



Universidad
de La Laguna

Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Civil e Industrial

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL
E INDUSTRIAL**

Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN
ALIMENTADO MEDIANTE ENERGÍA EÓLICA**

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

Alumno: Pedro Damián Acosta Díaz

Tutor: Vicente José Romero Ternero

Julio 2014

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

Índice General

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN ALIMENTADO MEDIANTE
ENERGÍA EÓLICA

AUTOR

Pedro Damián Acosta Díaz

TUTOR

Vicente José Romero Ternero

1. MEMORIA

1. Objeto	7
2. Alcance	9
3. Justificación del proyecto	11
4. Antecedentes.....	13
4.1 El problema del agua en Canarias	13
4.2 Desalación de agua en Canarias	14
4.2.1 La ósmosis inversa.....	17
4.3 Energía eólica. Aerogeneradores.....	20
4.4 Antecedentes de desalación- eólica.....	24
4.5 Antecedentes de desalación en el Polígono Industrial de Granadilla.....	25
5. Normas y referencias	27
6. Definiciones y abreviaturas	31
7. Requisitos de diseño	33
7.1 Datos del peticionario.....	33
7.1.1 Emplazamiento	33
7.1.2 Capacidad de la planta.....	34
7.2 Datos de partida.....	34
7.2.1 Análisis del agua a tratar.....	34
7.2.2 Temperatura del agua	36
7.3 Legislación aplicable.....	37
8. Situación y emplazamiento.....	39
9. Análisis de soluciones.....	45
9.1 Sistema de captación	46
9.1.1 Elección del sistema de captación	47
9.1.2 Bombas de captación	49
9.2 Núcleo de la desalación.....	50
9.3.1 Dimensionado de membranas.....	50
9.3.2 Recuperación de energía.....	56
9.3.3 Dimensionado de bomba de alta presión y bomba booster	60
9.4 Sistema de bombeo de captación y distribución	63
9.4.1 Bombas de captación	64

9.4.2 Bombas de distribución.....	66
9.5 Evaluación energética y sistema eólico	67
10. Resultados finales	73
10.1 Emplazamiento del sistema	74
10.2 Captación de agua de mar	74
10.3 Núcleo de desalación	75
10.3.1 Módulo de membranas	75
10.3.2 Sistema de recuperación de energía	76
10.3.3 Bomba de alta presión	77
10.4 Distribución de agua producto	77
10.5 Consumo energético del sistema de desalación	79
10.6 Parque eólico.....	80
11. Conclusiones.....	83
12. Orden de prioridad de los documentos básicos	87

2. ANEXOS

1. Anexo I: Análisis de soluciones	9
1.1 Sistema de captación	9
1.1.1 Tomas de agua abiertas.....	9
1.1.2 Tomas de agua cerradas.....	10
2.1 Dimensionado de membranas	11
3.1 Sistemas de recuperación de energía.....	16
3.1.1 Turbina Pelton	16
3.1.2 Turbobomba y turbocharger	18
3.1.3 Intercambiador de presión	18
2. Anexo II: Cálculos de la solución adoptada	23
2.1 Dimensionado de membranas	25
2.2 Dimensionado del sistema de recuperación de energía (ERI).....	33
2.3 Proceso iterativo software de membranas vs ERI.....	36
2.4 Dimensionado de las bombas del núcleo de desalación.....	38
2.4.1 Bomba de alta presión	38
2.4.2 Bomba Booster (de circulación).....	39
2.4.3 Resultados finales	40
2.5 Cálculo de pérdidas de carga.....	41
2.5.1 Conducción de captación.....	41
2.5.2 Conducción de distribución	45
2.6 Cálculo de la altura útil de las bombas de captación y distribución.....	48
2.6.1 Bombas de captación	48
2.6.2 Bombas de distribución	49
2.7 Dimensionado de las bombas de captación y distribución.....	50
2.7.1 Bombas de captación	50
2.7.2 Bombas de distribución	52
2.7.3 Resultados finales	54
2.8 Cálculo del consumo específico de la planta.....	55
2.9 Dimensionado del sistema eólico	58
3. Anexo III: Evaluación de las condiciones de trabajo de las membranas.....	73

3.1 Variación de la temperatura	73
3.2 Variación de la edad de la membrana	76
3.3 Variación del pH.....	78
3.4 Comparación de resultados	80
4. Anexo IV: Programas de elaboración propia para la obtención del consumo específico del sistema de desalación y la energía estimada para el aerogenerador	85
4.1 Herramienta para determinar el consumo específico.....	85
4.1.1 Densidad del agua de mar	85
4.1.2 Deducciones teóricas de cálculo	86
4.1.3 Interfaz de la herramienta.....	89
4.2 Herramienta para determinar la energía anual estimada para un aerogenerador	94
4.2.1 Deducciones teóricas de cálculo	94
4.2.2 Interfaz de la herramienta.....	96
5. Anexo V: Resultados del programa IMSdesign.....	103
6. Anexo VI: Especificaciones técnicas y catálogos	111

3. PLANOS

1. Planos.....	3
1.1 Plano nº 1: Situación	5
1.2 Plano nº 2: Emplazamiento	7

4. PLIEGO DE CONDICIONES

1. Definición y alcance del pliego	5
2. Condiciones generales	5
2.1 Normativa general a cumplir	5
2.2 Documentos del proyecto	6
2.3 Estructura del pliego de condiciones	6
2.4 Documentación del contrato de obra	6
2.5 Permisos y licencias	7
2.6 Variaciones	7
3. Condiciones particulares	9
3.1 Condiciones legales	9
3.1.1 Sistema de desalación	9
3.1.2 Sistema de captación eólica	10
3.2 Condiciones facultativas y del contratista	15
3.2.1 Condiciones facultativas	15
3.2.2 Condiciones del contratista	16
3.3 Condiciones económicas	21
3.3.1 Base fundamental	21
3.3.2 Garantía	21
3.3.3 Fianzas	21
3.3.4 Fianza provisional	22
3.3.5 Ejecución de trabajos con cargos a la fianza	23
3.3.6 De su devolución en general	23
3.3.7 Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales	23
3.3.8 Revisión de precios	23
3.3.9 Descomposición de los precios unitarios	24
3.3.10 Precios e importes de ejecución material	25
3.3.11 Precios e importes de ejecución por contrata	26
3.3.12 Gastos generales y fiscales	26
3.3.13 Gastos imprevistos	26
3.3.14 Beneficio industrial	27
3.3.15 Honorarios de la dirección técnica y facultativa	27

3.3.16 Gastos por cuenta del contratista.....	27
3.3.17 Precios contradictorios	28
3.3.18 Mejoras de obra libremente ejecutadas	29
3.3.19 Abono de las obras	30
3.3.20 Abono de trabajos presupuestados por partidaalzada	31
3.3.21 Obras no terminadas.....	31
3.3.22 Certificaciones.....	31
3.3.23 Demoras en los pagos.....	33
3.3.24 Conservación de la obra	34
3.3.25 Seguro de las obras.....	34
3.3.26 Mejoras y aumentos de obra	35
3.4 Condiciones técnicas de materiales y equipos. Sistema de desalación.....	37
3.4.1 Documentación exigible.....	37
3.4.2 Protocolo de pruebas	38
3.4.3 Normas de aprobación de suministradores.....	38
3.4.4 Garantía para los equipos	38
3.4.5 Soldaduras	38
3.4.6 Tornillería.....	39
3.4.7 Soportería	39
3.4.8 Equipos mecánicos.....	40
3.4.9 Ruidos	40
3.4.10 Equipos de bombeo	41
3.4.11 Sistemas de intercambio de presión	43
3.4.12 Membranas	44
3.5 Condiciones técnicas de materiales y equipos. Aerogeneradores.....	47
3.5.1 Generalidades	47
3.5.2 Parque de aerogeneradores.....	48
3.5.3 Control y aceptación de los elementos y equipos que conforman la instalación eólica	50
3.6 Condiciones técnicas de ejecución y montaje.....	53
3.6.1 Consideraciones generales	53
3.6.2 Tipos de trabajo a realizar	54
3.6.3 Comprobaciones iniciales	55

3.6.4 Instalación y montaje de los elementos	55
3.6.5 Instalación de aerogeneradores y sus elementos	55
3.6.6 Condiciones a satisfacer respecto a las distancias de los aerogeneradores a viviendas o a otros aerogeneradores.	56
3.6.7 Condiciones a satisfacer respecto a la eficiencia energética	56

5. MEDICIONES Y PRESUPUESTO

1. Mediciones y presupuesto.....	3
----------------------------------	---

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

Memoria

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN ALIMENTADO MEDIANTE
ENERGÍA EÓLICA

AUTOR

Pedro Damián Acosta Díaz

TUTOR

Vicente José Romero Ternero

HOJA DE IDENTIFICACIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN ALIMENTADO MEDIANTE ENERGÍA EÓLICA

DATOS DEL PETICIONARIO

RAZÓN SOCIAL: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL. UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

DOMICILIO: CAMPUS DE ANCHIETA. AVDA. ASTROFÍSICO FCO. SÁNCHEZ S/N. EDIFICIO GAROÉ 38206, LA LAGUNA TENERIFE, ESPAÑA.

TELÉFONO: 922 845289/90/91

DATOS DEL AUTOR

AUTOR: PEDRO DAMIÁN ACOSTA DÍAZ

DNI: 78639724-X

DATOS DEL TUTOR

TUTOR: D. VICENTE JOSÉ ROMERO TERNERO

FECHA

JULIO DE 2014

Índice

1. Objeto	7
2. Alcance	9
3. Justificación del proyecto	11
4. Antecedentes.....	13
4.1 El problema del agua en Canarias	13
4.2 Desalación de agua en Canarias	14
4.2.1 La ósmosis inversa.....	17
4.3 Energía eólica. Aerogeneradores.....	20
4.4 Antecedentes de desalación- eólica.....	24
4.5 Antecedentes de desalación en el Polígono Industrial de Granadilla.....	25
5. Normas y referencias	27
6. Definiciones y abreviaturas	31
7. Requisitos de diseño	33
7.1 Datos del peticionario.....	33
7.1.1 Emplazamiento	33
7.1.2 Capacidad de la planta.....	34
7.2 Datos de partida.....	34
7.2.1 Análisis del agua a tratar.....	34
7.2.2 Temperatura del agua	36
7.3 Legislación aplicable.....	37
8. Situación y emplazamiento.....	39
9. Análisis de soluciones.....	45
9.1 Sistema de captación	46
9.1.1 Elección del sistema de captación	47
9.1.2 Bombas de captación	49
9.2 Núcleo de la desalación.....	50
9.3.1 Dimensionado de membranas.....	50
9.3.2 Recuperación de energía.....	56
9.3.3 Dimensionado de bomba de alta presión y bomba booster	60
9.4 Sistema de bombeo de captación y distribución	63
9.4.1 Bombas de captación	64

9.4.2 Bombas de distribución.....	66
9.5 Evaluación energética y sistema eólico	67
10. Resultados finales	73
10.1 Emplazamiento del sistema	74
10.2 Captación de agua de mar	74
10.3 Núcleo de desalación	75
10.3.1 Módulo de membranas	75
10.3.2 Sistema de recuperación de energía	76
10.3.3 Bomba de alta presión.....	77
10.4 Distribución de agua producto.....	77
10.5 Consumo energético del sistema de desalación.....	79
10.6 Parque eólico.....	80
11. Conclusiones.....	83
12. Orden de prioridad de los documentos básicos	87

Índice de figuras

Figura 1. Recursos hídricos disponibles en las Islas Canarias en 2009 (Tecnoagua)	13
Figura 2. Porcentajes de desalación por comunidades autónomas (MARM, 2009).....	15
Figura 3. Capacidad de agua de mar desalada en Tenerife (Fuente de datos: FCCA, 2012) ...	15
Figura 4. Número de desaladoras en Canarias (Fuente de datos: FCCA, 2002)	16
Figura 5. Tecnologías de desalación en Canarias (FCCA, 2006).....	16
Figura 6. Fundameno teórico de la ósmosis inversa.....	18
Figura 7. Esquema de un sistema de desalación por ósmosis inversa.....	19
Figura 8. Esquema general de las fases de un sistema de desalación O.I	19
Figuras 9 y 21. Núcleo de desalación (ERI).....	20, 50
Figura 10. Partes de un aerogenerador	22
Figura 11. Detalle del interior de la góndola de un aerogenerador	22
Figura 12. Potencia eólica instalada en Canarias (MW) según PECAN 2007	23
Figura 13. Emplazamiento de la futura E.D.A.M en Granadilla de Abona.....	25
Figura 14. Índices de potencial eólico en Tenerife (PIOT, 2011)	40
Figura 15. Detalle de mapa eólico de Tenerife (PIOT, 2011)	41
Figura 16. Espacios naturales protegidos de Tenerife (PIOT, 2011)	42

Figura 17. Modelo de ordenación territorial de Tenerife (PIOT, 2011)	43
Figuras 18 y 28. Esquema general del sistema de desalación y parque eólico de autoconsumo	45,73
Figura 19. Sebadales marinos (Sebadales.org)	46
Figura 20. Detalle pozo de captación con bomba sumergida	48
Figura 22. Esquema e interfaz de la aplicación turbocharger de ERI.....	57
Figura 23. Interfaz del software de dimensionado de intercambiador de presión (ERI)	58
Figura 24. Resultados energéticos para el intercambiador de presión.....	58
Figura 25. Apariencia del modelo PXQ (izq.) y PXS (der.) de intercambiadores de presión de ERI.....	59
Figura 26. Apariencia de la bomba Aquabold de ERI	61
Figura 27. Indicación de la línea de aerogeneradores más próxima a la ubicación del parque eólico	68
Figura 29. Disposición del futuro tanque de regulación según Plan Territorial parcial de la plataforma logística del sur de Tenerife	78

Índice de tablas

Tabla 1. Composición química del agua de mar del Océano Atlántico (FCCA).....	35
Tabla 2. Requisitos básicos a cumplir en el dimensionado de las membranas	52
Tabla 3. Parámetros de operación de las membranas	52
Tabla 4. Modelos aceptables de membranas de Hydranautics.....	53
Tabla 5. Configuraciones de membranas más eficientes de Hydranautics	54
Tabla 6. Modelos aceptables de membranas Toray	54
Tabla 7. Configuraciones de membranas más eficientes de Toray.....	55
Tabla 8. Comparación de consumos específicos con ambas tecnologías (turbocharger e I. de presión)	59
Tabla 9. Comparación de eficiencias con los disntos modelos de intercambiadores de presión de ERI.....	60
Tabla 10. Eficiencias de las bombas de alta presión de ERI.....	61
Tabla 11. Eficiencias de las bombas de alta presión de KSB	62
Tabla 12. Eficiencias de las bombas booster de ERI	63

Tabla 13. Eficiencias de las bombas de captación de KSB	65
Tabla 14. Eficiencias de las bombas de captación de Grundfos.....	65
Tabla 15. Eficiencia de la bomba de captación de Sulzer	65
Tabla 16. Parámetros energéticos del sistema de desalación	67
Tabla 17. Datos eólicos de los emplazamientos más eficientes para el parque eólico.....	69
Tabla 18. Coeficientes de aplicación sobre la generación energética del aerogenerador.....	71
Tabla 19. Modelos aceptados de aerogeneradores	71
Tabla 20. Energía anual requerida por el sistema de desalación	79
Tabla 21. Datos generales del parque eólico a instalar.....	80
Tabla 22. Coordenadas de emplazamiento de los aerogeneradores	80
Tabla 23. Energía anual estimada generada por el parque eólico	81

1. Objeto

El objetivo principal del presente proyecto es el de demostrar, mediante síntesis, las competencias adquiridas a lo largo de las enseñanzas en el ámbito de las tecnologías específicas de la ingeniería industrial, concretamente, en la especialidad mecánica. Además, la realización del mismo es de carácter obligatorio para superar la asignatura “Trabajo fin de grado”, y completar así los estudios de “Grado en Ingeniería Mecánica”.

La elaboración de este trabajo tiene como finalidad en el alumno adquirir las capacidades de redacción, firma y desarrollo de proyectos, manejo de especificaciones técnicas, normativas y reglamentos y conocimientos para la realización de mediciones y cálculos, entre otros aspectos que completan la formación del alumno para poder ejercer la profesión del ingeniero técnico industrial, según la normativa vigente.

Por otro lado, el objeto específico de este proyecto es el estudio y diseño de un sistema de desalación de agua de mar por ósmosis inversa, alimentado a través de energía eólica, en la Isla de Tenerife (Islas Canarias). El análisis del sistema se acota al dimensionado de los principales elementos mecánicos que conforman el proceso de desalación y a la evaluación energética del mismo con la implementación de un parque eólico, todo ello teniendo en cuenta la disposición de los recursos hídricos y eólicos de la isla.

Abstract

The main objective of this final project is to demonstrate the skills gained in university studies. Furthermore, realization of this work is obligatory for finished of university studies of mechanical engineering grade.

With this project the student will develop writing skills of technical documents. It will also develop management skills of technical regulations, rules and mechanical applications. All this will complete the formation of the future industrial engineer.

On the other hand, specific objective. It will be studied a reverse osmosis seawater desalination system that powered by wind energy in Tenerife (Canary Islands). The main mechanical elements of the desalination system will be sized. The wind farm also will be sized. The aeolian and hydric recourse will be considered to make the study.

2. Alcance

El estudio se realizará para una planta desaladora de agua de mar de 4000 m³/día de capacidad, mediante el proceso de la ósmosis inversa, alimentada por energía eólica, emplazada en el municipio de Granadilla de Abona, concretamente en el Polígono Industrial de Granadilla. Servirá como apoyo de abastecimiento a las nuevas infraestructuras del futuro Puerto de Granadilla y a las industrias colindantes.

En cuanto al ámbito de aplicación, en este proyecto se definirán las características mecánicas de un sistema de desalación por ósmosis inversa y se llevará a cabo el estudio eólico para la inclusión de un sistema de generación de energía que alimente al sistema.

A continuación se indican los conceptos que forman el proyecto, divididos en la parte de desalación y la parte eólica.

En el sistema de desalación se llevará a cabo:

- Emplazamiento de la planta
- Dimensionado de los bastidores de membranas
- Dimensionado de bombas de captación y distribución de agua
- Dimensionado de bomba de alta presión y bomba booster del núcleo de desalación
- Dimensionado del sistema de recuperación de energía en el núcleo de desalación
- Cálculo del consumo específico de la planta incluyendo las pérdidas de carga en los colectores de captación y distribución de agua

En el sistema eólico:

- Evaluación del recurso eólico

- Dimensionado y emplazamiento del sistema de captación eólico considerando el acoplamiento energético promedio anual

Quedan excluidos del proyecto los siguientes conceptos:

- Instalaciones eléctricas, electrónicas y de automatización de todo el sistema
- La obra civil de toda la planta, incluido los pozos de captación y la cimentación de los aerogeneradores
- Instalaciones de pretratamiento y postratamiento del agua, englobando en ellas el estudio químico y biológico (Filtros, dosificadores, inhibidores, etc.).
- Dimensionado de válvulas, variadores de frecuencia y otros elementos de control
- Dimensionado de las líneas de conducción de agua entre etapas dentro de la planta de desalación
- Instalación para el control de la salmuera de rechazo, incluidos los emisarios marinos
- Instalación de suministro energético a la planta
- Otras instalaciones (Climatización, saneamiento, contraincendios, etc.).
- Elaboración del estudio de seguridad y salud

Como se puede observar, el presente proyecto abarca únicamente una parte del análisis global de la planta de desalación y del sistema de captación energética. Los conceptos señalados con anterioridad quedan excluidos, ya que no son objeto del proyecto que ha encargado el peticionario, en este caso, La Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial.

3. Justificación del proyecto

Los problemas del agua en las Isla Canarias, derivados de la escasez de precipitaciones y la sobreexplotación de los acuíferos, ha provocado en las últimas décadas un incremento considerable de las infraestructuras de desalación y tratamiento de aguas salobres y agua de mar.

En la isla de Tenerife, las zonas más afectadas por estos problemas son los municipios de la vertiente sureste y el sur de la isla, las más áridas, tanto en el consumo de agua potable como en el adecuado desarrollo de las actividades agrícolas.

Por otro lado, las energías renovables cada vez están tomando un mayor protagonismo, no solo a nivel mundial, sino a nivel insular y Tenerife es un claro ejemplo de territorio con recursos eólicos y solares que explotar.

El aprovechamiento del potencial eólico, la construcción del futuro Puerto de Granadilla y la posible aparición de nuevas industrias y servicios en el Polígono Industrial de Granadilla de Abona, en el municipio de Granadilla de Abona, justifican la implantación de un sistema de desalación de agua de mar alimentado por energía eólica en dicha zona, que servirá de apoyo de suministro para las futuras actividades que se prevén en un puerto de esas características.

Actualmente el suministro de agua potable al Polígono Industrial de Granadilla se fundamenta en las aguas subterráneas con origen en la Comarca de Fasnia-Arico, transportadas por el Canal del Estado, conectado en el Río de Arico con el Canal de La Zarza hasta Chimiche, que deriva al actual depósito regulador del Polígono Industrial de Granadilla de 4.500 m³.

Según estos datos, la capacidad de la planta de 4000 m³/día que se prevé instalar, podrá liberar parcialmente los caudales de abastecimiento de la población de Granadilla de Abona que derivan del Canal del Estado, mejorando las condiciones hidrológicas del municipio.

Respecto a la instalación del sistema de captación de energía eólica de autoconsumo para proporcionar y cubrir la demanda de energía de la planta de desalación, está justificado por la estabilidad que presentan ambas tecnologías a lo largo de su explotación y la reducción

destacable de la factura eléctrica para la desalación de agua de mar. Además, se consigue la reducción de consumo eléctrico proveniente de fuentes de energía fósiles que tienen un mayor impacto ambiental. En el apartado “4. Antecedentes” se mencionarán los actuales sistemas híbridos (desalación-eólica) que están en funcionamiento en las Islas Canarias.

4. Antecedentes

4.1 El problema del agua en Canarias

La escasez de agua es uno de los problemas más graves que se presentan en las Islas Canarias. La disposición territorial, ausencia ríos y con grandes pendientes que provocan la pérdida de agua al mar, y la irregularidad de las precipitaciones son algunas de las causas que por las que el agua es un recurso natural indispensable para el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico de Canarias.

Esta escasez de recursos hídricos naturales es particularmente acusada en las islas orientales, pero a lo largo de los años el aumento de la población, las nuevas infraestructuras y los problemas derivados del cambio climático han generalizado este problema en todas las islas.

La demanda de agua es superior a los recursos convencionales existentes (aguas superficiales y subterráneas), lo que obliga a la utilización de fuentes alternativas no convencionales para cubrir el déficit.

