-038	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-039	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-040	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-041	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-042	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-043	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-044	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-045	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento

LI-046	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-047	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-048	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-049	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-050	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-051	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-052	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-053	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-054	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-055	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-056	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-057	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-058	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-059	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-060	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-061	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-062	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-063	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-064	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-065	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-066	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-067	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-068	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-069	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento

LI-070	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-071	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-072	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-073	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-074	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-075	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-076	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-077	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-078	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-079	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-080	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-081	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-082	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-083	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-084	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-085	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-086	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-087	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-088	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-089	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-090	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-091	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-092	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-093	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento

LI-094	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-095	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-096	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-097	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-098	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-099	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-100	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-101	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-102	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-103	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-104	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-105	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-106	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-107	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-108	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-109	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-110	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-111	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-112	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-113	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-114	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-115	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-116	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-117	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento

LI-118	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-119	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-120	Línea de distribución de media-baja presión	Pretratamiento
LI-121	Línea de distribución de media-baja presión	Osmosis Inversa
LI-122	Línea de distribución de media-baja presión	Osmosis Inversa
LI-123	Línea de distribución de media-baja presión	Osmosis Inversa
LI-124	Línea de baja presión para el recuperador energético	Osmosis Inversa
LI-125	Línea de alta presión	Osmosis Inversa
LI-126	Línea de la bomba booster	Osmosis Inversa
LI-127	Línea de salida del producto no deseado de la membrana de osmosis inversa	Osmosis Inversa
LI-128	Línea del emisario submarino	Osmosis Inversa
LI-129	Línea de salida de la membrana de osmosis inversa	Osmosis Inversa
LI-0130	Línea de alta presión para la membrana de osmosis inversa	Osmosis Inversa
LI-0131	Línea de alta presión para la membrana de osmosis inversa	Osmosis Inversa
LI-0132	Línea de alta presión para la membrana de osmosis inversa	Osmosis Inversa
LI-130	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-131	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-132	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-133	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución

LI-134	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-135	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-136	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-137	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-138	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-139	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-140	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-141	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-142	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-143	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-144	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-145	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-146	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-147	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-148	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución

LI-149	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-150	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-151	Línea de distribución de media-baja presión	Post Tratamiento y Distribución
LI-152	Línea de distribución final	Post Tratamiento y Distribución

*Tabla 13: Listado de líneas y su área de empleo en la planta y sus características.
Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede apreciar existen muchas líneas, empleadas en diferentes áreas y que cumplen diferentes tareas, realizar una estimación de la longitud total del tramo de tuberías resulta difícil, sin embargo, analizando anteriores proyectos y teniendo en cuenta las distancias mínimas de los emisarios y de los emisarios, se puede concluir que en total son necesarios alrededor de 40-50 km de tuberías ejecutados en polietileno de alta densidad.

4.10.3. Membranas utilizadas.

NOMBRE EQUIPOS	TAREA	ÁREA DE EMPLEO
FI-001	Primer filtrado desde la línea de toma	Captación
FI-002	Filtrado previo al pretratamiento	Captación
FI-003	Último filtrado previo al proceso de ósmosis inversa	Osmosis Inversa
FI-004	Edificio de filtrado previo al almacenamiento y distribución	Osmosis Inversa
RO-001	Membrana para la osmosis inversa	Osmosis Inversa

*Tabla 14: Listado de membranas y su área de empleo en la planta y sus características.
Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede apreciar en los P&ID existen muchas etapas de filtrado, aunque cabe destacar que, en la fase de ósmosis inversa, se ha representado sólo uno de estos equipos, mientras que tendría que haber más, debido a la sensibilidad de las líneas de alta presión.

En esta área también cabe destacar la presencia de un solo equipo de osmosis inversa, mientras que, tendrían que haber un total de seis, debido a volumen de producto a aportar en la fase de distribución,

Si se analizan proyectos de la misma magnitud se tienen un total de más de 13.000 membranas.

4.10.4. Instrumentación empleada.

INSTRUMENTOS	TAREA	ÁREA DE EMPLEO
PSV-001	Válvula de seguridad en caso de elevada presión	Osmosis Inversa
PSV-002	Válvula de seguridad en caso de elevada presión	Post Tratamiento y Distribución
PSV-003	Válvula de seguridad en caso de elevada presión	Post Tratamiento y Distribución
LT-001	Transmisor de nivel	Captación
LT-002	Transmisor de nivel	Captación
LT-003	Transmisor de nivel	Captación
LT-004	Transmisor de nivel	Captación
LT-005	Transmisor de nivel	Captación
LT-006	Transmisor de nivel	Captación
LT-007	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-008	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-009	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-010	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-011	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-012	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-013	Transmisor de nivel	Pretratamiento

LT-014	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-015	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-016	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-017	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-018	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-019	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-020	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-021	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-022	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-023	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-024	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-025	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-026	Transmisor de nivel	Pretratamiento
LT-027	Transmisor de nivel	Post Tratamiento y Distribución
LT-028	Transmisor de nivel	Post Tratamiento y Distribución
LT-029	Transmisor de nivel	Post Tratamiento y Distribución
LT-030	Transmisor de nivel	Post Tratamiento y Distribución
LI-001	Indicador de nivel	Captación
LI-002	Indicador de nivel	Captación
LI-003	Indicador de nivel	Captación
LI-004	Indicador de nivel	Captación
LI-005	Indicador de nivel	Captación

LI-006	Indicador de nivel	Captación
LI-007	Indicador de nivel	Captación
LI-008	Indicador de nivel	Captación
LI-009	Indicador de nivel	Captación
LI-010	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-011	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-012	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-013	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-014	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-015	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-016	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-017	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-018	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-019	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-020	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-021	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-022	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-023	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-024	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-025	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-026	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-027	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-028	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-029	Indicador de nivel	Pretratamiento

LI-030	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-031	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-032	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-033	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-034	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-035	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-036	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-037	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-038	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-039	Indicador de nivel	Pretratamiento
LI-040	Indicador de nivel	Post Tratamiento y Distribución
LI-041	Indicador de nivel	Post Tratamiento y Distribución
LI-042	Indicador de nivel	Post Tratamiento y Distribución
LI-043	Indicador de nivel	Post Tratamiento y Distribución
LI-044	Indicador de nivel	Post Tratamiento y Distribución
IS-001	Interlock	Captación
IS-002	Interlock	Captación
IS-003	Interlock	Captación
IS-004	Interlock	Captación
IS-005	Interlock	Captación
IS-006	Interlock	Captación

IS-007	Interlock	Pretratamiento
IS-008	Interlock	Pretratamiento
IS-009	Interlock	Pretratamiento
IS-010	Interlock	Pretratamiento
IS-011	Interlock	Pretratamiento
IS-012	Interlock	Pretratamiento
IS-013	Interlock	Pretratamiento
IS-014	Interlock	Pretratamiento
IS-015	Interlock	Pretratamiento
IS-016	Interlock	Pretratamiento
IS-017	Interlock	Pretratamiento
IS-018	Interlock	Pretratamiento
IS-019	Interlock	Pretratamiento
IS-020	Interlock	Pretratamiento
IS-021	Interlock	Pretratamiento
IS-022	Interlock	Pretratamiento
IS-023	Interlock	Pretratamiento
IS-024	Interlock	Pretratamiento
IS-025	Interlock	Pretratamiento
IS-026	Interlock	Pretratamiento
IS-027	Interlock	Post Tratamiento y Distribución
IS-028	Interlock	Post Tratamiento y Distribución
IS-029	Interlock	Post Tratamiento y Distribución

IS-030	Interlock	Post Tratamiento y Distribución
LALL-001	Alarma de bajo-bajo nivel	Captación
LALL-002	Alarma de bajo-bajo nivel	Captación
LALL-003	Alarma de bajo-bajo nivel	Captación
LALL-004	Alarma de bajo-bajo nivel	Pretratamiento
LALL-005	Alarma de bajo-bajo nivel	Pretratamiento
LALL-006	Alarma de bajo-bajo nivel	Pretratamiento
LALL-007	Alarma de bajo-bajo nivel	Pretratamiento
LALL-008	Alarma de bajo-bajo nivel	Pretratamiento
LALL-009	Alarma de bajo-bajo nivel	Pretratamiento
LALL-010	Alarma de bajo-bajo nivel	Pretratamiento
LALL-011	Alarma de bajo-bajo nivel	Pretratamiento
LALL-012	Alarma de bajo-bajo nivel	Pretratamiento
LALL-013	Alarma de bajo-bajo nivel	Pretratamiento
LALL-014	Alarma de bajo-bajo nivel	Post Tratamiento y Distribución
LALL-015	Alarma de bajo-bajo nivel	Post Tratamiento y Distribución
LAHH-001	Alarma de alto-alto nivel	Captación
LAHH-002	Alarma de alto-alto nivel	Captación
LAHH-003	Alarma de alto-alto nivel	Captación
LAHH-004	Alarma de alto-alto nivel	Pretratamiento
LAHH-005	Alarma de alto-alto nivel	Pretratamiento
LAHH-006	Alarma de alto-alto nivel	Pretratamiento
LAHH-007	Alarma de alto-alto nivel	Pretratamiento

LAHH-008	Alarma de alto-alto nivel	Pretratamiento
LAHH-009	Alarma de alto-alto nivel	Pretratamiento
LAHH-010	Alarma de alto-alto nivel	Pretratamiento
LAHH-011	Alarma de alto-alto nivel	Pretratamiento
LAHH-012	Alarma de alto-alto nivel	Pretratamiento
LAHH-013	Alarma de alto-alto nivel	Pretratamiento
LAHH-014	Alarma de alto-alto nivel	Post Tratamiento y Distribución
LAHH-015	Alarma de alto-alto nivel	Post Tratamiento y Distribución
PG-001	Pressure-Gauge	Captación
PG-002	Pressure-Gauge	Captación
PG-003	Pressure-Gauge	Captación
PG-004	Pressure-Gauge	Captación
PG-005	Pressure-Gauge	Captación
PG-006	Pressure-Gauge	Captación
PG-007	Pressure-Gauge	Captación
PG-008	Pressure-Gauge	Captación
PG-009	Pressure-Gauge	Captación
PG-010	Pressure-Gauge	Captación
PG-011	Pressure-Gauge	Captación
PG-012	Pressure-Gauge	Captación
PG-013	Pressure-Gauge	Captación
PG-014	Pressure-Gauge	Captación
PG-015	Pressure-Gauge	Pretratamiento

PG-016	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-017	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-018	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-019	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-020	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-021	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-022	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-023	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-024	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-025	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-026	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-027	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-028	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-029	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-030	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-031	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-032	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-033	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-034	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-035	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-036	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-037	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-038	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-039	Pressure-Gauge	Pretratamiento

PG-040	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-041	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-042	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-043	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-044	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-045	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-046	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-047	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-048	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-049	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-050	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-051	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-052	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-053	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-054	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-055	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-056	Pressure-Gauge	Pretratamiento
PG-057	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-058	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-059	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-060	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-061	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-062	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-063	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante
 Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
 Claudio Bucciarelli.

PG-064	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-065	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-066	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-067	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-068	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-069	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-070	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-071	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-072	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-073	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-074	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-075	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-076	Pressure-Gauge	Osmosis Inversa
PG-077	Pressure-Gauge	Post Tratamiento y Distribución
PG-078	Pressure-Gauge	Post Tratamiento y Distribución
PG-079	Pressure-Gauge	Post Tratamiento y Distribución
PG-080	Pressure-Gauge	Post Tratamiento y Distribución
PG-081	Pressure-Gauge	Post Tratamiento y Distribución
PG-082	Pressure-Gauge	Post Tratamiento y Distribución
PG-083	Pressure-Gauge	Post Tratamiento y Distribución

PG-084	Pressure-Gauge	Post Tratamiento y Distribución
PG-085	Pressure-Gauge	Post Tratamiento y Distribución
PG-086	Pressure-Gauge	Post Tratamiento y Distribución
PI-001	Indicador de Presión	Captación
PI-002	Indicador de Presión	Captación
PI-003	Indicador de Presión	Captación
PI-004	Indicador de Presión	Captación
PI-005	Indicador de Presión	Captación
PI-006	Indicador de Presión	Captación
PI-007	Indicador de Presión	Captación
PI-008	Indicador de Presión	Captación
PI-009	Indicador de Presión	Captación
PI-010	Indicador de Presión	Captación
PI-011	Indicador de Presión	Captación
PI-012	Indicador de Presión	Captación
PI-013	Indicador de Presión	Captación
PI-014	Indicador de Presión	Captación
PI-015	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-016	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-017	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-018	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-019	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-020	Indicador de Presión	Pretratamiento

PI-021	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-022	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-023	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-024	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-025	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-026	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-027	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-028	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-029	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-030	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-031	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-032	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-033	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-034	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-035	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-036	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-037	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-038	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-039	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-040	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-041	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-042	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-043	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-044	Indicador de Presión	Pretratamiento

PI-045	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-046	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-047	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-048	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-049	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-050	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-051	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-052	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-053	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-054	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-055	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-056	Indicador de Presión	Pretratamiento
PI-057	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-058	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-059	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-060	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-061	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-062	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-063	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-064	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-065	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-066	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-067	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-068	Indicador de Presión	Osmosis Inversa

PI-069	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-070	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-071	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-072	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-073	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-074	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-075	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-076	Indicador de Presión	Osmosis Inversa
PI-077	Indicador de Presión	Post Tratamiento y Distribución
PI-078	Indicador de Presión	Post Tratamiento y Distribución
PI-079	Indicador de Presión	Post Tratamiento y Distribución
PI-080	Indicador de Presión	Post Tratamiento y Distribución
PI-081	Indicador de Presión	Post Tratamiento y Distribución
PI-082	Indicador de Presión	Post Tratamiento y Distribución
PI-083	Indicador de Presión	Post Tratamiento y Distribución
PI-084	Indicador de Presión	Post Tratamiento y Distribución
PI-085	Indicador de Presión	Post Tratamiento y Distribución
PI-086	Indicador de Presión	Post Tratamiento y Distribución

LG-001	Level-Gauge	Captación
LG-002	Level-Gauge	Captación
LG-003	Level-Gauge	Captación
LG-004	Level-Gauge	Pretratamiento
LG-005	Level-Gauge	Pretratamiento
LG-006	Level-Gauge	Pretratamiento
LG-007	Level-Gauge	Pretratamiento
LG-008	Level-Gauge	Pretratamiento
LG-009	Level-Gauge	Pretratamiento
LG-010	Level-Gauge	Pretratamiento
LG-011	Level-Gauge	Pretratamiento
LG-012	Level-Gauge	Pretratamiento
LG-013	Level-Gauge	Pretratamiento
LG-014	Level-Gauge	Post Tratamiento y Distribución
LG-015	Level-Gauge	Post Tratamiento y Distribución
AT-001	Transmisor-Analizador	Captación
AT-002	Transmisor-Analizador	Captación
AT-003	Transmisor-Analizador	Captación
AT-004	Transmisor-Analizador	Pretratamiento
AT-005	Transmisor-Analizador	Pretratamiento
AT-006	Transmisor-Analizador	Pretratamiento
AT-007	Transmisor-Analizador	Pretratamiento
AT-008	Transmisor-Analizador	Pretratamiento

AT-009	Transmisor-Analizador	Pretratamiento
AT-010	Transmisor-Analizador	Pretratamiento
AT-011	Transmisor-Analizador	Pretratamiento
AT-012	Transmisor-Analizador	Post Tratamiento y Distribución
AT-013	Transmisor-Analizador	Post Tratamiento y Distribución
AT-014	Transmisor-Analizador	Post Tratamiento y Distribución
AT-015	Transmisor-Analizador	Post Tratamiento y Distribución

*Tabla 15: Listado de instrumentación y su área de empleo en la planta y sus características.
Fuente: Elaboración propia.*

Evaluando los instrumentos totales, se pueden contar alrededor de 339 equipos.

4.10.5. Otros equipos empleados.

NOMBRE EQUIPOS	TAREA	ÁREA DE EMPLEO
TK-001	Tanque de almacenamiento del agua NO tratada	Captación
TK-002	Tanque de almacenamiento del agua NO tratada	Captación
TK-003	Tanque de almacenamiento del agua NO tratada (reserva)	Captación
TK-004	Tanque de mezcla del hipoclorito sódico	Pretratamiento
TK-005	Tanque de mezcla del hipoclorito sódico (reserva)	Pretratamiento
TK-006	Tanque de mezcla del Ácido Sulfúrico	Pretratamiento

TK-007	Tanque de mezcla del Ácido Sulfúrico (reserva)	Pretratamiento
TK-008	Tanque de mezcla del Cloruro Férrico	Pretratamiento
TK-009	Tanque de mezcla del Cloruro Férrico (reserva)	Pretratamiento
TK-010	Tanque de mezcla del Sulfato Sódico	Pretratamiento
TK-011	Tanque de mezcla del Sulfato Sódico (reserva)	Pretratamiento
TK-012	Tanque de mezcla del Antiincrustante	Pretratamiento
TK-013	Tanque de mezcla del Antiincrustante (reserva)	Pretratamiento
TK-014	Tanque para la remineralización	Post Tratamiento y Distribución
TK-015	Tanque para la remineralización (reserva)	Post Tratamiento y Distribución
TK-016	Tanque de almacenamiento previo a la distribución	Post Tratamiento y Distribución
C-001	Compresor para el desplazamiento del CO2 producido	Post Tratamiento y Distribución
C-002	Compresor para el desplazamiento del CO2 producido (reserva)	Post Tratamiento y Distribución
A-001	Agitador del primer aditivo químico	Pretratamiento
A-002	Agitador del primer aditivo químico (reserva)	Pretratamiento
A-003	Agitador del segundo aditivo químico	Pretratamiento
A-004	Agitador del segundo aditivo químico (reserva)	Pretratamiento
A-005	Agitador del tercer aditivo químico	Pretratamiento

A-006	Agitador del tercer aditivo químico (reserva)	Pretratamiento
A-007	Agitador del cuarto aditivo químico	Pretratamiento
A-008	Agitador del cuarto aditivo químico (reserva)	Pretratamiento
A-009	Agitador del quinto aditivo químico	Pretratamiento
A-010	Agitador del quinto aditivo químico (reserva)	Pretratamiento
A-011	Agitador para la remineralización	Post Tratamiento y Distribución
A-012	Agitador para la remineralización (reserva)	Post Tratamiento y Distribución

*Tabla 16: Listado de equipos y su área de empleo en la planta y sus características.
Fuente: Elaboración propia.*

4.10.6. Productos para el pretratamiento empleados.

NOMBRE EQUIPOS	TAREA	ÁREA DE EMPLEO
D-001	Drum para el almacenamiento del Hipoclorito Sódico	Pretratamiento
D-002	Drum para el almacenamiento de Ácido Sulfúrico	Pretratamiento
D-003	Drum para el almacenamiento del Cloruro Férrico	Pretratamiento
D-004	Drum para el almacenamiento del Bisulfito Sódico	Pretratamiento
D-005	Drum para el almacenamiento del Antiincrustante	Pretratamiento

*Tabla 17: Listado de equipos para el pretratamiento y su área de empleo en la planta y sus características.
Fuente: Elaboración propia.*

4.10.7. Productos para el postratamiento empleados.

NOMBRE EQUIPOS	TAREA	ÁREA DE EMPLEO
D-006	Drum para el almacenamiento del remineralizador	Post Tratamiento y Distribución

Tabla 18: Listado de equipos para el postratamiento y su área de empleo en la planta y sus características.

Fuente: Elaboración propia.

4.10.8. Recuperadores energéticos empleados.

NOMBRE EQUIPOS	TAREA	ÁREA DE EMPLEO
ERD-001	Equipo de recuperación energética mediante intercambio de presiones	Osmosis Inversa

Tabla 19: Listado de recuperadores energéticos y su área de empleo en la planta y sus características.

Fuente: Elaboración propia.

4.10.9. Aerogeneradores empleados.

De acuerdo con lo que se ha presentado en la estimación de la energía producida en el parque eólico, se tiene un total de 10 aerogeneradores tipo SG 8.0-167 DD de la marca SIEMENS-GAMESA.



Figura 93: Aerogenerador SG 8.0-167 DD.

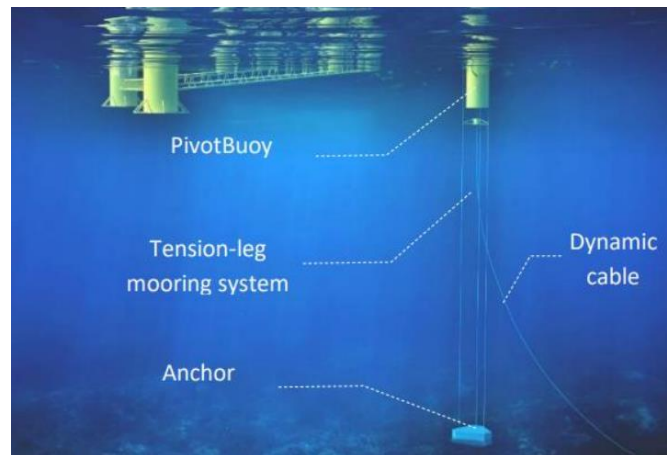
Fuente: Siemens-Gamesa.

4.10.10 Plataformas utilizadas.

Las plataformas que se han decidido emplear para este parque eólico son el modelo X1 Wind, que permite su aplicación cuando la profundidad es mayor de 50 metros, condición que se respeta en toda la península española, debido a su batimetría.

La principal dificultad que tienen este tipo de configuraciones es el peso del aerogenerador, sin embargo, las plataformas X1 Wind presentan la tecnología Pivot Buoy que garantiza que los cables del único punto de amarre están continuamente en tensión, limitando así el movimiento de estos incluso con elevados movimientos producidos por el oleaje.

Como se puede apreciar en la figura 94, la plataforma presenta 3 "patas", una de ella (Pivot Buoy) presenta las conexiones al sistema de anclaje continuamente en tensión, así como el cable de la corriente que une el aerogenerador con la subestación.

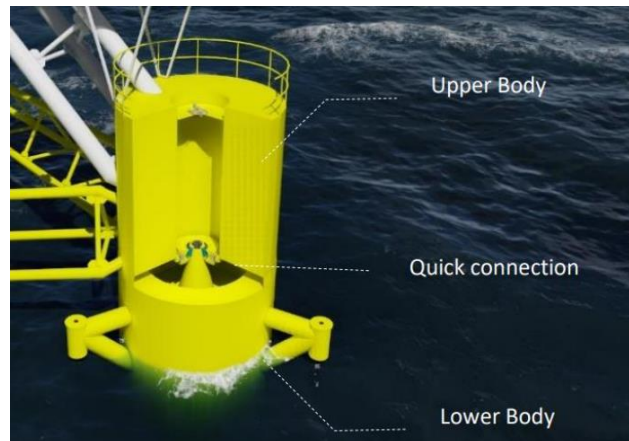


*Figura 94: Plataforma flotante empleada.
Fuente: PivotBuoy 2019.*

Para favorecer las tareas de mantenimiento existe la posibilidad de desconectar el conjunto plataforma-aerogenerador del sistema de anclaje conectado al sistema Pivot Buoy, permitiendo así desplazar la estructura hasta el puerto y poder realizar las tareas correspondientes.

Al mismo tiempo esta configuración presenta también la ventaja de no tener que construir el aerogenerador en alta mar, sino que se puede hacer en el puerto y tras conectarlo con la plataforma, realizar el desplazamiento hasta el punto de anclaje.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



*Figura 95: Estructura de anclaje de plataforma flotante empleada.
Fuente: PivotBuoy 2019.*

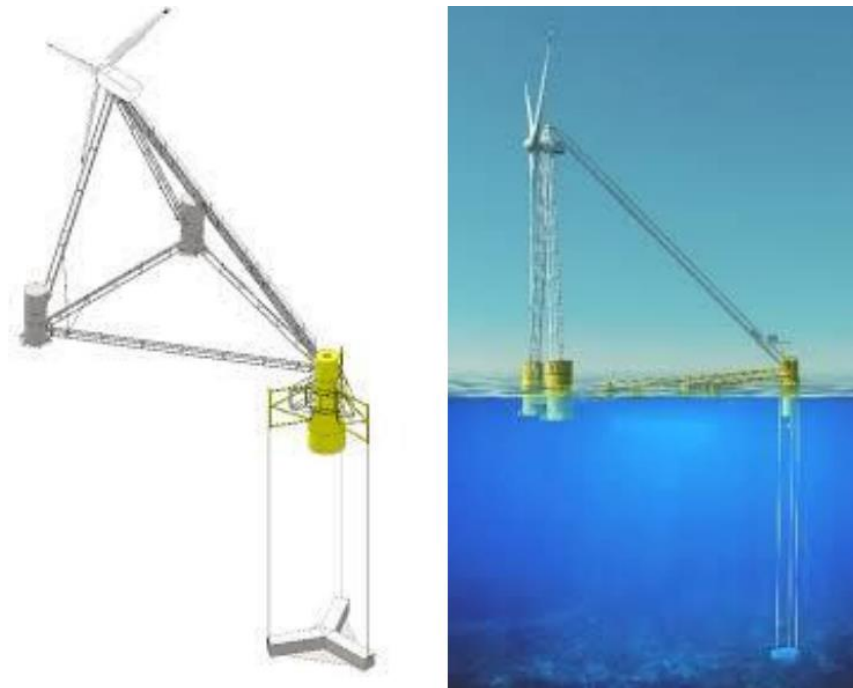
Esto favorece también el aspecto visual, ya que no se necesita realizar ninguna construcción para el soporte; sin embargo, debido a la elevada profundidad los cables de amarre serán de mayores dimensiones, aumentando el coste.



*Figura 96: Estructura de soporte con visibilidad de cables de amarre.
Fuente: Eliovertical 2019.*

Analizando las plataformas resulta evidente que el peso que tienen que aguantar es muy elevado, para ello casi todos los modelos disponibles en el mercado, presentan una estructura metálica (variable en altura), donde se puede apoyar el buje con las palas del aerogenerador, obviando así los costes de montaje, tiempo y de materiales de la torre.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



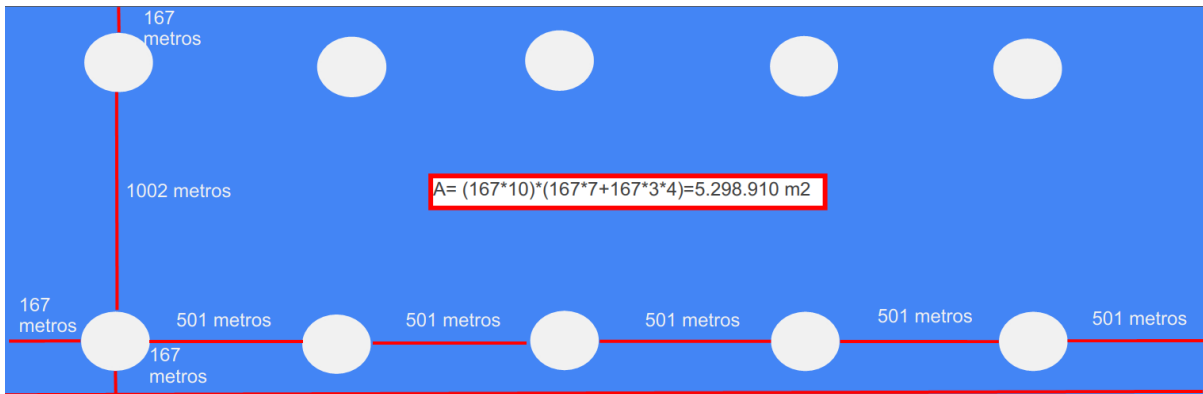
*Figura 97: Ilustración de estructura de soporte completa.
Fuente: XIWind, 2019.*

Teniendo en cuenta las características de los aerogeneradores, las plataformas utilizadas y la normativa aplicada se puede realizar una estimación de la superficie necesaria para la construcción del parque.

Cómo analizado en el capítulo 3 existe la posibilidad de ubicar los aerogeneradores en paralelo o en serie, aunque, cabe destacar, que la configuración en paralelo ocupa más superficie debido a la distancia mínima a respetar para evitar la formación de turbulencias en las siguientes líneas.

Para conseguir evaluar ambos diseños, se realiza una estimación de ambas, teniendo en cuenta que el diámetro del área de barrido es 167 metros:

- Configuración en paralelo → la distancia entre cada línea corresponde a 6 veces el diámetro, mientras que, entre cada aerogenerador tiene que haber una distancia mínima que corresponde a 3 veces el diámetro, además se tiene en cuenta la superficie ocupada por los equipos:

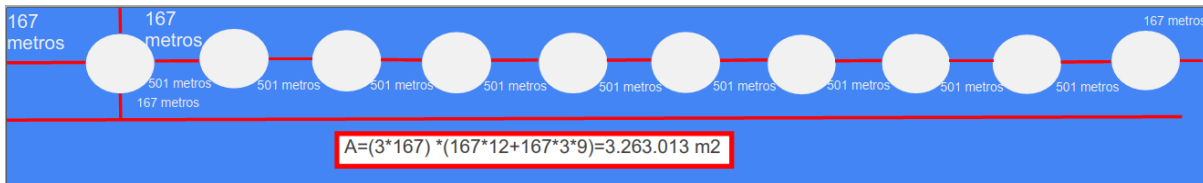


*Figura 98: Configuración en paralelo del parque eólico.
Fuente: Elaboración propia.*

Por lo tanto, el área total queda definida como:

$$A = (167 \cdot 10) \cdot (167 \cdot 7 + 167 \cdot 3 \cdot 4) = 5.298.910 \text{ m}^2.$$

- Configuración en serie → la distancia entre cada aerogenerador corresponde a 3 veces el diámetro, además se tiene en cuenta la superficie ocupada por los equipos:



*Figura 99: Configuración en serie del parque eólico.
Fuente: Elaboración propia.*

Por lo tanto el área total queda definida como:

$$A = (3 \cdot 167) \cdot (167 \cdot 12 + 167 \cdot 3 \cdot 9) = 3.263.013 \text{ m}^2.$$

Resulta evidente que la configuración en serie resulta la más ventajosa, debido a una necesidad inferior de espacio.

4.11. Resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos para este proyecto son por un lado los que corresponden a la planta desaladora y por el otro los del parque eólico:

1. Planta para la desalinización del agua:

RESULTADOS OBTENIDOS POR LA PLANTA DESALADORA	VALORES
Numero total de equipos.	96
Numero total de instrumentos.	349
Kilometros totales de tuberia.	40-50
Produccion anual.	30 hectometros cubicos
Gasto anual.	90.000 MWh/año
Coste estimado.	130.000.000 Euro.

Figura 100: Resultados obtenidos de la planta desaladora en Excel.

Fuente: Elaboración propia.

2. Parque eólico:

RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PARQUE EOLICO	VALORES
Numero total de Aerogeneradores.	10
Numero total de Plataformas.	10
Kilometros totales de cables de alta tension.	8,5
Produccion anual.	176649,2686 MWh/año
Coste de las plataformas.	10.370.000 Euro
Coste de los aerogeneradores.	8.868.495 Euro

Figura 101: Resultados obtenidos del parque eólico en Excel.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 5. ESTUDIO DEL HAZOP.

5.1. Introducción teórica.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

El HAZOP sirve para determinar los riesgos de seguridad en plantas nuevas o ya existentes; y lo hace examinando el proyecto e identificando los potenciales riesgos, siguiendo el procedimiento QFSR:

- Q → Cualitativo.
- F → Formal.
- S → Sistemático.
- R → Riguroso.

La base de este estudio es analizar las consecuencias, frente a una operación no estándar de la planta para proporcionar recomendaciones, evitar costes elevados al final del proyecto, conseguir arranques más seguros, mejorar los manuales de operación y asegurar que los equipos involucrados se hayan analizado en conjunto y no individualmente.

Se considera que todos los operadores de la planta estén entrenados y que respeten las normas establecidas y que los equipos/tuberías/instrumentos estén montados como debido.

Sin embargo, no se ocupa de:

1. Resolver problemas.
2. Analizar los diseños.
3. Detenerse sobre los costes de los equipos o de los posibles cambios.

Este procedimiento requiere un seguimiento continuo basado sobre el análisis de los P&ID así como de los PFD y/o de un modelo Word (plantilla) y se suele realizar en equipos pequeños, compuestos por un máximo de 20 personas para garantizar agilidad durante el análisis.