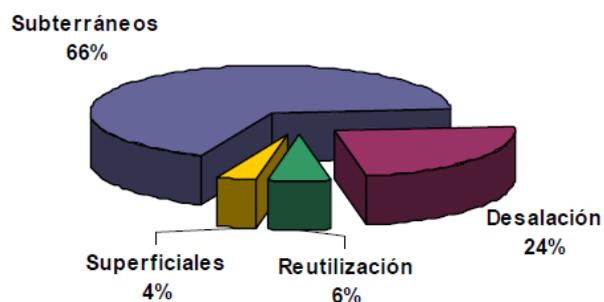


Figura 1. Recursos hídricos disponibles en las Islas Canarias en 2009 (Tecnoagua)

Se observa, según el gráfico anterior (figura 1), como el 30 % de los recursos hídricos disponibles son extraídos de fuentes no naturales, a través de tecnologías de desalación, depuración y reutilización de aguas.

El sector de mayor demanda, pese a ir en declive en los últimos años, es el agrícola, principalmente en los cultivos de la vid, la papa y el plátano, seguido del sector industrial y el turístico.

La sobreexplotación de los acuíferos, la infiltración de vertidos (puntuales, como los abonos químicos u otros productos contaminantes) y la propia contaminación natural provocada por la interacción del agua con la roca y los procesos de naturaleza volcánica, además de la demanda comentada anteriormente, han provocado la búsqueda de alternativas de generación de agua potable adicionales.

Entre estas alternativas se encuentra la desalación de agua salobre (aguas subterráneas) o agua de mar, y la propia potabilización. En cuanto a las tecnologías de desalación, en Canarias están presentes la destilación multiefecto (Gran Canaria), la compresión de vapor y la ósmosis inversa, para agua de mar, y la electrodiálisis reversible para el agua salobre.

4.2 Desalación de agua en Canarias

La desalación es el proceso de separación de minerales disueltos (sales) y otras sustancias indeseables contenidas en las aguas salobres o marinas, para convertirlas en agua adecuada para el consumo humano, agua apta para uso industrial o agrícola.

Canarias, con la puesta en marcha en 1964 de la primera desaladora en la Isla de Lanzarote, ha sido una de las pioneras, a nivel europeo, en desalación de agua de mar. Actualmente, las islas ocupan un lugar relevante en España, e incluso en Europa, en volumen anual desalinizado, gracias a la inclusión de estas tecnologías en las islas.

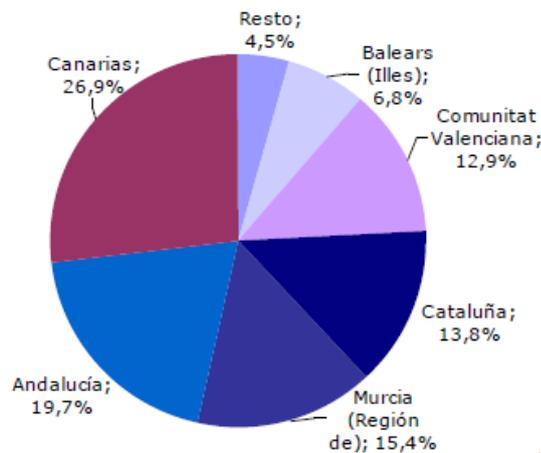


Figura 2. Porcentajes de desalación por comunidades autónomas (MARM, 2009)

En cuanto a la desalación de agua de mar, el incremento de capacidad ha sido considerable, como se puede observar en la figura 3, en datos estadísticos recabados del Centro Canario del Agua entre 2000 y 2012, para la Isla de Tenerife.

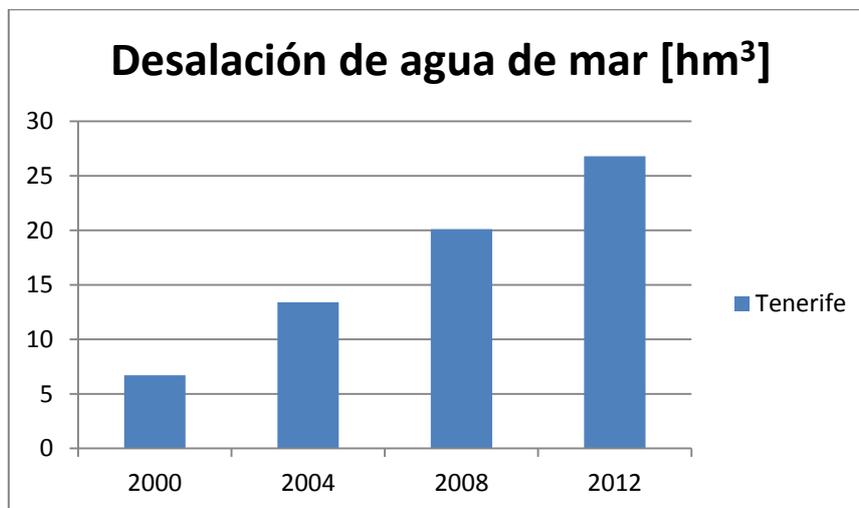


Figura 3. Capacidad de agua de mar desalada en Tenerife (Fuente de datos: FCCA, 2012)

El número de desaladoras, por otro lado, presentes en las islas, se puede observar en la figura 4, según datos de 2002, recabados también del Centro Canario del Agua.

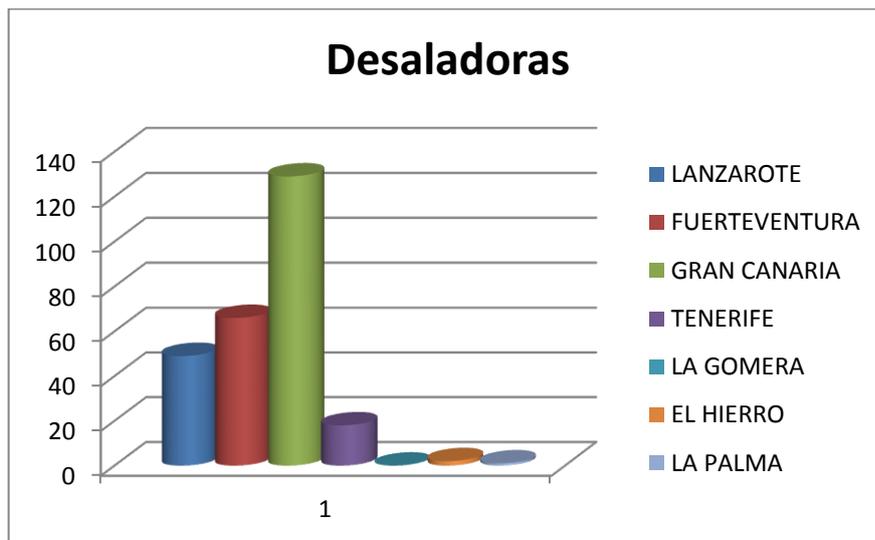


Figura 4. Número de desaladoras en Canarias (Fuente de datos: FCCA, 2002)

Según datos de ese año (2002), la desalación de agua de mar representaba ya el 99% del volumen total de agua consumido en la isla de Lanzarote.

Como se puede observar, la desalación de agua es un proceso que en las últimas décadas ha cobrado una relevancia bastante importante en las Islas Canarias, destacando como se mostrará a continuación (5), la tecnología de la ósmosis inversa.

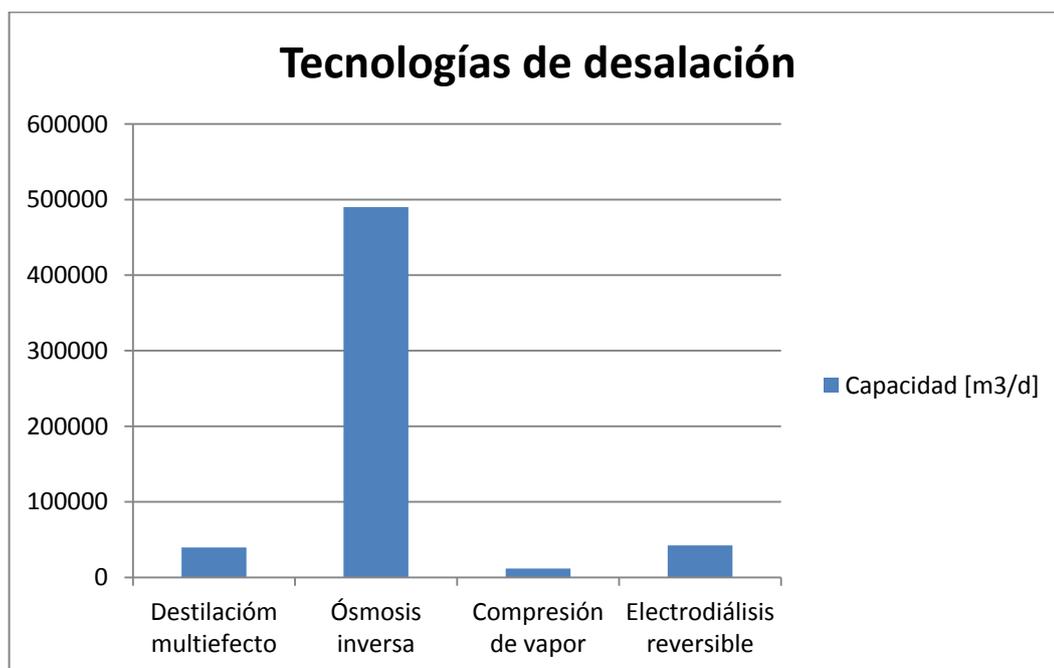


Figura 5. Tecnologías de desalación en Canarias (FCCA, 2006)

Estos datos, extraídos del Centro Canario del Agua (2006) nos muestran como la tecnología de la desalación de agua por ósmosis inversa es la más utilizada en Canarias y por tanto, la más eficiente.

4.2.1 La ósmosis inversa

El fenómeno de la ósmosis se produce a través de una membrana semipermeable, cuando el agua fluye desde la solución de menor salinidad hasta otra de mayor concentración salina. Es un proceso natural, como por ejemplo, la entrada de agua a través de la membrana celular de los seres vivos o la captación de agua de las plantas a través de las raíces, y no existe intercambio de energía en el mismo.

El objetivo de este sistema es lograr el equilibrio, es decir, intentar alcanzar la misma concentración a ambos lados de la membrana. El flujo de agua desde la solución más diluida hacia la más concentrada se detendrá cuando se alcance un equilibrio entre ambas concentraciones. La fuerza que provoca ese movimiento se conoce como presión osmótica y está relacionada con la concentración de sales en el interior de ambas soluciones.

La ósmosis inversa, como su definición indica, consiste en invertir este proceso aplicando una presión superior a la presión osmótica correspondiente, en el lado de la solución más concentrada, para superarla y que el paso de sales se produzca desde la solución más concentrada (agua de mar, en este caso), hacia la de más diluida (ver figura 6). Este proceso requiere de un gasto de energía considerable.

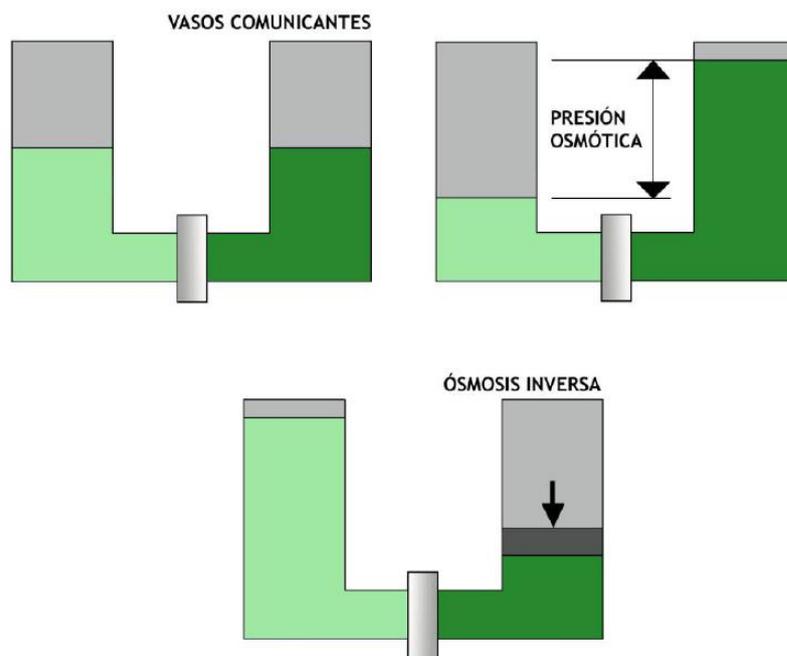


Figura 6. Fundameno teórico de la ósmosis inversa

A primera vista, el proceso de desalación de agua de mar por ósmosis inversa parece sencillo, ya que sólo requiere de membranas que soporten la presión de alimentación para superar la presión ósmótica de la solución. Sin embargo, dicho proceso no se puede considerar normal porque la dirección del flujo es paralela y no perpendicular, como ocurre en un filtrado normal. Es por ello que en la ósmosis inversa aparece el término de conversión o tasa de recuperación, la cual define la cantidad de agua que pasa a través de las membranas.

Una instalación de desalación por ósmosis inversa, además del sistema de bombeo de alta presión de alimentación y los módulos de membranas, diverso equipos y etapas de tratamiento y limpieza para ajustar todos los parámetros de operación y calidad del agua producto. Además se necesitan sistemas de recuperación de energía que disminuyan los consumos energéticos elevados de estas plantas.

Una planta de desalación de agua de mar por ósmosis inversa tiene la siguiente estructura, de forma general (ver figura 7).

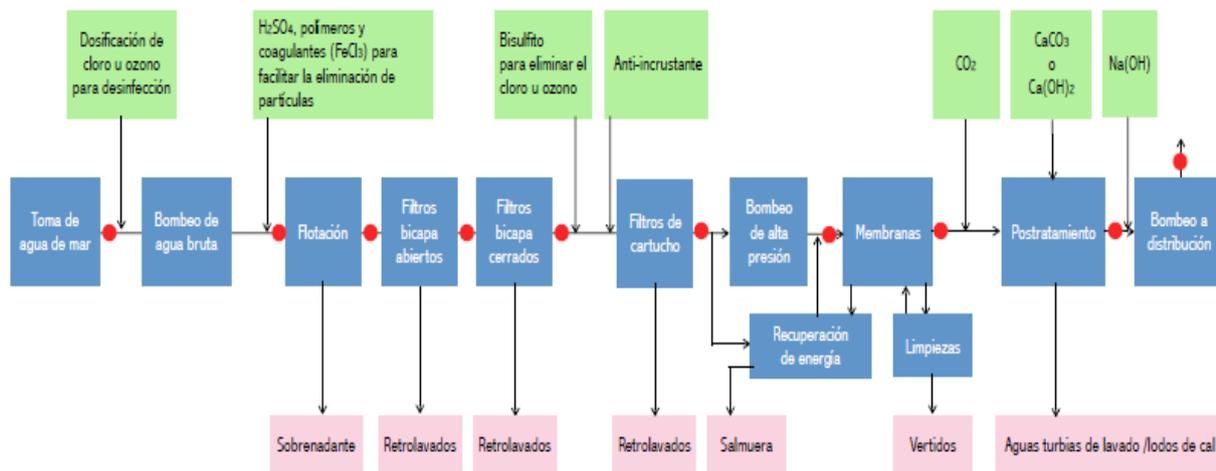


Figura 7. Esquema de un sistema de desalación por ósmosis inversa

En cuanto a los consumos energéticos más importantes presentes en una instalación de ósmosis inversa radican en el núcleo de desalación, la captación y la distribución. Generalmente los procesos derivados del pretatamiento, postratamiento, limpieza de membranas y otros sistemas que se integran en la planta, se consideran casi despreciables en el cálculo del consumo energético total. En la figura 8 se puede observar, de forma simplificada, las etapas principales de la desalación por ósmosis inversa.

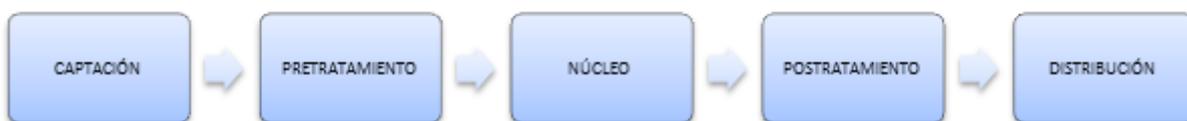


Figura 8. Esquema general de las fases de un sistema de desalación O.I

En el presente proyecto se abordará el análisis mecánico de los elementos que componen el núcleo de desalación (membranas, bomba de alta y sistema de recuperación de energía) y el dimensionado mecánico de los sistemas de captación y distribución, tal y como se precisó en el alcance del proyecto. Dicho núcleo se puede observar en la siguiente figura 9, cortesía de Energy Recovery Inc:

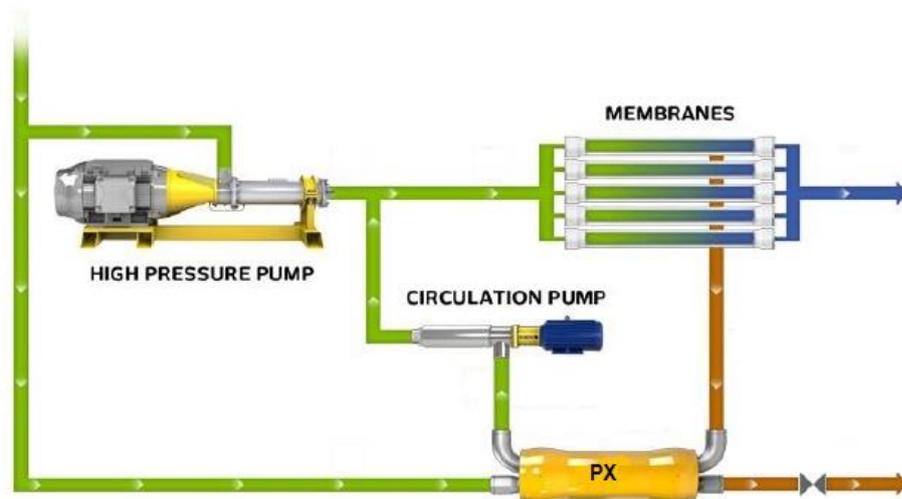


Figura 9. Núcleo de desalación (ERI)

Se determinará también el consumo total de energía de la planta, el cual será cubierto por un sistema de captación de energía eólica.

4.3 Energía eólica. Aerogeneradores

La energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire y que es transformada en otras formas útiles. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Los vientos son generados a través del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar (entre el 1 y el 2 % de la energía proveniente del sol se convierte en viento). Por el día, las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías con relación a las áreas cercanas situadas sobre las masas continentales. Los continentes absorben una menor cantidad de luz solar, por lo tanto el aire que se encuentra sobre la tierra se expande, y se hace por lo tanto más liviano y se eleva. El aire más frío y más pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.

Este tipo de energía considerada renovable, no contamina, es inagotable y contribuye a evitar el cambio climático. Con el uso de este tipo de energía limpia se evitan los problemas de extracción de combustibles fósiles, transporte y los propios procesos de combustión y generación de energía eléctrica. Además, hay que citar que como fuente de energía natural, no presenta una amenaza de vertidos ni alteraciones con el medio en el que se aprovecha. Como desventajas más destacables está el gran impacto visual que conlleva la inclusión de un parque eólico en el paisaje, por las grandes envergaduras de los aerogeneradores, el ruido provocado por el giro del rotor, en las proximidades del mismo, y por último, el riesgo de mortalidad de las aves si se lleva a cabo la instalación en una zona de hábitat de las mismas, por el posible impacto en las palas del elemento.

Para poder aprovechar el recurso eólico de una determinada zona se deben evaluar las variaciones de los parámetros de viento a lo largo de varios años (cerca de 20 años), alcanzado así una estimación bastante aceptable del mismo. Estos parámetros son la velocidad del viento según la altura, la estación del año y las alteraciones diurnas y nocturnas, la velocidad máxima, entre otros factores.

La captación de esta energía eólica tras llevar a cabo la evaluación del recurso y estimar si es eficiente la instalación de un sistema de este tipo, se realiza a través de los aerogeneradores o turbinas de viento, que la transforman en energía eléctrica.

Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento (turbina eólica). Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina. En este caso, la energía eólica proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

A continuación se puede observar la disposición de un aerogenerador (10), con las partes más destacadas y el detalle del interior de la góndola (11).

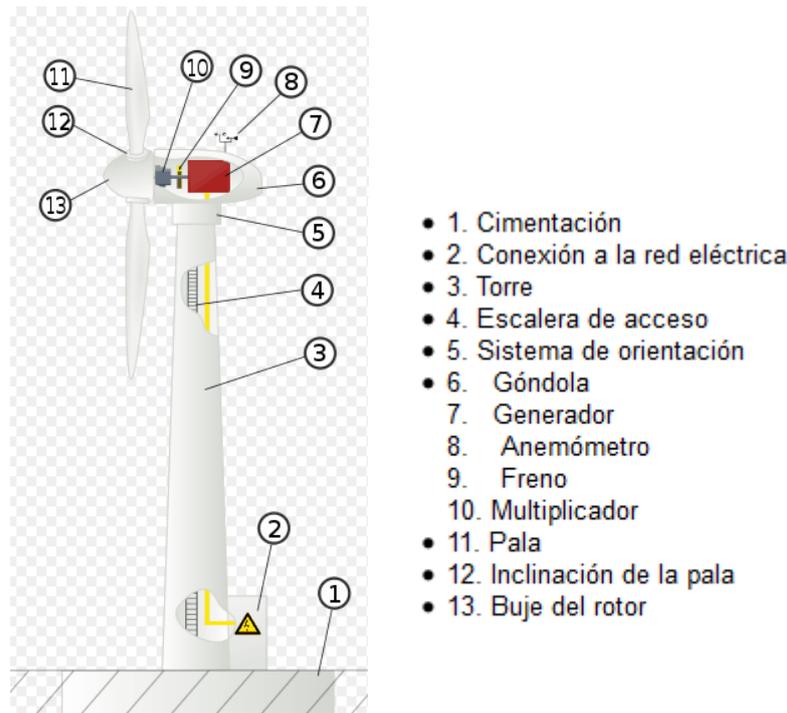


Figura 10. Partes de un aerogenerador

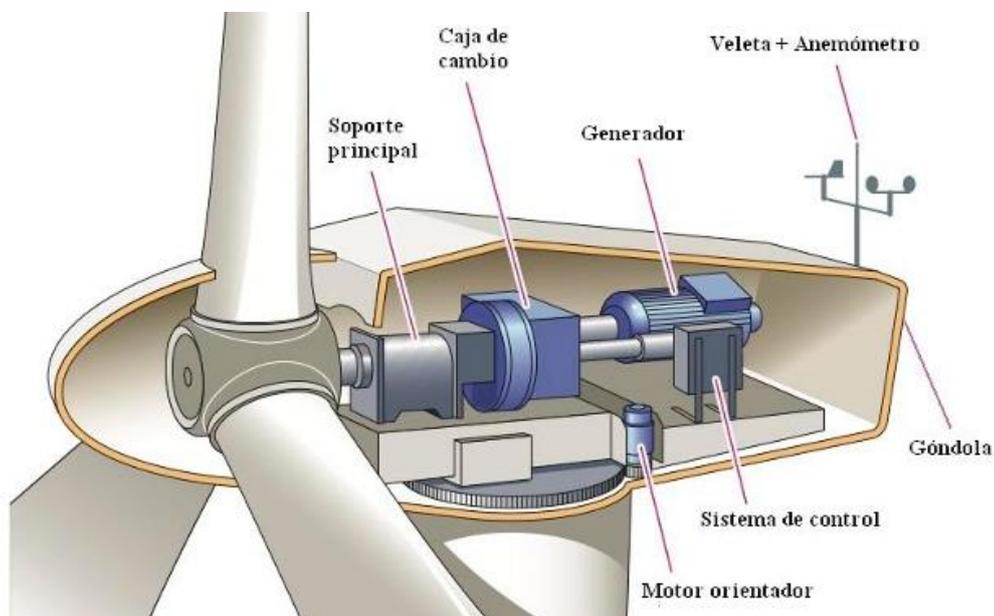


Figura 11. Detalle del interior de la góndola de un aerogenerador

Según el Plan Energético de Canarias de 2007 (PECAN), la aportación de las energías renovables, en concreto, de la energía eólica, a la cobertura de la demanda eléctrica en Canarias, teniendo en cuenta que no debe superar el 40 % de la demanda instantánea, se planificó hasta el año 2015, en los siguientes niveles (12):

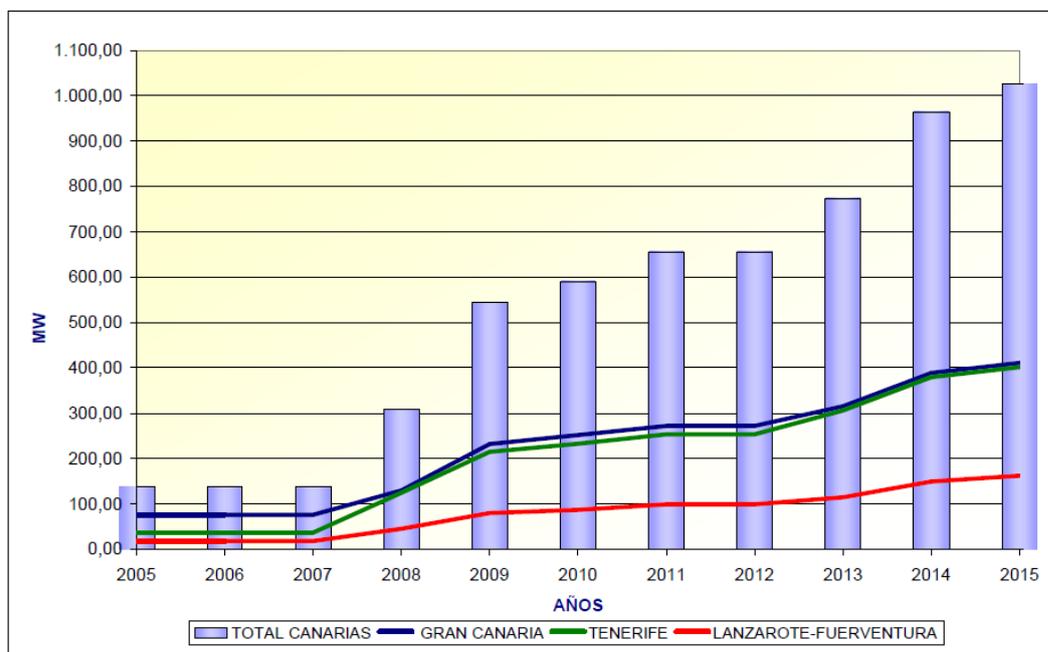


Figura 12. Potencia eólica instalada en Canarias (MW) según PECAN 2007

Como se puede observar en la estimación, la aportación de la energía eólica aumenta cada año progresivamente, sobre todo en las islas de Gran Canaria y Tenerife. Esto señala la importancia que está cobrando el sector de las energías renovables, en concreto para el contexto en el que se desarrolla este proyecto, de la energía eólica, en el archipiélago Canario. Además de hablar de importancia, se debe señalar la necesidad de la contribución de las energías renovables a cubrir la demanda actual debido al declive de los recursos fósiles y también para reducir costos y evitar impactos ambientales cada vez más significativos.

Como progreso destacado en el ámbito insular, el 27 de junio de 2014 se puso en funcionamiento la central hidroeólica de la isla del Hierro que combina la energía eólica con la energía hidráulica. El objetivo de la misma para los años venideros es cubrir el 100% del consumo energético de la isla con esta energía renovable, convirtiéndose así en la primera isla autosuficiente y limpia energéticamente del planeta.

4.4 Antecedentes de desalación- eólica

En el presente proyecto se combina el proceso de desalación de agua de mar por ósmosis inversa con la alimentación energética a través de un sistema de captación eólica, el cual debe dimensionarse según requerimientos. Actualmente la utilización de esta energía en los procesos asociados a la desalación se ha relevado como una alternativa práctica y efectiva para reducir costes de producción y reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente.

Según lo descrito por el Periódico EL DÍA el 22 de marzo de 2014, en el artículo “El binomio agua-energía”, sobre el Día Mundial del Agua, la gestión integral del agua requiere de recursos energéticos para acciones como la captación de agua, la desalación y el transporte y distribución hasta los puntos de consumo, así como los tratamientos. El agua y la energía están fuertemente interconectadas y son altamente dependientes. Cerca del 8 % de la energía generada en el planeta se destina al tratamiento, transporte y distribución de agua (Naciones Unidas, 2014). La energía asociada al agua puede suponer hasta un 40% del coste total de producción, por lo que resulta obligatorio plantear objetivos globales y actuaciones destinadas a mejorar la eficiencia y ahorro energético, en el ciclo integral del agua.

En cuanto al ahorro energético en la desalación de agua, en Canarias se han promovido estudios de auditoría energética en las grandes desaladoras de agua de mar en la propia Canarias y las Islas Cabo Verde, que según los casos se ha traducido entre un 30 y un 45 % de ahorro de energía por metro cúbico desalado. El proyecto ISLHÁGUA, del ITC, ha desarrollado y propuesto proyectos de desalación autónoma con energías renovables para localidades aisladas de Cabo Verde.

Ya en el año 2010 se instaló en el municipio de Corralejo, en Fuerteventura, para una desaladora de 4000 m³/día, un parque eólico de autoconsumo de 1,7 MW, el cual representa el 80 % de la energía consumida por la planta, y en picos, el 100%.

Se justifica por tanto el estudio del sistema del presente proyecto, avalado por la planta que actualmente opera con la combinación de dicha tecnología, y además, por los sistemas a menor escala desarrollados en Cabo Verde por parte del ITC.

4.5 Antecedentes de desalación en el Polígono Industrial de Granadilla

Indicados los precedentes en materia de desalación y energía eólica combinada, también mencionamos a continuación, y con vistas a la justificación del presente proyecto en el Polígono Industrial de Granadilla, la alternativa de cambio propuesta en el Plan Hidrológico de Tenerife.

Dicha proposición de cambio contempla un aumento de la producción de agua desalada en Tenerife, prevista para el año 2015, regulando así el aprovechamiento de los recursos subterráneos, mejorando la eficiencia y disminuyendo la demanda.

En el Polígono Industrial de Granadilla está propuesta la instalación de una desaladora (E.D.A.M) con una superficie de 15.400 m² en las coordenadas X= 353.387, Y= 3.107.895 (ver figura 13). Según planeamiento de ordenación estará situada en suelo catalogado como área de interés estratégico, al igual que el emplazamiento del sistema del presente proyecto, quedando así justificada la ubicación del mismo y las propias necesidades hídricas del Polígono.



Figura 13. Emplazamiento de la futura E.D.A.M en Granadilla de Abona

5. Normas y referencias

En este apartado se enumera la normativa, disposiciones legales, referencias bibliográficas y programas de cálculo utilizados para la realización y redacción del presente proyecto.

Normativa aplicada:

- Decreto 32/2006, de 27 de marzo, por el que se regula la instalación y explotación de los parques eólicos en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias.
- “Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables. Instalaciones eólicas” del Gobierno de Canarias
- Ley de Espacios Naturales de Canarias
- Plan Energético de Canarias 2007 (PECAN). Consejería de Industria, Comercio y Nuevas Tecnologías.
- Plan Hidrológico de Tenerife (PHT). Cabildo de Tenerife
- Plan Insular de Ordenación de Tenerife (PIOT). Cabildo de Tenerife
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- UNE 157001:2002, Criterios generales para la elaboración de proyectos.
- UNE-EN ISO 5455, Dibujos técnicos: Escalas.
- UNE 1027:1995. Dibujos técnicos: Plegado de planos

Bibliografía:

A.Robb, Louis. *Diccionario para Ingenieros*. México, 1997.

Iglesias, Manuel Fariña. *ÓSMOSIS INVERSA. Fundamentos, tecnología y aplicaciones*. España: McGRAW-HILL, 1999.

Kucera, Jane. *Reverse Osmosis. Industrial Applications and Processes*. Scrivener, 2010.

Medina San Juan, José Antonio. *Desalación de aguas salobres y de mar. Ósmosis Inversa*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1999.

Soriano, José Agüera. *Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas*. 5ª Edición actualizada. Madrid: Ciencia 3 S.L, 2002.

Programas de cálculo y herramientas utilizadas:

- Software de dimensionado de membranas IMSdesign (Integrated membrane solutions) del fabricante Hydranautics Nitto Company
- Software de dimensionado de membranas Toray 2.0 del fabricante de membranas Toray Membrane
- Software de dimensionado de membranas ROSA9 del fabricante de membranas DOW Filmtec
- Software de dimensionado de recuperación de energía (intercambiador de presión): Power Model ERI v2 del fabricante Energy Recovery Inc.
- Software online de análisis de recuperación de energía (turboCharger): TurboCharger Energy Analysis (Excel) del fabricante Energy Recovery Inc. <http://www.energyrecovery.com//turbocharger-energy-analysis>
- Aplicación online para la selección de bombas de alta presión: Aquabold Selector del fabricante Energy Recovery Inc. <https://eri.intelliquip.com/Party/eri/>
- Aplicación online para la selección de bombas: Grundfos Webcaps del fabricante Grundfos. <http://net.grundfos.com/App/WebCAPS/custom?userid=BGE>

- Aplicación offline para la selección de bombas: KSB EasySelect del fabricante KSB.
- Aplicación online para la selección de bombas: SulzerSelect del fabricante Sulzer
- Microsoft Office Word 2010
- Microsoft Office Excel 2010
- Herramienta de elaboración propia para el cálculo del consumo específico del sistema de desalación (Excel)
- Herramienta de elaboración propia para la evaluación energética de aerogeneradores (Excel)
- Herramienta “Estimación de la Energía producida por un aerogenerador” del ITC. http://www.itccanarias.org/recursoeolico/calculation_tool/index.html
- Aplicación online Visor3D IDE Canarias. <http://visor.grafcan.es/visorweb/>
- Software Google Earth

Otras referencias:

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET): <http://www.aemet.es/es/portada>
- Agencia insular de energía de Tenerife (AIET). www.agenergia.org
- Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF). <http://www.aguastenerife.org/>
- Fundación Centro Canario del Agua. www.fcca.es
- Gobierno de Canarias: <http://www.gobcan.es/>

- Instituto Oceanográfico de Canarias
- Instituto Tecnológico de Canarias (ITC). www.itccanarias.org
- Instituto Tecnológico y de Energías Renovables. www.iter.es
- Mapas de Canarias: <http://www.grafcan.es>
- Plan Territorial parcial de la plataforma logística del sur de Tenerife
- Planes insulares del Cabildo de Tenerife. <http://www.tenerife.es/planes/>
- Proyecto TECNOAGUA promovido por el ITC
- Recurso eólico de Canarias <http://www.itccanarias.org/recursoeolico/home.html>
- Apuntes de la asignatura “Instalaciones y Máquinas Hidráulicas” impartida en la ETSICI en el curso 2012/2013.

6. Definiciones y abreviaturas

A continuación se indicarán conceptos que a lo largo de la redacción de este proyecto se han mencionado y pueden causar confusión en su interpretación, ya sea por su desconocimiento o una descripción poco nítida del mismo.

Respecto a las abreviaturas, al igual que las definiciones, se indicará el significado de aquellas que han sido utilizadas en el desarrollo del presente proyecto.

Definiciones:

- Consumo específico: Parámetro de la instalación que indica el consumo externo de energía por m³ de agua producida.
- Caudal de producto: Caudal de agua desalada (salida de los bastidores de membranas).
- Salmuera o rechazo: Caudal rechazado por las membranas con alto contenido en sales.
- Conversión: Porcentaje que indica en caudal de agua que puede desalarse con un determinado caudal de alimentación.
- Mezcla volumétrica: Mezcla que se produce entre las corrientes de salmuera y de agua de alimentación dentro del intercambiador de presión.

Abreviaturas:

- ETSICI: Escuela técnica superior de ingeniería civil e industrial
- ERI: Energy Recovery Inc.
- FCCA: Centro Canario del Agua
- ITC: Instituto tecnológico de Canarias

- ITER: Instituto tecnológico y de energías renovables
- PHT: Plan hidrológico de Tenerife
- PIOT: Plan Insular de Ordenación de Tenerife
- Ppm: Partes por millón
- TDS: Medida de la salinidad del agua como sólidos totales disueltos
- UTM: Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator

7. Requisitos de diseño

7.1 Datos del peticionario

Como toma de partida de este proyecto, el peticionario, La Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial, encomienda la realización de un estudio de un sistema de desalación alimentado por energía eólica, el cual debe de elaborarse teniendo en cuenta diversos aspectos:

1. Tecnología de desalación: Ósmosis inversa
2. Definir la ubicación de la planta desalinizadora según la disponibilidad del recurso hídrico y el recurso eólico en la Isla de Tenerife (Islas Canarias, España).
3. Establecer la capacidad de la planta justificando las necesidades a cubrir.

Estos datos, definidos como requisitos propios de la entidad que promueve el proyecto, son las consideraciones iniciales con los que se comienza a trabajar. Como se observa, antes de iniciar el análisis de los procesos mecánicos de la planta se realizará un estudio cuidadoso para la elección del emplazamiento (Apartado 8) y además se decidirá la capacidad de la misma, la cual se justificó en el apartado “3. Justificación del proyecto”.

7.1.1 Emplazamiento

En cuanto al emplazamiento, este se establece considerando diversos factores, además de los recursos previamente comentados (eólicos e hídricos), como son las protecciones territoriales, ambientales y litorales, los espacios naturales o de interés ecológico y las zonas marinas protegidas, entre otros. Hay que evaluar las diferentes alternativas que mejor se adapten a los requerimientos establecidos.

El sistema de desalación estará ubicado en el municipio de Granadilla de Abona, en la Isla de Tenerife, concretamente en el Polígono Industrial de Granadilla. El estudio detallado para la ubicación de la planta se recoge en el apartado “8. Situación y emplazamiento”

7.1.2 Capacidad de la planta

La capacidad de la planta será de 4000 m³/día. Este dato se ha fijado como requisito de diseño según lo expuesto en el apartado 3 de este documento, donde se justificó la elección del mismo en base a las necesidades del entorno.

7.2 Datos de partida

Además de las directrices impuestas por el peticionario, para la correcta elaboración de este trabajo, se especifican una serie de parámetros y consideraciones que a continuación se recogen.

7.2.1 Análisis del agua a tratar

El proceso de ósmosis inversa tiene unas amplias posibilidades de utilización, como es el agua salobre, agua de mar o aguas duras. En nuestro caso, y en decisión conjunta al emplazamiento y la ubicación de la planta, el agua de alimentación será agua de mar.

Como base para el diseño de la instalación se debe conocer las características físicas y químicas del agua a tratar. El análisis iónico es imprescindible ya que nos sitúa, respecto a la salinidad, en el rango de membranas que se podrán utilizar y además nos mostrará las limitaciones respecto al rechazo. Este análisis debe de ser lo más completo posible, en especial en los iones monovalentes que presentan más dificultades para su separación.

Los datos referentes al análisis iónico del agua de captación coinciden con el análisis del agua de mar del Océano Atlántico, el cual baña las costas de las Islas Canarias.

Dicho análisis es bastante general y a simple vista pudiera ser poco fiable, pero debemos de citar que la salinidad total y el contenido de sales concretas de un agua de mar es menos variable que el de un agua salobre. Además, las variaciones se producen fundamentalmente en el contenido de sales entre las diferentes zonas, y no en el tipo de iones, variando muy poco las características del agua de mar según la época del año y a lo largo de los años. Por tanto, a modo de conclusión, podemos valernos de esta composición para realizar un dimensionado correcto de nuestra instalación, porque las variaciones serán insignificantes.

A continuación se puede observar el análisis iónico medio del agua de mar del Océano Atlántico a una salinidad del 3,5 % (tabla 1).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL OCEANO ATLÁNTICO		
Elemento	Concentración	Unidades (por Kg)
Cloruro	19.354	g
Sodio	10.77	g
Magnesio	1.29	g
Sulfuro	0.904	g
Calcio	0.412	g
Potasio	0.399	g
Bromo	67	mg
Carbono	27.6	mg
Estroncio	7.9	mg
Boro	4.5	mg
Silicio	2.8	mg
Flúor	1.3	mg
Nitrógeno	420	µg
Litio	174	µg
Rubidio	120	µg
Fósforo	70	µg
Yodo	50	µg
Bario	14	µg
Uranio	3.3	µg
Arsénico	1.7	µg
Aluminio	540	ng
Níquel	0.5	µg
Zinc	0.4	µg
Cesio	0.29	µg
Cobre	0.25	µg
Cadmio	80	ng
Hierro	55	ng
Manganeso	14	ng
Plomo	2	ng
Mercurio	1	ng

Tabla 1. Composición química del agua de mar del Océano Atlántico (FCCA)

En cuanto al pH del agua, se fija en un 8,1, según datos recabados de (Medina San Juan 1999), para el Océano Atlántico.

7.2.2 Temperatura del agua

La influencia de las temperaturas en el funcionamiento de las membranas de ósmosis inversa es importante desde varios puntos de vista, por lo que se tiene muy en cuenta para el diseño.

Por un lado, la solubilidad de algunas sales aumenta con la temperatura y por tanto a temperaturas más elevadas se reducen los riesgos de precipitación, pero un aumento de la temperatura puede provocar la aparición de actividad biológica de microorganismos que ensucian las membranas. Por otro lado, influye en la viscosidad del agua y en la dilatación de los materiales de las membranas. También debemos de tener en cuenta que los índices de boro varían según la temperatura del agua, siendo mayores al aumentar la misma y las presiones requeridas a la entrada de los bastidores también se ven afectadas, como se observa en el anexo II.

La temperatura del agua del Océano Atlántico, y más en concreto, del agua de Canarias, varía en un rango comprendido entre los 17° y los 25°. Esta temperatura está tomada en referencia a la superficie del agua. Según datos contrastados entre la Agencia Estatal de Meteorología y un estudio realizado por la Asociación Oceanográfica, varía entre los 17° en invierno y los 25° en verano, pero este no es un dato fiable para tomarlo como referencia para nuestro análisis, ya que el agua no se capta en la superficie, sino a través de un pozo de captación, como explicaremos en el apartado análisis de soluciones.

Se debe de tener en cuenta, como se indica en el siguiente punto (7.3), el índice Boro, que aumenta a medida que la temperatura del agua es más elevada, por lo que en verano habrá unos índices de Boro en el agua producto.

La diferencia de temperatura entre la superficie y zonas más profundas es directamente proporcional al aumento de la profundidad, siendo más baja cuanto más alejado de la superficie nos encontramos. Pese a esto, las variaciones de temperatura, a la profundidad de captación que se considerará, no serán muy significativas.

Por tanto, para nuestro análisis tomaremos un rango de temperaturas comprendido entre los 17° y los 21°, temperaturas coherentes teniendo en cuenta tanto la temperatura superficial, la época del año y la profundidad del pozo de captación.

7.3 Legislación aplicable

En cuanto a los requisitos de diseño impuestos por la legislación aplicable al ámbito de la desalación y la energía eólica, se indica:

- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

En este RD, y por tanto de obligado cumplimiento, se establece que los niveles de Boro (B) en el agua de consumo no pueden superar 1 mg/l, por lo que se tendrá en cuenta en los análisis como requisito de diseño indispensable.

El Boro es un elemento químico que aparece de forma natural a raíz de la erosión y es liberado al aire, al suelo y al agua. Como metaloide que es, en grandes cantidades en el cuerpo humano puede producir problemas de salud. Debido a su naturaleza, no es fácil de eliminar y las técnicas clásicas y la ósmosis inversa no son satisfactorias, por ello en este estudio se tendrá en cuenta el cumplimiento de dicha normativa.

Además de los índices de Boro comentados, la salinidad del agua producto no debe superar los límites generales de sales fijados en unos 500 ppm. Independientemente de esto, se requerirá la salinidad más baja posible según las condiciones de operación.

- Decreto 32/2006, de 27 de marzo, por el que se regula la instalación y explotación de los parques eólicos en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias.

En este decreto se recoge un requisito indispensable para la localización de los aerogeneradores, los cuales deben situarse al menos a cinco diámetros (rotor) de distancia entre líneas. Por otro lado, la separación entre elementos en la misma línea de actuación debe ser de dos diámetros.

8. Situación y emplazamiento

Los elevados costes de las plantas desaladoras hace que sea necesario realizar estudios previos para poder elegir entre las posibles alternativas que cumplan con los requisitos impuestos por el peticionario y por los requerimientos económicas, sociales, ambientales y del entorno. En este proyecto, para ubicar la planta de desalación de agua de mar alimentada por energía eólica, debemos de tener en cuenta tanto el recurso hídrico, como el eólico.

En primer lugar, señalamos las condiciones básicas que debe de cumplir el emplazamiento:

- Debe localizarse en la Isla de Tenerife, en el archipiélago de las Islas Canarias, perteneciente a España.
- Disponibilidad de recurso hídrico: Agua de mar
- Disponibilidad de recurso eólico

En segundo lugar, las impuestas por el Plan Insular de Ordenación de Tenerife (PIOT-Modelo 2011):

- Cumplir con el Modelo de Ordenación Territorial, respecto a las áreas de regulación homogénea y la distribución de usos
- Cumplir con la Ley de Espacios Naturales de Canarias

En tercer lugar, condiciones de otra índole:

- Alteración o rechazo social. Proximidad a zonas urbanas (residenciales)
- Situación respecto al punto de consumo

Detalladas las condiciones que debe de cumplir el emplazamiento de la planta, procedemos a describir la ubicación elegida.