Durante un HAZOP participan siempre el contratista y el cliente, sin embargo, este último puede recurrir al licenciante (dueño de la tecnología empleada en el proyecto) u otros subcontratistas que garantizan la presencia de expertos como operadores de la planta, expertos de procesos o instrumentistas.

Por parte del contratista presencian el HAZOP los departamentos de procesos, seguridad en la planta (HSE) y el de instrumentación.

La estructura que se sigue es:

1. HAZID → Denominado HAZOP 1 es un estudio preliminar para la identificación de los mayores riesgos.
2. HAZOP → Denominado HAZOP 2 es un estudio de los potenciales problemas operacionales.
3. HAZAN → Compuesto por un QRA (Quantitative Risk Assessment / Evaluación cuantitativa de los riesgos) es un estudio cuantitativo.

Durante las reuniones de un HAZOP se identifican:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

PALABRA GUÍA.	PARÁMETRO.	DEFINICIONES.
No.	Flujo.	Este parámetro no existe.
Contrario.	Flujo.	Este parámetro va en dirección contraria respecto al diseño.
Más.	Flujo.	Más de lo que debería ser.
Menos.	Flujo.	Menos de lo que debería ser.
Más.	Presión.	Más de lo que debería ser.
Menos.	Presión.	Menos de lo que debería ser.
Más.	Temperatura.	Más de lo que debería ser.
Menos.	Temperatura.	Menos de lo que debería ser.
Parte de.	Composición.	Presencia de impurezas.
Más de.	Composición.	Presencia de impurezas.
Otros.	Otros.	Otros (se suelen considerar aquellas situaciones que se verifican durante el arranque o la parada de la planta).

Tabla 20: Parámetros a analizar durante un HAZOP.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que, PARÁMETRO + PALABRA GUÍA = DESVIACIÓN

Además, se evalúan:

Razones.	<ul style="list-style-type: none"> • Mecánicas. • Operativas. • Externas
Probabilidades.	<ul style="list-style-type: none"> • Altas. • Medianas. • Bajas.
Consecuencias.	<ul style="list-style-type: none"> • No serias. • Serias. • Muy serias.

Riesgo	<ul style="list-style-type: none"> • No serio → Media frecuencia. • Serio → Baja frecuencia. • Muy serio → Muy baja frecuencia.
--------	--

Tabla 21: Parámetros que influyen durante el análisis de un HAZOP.
Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento para seguir se puede esquematizar como:

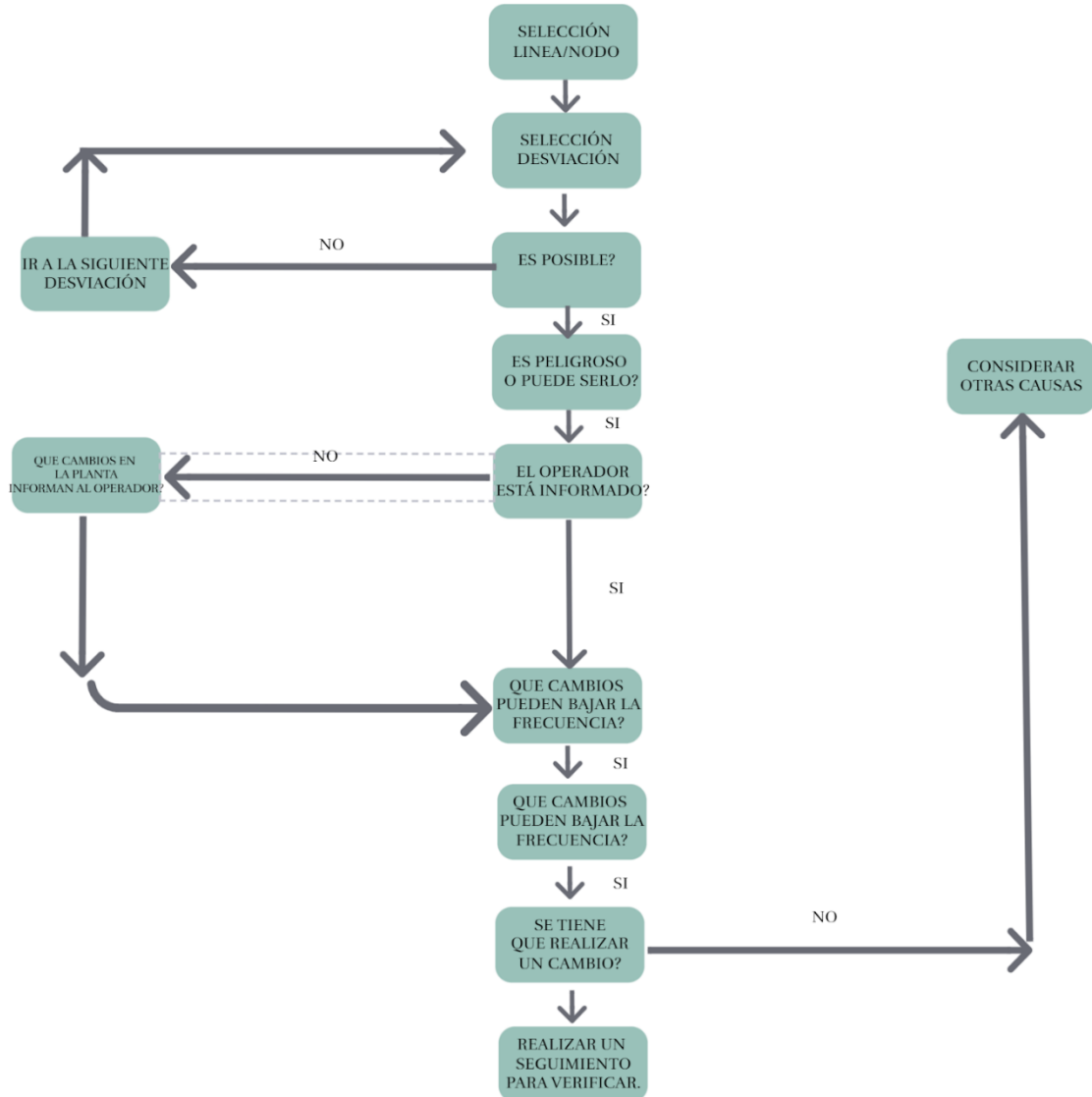


Figura 102: Esquema procedimiento HAZOP.
Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que el departamento de procesos es aquel que se encarga de identificar los demás departamentos a los cuales corresponderá cada tarea identificada en el HAZOP.

Por lo tanto, se puede concluir que:

- Es esencial que durante un HAZOP estén presentes el Team Leader (chairman / encargado de dividir en nodos y posteriormente analizar cada P&ID y de "romper" las asunciones preguntando ¿Como lo conocemos o sabemos?), el secretario (scribe), ingeniero/s de proceso, ingeniero/s de instrumentación, ingeniero/s de seguridad (HSE) y personal operativo.
- Tener cuidado con las conexiones a equipos motorizados, en los sistemas de recirculación, tuberías pequeñas, líquidos con densidades diferentes y presencia de otros elementos.
- Análisis detenido en las consecuencias de la pérdida de contenidos y posible mezcla con otros elementos.
- Realizar un análisis de la situación meteorológica del emplazamiento de la planta (sísmicas, zonas de guerra, elevadas lluvias, excesivo calor/frío).
- Las típicas preguntas que pueden verificarse durante estas reuniones son:
 - ¿Necesitamos una alarma de alto nivel en ese equipo?
 - ¿Es la salida de gases a la atmósfera suficientemente grande?
 - ¿Cuántas veces va a fallar el operador?

5.2. Análisis de la planta.

Para el análisis de la planta se ha decidido dividir los P&ID en 4 nodos, correspondientes a:

- Nodo 1 → Sistema de captación.
- Nodo 2 → Sistema de pretratamiento.
- Nodo 3 → Osmosis Inversa.
- Nodo 4 → Post Tratamiento y distribución.

5.3. Consecuencias.

Los resultados encontrados están disponibles en los adjuntos de este documento, de todas formas se han analizado un total de 60 desviaciones causadas por 236 razones diferentes, las capas de seguridad individuadas son 202, mientras que, 34 causas no han encontrado elementos de protección en el diseño; por esta razón resulta conveniente analizarlas, ya que pueden indicar la necesidad de mejorar el proceso, para garantizar la seguridad operacional, teniendo en cuenta que este análisis persigue el objetivo de igualar a cero las fatalidades y que al mismo tiempo emplea la probabilidad de fallo de los equipos como base de su estudio:

Desviación	Causa	Consecuencia	Capa de seguridad	¿Necesidad de modificar el diseño?
1.2. Más caudal	Funcionamiento inesperado bomba P-002	Posible ruptura FI-001	Ninguna	NO, porque se trata de una posibilidad muy baja y el equipo no tiene un coste elevado.
	Funcionamiento inesperado bomba P-005	Ninguna consecuencia detectada	Ninguna	NO.
	Funcionamiento inesperado bomba P-007	Ruptura FI-002	Ninguna	NO, porque se trata de una posibilidad muy baja y el equipo no tiene un coste elevado.
5.1. Pérdida de utilidades.	Elemento externo	Daños económicos	Ninguna	SI, para el correcto funcionamiento de la planta, es necesario incluir, generadores adicionales en caso de pérdida de electricidad u otros servicios.
1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen suficiente tiempo para actuar.
1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen

				suficiente tiempo para actuar.
1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen suficiente tiempo para actuar.
1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen suficiente tiempo para actuar.
1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen suficiente tiempo para actuar.
1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen suficiente tiempo para actuar.
1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen suficiente tiempo para actuar.

1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen suficiente tiempo para actuar.
1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen suficiente tiempo para actuar.
1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen suficiente tiempo para actuar.
1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen suficiente tiempo para actuar.
1.1. Poco o ningún caudal	Cierre inesperado válvula de 3 vías	Pérdidas económicas	Ninguna	NO, porque se trata solo de pérdidas económicas y se tiene en cuenta que los operadores tienen suficiente tiempo para actuar.
5.1. Pérdida de utilidades.	Elemento externo	Daños económicos	Ninguna	SI, para el correcto funcionamiento de la planta, es necesario

				incluir, generadores adicionales en caso de pérdida de electricidad u otros servicios.
1.2. Más caudal	Funcionamiento inesperado bomba P-036	Ruptura FI-003	Ninguna	NO, porque se trata de una posibilidad muy baja y el equipo no tiene un coste elevado.
1.3 Caudal Invertido	Cierre inesperado válvula de 3 vías en la línea LI-0124/0125	Ninguna consecuencia detectada	Ninguna	NO.
3.1. Menos Presión	Perdida en la línea LI-0120	Menos presión en entrada para la osmosis inversa, daños económicos	Ninguna	SI, añadir un controlador de presión.
3.1. Menos Presión	Perdida en la línea LI-0123	Menos presión en entrada para la osmosis inversa, daños económicos	Ninguna	SI, añadir un controlador de presión.
3.1. Menos Presión	Perdida en la línea LI-0125	Menos presión en entrada para la osmosis inversa, daños económicos	Ninguna	SI, añadir un controlador de presión.
3.1. Menos Presión	Perdida en la línea LI-0132	Menos presión en entrada para la osmosis inversa, daños económicos	Ninguna	SI, añadir un controlador de presión.
3.1. Menos Presión	Perdida en la línea LI-0127	Menos presión en entrada para la osmosis inversa,	Ninguna	SI, añadir un controlador de presión.

		daños económicos		
3.2. Más Presión	Funcionamiento inesperado bomba P-035	Posible ruptura del filtro FI-003	Ninguna	NO, porque se trata de una posibilidad muy baja y el equipo no tiene un coste elevado.
5.1. Pérdida de utilidades.	Elemento externo	Daños económicos	Ninguna	SI, para el correcto funcionamiento de la planta, es necesario incluir, generadores adicionales en caso de pérdida de electricidad u otros servicios.
1.1. Poco o ningún caudal	Parada bomba P-043	Daños a equipos y parada de la planta	Ninguna	SI, añadir una bomba de reserva.
1.1. Poco o ningún caudal	Parada bomba P-046	Daños a equipos y parada de la planta	Ninguna	SI, añadir una bomba de reserva.
5.1. Pérdida de utilidades.	Elemento externo	Daños económicos	Ninguna	SI, para el correcto funcionamiento de la planta, es necesario incluir, generadores adicionales en caso de pérdida de electricidad u otros servicios.

Tabla 22: Representación de las capas de seguridad frente a los riesgos identificados y las consecuentes soluciones/mejoras aportadas con el HAZOP.

Fuente: Elaboración propia.

Tras realizar el HAZOP se han identificado zonas peligrosas para el operador, debido al manejo de sustancias tóxicas; en concreto se trata de los contenedores:

1. D-001 → Hipoclorito Sódico.
 - *No respirar el gas/ los vapores.*
 - *Evitar su liberación al medio ambiente.*
 - *Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.*

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- *EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse.*
- *EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.*
- *Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico.*
- *Absorber el vertido para que no dañe otros materiales.*

Hoja de datos, proporcionada por el fabricante, disponible en el [siguiente enlace \(6117.pdf \(ecosmep.com\)\)](#).

2. D-002 → Ácido Sulfúrico.

- *Por ingestión/aspiración: Enjuagar los ojos con abundante agua a temperatura ambiente al menos durante 15 minutos. Evitar que el afectado se frote o cierre los ojos. En el caso de que el accidentado use lentes de contacto, éstas deben retirarse siempre que no estén pegadas a los ojos, de otro modo podría producirse un daño adicional. En todos los casos, después del lavado, se debe acudir al médico lo más rápidamente posible con la FDS (ficha de seguridad) del producto.*
- *Por contacto con los ojos: Quitar la ropa y los zapatos contaminados, aclarar la piel o duchar al afectado si procede con abundante agua fría y jabón neutro. En caso de afección importante acudir al médico. Si el producto produce quemaduras o congelación, no se debe quitar la ropa debido a que podría empeorar la lesión producida si esta se encuentra pegada a la piel. En el caso de formarse ampollas en la piel, éstas nunca deben reventarse ya que aumentaría el riesgo de infección.*
- *Por contacto con la piel: Se trata de un producto que no contiene sustancias clasificadas como peligrosas por inhalación, sin embargo, en caso de síntomas de intoxicación sacar al afectado de la zona de exposición y proporcionarle aire fresco. Solicitar atención médica si los síntomas se agravan o persisten.*
- *Por ingestión/aspiración: Requerir asistencia médica inmediata, mostrándole la FDS (ficha de seguridad) de este producto. No inducir al vómito, porque su expulsión del estómago puede provocar daños en la mucosa del tracto digestivo superior, y su aspiración, al respiratorio. Enjuagar la boca y la garganta, ya que existe la posibilidad de que hayan sido afectadas en la ingestión. En el caso de pérdida de consciencia no administrar nada por vía oral hasta la supervisión del médico. Mantener al afectado en reposo.*

Hoja de datos, proporcionada por el fabricante, disponible en [el siguiente enlace \(Ficha de datos de seguridad de 'ÁCIDO SULFÚRICO 98%' \(Versión 3\) \(ecosmep.com\)\)](#).

3. D-003 → Cloruro Férrico.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- *EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con abundante agua y jabón.*
- *EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.*
- *Llamar inmediatamente a un CENTRO DE Toxicóloga/médico.*

Hoja de datos, proporcionada por el fabricante, disponible en [el siguiente enlace \(Ficha de Datos de Seguridad: Cloruro de hierro\(III\) \(carloth.com\)\)](#).

4. D-004 → Bisulfito Sódico.

- *Síntomas por la inhalación: Dolor de garganta, falta de aire, tos y congestión. → Acto a realizar → Lleve al paciente al aire libre. Acuda al médico en casos graves o si la recuperación no es rápida.*
- *Síntomas Contacto con los ojos: Irritación en los ojos y en las membranas → Acto a realizar → Lave con agua hasta que no haya evidencia de restos de productos químicos restos de productos químicos. Acuda al médico.*
- *Síntomas Contacto con la piel: Irritación, picazón, dermatitis. → Acto a realizar → Lave con agua y jabón y empape con agua. Quite la vestimenta contaminada y lávela antes de reutilizarla.*
- *Síntomas Ingestión: Irritación en las membranas mucosas. → Acto a realizar → Beber grandes cantidades de agua o leche de inmediato. Obtenga atención médica.*

Hoja de datos, proporcionada por el fabricante, disponible en [el siguiente enlace \(sodium bisulfite safety data sheet spa.pdf \(ineos.com\)\)](#).

5. D-005 → Antiincrustante.

- *Contacto con los ojos: Enjuagar los ojos inmediatamente con mucha agua, levantando ocasionalmente los párpados superior e inferior. Verificar si la víctima lleva lentes de contacto y en este caso, retirarlas. Obtenga atención médica si se produce irritación.*
- *Contacto con la piel: Lave con agua abundante la piel contaminada. Quítese la ropa y calzado contaminados. Obtenga atención médica si se presentan síntomas.*
- *Ingestión: Lave la boca con agua. Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. Si se ha ingerido material y la persona expuesta está consciente, suministrar pequeñas cantidades de agua para beber. No inducir al vómito a menos que lo indique expresamente el personal médico. Obtenga atención médica si se presentan síntomas.*
- *Inhalación: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. Obtenga atención médica si se presentan síntomas.*

Hoja de seguridad, proporcionada por el fabricante, disponible en [el siguiente enlace \(Microsoft Word - FS ANTIINCRUSTANTE LÍQUIDO -AP7020 \(apliclor.com\)\)](#).

Dichas sustancias se encuentran en fase líquida y se emplean como aditivos tras encontrarse almacenados en contenedores individuales; sin embargo, durante la fase de repuesto, que se estima ser una vez al mes (aunque depende del tamaño de estos), los operadores pueden entrar en contacto con los aditivos.

Por esta razón se han analizado las hojas de datos de cada fabricante y se ha concluido que:

- Es necesario implementar duchas / lavaojos de seguridad.
- Según la normativa Europea [EN-15154](#), los mismos se pueden ubicar a una distancia máxima desde los contenedores de 15 metros.
- Ubicar extintores cerca de los depósitos.

Cabe destacar que en la fase de postratamiento también existe un depósito individual, sin embargo, este contiene Calcita que con la ayuda del CO₂ producido durante la reacción, se convierte en ácido carbónico y que una vez disuelto deja en la solución el bicarbonato cálcico, por lo tanto, no presenta ningún riesgo para el operador.

5.4. Conclusiones.

Como se puede observar, las consecuencias detectadas solo generan daños económicos debido a la posible ruptura de los equipos y solo en algunos casos pueden ocasionar daños al personal de la planta o al medioambiente.

Por esta razón no resulta necesario implementar ninguna de las mejoras en el diseño inicial, sin embargo, si se quisiera tener una planta más segura a nivel operacional, se puede añadir:

1. Generadores adicionales para asegurar el correcto funcionamiento de la planta frente a una posible pérdida de utilidades y servicios.
2. Sensores de presión en las líneas de alta presión en el proceso de ósmosis inversa, para avisar al operador.
3. Duchas de seguridad / Lavado de ojos a ubicar cerca de los Drum D-001/002/003/004 debido al tipo de sustancia químicas contenidas, con las siguientes características:
 - Conexión a la red de agua.
 - Caudal de 60 L/min.
 - Agua potable o de calidad similar.
 - Temperatura aconsejada de 15 grados Centígrados.
 - Funcionamiento durante un periodo de 15 minutos seguidos.
4. Extintores de polvo polivalente (polvo ABC, para el ácido sulfúrico).
5. Extintores de espuma.

Cabe destacar que todos los operadores tienen que estar equipados con guantes, gafas, trajes y zapatos de seguridad durante las fases de repuesto de los aditivos o cualquier otra tarea que los pueda hacer entrar en contacto.

Capítulo 6. NORMATIVA Y MARCO LEGAL.

6.1. Estudios aplicados al proyecto realizado.

Para poder completar el desarrollo del proyecto hay que añadir al estudio técnico aquello relativo a la viabilidad, ya que este tiene en cuenta todos aquellos aspectos fundamentales para el correcto funcionamiento de la planta a nivel económico y jurídico, además de permitir identificar aquellos elementos que pueden generar problemas durante el avance de este.

El estudio de viabilidad se basa en el análisis tanto cuantitativa como cualitativa de los aspectos técnicos, económicos, jurídicos y sociales y permite describir el funcionamiento natural del negocio; en este capítulo se analizará la viabilidad legal que encuentra su fundamento sobre la jurisdicción vigente en el país en el cual se quiere realizar el proyecto.

Dicho estudio se divide en los siguientes puntos:

1. Definición del proyecto.

El proyecto persigue el objetivo de construir una planta desaladora con aporte energético por un campo eólico off-shore, para ello se han realizado tomas de decisiones basadas en aspectos:

- Geográficos → relativos al emplazamiento, ya que se quiere implementar la desaladora en aquella región que más necesidad de agua tenga, frente a la población a abastecer y al coste de esta por metro cúbico. Al mismo tiempo se ha tenido en cuenta aquellas zonas de la península española, donde el aprovechamiento del recurso eólico es más alto.
- Técnicos → para la desaladora se han analizado tanto los equipos necesarios como el proceso bajo los cuales tienen que funcionar, así como un estudio de seguridad y una estimación de la producción anual. Para el parque eólico sin embargo se ha analizado la disposición de los equipos, basando los estudios sobre la rosa de los vientos y la batimetría, finalmente se han elegido los aerogeneradores y las plataformas a emplear.

Estos estudios han conseguido localizar la planta desaladora en la Comunidad de Cataluña, en la zona de Turó d'en Llaures y el parque eólico en las cercanías, precisamente en las siguientes coordenadas: Longitud: 42.38949 Latitud: 3.22425.

Los equipos para el funcionamiento de la planta desaladora están resumidos en el "listado de equipos" mientras que, los aerogeneradores empleados de la marca Siemens-Gamesa son el modelo off-shore SG 8.0-167 DD de 8 MW de potencia y una velocidad máxima de 25 m/s. Gracias al análisis del proceso bajo el cual la planta desaladora trabaja se ha conseguido estimar una producción de 30 hectómetros cúbicos de agua cada año, con un gasto energético de 90.000 MW/h al año.

Con este valor se ha realizado el dimensionado del campo eólico donde, se han tenido en cuenta las velocidades del viento en el emplazamiento y las horas totales de trabajo, teniendo un resultado de 176649,2686 MW/h al año.

2. Identificación y análisis de los puntos más controvertidos

Teniendo en cuenta el funcionamiento de la planta es necesario identificar los puntos claves que legalmente pueden afectar la producción del conjunto de la planta industrial (desaladora + campo eólico off-shore), por ello se presenta lo siguiente:

- Impacto ecológico: relativo al impacto de la edificación de la central desaladora y de los aerogeneradores. En el primer caso se tiene que tener en cuenta que este tipo de planta tienen un grande impacto medioambiental, debido al rechazo que producen y que vuelven a aportar al mar y el aumento de temperatura de los mares, no obstante actualmente no existe ninguna normativa para la regulación del vertido de salmuera, sin embargo si la planta tiene una producción superior a 3000 metros cúbicos por día, esta se tiene que someter al procedimiento de evaluación ambiental según el [Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero](#).

En el segundo, el impacto ambiental de los aerogeneradores se calcula a partir de la norma ISO 14040 mientras que los procedimientos administrativos se ven regulados en Cataluña por el [Decreto 147/2009, de 22 de septiembre](#).

- Emisión de sustancias y gases contaminantes: relativo a la construcción de los equipos y a la operación de estos. Debido a la hibridación de la planta desaladora con el campo eólico, se tiene un valor de contaminación igual a -600 hectómetros cúbicos al año de CO_2 , debido al aporte energético por parte de fuentes renovables. Sin embargo, se debe tener en cuenta la emisión producida por la construcción de los equipos y de las tuberías, donde la producción de 1 tonelada de polímeros corresponde a la generación de 1.700 kg de CO_2 . Teniendo en cuenta también la realización de los aerogeneradores y de las plataformas se tiene un aporte del 85% de las emisiones contaminantes que afectan el calentamiento global.

Aunque mayoritariamente los equipos provienen de materiales reciclados, se estima que el funcionamiento y el mantenimiento del conjunto desaladora y campo eólico, aportarán un total del 9% a nivel de contaminación.

- Alteración del tráfico terrestre, marítimo y posiblemente aéreo de la zona.

- La edificación de la planta desaladora y la construcción del campo eólico tienen como efecto secundario lo de alterar el ecosistema, en el caso de la planta desaladora se tiene un impacto en la fauna y la flora terrestre, mientras que, en el caso del campo eólico se tiene lo mismo a nivel marino, por esta razón, su construcción está regulada por:
 1. [Ley 41/2010, de 29 diciembre](#), de protección del medio marino.
 2. [Directiva 2008/56/CE](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 junio de 2008, marco sobre la estrategia marina.
 3. [Ley 21/2013, de 9 de diciembre](#), de evaluación ambiental.
 4. [Directiva 2000/60/CE](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 octubre de 2000, marco sobre gestión y política de aguas.

- Generación de ruido y vibraciones, debido a las molestias generadas a la fauna y la población cercana a las plantas. Dichos estudios se regulan por:
 1. [Ley 41/2010, de 29 diciembre](#), de protección del medio marino.
 2. [Directiva 2008/56/CE](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 junio de 2008, marco sobre la estrategia marina.
 3. [Ley 21/2013, de 9 de diciembre](#), de evaluación ambiental.
 4. [Directiva 2000/60/CE](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 octubre de 2000, marco sobre gestión y política de aguas.

- Calidad del agua, debido a la producción de agua de la planta desaladora resulta imprescindible respetar los parámetros de potabilidad preestablecidos, para ello su comercialización se realiza bajo el:
 1. [Real Decreto 140/2003](#), de 7 de febrero donde se exponen los criterios sanitarios del consumo de agua.

- Riesgos laborales, debido a la necesidad de operadores durante el funcionamiento y la construcción de las plantas, es necesario recopilar bajo qué normativas europeas los clientes deben operar para asegurar la salud de los trabajadores. Las mismas se

pueden encontrar explicadas en [el siguiente enlace \(Unión Europea – Prevención de Riesgos Laborales – CEOE\)](#) y se encuentran recopiladas a continuación:

1. Directiva 89/391/CEE del Consejo, del 12 de junio de 1989, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo (Directiva Marco).
2. Directiva 89/654/CEE, del 30 de noviembre de 1989, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
3. Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas.
4. Directiva 90/269/CEE, del 29 de mayo de 1990, que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
5. Directiva 98/24/CE del Consejo, del 7 de abril de 1998, relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
6. Reglamento (CE) nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de diciembre de 2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos.
7. Directiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 25 de junio de 2002, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones).
8. Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 6 de febrero de 2003, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido).
9. Directiva 2006/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 12 de diciembre de 2006, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.
10. Directiva 90/679/CEE del Consejo, de 26 de noviembre de 1990, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.

Debido a las diferentes leyes/normas disponibles, según el país en el que se opera, resulta conveniente analizar el marco legal donde se exponen bajo qué perspectiva legal las plantas van a ejercer de tal forma que las decisiones operacionales se puedan realizar bajo el respecto de la ley.

6.2. Listado de normativa y legislación aplicable al proyecto.

Los proyectos ocupan dos área legales diferentes, para ello se tiene que tener en cuenta que el parque eólico tiene que desarrollarse bajo el [Real Decreto 1028/2007, de 20 de julio](#), por el que se establece el procedimiento administrativo para la tramitación de las solicitudes de autorización de instalaciones de generación eléctrica en el mar territorial, mientras que la planta desaladora tiene que desarrollarse bajo el [Real Decreto 3/2023, de 10 de enero](#), por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro.

6.2.1. Marco legal sobre implantación de la planta desaladora y de la central eólica marina.

El primer paso es la construcción de las plantas, cuya modificación, explotación o cierre se encuentra regulado en el artículo 3.2. del Real Decreto Legislativo 1/2008, debido, entre otros, al vertido de salmuera, modificaciones de las tuberías terrestres y marinas, así como la implementación de subestaciones y red de cableado para el parque eólico.

La regulación procedimental sobre la producción de energía eléctrica, así como la instalación de centrales desaladora en Cataluña está disponible en:

1. [Real Decreto 413/2014](#), de 6 de junio, por el que se regula la producción de energía eléctrica por medio de fuentes renovables en Cataluña.
2. [Real Decreto 1327/1995](#), de 28 de julio, sobre las instalaciones de desalación de agua marina o salobre en Cataluña.
3. [Real Decreto 1327/1995](#), de 18 de julio, sobre las instalaciones de desalación de agua marina o salobre.
4. [Real Decreto 1028/2007](#), de 20 de julio, por el que se establece el procedimiento administrativo para la tramitación de las solicitudes de autorización de instalaciones de generación eléctrica en el mar (dentro de los límites y confines del país).

Debido al tipo de plantas industriales, en el caso del parque eólico se trata de un parque para el aprovechamiento de un recurso renovable, mientras que, en el caso de la desaladora, la central se encuentra dentro del plan hidrológico nacional; por lo tanto, las condiciones técnicas de funcionamiento se encuentran recopiladas en:

1. [Decreto Ley 16/2019, de 26 de noviembre](#), de medidas urgentes para la emergencia climática y el impulso a las energías renovables.

En [el mismo](#) se encuentran también las condiciones de ejecución y desarrollo disponible en el Artículo 48 bis. Artículo 21, Anexo 3, sin embargo, para la central desaladora se hace referencia al [Real Decreto-ley 4/2022](#), de 15 marzo, las cuales permiten entre cosas la adquisición de la parcela para el ejercicio de las mismas.

Finalmente para la resoluciones administrativas, las cuales permiten la ampliación o la modificación de las plantas se hace referencia al [Decreto 147/2009](#), de 22 de septiembre y al [Real Decreto 140/2003](#).

Cabe destacar que una vez presentada la solicitud para los permisos del proyecto (Desaladora + Parque Eólico) donde se incluyen:

- Permisos para la visión de los documentos del proyecto.
- Programa del proyecto con los hitos más importantes.
- Roles y responsabilidad de cada miembro del equipo.
- Listado de riesgos y cómo prevenirlos.
- Entregables como → Estudios de Civil / Eléctrica / Mecánica / procesos / Seguridad Medioambiental / Control / Instrumentación / Equipos instalados (Data Sheet de los mismos).

Un Comité evaluará el proyecto; si se trata de un concurso público habrá una evaluación por parte del ministerio de industria, comercio y turismo y finalmente el secretario general de la energía elegirá la mejor propuesta presentada.

6.2.2. Marco legal sobre emplazamiento.

Resulta fundamental evaluar el emplazamiento de la desaladora y del parque eólico y para ello se tiene que realizar un estudio de la normativa vigente en la zona de implantación, en este caso de la zona marina y de la zona terrestre.

Analizando el proyecto se tiene que ocupar una parcela terrestre de 1.500 metros cuadrados donde también se incluye la subestación del parque eólico, y una superficie de 3.263.013 metros cuadrados donde también se incluye el emisario y el emisario submarino, así como el refuerzo de hormigón armado para el mismos, ubicado a 400 metros de la costa.

Cabe destacar que la parcela terrestre, puede adquirirse, sin embargo, la marina presenta solo la opción de concesión temporal, aunque estaría pendiente de confirmación por parte de la comisión vigente en la Comunidad.

En el caso de Cataluña la ley de costas establece que los títulos de concesión del territorio se encuentren regulados en la [Ley 8/2020](#), de 30 de julio que se encarga de regular la ordenación y la protección del litoral, analizándolo se concluye que, debido al aprovechamiento de caudal de agua es superior a los $7.000 m^3/año$, se tiene que tramitar una conexión.

La solicitud para la concesión de la parcela (parcela parque eólico + parcela central desaladora) tiene que cumplir la normativa de la Administración de la Generalidad, contemplada en la ley de protección y ordenación del litoral presentada anteriormente, entre otras, la solicitud tiene que incluir:

- Identidad del solicitante, así como las informaciones personales.
- Memoria donde se incluye el objeto y la superficie del proyecto.
- Presupuesto estimado del proyecto (evaluado por el departamento de ofertas).