Para la elección de la misma se procedió a estudiar el recurso eólico, que es el más restrictivo, como primer filtro para desechar distintas zonas de la isla de Tenerife. Consultando el PIOT, en él nos facilitan planos sobre los índices de potencial eólico y el mapa eólico.

El primer filtro que aplicamos es el del índice de potencial eólico, el cual, como podemos observar en la siguiente ilustración, nos indica que las zonas más adecuadas, con unos valores de horas equivalentes entre 3.300 y 3.700 (zona verde), son la zona de Punta de Teno, en el noroeste de la isla, y la zona sureste comprendida entre el municipio de Fasnia y el núcleo urbano de Los Abrigos, en el municipio de Granadilla de Abona.

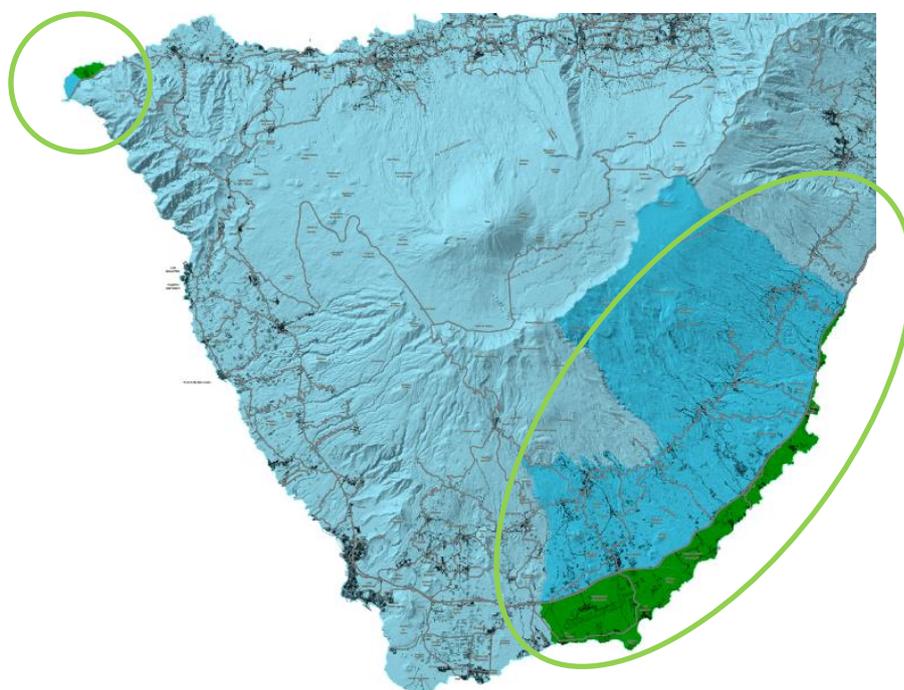


Figura 14. Índices de potencial eólico en Tenerife (PIOT, 2011)

Resultado de este primer estudio, suprimimos la zona de Punta de Teno de nuestro abanico de posibilidades, ya que esta zona está prácticamente deshabitada como para proponer una planta desaladora en ella. Por otro lado, el transporte y suministro de agua al núcleo poblacional más cercano (caserío de Teno alto o el pueblo de Buenavista del Norte) conllevaría multitud de gastos y un elevado impacto ambiental en la zona de Teno, declarada como Parque Rural.

Analizando el mapa eólico de la isla, que está regulado por el planeamiento urbanístico y territorial, acotamos aún más la posible ubicación de la planta, al clasificarse las zonas en potencialmente incompatibles y compatibles (zona azul).



Figura 15. Detalle de mapa eólico de Tenerife (PIOT, 2011)

Una vez detallado el recurso eólico, y observando que hay disponibilidad de recurso hídrico (litoral de la isla), evaluamos los espacios naturales protegidos, en los cuales no se podrá llevar a cabo actividad industrial, a menos que se precise una ley o decreto que lo permita.

Los espacios naturales protegidos que se encuentran en la zona que hemos acotado en el sureste de la isla, son los que se observan a continuación (figura 16):

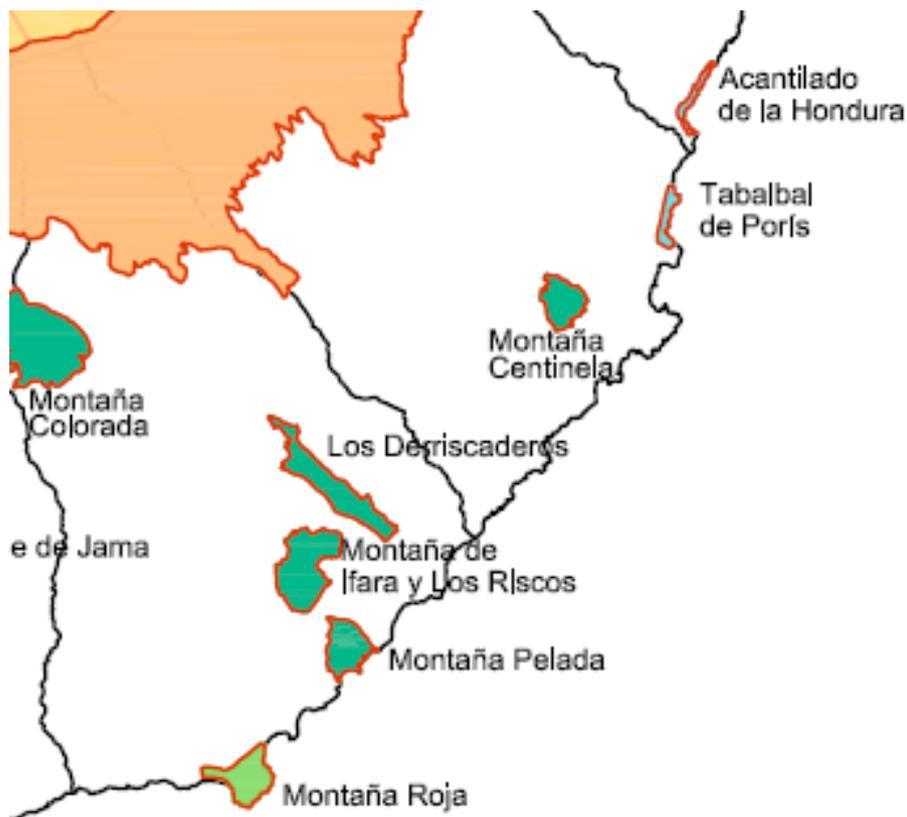


Figura 16. Espacios naturales protegidos de Tenerife (PIOT, 2011)

Los espacios naturales protegidos que afectan la elección de la ubicación son: la Montaña Roja del Médano, la Montaña Pelada, Montaña Centinela, el Tabaibal del Porís, el Acantilado de la Hondura, Los Desriscaderos y la Montaña de Ifara y Los Riscos, según la delimitación impuesta por el recurso eólico. Además, La Montaña Roja del Médano y Los Sebadales del Sur de Tenerife también están catalogados como lugares de importancia comunitaria.

Para concluir el aspecto ambiental, y en relación con la instalación de sistemas de captación de energía eólica, se deben señalar, según recoge el PIOT en su apartado de Espacios Naturales Protegidos, las zonas especiales de protección para las aves (ZEPAS), ubicadas en Teno, Anaga y Tigaiga, las cuáles también están declaradas como espacios naturales protegidos. Estos tres lugares quedan fuera de la zona acotada para el emplazamiento.

Ahora bien, conocido esto, se prosigue a evaluar el Modelo de Regulación Territorial.

Este modelo estructura el territorio según la distribución de usos y los tipos de protección.

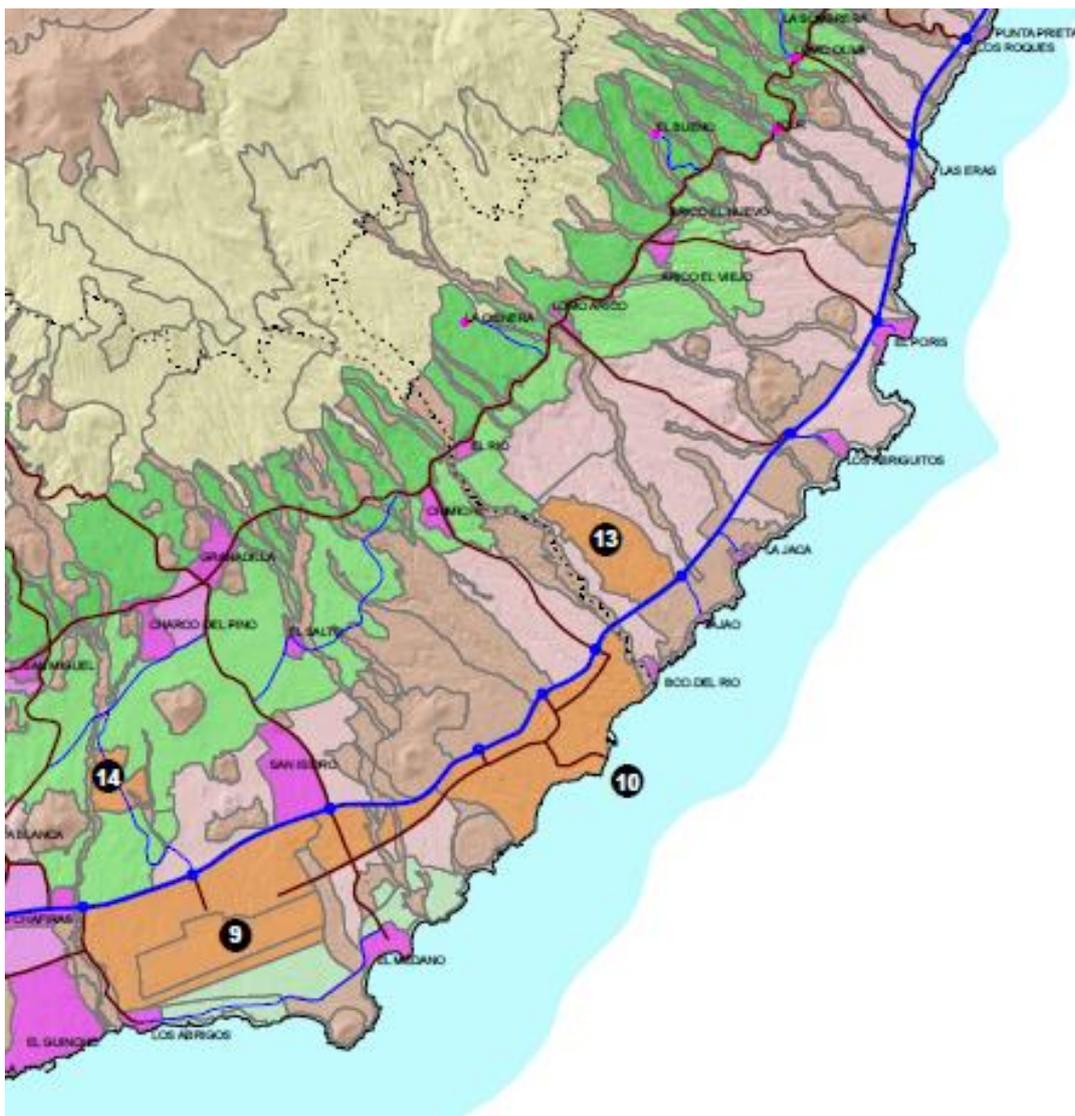


Figura 17. Modelo de ordenación territorial de Tenerife (PIOT, 2011)

En la zona que hemos delimitado, aparecen diversos tipos de protecciones:

- Protección territorial [ROSADO]: Son áreas que no poseen valores naturales o productivos que exijan de protección específica y que no forman parte de las áreas urbanas o dotacionales y sobre las que se pretende salvaguardar los valores del territorio rústico no utilizado.

- Protección ambiental I [MARRÓN]: Son las áreas que tienen una base morfológica para la protección (montañas, conos volcánicos, barrancos) en las que predominan las características del paisaje natural frente a las derivadas de la actividad antrópica.
- Protección costera: Definida para toda la franja litoral excepto el Polígono Industrial de Granadilla y los núcleos residenciales de El Médano y Los Abrigos.
- Área de Interés Estratégico [NARANJA]: Zonas destinadas a infraestructuras, servicios o equipamientos de nivel de servicio insular.

Considerando estas especificaciones, y por tanto, respetando y cumpliendo todo lo estipulado por el Plan Insular de Ordenación de Tenerife (PIOT), la ubicación definitiva para el sistema de desalación alimentado mediante energía eólica es en el Polígono industrial de Granadilla, concretamente en los terrenos situados cerca del Instituto de Energías Renovables (ITER). La ubicación definitiva se puede observar en el plano nº 2, del documento planos.

La ubicación final cumple también con lo estipulado en materia de rechazo o alteración social, ya que está situada en una zona no urbana, siendo el núcleo poblacional más cercano Arenas del Mar, a unos dos kilómetros de distancia.

Respecto al punto de consumo del agua desalada, la instalación se ubica próxima al futuro Puerto de Granadilla, dentro del Polígono Industrial de Granadilla, por lo que no existen problemas de abastecimiento derivados de las distancias entre puntos de generación y consumo.

9. Análisis de soluciones

En este apartado de análisis de soluciones se detallarán las diversas alternativas que se han abordado para alcanzar el diseño final del sistema de desalación alimentado por energía eólica del presente proyecto.

Por un lado se llevará a cabo el estudio del sistema de desalación, en el que se delimitará, en primera instancia, el sistema de captación más adecuado. Luego se dimensionará de la forma más eficiente el núcleo de desalación por ósmosis inversa, considerando los distintos fabricantes de membranas, evaluando el sistema de recuperación de energía y seleccionando las bombas.

Por otro lado se propondrán las soluciones más eficientes para la inclusión del sistema eólico, teniendo en cuenta las características eólicas del emplazamiento del sistema, los requisitos de localización respecto a los aerogeneradores existentes, el consumo específico de la instalación y los propios parámetros del aerogenerador. La evaluación energética se hará considerando un acoplamiento energético promedio anual.

El esquema general de la instalación (desalación + eólica) se puede observar a continuación.

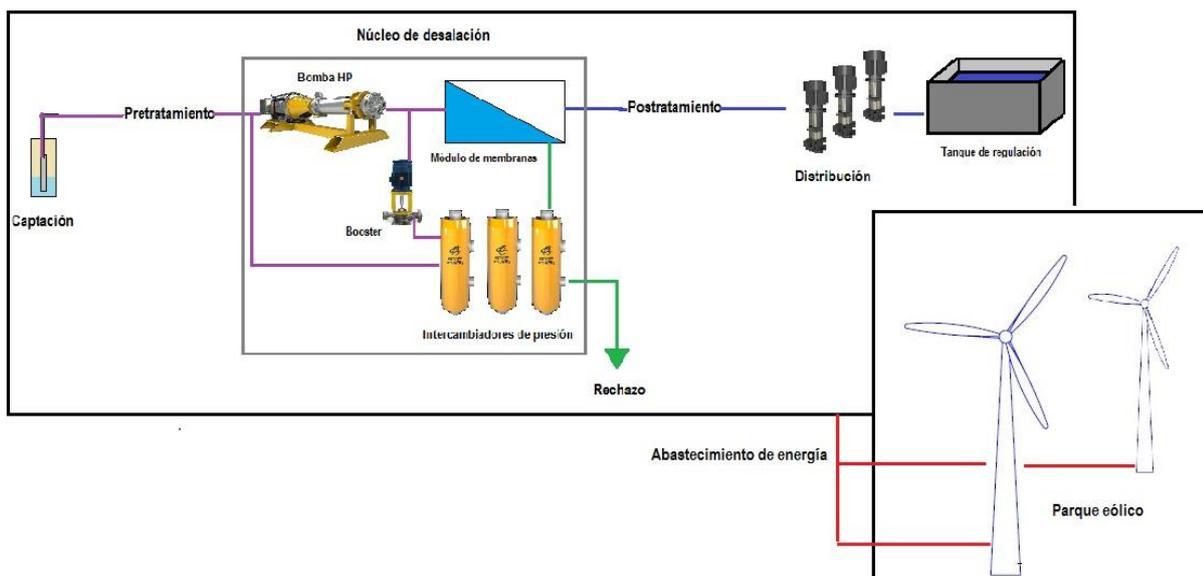


Figura 18. Esquema general del sistema de desalación y parque eólico de autoconsumo

9.1 Sistema de captación

El diseño de la instalación se inicia con la toma o punto de captación que va a alimentar el sistema. Según el tipo de captación de agua, podemos diferenciar entre tomas de agua abiertas o superficiales y cerradas, o a través de pozo.

En primer lugar, se debe de tener en cuenta algunos aspectos referentes a la zona en la que se ubica la planta:

- Zona industrial y de actividad portuaria

El agua del mar en la zona elegida estará afectada por aceites e hidrocarburos derivados de la actividad marítima que se realizará en la zona por la apertura del futuro Puerto de Granadilla. Además, aunque en menor medida, las alteraciones en la temperatura y salinidad del agua por los procesos de refrigeración de la Central Térmica de Granadilla, pese a que ello se lleva a cabo con emisarios submarinos, pueden modificar las condiciones del agua a tratar.

- Fondos arenosos y seabadales marinos



Figura 19. Sebadales marinos (Sebadales.org)

El fondo marino del litoral de Granadilla de Abona está constituido por una gran extensión de seabadales. Estas plantas marinas se enraízan en los lechos arenosos y además de aportar

riqueza y valor al ecosistema marino, aumentan la transparencia del agua, ayudando a que sedimenten las partículas en suspensión y oxigenándola.

Respecto a la protección ambiental que posee este ecosistema, el rechazo debe controlarse adecuadamente mediante emisarios submarinos para que afecte lo más mínimo a las condiciones del medio, pero esto no es competencia del presente proyecto.

Una vez detalladas las condiciones que afectan a la captación de agua en la ubicación indicada, se procede a evaluar la opción más adecuada, según anexo I.

9.1.1 Elección del sistema de captación

Frente a los aspectos citados en el Anexo I, se descartan las tomas de agua abiertas o superficiales.

La actividad marítima que se llevará a cabo en la zona provocará un alto grado de contaminación en el agua del mar. Por otro lado, la presencia de un fondo arenoso con partículas en suspensión y los sebadales (pese a que tengan propiedades depurativas), en sí pueden generar obstrucciones y un alto grado de ensuciamiento en los elementos de captación. Además se tiene en cuenta la presencia de otros aspectos biológicos y orgánicos.

Por tanto, para evitar estos inconvenientes y futuros problemas de operación y disponibilidad de la planta desaladora, se emplearán las captaciones cerradas. Éstas pueden realizarse a través de pozos costeros o playeros, cántaras de captación o cámaras de captación con sondeos verticales. En nuestro caso se llevará a cabo mediante la instalación de pozos costeros.

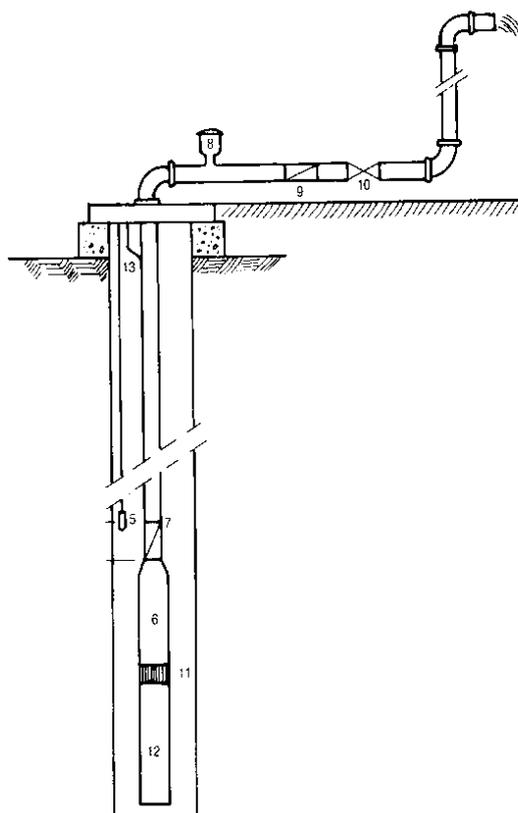


Figura 20. Detalle pozo de captación con bomba sumergida

Hay que considerar también las pérdidas de caudal a medida que pasan los años, ya sea por sobreexplotación del pozo o por condiciones externas al mismo como el arrastre de elementos finos que pueden obstruir el afluyente de agua de mar. También hay que tener en cuenta las averías de las bombas de impulsión.

Las paradas reducen la eficiencia de la instalación provocando elevaciones de costes del agua producto que repercuten en la inversión. Además, reducen la vida de los equipos (especialmente las membranas) y empeoran la calidad del permeado.

Para evitar estos problemas de reducción de caudales y parada de la instalación, pues dejaría la instalación en condiciones muy pobres o provocaría la aparición de obras en un futuro que elevarían demasiado los costes, se llevará a cabo la instalación de tres pozos de captación.

9.1.2 Bombas de captación

Explicado el sistema de captación, para la impulsión del agua de mar se requerirá el uso de varias bombas, una para cada pozo, más la necesidad de instalar una de reserva, para posibles problemas.

El tipo de bombas que se utiliza depende de la solución adoptada, considerando el mayor rendimiento de las mismas. En este proyecto, por las condiciones de sondeo de los pozos y de operación, se utilizarán bombas sumergibles, pese a que el mantenimiento sea más complejo que las bombas verticales.

Las bombas sumergibles no precisan de un equipo de vacío para realizar su cebado y asegurar el funcionamiento sin cavitaciones que puedan dañar las partes mecánicas de la misma.

En el apartado 9.4.1 de este documento se analizará la elección de la bomba con más detalle.

9.2 Núcleo de la desalación

En este apartado se aborda el análisis completo de los elementos que componen el núcleo de desalación por ósmosis inversa del presente proyecto, una vez se ha tomado la decisión respecto al sistema de recuperación del sistema. En la figura 21 se puede observar la configuración general, sin incluir las diferentes válvulas y otros elementos de control, que no son objeto del presente análisis.

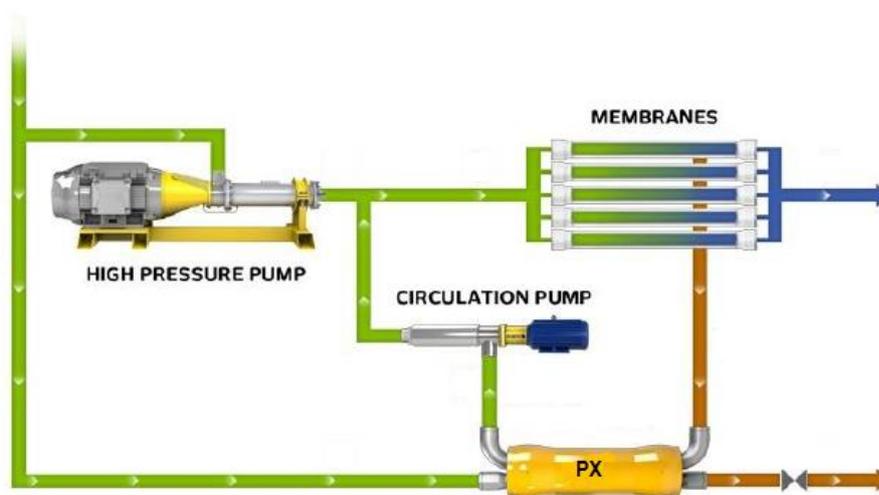


Figura 21. Núcleo de desalación (ERI)

El núcleo de desalación está compuesto por los bastidores de membranas de recuperación, la bomba de alta presión a la entrada de los mismos, y el sistema de recuperación de energía formado por los intercambiadores de presión y la bomba de circulación (Booster).

Se llevará a cabo, en primer lugar, el dimensionado de las membranas para luego definir los elementos de recuperación de energía y finalmente la bomba de alta presión.

9.3.1 Dimensionado de membranas

El análisis de la configuración de membranas adecuada para nuestro sistema comienza por conocer, en primera instancia, los diversos parámetros que tenemos que tener en cuenta en el dimensionado de las membranas, los cuales se indican a continuación y se abordan con más detalle en el anexo I.

- Índices de Boro y salinidad del producto
- Características del agua de alimentación (análisis iónico, pH, temperatura)
- Membranas (Tipos, disposición, edad, pérdidas de carga)
- Otros factores

Tras evaluar dichos factores, se procede a analizar las diferentes posibilidades que se adecuan a las características de trabajo existentes.

Los fabricantes más destacados de membranas actuales que existen en el mercado por su reconocimiento y años de experiencia en el sector son los siguientes:

- Hydranautics a Nitto Group Company



- Toray membrane



- Dow Filmtec



Estos fabricantes proporcionan aplicaciones para el dimensionado de las membranas, las cuales facilitan los cálculos y nos permiten seleccionar los parámetros de diseño más adecuados para la instalación requerida.

Para alcanzar la mejor solución se evalúan estos softwares y en ellos los diversos tipos y configuraciones de membranas para obtener los mejores resultados.

En la siguiente tabla (2) se muestran los requisitos más restrictivos de cara al dimensionado.

Requisitos a cumplir	
Índice de Boro permeado	< 1 mg/L
TDS permeado	<500 ppm
Pérdidas de carga por etapa	<4 kg/cm ²

Tabla 2. Requisitos básicos a cumplir en el dimensionado de las membranas

Mientras, en la tabla 3 se recogen los parámetros de operación de las mismas.

Parámetros de operación	
Rango de temperaturas	17-21 °C
pH de alimentación	8,1
Ajuste de pH	7
Composición química del agua	Según tabla 1 (7.2.1)
Edad de las membranas	3 años
Caudal de permeado	4000 m ³ /día
Conversión	45 %
Factor de ensuciamiento, descenso de flujo y paso de sal	Según fabricante

Tabla 3. Parámetros de operación de las membranas

Debemos indicar que la conversión pudiera elevarse un poco más, ya que actualmente los avances en las membranas lo permiten, pero ello implica un aumento de la presión (forzar la membrana), de los índices de Boro y TDS, y lo más destacable, un incremento de la salinidad de la salmuera que conlleva a problemas de solubilidad y precipitación sobre la membrana.

En cuanto a la disposición de las membranas, se evaluará en una y dos etapas y en diversos arreglos con seis y siete tubos, para obtener los mejores resultados posibles. La configuración de dos etapas se descarta ya que se tienen pérdidas de carga de en torno a 3 bar (independientemente del modelo de membrana) y los resultados de calidad de permeado son peores que con una etapa, además del mayor número de membranas que se necesitan, elevando los costes de la instalación.

Por último, se obtendrá la presión de trabajo mayor con la temperatura de 17°, mientras que los índices de Boro y TDS más desfavorables se obtienen para la temperatura más elevada, de 21°C.

9.3.1.1 Aplicación ROSA9 de Dow Filmtec Membranes

La aplicación disponible por el fabricante Dow de membranas no incluye en el diseño del sistema la opción de recuperación de energía, como se observa en la figura adjunta, por lo que la evaluación no se puede realizar de forma correcta, si se compara con los otros fabricantes. Por esta razón, que altera los parámetros de operación, en este análisis de soluciones no se incluye el estudio a través de este software.

9.3.1.2 Aplicación IMSdesign2012 del fabricante Hydranautics

La aplicación IMSdesign proporciona la posibilidad de evaluar el sistema de membranas incluyendo el sistema de recuperación elegido, por lo que se consigue un dimensionado más realista. El fabricante Hydranautics tiene la siguiente gama de productos para la desalación de agua de mar:

MODELO	DESCRIPCIÓN
SWC4-B	Alto rechazo de Boro
SWC4+MAX	10 % adicional de superficie activa
SWC4+B MAX	10 % adicional de superficie activa y rechazo de Boro
SWC5 LD	Bajo ensuciamiento
SWC5 MAX	10 % adicional de superficie activa

Tabla 4. Modelos aceptables de membranas de Hydranautics

Evaluando todos los modelos y las diversas configuraciones de membranas (arreglo, etapas, número de elementos por tubos), a continuación se recogen algunos de los mejores resultados obtenidos (tabla 5). Se corroboró que con la configuración de dos etapas se logran resultados mucho peores que para una sola etapa. Por otro lado, el número de membranas se limita a seis para evitar los futuros problemas de golpe de ariete. También hay que señalar que se evaluaron las disposiciones híbridas en busca de resultados más eficientes.

Configuración	Boro [ppm]	TDS [ppm]	ΔP [bar]
Híbrida SWC4 MAX/C5MAX (4/2)(40X6)	0,65	141	1,4
SWC4+MAX (40x6)	0,52	112,1	1,2
SWC4+B MAX (40x6)	0,45	124,6	1,2
SWC4-B (40x6)	0,4	111,9	0,6

Tabla 5. Configuraciones de membranas más eficientes de Hydranautics

Para dichas configuraciones, el software indica la utilización de un inhibidor de incrustación. Esta decisión está definida por el índice de saturación de Stiff & Davis para el agua de mar, que al ser negativo representa una tendencia agresiva del agua.

9.3.1.3 Aplicación Toray 2.0 del fabricante Toray

La aplicación Toray 2.0 permite, al igual que la de Hydranautics, realizar un completo diseño con el recuperador de energía. Las membranas disponibles para agua de mar se indican a continuación:

GAMA	DESCRIPCIÓN
TM 800C	Membrana estándar
TM 800M	Alto rechazo de Boro
TM 800R/E	Elevado caudal unitario
TM 800V	Baja energía
TM 800K	Aún no fabricadas

Tabla 6. Modelos aceptables de membranas Toray

Las configuraciones se analizan para las membranas con mayor rechazo de Boro y que normalmente se instalan en las instalaciones del Océano Atlántico, según datos aportados por la empresa Toray España. Este modelo es el TM820M-400, que también puede combinarse con el modelo TM820R-400.

Configuración	Boro [ppm]	TDS [ppm]	ΔP [bar]
Híbrida 820R/820M(3/3)(50X6)	0,6	189,2	0,6
820M-400(50X6)	0.59	175,3	0,9
820M-400 (40x6)	0,5	145,5	0,8

Tabla 7. Configuraciones de membranas más eficientes de Toray

Tras concluir el estudio, la configuración de membranas más eficiente y que posee unos resultados en cuanto a calidad del agua producto mejores, es la del fabricante Hydranautics:

- Modelo membrana SWC4-B con un arreglo 40x6 en una etapa.

Se justifica la misma por ser, entre ambos fabricantes (tabla 5 y 7), la disposición que tiene el mayor rechazo de Boro, por lo que cumple con la legislación y tiene un amplio margen si hubiese variaciones en las características del agua. Además, se consigue el menor contenido en sales del permeado, por lo que la calidad del agua es mucho mejor, y por último, la pérdida de cargas es muy pequeña, de lo que resulta una mayor recuperación de energía y eficiencia de las propias membranas, abaratando los costes de la instalación.

9.3.2 Recuperación de energía

Actualmente, todo proceso industrial contempla dentro de su entorno económico la reducción de los costos energéticos. La ósmosis inversa, al ser un proceso en la que la parte más importante de los costos de funcionamiento corresponden al bombeo de alta presión, a lo largo de los años se ha avanzado en la investigación de los proceso de recuperación de energía a través del rechazo de alta presión. Los sistemas más destacados en la actualidad para recuperar energía se citan a continuación y se detallan con profundidad en el anexo I.

- Turbina Pelton
- Turbobombas y turbocharger
- Intercambiador de presión

9.3.2.1 Análisis del sistema de recuperación de energía

Evaluados los distintos métodos de recuperación de energía actuales, se procede a analizar la solución más adecuada.

En primera instancia, y como se indicó en el anexo I, la turbina Pelton es un método de recuperación un tanto desfasado y con el que se tienen consumos específicos más elevados que con los otros sistemas. Por la tanto no se valorará en el presente estudio.

Una vez se obtuvieron los datos de operación a través del dimensionado de las membranas (9.3.1), se evalúa el recuperador de energía implementando el turbocharger y el intercambiador de presión.

El fabricante elegido, por ser un estándar en la recuperación de energía en la ósmosis inversa, es Energy Recovery Inc., empresa que proporciona al cliente aplicaciones técnicas informáticas para dimensionar los sistemas de recuperación de energía. Con ellas se calcula, a grosso modo, el consumo específico del núcleo de desalación, y ello será justificación más que suficiente para decantarse por un sistema o por otro.

Se comienza estudiando el turbocharger, a través de la aplicación “TurboCharger energy analysis”.

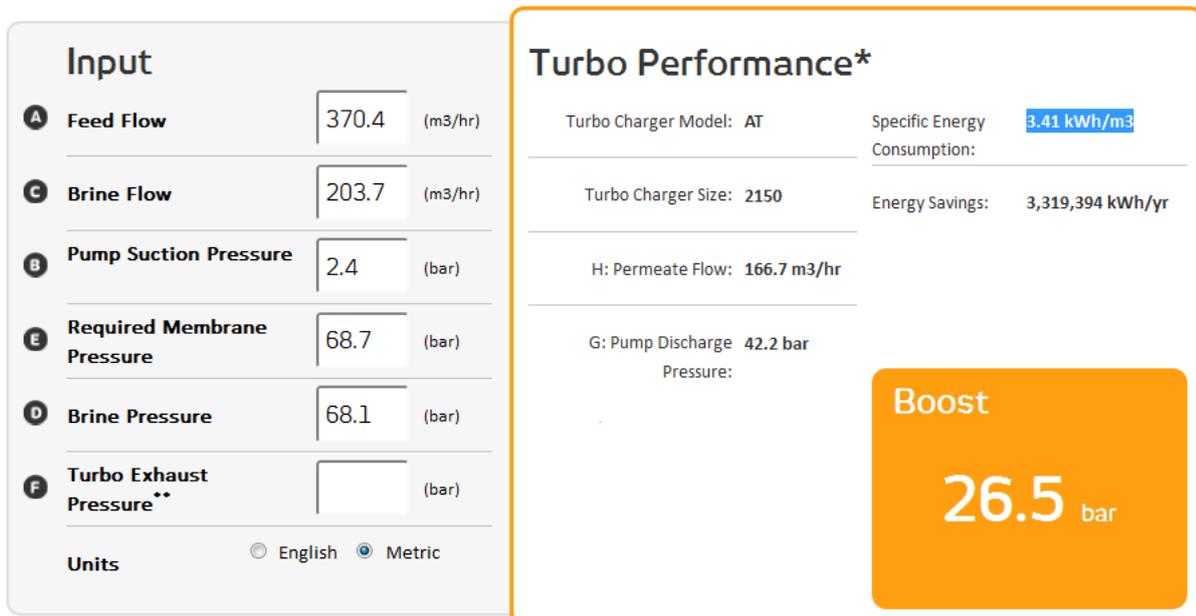
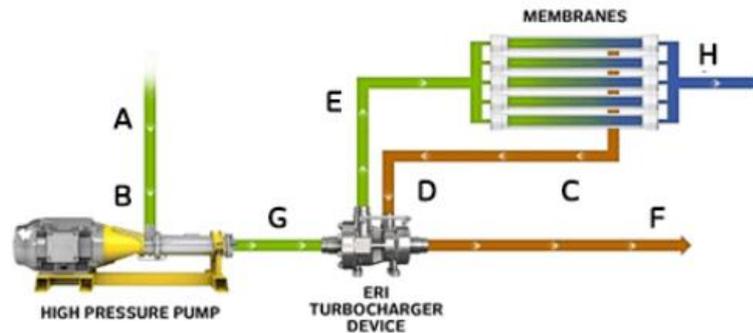


Figura 22. Esquema e interfaz de la aplicación turbocharger de ERI

Como se observa en la figura anterior (22), se introducen los parámetros de operación referentes a presiones y caudales, extraídos del cálculo de membranas, y se obtiene un consumo específico de 3,41 kWh/m³. Hay que señalar que el cálculo está elaborado considerando un 75 % el rendimiento de la bomba de alta presión, por lo que se tendrá en cuenta para el otro sistema.

El análisis del intercambiador de presión se lleva a cabo con la aplicación de Excel extraída de ERI, “Power model ERI”.

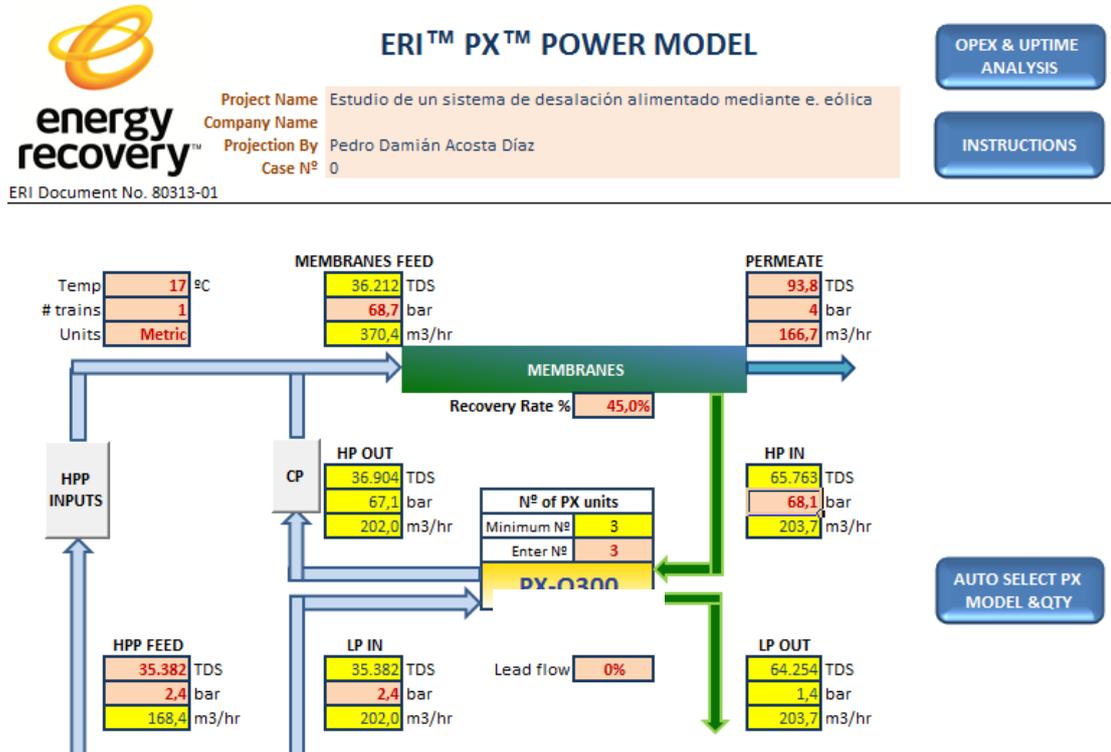


Figura 23. Interfaz del software de dimensionado de intercambiador de presión (ERI)

Se evalúa con los mismos parámetros introducidos para el software del turbocharguer (sin incluir la etapa de captación), y se alcanza un consumo específico del núcleo de desalación de 2,83 kWh/m³, con una eficiencia del intercambiador de presión del 96,28 %.

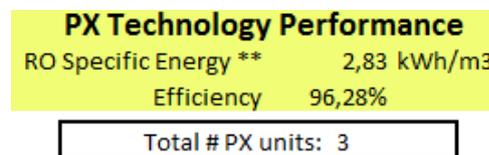


Figura 24. Resultados energéticos para el intercambiador de presión

Comparando ambas tecnologías, se observa como con el intercambiador de presión se logra un menor consumo energético en el núcleo de desalación que si se implanta el sistema de turbocharger. Finalmente, para el presente proyecto, se instalará la tecnología de recuperación de energía a través de intercambiadores de presión.

Tecnología	C.E [kWh/m ³]
Turbocharger	3,41
Intercambiador de presión	2,83

Tabla 8. Comparación de consumos específicos con ambas tecnologías (turbocharger e I. de presión)

Definida la recuperación de energía, se analiza el modelo de intercambiador de presión disponible más eficiente para nuestro sistema.

El fabricante Energy Recovery tiene dos gamas de productos, la PX-Q Series y la PX-S Series. La PX-S suele estar indicada para plantas con una elevada capacidad. En ambas, los rendimientos rondan el 97 %.



Figura 25. Apariencia del modelo PXQ (izq.) y PXS (der.) de intercambiadores de presión de ERI

Elaborando un análisis de soluciones con los distintos modelos que ofrece cada gama, se llegan a las siguientes conclusiones, considerando el número de unidades y el consumo específico para cada configuración. En la siguiente tabla (9) se recogen las configuraciones más eficientes.

Modelo	C.E [kWh/m ³]	Unidades	Eficiencia [%]
PX 140S	2,69	7	94,72
PX 300	2,64	3	95,98
PX Q300	2,63	3	96,28

Tabla 9. Comparación de eficiencias con los distintos modelos de intercambiadores de presión de ERI

Como se observa, el modelo PX Q300 es el que posee una mayor eficiencia (96,28 %), resultando en un ahorro energético en el núcleo de desalación. Además el número de unidades de elementos (3) es importante por la reducción del espacio necesario y la acotación del presupuesto final de la instalación. Por tanto se instalarán tres unidades PX Q300 para conformar el sistema de recuperación de energía.

9.3.3 Dimensionado de bomba de alta presión y bomba booster

La correcta selección de una bomba se basa en los siguientes parámetros:

- Presión y caudal necesario
- Rendimiento
- Materiales, mantenimiento
- Nivel de ruido y vibraciones
- Costes

Para la alta presión en ósmosis inversa, las bombas centrífugas son más adecuadas que las de desplazamiento positivo debido a la ausencia de pulsaciones, la mejor operatividad y mantenimiento.

La elección de la bomba de alta presión se evaluará para dos fabricantes, Energy Recovery Inc. y el fabricante alemán KSB. Ambos fabrican bombas centrífugas multietapas de alta presión. Los parámetros más importantes a tener en cuenta serán el punto de funcionamiento y la eficiencia.

En cuanto al fabricante ERI, proporciona una aplicación online, “Aquabold Selector”, la cual, a través del punto de operación, genera un listado de bombas que se adaptan a las condiciones establecidas.

Los tipos de bombas que fabrican son la Aquabold 2x3x5, 3x4x7 y la 4x6x9. Las dos primeras operan con caudales menores a 150 m³, por lo que no son consideradas.

Entre las bombas filtradas, destacan los siguientes modelos:

Modelo	Eficiencia [%]
4x6x9-A	79,75
4x6x9-B	79,62

Tabla 10. Eficiencias de las bombas de alta presión de ERI

Ambas bombas cumplen con los parámetros de operación. En cuanto a la eficiencia, tienen prácticamente la misma, por lo que nos remitimos a un tercer factor para considerar la bomba más adecuada. Este es el precio, siendo unos 15.000 € más barata la bomba 4x6x9-A, que además tiene una eficiencia ligeramente mayor.



Figura 26. Apariencia de la bomba Aquabold de ERI

En cuanto al fabricante KSB, la gama de bombas disponibles para operar en sistemas de ósmosis inversa es Multitec, bombas centrífugas multietapas, con disposición horizontal o vertical.

Esta empresa pone a disposición del cliente una herramienta para la elección y dimensionado de las bombas “KSBEasySelect”, que al igual que la de “ERI”, nos muestra las bombas que cumplen o se aproximan a las condiciones de operación requeridas.

Para los parámetros de funcionamiento necesarios, el programa emite las siguientes alternativas más eficientes (tabla 11):

Modelo	Eficiencia [%]
Multitec CA 100-8.1 (10)	75,87
Multitec CA 125.91 (6)	72,63

Tabla 11. Eficiencias de las bombas de alta presión de KSB

En primer lugar, las dos bombas permiten las condiciones de operación. En términos de eficiencia, la bomba 100-8.1 tiene un rendimiento más elevado y además, respecto al tamaño constructivo, dicha bomba es más compacta.

Como aspecto negativo de la misma, el precio de la 100-8.1 es más elevado que la 125.91, según el fabricante, por el número de etapas de la misma (10).

Concluyendo, se selecciona la bomba Aquabold 4x6x9-A por tener una eficiencia mayor, además de satisfacer los requisitos de operación. También hay que tener en cuenta que se obtendrá un rendimiento virtual más adecuado del núcleo de desalación, entendiéndose por virtual las sinergias resultantes de poseer un sistema que opera conjuntamente con las mismas características de diseño (mismo fabricante).

Estudiada la bomba de alta presión, se procede a evaluar la bomba booster. Esta forma parte del sistema de recuperación de energía, por lo que el fabricante es el mismo, “ERI”.

La familia de bombas de circulación con la que trabaja la empresa son las HP-Circulation pump y las VP-Circulation pump. Las primeras se descartan del análisis porque la bomba del sistema trabaja elevando bajas presiones.

Los modelos de la gama VP son VP-3471, VP-6891 y la VP-4671. La primera de ellas opera con caudales máximos menores de los requeridos para el sistema a estudio (202 m^3). Las otras dos bombas si tienen un rango de trabajo aceptable, pero a la altura útil requerida, la bomba VP-4671 tiene mejores prestaciones en cuanto a rendimiento.

Modelo	Eficiencia [%]
VP-4671	77
VP-6891	69

Tabla 12. Eficiencias de las bombas booster de ERI

Por lo tanto, la bomba seleccionada es la VP-4671 Circulation pump.

Con esta elección se completa el dimensionado del núcleo de desalación de ósmosis inversa. Los cálculos detallados de la elección de cada elemento se recogen en el anexo II.