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- Planos del proyecto en una escala 1:50.000 así como los planos de los equipos y de los procesos (sólo parte desaladora).
- Anteproyecto donde se incluye:
 - Ubicación exacta de la planta.
 - Ubicación exacta del parque eólico en particular de las plataformas.
 - Número de equipos con sus respectivas hojas de datos.
 - Estudio del recurso marino y eólico.
 - Evaluación de las sustancias peligrosas empleadas.

Además, debido a la zona del emplazamiento se tienen que considerar los siguientes efectos:

- Efectos de los aditivos químicos.
- Efectos sobre la fauna y la flora.
- Efectos sobre el tráfico terrestre, aéreo y marino.
- Efectos sobre el turismo.
- Efectos sobre las aguas y las playas.
- Efectos sobre la explotación de recursos.

Capítulo 7. ESTUDIO DEL IMPACTO.

Cuando se realiza un proyecto para uso industrial se debe tener en cuenta que su creación tiene un impacto tanto a nivel regional, como en el caso de la desaladora, así como a nivel nacional/internación debido a la producción de energía eólica por parte del campo eólico ya que la misma se podría exportar.

Por esta razón el estudio del impacto se tiene que desarrollar a nivel:

- Social.
- Económico.
- Ambiental.

7.1. Impacto social.

El proyecto se realizará en la zona de Turó d'en Llaures en Cataluña a 72 km de Girona y se encuentra en el municipio del "del Port de la Selva", su población alcanza un valor de 1.015 habitantes, mientras que el de Girona llega a 100.266 habitantes según los estudios del realizados en el 2018.

Debido al tamaño del proyecto y al bajo número de habitantes en las zonas cercanas a las plantas, se tendrá en cuenta para este estudio, la población del municipio de Girona.

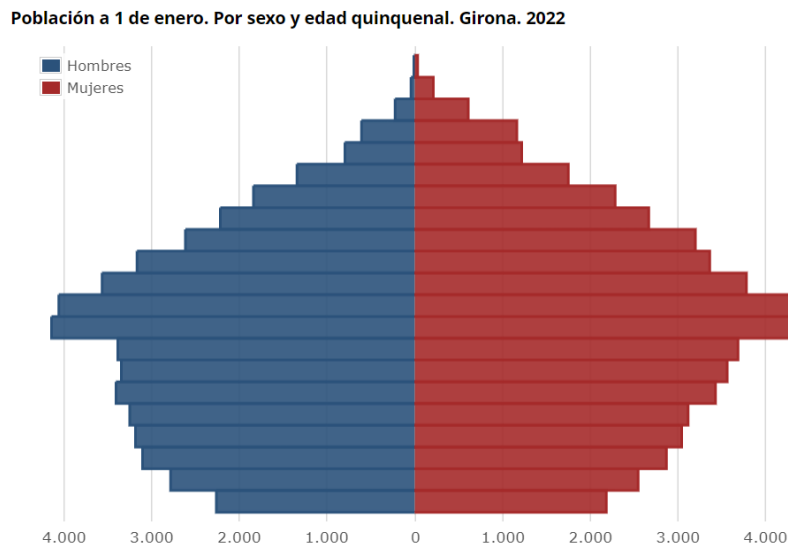


Figura 103: Grafico Impacto Social en Girona.

Fuente: Reefd.es

De estos, con se puede apreciar en la anterior imagen, 53.314 corresponden a mujeres y 49.352 a hombres, 21.980 son aquellos menores de 18 años, mientras que, 68.550 son aquellos con una edad comprendida entre 18 y 65 años (68,31%) y 10 meses si se tiene en cuenta la edad media de jubilación en Cataluña ([información disponible en el siguiente enlace](#)).

La tasa de paro corresponde al 9,51% (4.753 habitantes) lo cual indica un aumento del 0.20% respecto al 2021, con estos valores la tasa de personas sin trabajo en la población de Girona corresponde al 6,9% (obtenido de $4.753 / (68,31\% * 100.266) * 100$).

La realización de este proyecto supone una elevada necesidad de mano de obra especializada, tanto con experiencia como sin, por esta razón las empresas locales, como de transporte o de construcción de utilidades podrán sacar provecho de este aumentando su conocimiento.

Al mismo tiempo se prevé una bajada en la tasa del paro, aunque cabe destacar que será necesario también contratar empresas internacionales, como proveedores de equipos, así como de especialistas si esto resultara necesario.

El recurso eólico, aplicado en el ámbito off-shore en España, generará entre 2025-2030 alrededor de 7.500 puestos de trabajo ([enlace para contrastar esta información \(España duplicará empleo en el sector eólico a 2030 y superará los 67.000 empleos - Asociación Empresarial Eólica \(aeolica.org\)\)](#)), mientras que, el sector hídrico, ha generado en 2017 un total de 163.231 como se puede apreciar en [el siguiente enlace \(Suministro de agua y saneamiento y gestión de residuos: trabajadores 2017 | Statista\)](#).

Analizando las posibles alteraciones debidas a la edificación del campo eólico, así como la de la desaladora, se puede destacar que tanto las costas, como la dinámica litoral se verán negativamente afectadas, sin embargo, sería necesaria un análisis más detenida para establecer si el impacto que se tendrá a nivel turístico será positivo o negativo.

7.2. Impacto medio ambiental.

Resulta ser, a diferencia del social y del económico, el más negativo debido a las repercusiones que se tendrán en el entorno marino y terrestre, su evaluación, así como la normativa que se tendrá que respetar durante la construcción y su posterior funcionamiento, se encuentra recopilado en la [Ley 20/2009, de 14 de enero de 2009](#).

El punto focal de estudio de este apartado resultan ser los riesgos ligados con el empleo de aditivos químicos (y su rechazo), así como las consecuencias que la construcción de las plantas tendrá a nivel de cambio climático. Por esta razón resulta imprescindible, que, durante la presentación del proyecto, se tengan en cuenta las medidas establecidas para minimizar/mitigar estos efectos.

Entre estos estudios destacan el que se tiene que realizar acerca de la producción de ruido/vibraciones generadas por parte de los equipos durante la fase operacional, ya que estos, repercuten sobre la fauna circunstante; entre ellos destacan:

1. Ruido y vibraciones de las palas de los aerogeneradores:

Este resulta ser un problema que la empresa Siemens-Gamesa ha conseguido reducir, a través de la mejora en el diseño de las palas de los aerogeneradores que ahora presentan unos perfiles en forma de dientes serrados, que consiguen una reducción de más de 2 dB cada 2 m/s de velocidad del viento:



*Figura 104: Perfil pala aerogenerador – dientes serrados.
Fuente: energialternativa.es*

2. Inconvenientes generados a la actividad pesquera de la zona:
Para poder evaluar hay que tener en cuenta que se va a ocupar una superficie de 3.263.013 metros cuadrados y que seguramente la presencia del parque eólico generará inconvenientes a la vida animal en sus alrededores.

3. Desplazamiento de los equipos:
Debido al elevado número de equipos empleados y que seguramente no se pueden construir en la zona, será necesario realizar frecuentes desplazamientos hacia el parque y la planta, para la obra y que esto conlleva la emisión de gases contaminantes.
Por esta razón se deberá tener particularmente en cuenta la [Ley 34/2007](#), de 15 de noviembre, de calidad de aire y contaminación de la atmósfera.

Cabe destacar que las normativas expuestas a lo largo del proyecto son principalmente nacionales, sin embargo, debido a la adquisición de equipos a empresas nacionales, se tendrá que verificar si estas respetan las leyes nacionales (de España) sobre la emisión de gases de efecto invernadero, mientras que, si se trata de empresas extranjeras, habrá que establecer si éstas respetan los compromisos internacionales (en el caso de empresas europeas: [Directiva 2003/87/CE](#)).

Finalmente, este estudio se llevará a cabo durante la fase de preparación del proyecto, durante la realización y durante la operación de este.

7.3. Impacto económico.

El impacto social y ambiental influyen en el económico ya que la economía social se verá influenciada positivamente, aunque este se tendrá que evaluar a nivel nacional ya que probablemente habrá una variación en el PIB (Producto Interior Bruto) nacional, debido a la generación de nuevos recursos y al aprovechamiento de los existentes.

Según el AEE (Asociación Empresarial Eólica), la aportación del sector eólico en 2022 en España ha sido de 0,5%, lo cual corresponde a 6.635.000 Euros, mientras que, el sector hídrico en 2017 en España ha aportado el 0,45%, lo cual corresponde a 5.908.000 Euros (0,45% * 1.313.000.000), es por ello por lo que este proyecto contribuye a la riqueza del país.

Sin embargo, analizando de forma global el proyecto se puede destacarse que existe un impacto a nivel ambiental dado por la variación de la fauna y de la flora cercana, aunque las ventajas económicas para la zona, así como las intelectuales y culturales para las personas y las empresas involucradas, hacen que este balance sea positivo.

El análisis se finalizará con el estudio completo de viabilidad del proyecto que se realizará en el siguiente capítulo.

Capítulo 8. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.

8.1. Concepción.

El estudio de viabilidad se centra en la evaluación de la tecnología eólica e hídrica en el mercado español y europeo.

El objetivo es aquel de conseguir la información disponible sobre la viabilidad del proyecto cogiendo referencias de otros proyectos similares ya implantados en el territorio nacional y finalmente contrastar dicha información desarrollando un estudio económico donde se tendrá en cuenta la inversión inicial y se representarán posteriormente los ingresos previstos.

Como explicado en los capítulos anteriores la energía eólica se puede aprovechar con instalaciones ubicadas tanto on-shore como off-shore, aunque cabe destacar que con las últimas se consiguen los mayores niveles de producción energética.

Sin embargo, en España esta opción resulta las más difícil de realizar debido a las elevadas profundidades cerca de la costa, este problema se puede solucionar con el empleo de plataformas, las cuales, presentando tanto el sistema de fondeo, como el soporte del buje ya

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

incorporados, permiten bajar los costes de construcción, mantenimiento y adquisición de la planta aumentando significativamente la viabilidad del proyecto.

Al mismo tiempo este proyecto presenta también el módulo que corresponde a la desaladora, las cuales han empezado a ser una opción viable para todas aquellas zonas en el mundo donde se tiene una elevada sequía.

España cuenta con más de 4.000 km de costa, a pesar de esto durante las épocas más calurosas, muchas regiones no consiguen satisfacer toda la demanda de agua, por esta razón actualmente existen un total de 68 plantas desaladoras que consiguen producir 1.2 millón de metros cúbicos de agua cada día.

La construcción de desaladora necesita una inversión muy alta, así como un elevado aporte energético, debido al gasto por parte de los equipos dinámicos (bombas y compresores), por esta razón en muchos casos esta tecnología resulta ser poco viable, sin embargo, con la presencia del parque eólico este gasto se ve abatido y al mismo tiempo se prevé un aporte económico por parte de la venta de energía eléctrica producida por la misma.

Las ventajas que estas plantas suponen incluyen entre otras, la disminución de sequía en la península española, creación de nuevos puestos de trabajo, disminución de las sanciones por parte de la Comunidad europea y finalmente ayudas al turismo y a la agricultura.

Para evaluar el tamaño óptimo del conjunto de plantas se tendrá en consideración la capacidad de diseño, es decir, la producción (de energía eléctrica y de agua) en condiciones normales, así como la capacidad del sistema que es la producción que tiene en cuenta las horas de mantenimiento y finalmente la capacidad real que es el promedio de la producción energética y de agua.

Los pasos que se seguirán para la evaluación de los costes serán:

- Costes adquisitivos → Plataformas, aerogeneradores, cableado y subestaciones.
- Costes operacionales → Mano de obra y mantenimiento.

En ambos casos se realizará una estimación basada en otros proyectos.

8.1.1. Estudio de mercado.

Gracias a la infinita existencia del recurso eólico, así como del hídrico, esta instalación industrial permite proporcionar una elevada productividad debido a la regeneración interrumpida de estas fuentes.

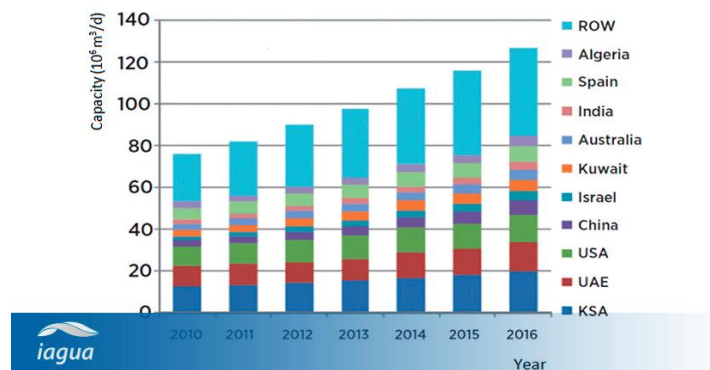
La razón principal que mueve la voluntad de crear este tipo de planta reside en la necesidad mundial de abatir la dependencia de los combustibles fósiles; por esta razón actualmente existen muchas políticas medioambientales que impulsan el empleo de energías renovables para así disminuir los efectos negativos del planeta y la generación de gases contaminantes que resultan fatales para el cambio climático.

Si por un lado se tiene la producción de agua limpia, que actualmente en España se realiza por parte de desaladoras de agua de mar (360 plantas) y de agua salobre (405 plantas) que consiguen una producción de agua de 76.500 metros cúbicos al día, por el otro se tiene la producción de energía eléctrica por medio del recurso eólico, el cual resulta ser el más aprovechado debido a su alto rendimiento frente a las otras fuentes renovables, aunque cabe destacar que en la península española prevale la presencia de campos Onshore (1.294 parques) frente a la Off-shore (4 parques).

Analizándolos en conjunto, se destaca que la energía eólica consigue aportar un total de 60.485 GWh al año.

Como se ha explicado en los primeros capítulos de este proyecto, una de las ventajas de las desaladoras de agua de mar es el gran caudal de producto bruto disponible, frente a aquellas de agua salobre; aunque se tiene que destacar que estas no tienen que lidiar con la presencia de numerosas etapas de pretratamiento y filtrado debidas los parámetros bioquímicos en los que se encuentra el agua.

A pesar de esto el crecimiento a nivel mundial de esta tecnología está siendo muy elevado, como se puede apreciar en el siguiente gráfico.



*Figura 105: Grafico capacidad en metros cúbicos de las desaladoras alrededor del mundo.
Fuente: iagua.es*

Observando se puede notar cómo UAE, Estados Unidos y España son los países que más metros cúbicos al día tienen instalados, mientras que, Israel a pesar de una producción relativamente más baja, tenga muchas licencias de esta tecnología.

Para poner el foco en España, es necesario analizar el siguiente gráfico, desde el cual se puede destacar Canaria, como la zona con más producción instalada, aunque la planta de mayor capacidad se encuentra en Torrevieja.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

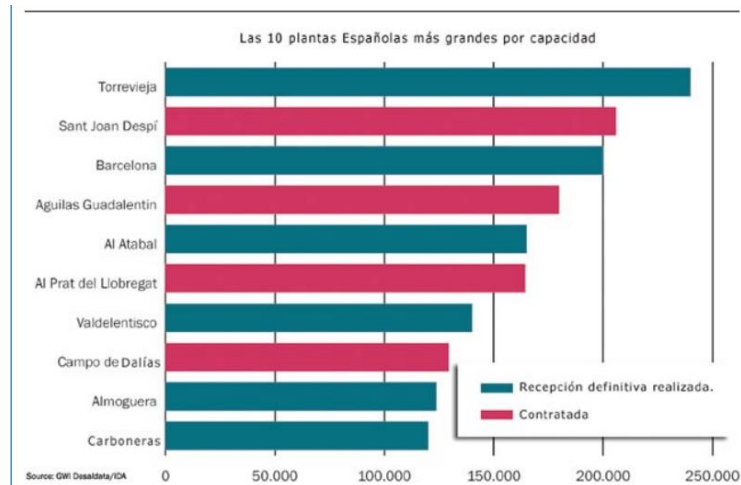
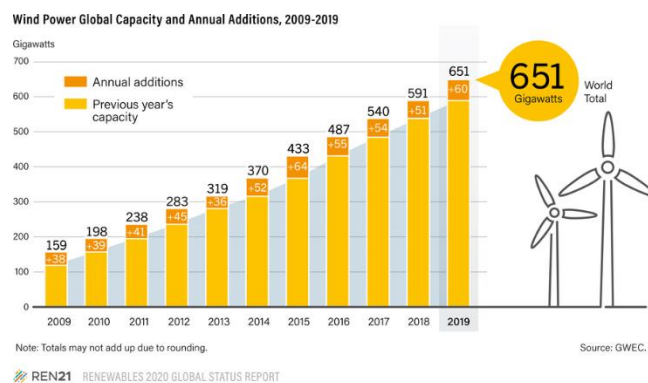


Figura 106: Grafico de las 10 desaladora españolas más grandes del mundo.
Fuente: tecpa.es

Por otra parte, la energía eólica se divide en instalaciones on-shore que presentan una construcción más sencilla debido al tipo de apoyo donde se ubican las fundaciones (tierra), frente a las off-shore, aunque estas últimas tienen las ventajas de una mayor producción debido a un coeficiente de rugosidad más bajo, a pesar de ser más difíciles de acceder para operaciones de mantenimiento.

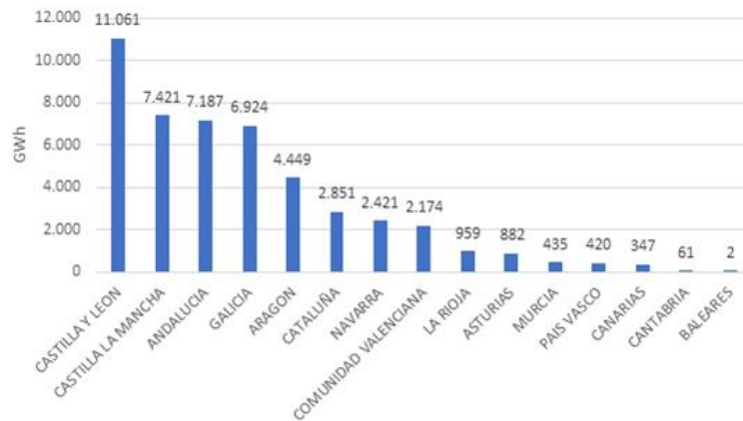
Analizando los datos proporcionados por Siemens-Gamesa los molinos de tierra consiguen una potencia máxima de 7 MW (SG 7.0-170), mientras que las off-shore consiguen una potencia máxima de 14 MW (SG 14-236.00).

Por esta razón esta última configuración resulta ser la más elegida a nivel mundial, como se puede apreciar en el siguiente gráfico.



*Figura 107: Grafico del incremento de la capacidad eólica en el mundo.
Fuente: norvento.com*

Analizando el siguiente grafico se puede destacar como China sea el mis con más capacidad instalada (27.600 MW), mientras que Castilla León es aquella Comunidad con más potencia instalada en España (11.061 GWh); Cataluña sin embargo resulta ser la sexta (2.851 GWh).



*Figura 108: Grafico de la producción de energía eólica por Comunidad.
Fuente: norvento.com*

En conclusión, España presenta un amplio abanico de posibilidades para la implementación de ambas tecnologías, dado por la presencia de plantas similares que han demostrado su rentabilidad, aunque, se tiene que destacar, que el conjunto de ambas resultaría ser novedoso y al mismo tiempo necesario.

8.1.2. Tamaño óptimo.

Para conseguir establecer el tamaño optimo del proyecto se tiene que evaluar la capacidad de diseño del sistema y la capacidad real, para ello se considerara prevalentemente solo el parque eólico, ya que, la desaladora resulta estar ya dimensionada para una producción de 35.478.000 metros cúbicos al año, en la cual se tiene en cuenta tanto las horas de mantenimiento (760) como el promedio de fabricación.

Teniendo en cuenta la presencia de 10 aerogeneradores con una potencia de 8 MW cada uno, se obtiene una producción estimada anual de 1.177.661,791 MWh/año; para establecer la capacidad de diseño se tiene que considerar la tasa de producción en condiciones normales, esta queda definida como:

$$\text{Capacidad de diseño} = \frac{\text{Total de horas trabajadas al año}}{\text{Promedio de horas para fabricar una unidad}}$$

La capacidad del sistema se basa en la máxima producción energética, suponiendo que, los equipos y los trabajadores consiguen llevar a cabo las tareas de forma integrada, por lo tanto, queda definida como:

$$\text{Capacidad del sistema} = \frac{\text{Total de horas trabajadas al año} - \text{Horas de mantenimiento preventiva}}{\text{Promedio de horas para fabricar una unidad}}$$

Finalmente, la capacidad real es aquella que se tiene en cuenta para la estimación de costes, debido a la integración con las distintas contingencias operativas y aquellas reales, por lo tanto, queda da definida como:

$$\text{Capacidad real} = \frac{\text{Total de horas trabajadas al año} - \text{Horas de mantenimiento preventivo} - \text{Total de horas inactivas}}{\text{Promedio de horas para fabricar una unidad}}$$

Teniendo en cuenta lo explicado, se puede establecer que:

- Debido al valor asignado del módulo de velocidad del viento en el emplazamiento y un número de 10 aerogeneradores, se obtiene una generación de eléctrica de 1.177,661 GWh, sin embargo, aunque las horas totales en las cuales se ha evaluado dicha producción corresponden a 7740 (sobre las 8760 disponibles).
Por lo tanto, para un cálculo conservador se ha considerado un factor de reducción del 15% sobre la producción total, es decir, se ha tenido en cuenta que las posibles operaciones de mantenimiento (que obligan la parada de la planta) ocupen un total de 760 horas/año.
Esto ubica la producción final de la planta en 176,649 GWh; cabe destacar que esta resulta ser una estimación muy conservadora debido a que la disposición en serie de los aerogeneradores permite aislar aquellos equipos que necesitan mantenimiento, de aquellos que pueden seguir operando.

Para el estudio técnico se pone el foco en aquellos puntos que describen la instalación y el funcionamiento de la planta:

- Proceso productivo.
- Distribución en planta.
- Equipos y maquinaria.

- Estructura organizativa.

En el proceso producto se analizan las dos plantas por separado:

- Desaladora → Analizando los resultado obtenido en el capítulo cuatro, se estiman un total de 96 equipos, entre depósitos, drums, bombas de alta y de baja presión y compresores, así como 50 km de tuberías y 349 instrumentos. Haciendo referencia a la planta de Delias que posee características similares que se ha realizado con una inversión total de 130.000.000 de euro, en 2014, se puede estimar el mismo en 2023, teniendo en cuenta la variación del IPC, desde esa fecha hasta el día de hoy. En conclusión con un incremento del IPC del 18,8%, la inversión total hoy alcanzaría los 154.440.000 euros.
- Planta Eólica → Esta constituida por 10 aerogeneradores modelo SG 8.0-167 DD, con una potencia de 8 MW cuyo coste estimado es de 15.600.000 dólares, dado por la relación coste/MW de 1.950.000 dólares/MW.

Para que un proyecto se pueda llevar a cabo, es necesario que este sea viable y para ello se analizaran indicadores como el VAN, TIR y PAYBACK cuyo criterios de evaluación se pueden encontrar resumidos en la tabla 23:

VAN < 0: La inversión no se puede considerar rentable, ya que esta genera pérdidas.	VAN = 0: La inversión no genera beneficios ni pérdidas.	VAN > 0: La inversión se considera rentable, ya que genera beneficios.
TIR < k: El proyecto no se aceptable debido a que no consigue alcanzar la rentabilidad mínima	TIR = k: No significa que no sea rentable, se puede considerar como indiferente.	TIR > k: Proyecto aceptable ya que resulta ser rentable

Tabla 23: Valores del VAN y del TIR y sus significados.

Fuente: Elaboración propia.

8.2.1. Coste desaladora.

Como se ha explicado en el punto anterior, la planta desaladora se encuentra ya dimensionada para una producción de 90 hectómetros cúbicos al año, un gasto de 90.000 MWh/año y un coste total de 154.440.000 euros, dentro del cual se encuentra también el precio de construcción y de adquisición de los varios equipos.

Sin embargo, para tener una visión más general de la estructura económica que se va a emplear en las siguientes estimaciones, resulta útil representar la tabla de descomposición de los costes, donde se incluyen los varios servicios asociados, como instalación y transporte:

ELEMENTO	MAX(%)	MIN(%)	MED(%)	Precio final en euros teniendo en cuenta el porcentaje medio
Captación de agua de mar.	5	2	3	4633320
Emisario para evacuación de salmuera.	4	2	3	4633320
Equipos mecánicos + membranas.	70	50	60	92666400
Equipos eléctricos + instrumentación.	15	10	13	20077720
Obra civil.	15	5	10	15444400
Equipo de recuperación de energía.	3	1	2	3088880
Compra y servidumbre de terrenos.	3	1	2	3088880
Embalses de regulación.	3	1	2	3088880
Licencias, tasas y permisos.	2	1	2	3088880
Proyecto, Dirección y Supervisión.	4	2	3	4633320

*Tabla 24: Subdivisión de los costes de la planta desaladora.
Fuente: Elaboración propia.*

8.2.2 Coste de los aerogeneradores.

Considerando un número total de 10 aerogeneradores, con una potencia unitaria de 8 MW, estimando un coste de 1.818.097,06 Euro, se tiene un precio total de 14.057.160 Euro, a los cuales se tienen que restar los costes relativos a las torres, debido a la posibilidad de aprovechar la configuración de la plataformas, con las cuales se necesitaría solo el buje, el rotor y las palas.

Esta distribución permite abatir los costes de un 30% ubicando el coste unitario en 1.230.001,5 euros ($1.757.145 - (0,3 \cdot 1.757.145)$), por lo tanto se considera que el precio total de los aerogeneradores que componen el parque es de 12.300.015 euros. A esto se tienen que añadir los relativos costes de transporte e instalaciones que se pueden apreciar en la tabla 25:

	Unidades necesarias	Coste unitario (en euros)	Coste total (en euros)
Turbinas Siemens-Gamesa	10	1.230.001,5	12.300.015

Transporte	10	123.000,15	1.230.001,5
Instalación	10	246.000,3	2.460.003
Total			15.990.019,5

Tabla 25: Subdivisión de los costes de los aerogeneradores del parque eólico.

Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar los costes de transporte e instalación se han establecido factores de multiplicación del 10% y del 20% sobre el coste unitario de cada aerogenerador.

8.2.3 Coste de las plataformas flotantes.

Las plataformas representan la mayor innovación de este proyecto ya que permiten abatir notablemente los costes de construcción, sin embargo el precio unitario no es fácil de encontrar, por esta razón se ha cogido como referencia un proyecto parecido que ha empleado la misma tecnología, disponible en el [siguiente enlace \(El prototipo eólico flotante de X1 Wind, instalado en aguas canarias, produce sus primeros kilovatios hora - El Periódico de la Energía \(elperiodicodelaenergia.com\)\)](#); en el mismo se puede encontrar un coste de 900.000 euros por plataforma.

En la tabla 26 se pueden apreciar los costes de transporte e instalación que se han evaluado, estableciendo factores de multiplicación del 10% y del 20% sobre el coste unitario de las mismas:

	Unidades necesarias	Coste unitario (en euros)	Coste total (en euros)
Plataformas X1 Wind	10	900.000	9.000.000
Transporte	10	90.000	900.000
Instalación	10	180.000	1.800.000
Total			11.700.000

Tabla 26: Subdivisión de los costes de las plataformas del parque eólico.

Fuente: Elaboración propia.

8.2.4. Coste de los sistemas de anclaje y de fondeo.

En la tabla 27 se pueden apreciar los costes de transporte e instalación del sistema de anclaje y fondeo que como en las evaluaciones anteriores poseen un factor de multiplicación, que en este caso corresponde al 200% (para el transporte) y al 400% (para la instalación):

	Unidades necesarias	Coste unitario (en euros)	Coste total (en euros)
Anclaje	10	1.600	16.000
Transporte	10	3.200	32.000
Instalación	10	6.400	64.000

Total			112.000
--------------	--	--	---------

*Tabla 27: Subdivisión de los costes de los servicios para la construcción del parque eólico.
Fuente: Elaboración propia.*

8.2.5. Almacenamiento y transporte de energía.

Para llevar a cabo el almacenamiento y el transporte de energía es necesaria la implementación de una subestación flotante para la evacuación de la electricidad producida por los aerogeneradores, la cual se ubica a nivel de proceso entre el parque y la red general. Para su conexión son necesarios 2 km de cables desde el parque de 6 MW y de 50 MW para el transporte hasta la estación general ubicada en la planta desaladora.

	<i>Longitud (en metros)</i>	<i>Coste unitario (en euros)</i>	<i>Coste total (en euros)</i>
Subestación flotante		6.750.000	27.000.000
Cables de 6 MW	2.000	150	300.000
Cables de 50 MW	9.000	200	1.800.000
Transporte			2.700.000
Instalación			5.400.000
Total			37.200.000

*Tabla 28: Subdivisión de los costes de la subestación flotante y del parque eólico.
Fuente: Elaboración propia.*

Una primera estimación ubica el coste de la planta (conjunto desaladora y parque eólico) en 219.446.019,5 euros a los cuales se tienen que sumar los que son relativos al estudio previo, la mano de obra y al protocolo de desmantelamiento (solo caso parque eólico), que se tendrá que llevar a cabo después de haber alcanzado la vida útil del mismo.

8.2.6. Mano de obra.

Para su evaluación se tiene en cuenta que actualmente en España se dispone en gran parte de los profesionales necesarios para llevar a cabo la construcción de ambas plantas y que por lo tanto su coste estimado asciende al 2% de cada una, es decir:

Mano de obra planta eólica	1.300.040,39	Euros
Mano de obra planta desaladora	3.088.880	Euros

*Tabla 29: Subdivisión de los costes para la mano de obra del parque eólico.
Fuente: Elaboración propia.*

8.2.7. Coste de Ingeniería.

Los costes de ingeniería tienen en cuenta los salarios y los costes administrativos del personal especiales para llevar a cabo las tareas de diseño y de gestión del proyecto, los cuales ascienden al 3% de la inversión de cada proyecto, es decir:

Coste de ingeniería planta eólica	1.950.060,585	Euros
Coste de ingeniería planta desaladora	4.633.320	Euros

Tabla 30: Subdivisión de los costes de ingeniería para las plantas.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del parque eólico este tiene una vida útil de 20 años, después de los cuales lo equipos no serán capaces de llevar a cabo sus tareas de forma efectiva y segura, para ello es necesario tener en cuenta las siguientes tareas:

- Desmantelamiento.
- Restauración y revegetación del emplazamiento.
- Reciclado de materiales.

Dichas tareas no resultan ser sencillas y para ello es necesario contratar una empresa para su ejecución.

Debido a la importancia de este paso y a la posible bancarrota del gestor, se establece (a nivel jurídico) que los pagos, para llevar a cabo el desmantelamiento, se tienen que realizar de forma mensual y que se acarrean en la fase inicial de la inversión.

La información acerca de los procesos relativos a este proceso es escasos, sin embargo existe un planta on-shore (Merengue II) que ha tenido que realizar este procedimiento ubicando el coste de esta en el 6%, en nuestro caso en análisis, esto corresponde a:

Protocolo de desmantelamiento planta eólica	3.900.121,17	Euros
--	--------------	-------

Tabla 31: Subdivisión de los costes de desmantelamiento para el parque eólico.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado la planta desaladora no presenta esta obligación administrativa, sin embargo se deberán tener en cuenta los costes de mantenimiento relativos a productos, filtros, equipos rotativos y de almacenamiento.

8.3. Inversión inicial.

Con lo anteriormente dicho se puede establecer el precio de la inversión inicial que se puede apreciar en la tabla 32:

	Coste	Unidad
Primera estimación planta eólica	65.002.019,5	Euros
Mano de obra planta eólica	1.300.040,39	Euros
Coste de ingeniería planta eólica	1.950.060,585	Euros
Protocolo de desmantelamiento planta eólica	3.900.121,17	Euros
Inversión inicial planta desaladora	15.444.000	Euros
Coste de ingeniería planta desaladora	4.633.320	Euros
Mano de obra planta desaladora	3.088.880	Euros
Total	234.318.441,6	Euros

*Tabla 32: Subdivisión de los costes de las plantas.
Fuente: Elaboración propia.*

8.4 Estimación de los costes.

El proyecto consta de dos subproyectos, el de la desaladora que tiene un inversión inicial estimada de 154.440.000 y la del parque eólico que corresponde a 65.002.019,5 euros, en conjunto y teniendo en cuenta los varios gastos, el coste total asciende a 234.318.441,6 euros.

Para la estimación de los costes se han identificado tres grados de correlación:

- Grado 1 → Elementos físicos que componen la instalación, como las turbinas, plataformas, equipos rotativos, depósitos, tuberías, instrumentación y materiales para la edificación.
- Grado 2 → Se incluyen los servicios relativos para que la planta pueda funcionar a nivel mecánico y energético.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- Grado 3 → Se incluyen los servicios auxiliares para mantener operativa la planta.

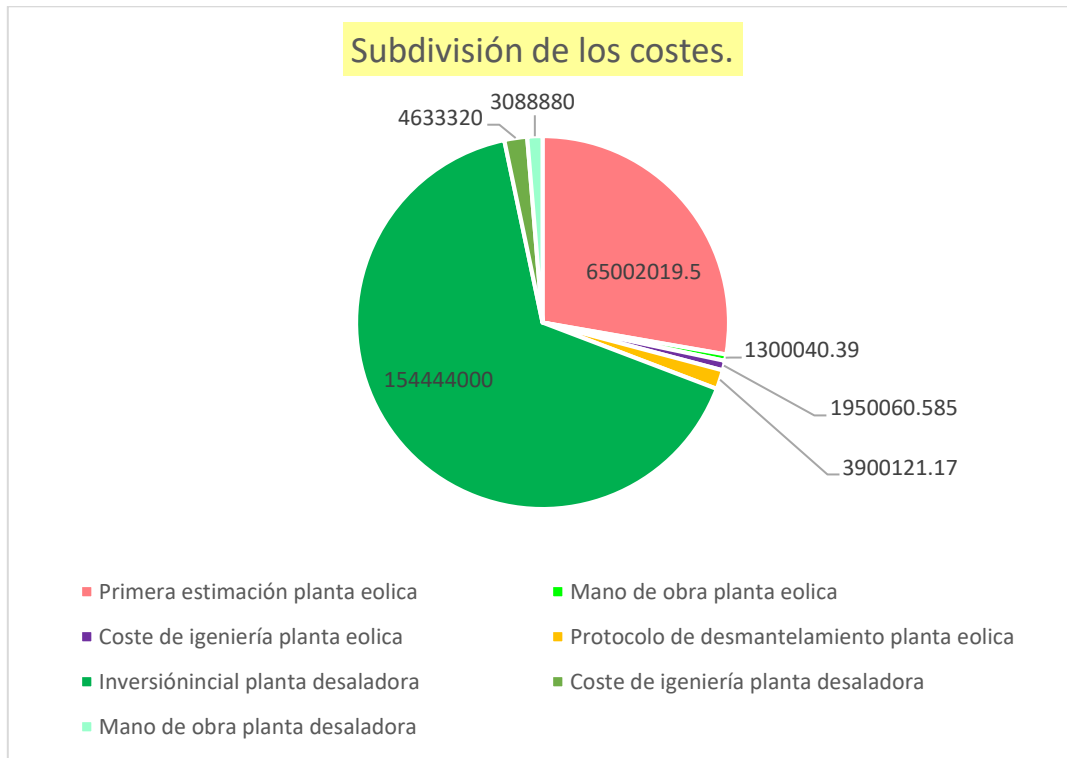
Algunos valores se han estimado haciendo referencia a proyectos ya existentes, mientras que, en otros casos, se han podido encontrar ya definidos.

Al primer grupo pertenecen los estudios relacionados con:

- Sistema de anclaje y fondeo analizando en el punto 8.2.4. basado en el estudio disponible en el [siguiente enlace \(https://www.almazan-ingenieros.es/data/archivo/Ingenieria Maritima. Sistemas de fondeo y anclaje.pdf\)](https://www.almazan-ingenieros.es/data/archivo/Ingenieria%20Maritima.%20Sistemas%20de%20fondeo%20y%20anclaje.pdf).
- Transporte y almacenamiento analizado en el punto 8.2.5. basado en el estudio disponible en el [siguiente enlace \(https://oa.upm.es/6277/2/Estudio_parque_eolico_marino_flotante.pdf\)](https://oa.upm.es/6277/2/Estudio_parque_eolico_marino_flotante.pdf).
- Mano de obra analizado en el punto 8.2.6. mientras que, para el caso de la desaladora, basado en el estudio disponible en el [siguiente enlace \(OI-12-COSTOS.pdf \(desalacion.org\)\)](#).
- Estudio previos analizados en el punto 8.2.7. basado para el caso del parque eólico en el estudio disponible en el [siguiente enlace \(Construcción de un parque eólico marino - Iberdrola\)](#), mientras que, para el caso de la desaladora, basado en el estudio disponible en el [siguiente enlace \(Desaladora del Campo de Dalías \(El Ejido, Almería\) - Agua \(interempresas.net\)\)](#).
- Protocolo de desmantelamiento analizado en el punto 8.2.7. basado en los costes acarreados por el parque eólico Merengue II.
- El coste de la planta desaladora, mencionado el punto 8.2.1. basado en el estudio disponible en el [siguiente enlace \(OI-12-COSTOS.pdf \(desalacion.org\)\)](#).

Cabe destacar que el coste de los aerogeneradores y de las plataformas tienen ya un coste definido, es decir, en base al modelo y a los MW de potencia es posible obtener un precio unitario de cada turbina, así como, entrando en la página del fabricante de plataformas X1 Wind, es posible hallar su coste.

Para conseguir evaluar los costes individuales de cada elemento sobre el coste total, se ha realizado el siguiente diagrama:



*Figura 109: Subdivisión de los costes del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.*

8.5. Costes de mantenimiento.

Los costes de mantenimiento se deben tener en cuenta para ambas plantas, ya que sin ello, la planta podría perder fácilmente productividad, generando elevadas pérdidas económicas. Para ello se ha decidido establecer una tasa anual del 5% sobre la inversión inicial, lo cual corresponde a 11.715.922,08 euros/año.

En esto se tiene en cuenta la limpieza de los equipos, los posibles desajustes de los bujes, bombas, compresores, los salarios de los operadores y los costes relativos a los aditivos químicos presentes en la fase de pretratamiento y postratamiento.

8.6. Impuestos y tasas.

Las tasas y los impuestos se tienen que evaluar de cara a la evaluación de la cuenta de resultados, para ello se han tenido en cuenta los que son aplicables a nivel de Comunidad:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- IVPEE: se trata del impuesto sobre la producción de energía eléctrica, que según la ley 15/2012 incluida en las ley de medidas fiscales, corresponde al 7% sobre la producción anual.
- ICIO: se trata del impuesto sobre nuevas construcciones que tendrá que ser abonado por parte del constructor; en el caso de Cataluña este impuesto corresponde al 4% sobre la inversión inicial y se tendrá que abonar solo durante el primer año.
- IBI: se trata del impuesto sobre bienes inmuebles, en Cataluña varía según el tipo de bien:
 1. Bienes inmuebles / urbanos → Son aquellos que se encuentran dentro de un terreno urbanizable y su coeficiente corresponde al 0,66%.
 2. Bienes inmuebles / rústicos → Son aquellos terrenos en los que no se puede construir y su porcentaje es del 0,66%.
 3. Bienes inmuebles con características especiales → se trata de aquellos conjuntos de edificios que se emplean como uno solo, por ejemplo aeropuerto, puertos, etc.

Esta información se encuentra disponible en el [siguiente enlace \(IBI en Barcelona: toda la información | Casavo\)](#).

- En el caso en análisis se considerará un porcentaje de IBI del 0,8%
- IAE: se trata del impuesto sobre actividades económicas, analizando la tabla disponible en el [siguiente enlace \(Tabla de epígrafes IAE.pdf \(agenciatributaria.gob.es\)\)](#), la producción de agua se incluye en el apartado 161.1 (Captación Tratamiento y Distribución de Agua), cuya tasa corresponde a 0,00156263 por cada metro cubico.
En el caso de la producción de energía eléctrica, esta se incluye en el apartado 151.4 (Producción Transporte y Distribución de Energía Eléctrica), cuyo valor corresponde a 0,721215 por cada kW.
 - IS: se trata del impuesto de sociedades que para este ejercicio se ha elegido como anónima (S.A) para conseguir evitar muchas limitaciones, por lo tanto la tasa sobre la base imponible corresponde al 25%, según la Ley 27/2014.
 - IVA: se trata del impuesto sobre el valor añadido que se encuentra ya aplicado sobre cualquier producto.

8.7. Amortización.

En la tabla 33 de Excel, se presentan los tipos de inmuebles evaluados, así como los años máximos de amortización (todos superiores a la vida útil estimada), los coeficientes lineales máximos de cada uno (disponibles en el [siguiente enlace \(Agencia Tributaria: Por](#)

coeficientes de amortización lineal)) y que corresponden al porcentaje de amortización de bienes) y la evolución a lo largo de los años.

Esto permite tener una visión global de los principales elementos que componen proyecto:

Inmuebles	Coeficiente lineal máximo	Años (máximo)	Inversión	Año 1	Valor residual 1	Año 2	Valor residual 2
Aerogeneradores	0,07	30	15990019,5	1119301,365	14870718,14	1119301,4	13751416,77
Plataformas	0,07	30	11700000	819000	10881000	819000	10062000
Sistemas de fondeo y anclaje	0,07	30	112000	7840	104160	7840	96320
Almacenamiento y transporte de energía	0,05	40	37200000	1860000	35340000	1860000	33480000
Captación de agua de mar.	0,1	100	4633320	463332	4169988	463332	3706656
Emisario para evacuación de salmuera.	0,1	100	4633320	463332	4169988	463332	3706656
Equipos mecánicos + membranas.	0,1	18	92666400	9266640	83399760	9266640	74133120
Equipos eléctricos + instrumentación.	0,2	10	20077720	4015544	16062176	4015544	12046632
Obra civil.	0,1	100	15444400	1544440	13899960	1544440	12355520
Equipo de recuperación de energía.	0,07	30	3088880	216221,6	2872658,4	216221,6	2656436,8
Embalses de regulación.	0,1	100	3088880	308888	2779992	308888	2471104
Total				20084538,97		20084539	
Año 3	Valor residual 3	Año 4	Valor residual 4	Año 5	Valor residual 5	Año 6	Valor residual 6
1119301,365	12632115	1119301	11512814,04	1119301,365	10393512,68	1119301,4	9274211,31
819000	9243000	819000	8424000	819000	7605000	819000	6786000
7840	88480	7840	80640	7840	72800	7840	64960
1860000	31620000	1860000	29760000	1860000	27900000	1860000	26040000
463332	3243324	463332	2779992	463332	2316660	463332	1853328
463332	3243324	463332	2779992	463332	2316660	463332	1853328

9266640	64866480	9266640	55599840	9266640	46333200	9266640	37066560
4015544	8031088	4015544	4015544	4015544	0	0	0
1544440	10811080	1544440	9266640	1544440	7722200	1544440	6177760
216221,6	2440215,2	216221,6	2223993,6	216221,6	2007772	216221,6	1791550,4
308888	2162216	308888	1853328	308888	1544440	308888	1235552
20084538,97		20084539		20084538,97		16068995	
Año 7	Valor residual 7	Año 8	Valor residual 8	Año 9	Valor residual 9	Año 10	Valor residual 10
1119301,365	8154909,9	1119301	7035608,58	1119301,365	5916307,215	1119301,4	4797005,85
819000	5967000	819000	5148000	819000	4329000	819000	3510000
7840	57120	7840	49280	7840	41440	7840	33600
1860000	24180000	1860000	22320000	1860000	20460000	1860000	18600000
463332	1389996	463332	926664	463332	463332	463332	0
463332	1389996	463332	926664	463332	463332	463332	0
9266640	27799920	9266640	18533280	9266640	9266640	9266640	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1544440	4633320	1544440	3088880	1544440	1544440	1544440	0
216221,6	1575328,8	216221,6	1359107,2	216221,6	1142885,6	216221,6	926664
308888	926664	308888	617776	308888	308888	308888	0
16068994,97		16068995		16068994,97		16068995	
Año 11	Valor residual 11	Año 12	Valor residual 12	Año 13	Valor residual 13	Año 14	Valor residual 14
1119301,365	3677704,5	1119301	2558403,12	1119301,365	1439101,755	1119301,4	319800,39
819000	2691000	819000	1872000	819000	1053000	819000	234000
7840	25760	7840	17920	7840	10080	7840	2240
1860000	16740000	1860000	14880000	1860000	13020000	1860000	11160000
463332	0	0	0	0	0	0	0
463332	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
216221,6	710442,4	216221,6	494220,8	216221,6	277999,2	216221,6	216221,6
0	0	0	0	0	0	0	0
4949026,965		4022363		4022362,965		4022363	
Año 15	Valor residual 15	Año 16	Valor residual 16	Año 17	Valor residual 17	Año 18	Valor residual 18
319800,39	0	0	0	0	0	0	0
234000	0	0	0	0	0	0	0
2240	0	0	0	0	0	0	0
1860000	9300000	1860000	7440000	1860000	5580000	1860000	3720000

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
216221,6	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
2632261,99		1860000		1860000		1860000	
Año 19	Valor residual 19	Año 20	Valor residual 20				
0	0	0	0				
0	0	0	0				
0	0	0	0				
1860000	1860000	1860000	0				
0	0	0	0				
0	0	0	0				
0	0	0	0				
0	0	0	0				
0	0	0	0				
0	0	0	0				
0	0	0	0				
1860000		1860000					

Todas las unidades son Euro

Tabla 33: Plan de amortización del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión se puede destacar que las amortización de los inmuebles de ambas plantas se llevara a cabo dentro de los primeros 20 años, aunque cabe destacar que esto se podría verificar con mayor antelación si las unidades de las subestaciones, que llevan a cabo las tareas de almacenamiento y transporte de energía, se vieran disminuidas.

8.8. Financiación del proyecto.

Como se ha anticipado en el punto 8.6. la empresa que realizará el proyecto es una Sociedad Anónima, para entender mejor de que se trata, se presentan en la tabla 34, las ventajas y las desventajas de esta opción:

DESCRIPCIÓN GENERAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Socios: Uno o más. Persona física o jurídica	Sociedad abierta. Los socios pueden vender libremente sus acciones y	Trámites de constitución similares a la sociedad limitada,

	la sociedad puede cotizar en Bolsa.	salvo que se vayan a hacer aportaciones “no dinerarias” al capital de la sociedad, en cuyo es necesario informe de un experto
Responsabilidad: Se limita sólo al capital aportado por los socios	La responsabilidad de los socios es limitada.	Gran número de socios.
Capital Social mínimo para constituir la empresa: 60.000€. Desembolso del 25% momento constitución	Protege el patrimonio personal del inversor.	Es necesario un capital inicial de 60.000€ (totalmente suscrito y desembolsado en un 25%)
Razón Social: nombre empresa seguido de Sociedad Anónima o SA	Buena imagen frente a terceros	Más estricta y rígida en su funcionamiento
	Un solo socio puede constituirla (Sociedad anónima unipersonal)	Grandes empresas. Grandes Inversiones

Tabla 34: Descripción de ventajas y desventajas del tipo de sociedad.

Fuente: Elaboración propia.

Una de las desventajas del proyecto reside en el elevado capital a invertir, es por esta razón que resulta más conveniente pedir una financiación externa, que sea capaz de cubrir el 70% de la inversión inicial, lo cual corresponde a 164.022.909,12 euros.

Se ha supuesto una tasa anual del 3% (TAE) que se tiene que devolver en un periodo de 16 años; las características se encuentran resumidas en la tabla 35:

Datos sobre la financiación.	
Importe total del capital prestado	164022909,1
TAE	3%
Número total de años	16
Numero de periodos de pago a lo largo de los años (teniendo en cuenta 12 meses al año).	192
Cuota mensual.	879914,5646
Intereses totales a pagar.	25628,57955
Cantidad total devuelta a la entidad financiera.	168943596,4

Tabla 35: Descripción de la financiación.

Fuente: Elaboración propia.

8.9. Previsión de ingresos.

La previsión de ingresos se basa sobre la producción de electricidad generada por el campo eólico, así como el aporte de agua por parte de la desaladora, cabe destacar que, la desaladora tiene un gasto energético que se ha establecido a partir de proyectos reales, mientras que, la generación de electricidad por parte del parque eólico ha sido evaluada.

Para poder entender los ingresos previstos hay que tener en cuenta los siguientes datos relacionados con las plantas:

PLANTA DESALADORA	
Gasto anual de electricidad en MWh/año	90000
Producción anual de agua en metros cúbicos	30000000

*Tabla 36: Gasto y producción de la desaladora.
Fuente: Elaboración propia.*

PARQUE EOLICO	
Producción total esperada en MWh/año	176649,2686
Energía disponible para la venta en MWh/año	86649,26864

*Tabla 37: Gasto y producción del parque eólico.
Fuente: Elaboración propia.*

8.9.1. Análisis de precios en Cataluña.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Establecidos los gastos anuales y los niveles de producción, se presenta el análisis de los precios por metro cúbicos de la planta desaladora, en particular aquellos registrados en Cataluña, desde el año 2010 hasta el 2022:

Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2010	1,91
Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2011	1,51
Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2012	1,54
Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2013	1,73
Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2014	1,83
Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2015	1,89
Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2016	/
Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2017	1,95
Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2018	1,92
Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2019	1,97
Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2020	2,02

Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2021	2,13
Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2022	2,24

*Tabla 38: Evolución del precio del metro cubico de agua en Cataluña hasta el 2022.
Fuente: Elaboración propia.*

Esto nos permite estimar los precios hasta el año 2045 a través del empleo de la variación de porcentaje que existe entre cada año:

Suma de la variación de porcentaje total, desde 2010 hasta 2022	0,19829287
Media anual de porcentaje de incremento	0,01652441

*Tabla 39: Evaluación de la media del precio del metro cubico de agua en Cataluña y su porcentaje de incremento.
Fuente: Elaboración propia.*

Con el porcentaje de la media anual se puede estimar el precio del metro cubico hasta 2045, obteniendo:

Precio del metro cubico en Cataluña en el año 2023	2,27701467
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2024	2,314640985

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2025	2,352889053
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2026	2,391769148
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2027	2,431291713
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2028	2,471467364
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2029	2,512306895
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2030	2,553821275
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2031	2,596021655
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2032	2,638919371
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2033	2,682525947

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2034	2,726853095
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2035	2,771912723
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2036	2,817716935
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2037	2,864278034
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2038	2,911608528
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2039	2,95972113
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2040	3,008628764
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2041	3,058344568
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2042	3,108881896

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2043	3,160254323
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2044	3,21247565
Precio del metro cubico ESPERADO en Cataluña en el año 2045	3,265559902

*Tabla 40: Estimación del precio esperado del metro cubico de agua.
Fuente: Elaboración propia.*

El mismo razonamiento se puede aplicar para el parque eólico, una vez encontrados los precios Euro/MWh (registrados en los años 2010-2022 y almacenados en la siguiente base de datos) se han representado en la tabla 41:

Precio Euro/MWh en Cataluña en 2010	45,8
Precio Euro/MWh en Cataluña en 2011	60,2
Precio Euro/MWh en Cataluña en 2012	59,6
Precio Euro/MWh en Cataluña en 2013	57,8
Precio Euro/MWh en Cataluña en 2014	55,1
Precio Euro/MWh en Cataluña en 2015	62,8

Precio Euro/MWh en Cataluña en 2016	48,4
Precio Euro/MWh en Cataluña en 2017	60,6
Precio Euro/MWh en Cataluña en 2018	64,5
Precio Euro/MWh en Cataluña en 2019	53,4
Precio Euro/MWh en Cataluña en 2020	38,7
Precio Euro/MWh en Cataluña en 2021	118,7
Precio Euro/MWh en Cataluña en 2022	178,28

Tabla 41: Evaluación del coste del MWh en Cataluña hasta el 2022.

Fuente: Elaboración propia.

Para la estimación del valor del precio Euro/MWh desde el año 2023 hasta el 2045, se ha empleado el mismo método que se ha utilizado para la estimación anterior, es decir, con los valores registrados en los años anteriores se ha evaluado el incremento anual, tras sumarlos, se ha calculado su media, la cual posteriormente se ha aplicado a cada año, obteniendo lo siguiente:

Precio Euro/MWh en Cataluña en 2023	181,2259711
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2024	184,2206227

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2025	187,2647591
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2026	190,359198
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2027	193,5047708
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2028	196,7023222
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2029	199,9527113
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2030	203,2568111
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2031	206,6155092
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2032	210,0297078
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2033	213,500324

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2034	217,0282901
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2035	220,6145537
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2036	224,2600782
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2037	227,9658428
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2038	231,732843
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2039	235,5620907
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2040	239,4546143
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2041	243,4114596
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2042	247,4336895

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2043	251,5223843
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2044	255,6786423
Precio Euro/MWh ESPERADO en Cataluña en 2045	259,9035801

*Tabla 42: Estimación del precio esperado del MWh en Cataluña.
Fuente: Elaboración propia.*

Con estos valores, entre otras cosas, también es posible evaluar el potencial ahorro de la desaladora, el cual resulta ser de 419.017.876,4 de Euros, frente a la inversión total del parque eólico que resulta ser de 72.152.241,65 de Euros. Para evaluarlo se tiene en cuenta el coste del metro cubico producido frente a la electricidad gastada anualmente por la Osmosis Inversa que resulta ser:

Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2025	16853828,32	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2026	17132327,82	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2027	17415429,37	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2028	17703209	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2029	17995744,01	Euros

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
 Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
 Claudio Bucciarelli.

Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2030	18293113	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2031	18595395,83	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2032	18902673,7	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2033	19215029,16	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2034	19532546,11	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2035	19855309,83	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2036	20183407,04	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2037	20516925,86	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2038	20855955,87	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2039	21200588,16	Euros

Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2040	21550915,29	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2041	21907031,37	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2042	22269032,05	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2043	22637014,58	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2044	23011077,81	Euros
Coste del m^3 por la electricidad de la Osmosis Inversa en 2045	23391322,21	Euros
Cantidad en Euros ahorrada en total.	419017876,4	Euros

Tabla 43: Evaluación del potencial ahorro de la planta desaladora gracias a la implementación del parque eólico.

Fuente: Elaboración propia.

8.9.2. Estimación de ingresos.

La estimación de los ingresos se basa en:

- La producción de agua de la planta desaladora durante cada año, multiplicada por el coste del mismo recurso, durante un periodo de 20 años:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

AÑO	VALOR en Euros producido por la venta anual de agua
2025	70586671,59
2026	71753074,43
2027	72938751,38
2028	74144020,93
2029	75369206,85
2030	76614638,24
2031	77880649,64
2032	79167581,13
2033	80475778,4
2034	81805592,85

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

2035	83157381,7
2036	84531508,05
2037	85928341,03
2038	87348255,84
2039	88791633,9
2040	90258862,93
2041	91750337,04
2042	93266456,88
2043	94807629,7
2044	96374269,49

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

2045	97966797,06
TOTAL	1.754.917.439

*Tabla 44: Estimación de ingresos.
Fuente: Elaboración propia.*

- La producción de energía eléctrica del parque eólico durante cada año, multiplicada por el coste del mismo recurso, durante un periodo de 20 años:

AÑO	VALOR en Euros producido por la venta anual de electricidad
2025	16226354,42
2026	16494485,29
2027	16767046,86
2028	17044112,36
2029	17325756,19
2030	17612054,03

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

2031	17903082,76
2032	18198920,57
2033	18499646,93
2034	18805342,61
2035	19116089,73
2036	19431971,76
2037	19753073,56
2038	20079481,37
2039	20411282,87
2040	20748567,2
2041	21091424,96

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

2042	21439948,23
2043	21794230,64
2044	22154367,36
2045	22520455,13
TOTAL	403.417.694,8

*Tabla 45: Estimación de ingresos.
Fuente: Elaboración propia.*

Las entradas brutas anuales se pueden considerar como la suma de la producción de cada tecnología:

AÑO	SUMA ENTRADAS BRUTAS ANUALES
2025	86.813.026
2026	88.247.559,7

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

2027	89.705.798,2
2028	91.188.133,3
2029	92.694.963
2030	94.226.692,3
2031	95.783.732,4
2032	97.366.501,7
2033	98.975.425,3
2034	100.610.935
2035	102.273.471
2036	103.963.480
2037	105.681.415
2038	107.427.737

2039	109.202.917
2040	111.007.430
2041	112.841.762
2042	114.706.405
2043	116.601.860
2044	118.528.637
2045	120.487.252

*Tabla 46: Estimación de ingresos brutos anuales.
Fuente: Elaboración propia.*

Obteniendo unos ingresos totales de 2.158.335.134 Euros a lo largo de 20 años.

8.9.3. Cuenta de resultados.

Establecidas las entradas se puede realizar la cuenta de resultados, donde aparecen los siguientes parámetros y las siguientes operaciones:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- Energía producida por el parque eólico en MWh/año → se trata de la cantidad de electricidad producida por el campo off-shore a lo largo de un año.
- Precio Euro/MWh → se trata de la evolución del precio estimada en el capítulo anterior.
- Ingresos → se trata del producto de ambos.
- Agua producida por la desaladora en metros cúbicos al año → se trata de la cantidad de agua a aportar a la red general ,generada por la desaladora cada año.
- Ingresos → se trata del producto de ambos.
- Costes de operación y mantenimiento del parque eólico y de la desaladora → se trata de los costes de gestión de ambas plantas, estimados en el punto 8.5.
- Inversión Inicial → se trata de la cantidad de dinero estimada para poder realizar el proyecto, esta se encuentra en el punto 8.4.
- EBITDA → se trata de un indicador financiero que muestra el beneficio del proyecto antes de restar los impuestos, la depreciación de los equipos etc. Se tienen en cuenta los ingresos a los cuales se les restan los costes de mantenimiento/operativos.
- Amortización → se trata de la suma total obtenida en cada año. Hace referencia al punto 8.7.
- BAI → se trata del beneficio antes de los intereses y de los impuestos y se obtiene restando al valor anual del EBITDA el coste de anual de la amortización.
- Gastos Financieros → se trata de la cuota mensual a devolver al banco por el capital prestado para la inversión durante los primeros 16 años.
- BAI → se trata del beneficio bruto y su valor se obtiene restando al BAI los gastos financieros.
- IVPEE → se trata del impuesto sobre la producción eléctrica generada por parte del campo eólico. Esta se ha tenido en cuenta como el 7% de los ingresos generado por la venta energética.
- ICIO → se trata del impuesto sobre construcciones, es decir el 4% sobre la inversión inicial.
- IBI → se trata del impuesto sobre bienes inmuebles, se ha considerado como 0,8% de la suma de los ingresos.
- IAE → se trata del impuesto sobre actividades económicas que en el caso de la desaladora se ha calculado como 0,00156263 por los ingresos generados de la venta, mientras que, en el caso del parque eólico se ha calculado como 0,7212 por los ingresos generados de la venta.
- IS → se trata del impuesto de sociedades y se ha calculado como el 25% del BAI.
- Beneficio Neto → se trata del resultado generado por la suma de los ingresos y la resta de los demás valores presentado anteriormente.

Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, se obtiene:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

	2023	2024	2026	2027
Energía Producida por el Parque (MWh/año)			86649,26864	86649,26864
Precio Euro/MWh			184,2206227	187,2647591
Ingresos			15962582,22	16226354,42
Agua Producida por la desaladora (m ³ /año)			30000000	30000000
Precio Euro/m ³			2,314640985	2,352889053
Ingresos			69439229,56	70586671,59
Costes de Operaciones y Mantenimiento Parque Eólico Y Desaladora			11.715.922,08	11.715.922,08
Inversión Inicial	234318441,6			
EBITDA			73.685.889,70	75.097.103,93
Amortización			20084538,97	20084538,97
BAII			53.601.350,74	55.012.564,96
Gastos Financieros			10558974,77	10558974,77
BAI			43.042.375,96	44.453.590,19
IVPEE			1117380,756	1135844,809
ICIO			9372737,666	9372737,666
IBI			683214,4943	694504,2081
IAE Desaladora			46878,9	46878,9
IAE Campo Eólico			510907,9402	510907,9402
IS			10760593,99	11113397,55
Beneficio Neto			20.550.662,22	21.579.319,12

2028	2029	2030	2031	2032	2033
86649,26864	86649,26864	86649,26864	86649,26864	86649,26864	86649,26864
190,359198	193,5047708	196,7023222	199,9527113	203,2568111	206,6155092

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

16494485,29	16767046,86	17044112,36	17325756,19	17612054,03	17903082,76
30000000	30000000	30000000	30000000	30000000	30000000
2,391769148	2,431291713	2,471467364	2,471467364	2,512306895	2,553821275
71753074,43	72938751,38	74144020,93	74144020,93	75369206,85	76614638,24
11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08
76.531.637,64	77.989.876,16	79.472.211,21	79.753.855,04	81.265.338,80	82.801.798,92
20084538,97	20084538,97	16068994,97	16068994,97	16068994,97	16068994,97
56.447.098,67	57.905.337,19	63.403.216,24	63.684.860,08	65.196.343,83	66.732.803,96
10558974,77	10558974,77	10558974,77	10558974,77	10558974,77	10558974,77
45.888.123,90	47.346.362,42	52.844.241,47	53.125.885,30	54.637.369,06	56.173.829,18
1154613,97	1173693,28	1193087,865	1212802,934	1232843,782	1253215,793
9372737,666	9372737,666	9372737,666	9372737,666	9372737,666	9372737,666
705980,4777	717646,3859	729505,0663	731758,217	743850,087	756141,768
46878,9	46878,9	46878,9	46878,9	46878,9	46878,9
510907,9402	510907,9402	510907,9402	510907,9402	510907,9402	510907,9402
11472030,97	11836590,6	13211060,37	13281471,33	13659342,26	14043457,3
22.624.973,97	23.687.907,64	27.780.063,66	27.969.328,32	29.070.808,42	30.190.489,82

2034	2035	2036	2037	2038	2039
86649,26864	86649,26864	86649,26864	86649,26864	86649,26864	86649,26864
210,0297078	213,500324	217,0282901	220,6145537	224,2600782	227,9658428
18198920,57	18499646,93	18805342,61	19116089,73	19431971,76	19753073,56
30000000	30000000	30000000	30000000	30000000	30000000
2,596021655	2,638919371	2,682525947	2,726853095	2,771912723	2,817716935
77880649,64	79167581,13	80475778,4	81805592,85	83157381,7	84531508,05

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08
84.363.648,14	85.951.305,98	87.565.198,93	89.205.760,50	90.873.431,38	92.568.659,53
16068994,97	4949026,965	4022362,965	4022362,965	4022362,965	2632261,99
68.294.653,17	81.002.279,02	83.542.835,97	85.183.397,54	86.851.068,42	89.936.397,54
10558974,77	10558974,77	10558974,77	10558974,77	10558974,77	10558974,77
57.735.678,40	70.443.304,24	72.983.861,19	74.624.422,76	76.292.093,64	79.377.422,77
1273924,44	1294975,285	1316373,983	1338126,281	1360238,023	1382715,149
9372737,666	9372737,666	9372737,666	9372737,666	9372737,666	9372737,666
768636,5617	781337,8245	794248,9681	807373,4607	820714,8277	834276,6529
46878,9	46878,9	46878,9	46878,9	46878,9	46878,9
510907,9402	510907,9402	510907,9402	510907,9402	510907,9402	510907,9402
14433919,6	17610826,06	18245965,3	18656105,69	19073023,41	19844355,69
31.328.673,29	40.825.640,57	42.696.748,44	43.892.292,83	45.107.592,87	47.385.550,77

2040	2041	2042	2043	2044	2045
86649,26864	86649,26864	86649,26864	86649,26864	86649,26864	86649,26864
231,732843	235,5620907	239,4546143	243,4114596	247,4336895	251,5223843
20079481,37	20411282,87	20748567,2	21091424,96	21439948,23	21794230,64
30000000	30000000	30000000	30000000	30000000	30000000
2,864278034	2,911608528	2,95972113	3,008628764	3,058344568	3,160254323
85928341,03	87348255,84	88791633,9	90258862,93	91750337,04	94807629,7
11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08	11.715.922,08
94.291.900,32	96.043.616,64	97.824.279,03	99.634.365,80	101.474.363,19	104.885.938,26
1860000	1860000	1860000	1860000	1860000	1860000
92.431.900,32	94.183.616,64	95.964.279,03	97.774.365,80	99.614.363,19	103.025.938,26

10558974,77	10558974,77				
81.872.925,54	83.624.641,86	95.964.279,03	97.774.365,80	99.614.363,19	103.025.938,26
1405563,696	1428789,801	1452399,704	1476399,747	1500796,376	1525596,145
9372737,666	9372737,666	9372737,666	9372737,666	9372737,666	9372737,666
848062,5792	862076,3097	876321,6088	890802,3031	905522,2822	
46878,9	46878,9	46878,9	46878,9	46878,9	46878,9
510907,9402	510907,9402	510907,9402	510907,9402	510907,9402	510907,9402
20468231,39	20906160,47	23991069,76	24443591,45	24903590,8	25756484,57
49.220.543,38	50.497.090,78	59.713.963,45	61.033.047,80	62.373.929,23	65.813.333,05

*Tabla 47: Cuenta de resultados.
Fuente: Elaboración propia.*

8.9.4. Flujo de caja.

En este capítulo se han evaluado el flujo de caja neto, el flujo de caja acumulado, el VAN, el TIR y el PAYBACK, teniendo en cuenta la inversión inicial, el beneficio neto y la amortización.