9.4 Sistema de bombeo de captación y distribución

Para el correcto dimensionado de los sistemas de bombeo de captación del agua de alimentación y de distribución del agua de suministro, se evalúan las pérdidas de carga de las conducciones (colectores) para ambas.

Para dichas conducciones se debe elegir entre los distintos tipos de materiales existentes en el mercado, según los factores que inciden negativamente en ellos, como son la corrosión, erosión, las picaduras (pitting), fisuras, etc.

Normalmente para los colectores de impulsión y distribución, de baja presión, se suelen usar materiales plásticos por ser más resistentes a la corrosión (salinidad, pH), que otros como los metálicos, además de soportar presiones medias. Los más empleados son el PVC o el polipropileno en diámetros pequeños mientras que el PRFV, para diámetros superiores.

El material de diseño de ambas conducciones elegido es PRFV (Plástico reforzado con fibra de vidrio), ya que opera a baja presión y es muy resistente tanto a la corrosión como a los productos químicos. Además, es más óptimo para un diámetro interior de tubería de 300 y 200 mm, con el cual se alcanzan velocidades medias de 1,5 m/s, que son aceptables. Los cálculos de pérdidas de carga y alturas útiles de bomba se detallan en el anexo II.

9.4.1 Bombas de captación

El tipo de bombas que se utiliza en la captación de agua depende de la solución adoptada para ésta, aunque se trata que tengan la mayor eficiencia posible. Es preferible, por su fácil mantenimiento, las bombas verticales en vez de las sumergidas.

Las bombas verticales requieren de un equipo de vacío, individual o conjunto, para realizar el cebado de la misma y asegurar el funcionamiento homogéneo sin cavitaciones.

Lo ideal es utilizar varias bombas, que puedan abastecer de forma suficiente los bastidores, y colocar alguna otra de reserva. Sin embargo a veces es más barato colocar una sola bomba que abastece los módulos de ósmosis inversa.

En la instalación se llevarán a cabo la construcción de tres pozos de captación, por lo que el caudal necesario para la planta se dividirá entre las tres bombas dispuestas. La altura útil necesaria para elevar el agua de alimentación del pozo hasta la instalación se detalla en el anexo II.

Para la elección de estas bombas, estudiamos tres soluciones posibles que nos proporcionan los fabricantes KSB, Sulzer y Grundfos.



El fabricante KSB, a través del software que mencionamos con anterioridad para evaluar la bomba de alta presión (KSBEasySelect), nos permite seleccionar bombas de la familia UPA,

de bombas sumergibles, para la extracción de aguas subterráneas a través de pozos de captación. También dispone de la familia Omega/RDLO, de bombas verticales de cámara partida y monoetapa. Tras analizar ambas gamas, se obtienen los siguientes resultados más destacados:

Modelo	Eficiencia [%]
UPA 200B-130	79,2
Omega 080-270A	75,7

Tabla 13. Eficiencias de las bombas de captación de KSB

El fabricante Grundfos, a través de la aplicación online “Grundfos Webcaps”, permite la evaluación de los distintos tipos de bombas disponibles para la captación de aguas subterráneas por medio de bombas sumergibles. A continuación se recogen los más eficientes.

Modelo	Eficiencia [%]
SP-125-3	76,5
SP-95-9	52

Tabla 14. Eficiencias de las bombas de captación de Grundfos

Por último, el fabricante Sulzer, a través de la aplicación “SulzerSelect”, al igual que las de los otros fabricantes, permite evaluar las bombas de captación con las condiciones de operación. El modelo aceptado con las mejores prestaciones se muestra en al siguiente tabla (15). Dicho modelo es una bomba horizontal.

Modelo	Eficiencia [%]
A21-65 O	77,7

Tabla 15. Eficiencia de la bomba de captación de Sulzer

Se observa como actualmente las bombas sumergibles han evolucionado tecnológicamente y se consiguen mejores rendimientos que con bombas verticales u horizontales. Además con las bombas sumergibles se evitan los problemas de aspiración que derivan en cavitaciones que reducen la vida útil de las mismas.

Las bombas de captación serán bombas sumergibles modelo UPA 200B-130, del fabricante KSB, con un rendimiento mecánico del 79,2 %.

Hay que señalar también que se evaluaron dichos modelos suponiendo su operación a caudal completo (una única bomba), obteniéndose rendimientos por debajo del 70 %. Además de que este tipo de solución es muy arriesgada para la estabilidad y disponibilidad operacional de la planta de desalación.

9.4.2 Bombas de distribución

El número de bombas de distribución, al igual que las de captación, será de tres unidades para obtener así un mejor rendimiento y evitar los problemas comentados en el anterior apartado.

Se evalúan los modelos disponibles de bombas de distintas configuraciones mecánicas de KSB y Grundfos, a través de las aplicaciones disponibles por cada uno de ellos.

Para KSB, el tipo de bomba que cumple mejor con las especificaciones de funcionamiento para elevar el agua de la planta desaladora al tanque de regulación, es de disposición horizontal monoetapa, obteniendo para el modelo Eternon 065-050-200, un rendimiento del 69,5 %.

Mientras, Grundfos dispone de bombas verticales multicelulares. Para esta gama el modelo más adecuado para el sistema es el CR 64-2, con una eficiencia del 76,1 %.

Por tanto, y teniendo en cuenta los rendimientos de ambos modelos, seleccionamos la bomba CR 64-2 del fabricante Grundfos.

9.5 Evaluación energética y sistema eólico

Tras dimensionar el núcleo de desalación y los sistemas de bombeo de captación y distribución, se evalúa el consumo específico de la planta a través de la aplicación de Excel de elaboración propia que se detalla en el anexo IV.

Parámetros energéticos	
Potencia total	553,8 kW
Consumo específico	3,32 kWh/m ³

Tabla 16. Parámetros energéticos del sistema de desalación

Con este consumo energético se procede a realizar el análisis para la correcta elección del aerogenerador, teniendo en cuenta un coeficiente de disponibilidad de la misma del 95 %.

Los factores a tener en cuenta para instalar un aerogenerador se indican a continuación:

- Localización del aerogenerador según legislación
- Índices de potencial y recurso eólico
- Eficiencia
- Tamaño
- Costes

En primer lugar, en cuanto a la ubicación de los aerogeneradores, según Decreto 32/2006, de 27 de marzo, por el que se regula la instalación y explotación de los parques eólicos en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias, el aerogenerador debe situarse al menos a cinco diámetros (rotor) de distancia entre líneas. Por otro lado, la separación entre elementos en la misma línea de actuación debe ser de dos diámetros. Esta es la condición más importante para implantar el sistema de captación eólico, pero ello implica conocer las especificaciones técnicas de cada aerogenerador.

También, respecto al emplazamiento, hay que considerar otros aspectos importantes de cara a la eficiencia del sistema. Por un lado la presencia de obstáculos puede modificar el nivel general de la zona, mientras que las colinas provocan un incremento de la captación eólica. Por otro lado se debe prestar atención a la accesibilidad de lugar para la instalación de los aerogeneradores. En cuanto a estos aspectos, la situación del sistema de desalación presenta una buena comunicación, tanto terrestre como marítima para llevar a cabo la instalación del sistema eólico, y en la zona no hay obstáculos que destacar que alteren los parámetros de operación del mismo.

Por otro lado se evalúa el recurso eólico de la zona donde se ubica el sistema desalador y que se indicó en el apartado 8 de esta memoria, a través del detalle de datos numéricos de recurso eólico por islas que proporciona el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC).

Delimitando el emplazamiento del parque eólico al tener en cuenta la existencia de aerogeneradores en el ITER (distancia mínima) y otras consideraciones evaluadas, las localizaciones más aprovechables en cuestión de potencial eólico, tras un análisis con más de diez emplazamientos distintos, son las siguientes, extraídas de la herramienta IDECanarias Visor 3.0.

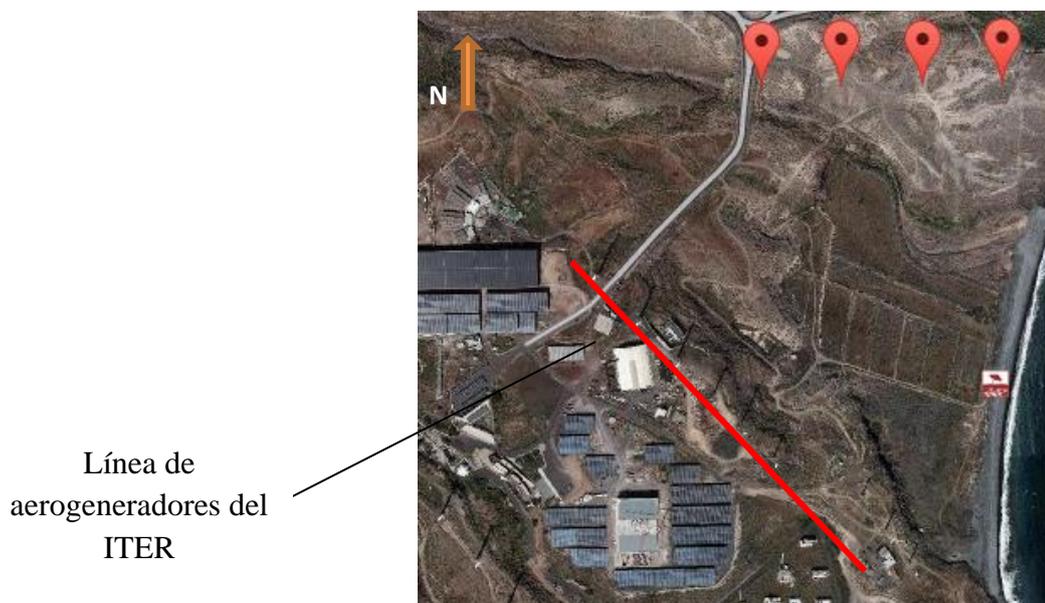


Figura 27. Indicación de la línea de aerogeneradores más próxima a la ubicación del parque eólico

En la siguiente tabla (17) se recogen los datos referentes a velocidades medias del viento y factores de forma de cada ubicación señalada, con sus coordenadas en UTM, además de las distancias mínimas entre líneas de aerogeneradores.

Coordenadas	Velocidad media [m/s]	Factor de forma [a 40 m]	Mínima distancia a la línea del ITER [m]
X=351650, Y=3106350	6,49	2,114	340
X=351750, Y=3106350	6,61	2,109	400
X=351850, Y=3106350	6,63	2,104	460
X=351950, Y=3106350	6,6	2,099	540

Tabla 17. Datos eólicos de los emplazamientos más eficientes para el parque eólico

A primera vista, los mejores parámetros son los de las ubicaciones más cercanas al mar que además tienen las distancias más largas a la línea de los aerogeneradores del ITER. Hay que señalar que una localización es más aprovechable energéticamente cuanto mayor es la velocidad media anual del viento y el factor de forma es más bajo. Por lo tanto, estas dos localizaciones son las seleccionadas para el estudio (X=351850, Y=3106350 y X=351950, Y=3106350).

Realizado esto, se procede a evaluar los distintos modelos de aerogeneradores que actualmente están en el mercado. El análisis se lleva a cabo para unos treinta tipos distintos. A continuación se indican, por rangos de potencia promedio generada, los aerogeneradores analizados, considerando que el parque eólico lo conforma un único elemento. La deducción de las potencias promedio se realiza a través de la herramienta online del ITC, “Estimación de la energía producida por un aerogenerador”, ya que posee una base de datos extensa de modelos y el cálculo se estima rápidamente.

- Potencia promedio generada <200 kW: Aerogeneradores Hanseatische, Get 41, Südwind Energy S.46, Turbowind T600-48, Wind World, Ventis.
- Potencia promedio generada 200-600 kW: Aerogeneradores Demind, Enron Wind EW-1500SL, Esozen Vensys 70, Izar bonus 1.3, Neg Micon, Mitsubishi MWT500, Gamesa G52/58 850, Seewind 52/750, Made AE-61-1.32.
- Potencia promedio generada >650 kW: Aerogeneradores Clipperwind, Ecotecnia 2.0 y 8.16, Enercon E-82 y E-72 2.3, Gamesa G80 2.0, Repower MM82, Siemens, Vestas V80 2.0.

La planta desaladora tiene un consumo energético de aproximadamente 530 kW, teniendo en cuenta la disponibilidad de la misma. El parque eólico a instalar debe de garantizar esta demanda de electricidad, sin suponer unos elevados costes de inversión.

De las soluciones posibles estudiadas, los aerogeneradores con una potencia promedio menor a 200 kW son descartados, por requerir de un mínimo de tres unidades y en algún modelo en concreto hasta 4 o 5 unidades, para garantizar la demanda de energía. Esto eleva los costes, tanto de inversión como de mantenimiento, además de ser necesaria una extensión de terreno amplia para cumplir con los requerimientos técnicos y de normativa.

En cuanto a los aerogeneradores de más de 650 kW de potencia promedio generada, supera ampliamente los requisitos del sistema de desalación, por lo que elevarían los costes sin necesidad, teniendo que vender una gran cantidad de energía a la red insular de electricidad.

Por tanto acotamos la elección a los aerogeneradores entre 200 y 500 kW de potencia promedio generada, para los que se presentan dos alternativas aceptables para cubrir la demanda.

La Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables del Gobierno de Canarias señala una serie de coeficientes que son de aplicación para evaluar correctamente la energía generada por un captador eólico. Estos son:

- Coeficiente de disponibilidad,
- Coeficiente de fallos de la red
- Coeficiente de pérdidas eléctricas.

El coeficiente de disponibilidad es suministrado por la compañía fabricante de los equipos, el coeficiente de fallos de red será estimado en función de los datos de la Compañía Eléctrica sobre el TIEPI (tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada). El coeficiente de pérdidas eléctricas responderá a las pérdidas por efecto joule que se producirán en la red de BT/AT.

Para las alternativas a estudio, son de aplicación dichos coeficientes que estimamos para llevar a cabo una evaluación más realista.

Coeficientes	[%]
Disponibilidad	97
Fallos de la red	2
Pérdidas eléctricas	3

Tabla 18. Coeficientes de aplicación sobre la generación energética del aerogenerador

Los aerogeneradores seleccionados para el análisis final y las potencias generadas, considerando las pérdidas energéticas anteriores, son, evaluados para las coordenadas fijadas en el anexo II, los que se muestran a continuación en la tabla 19.

Modelos	Altura torre [m]	Potencia promedio [kW]	Energía anual estimada con pérdidas [MWh]
Eozen Vensys 70	65	561,17	4530
Gamesa G52/850 (x2)	44	519,14	4321
Gamesa G58/850 (x2)	44	596,72	4817

Tabla 19. Modelos aceptados de aerogeneradores

Finalmente se elige la opción de instalar dos aerogeneradores del modelo G58/850 kW del fabricante Gamesa por diversos factores a tener en cuenta. En primer lugar, los requerimientos energéticos. Con el modelo Eozen Vensys y considerando las pérdidas, no se consigue la

potencia estimada, por lo que el balance económico de energía no sería cero. Por otro lado, disponer de un único aerogenerador es una opción un tanto arriesgada de cara a mantener la planta operativa. En el caso de producirse averías graves en el mismo y tener que recurrir a energía de la red o incluso la parada temporal de la planta, tiene repercusiones muy graves en los costes de producción del sistema. Instalando dos unidades más pequeñas se reparte el riesgo de avería. Por otro lado, el tamaño es otro factor a considerar. La altura de la torre representa el 20 % del coste del aerogenerador, siendo más conveniente torres pequeñas para ahorrar costes derivados del uso de grandes grúas. El impacto visual y ambiental que suponen los aerogeneradores de grandes dimensiones es también otro aspecto para tomar la decisión final. Hay que indicar por último las garantías y disponibilidad en España que ofrece el fabricante Gamesa, siendo el líder en España de fabricación, venta e instalación de turbinas eólicas, acumulando en este país unos 3.500 MW instalados.

Seleccionado el elemento, debe de cumplir con los requisitos impuestos por Decreto, debiendo estar a una distancia mínima de cinco diámetros de rotor, de otra línea de aerogeneradores. El diámetro del rotor del modelo indicado es de 58 m. Por tanto, la distancia mínima debe ser de 290 m, la cual se cumple ampliamente.

El parque eólico a instalar constará de dos elementos, que según Decreto, deben situarse a dos diámetros de distancia entre elementos de una misma línea, por tanto, la distancia mínima será de 116 m. Se puede observar como la distancia entre emplazamiento comentada anteriormente no cumple con este requisito. Las coordenadas finales para los aerogeneradores, distanciados 150 m, serán:

- (X=351850, Y=3106350 y X=352000, Y=3106350)

10. Resultados finales

En este apartado de la memoria se procederá a detallar la configuración final del sistema de desalación de agua de mar por ósmosis inversa alimentado con energía eólica, con una capacidad de 4000 m³/día, emplazado en el Polígono Industrial de Granadilla, en Tenerife.

Se llevará a cabo una descripción precisa del diseño y dimensionado final del sistema, la ubicación definitiva, la constitución del núcleo de desalación, los sistemas de bombeo de captación y distribución de agua y el parque eólico de autoconsumo evaluado para un acoplamiento promedio anual, tras las conclusiones alcanzadas en el análisis de soluciones, siendo coherente con los requisitos de diseño y el propio alcance del presente proyecto.

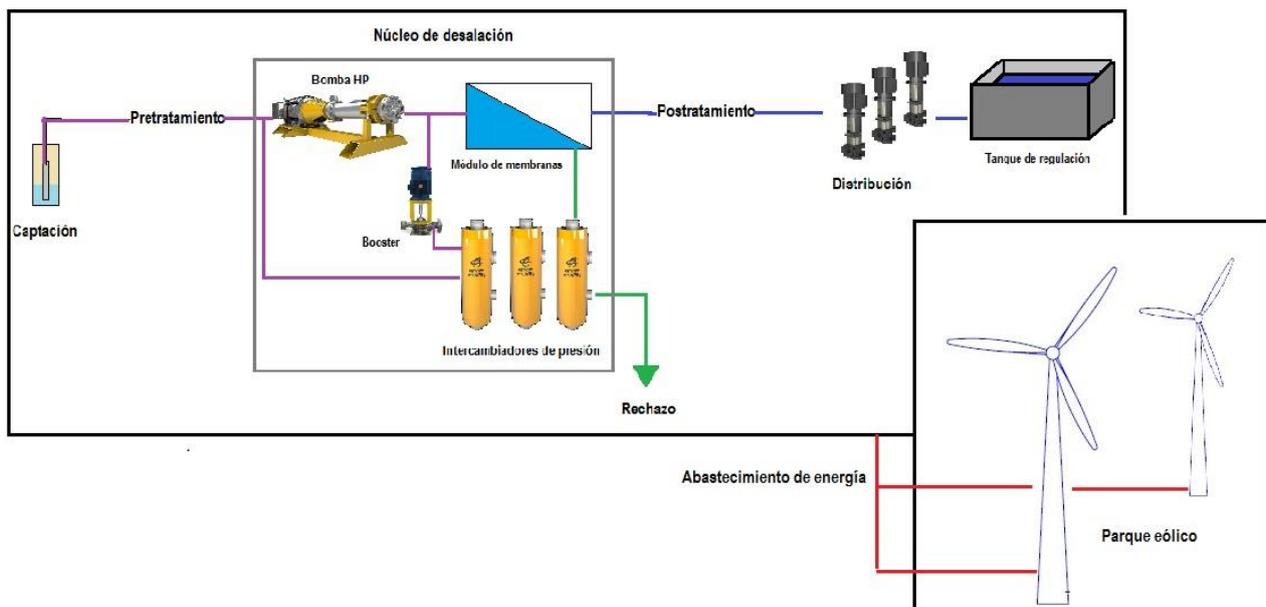


Figura 28. Esquema general del sistema de desalación y parque eólico de autoconsumo

10.1 Emplazamiento del sistema

El sistema de desalación por ósmosis inversa alimentado con energía eólica estará situado, según apartado 8 de este documento, y planos nº 1 y nº 2 del documento planos, en el Polígono Industrial de Granadilla, en el municipio de Granadilla de Abona en Tenerife, Islas Canarias, España. El emplazamiento detallado se puede consultar en el plano nº 2, donde se indica la ubicación exacta de la planta y la disposición y localización de los aerogeneradores.

Este emplazamiento está justificado en el apartado 8, según legislación y disposiciones generales vigentes, y teniendo en cuenta los recursos eólico e hídricos de la Isla de Tenerife, cumpliendo con todos los requisitos legales.

10.2 Captación de agua de mar

La captación del agua de mar, según lo abordado en el apartado anterior de análisis de soluciones de este documento, se llevará a cabo a través de tres pozos de captación, localizados según plano nº 2 del documento planos. La profundidad de los mismos será de 20 m, según estudio y reconocimiento geotécnico externo.

La tubería de impulsión será de 300 mm de diámetro y 250 m de longitud, de material PRFV. Se consideran las pérdidas de carga en la misma, las cuales se adjuntan en el anexo II (apartado 2.5).

Cada pozo constará de una bomba sumergible, modelo UPA 200B-130/4d que operará con un caudal de 123,47 m³/h y una altura útil de 54,17 m. El caudal total a elevar será de 370,4 m³/h. Se dispondrá también de una bomba de repuesto.

Los cálculos para la elección de este modelo y las especificaciones técnicas de la misma se pueden consultar en el anexo II y VI respectivamente.

10.3 Núcleo de desalación

El núcleo de desalación por ósmosis inversa que se implementará en el sistema es el compuesto por el módulo de membranas, el sistema de recuperación de energía a través de intercambiador de presión y bomba booster, y la bomba de alta presión del agua de alimentación, como se indicó en la figura 21.

10.3.1 Módulo de membranas

Tras llevar a cabo el análisis de soluciones y seleccionar el fabricante de membranas más eficiente para las condiciones y requisitos de diseño y operación fijados, además de los diversos parámetros a tener en cuenta para su correcto dimensionado, se concluyó que la configuración más idónea era la siguiente:

- Modelo membrana SWC4-B con un arreglo 40x6 en una etapa.

Se instalará un bastidor con un arreglo de 40x6 membranas, es decir, 240 elementos, del modelo SWC4-B, de arrollamiento en espiral y alto rechazo de boro, del fabricante Hydranautics, según especificaciones técnicas presentes en el anexo VI. Los cálculos detallados para dimensionar las mismas se recogen en el anexo II, evaluados a través de la aplicación IMSdesign de dicho fabricante.

Se requiere también, según diseño, la instalación de un inhibidor de incrustación antes de la entrada a las membranas.

Los parámetros de operación, según la edad de las membranas y la temperatura de diseño, se recogen en el anexo III, en el cual se puede observar como se alteran dichos parámetros según el ensuciamiento de las membranas y las condiciones de temperatura.

Considerando la edad de las membranas de 3 años, como año más significativo, y la temperatura del agua de diseño 17°C, la más baja del rango del agua de alimentación, la presión de alimentación es de 68,7 bar, con un caudal de 370,4 m³/h.