El 2025, abertura de la planta, resulta ser el único año en el que no se generan ingresos, desde el 2026, con la producción de ambas tecnologías se consigue garantizar flujos de cajas netos positivos, que se han evaluado como la suma entre el beneficio neto y la amortización generadas anualmente.

El flujo de caja acumulado sin embargo, tiene en cuenta el valor negativo de la inversión inicial, al cual se suma el flujo de caja neto del siguiente año, obteniendo valores positivos desde el 2030.

Año	Inversión Inicial	Beneficio Neto	Amortización	Flujo de caja neto	Flujo de caja acumulado
2025	-234318441,6			-234318441,6	-193.683.240,46
2026		20.550.662,22	20084538,97	40.635.201,19	-152.019.382,37

2027		21.579.319,12	20084538,97	41.663.858,09	-109.309.869,43
2028		22.624.973,97	20084538,97	42.709.512,94	-65.537.422,82
2029		23.687.907,64	20084538,97	43.772.446,61	-17.672.820,19
2030		27.780.063,66	20084538,97	47.864.602,63	26.365.503,11
2031		27.969.328,32	16068994,97	44.038.323,29	71.505.306,49
2032		29.070.808,42	16068994,97	45.139.803,39	117.764.791,28
2033		30.190.489,82	16068994,97	46.259.484,79	165.162.459,54
2034		31.328.673,29	16068994,97	47.397.668,26	222.057.095,08
2035		40.825.640,57	16068994,97	56.894.635,54	269.702.870,48
2036		42.696.748,44	4949026,965	47.645.775,40	317.617.526,27

2037		43.892.292,83	4022362,965	47.914.655,79	366.747.482,11
2038		45.107.592,87	4022362,965	49.129.955,84	418.155.395,84
2039		47.385.550,77	4022362,965	51.407.913,73	470.008.201,21
2040		49.220.543,38	2632261,99	51.852.805,37	522.365.291,99
2041		50.497.090,78	1860000	52.357.090,78	583.939.255,44
2042		59.713.963,45	1860000	61.573.963,45	646.832.303,23
2043		61.033.047,80	1860000	62.893.047,80	711.066.232,46
2044		62.373.929,23	1860000	64.233.929,23	778.739.565,51
2045		65.813.333,05	1860000	67.673.333,05	778.739.565,51

*Tabla 48: Flujo de caja.
Fuente: Elaboración propia.*

8.9.5. VAN

El VAN se conoce como el Valor Actual Neto y para evaluarlo se tiene que establecer una tasa de descuento (tasa que sirve para calcular el valor que tienen a día de hoy una serie de ingresos que se recibirán más adelante) que en este caso corresponde al 5%.

La fórmula es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Figura 103: Formula del VAN.

Fuente: Hablemos de empresas.

El resultado obtenido es:

Tasa de descuento = 5%	
VAN	
- 234318442	Inversión Inicial
38700191,6	Flujo de caja generado en el año 1 teniendo en cuenta la tasa de descuento
37790347,5	Flujo de caja generado en el año 2 teniendo en cuenta la tasa de descuento
36894083,1	Flujo de caja generado en el año 3 teniendo en cuenta la tasa de descuento
36011700,2	Flujo de caja generado en el año 4 teniendo en cuenta la tasa de descuento

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

37503168,6	Flujo de caja generado en el año 5 teniendo en cuenta la tasa de descuento
32862074,9	Flujo de caja generado en el año 6 teniendo en cuenta la tasa de descuento
32080015,5	Flujo de caja generado en el año 7 teniendo en cuenta la tasa de descuento
31310240,2	Flujo de caja generado en el año 8 teniendo en cuenta la tasa de descuento
30552959,6	Flujo de caja generado en el año 9 teniendo en cuenta la tasa de descuento
34928370,8	Flujo de caja generado en el año 10 teniendo en cuenta la tasa de descuento
27857498,1	Flujo de caja generado en el año 11 teniendo en cuenta la tasa de descuento
26680673,2	Flujo de caja generado en el año 12 teniendo en cuenta la tasa de descuento
26054664,5	Flujo de caja generado en el año 13 teniendo en cuenta la tasa de descuento
25964489,8	Flujo de caja generado en el año 14 teniendo en cuenta la tasa de descuento

24942086	Flujo de caja generado en el año 15 teniendo en cuenta la tasa de descuento
23985386,5	Flujo de caja generado en el año 16 teniendo en cuenta la tasa de descuento
26864516,3	Flujo de caja generado en el año 17 teniendo en cuenta la tasa de descuento
26133360,4	Flujo de caja generado en el año 18 teniendo en cuenta la tasa de descuento
25419547	Flujo de caja generado en el año 19 teniendo en cuenta la tasa de descuento
25505367,5	Flujo de caja generado en el año 20 teniendo en cuenta la tasa de descuento
373722300	Valor final del VAN

*Tabla 49: Estimación del valor del VAN.
Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede apreciar la suma total es positiva con un valor de 373.722.300 Euros ganados a lo largo de los veinte años de vida de la planta.

8.9.6. TIR

El TIR se basa sobre el valor actual neto, definido como la tasa "k" que hace que el valor neto de un flujo de caja sea igual a 0.

Este se calcula resolviendo la ecuación de forma que la única incógnita sea la tasa de descuento, que mediante función de Excel se traduce en porcentaje:

TIR

$0 = -234318442 + (50.0007.938,85/(1+K)^1) + (51.036.595,76/(1+K)^2) + (52.082.250,6/(1+K)^3) + (53.145.184,28/(1+K)^4) + (57.237.240,3/(1+K)^5) + (53.411.060,96/(1+K)^6) + (54.512.541,05/(1+K)^7) + (55.632.222,45/(1+K)^8) + (56.770.405,93/(1+K)^9) + (66.267.373,2/(1+K)^10) + (57.018.513,07/(1+K)^11) + (65.206.624,54/(1+K)^12) + (66.421.924.59/(1+K)^13) + (68.699.882,48/(1+K)^14) + (69.144.774,11/(1+K)^15) + (69.649.059,53/(1+K)^16) + (70.9496.701,12/(1+K)^17) + (72.265.785,46/(1+K)^18) + (73.606.666,90/(1+K)^19) + (77.046.070,71/(1+K)^20)$
Despejando el valor de K se obtiene la tasa interna de retorno:
19%

Tabla 50: Estimación del porcentaje del TIR.

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje obtenido corresponde al 19%, lo cual resulta ser casi 4 veces mayor de la tasa de descuento establecida, esto sugiere que el proyecto tenga una elevada rentabilidad y por lo tanto que el proyecto es aconsejable.

8.9.7. Periodo de recuperación.

El periodo de recuperación también conocido como PAYBACK es la cantidad de tiempo necesaria para recuperar la inversión inicial del proyecto, es decir, cuando el flujo de caja acumulado empieza a ser positivo.

Analizando la tabla presentada en el punto 8.9.4 esto se verifica en el año 2030, es decir cinco años después de la inversión inicial.

8.9.8. Análisis de sensibilidad.

Existen varios factores que pueden influir durante la estimación económica, una de esa es la tasa de descuento aplicada al proyecto, para ello se ha decidido evaluar hasta que porcentaje el TIR resulta ser positivo y para ello se han dejado las demás variables constantes, obteniendo:

VAN con tasa de descuento del 5%	VAN con tasa de descuento del 10%	VAN con tasa de descuento del 15%	VAN con tasa de descuento del 20%	VAN con tasa de descuento del 25%
373.722.298,59 €	167.999.162,03 €	53.961.510,01 €	-14.488.765,69 €	-58.551.249,55 €

Tabla 51: Estimación de la tasa del descuento y de cómo esta afecte al VAN.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, con una tasa de descuento tres veces mayor respecto a la de diseño se siguen teniendo valores positivos de TIR, mientras que, alrededor del 19% se manifiesta una tasa de retorno negativa.

8.9.9. Conclusiones.

Cabe destacar que la análisis económica del proyecto ha tratado de ser lo más exhaustiva posible, aunque es evidente que muchos factores no se han podido tener en cuenta, como por ejemplo normativas o tasas propias de la implantación debido a la dificultad de encontrar dicha información.

Sin embargo la estimación ha tenido en consideración una producción de energía eléctrica más baja de lo previsto (horas total menores respecto a las reales), así como unos costes más elevados de transporte y de instalación de las subestaciones y de las plataformas flotantes.

Capítulo 9. PLANIFICACIÓN TEMPORAL.

En este capítulo se presentan todas las tareas que se tendrán que llevar a cabo para la creación del conjunto desaladora y parque eólico, cabe destacar que muchas actividades tienen dependencia la una con la otra y para ello se ha creído necesario describir el punto 9.1, mientras que, el punto 9.2. es una representación gráfica de las mismas, donde se tienen en cuenta los plazos de entrega.

9.1. Descomposición de actividades.

1. Determinación del objeto y alcance del proyecto.

- Descripción y análisis del objeto del proyecto.
- Descripción y análisis del alcance del proyecto.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- Asignación roles para la realización de las actividades según departamento:
 - Departamento de estimaciones.
 - Departamento documentación.
 - Departamento de seguridad laboral y del medio ambiente.
 - Departamento mecánico.
 - Departamento de control de costes.
 - Departamento de compras.
 - Departamento legal.
 - Departamento de procesos.
 - Departamento tuberías.
 - Departamento de instrumentación.
 - Departamento energético.
 - Departamento civil.
 - Departamento de recursos humanos → para verificar la necesidad de adquisición de personal externo.
 - Departamento de gestión de proyecto.
 - Departamento de dirección de proyectos.

La Descripción y análisis del alcance del proyecto tiene una dependencia con la descripción y la análisis del objeto del proyecto.

El Estudio civil tiene una dependencia con el Análisis del medio ambiente.

El Estudio de Procesos tiene una dependencia con el Estudio Mecánico.

El Análisis del recurso eólico tiene una dependencia con el análisis del medio ambiente.

El Análisis del recurso hídrico tiene una dependencia con el Análisis del medio ambiente.

El Estudio batimétrico tiene una dependencia con el Análisis del recurso eólico.

El Estudio logístico tiene una dependencia con la Firma del contrato.

La Determinación de los equipos y los accesorios por parte del departamento de procesos tiene una dependencia con el Análisis de los equipos empleados.

La Adquisición de los equipos por parte del departamento de compras tiene una dependencia con la Determinación de los equipos y los accesorios por parte del departamento de procesos.

El punto 1 tiene una dependencia con la Firma del contrato.

- Presentación de la estimación.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- Firma del contrato (se da por hecho que la primera estimación económica del proyecto resulta ser aceptada).

2. Documentación y estudio del emplazamiento.

- Análisis del medio ambiente.
- Estudio Civil.
- Estudio Mecánico.
- Estudio de Procesos.
- Subdivisión temporal → Project magnamente.
- Análisis del recurso eólico.
- Análisis del recurso hídrico.
- Estudio batimétrico.
- Análisis equipos empleados.
 - Análisis detenida para equipos rotativos, equipos estáticos, equipos de instrumentación y tuberías.
- Estudio logístico.
- Determinación equipos y accesorios por parte del departamento de procesos.
- Adquisición equipos por parte del departamento de compras.

3. Desarrollo de la normativa y marco legal.

- Estudio propios.
- Marco legal y normativas aplicables para el parque eólico y la desaladora en Cataluña, a llevar a cabo por parte del departamento legal, calidad y documentación.

4. Estudio de viabilidad económica.

- Definición del mercado (Departamento de estimaciones).
- Estudio y análisis del mercado basado en la estimación de equipos y mano de obra (Departamento de estimaciones).
- Estudio económico (Departamento comercial).

El Estudio y el análisis del mercado basado en la estimación de equipos y mano de obra tiene una dependencia con la Definición del mercado.

EL Estudio económico tiene una dependencia con el Estudio y análisis del mercado basado en la estimación de equipos y mano de obra.

5. Estudio del Impacto.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- Estudio de emisiones del ruido (Departamento HSE).
- Estudio del impacto social y ambiental previsto (Departamento HSE).
- Estudio de la alteración del ecosistema (Departamento HSE).

6. Evaluación de la parcela.

- Adquisición de la parcela (Departamento legal, comercial y civil).
 - Presentación del proyecto a la Comunidad (Departamento civil, estimación, calidad y HSE).
 - Firma del contrato (Departamento legal, dirección de proyectos).

El punto 6 tiene una dependencia con la Adquisición de la parcela.

7. Habilitación red general de agua.

- Contratación personal calificado (Departamento recursos humanos).
- Análisis de la red general actual (Departamento civil, mecánico y calidad).
- Estudio distancias de la central hídrica más cercana (Departamento civil, mecánico).
- Construcción red de distribución (Departamento tuberías, civil, mecánico).
- Estudio calidad del agua (Departamento HSE, calidad, mecánico, tuberías).
 - Presentación de los planos (Departamento legal y documentación).

El Análisis de la red general actual tiene una dependencia con la Contratación del personal calificado.

El Estudio de distancia de la central hídrica más cercana tiene una dependencia con la Contratación del personal calificado.

La construcción de la red de distribución tiene una dependencia con el Análisis de la red general actual.

8. Habilitación lineal eléctrica para la subestación y estación en tierra.

- Contratación personal calificado (Departamento recursos humanos).
- Cálculos de distribución (Departamento procesos, tuberías).
- Construcción instalaciones (Departamento civil).
- Presentación de los planos (Departamento legal, documentación).

La Presentación de los planos tiene una dependencia con los Cálculos de distribución.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

9. Solicitud y adquisición equipos rotativos y estáticos.

- Estudio Aerogeneradores necesarios (Departamento mecánico, energético, eléctrico).
- Estudio Bombas necesarias (Departamento mecánico, procesos).
- Estudio Subestaciones necesarias (Departamento eléctrico).
- Estudio Compresores necesarios (Departamento mecánico, procesos, HSE).
- Estudio Depósitos necesarios (Departamento mecánico, procesos).
- Estudio Plataformas (Departamento civil, mecánico).
- Estudio Cables e instrumentación (Departamento instrumentación).
- Presentación equipos al departamento de compras (Departamento mecánico, calidad, HSE, procesos, Instrumentación, tuberías).
- Estudio de los paquetes empleados (realizar un HAZOP a llevar a cabo por parte del departamento de procesos, ingeniería de proyectos, HSE).
- Compras equipos (Departamento de compras).

La Presentación de los equipos al departamento de compras tiene una dependencia con el Estudio de los paquetes empleados.

El Estudio de los paquetes empleados tiene una dependencia con el Estudio de Cables e Instrumentación.

El punto 9 tiene una dependencia con la Presentación de los equipos al departamento de compras.

10. Transporte de los equipos solicitados.

- Presentación necesidad del transporte especial para las turbinas a las Comunidades (Departamento legal).
- Presentación necesidad transporte de los demás equipos (Departamento legal).
- Búsqueda de empresas transportistas (Departamento compras).
- Subcontratación empresa elegida (Departamento de compras y legal).
- Firma del contrato (Departamento legal, dirección de objetos).
- Transporte final.

La subcontratación de la empresa elegida tiene una dependencia con la Búsqueda de empresas transportistas.

La Firma del contrato tiene una dependencia con la Subcontratación de la empresa elegida.

El Transporte final tiene una dependencia con la Firma del contrato.

El punto 10 tiene una dependencia con el Transporte final.

11. Transporte marítimo.

- Presentación necesidad del transporte especial para las turbinas y las plataformas (Departamento legal).
- Presentación necesidad transporte de los demás equipos (Departamento legal).
- Búsqueda de empresas transportistas (Departamento compras).
- Subcontratación empresa elegida (Departamento de compras y legal).
- Firma del contrato (Departamento legal, dirección de proyectos).
- Transporte final.

La Subcontratación de la empresa elegida tiene una dependencia con la Búsqueda de empresa transportistas.

La Firma del contrato tiene una dependencia con la Subcontratación de la empresa elegida.

El Transporte final tiene una dependencia con la Firma del contrato.

El punto 11 tiene una dependencia con el Transporte final.

12. Preparación y acondicionamiento del terreno del parque eólico y de la desaladora.

- Presentación de los planos (Departamento civil)
 - Revisión del plano 3D de las plantas (Departamento procesos, mecánico, civil y tuberías).
- Realización anclaje de las plataformas (Departamento civil, mecánico).
- Realización edificios para el almacenamiento bombas, compresores y cuarto de control (Departamento civil).
 - Estudio de ruido de los compresores (Departamento HSE).
- Realización apoyos y conexiones para tanques, drums y duchas de seguridad.
- Subcontratación empresas especializadas (Departamento legal, dirección de proyectos).
- Firma del contrato (Departamento dirección de proyectos).

La Realización del anclaje de las plataformas tiene una dependencia con la Presentación de los planos.

La Realización de los edificios para el almacenamiento de bombas, compresores y cuarto de control tiene una dependencia con la subcontratación de empresas especializadas.

La Realización de apoyos y conexiones para tanques, drums y duchas de seguridad tiene una dependencia con la subcontratación de empresas especializadas.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

La Firma del contrato tiene una dependencia con la subcontratación de empresas especializadas.

13. Instalación y montaje de la planta.

- Instalación de bombas.
- Instalación de compresores.
- Instalación depósitos y drums.
- Instalación tuberías de conexión.
- Constitución red eléctrica para el funcionamiento de equipos rotativos.
- Instalación de plataformas.
- Instalación turbinas.
- Constitución conexiones a turbinas y subestación.
 - Cableado 6 MW y 50 MW.
- Instalación subestación y estación.

La Instalación de bombas tiene una dependencia con la Construcción de instalaciones.

La Instalación de los compresores tiene una dependencia con la Construcción de instalaciones.

La Instalación de espositos y drums tiene una dependencia con la Construcción de instalaciones.

La Instalación de tuberías de conexión tiene una dependencia con la Construcción de instalaciones.

La Instalación de plataformas tiene una dependencia con la Construcción de instalaciones.

La Instalación de turbinas tiene una dependencia con la Construcción de instalaciones.

La Constitución de la red eléctrica para el funcionamiento de los equipos rotativos y non tiene una dependencia con la Construcción de instalaciones.

La Constitución de conexiones a turbinas y subestación tiene una dependencia con la Construcción de instalaciones.

La Instalación de la subestación y de le estación tiene una dependencia con la Construcción de instalaciones.

14. Puesta en marcha plantas (prueba incluida).

- Prueba funcionamiento tuberías con planta parada.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- Prueba arranque turbinas.
- Prueba arranque bombas y compresores.
- Contratación personal para el mantenimiento y operadores.
 - Resoluciones problemas que puedan surgir durante esta fase.
- Puesta en marcha final.

La Prueba de funcionamiento de las tuberías con planta parada tiene una dependencia con la Contratación del personal para el mantenimiento y operadores.

La Prueba de arranque de las turbinas tiene una dependencia con la Contratación del personal para el mantenimiento y operadores.

La Prueba de arranque de las bombas y de los compresores tiene una dependencia con la Contratación del personal para el mantenimiento y operadores.

La Puesta en marcha final tiene una dependencia con la Contratación del personal para el mantenimiento y operadores.

15. Control de calidad.

- Estudio del impacto real (Departamento HSE).
 - Análisis impacto social.
 - Análisis impacto ambiental.
 - Análisis impacto económico.
 - Informe resultados obtenidos.
- Estudio y análisis del funcionamiento de los equipos (Departamento HSE).
 - Informe resultados obtenidos.

El Estudio del impacto real tiene una dependencia con la Puesta en marcha final.

El Estudio y el análisis del funcionamiento de los equipos tiene una dependencia con la Puesta en marcha final.

9.2. Estructura de descomposición.

La estructura de descomposición de un proyecto es una tarea fundamental para identificar todas las tareas que componen un proyecto y las fechas que ocupa cada una de ellas, de tal forma que se consigue tener un control más amplio del mismo.

Para ello existen diferentes formatos, en forma de calendario, tablero, cronograma etc. Para esta actividad se ha empleado el formato de cronograma ya que su análisis resulta ser más sencilla, para ello se ha empleado la plataforma de diseño gratuita ASANA, sin embargo,

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

debido al tamaño de la hoja, esta se encuentra disponible en el [siguiente enlace](#) ([● Descomposición EDP planta desaladora + parque eólico - Asana](#)) y también en los adjuntos de este documento.

Cabe destacar que tras ubicar las actividades se han determinado las fechas de inicio y de fin del proyecto, las cuales corresponden a:

1. Descripción y análisis del objeto del proyecto. → 01/02/2023
2. Estudio y análisis del funcionamiento de los equipos (Departamento HSE). → 30/09/27

Por lo tanto para realizar el proyecto son necesarios más de 4 años (4 años y 7 meses), donde las actividades de construcción y de preparación de ambas plantas, resultan ser las más largas.

Capítulo 10. PRESUPUESTO FINAL.

10.1. Presupuesto de mediciones.

En el punto 8.4. los elementos presentes en las plantas se dividen en tres grados de correlación, donde el:

- Primero → Son todos aquellos elementos físicos que componen la planta, en este caso se trata de las bombas, los compresores, las tuberías, la instrumentación, los depósitos, las turbinas y las plataformas
- Segundo → Son todos aquellos servicios que permiten que a la planta lleguen los servicios necesarios para su funcionamiento, en este caso las subestaciones, el cableado, los edificios y el transporte.
- Tercero → Son todos aquellos servicios añadidos que se tienen para que las plantas puedan mantense operativas.

Cabe destacar que existe una dependencia entre el tercer grado y los primeros dos y que por lo tanto, es necesario antes establecer los costes relativos al Grado 1 y 2 y luego los del Grado 3.

Los costes relativos al primero y al segundo grado se pueden encontrar en los adjuntos de este proyecto en el documento denominado "Estudio Económico" y también en las tablas a continuación aunque es necesario destacar que solo en el caso de las plataformas y de las turbinas los precios corresponden a aquello real, en los demás equipos se trata de estimaciones realizadas a partir del coste total de la inversión evaluado en los capítulos anteriores.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Grado 1: Equipos			
Tipo	Unidades presentes en la planta	Coste unitario (Euro)	Coste total (Euro)
Emisario Submarino	1	4633320	4633320
Inmisario submarino	1	4633320	4633320
Agitadores	12	203342	2440103,94
Compresores	2	7320312	14640623,6
Drums	6	813368	4880207,88
ERD (Recuperador Energético)	1	3088880	3088880
Filtros	3	3253472	9760415,75

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Bombas	53	10424,08	552476,363
RO	1	29281247	29281247,3
Tanques	16	114379,9	1830077,95
Tuberías	50 km		3088880
Instrumentación: AT	15	125214,8	1878222,39
Instrumentación: IS	30	31303,71	939111,193
Instrumentación: LAHH	15	125214,8	1878222,39
Instrumentación: LALL	15	125214,8	1878222,39
Instrumentación: LG	15	125214,8	1878222,39
Instrumentación: LI	44	14552,34	640303,086
Instrumentación: LT	30	31303,71	939111,193
Instrumentación: PG	86	3809,267	327596,928
Instrumentación: PI	86	3809,267	327596,928
Instrumentación: PSV	3	3130371	9391111,93

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Turbina Aerogenerador - SG-8.0 - 167 DD	10	1230002	12300015
Plataformas X1 - WIND	10	900000	9000000
Transporte Turbinas	10	123000,2	1230001,5
Instalación Turbinas	10	246000,3	2460003
Transporte Plataformas	10	90000	900000
Instalación Plataformas	10	180000	1800000
Transporte desaladora completa	/		3088880
Instalación desaladora completa			29281247,3
Compra y servidumbre de terrenos.			3088880
Total Grado 1 en Euros			162056300

*Tabla 52: Costes relativos al Grado 1.
Fuente: Elaboración propia.*

Grado 2: Servicios Necesarios			
Tipo	Unidades presentes en la planta	Coste unitario (Euro)	Coste total (Euro)
Obra civil de la desaladora			12355520

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Embalse de regulación para la desaladora			3088880
Anclaje	10	1600	16000
Subestación flotante		6750000	27000000
Cables de 6 MW (2000 metros)		150	300000
Cables de 50 MW (9000 metros)		200	1800000
Instalación Anclaje	10	3200	32000
Transporte Anclaje	10	6400	64000
Transporte Subestación y cables			2700000
Instalación Subestación y cables			5400000

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Total Grado 2 en Euros			52756400
------------------------	--	--	----------

*Tabla 53: Costes relativos al Grado 2.
Fuente: Elaboración propia.*

La suma total, tanto del Grado 1 como del 2 es de 132894267,6 Euro, mientras que, los costes relativos al Grado 3 se encuentran representados en la tabla 54:

Grado 3: Funcionamiento		
Tipo	% Estimado respecto a los anteriores Grados	Coste total (Euro)
Coste de ingeniería parque eólico		1950060,585
Mano de obra parque eólico		1300040,39
Mantenimiento y seguros del parque eólico	4%	8592508,014
Desmantelamiento parque eólico		3900121,17
Licencias, tasas y permisos para el parque eólico	2%	4296254,007
Coste de ingeniería Desaladora		4633320
Mano de obra desaladora		3088880
Mantenimiento y seguros de la desaladora	4%	8592508,014
Licencias, tasas y permisos para la desaladora		3088880
Proyecto, Dirección y Supervisión del parque Eólico	3%	6444381,01

Proyecto, Dirección y Supervisión de la desaladora		4633320
Total Grado 3 en Euros		50520273,19

Tabla 54: Costes relativos al Grado 3.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto con este análisis se puede concluir que el coste total del proyecto asciende a 265.332.973,5 Euro dentro del cual se han incluido costes que anteriormente no se han estimado como el mantenimiento, licencias, permisos y dirección de proyecto de ambas plantas.

10.2. Plan de contingencias.

Con el plan de contingencias se consigue realizar un análisis de aquellos eventos que pueden afectar negativamente la planta, aunque cabe destacar que en el HAZOP del punto 5 se han ya tenido en cuenta muchas de las causas que se verán en este capítulo.

Todos los elemento (personas incluidas) que componen una planta, son imprescindibles para su correcto funcionamiento, sin embargo hay que considerar que existe una prioridad debido a la posible parada de la planta si los equipos se pierden; por lo tanto hay también que tener en cuenta la probabilidad que cada uno de estos pueda fallar.

Por último es necesario destacar que nunca se supone la pérdida de dos elementos contemporáneamente (debido a la baja probabilidad de este evento), a menos que el fallo de uno no afecte a otro. Por esta razón se ha desarrollado la tabla 55 donde se han establecido 4 grados de prioridad/probabilidad para que se consigan tener en cuenta todos aquellos riesgos que afectan a los equipos:

Grado de prioridad/probabilidad (decreciente)	Equipo
1	Bombas, Turbinas, Plataformas, Tanques y Tuberías, Suministro de Corriente Eléctrica.
2	Instrumentación (ver en detalle HAZOP), Compresores, Drums.
3	Sistema de anclaje y fondeo, Recuperador Energético ERD.
4	Cables de conexión de 6 MW y 50 MW.

Tabla 55: Grado de prioridad de los equipos.

Fuente: Elaboración propia.

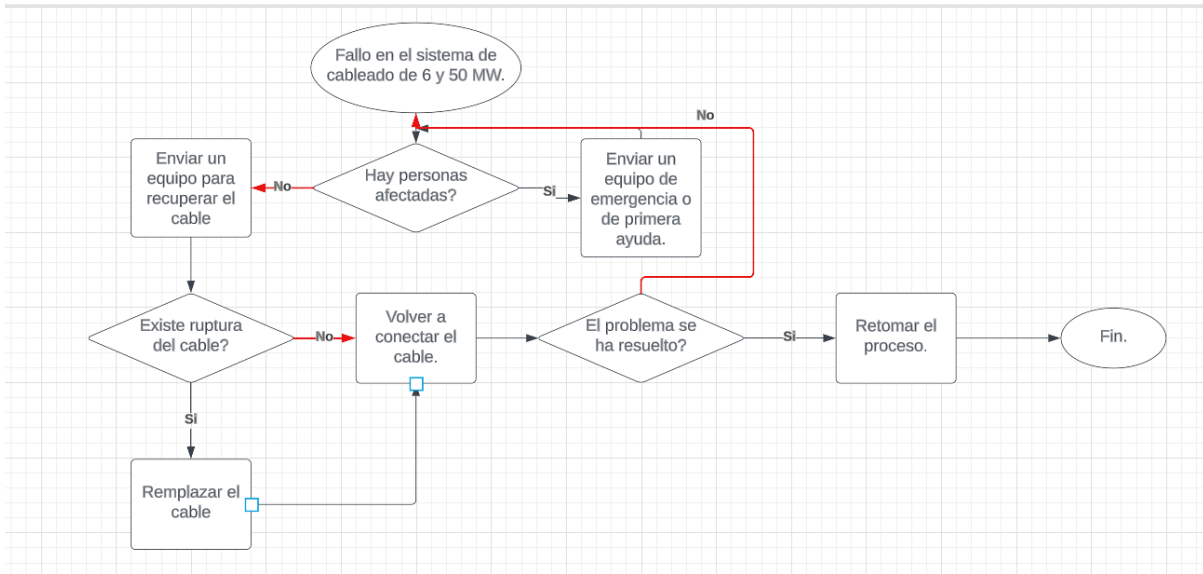
Con esta información es posible realizar un plan de contingencias, es decir, una vez que se han verificado las consecuencias, que se tiene que hacer para restaurar la situación original; para verificar esto se ha desarrollado una tabla que recopila las posibles causas/riesgos asociados para cada equipo.

Grado	Elementos	Posibles riesgos asociados.
1	Bombas.	Flujo en dirección contraria (fallo de otro equipo), posible fallo estructural, falta de mantenimiento, fallo del operador
	Turbinas.	Falta de mantenimiento, Causas meteorológicas, fallo estructuras, fallo de otro equipo.
	Plataformas.	Falta de mantenimiento, Causas meteorológicas, fallo estructuras, fallo de otro equipo.
	Tanques.	Falta de mantenimiento, fallo operativo, fallo estructural, fallo de otro equipo
	Tuberías.	Falta de mantenimiento, fallo operativo, fallo estructural, fallo de otro equipo
	Corriente Eléctrica.	Falta de mantenimiento, Causas meteorológicas, fallo estructuras, fallo de otro equipo.
2	Compresores.	Flujo en dirección contraria (fallo de otro equipo), posible fallo estructural, falta de mantenimiento, fallo del operador
	Drums.	Falta de mantenimiento, fallo operativo, fallo estructural, fallo de otro equipo
	Instrumentación.	Falta de mantenimiento, fallo operativo, fallo estructural, fallo de otro equipo
3	Sistema de anclaje de fondeo y Subestación.	Fuertes tormentas que llevan a elevadas corrientes.
	Recuperador Energético ERD.	Falta de mantenimiento, fallo operativo, fallo estructural, fallo de otro equipo
4	Cables de conexión de 6 MW y 50 MW.	Fuertes tormentas que llevan a elevadas corrientes.