Respecto a los índices de Boro y salinidad, para las condiciones más desfavorables, son de 0,4 y 112 ppm, respectivamente. En el año cero, al arrancar la planta, estos índices son mucho más bajos, según anexo III.

Los resultados finales y el desglose de parámetros por elementos se recogen en el informe final emitido por el software IMSdesign, en el anexo V.

10.3.2 Sistema de recuperación de energía

El sistema de recuperación de energía, en base a lo estudiado en el análisis de soluciones y según los requisitos de operación impuestos por el dimensionado de las membranas para el tercer año de funcionamiento, estará constituido por los siguientes elementos:

- 3 intercambiadores de presión modelo PX-Q300
- 1 bomba booster modelo VP-4671

El tren de producción de desalación contendrá tres unidades de intercambiadores de presión modelo PX-Q300, del fabricante Energy Recovery Inc. que constituirán un ahorro energético considerable en la planta. Las especificaciones técnicas de este modelo se pueden consultar en el anexo VI, en su ficha técnica.

El caudal unitario de cada elemento es de 67,9 m³/h con una eficiencia del 96,28 %, según cálculos reflejados en el anexo II.

Respecto a la bomba booster, se instalará el modelo de baja presión VP-4671, del fabricante Energy Recovery Inc, para elevar la presión del caudal de salida del intercambiador de 67,1 bar a 68,7 bar. Al igual que el intercambiador de presión, las características técnicas y las curvas características se observan en el anexo VI.

Esta bomba opera con un caudal de 202 m³/h y un rendimiento del 77,5 %, presurizado a 1,6 bar.

10.3.3 Bomba de alta presión

Tras considerar los parámetros de diseño más restrictivos, evaluados para el diseño de las membranas, recogidos en el anexo II, la bomba de alta presión del agua de alimentación de las membranas operará con un caudal de 168,4 m³/h a una presión de 68,7. Esta es la presión más elevada que se requerirá, evaluada al tercer año de funcionamiento, como se indicó anteriormente para las membranas.

El modelo a instalar será una bomba centrífuga Aquabold 4x6x9-A HP (10 stages) del fabricante Energy Recovery Inc, a la entrada del bastidor de membranas. Las características técnicas de esta bomba están indicadas en el anexo VI.

10.4 Distribución de agua producto

La distribución del agua producto, tras lo evaluado en el apartado anterior de análisis de soluciones de este documento, se llevará a cabo a través de tres bombas verticales que impulsarán el agua producto a la salida de la fase de postratamiento hasta el tanque de regulación.

Dicho tanque de regulación estará situado en la siguiente localización (ver figura 29). Este tanque, aún sin construir, forma parte de la propuesta existente del Plan territorial parcial de la plataforma logística del sur de Tenerife, emitido por el Cabildo de Tenerife.

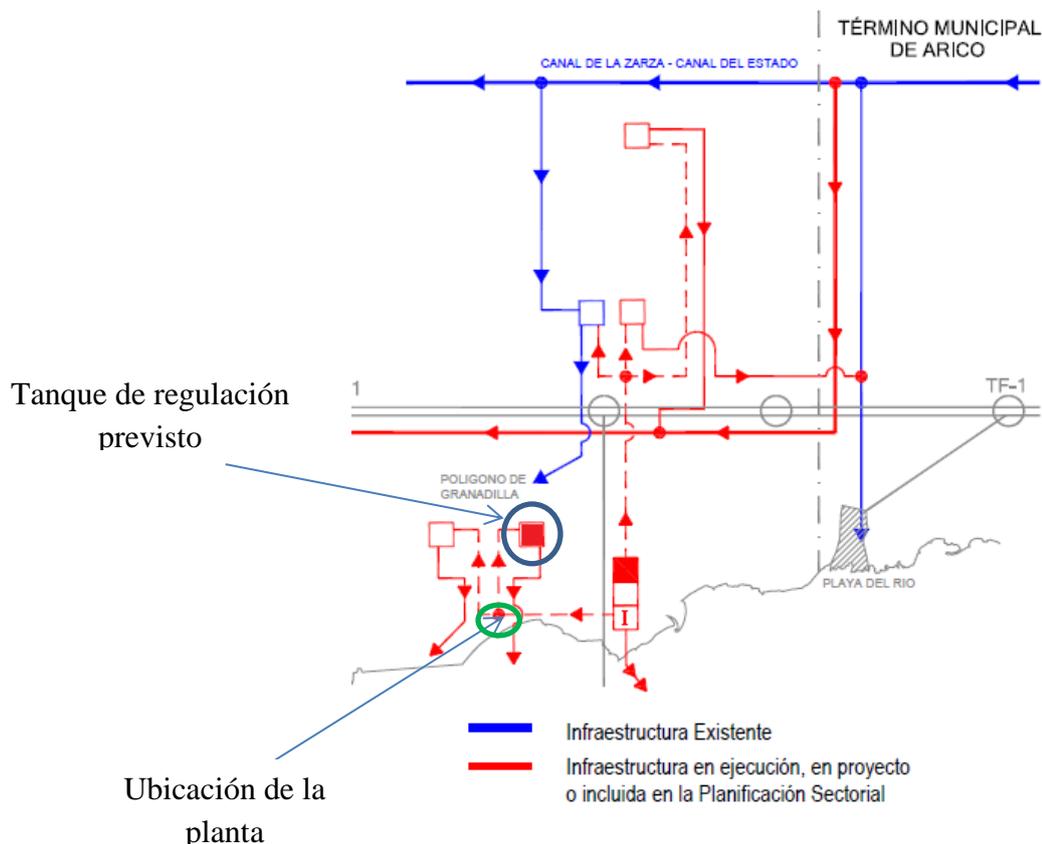


Figura 29. Disposición del futuro tanque de regulación según Plan Territorial parcial de la plataforma logística del sur de Tenerife

La tubería de impulsión será de 200 mm de diámetro y 800 m de longitud, de material PRFV. Las pérdidas de carga son consideradas, evaluadas en el anexo II (apartado 2.5).

Las bombas instaladas serán del modelo CR 64-2 A-F-A-E-HQQE que operará con un caudal de 55,57 m³/h, cada una, y una altura útil de 48,11 m. El caudal total a elevar será de 166,7 m³/h. Se requerirá de una bomba de repuesto para posibles averías.

Los cálculos para la elección de este modelo y las especificaciones técnicas de la misma se pueden consultar en el anexo I y VI, respectivamente.

10.5 Consumo energético del sistema de desalación

Tras describir los elementos que componen el núcleo de desalación (representa el 80 % del consumo energético de toda la planta), y los sistemas de captación y distribución, se proceden a indicar los requerimientos energéticos del sistema de desalación y que debe cubrir el parque eólico de autoconsumo.

Esto se evalúa a través de la aplicación de elaboración propia que se detalla en el anexo IV. El consumo específico es de:

$$CE = 3,32 \frac{kwh}{m^3}$$

Los consumos, en términos de potencia y energía anual, considerando la disponibilidad de la planta al 95 %, se observan a continuación:

Parámetros energéticos	
Consumo energético [kW]	553,8
Energía anual [MWh]	4609

Tabla 20. Energía anual requerida por el sistema de desalación

Estos parámetros, desglosados con más claridad, se pueden consultar en el anexo II de cálculos. Establecidos estos consumos, se procede, en el siguiente apartado, a comentar la solución adoptada para la instalación del parque eólico.

10.6 Parque eólico

Tras realizar el cuidadoso análisis de soluciones, considerando los diversos modelos de aerogeneradores que existen actualmente en el mercado y los requisitos energéticos e impuestos por legislación, se instalará un parque eólico de autoconsumo de 1,7 MW de potencia nominal.

El modelo de aerogenerador seleccionado es el G58/850 kW, del fabricante Gamesa.

Modelo	Potencia nominal [kW]
G58/850 kW	850
G58/850 kW	850
Total parque	1700

Tabla 21. Datos generales del parque eólico a instalar

Bajo cumplimiento del DECRETO 32/2006, de 27 de marzo, por el que se regula la instalación y explotación de los parques eólicos en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canaria, y considerando los parámetros del recurso eólico, la localización por coordenadas de los aerogeneradores es la siguiente (tabla 22), indicada en el plano nº2.

Altura 44 m
X=351850, Y=3106350
X=352000, Y=3106350

Tabla 22. Coordenadas de emplazamiento de los aerogeneradores

Por otro lado, la energía anual estimada para el parque eólico se obtiene a través de la aplicación Excel de elaboración propia que se detalla en el anexo IV, la cual se ha corroborado con la herramienta online ““Estimación de la energía producida por un aerogenerador”, del ITC, aceptando los resultados obtenidos, como se explicó en el análisis de soluciones de este documento y en el anexo II. Considerando lo estipulado por la Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables, del Gobierno de Canarias, indicado en el análisis de soluciones, respecto a coeficientes de disponibilidad, fallos y pérdidas de energía, al energía total anual estimada para el parque eólico a instalar es de:

Resultados	Potencia promedio generada [kW]	Energía anual estimada [MWh]
X=351850, Y=3106350	290,12	2342
X=352000, Y=3106350	306,6	2475
Total	596,72	4817

Tabla 23. Energía anual estimada generada por el parque eólico

Por tanto, la energía anual estimada para el parque eólico es de 4817 MWh, la cual cubre la demanda energética de la planta desaladora, que es de 4609 MWh.

Se debe de indicar, tal y como se detalló en el apartado 2. Alcance de este documento, que la estimación energética obtenida es la evaluada para un acoplamiento promedio anual a la planta de desalación. No se estudia, para el presente proyecto, el tipo de acoplamiento real que se llevará a cabo. Hay dos alternativas, estar conectado a la red o tener un sistema de almacenamiento energético que suele emplearse en sistemas aislados y tienen costes más elevados. Para este caso se consideraría la primera opción.

En la realidad, el recurso eólico es un parámetro variable, que no está delimitado, por lo que habrá días que la generación energética no cubra la demanda del sistema de desalación y se tenga que comprar energía a la red insular, o por el contrario, la generación sea mayor que la requerida, y se tenga que vender dicho sobrante eléctrico.

Con los datos obtenidos de energía promedio anual se evalúa el balance energético anual, el cual, como se puede observar con los resultados obtenidos, es positivo.

11. Conclusiones

En perspectiva del objeto principal del presente proyecto, este ha servido como complemento de la formación académica del futuro ingeniero técnico industrial. Se han desarrollado capacidades relacionadas con la redacción, síntesis y elaboración de documentos formales de índole técnico e industrial, y además se ha ampliado el conocimiento en el ámbito de la tecnología de desalación por ósmosis inversa y de la generación de energía eólica. Además del uso de nuevas herramientas, normativas y reglamentos que han aportado al estudiante nuevas capacidades de corte profesional.

Por otro lado en la elaboración de dicho proyecto se han aplicado los conocimientos adquiridos en estudios de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica, especialmente los relacionados con la rama de la hidráulica, sin olvidar las competencias paralelas en materia de diseño, oficina técnica y otras vertientes.

En términos más específicos del trabajo realizado, y por tanto, del ámbito de la desalación y la energía eólica, se concluye lo siguiente.

En las últimas décadas, la decadencia de los recursos energéticos de origen fósil y su alto impacto ambiental han provocado la investigación y el avance de las tecnologías renovables. En la actualidad, la explotación de las energías limpias y la búsqueda de la eficiencia energética son el objetivo primordial del sector industrial.

Fijando esas metas, y en concreto en las Islas Canarias, el binomio agua-energía cobra una importancia relevante con la inclusión y puesta en funcionamiento de sistemas que combinan energía hidráulica y eólica para generación de energía eléctrica, o por el contrario, enlazan los sistemas de tratamiento de aguas con el autoabastecimiento energético a partir de la explotación de los recursos naturales eólicos y solares.

En el presente proyecto, “Estudio de un sistema de desalación alimentado mediante energía eólica”, se ha desarrollado y evaluado, desde el punto de vista mecánico, un sistema de desalación de agua de mar por ósmosis inversa de 4000 m³/día de capacidad para cubrir las necesidades parciales del futuro Puerto de Granadilla, teniendo en cuenta la escasez de

recursos hídricos en las Islas Canarias. El objetivo prioritario ha sido alcanzar buenos resultados en cuanto a calidad del producto, evaluando y demostrando el sistema con la mejor eficiencia energética posible según las características de operación y cumpliendo con la normativa específica de aplicación.

El estudio de las diferentes alternativas desarrollado en el proyecto ha permitido alcanzar resultados óptimos en las facetas mencionadas (calidad del producto y demanda de energía) que afectan directamente a los costes de inversión y producción de un sistema de estas características, reduciéndolos considerablemente.

La inclusión del parque eólico de autoconsumo (dos aerogeneradores) para abastecer energéticamente a la planta desaladora, es una propuesta coherente que ya ha sido implementada en otras islas, como el caso de Fuerteventura, obteniéndose buenos resultados. Con ello se logran reducir los consumos energéticos provenientes de fuentes no renovables, afectando de forma positiva en la repercusión ambiental.

Como conclusión, el presente proyecto es un claro ejemplo de la viabilidad que puede alcanzar un sistema que combina la tecnología de la desalación por ósmosis inversa y la energía eólica captada a través de aerogeneradores, con el objetivo primordial de reducir los costes energéticos derivados del proceso industrial y promover el uso de las fuentes de energía renovables en el ámbito insular.

Conclusions

First, with this final project, have been developed skills for writing technical documents. Also, have been developed skills to work with regulations, rules and technical standards. Secondly, in this project we have applied the knowledge acquired in higher studies of mechanical engineering grade. Specifically, hydraulic topics and others like design or technic office.

About the specific objective of the final project:

Currently, fossil fuels are in decline. Other forms of energy have been investigated. These are renewable sources of energy. Objective of industrial sector is to reduce the energy costs. Also, use of the clean energies. These energies help reduce ambiental impact.

In Canary Islands has been combined water and energy. Has been made power generation systems with water and wind. Also, systems of desalination with wind energy.

On the one hand, in this final project “Study of desalination system powered by wind energy” have been studied the mechanical alternatives to achieve the improved energy efficiency and quality water product.

On the other hand, was included a wind farm with two wind turbines. This had been already made in Fuerteventura. With these wind turbines is possible to cover the energy demand of the desalination plant. So the economic costs and environmental impact are reduced.

In conclusion, the combination of desalination technology and wind energy is a solution viable. Energy costs and enviromental impact are reduced with the combination of this technology.

12. Orden de prioridad de los documentos básicos

Para evitar posibles discrepancias en la interpretación de los documentos que forman parte de este proyecto, a continuación se define el orden de prioridad de los mismos:

1. Planos
2. Pliego de condiciones
3. Presupuesto
4. Memoria

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

Anexos

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN ALIMENTADO MEDIANTE
ENERGÍA EÓLICA

AUTOR

Pedro Damián Acosta Díaz

TUTOR

Vicente José Romero Ternero

Índice

1. Anexo I: Análisis de soluciones	9
1.1 Sistema de captación	9
1.1.1 Tomas de agua abiertas.....	9
1.1.2 Tomas de agua cerradas.....	10
2.1 Dimensionado de membranas	11
3.1 Sistemas de recuperación de energía.....	16
3.1.1 Turbina Pelton	16
3.1.2 Turbobomba y turbocharger	18
3.1.3 Intercambiador de presión	18
2. Anexo II: Cálculos de la solución adoptada	23
2.1 Dimensionado de membranas	25
2.2 Dimensionado del sistema de recuperación de energía (ERI).....	33
2.3 Proceso iterativo software de membranas vs ERI	36
2.4 Dimensionado de las bombas del núcleo de desalación.....	38
2.4.1 Bomba de alta presión	38
2.4.2 Bomba Booster (de circulación)	39
2.4.3 Resultados finales	40
2.5 Cálculo de pérdidas de carga.....	41
2.5.1 Conducción de captación.....	41
2.5.2 Conducción de distribución	45
2.6 Cálculo de la altura útil de las bombas de captación y distribución.....	48
2.6.1 Bombas de captación	48
2.6.2 Bombas de distribución	49
2.7 Dimensionado de las bombas de captación y distribución.....	50
2.7.1 Bombas de captación	50
2.7.2 Bombas de distribución	52
2.7.3 Resultados finales	54
2.8 Cálculo del consumo específico de la planta.....	55
2.9 Dimensionado del sistema eólico	58
3. Anexo III: Evaluación de las condiciones de trabajo de las membranas.....	73
3.1 Variación de la temperatura	73

3.2 Variación de la edad de la membrana	76
3.3 Variación del pH.....	78
3.4 Comparación de resultados	80
4. Anexo IV: Programas de elaboración propia para la obtención del consumo específico del sistema de desalación y la energía estimada para el aerogenerador	85
4.1 Herramienta para determinar el consumo específico.....	85
4.1.1 Densidad del agua de mar	85
4.1.2 Deducciones teóricas de cálculo	86
4.1.3 Interfaz de la herramienta.....	89
4.2 Herramienta para determinar la energía anual estimada para un aerogenerador	94
4.2.1 Deducciones teóricas de cálculo	94
4.2.2 Interfaz de la herramienta.....	96
5. Anexo V: Resultados del programa IMSdesign.....	103
6. Anexo VI: Especificaciones técnicas y catálogos	111

Índice de figuras

Figura 1. Estructura de captación sumergible (Medina San Juan, 1999)	10
Figura 2. Cántara de captación (Medina San Juan, 1999).....	11
Figura 3. Esquema de membrana de fibra hueca.....	15
Figura 4. Esquema de membrana de arrollamiento en espiral (Dow Filmtec)	15
Figura 5. Detalle de turbina Pelton (Zeco turbine).....	17
Figura 6. Esquema núcleo de desalación con turbina Pelton	17
Figura 7. TurboCharger y esquema de operación (ERI)	18
Figura 8. Detalle intercambiador de presión PX-Q (ERI).....	19
Figura 9. Esquema de funcionamiento de un intercambiador de presión (ERI).....	19
Figura 10. Esquema del núcleo de desalación con intercambiador de presión	20
Figura 11. Procedimiento de cálculo para alcanzar la solución definitiva	23
Figura 12. Proceso iterativo para el dimensionado de membranas y el sistema de recuperación de energía	24
Figura 13. Interfaz inicial del software IMSdesign	25
Figura 14. Datos de alimentación software IMSdesign.....	27
Figura 15. Diseño OI software IMSdesign.....	28

Figura 16. Datos del intercambiador de presión primera iteración software IMSdesign	28
Figura 17. Diseño OI con elección de membranas software IMSdesign	30
Figura 18. Resultados finales de la primera iteración software IMSdesign.....	30
Figura 19. Variación de salinidad, presión e índices de Boro según la temperatura de diseño	32
Figura 20. Interfaz del software de recuperación de energía ERI.....	34
Figura 21. Resultados de operación del intercambiador de presión primera interacción	35
Figura 22. Datos del intercambiador de presión segunda iteración software IMSdesign.....	36
Figura 23. Datos de presión a 17°C segunda iteración	36
Figura 24. Resultados de operación del intercambiador de presión segunda interacción	37
Figura 25. Interfaz del aquabold selector de ERI.....	38
Figura 26. Trazado del punto de operación de la bomba de alta presión.....	39
Figura 27. Trazado del punto de operación de la bomba booster	40
Figura 28. Obtención del coeficiente de fricción a través del Diagrama de Moody.....	44
Figura 29. Longitud de la tubería de distribución	46
Figura 30. Interfaz de la herramienta EasySelect de KSB	51
Figura 31. Punto de operación de las bombas de captación.....	52
Figura 32. Interfaz de la herramienta Grundfos Webcaps	53
Figura 33. Punto de operación de las bombas de distribución.....	54
Figura 34 y 60. Interfaz de la herramienta de elaboración propia para el cálculo del C.E.	56,89
Figura 35 y 69. Interfaz de la herramienta de elaboración propia para la estimación energética anual de aerogeneradores.....	58,96
Figura 36. Localización de los aerogeneradores	59
Figura 37. Distancia entre líneas de aerogeneradores.....	60
Figura 38. Muestra de datos del recurso eólico	60
Figura 39. Datos para el emplazamiento X=351850, Y=3106350	61
Figura 40. Curva de potencia del modelo G58/850	62
Figura 41. Interfaz de la herramienta del ITC para la estimación de la energía producida por un aerogenerador	64
Figura 42. Resultados finales emitidos por la herramienta del ITC.....	65
Figura 43. Comparación de potencias del aerogenerador	66
Figura 44. Curva del coeficiente de potencia del aerogenerador	67
Figura 45. Contribución del intervalo de velocidades del aerogenerador.....	68
Figura 46. Resultados para 17°C.....	73

Figura 47. Resultados para 18°C	74
Figura 48. Resultados para 19°C	74
Figura 49. Resultados para 20°C	75
Figura 50. Resultados para 21°C	75
Figura 51. Resultados para edad de membranas 0 años y 17°C	76
Figura 52. Resultados para edad de membranas 1 años y 17°C	77
Figura 53. Resultados para edad de membranas 2 años y 17°C	77
Figura 54. Resultados para edad de membranas 3 años y 17°C	78
Figura 55. Resultados pH 6,5	79
Figura 56. Resultados pH 8	79
Figura 57. Variación de salinidad, presión e índices de Boro según la temperatura de diseño	80
Figura 58. Variación de salinidad, presión e índices de Boro según la edad de la membrana.	81
Figura 59. Variación de salinidad, presión e índices de Boro según el pH del agua de alimentación	81
Figura 61. Densidades y pesos específicos a indicar en la herramienta	90
Figura 62. Eficiencias y caudales a indicar en la herramienta.....	90
Figura 63. Pérdidas de carga a indicar en la herramienta.....	91
Figura 64. Esquema sistema desalación	91
Figura 65. Definición de estados a indicar en la herramienta	92
Figura 66. Resultados de potencia.....	92
Figura 67. Resultados de consumo específico.....	93
Figura 68. Representación de la distribución de Weibull frente a la velocidad media para diferentes factores de forma	95
Figura 70. Datos para el emplazamiento X=352000, Y=3106350.....	97
Figura 71. Datos de curva de potencia a introducir en la herramienta	97
Figura 72. Obtención de parámetros de potencia y f(v) en la herramienta	98
Figura 73. Resultados finales	98

Índice de tablas

Tabla 1. Datos referentes al boro y tds producto para 21°C.....	31
Tabla 2. Datos de presión a 17°C primera iteración	33
Tabla 3. Datos de operación en la primera interacción.....	33
Tabla 4. Datos de operación de las bombas del núcleo de desalación.....	38
Tabla 5. Eficiencias de la bomba de alta y la bomba booster	40
Tabla 6. Datos de viscosidad dinámica.....	42
Tabla 7. Proceso iterativo para el cálculo del coeficiente de fricción en la tubería de captación	43
Tabla 8. Proceso iterativo para el cálculo del coeficiente de fricción en la tubería de distribución	47
Tabla 9. Punto de operación de las bombas de captación.....	50
Tabla 10. Punto de operación de las bombas de distribución	52
Tabla 11. Eficiencias de las bombas de captación y distribución.....	54
Tabla 12. Alturas y potencias de las bombas del sistema desalador.....	56
Tabla 13. Parámetros energéticos del sistema de desalación.....	57
Tabla 14. Datos del recurso eólico para los emplazamientos seleccionados	61
Tabla 15. Potencia y energía anual estimada por el parque eólico sin pérdidas	62
Tabla 16. Coeficientes a aplicar sobre la generación de energía	63
Tabla 17. Potencia y energía anual estimada por el parque eólico con pérdidas.....	63
Tabla 18. Comparación de demanda y generación de energía.....	63
Tabla 19. Comparación de resultados entre la herramienta del ITC y la de elaboración propia	65
Tabla 20. Densidades de los flujos presentes en el sistema de desalación	86

ANEXO I: ANÁLISIS DE SOLUCIONES

1. Anexo I: Análisis de soluciones

En el presente anexo de análisis de soluciones se detallan y explican con carácter teórico, las distintas alternativas presentes a la hora de diseñar los elementos que constituyen el sistema de desalación a estudio. Este anexo complementa el apartado 9. Análisis de soluciones del documento 1.Memoria.