Tabla 56: Plan de contingencias por grado de prioridad.

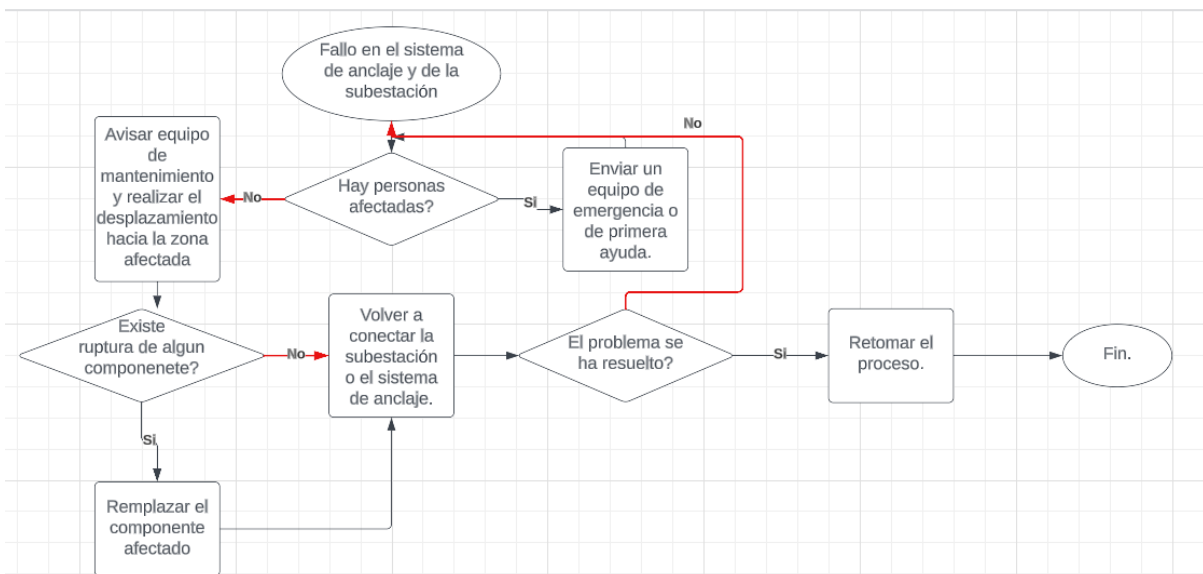
Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta el plan de contingencias del grado 4:

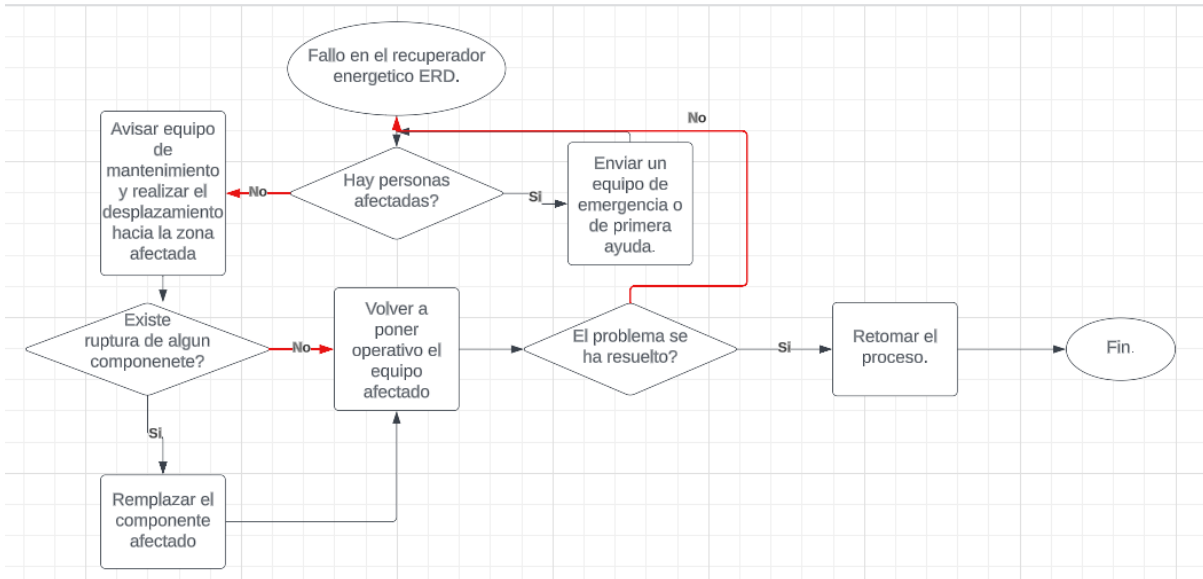


*Figura 110: Grafico plan de contingencias grado 4 – Cableado de 6 y 50 MW.
Fuente: LucidAPP.*

A continuación se presenta el plan de contingencias del grado 3:



*Figura 111: Grafico plan de contingencias grado 3 – Anclaje y subestación.
Fuente: LucidAPP.*



*Figura 112: Grafico plan de contingencias grado 3 – Recuperador ERD.
Fuente: LucidAPP.*

A continuación se presenta el plan de contingencias del grado 2:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

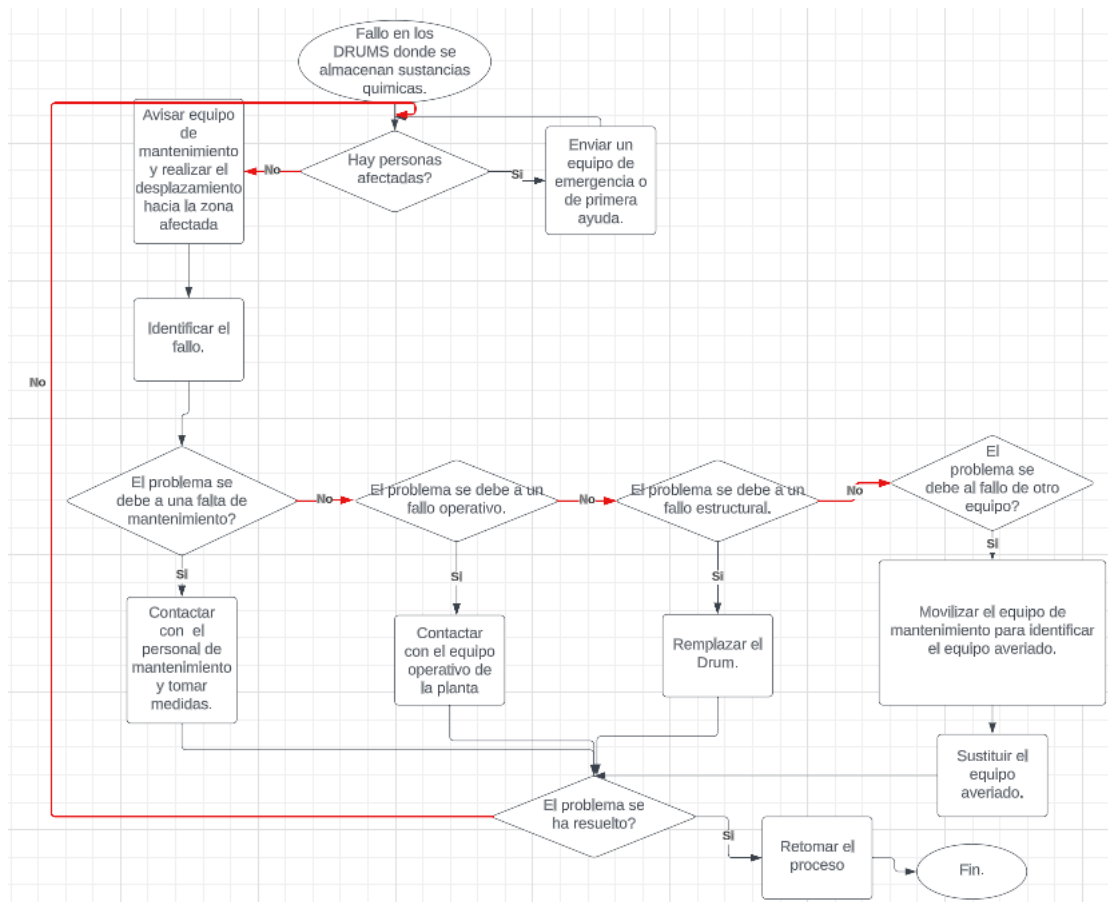
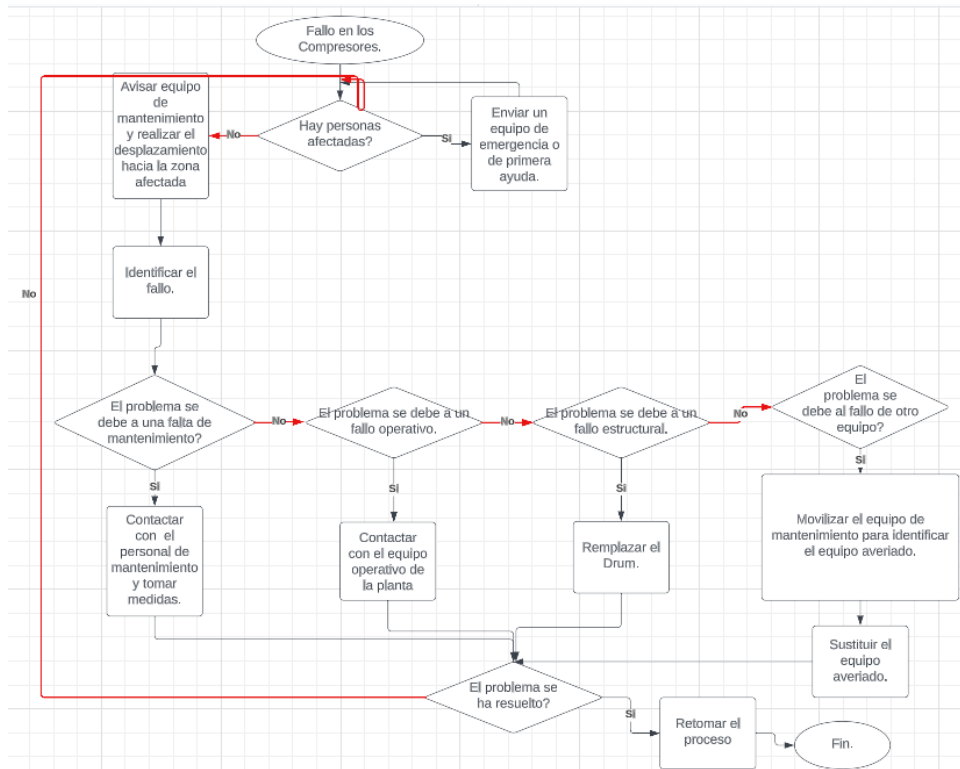


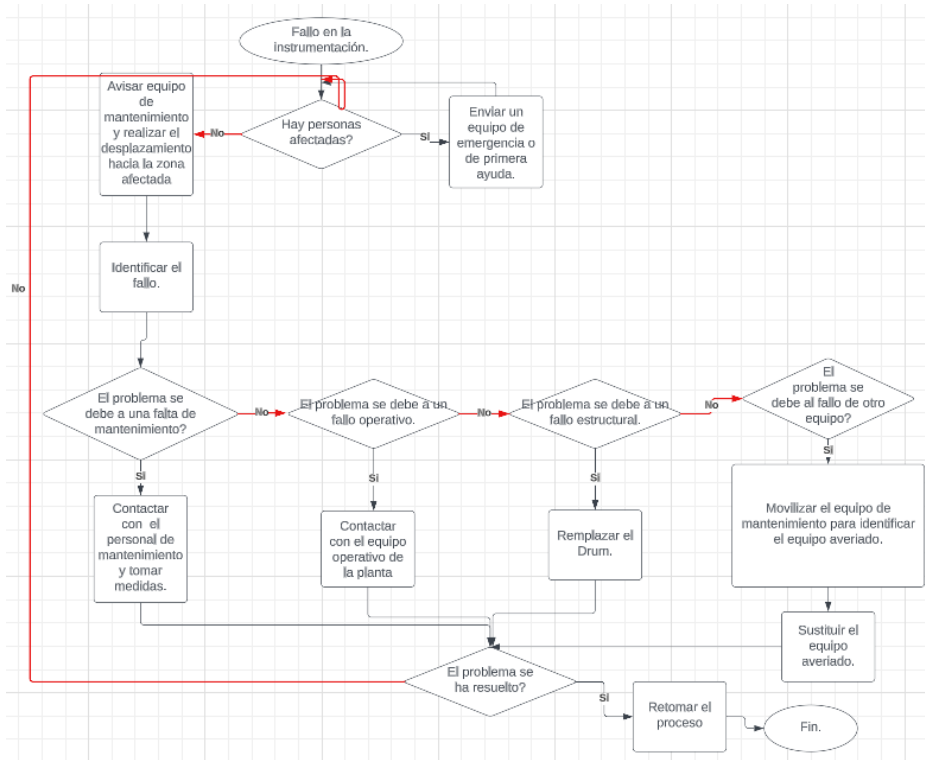
Figura 113: Grafico plan de contingencias grado 2 - Drums.
Fuente: LucidAPP.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
 Claudio Bucciarelli.



*Figura 114: Grafico plan de contingencias grado 2 - Compresores.
 Fuente: LucidAPP.*

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



*Figura 115: Grafico plan de contingencias grado 2 - Instrumentación.
Fuente: LucidAPP.*

A continuación se presenta el plan de contingencias del grado 1:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

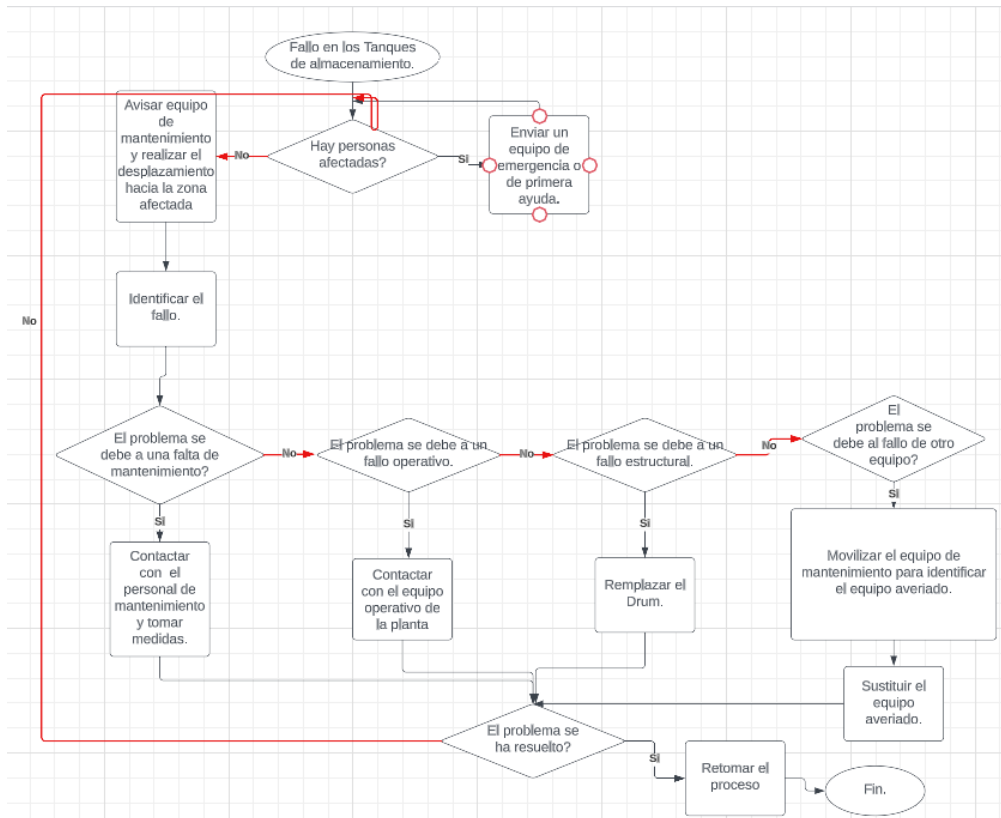
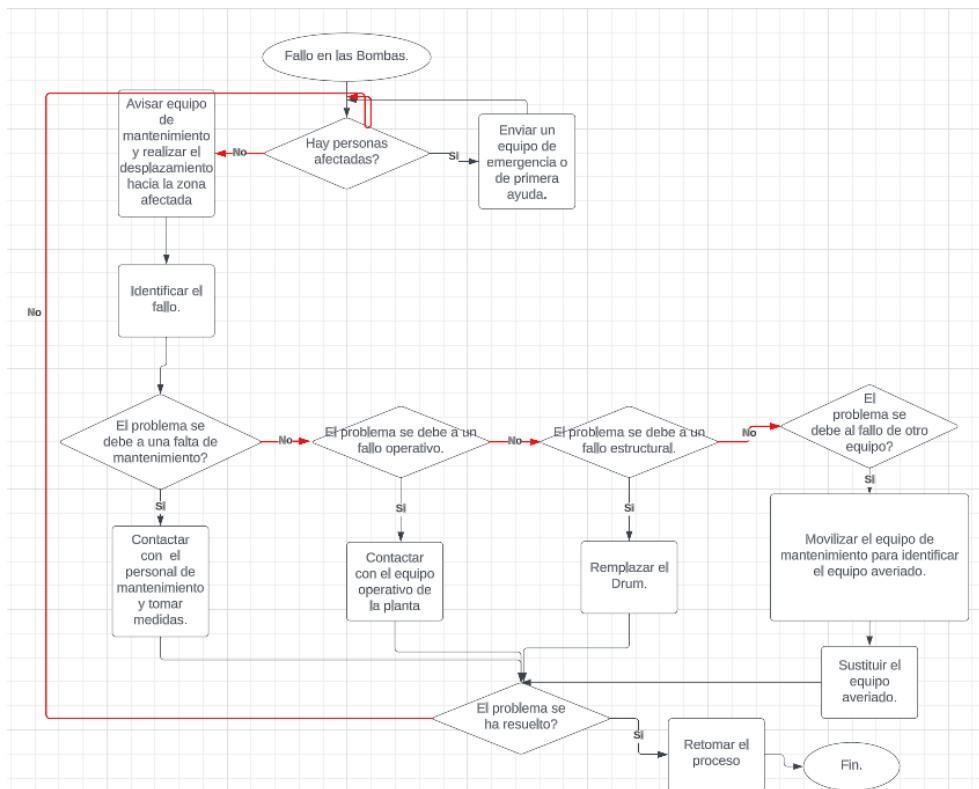


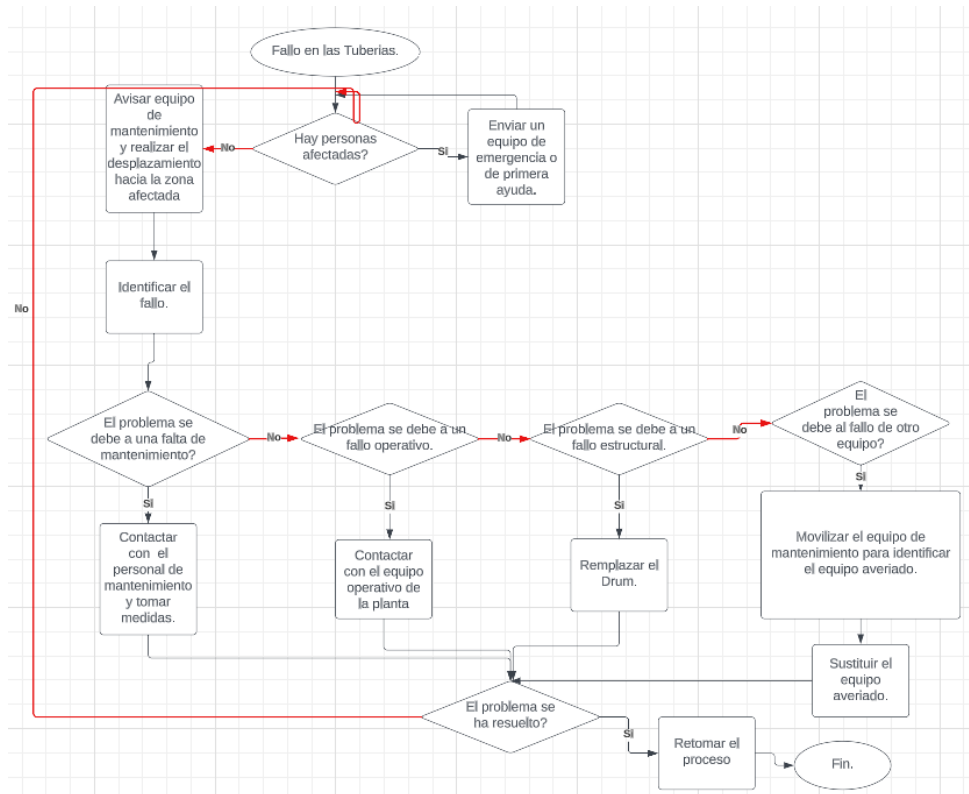
Figura 116: Grafico plan de contingencias grado 1 – Tanques de almacenamiento.
Fuente: LucidAPP.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
 Claudio Bucciarelli.



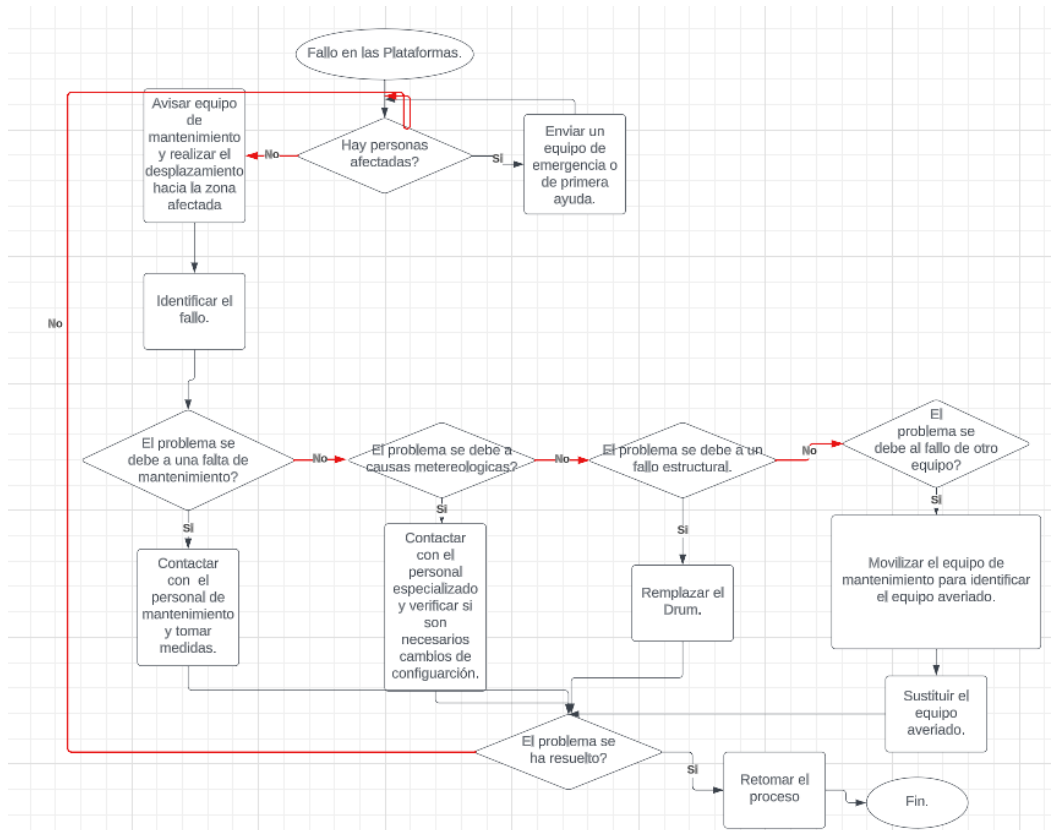
*Figura 117: Grafico plan de contingencias grado 1 - Bombas.
 Fuente: LucidAPP.*

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
 Claudio Bucciarelli.



*Figura 118: Grafico plan de contingencias grado 1 - Tuberías.
 Fuente: LucidAPP.*

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.



*Figura 119: Grafico plan de contingencias grado 1 - Plataformas.
Fuente: LucidAPP.*

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
 Claudio Bucciarelli.

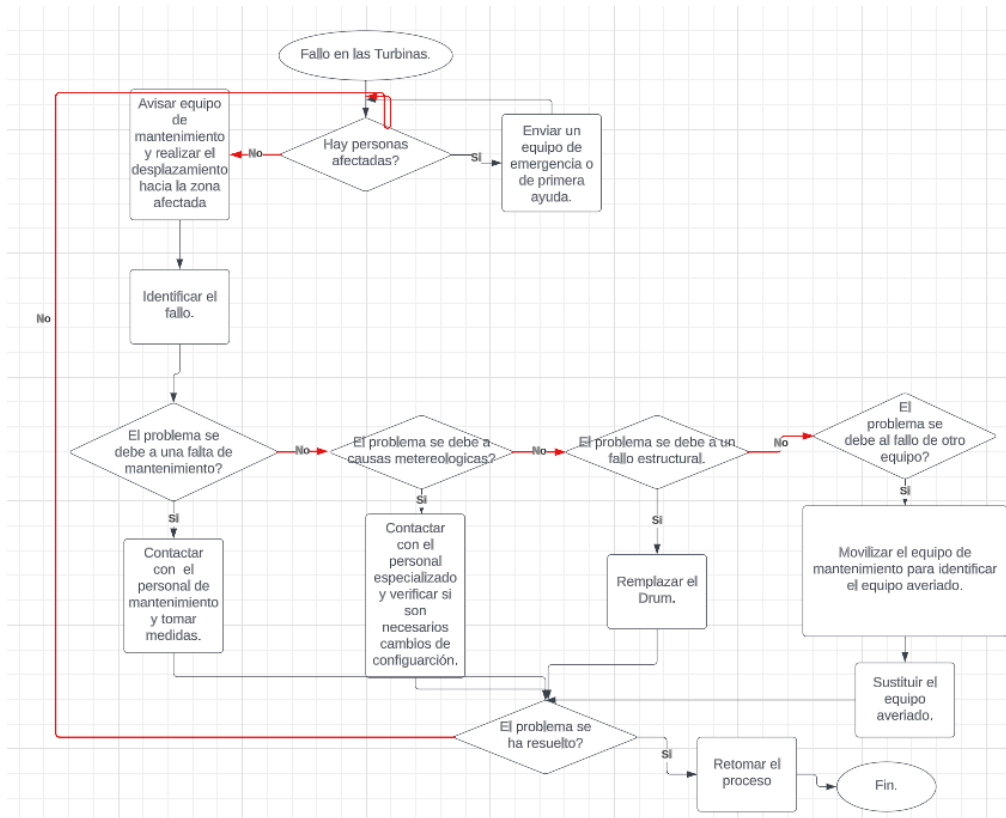


Figura 120: Grafico plan de contingencias grado 1 - Turbinas.
 Fuente: LucidAPP.

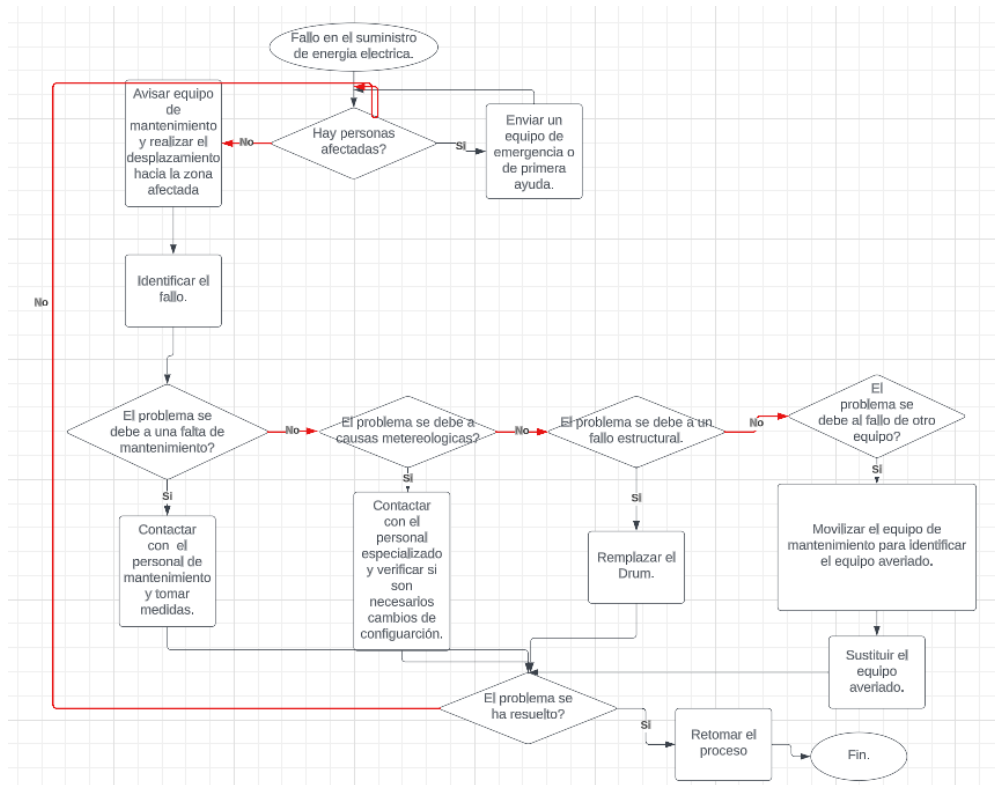


Figura 121: Grafico plan de contingencias grado 1 – Suministro de energía eléctrica.
Fuente: LucidAPP.

Para concluir el análisis de este capítulo se tiene que estudiar la prioridad en base a la probabilidad de los riesgos, por esta razón se presenta la tabla 57 donde se pueden apreciar los mismos de forma decreciente:

Prioridad en base a la probabilidad de mayor a menor de los posibles riesgos.
Fallo operativo.
Fallo de otro equipo.
Fallo estructural.
Tormentas.

Falta de mantenimiento.

Tabla 57: Prioridad de los riesgos

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta la descripción y justificación de cada uno:

- Fallo operativo: El fallo operativo se basa en una mala ejecución de las tareas por parte de los operadores, estas pueden afectar principalmente a la desaladora ya que existen mucho equipos rotativos.
A día de hoy la mayor parte de la planta se controla de forma automatizada a través de la implementación de PLC, sin embargo las fases de arranque y paradas son las más críticas, debido a los riesgos asociados con el flujo de trabajo (agua) y el aire que pueden entrar en contacto con los alabes.
A esto se le tiene que añadir el concepto de TRIP, es decir, la acción que basada en una causa hace que la bomba se bloquee automáticamente para protegerse; aunque esto pueda parecer una capa de seguridad realmente resulta ser muchas veces un impedimento para la operabilidad de la planta y para ello se han puesto bombas de reserva en paralelo cuya activación se tiene que realizar desde el cuarto de control.
La instrumentación desde luego posee una probabilidad de fallo más baja, los equipos mecánicos como las PSV debido a probabilidades de fallo muy bajas. Los drums son los elementos donde el riesgo resulta ser más alto, debido a la manipulación de aditivos, donde un excesivo de llenado puede generar mayores presiones en las paredes internas con consecuentes grietas.
- Fallo de otro equipo: en el caso del parque eólico los equipos trabajan de forma individual, es decir, el fallo de la turbina 2 no repercute sobre la turbina 3, sin embargo un fallo en el sistema de evacuación, que es común para cada par de turbinas, puede afectar negativamente al conjunto.
En el caso de la desaladora la lógica de funcionamiento permite proteger el sistema ante el fallo de un equipo, asegurando que el de reserva empiece a funcionar, sin embargo los daños ocasionados pueden ser elevados e incluso llevar a la sustitución de este.
- Fallo Estructural: Este fallo resulta ser muy genérico, ya que, todos los sistemas presentan estudios sobre su vida útil, sin embargo eventos externos, por lo cuales los equipos no están diseñados, pueden llegar a dañarlos estructuralmente. Para ello es necesario sustituir el equipo e identificar el origen de esta causa.
- Tormentas: En el caso de la desaladora, los grupos se almacenan en los edificios a excepción de los drums, de algunos tanques de almacenamiento previo al proceso de pretratamiento y algunos tramos de tuberías. Además las

instalaciones se encuentran ubicadas en tierra y por lo tanto los eventos meteorológicos resultan ser más previsibles y esto permite que se tomen medidas con antelación.

Sin embargo, el parque eólico se encuentra en alta mar y esto significa que las tormentas puedan ser más frecuentes y más violentas con la consecuencia de una mayor rafagosidad, la cual afecta negativamente a las turbinas y pone en peligro la seguridad estructural de todas las instalaciones que componen el parque.

- Falta de mantenimiento: La falta de mantenimiento resulta ser poco probable, debido al control que se tiene que llevar en ambas plantas de todos los equipo, sin embargo, debido a que se trata una tarea a realizar por parte de un equipo, se considera como un riesgo posible.

Una vez explicados los posibles fallos que pueden afectar al conjunto de plantas, es necesario tener en cuenta la relación tiempo/coste que estos ocasionan.

Desde luego el mayor riesgo asociado a cada uno de ellos es el posible infortunio (o pérdida) de personal operativo, al mismo tiempo cuando se verifica cada uno de los fallos anteriormente explicados, es necesaria la intervención de personal especializados, lo cual acarrea un coste operativo.

La identificación del problema no tiene un límite de tiempo establecido, pero desde luego implica la presencia de personal especializado y en algunos casos la parada de la planta y por lo tanto pérdida de producción.

La sustitución de un equipo conlleva el coste asociado, que en el caso de las turbinas, bombas y compresores, resulta ser el más alto, aunque permiten que la planta siga operando, los edificios asociados a la desaladora tienen una baja probabilidad de fallo, aunque pueden conllevar a la parada de la planta y finalmente la pérdida de la subestación o su sustitución se traduce en la para completa de ambas plantas.

Capítulo 11. PLAN DE CONTINGENCIAS.

El pliego de condiciones permite establecer las reglas entre las partes interesadas de un proyecto para que esta tengan claridad sobre sus obligaciones y derechos y actuar en consecuencia, en este caso por una parte está el contratista, que es la empresa que se ocupa de realizar la mayor parte del proyecto, los varios subcontratistas, que se ocupan de llevar a cabo las tareas que no pueden ser desarrolladas por el contratista, el licenciante que es aquel que proporciona la tecnología y las licencias para su empleo y finalmente el cliente que es el dueño de la planta.

Durante el desarrollo del proyecto siempre se hace referencia al contrato firmado entre el contratista y el cliente y durante el desarrollo del mismo las decisiones tendrán que ser aprobadas por este.

El pliego de condiciones se ha elaborado para la planta desaladora funcionante mediante osmosis inversa con aporte energético por medio de un campo eólico off-shore, ubicado en el municipio de Girona, en la Comunidad de Cataluña.

11.1. Documentos que definen el estudio.

Todos los documentos que se pueden aplicar a este proyecto se han analizado a lo largo del TFG y son, los planos (PFD, P&ID, Plano 3D etc.), Anexos, Mediciones y el conjunto de presupuestos.

11.2. Compatibilidad y relación entre documentos.

Como anticipado en el punto 11.1.1. todos los planos y documentos presentes son complementarios entre ellos y constituyen la estructura del proyecto y se pueden aplicar desde " Descripción y análisis del objeto del proyecto", presente en el punto 9.1.

11.3. Condiciones generales facultativas.

11.3.1. Responsabilidades y derechos del contratista.

Las responsabilidades del contratista son:

- Conocimiento técnico y legislativo del proyecto y del lugar del emplazamiento, para ello se tiene que proporcionar el personal y asignar las tareas para su desarrollo.
- Cumplimiento del contrato.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- Contratación de empresas o personal operativo necesario para el desarrollo del proyecto, si estos no se pueden proporcionar.
- Designación del personal técnico para el desarrollo previo del proyecto y del operativo para su construcción y funcionamiento.
Cabe destacar que es usual que la construcción se lleve a cabo por parte del contratista o subcontratistas, sin embargo el cliente puede decidir quien hace el start-up así como llevar la operabilidad y el mantenimiento necesario de la planta.
- Montaje y aceptación de los equipos que componen las instalaciones.

11.3.2. Responsabilidades y derechos del cliente.

El cliente es aquel que lleva la iniciativa del proyecto y a lo largo del proyecto se hace cargo de los costes de este, siempre si ha sido previamente especificado en el contrato, sus responsabilidades son:

- Posibilidad de elegir el número de proyectistas necesarios para la ejecución del proyecto.
- Exigencia que las empresas subcontratadas por el contratista sean capaces de cumplir a nivel económico con el proyecto.
- Establecer las especificaciones de los materiales, de la normativa, del formato de la documentación, de los procesos de acreditación, del personal asignado y de los controles de calidad.

11.3.3. Responsabilidades y derechos del Proyectista.

El proyectista trabaja para el cliente que puede decidir quién formará parte de su plantilla, suelen ser operadores, especialistas, expertos en ese tipo de plantas y aquellos profesionales que hacen de consultor (PMC); sus responsabilidades son:

- Comprobar la legalidad y la funcionalidad de los planos, tanto de los P&ID, de los PFD y del modelo 3D.
- Presencia en los meeting como HAZOP o 3D Model Review (según discreción del cliente).
- Maquinarias empleadas y especificaciones de los materiales.

11.3.4. Responsabilidades y derechos de los Proveedores.

Los proveedores son aquellas entidades que proporcionan los equipos necesarios para la construcción de la planta pues en este caso bombas, plataformas, compresores etc.

Tienen que garantizar su legalidad, así como la funcionalidad de los equipos en términos de vida útil y sobre todo para llevar a cabo las tareas de la planta además de cumplir con los plazos de entrega.

11.4. Plazos de ejecución y entrega.

Los plazos de ejecución hacen referencia al cronograma presentado en el punto nueve, donde se han aproximado la fechas reales de ejecución de las actividades del contratista/cliente para que se pueda acercar a un proyecto real, además se han tenido en cuenta los días festivos, aunque cabe destacar que no se han presentado los plazos relativos a los pagos por parte del cliente.

Dentro del conjunto de actividades existen aquellas que pertenecen internamente a la empresa contratista y aquellos que dependen o bien del cliente o de los proveedores, en todos los casos existen penalidades establecidas previamente en el contrato que afectaran a la economía del proyecto.

En la tabla 58 se presentan las fechas presentadas en el cronograma y los plazos de retraso permitidos; en azul se representan las actividades principales:

Nombre Actividad	Fecha de inicio.	Fecha de finalización	Responsable.	Retraso permitido en días.
Estudio y análisis del funcionamiento de los equipos (Departamento HSE).	19/09/2026	30/09/2027	Contratista	20/10/2027
Estudio del impacto real (Departamento HSE).	19/09/2026	30/09/2027	Contratista	20/10/2027
Puesta en marcha final.	17/06/2026	14/09/2026	Contratista/Cliente	30/09/2026
Contratación personal para el mantenimiento y operadores.	15/05/2026	01/06/2026	Cliente	15/06/2026
Contratación personal para el mantenimiento y operadores.	01/06/2026	15/06/2026	Cliente	15/06/2026
Prueba arranque bombas y compresores.	01/06/2026	15/06/2026	Contratista	15/06/2026
Prueba arranque turbinas.	01/06/2026	15/06/2026	Contratista	15/06/2026
Prueba funcionamiento tuberías con planta parada.	01/06/2026	15/06/2026	Contratista	15/06/2026
Instalación subestación y estación.	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	01/06/2026
Constitución conexiones a turbinas y subestación.	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	01/06/2026
Instalación turbinas.	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	01/06/2026
Instalación de plataformas.	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	01/06/2026
Constitución red eléctrica para el funcionamiento de equipos rotativos.	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	01/06/2026
Instalación tuberías de conexión.	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	01/06/2026

Instalación depósitos y drums.	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	01/06/2026
Instalación de compresores.	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	01/06/2026
Instalación de bombas.	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	01/06/2026
Firma del contrato (Departamento dirección de proyectos).	30/09/2023	22/12/2023	Contratista/Cliente/Proveedores	07/01/2024
Subcontratación empresas especializas (Departamento legal, dirección de proyectos).	30/09/2023	22/12/2023	Contratista	07/01/2024
Realización apoyos y conexiones para tanques, drums y duchas de seguridad.	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	23/06/2026
Realización edificios para el almacenamiento bombas, compresores y cuarto de control (Departamento civil).	25/12/2023	30/12/2023	Contratista	30/01/2024
Realización anclaje de las plataformas (Departamento civil, mecánico).	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	23/06/2026
Presentación de los planos (Departamento civil)	24/07/2023	30/09/2023	Contratista	05/10/2023
Adquisición de la parcela (Departamento legal, comercial y civil).	04/05/2023	23/07/2023	Contratista	30/07/2023
Transporte final.	09/11/2023	23/12/2023	Contratista	08/01/2024
Firma del contrato (Departamento legal, dirección de objetos).	27/10/2023	10/11/2023	Contratista/Cliente	15/11/2023
Subcontratación empresa elegida (Departamento de compras y legal).	09/10/2023	27/10/2023	Contratista	15/11/2023
Búsqueda de empresas transportistas (Departamento compras).	28/08/2023	09/10/2023	Contratista	17/10/2023
Presentación necesidad transporte de los demás equipos (Departamento legal).	28/08/2023	29/09/2023	Contratista	05/10/2023
Presentación necesidad del transporte especial para las turbinas a las Comunidades (Departamento legal).	28/08/2023	29/09/2023	Contratista	05/10/2023
Transporte final.	09/11/2023	22/12/2023	Contratista	10/01/2024
Firma del contrato (Departamento legal, dirección de objetos).	27/10/2023	10/11/2023	Contratista	15/11/2023
Subcontratación empresa elegida (Departamento de compras y legal).	09/10/2023	27/10/2023	Contratista	15/11/2023
Búsqueda de empresas transportistas (Departamento compras).	28/08/2023	09/10/2023	Contratista	17/10/2023

Presentación necesidad transporte de los demás equipos (Departamento legal).	28/08/2023	29/09/2023	Contratista	05/10/2023
Presentación necesidad del transporte especial para las turbinas a las Comunidades (Departamento legal).	28/08/2023	29/09/2023	Contratista	05/10/2023
Estudio de los paquetes empleados (realizar un HAZOP a llevar a cabo por parte del departamento de procesos, ingeniería de proyectos, HSE).	22/07/2023	29/08/2023	Contratista	10/08/2023
Presentación equipos al departamento de compras (Departamento mecánico, calidad, HSE, procesos, Instrumentación, tuberías).	22/08/2023	22/12/2023	Contratista	10/01/2024
Estudio Cables e instrumentación (Departamento instrumentación).	23/06/2023	21/07/2023	Contratista	30/07/2023
Estudio Plataformas (Departamento civil, mecánico).	23/06/2023	21/07/2023	Contratista	30/07/2023
Estudio Depósitos necesarios (Departamento mecánico, procesos).	23/06/2023	21/07/2023	Contratista	30/07/2023
Estudio Compresores necesarios (Departamento mecánico, procesos, HSE).	23/06/2023	21/07/2023	Contratista	30/07/2023
Estudio Subestaciones necesarias (Departamento eléctrico).	23/06/2023	21/07/2023	Contratista	30/07/2023
Estudio Bombas necesarias (Departamento mecánico, procesos).	23/06/2023	21/07/2023	Contratista	30/07/2023
Estudio Aerogeneradores necesarios (Departamento mecánico, energético, eléctrico).	23/06/2023	21/07/2023	Contratista	30/07/2023
Presentación de los planos (Departamento legal, documentación).	28/07/2023	07/08/2023	Contratista	17/08/2023
Construcción instalaciones (Departamento civil).	25/12/2023	23/05/2026	Contratista	12/06/2026
Cálculos de distribución (Departamento procesos, tuberías).	04/07/2023	01/08/2023	Contratista	15/08/2023
Contratación personal calificado (Departamento recursos humanos).	22/06/2023	04/07/2023	Contratista/Cliente	19/08/2023

Estudio calidad del agua (Departamento HSE, calidad, mecánico, tuberías).	16/05/2023	03/06/2023	Contratista	18/07/2023
Construcción red de distribución (Departamento tuberías, civil, mecánico).	31/05/2023	20/06/2023	Contratista	30/06/2023
Estudio distancias de la central hídrica más cercana (Departamento civil, mecánico).	04/05/2023	22/05/2023	Contratista	30/05/2023
Análisis de la red general actual (Departamento civil, mecánico y calidad).	16/05/2023	03/06/2023	Contratista	18/07/2023
Contratación personal calificado (Departamento recursos humanos).	04/05/2023	22/05/2023	Contratista/Cliente	30/05/2023
Estudio de la alteración del ecosistema (Departamento HSE).	24/04/2023	01/05/2023	Contratista	15/05/2023
Estudio del impacto social y ambiental previsto (Departamento HSE).	24/04/2023	01/05/2023	Contratista	15/05/2023
Estudio de emisiones del ruido (Departamento HSE).	18/04/2023	25/04/2023	Contratista	05/05/2023
Estudio económico (Departamento comercial).	07/04/2023	17/04/2023	Contratista	25/04/2023
Estudio y análisis del mercado basado en la estimación de equipos y mano de obra (Departamento de estimaciones).	05/04/2023	13/04/2023	Contratista	15/04/2023
Definición del mercado (Departamento de estimaciones).	03/04/2023	07/04/2023	Contratista	11/04/2023
Marco legal y normativas aplicables para el parque eólico y la desaladora en Cataluña, a llevar a cabo por parte del departamento legal, calidad y documentación.	11/03/2023	31/03/2023	Contratista	04/04/2023
Estudio propios.	11/03/2023	15/03/2023	Contratista	18/03/2023
Adquisición equipos por parte del departamento de compras.	20/02/2023	08/03/2023	Cliente	18/03/2023
Determinación equipos y accesorios por parte del departamento de procesos.	20/02/2023	08/03/2023	Cliente	18/03/2023
Estudio logístico.	20/02/2023	08/03/2023	Cliente	18/03/2023
Análisis equipos empleados.	20/02/2023	08/03/2023	Cliente	18/03/2023
Estudio batimétrico.	20/02/2023	08/03/2023	Contratista	18/03/2023
Análisis del recurso hídrico.	20/02/2023	08/03/2023	Contratista	18/03/2023
Análisis del recurso eólico.	20/02/2023	08/03/2023	Contratista	18/03/2023
Subdivision temporal à Project management.	20/02/2023	08/03/2023	Contratista	18/03/2023

Estudio de Procesos.	20/02/2023	08/03/2023	Contratista	18/03/2023
Estudio Mecánico.	20/02/2023	08/03/2023	Contratista	18/03/2023
Estudio Civil.	20/02/2023	08/03/2023	Contratista	18/03/2023
Análisis del medio ambiente.	20/02/2023	08/03/2023	Contratista	18/03/2023
Firma del contrato (se da por hecho que la primera estimación económica del proyecto resulta ser aceptada).	15/02/2023	19/02/2023	Contratista	20/02/2023
Presentación de la estimación.	10/02/2023	14/02/2023	Contratista	18/02/2023
Asignación roles para la realización de las actividades	06/02/2023	10/02/2023	Contratista	12/02/2023
Descripción y análisis del alcance del proyecto.	01/02/2023	05/02/2023	Contratista	10/02/2023
Descripción y análisis del objeto del proyecto.	01/02/2023	05/02/2023	Contratista	10/02/2023
Adquisición de la parcela (Departamento legal, comercial y civil).	18/04/2023	01/05/2023	Contratista	16/05/2023

Tabla 58: Cronograma.

Fuente: Elaboración propia.

11.5. Normativa aplicable.

La ejecución de este proyecto debe desarrollarse en pleno acuerdo con la normativa vigente para conseguir respetar los términos legales españoles, para ello se ha analizado la regulación en tres aspectos principales:

- Reglamento de plantas desaladora y eólicas marinas en España:

Ley 41/2010, de 29 diciembre, de protección del medio marino.

Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 junio de 2008, marco sobre la estrategia marina.

Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 octubre de 2000, marco sobre gestión y política de aguas.

Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la producción de energía eléctrica por medio de fuentes renovables en Cataluña.

Real Decreto 1327/1995, de 28 de julio, sobre las instalaciones de desalación de agua marina o salobre en Cataluña.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Real Decreto 1327/1995, de 18 de julio, sobre las instalaciones de desalación de agua marina o salobre.

Real Decreto 1028/2007, de 20 de julio, por el que se establece el procedimiento administrativo para la tramitación de las solicitudes de autorización de instalaciones de generación eléctrica en el mar (dentro de los límites y confines del país).

Una vez presentada la solicitud esta se tendrá que validar por un Comité de Valoración, mas adelante el Secretario General de Energía elegirá la mejor propuesta presentada.

- Normativa sobre el emplazamiento.

Obtención de los permisos para la ocupación del territorio publico marino-terrestre, recopilados en: [Real Decreto 668/2022](#), de 1 de agosto, donde se incluyen los criterios de concesión (Articulo 70 y 137).

Los procesos de solicitud para la reserva de la zona se encuentran en el Articulo, donde se tienen que contener:

1. Memoria del proyecto donde se presente el objeto y el alcance del proyecto.
2. Anteproyecto donde se incluye:
 - Ubicación exacta de la planta.
 - Ubicación exacta del parque eólico en particular de las plataformas.
 - Número de equipos con sus respectivas hojas de datos.
 - Estudio del recurso marino y eólico.
3. Además, debido a la zona del emplazamiento se tienen que considerar los siguientes efectos:
 - Efectos de los aditivos químicos.
 - Efectos sobre la fauna y la flora.
 - Efectos sobre el tráfico terrestre, aéreo y marino.
 - Efectos sobre el turismo.
 - Efectos sobre las aguas y las playas.
 - Efectos sobre la explotación de recursos.
4. Presupuesto estimado por el departamento de costes del proyecto.
5. Planos escala 1:50.000 de la planta industrial, incluyendo las utilidades (Edificios para el personal).
 - Normativa y marco legal ambiental:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Aunque el proyecto sea un ejemplo de producción de bienes de forma respetuosa hacia el medio ambiente, tratando de minimizar el empleo de materias contaminantes y aprovechando los recursos renovables, este tiene un impacto a nivel ambiental y es por ello que es necesario tener en cuenta un paquete de medidas para minimizar los impactos generados por la alteración de la fauna y flora cercana.

Normativa sobre regulación ambiental a nivel estatal, autonómico y provincial, recopilado en la [Ley 21/2013, de 9 de diciembre](#).

Control de la calidad del aire, realizado por parte de cada Comunidad Autónoma, recopilado en la [Ley 34/2007, de 15 de noviembre](#).

Ley por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero para cumplir los Compromisos de Kyoto (Limitaciones de emisiones de GEI-Gases de efecto invernadero para todos aquellos países industrializados), recopilado en [la Ley 1/2005, de 9 de marzo](#) y la [Directiva 2003/87 CE del Parlamento Europeo y del Consejo](#).

Al mismo tiempo se deben tener en cuenta las propiedades de los equipos y los efectos que su composición puede tener hacia el medio ambiente, es por ello por lo que se consideran:

- Norma ISO para el impacto ecológico: en Cataluña, las empresas que operan en los sectores industriales tienen que respetar las norma ISO 14001, que establece los requisitos para un sistema de gestión ambiental. Esta norma tiene el objetivo de reducir el impacto ambiental de las actividades productivas y en promover la sostenibilidad ambiental.

Para este proyecto la norma ISO a la cual se tiene que hacer referencia es la ISO 14040 mientras que los procedimientos administrativos se ven regulados en Cataluña por el Decreto 147/2009, de 22 de septiembre.

- Debido al ruido emitido por la planta eólica, se incluye también la Ley 41/2010, de 29 diciembre, de protección del medio marino.

A nivel laboral sin embargo, todos los trabajadores que formaran parte del proyecto de la planta así como por su funcionamiento, poseen los derechos recopilados en el artículo 153 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea, analizado en el punto 6.1.

11.6. Especificaciones técnicas.

Las especificaciones técnicas establecen los criterios técnicos que deben cumplir los productos o servicios que se adquieren, incluyendo su diseño, materiales, dimensiones, tolerancias, acabado, funcionamiento, rendimiento y otros aspectos. Permiten a los proveedores y a los compradores tener un entendimiento claro de lo que se espera del producto o servicio, y garantizan que este satisfaga los requisitos.

Al mismo tiempo se emplean par a asegurar la operabilidad en conjunto, es decir, el funcionamiento de un equipo acoplado a otros.

Pueden ser operadoras por los compradores, proveedores, estándares internacionales o asociaciones industriales y deben ser actualizadas periódicamente para reflejar las mejoras técnicas alcanzadas.

En este caso el análisis se desarrollará en basa a los criterios de calidad, estableciendo el tipo de producto, el mercado y las normas, cabe destacar que:

1. El marcado CE indica la conformidad de un producto a la normas europeas para la seguridad y la saludos de los consumidores.
2. Las normas EN son los estándares de calidad europeos para las productos y los servicios y se emplean en diferentes sectores industriales.
3. Las Directivas Europeas son normas que establecen los requisitos para los productos y los servicios venidos en la Unión Europea.
4. Certificado IEC es un documento que recopila los requisitos de seguridad eléctrica, se mite por laboratorios acreditados que se encargan de realizar las pruebas de evaluación del producto.

En Europa, los ensayos se realizan para garantizar la calidad y la seguridad de las maquinarias industriales, algunos de ellos son:

1. Ensayos de resistencia: se determina la resistencia de la capacidad de carga de los componentes estructurales de la maquinaria para asegurarse que cumplan con los requisitos de seguridad.
2. Ensayos de duración y vida útil: se realizan simulaciones para establecer los ciclos de vida útil que el equipo es capaz de aguantar a través de simulaciones que reflejen un uso similar al real.
3. Ensayos de seguridad eléctrica: se realizan pruebas de aislamiento, de conexión y protección.
4. Ensayos de emisiones acústicas: debido a los límites de ruido establecidas por la unión europea, cada maquinaria tiene que respetar dichos valores.
5. Ensayo de seguridad funcional: se realizan para verificar si los equipos de emergencia entran en funcionamiento si es requerido.
6. Ensayo de eficiencia energética: permiten evaluar el consumo energético de la maquinaria, así como los estándares de eficiencia.

En la tabla 59 se recopilan los equipos y los criterios de calidad así como los tipos de ensayos a realizar por las empresas subcontratas:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Listado de materiales / equipos.	Criterios de calidad.	Tipos de ensayos realizados por las empresas subcontratadas.
Bombas.	Caudal y presión, fiabilidad, durabilidad, eficiencia energética, seguridad, mantenimiento, compatibilidad química.	Ensayos: presión, caudal, eficiencia, vibraciones, ruido, sellado, resistencia química y a corrosión.
Turbinas (Aerogeneradores).	Fiabilidad, eficiencia energética, seguridad, durabilidad, mantenimiento, ruido, impacto ambiental.	Ensayo: resistencia estructural, rendimiento, acústico, seguridad eléctrica, resistencia a rayo y estabilidad.
Plataformas.	Resistencia y durabilidad, estabilidad, accesibilidad y mantenibilidad, protección contra la corrosión, monitoreo y control, seguridad y protección personal.	Ensayo: carga, fatiga, vibración, corrosión, resistencias a intemperies y estabilidad.
Tanques.	resistencia y durabilidad, seguridad contra fugas y derrames, protección contra la corrosión, diseño sísmico.	Ensayos: herméticos, resistencia a presión y corrosión, carga estática, dinámica y de impacto.
Tuberías (Aerogeneradores).	Resistencia a la presión, resistencia a la corrosión, compatibilidad con el fluido, durabilidad.	Ensayo. Dureza, tracción, doblado, impacto, corrosión, ultrasonido, radiografía y pruebas hidrostáticas.
Compresores.	Eficiencia energética, fiabilidad, mantenimiento, durabilidad, bajo nivel de ruido.	Ensayos: presión, caudal, eficiencia, vibraciones, ruido, sellado, resistencia química y a corrosión.
Drums.	Resistencia y durabilidad, seguridad contra fugas y derrames, protección contra la corrosión, diseño sísmico.	Ensayos: permeabilidad, resistencia a presión y corrosión, carga estática, dinámica y de impacto.
Instrumentación.	Precisión, sensibilidad, rango de medición, fiabilidad, calibración, compatibilidad.	Ensayos de repetibilidad, resistencia, precisión, estabilidad y calibración

Sistema de anclaje y fondeo.	Resistencia y durabilidad, fiabilidad, facilidad de instalación, cumplimiento normativa ISO y ASTM.	Ensayo: tracción, fatiga, corrosión, vibración, estabilidad y desprendimiento.
Subestación.	Resistencia y durabilidad, protección contra sobretensiones y cortocircuitos, control y automatización.	Ensayo: eléctricos, mecánicos, proyección, calidad del aire y de seguridad.
Cables de 6 MW.	Resistencia: mecánica, fatiga, abrasión, corrosión, eléctrica y térmica.	Ensayos: eléctricos, mecánicos, envejecimiento acelerado, inflamabilidad, tracción y doblado
Cables de 50 MW.	Resistencia: mecánica, fatiga, abrasión, corrosión, eléctrica y térmica.	Ensayos: eléctricos, mecánicos, envejecimiento acelerado, inflamabilidad, tracción y doblado

*Tabla 59: Criterio de calidad a seguir para cada equipo.
Fuente: Elaboración propia.*

Cabe destacar que todos los equipos adquiridos son nuevos.

El transporte de estos se tiene que realizar:

1. Embalaje adecuado, es decir se tienen que proteger frente a posibles daños causados por impacto, es por esta razón que se suelen emplear cajas y protecciones específicas según las características del equipo.
2. Selección del transporte: según el tamaño del equipo resultara conveniente emplear un tipo de transporte u otro, para este proyecto todos los desplazamientos desde las fábricas hasta el emplazamiento se realizarán con transporte terrestre y marítimo.
3. Normativas y permisos: algunos equipos pueden requerir permisos especiales debido a su tamaño o peso.
4. Planificación de rutas: es necesario analizar las rutas que seguirán los equipos debido a posibles limitaciones de altura.
5. Personal especializado: permiten garantizar un traslado seguro y eficiente.

Para el almacenamiento de estos hay que escoger sitios seguros, con espacio suficiente, organizados, donde se pueda garantizar la posibilidad de realizar los mantenimientos necesarios.

Para los aditivos químicos sin embargo el procedimiento a seguir incluye también:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

1. Clasificación y etiquetado de los productos presentes en el almacén.
2. Contenedores adecuados.
3. Separación y segregación entre sustancias no compatibles.
4. Ventilación adecuada.
5. Control de la temperatura.
6. Acceso restringido.
7. Inventario a realizar durante cada día y la garantía de seguridad del almacén.
8. Presencia de equipos de seguridad para extinguir posible incendios o por lo menos poderlos contener.

11.7. Condiciones de ejecución.

Son los aspectos y los requisitos que deben tenerse en cuenta durante la implementación y el desarrollo del proyecto.

11.7.1. Limitaciones de suministro y montaje.

- El plazo máximo para la recepción de los equipos/materiales está indicada en el contrato firmado entre contratista-subcontratista o cliente-proveedor, por lo tanto su ampliación se basa en las penalizaciones establecidas en el contrato.
- Las sanciones económicas se aplicarán cuando los suministros presentaran deficiencias o cuando se verificaran retrasos superiores a los permitidos.

El montaje de la planta deberá realizarse cumpliendo la normativa vigente sobre la seguridad laboral; esta se puede encontrar recopilada en el punto 6.1. aunque los criterios de actuación frente a un posible accidente son:

- Asegurar la seguridad de las personas presentes en el lugar del accidente para prevenir más lesiones.
- Brindar atención médica para las personas afectadas y proporcionar los auxilios básicos hasta trasladar los afectados a un centro médico cercano.
- Comunicar el incidente a las autoridades competentes dentro de la planta y al departamento de recursos humanos.
- Recopilar información sobre los detalles y las condiciones del incidente para ayudar en futuras investigaciones y para los trámites relacionados.
- Cooperar en la investigaciones para tomar medidas y evitar que vuelva a ocurrir.
- Seguir los procedimientos de la empresa y proporcionar cualquier información requerida.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

- Brindar apoyo emocional a través de asesoramiento o servicios de salud mental si es necesario.

Si el accidente se verifica durante la construcción, el contratista será el encargado de hacer frente a las necesidades del operador afectado, como por ejemplo el traslado a la infraestructura sanitaria, sin embargo, en caso de accidente durante el funcionamiento normal de la planta, será el cliente el responsable.

11.7.2. Criterios de modificación del proyecto.

Este criterio se refiere a las condiciones que justifican realizar cambios en el alcance, en los objetivos, plazos, presupuesto u otros aspectos de un proyecto.

Para que esto se puede realizar, los criterios de modificación que se deberán cumplir son los siguientes:

1. Los cambios deberán cumplir con la normativa vigente.
2. El plazo de los cambios podrá ser hasta los dos 2/3 del proyecto, superado este límite, no se podrán realizar solicitudes y por lo tanto aplicar ningún cambio.
3. El cliente deberá presentar la solicitud hacia el director del proyecto, que será el encargado de validar y aprobar dicho proceso.
4. En el caso que el cambio solicitado se tenga que implementar a nivel técnico se tendrá que presentar al departamento relacionado:
 - Sin la aprobación del departamento técnico el cambio no se podrá aplicar.
5. Se tienen que evaluar los cambios temporales que la solicitud supone para el proyecto.
6. La decisión si el cambio se puede aplicar o si se rechaza será proporcionada por el director del proyecto.
7. Si el cambio será aceptado es necesario modificar la planificación del proyecto y actualizar los documentos afectados.
8. Se tendrá que realizar un seguimiento para verificar que el cambio haya sido implementado con éxito.

11.7.3. Garantías de suministro y funcionamiento.

Se trata de mecanismos de protección que ofrecen los proveedores para asegurar que el suministro de un producto o servicio funcione correctamente durante un periodo de tiempo determinado, estas garantías son un porcentaje (5%) del importe total del producto que se tiene que abonar por el contratista/cliente a la firma del contrato.

En cuanto a la cantidad monetaria esta:

1. Se podrá abonar de forma metálica o mediante bonificación bancaria.
2. Si el contratista no cumple con sus obligaciones, el director de obra del cliente podrá nombrar un responsable que cumpla con dichas tareas.
3. La fianza proporcionada por el contratista se devuelve cuando el Acta de Recepción Definitiva de la obra se haya firmado.

11.7.4. Límites de presupuesto y penalizaciones.

TAREA	ENCARGADO	PORCENTAJE PENALIZACIÓN	DEFINICIÓN
Transporte terrestre final.	Subcontratista	10%	Sobre el coste total del servicio, por cada día de retraso
Transporte marítimo final.	Subcontratista	30%	Sobre el coste total del servicio, por cada día de retraso
Transporte aéreo final.	Subcontratista	30%	Sobre el coste total del servicio, por cada día de retraso
Solicitud de las bombas.	Proveedor	5%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Solicitud de los compresores.	Proveedor	5%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Solicitud de los tanques.	Proveedor	5%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Solicitud de los drums.	Proveedor	5%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Solicitud de las tuberías.	Proveedor	5%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Solicitud de la instrumentación.	Proveedor	5%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Solicitud de los aerogeneradores.	Proveedor	5%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Solicitud de las plataformas.	Proveedor	5%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Solicitud de las subestaciones.	Proveedor	5%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Solicitud de los cables de 6MW y 50MW.	Proveedor	5%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Instalación de las bombas.	Contratista	7%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Instalación de los compresores.	Contratista	7%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso

Instalación de los tanques.	Contratista	7%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Instalación de los drums.	Contratista	7%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Instalación de la instrumentación.	Contratista	7%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Instalación de los aerogeneradores.	Contratista	7%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Instalación de las plataformas.	Contratista	7%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Instalación de las subestaciones.	Contratista	7%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Instalación de los cables de 6MW y 50 MW.	Contratista	7%	Sobre el coste total del producto/servicio por cada semana de retraso
Prueba de la puesta en marcha.	Contratista	0.5%	Sobre el coste total del proyecto, por cada semana de retraso.
Puesta en marcha final.	Contratista	0.5%	Sobre el coste total del proyecto, por cada semana de retraso.

*Tabla 60: Límites de presupuesto y penalizaciones para cada tarea/actividad.
Fuente: Elaboración propia.*

Capítulo 12. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

12.1. Conclusión.

Considerando la situación energética actual a nivel mundial, donde se tiene un aumento de las emisiones de los gases efecto invernadero, así como un aumento de los gastos de energía y de agua, con un consecuente aumento en los precios de estos, la implementación de tecnologías que aprovechan los recursos renovable, resulta ser una solución alcanzable a nivel tecnológico y que al mismo tiempo permite aportar un valor añadido tanto para el país como para su población.

Aunque este proyecto resulte ser la hibridación de dos tecnologías y por lo tanto pionero en su sector, ambas tecnologías han sido ampliamente empleadas en estos últimos años y han conseguido demostrar su fiabilidad a nivel productivo, generando nuevas inversiones y nuevos hallazgos tecnológicos.

Actualmente España presenta problemas relacionados con la sequía y con la producción energética por medio de la tecnología eólica flotante, sin embargo se ha conseguido demostrar cómo, el problema económico presentado por el gasto energético de las desaladora, se consigue eliminar gracias a la producción del campo eólico y al mismo tiempo este, consigue obviar las limitaciones batimétricas y los elevados costes de los equipos, empleando las plataformas X1 Wind.

El estudio de los recursos ha permitido definir el elevado potencial eólico de la península Española y las necesidades por Comunidad han permitido establecer el emplazamiento final de la planta, ubicándola en Turo d'en Llaures, en el municipio de Girona perteneciente a la Comunidad de Cataluña. Esta ha sido valorada como la más adecuada, principalmente debido a los gastos de ambos recursos así como de su presencia; finalmente, analizando la disponibilidad de instalaciones como aeropuertos, carreteras y puertos, ha sido posible establecer la viabilidad de la zona, para la construcción de la central eólica y de la desaladora.

El proyecto consta de una central desaladora cuyo funcionamiento emplea la tecnología de la osmosis inversa y cuya capacidad productiva anual corresponde a 30.000.000 de metros cúbicos de agua y la central eólica off-shore que consta de 10 aerogeneradores de la marca Siemens-Gamea (SG 8.0-167 DD) los cuales permiten aportar 176.649,268635 MWh/año. El estudio económico ha destacado como este proyecto sea rentable pues los resultados de los indicadores financieros, VAN (373.722.299,5 Euros), TIR (19%) y PAYBACK (5 años) resultan ser positivos.

A pesar de esto la inversión inicial resulta ser elevada, ya que corresponde a 234.318.441,645 Euros, sin embargo la rentabilidad, como mencionado anteriormente, resulta ser notable.

Es necesario destacar como en el caso de la desaladora no es necesario emplear tecnologías pioneras, ya que se trata de una planta de mediana capacidad y los equipos que la componen llevan varios años en el mercado, sin embargo, el parque eólico, emplea aerogeneradores recientes (puesta en servicio en 2019) y plataformas prototipo, por lo tanto con el pasar de los años es probable que dichas tecnologías resulten ser más económicas debido al avance técnico.

Los resultados obtenidos se rigen según varias estimaciones realizadas en base a la evolución del mercado en los últimos años y cuando no eran disponibles los precios de los productos se ha tratado de evaluarlos en base al coste de equipos similares, pero siempre se ha intentado rebajar la producción unitaria de las plantas, aplicando porcentajes de decremento; siempre cabe un margen de error y es por eso que a continuación se presentan las principales limitaciones.

12.2. Principales limitaciones.

Desde luego el estudio económico es donde se han tenido mayores aproximaciones ya que no era posible identificar el precio de transporte debido a la falta de información con respecto a:

- Permisos especiales de transporte.
- Coste de transporte en base al peso.
- Coste de montaje.
- Alquiler de los barcos.

También se tiene que tener en cuenta que el proyecto, a pesar de las revisiones que se han realizado, puede presentar errores humanos en los cálculos o en las fórmulas aplicadas para la evaluación económica y que estas hayan podido ocasionar valores erróneos o confusos a lo largo de la estimación.

La principal limitación reside en el parque eólico ya que el coste de los equipos no resulta ser disponible, así como la producción real en MWh/año, debido a la necesidad de implementar sensores en el lugar del emplazamiento a lo largo de un periodo de tiempo para poder registrar los valores reales de velocidad del viento; esto desafortunadamente no pertenece al alcance de este proyecto.

Sin embargo en el caso de la desaladora el coste se ha basado en proyectos parecidos realizados en España y se han aplicado los porcentajes relativos a la inflación.

Al mismo tiempo este proyecto presenta estudios propios basados en el aprendizaje mediante libros o internet ya que algunos conceptos no se han abarcado a lo largo de la carrera y por lo tanto es posible que esto haya generado errores basados en discrepancia de informaciones o falta de estas; en todo caso siempre se ha tratado de razonar con lógica y rigor los conceptos y los números presentados.

12.3. Líneas futuras.

El proyecto ha sido realizado teniendo en cuenta las disponibilidades tecnológicas hodiernas, sin embargo, el mayor protagonismo que los recursos renovables lograran en los próximos años, permitirá mejoras a nivel tecnológico y por lo tanto productivo.

Como anticipado resultaría interesante registrar la variación del viento en el emplazamiento para poder determinar con mayor exactitud los valores de producción del parque eólico.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

Al mismo tiempo sería necesario estudiar las plataformas y como el oleaje pueda afectar a la estructura y si esto puede tener consecuencias en la productividad o vida útil del aerogenerador.

Finalmente la desaladora presenta tecnologías patentadas, es decir, el licenciante sería el encargado de proporcionar la estructura de procesos de la planta y la instrumentación relativa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abb. (2021, 25 marzo). La importancia de medir el pH en la industria. *iAgua*.
<https://www.iagua.es/noticias/abb/importancia-medir-ph-industria#:~:text=Existen%20varias%20formas%20de%20medir,ellos%2C%20transmisores%20y%20sensores%20digitales.>
2. *Agua en España y en el mundo*. (s. f.). EPDATA.
<https://www.epdata.es/datos/graficos-situacion-agua-mundo-espana/333>
3. *Amortización del inmovilizado. Centrales renovables*. (s. f.).
https://www.supercontable.com/informacion/impuesto_sociedades/Amortizacion_del_inmovilizado.Centrales_renovables..html
4. Asociación Empresarial Eólica. (2022, 11 agosto). *La eólica en el mundo - Asociación Empresarial Eólica*. <https://aeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo/>
5. *Base de datos meteorológica desde 2013. Consulta de Datos de temperatura*. (s. f.).
<https://datosclima.es/Aemet2013/Viento2013.php>
6. *Captaciones de agua y concesiones*. (s. f.). Agencia Catalana del Agua.
<https://aca.gencat.cat/es/laigua/usos-de-laigua/captacions-daigua-i-concessions/>
7. *Cifras de la desalación en España y en el mundo*. (s. f.). AEDYR.
<https://aedyr.com/cifras-desalacion-espana/#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20en%20Espa%C3%B1a%20hay%20instaladas%20un,a%20su%20producci%C3%B3n%2C%2099%20son%20de%20gran%20capacidad.>

8. Contendosemc. (2020). Estudios de Impacto Ambiental de las desaladoras en España. *Aedyr*. <https://aedyr.com/estudios-impacto-ambiental-desaladoras-espana/>
9. *Costes Desaladoras*. (s. f.). ELDIARIO. https://www.eldiario.es/comunitat-valenciana/medio_ambiente/construccion-planificacion-demanda-comunitat-valenciana-cementerio-desaladoras-costo-550-millones_1_6173143.html
10. *cuanto gasta una planta desaladora - Bing*. (s. f.). Bing. <https://www.bing.com/search?q=cuanto+gasta+una+planta+desaladora&cvid=648135e422ad40a1a889aacb1934d0d5&aqs=edge..69i57j0j69i11004.15425j0j1&FORM=A NAB01&PC=U531>
11. Dbanchieri. (2022). Norma europea EN 15154 – Duchas de seguridad. *Prevor ES*. <https://www.prevor.com/es/norma-europea-en-15154-duchas-de-seguridad/>
12. De Navarra - Nafarroako Unibersitate Publikoa, U. P. (2020, 20 febrero). *Current issues and events - El uso de dientes serrados en las palas de aerogeneradores disminuye significativamente el ruido y aumenta su producción - UPNA*. <http://www.unavarra.es/en/sites/actualidad/contents/noticias/2020/02/20-02-21/el-uso-de-dientes-serrados-en-la.html>
13. *Desaladora del Campo de Dalías (El Ejido, Almería)*. (s. f.). Interempresas. [https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/148840-Desaladora-del-Campo-de-Dalias-\(El-Ejido-Almeria\).html](https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/148840-Desaladora-del-Campo-de-Dalias-(El-Ejido-Almeria).html)
14. *Desaladoras en España*. (s. f.). Obras Urbanas. <https://www.obrasurbanas.es/xvi-estudio-nacional-de-suministro-de-agua-potable-y-saneamiento-2020/#:~:text=Espa%C3%B1a%20cuenta%20con%20unas%201.640%20Estaciones>

[% 20de% 20Tratamiento, disponemos% 20de% 2029.305% 20dep% C3%B3sitos% 20de% 20almacenamiento% 20de% 20agua.](#)

15. *Desalinizadoras en Cataluña.* (s. f.). GENCAT.

<https://aca.gencat.cat/es/laigua/infraestructures/dessalinitzadores/>

16. *Electricidad: precio medio final España 2010-2022 | Statista.* (2023, 1 marzo).

Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/993787/precio-medio-final-de-la-electricidad-en-espana/>

17. *Epigrafe 161.1 Captación, tratamiento y distribución de agua para núcleos urbanos. Actividades empresariales. Tarifa del IAE.* (s. f.).

https://www.supercontable.com/informacion/IAE/Epigrafe_161.1_de_las_tarifas_del_IAE.html

18. Europa Press. (s. f.). *La desaladora del Bajo Almanzora (Almería) entrará en servicio en 2024 y se autoabastecerá tras invertir 40 millones.* europapress.es.

<https://www.europapress.es/andalucia/almeria-00350/noticia-desaladora-almanzora-almeria-entrara-servicio-2024-autoabastecera-invertir-40-millones-20230118151032.html>

19. *Evolución diaria del precio de la luz en el mercado mayorista español. . .* (s. f.).

EpData. <https://www.epdata.es/evolucion-diaria-precio-luz-mercado-mayorista-espanol/dd1ea06a-3388-4e5e-9d99-09c77b5547ab?accion=2>

20. Frens. (2017). *Come calcolare il tasso interno di rendimento di un investimento.*

Lavoro e Finanza. https://lavoroefinanza.soldionline.it/come-calcolare-il-tasso-interno-di-rendimento-di-un-investimento-110486.html#steps_3

21. *Gerona - Place Explorer - Data Commons*. (s. f.).
https://datacommons.org/place/wikidataId/Q7038?utm_medium=explore&mprop=country&popt=Person&hl=es
22. *Habitantes El Port de la Selva 1900-2022*. (s. f.). <https://www.foro-ciudad.com/girona/el-port-de-la-selva/habitantes.html#:~:text=Segun%20los%20datos%20publicados%20por,el%20en%20el%20a%C3%B1o%202021>.
23. Iberia, H. (2022). Duchas y lavaojos de seguridad: normativa oficial y cuándo usarlos. *Haléco*. <https://www.haleco.es/duchas-y-lavaojos-de-seguridad-normativa-oficial/>
24. *Idescat. Padrón municipal de habitantes. Población a 1 de enero. Por sexo y edad quinquenal. Girona*. (s. f.).
<https://www.idescat.cat/pub/?id=pmh&n=9548&geo=mun:170792&lang=es>
25. Ignacio Coronado. (2018, 17 abril). *Diseño de estrategias de control en planta de ósmosis inversa y desasfaltado de Pitch*. [Vídeo]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=FOjUh4NkoRI>
26. *Inaugurada la subestación de Bescanó, una instalación fundamental para garantizar el suministro eléctrico en Gerona*. (s. f.). Red Eléctrica. <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/inaugurada-la-subestacion-de-bescano-una-instalacion-fundamental-para>
27. INE - Instituto Nacional de Estadística. (s. f.). *The CPI in one click*. INE.
<https://www.ine.es/varipc/verVariaciones.do;jsessionid=3A4156671303B17FE24842>

[0C5C478641.varipc01?idmesini=3&anyoini=2014&idmesfin=3&anyofin=2023&ntip
o=1&enviar=Calcular](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176834&menu=ultiDatos&idp=1254735976602)

28. *Inflación en España*. (s. f.). INE.

[https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=12547361
76834&menu=ultiDatos&idp=1254735976602](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176834&menu=ultiDatos&idp=1254735976602)

29. *LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS DESALADORAS EN EL SUDESTE
MEDITERRÁNEO ¿UNA ALTERNATIVA A LOS TRASVASES?* (s. f.).

<https://web.ua.es/es/giecryal/documentos/desaladoras.pdf?noCache=1327100630472>

30. *Log in Visual Paradigm Online*. (s. f.). [https://online.visual-](https://online.visual-paradigm.com/login.jsp?t=diagrams&r=https://online.visual-paradigm.com/app/diagrams/#diagram:proj=0&type=PipingDiagram&width=11&height=8.5&unit=inch)

[paradigm.com/login.jsp?t=diagrams&r=https://online.visual-
paradigm.com/app/diagrams/#diagram:proj=0&type=PipingDiagram&width=11&hei
ght=8.5&unit=inch](https://online.visual-paradigm.com/login.jsp?t=diagrams&r=https://online.visual-paradigm.com/app/diagrams/#diagram:proj=0&type=PipingDiagram&width=11&height=8.5&unit=inch)

31. López, D. (2020, 7 mayo). *¿Qué es el Coeficiente máximo lineal? | Usos del
coeficiente máximo lineal*. Numdea. [https://numdea.com/coeficiente-maximo-](https://numdea.com/coeficiente-maximo-lineal.html)

[lineal.html](https://numdea.com/coeficiente-maximo-lineal.html)

32. Mar. (2022). *España duplicará empleo en el sector eólico a 2030 y superará los*

67.000 empleos. Asociación Empresarial Eólica. [https://aeolica.org/espana-](https://aeolica.org/espana-duplicara-empleo-en-el-sector-eolico-a-2030-y-superara-los-67-000-empleos/#:~:text=En%20el%20mundo%2C%20hay%20m%C3%A1s,los%2067.000%20empleos%20en%202030)

[duplicara-empleo-en-el-sector-eolico-a-2030-y-superara-los-67-000-](https://aeolica.org/espana-duplicara-empleo-en-el-sector-eolico-a-2030-y-superara-los-67-000-empleos/#:~:text=En%20el%20mundo%2C%20hay%20m%C3%A1s,los%2067.000%20empleos%20en%202030)

[empleos/#:~:text=En%20el%20mundo%2C%20hay%20m%C3%A1s,los%2067.000](https://aeolica.org/espana-duplicara-empleo-en-el-sector-eolico-a-2030-y-superara-los-67-000-empleos/#:~:text=En%20el%20mundo%2C%20hay%20m%C3%A1s,los%2067.000%20empleos%20en%202030)

[%20empleos%20en%202030](https://aeolica.org/espana-duplicara-empleo-en-el-sector-eolico-a-2030-y-superara-los-67-000-empleos/#:~:text=En%20el%20mundo%2C%20hay%20m%C3%A1s,los%2067.000%20empleos%20en%202030).

33. Marketing Casavo. (2021, 5 noviembre). *IBI en Barcelona: toda la información |*

Casavo. IBI. <https://casavo.com/es/blog/ibi-barcelona/>

34. Naranjo, J. C. (2018, 19 julio). ¿Cuáles son los grandes puertos de Barcelona y Tarragona? *Crónica Global*. https://cronicaglobal.elespanol.com/vida/grandes-puertos-barcelona-tarragona_155258_102.html
35. Navarro, J. (2021). Cómo calcular la viabilidad económica de una inversión. *Hablemos de empresas*. <https://hablemosdeempresas.com/empresa/calculo-van-excel/>
36. *Normativa para la implantación y la evaluación de impacto ambiental de la energía eólica*. (s. f.). Medio Ambiente y Sostenibilidad. <https://mediambient.gencat.cat/es/detalls/Articles/Normativa-00013>
37. *Noticias Jurídicas*. (s. f.). Noticias Jurídicas. https://noticias.juridicas.com/base_datos/CCAA/ca-d147-2009.html
38. *Numero de habitantes en España*. (s. f.). BING. <https://www.bing.com/search?q=habitantes+de+espa%C3%B1a&cvid=ef836fc2afb0495d894e640e3f5694c7&aqs=edge.0.019j69i11004.4112j0j1&FORM=ANAB01&PC=U531>
39. *OMIE*. (s. f.). <https://www.omie.es/>
40. *PFD Desalination*. (s. f.). FLOWSERVE. <https://empoweringpumps.com/wp-content/uploads/2020/04/fls-1008-diagram-eaq.pdf>
41. *PID lamp (Photoionisation detector lamp)*. (s. f.). https://www.heraeus.com/en/hng/products_and_solutions/lamps_for_optics_and_analytics/pid_lamps/pid_lamps.html?gclid=EAiaIQobChMI6vX-2_Pn_QIVD53VCh2howUgEAAYASAAEgKQD_D_BwE

42. *Plantas desaladoras en España.* (s. f.). AQUAE.

<https://www.fundacionaquae.org/wiki/plantas-desaladoras-en-espana/#:~:text=La%20desaladoras%20de%20la%20Cuenca%20Mediterr%C3%A1nea%20son%3A%201,%28Murcia%29.%20.%208%20%C3%81guilas%2FGuadalent%C3%ADn%20%28Murcia%29.%20.%20M%C3%A1s%20elementos>

43. *Ports de la Generalitat.* (2023, 20 abril). Ports de la Generalitat.

<https://ports.gencat.cat/es/>

44. *Projects Archive - X1 Wind.* (s. f.). X1 Wind. <https://www.x1wind.com/projects/>

45. *Redirect Notice.* (s. f.-a).

<https://www.google.it/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.evwind.com%2F2020%2F07%2F05%2F1a-situacion-mundial-de-la-energia-eolica%2F&psig=AOvVaw1GvcFC2azFyLMIimMvBEdY&ust=1682299920239000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQ3YkBahcKEwiYIMzc7b7-AhUAAAAAHQAAAAAQCA>

46. *Redirect Notice.* (s. f.-b).

<https://www.google.it/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fhablemosdeempresas.com%2Fempresa%2Fcalculo-van-excel%2F&psig=AOvVaw0vFQDONsZ8saRII4YTrqg-&ust=1683063115525000&source=images&cd=vfe&ved=0CA4QjRxqFwoTCPi2r-uI1f4CFQAAAAAdAAAAABAD>

47. Reve. (2020, 5 julio). *La situación mundial de la energía eólica* / REVE Actualidad del sector eólico en España y en el mundo. <https://www.evwind.com/2020/07/05/la-situacion-mundial-de-la-energia-eolica/>
48. Statista. (2021, 25 agosto). *Número de empleados en el sector del suministro de agua y saneamiento España 2008-17*. <https://es.statista.com/estadisticas/495057/numero-de-empleados-en-el-sector-del-suministro-de-agua-y-saneamiento-en-espana/>
49. *surge_tank*. (s. f.). https://glossary.slb.com/es/terms/s/surge_tank#:~:text=Recipiente%20colocado%20en%20una%20%C3%ADnea,para%20neutralizar%20las%20sobrepresiones%20repentinas.
50. Tarifasdeagua. (2021, 11 noviembre). Precio de agua en España: Toda la información. <https://tarifasdeagua.es/>. <https://tarifasdeagua.es/info/precio>
51. *Turó d'en Llaures*. (s. f.). Mapcarta. <https://mapcarta.com/es/N4959709290>
52. *Unión Europea – Prevención de Riesgos Laborales – CEOE*. (s. f.). <https://prl.ceoe.es/informacion/prl-en-el-mundo/union-europea/>
53. *Valores de PDH*. (s. f.). BING. <https://www.bing.com/search?q=escala+de+ph&cvid=ef6801e812704b79b4a4974aa7ade36c&aqs=edge.0.019j69i11004.2036j0j1&FORM=ANAB01&PC=U531>
54. *what is a dual media filter - Google Search*. (s. f.). https://www.google.it/search?q=what+is+a+dual+media+filter&source=hp&ei=1MUOZLf0MteP8gKdvoHYBw&iflsig=AK50M_UAAAAAZA7T5HkbWw8zYZjXWmsPhAxGS4Oz0vLw&ved=0ahUKEwi3rqvRptj9AhXXh1wKHR1fAHsQ4dUDCAo&u

[act=5&oq=what+is+a+dual+media+filter&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyBggAEBYQHjIGCAAQFhAeOhEILhCABBCxAxCDARDHARDRAzoLCC4QgAQQsQM0QgwE6CwgAEIAEELEDEIMBOg4ILhCABBCxAxDHARDRAzoICAAQgAQQsQM6CAgAELEDEIMBOg4ILhCABBCxAxDHARCvAToICC4QgAQQsQM6BQgAEIAEOg0IABCABBCxAxCDARAKOgoIABCABBCxAxAKOgcIABCABBAKOg0ILhCABBCxAxCDARAKOgUILhCABDoKCAAQsQM0QgwEQCjoICC4QgAQQ1AI6DgguEIAEELEDEIMBENQCOgcILhCABBAKOgcIABCABBATOggIABAWEb4QEzoKCAAQFhAeEA8QEzoFCCEQoAE6CAghEBYQHhAdUABYtixgmy1oAHAAeACAAX-IAbAQkgEEMjQuM5gBAKABAQ&scient=gws-wiz#imgrc=YPw3gZKsNiDy8M](https://www.google.com/search?q=act=5&oq=what+is+a+dual+media+filter&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyBggAEBYQHjIGCAAQFhAeOhEILhCABBCxAxCDARDHARDRAzoLCC4QgAQQsQM0QgwE6CwgAEIAEELEDEIMBOg4ILhCABBCxAxDHARDRAzoICAAQgAQQsQM6CAgAELEDEIMBOg4ILhCABBCxAxDHARCvAToICC4QgAQQsQM6BQgAEIAEOg0IABCABBCxAxCDARAKOgoIABCABBCxAxAKOgcIABCABBAKOg0ILhCABBCxAxCDARAKOgUILhCABDoKCAAQsQM0QgwEQCjoICC4QgAQQ1AI6DgguEIAEELEDEIMBENQCOgcILhCABBAKOgcIABCABBATOggIABAWEb4QEzoKCAAQFhAeEA8QEzoFCCEQoAE6CAghEBYQHhAdUABYtixgmy1oAHAAeACAAX-IAbAQkgEEMjQuM5gBAKABAQ&scient=gws-wiz#imgrc=YPw3gZKsNiDy8M)

55. Windfinder.com. (s. f.). *Windfinder.com - Previsiones del viento y el tiempo el Turó de la Peira*. https://es.windfinder.com/forecast/el_turo_de_la_peira_catalonia_spain
56. *X1 Wind*. (s. f.). <https://www.x1wind.com/projects/>
57. DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN DE OSMOSIS INVERSA ALIMENTADA POR ENERGÍAS RENOVABLES. (s. f.). *Riull.ull*.
<https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/20690>
58. Osmosi inversa. (s/f). *My-personaltrainer.it*. Recuperado el 2 de junio de 2023, de <https://www.my-personaltrainer.it/fisiologia/osmosi-inversa.html>
59. Introduccion a la osmosis inversa. (s. f.). *DOCPLAYER*, DOCPLAYER.
<https://docplayer.es/81786629-Introduccion-a-la-osmosis-inversa.html>
60. *La puesta en marcha de la subestación de Bescanó de la MAT reforzará la red de Girona en verano*. (2011, mayo 31). *La Vanguardia*.

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionante mediante
Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

<https://www.lavanguardia.com/local/girona/20110531/54163045790/la-puesta-en-marcha-de-la-subestacion-de-bescano-de-la-mat-reforzara-la-red-de-girona-en-verano.html>

ANEXOS

ANEXO I – Análisis Hídrico Español.

En este documento se presenta el análisis hídrico español, en particular se ha analizado:

- Capacidad de embalse en España.
- Destino del agua extraída.
- Evolución a lo largo de los años de los embalses en España.
- Distribución del coste unitario del metro cubico de agua.
- Volumen de agua disponible para la potabilización en España.
- Consumo medio de agua en los hogares en España.

ANEXO II – EDP Planta Desaladora y Parque Eólico.

En este documento se ha analizado la estructura de descomposición del proyecto, con las varias tareas y subtareas y las dependencias entre ellas.

ANEXO III – Ejercicio Campo Eólico Offshore.

En este documento se han tenido en cuenta los principios teóricos eólicos que se han explicado en el capítulo 3, con ellos se ha desarrollado el ejercicio gracias al cual se ha establecido la producción total anual del campo, considerando las características de los aerogeneradores y la velocidad del viento media mensual en el emplazamiento:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

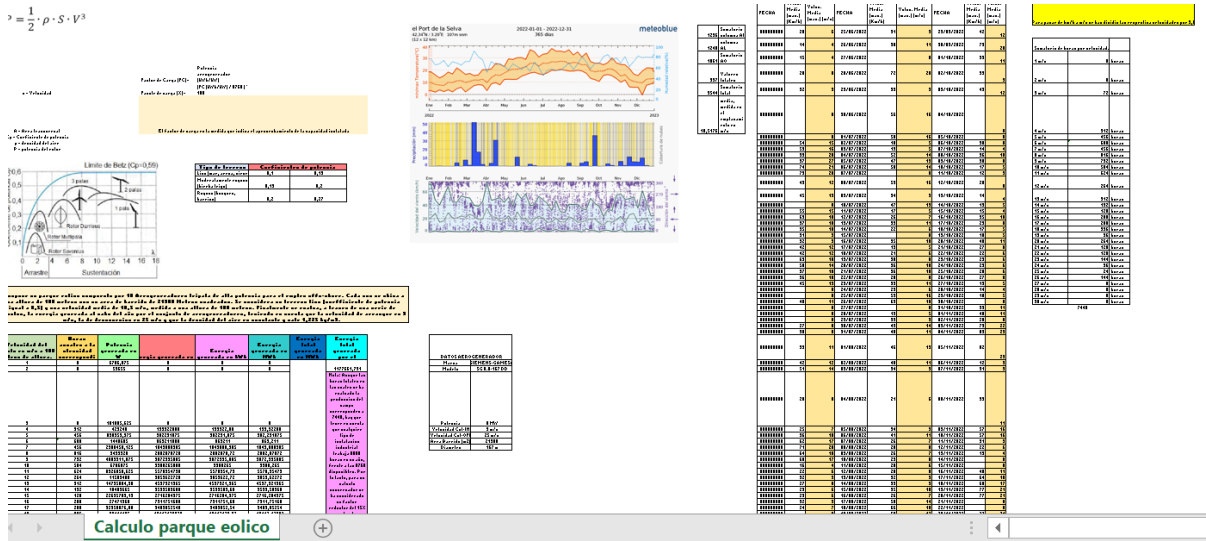


Figura 115: Captura del Anexo III – Ejercicio planta eólica en Excel.
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO IV – Estudio Económico.

En este documento se ha desarrollado y analizado el estudio económico del proyecto incluyendo:

- Estimación.
- Amortización.
- Financiación Externa.
- Previsión de Ingresos.
- Cuenta de resultados.
- Flujo de caja.
- Grados de correlación.

ANEXO V – HAZOP.

En este documento se ha realizado el análisis del HAZOP, teniendo en cuenta el PFD de la desaladora así como los P&ID individuales de cada etapa; cabe destacar que este análisis resulta ser básico, ya que, para poder completarlo es necesario establecer una matriz de clasificación de los riesgos:

Diseño y dimensionado de una desaladora funcionando mediante Osmosis Inversa con aporte energético por medio de un campo eólico.
Claudio Bucciarelli.

DEVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	CATEGORÍA DE LA CONSECUENCIA	SEVERIDAD	LIBERHOOD	CAPAS DE SEGURIDAD	REDUCCIÓN DEL FACTOR DE RIESGO	CATEGORÍA DE RIESGO (L)	CATEGORÍA DE RIESGO (U)	CATEGORÍA DE RIESGO (N)
1.1. Poco o ningún caudal	Parada entrada caudal en la toma INLET	Daños a equipos y parada de la planta				Bomba de reserva en la toma				
	Parada bomba P-006	Daños a equipos y parada de la planta				Bomba de reserva P-002				
	Parada bomba P-004	Daños a equipos y parada de la planta				Bomba de reserva P-005				
	Parada bomba P-005	Daños a equipos y parada de la planta				Bomba de reserva P-007				
	Funcionamiento inesperado bomba P-002	Ruptura FI-001				Ninguna				
	Funcionamiento inesperado bomba P-005	Ninguna consecuencia detectada				Ninguna				
	Funcionamiento inesperado bomba P-007	Ruptura FI-002				Ninguna				
	Cierre inesperado válvula de 3 vías P-002/P-002	Daños a equipos electromecánicos P-002/P-002				Checkvalve				
	Cierre inesperado válvula de 3 vías P-004/P-005	Daños a equipos electromecánicos P-004/P-005				Checkvalve				
	Cierre inesperado válvula de 3 vías P-006/P-007	Daños a equipos electromecánicos P-006/P-007				Checkvalve				
1.3. Más caudal										
1.3 Caudal invertido										

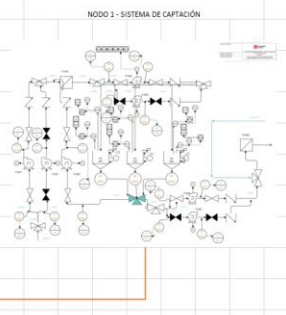


Figura 116: Captura del Anexo V – HAZOP.
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO VI -Lista Equipos y Líneas de la Planta de Osmosis Inversa y del Parque Eólico.

En este documento se presenta, para cada equipo, su nombre, la tarea que lleva a cabo dentro del proceso industrial y finalmente su área de empleo:

NOMBRE EQUIPOS	TAREA	ÁREA DE EMPLEO	LÍNEAS	TAREA	ÁREA DE EMPLEO	INSTRUMENTOS	TAREA	ÁREA DE EMPLEO
FI-001	Primer filtrado desde la línea de toma	Captacion	LI-001	Línea de distribución de media-baja presión	Captacion	PSV-001	Valvula de seguridad en caso de elevada presión	Osmosis Inversa
FI-002	Filtrado previo al pretratamiento	Captacion	LI-002	Línea de distribución de media-baja presión	Captacion	PSV-002	Valvula de seguridad en caso de elevada presión	Posttratamiento y Distribucion
TK-001	Tanque de almacenamiento del agua NO tratada	Captacion	LI-003	Línea de distribución de media-baja presión	Captacion	PSV-003	Valvula de seguridad en caso de elevada presión	Posttratamiento y Distribucion
TK-002	Tanque de almacenamiento del agua NO tratada	Captacion	LI-004	Línea de distribución de media-baja presión	Captacion	LT-001	Transmisor de nivel	Captacion
TK-003	Tanque de almacenamiento del agua NO tratada (reserva)	Captacion	LI-005	Línea de distribución de media-baja presión	Captacion	LT-002	Transmisor de nivel	Captacion

Figura 117: Captura del Anexo VI – Lista Equipos.
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO VII – Plan de contingencias.

En este documento se presenta de forma esquemática el Plan de Contingencias analizado en el capítulo 11.

ANEXO VIII – Resultados Obtenidos.

En este documento se presentan los resultados obtenidos de ambas plantas de forma resumida pues aparecen las siguientes informaciones:

- Número total de equipos.
- Número total de instrumentos.
- Kilómetros totales de tuberías.
- Producción anual.
- Gasto anual estimado.
- Coste aerogeneradores.
- Coste plataformas.
- Coste estimado.