1.1 Sistema de captación

1.1.1 Tomas de agua abiertas

Se recurre a las tomas de agua abiertas generalmente en las instalaciones de agua de mar cuando las características de impermeabilidad del terreno no permiten un tipo de captación mediante pozo.

Existen dos tipos de captación abierta, a través de toma en canal o mediante emisario submarino, en ambas disposiciones se necesita un depósito para la recogida del agua desde el que se impulsa, mediante las correspondientes bombas, el agua hasta la instalación.

Las principales características de este tipo de toma son:

- Actividad orgánica y biológica importante
- Contenido en sólidos en suspensión importante y variable según condiciones
- Mayor exposición a contaminantes
- Contenido elevado de oxígeno disuelto
- Amplio rango de variación de temperaturas
- Composición química más homogénea.

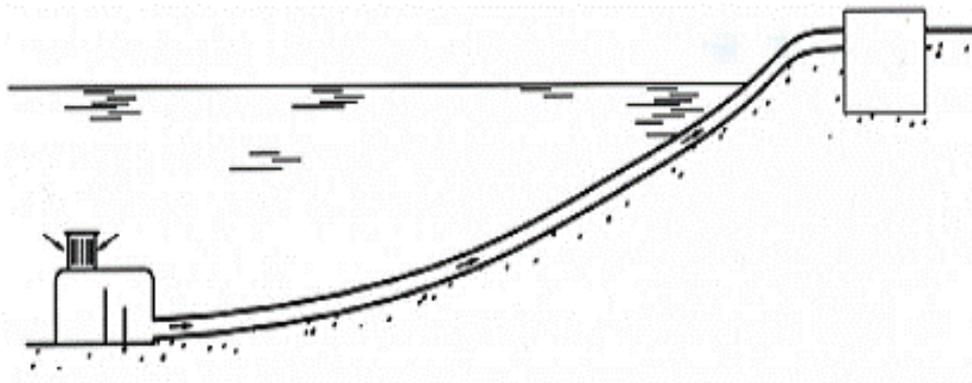


Figura 1. Estructura de captación sumergible (Medina San Juan, 1999)

1.1.2 Tomas de agua cerradas

Los pozos costeros son los más adecuados y favorables, es por ello que siempre que sea posible hay que intentar construir, si bien, ello implica la permeación de caudales que a veces no es posible lograr. En nuestro caso, los estratos naturales están constituidos por capas gruesas de arena que facilitarían el permealdo del agua, siempre teniendo en cuenta la problemática de la presencia de agua salobre que altere las condiciones de trabajo.

Las principales ventajas de estas tomas en relación con las abiertas radican en la ausencia de actividad orgánica y biológica, y bajos índices de turbidez (NTU) y de colmatación (NTU) debido a la limpieza del agua a través del filtrado natural del terreno, escasa contaminación y temperaturas bastante estables, además de un bajo índice de oxígeno disuelto.

Estas ventajas permiten reducir los tratamientos, especialmente los químicos, de la instalación, y en ocasiones, abaratar los equipos mecánicos.

Los inconvenientes más importantes de este tipo de captación son las variaciones en la composición química del agua a lo largo de los años, incluso según el período del año, además de contaminación por nitratos, pesticidas y contenidos importantes de otros elementos como el hierro o sílice que requieren de pretratamientos para el agua de alimentación de las membranas.

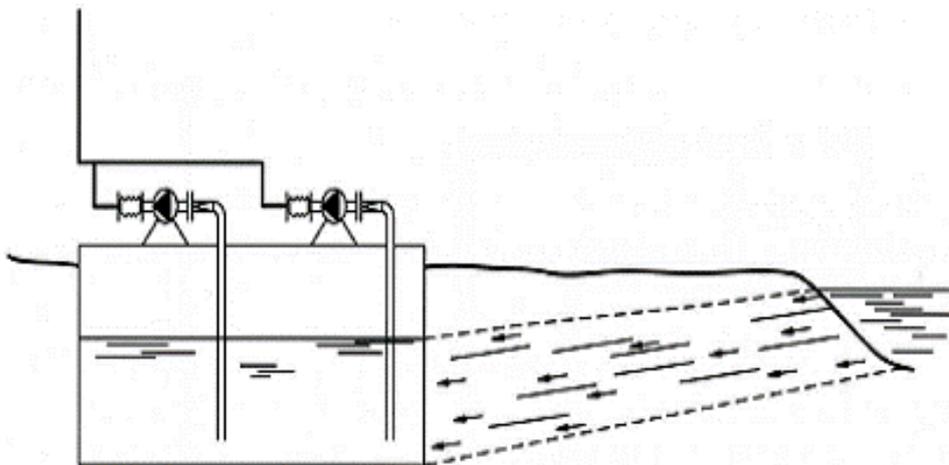


Figura 2. Cántara de captación (Medina San Juan, 1999)

2.1 Dimensionado de membranas

Para el correcto dimensionado de las membranas se deben de tener en cuenta diversos factores y parámetros de funcionamiento que a continuación se describen.

- Índices de Boro y salinidad del agua producto

En primer lugar, como se comentó en los requisitos de diseño, y como requisito propiamente dicho, más importante, los índices de Boro y la salinidad del agua producto deben ser lo más bajo posible para obtener así una calidad del agua aceptable y que cumpla con la legislación vigente. Respecto al Boro, actualmente hay membranas especiales para rechazar este elemento. Si aún así los niveles de Boro son elevados, este se puede reducir aportando una solución de NaOH (Sosa cáustica) al agua de alimentación, acción que tiene repercusión directa en el pH, elevándolo.

- Composición química, pH y temperatura del agua de alimentación

En segundo lugar, la composición iónica, temperatura y pH del agua de alimentación son parámetros que inciden directamente en las condiciones y límites de operación de las membranas.

Respecto a la composición química, constituye la base de partida del diseño y conocerla es por tanto imprescindible para seleccionar las membranas más adecuadas. Dicha composición deber ser lo más exacta posible (tabla 1 del documento 1.Memoria), con especial referencia a los iones que presentan más dificultades para su separación, como los monovalentes, sin olvidar elementos como el hierro, aluminio o estroncio, y otros como el flúor y sílice, que pueden plantear serios problemas a la membrana, de solubilidad y precipitados, respectivamente, reduciendo la eficiencia de la membrana.

En cuanto al pH, el rechazo de sales de las membranas depende en cierta medida de él, pues cada membrana tiene un pH al que el rechazo es máximo. Si se superan los márgenes establecidos para cada modelo, las membranas tienden a hidrolizarse perdiendo sus características. Esto sucede en las membranas de acetato de celulosa. Las membranas de poliamida son menos sensibles.

El agua que se va a desalar, como se indicó en los requisitos de diseño, tiene un pH de 8,1. En estas condiciones el funcionamiento de la membrana no es el óptimo, reduciéndose la eficiencia del sistema, además de producirse precipitados. Para reducir y ajustar el pH del agua de alimentación se emplea por lo común el ácido sulfúrico, que elimina la alcalinidad del bicarbonato y previene la precipitación del carbonato cálcico. Este se debe dosificar en la fase de pretratamiento.

Respecto a la temperatura, la temperatura máxima de operación suele estar sobre los 45°C, previniendo así una compactación excesiva en las mismas.

- Agrupación de membranas, número de etapas y conversión

Por otro lado, y habiendo definido los parámetros más importantes de funcionamiento de las membranas, la disposición y configuración de las mismas es otro punto a tener muy en cuenta.

Las membranas se colocan en tubos de presión si se trata de membranas de arrollamiento en espiral y por parejas en el caso de fibra hueca.

En cuanto al agua de mar, por su elevada salinidad y las características físico-químicas, no se aconsejan recuperaciones superiores al 45 %, por la elevada concentración que adquiere el rechazo.

Hace una década se podía conseguir ese 45 % en dos etapas, con tubos de seis elementos, mientras que en tubos de siete elementos y una sola etapa, un 43 % de recuperación. Hoy en día las membranas han evolucionado bastante y se logran conversiones del 45 % con una sola etapa, aunque se puede aumentar con una disposición de dos etapas, sacrificando la calidad del agua producto. Cada escalón suele tener aproximadamente la mitad del número de membranas y tubos que el anterior.

En cuanto a la configuración del tubo, es preferible utilizar tubos de seis elementos en lugar de siete, en caso de que haya de someter la instalación a paradas y arranques, produciéndose en estos últimos fallos por de golpe de ariete que provocan un alargamiento de los tubos.

- Presiones y pérdidas de carga en las membranas

Para membranas de agua de mar, las presiones máximas teóricas suelen rondar los 80 bar. En la práctica no se puede alcanzar porque estaríamos forzando las membranas, con un excesivo ensuciamiento que conllevaría al aumento del consumo energético. Con el incremento de la presión se consigue una mayor producción cuando la membrana es nueva, a medida que pasa el tiempo la membrana se va ensuciendo y disminuye el caudal.

La pérdida de carga en membranas en espiral puede alcanzar hasta un máximo de 4 kg/cm² por etapa, pero por motivos de seguridad y eficiencia, deben ser mucho mejor. En fibra hueca no deben alcanzar los 2,5 kg/cm² por membrana.

- Edad de las membranas y otros factores

Cuando arranca la instalación las membranas están nuevas y operan con la mayor eficiencia, es decir, con la presión más baja de alimentación. A medida que pasa el tiempo, las membranas van acumulando sales y reduciendo por tanto el área de rechazo y con ello la calidad del permeado. Es aquí donde interviene el factor de ensuciamiento de las membranas.

El análisis del sistema se suele llevar a cabo para una edad de las membranas de 3 a 5 años, consiguiendo así un modelado más realista y significativo.

Otros factores como el factor de incremento de paso de sales depende del modelo de membrana, siendo para las membranas de poliamida de 5-15 % y para las de acetato de celulosa entre 15-30%.

- Tipos de membranas para agua de mar

Según el material utilizado en la fabricación, las membranas pueden ser de cuatro tipos: tipo plano, tubulares, de fibra hueca y de arrollamiento en espiral.

Las primeras membranas fabricadas fueron de tipo plano. Eran membranas normalmente utilizadas en aguas muy contaminadas, residuales o con elevada carga orgánica, debido a su menor obstrucción y su facilidad para limpiarlas. Además trabajaban con caudales muy pequeños. Las membranas tubulares derivan de la de tipo plano, buscando conseguir una mejora en la producción de agua salada sin renunciar a las características de bajo ensuciamiento y fácil limpieza. Actualmente se limita su uso a aplicaciones industriales.

Para la desalación de agua de mar, actualmente se fabrican dos tipos de membranas, las de fibra hueca y las de arrollamiento en espiral. Cuando la captación se realiza a través de un pozo costero, como es el caso, no hay preferencia por algún tipo, aunque el permeado con las de fibra hueca puede ser superior por tener una mayor capacidad unitaria, que la de arrollamiento en espiral, sin embargo suelen tener una calidad del producto menor.

Las membranas de fibra hueca están constituidas por un haz de millones de tubos capilares del tamaño del cabello humano, huecos en su interior, como se indica en la figura 3.

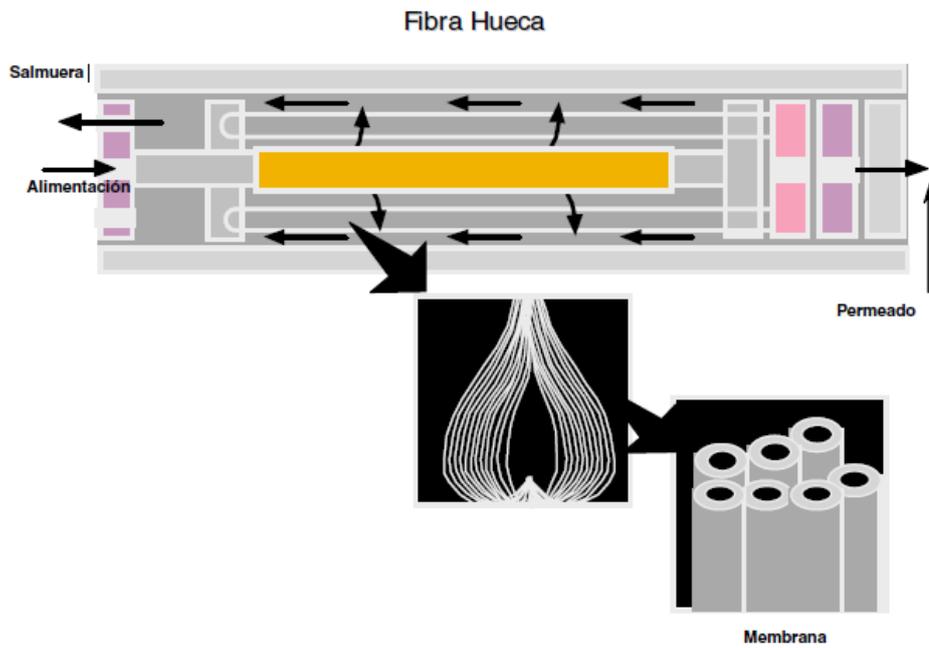


Figura 3. Esquema de membrana de fibra hueca

Las membranas de arrollamiento espiral son más adecuadas por la facilidad para la limpieza de las mismas y su menor precio. Además hay que citar que las membranas de fibra hueca son fabricadas únicamente por Dupont y Toyobo, y estas empresas no proporcionan un programa de cálculo, por lo que no se tendrán en cuenta para el dimensionado.

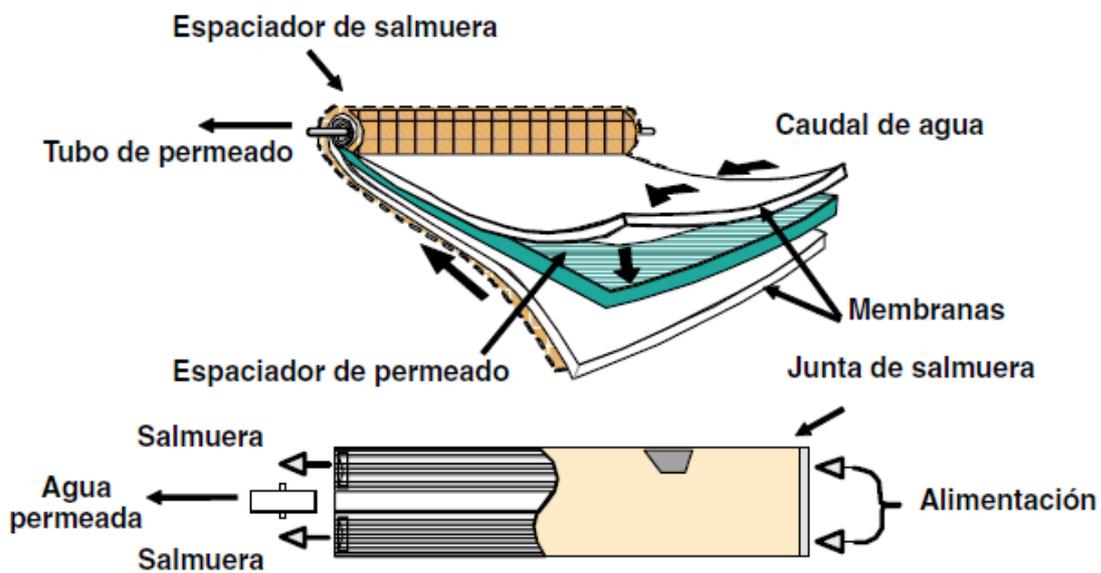


Figura 4. Esquema de membrana de arrollamiento en espiral (Dow Filmtec)

El enrollamiento en espiral permite introducir una gran superficie de membrana en un espacio reducido. Estas membranas están formadas por láminas rectangulares (figura 4), enrolladas alrededor de un eje cilíndrico provisto de perforaciones que permiten la recogida del permeado.

En cuanto al material de fabricación, inicialmente se realizaban con un material de origen natural, el acetato de celulosa. Con los avances tecnológicos aparece una sustancia sintética, la poliamida, con la que se consiguen unas permeabilidades mejores, mejor rendimiento y durabilidad.

- Factores de disponibilidad, costes y garantías.

Por último, referente a la disponibilidad del producto para las Islas Canarias, ambas empresas tienen sede en España, por lo que no habría problemas de suministro. Respecto a los costes, el precio medio por elemento, independientemente del fabricante, ronda entre los 550-650 \$, es decir, entre 400-480 € por unidad.

Comentados los parámetros y consideraciones que se deben de tener en cuenta, además de los tipos que encontramos en el mercado, se procede a evaluar el módulo de membranas a través de los softwares existentes.

3.1 Sistemas de recuperación de energía

A continuación se procede a detallar los distintos sistemas de recuperación de energía existentes.

3.1.1 Turbina Pelton

Las turbinas Pelton son máquinas, también llamadas turbinas de impulsión, que transforman la energía en forma de presión que posee el rechazo del proceso de ósmosis inversa, en energía cinética en forma de un líquido a alta velocidad. Para ello el rechazo se hace pasar por una tobera con aguja que regula la velocidad de la misma. El inyector se dirige hacia la rueda provista de álabes en forma de cuchara (figura 5), que gira, convirtiendo la energía cinética en

energía mecánica o de rotación. Estas máquinas pueden estar acopladas a una bomba de desplazamiento positivo, a una bomba centrífuga multietapa o a un generador eléctrico.

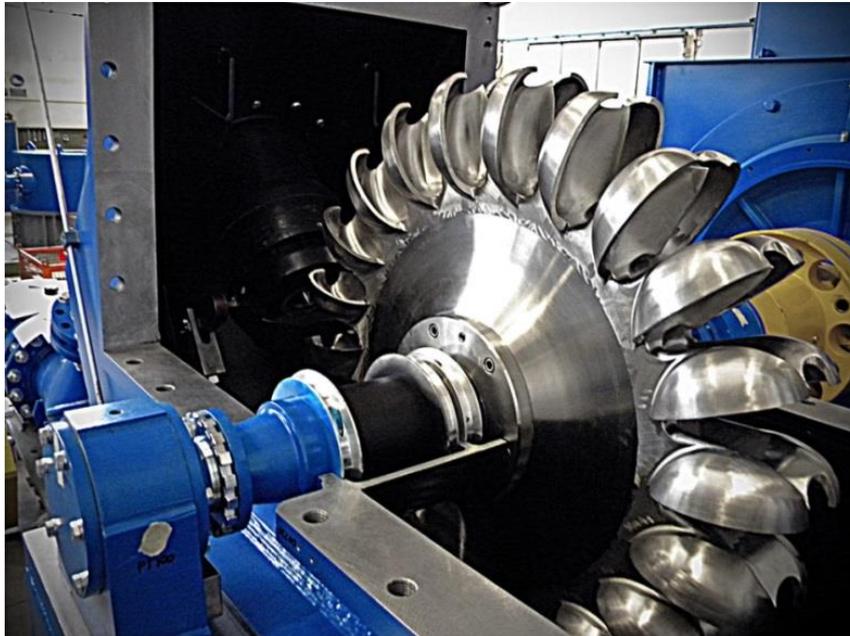


Figura 5. Detalle de turbina Pelton (Zeco turbine)

En el siguiente esquema (6) se observa cómo se realiza el acople de la turbina Pelton al sistema de desalación por ósmosis inversa.

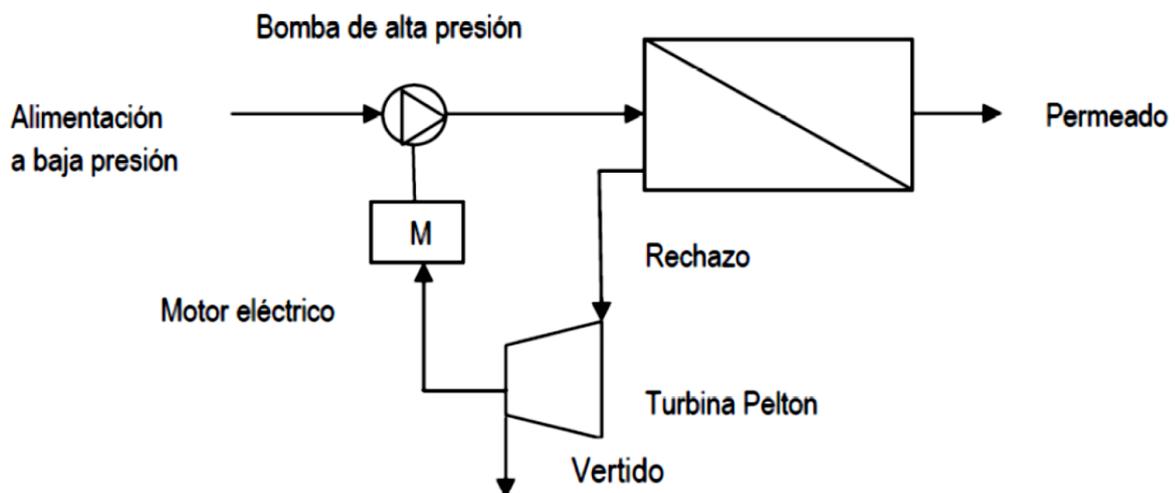


Figura 6. Esquema núcleo de desalación con turbina Pelton

3.1.2 Turbobomba y turbocharger

Tratando de reducir los costes y el consumo energético, se desarrolló otra unidad de recuperación energía, más compacta, en la que se une la bomba y la turbina de forma inversa y están provistas de un único eje. Esta es la llamada turbobomba. Posteriormente se desarrolló, de forma similar, el turbocharger, de mucho menor tamaño.

El objetivo del turbocharger es convertir, a través de la turbina, la energía de presión hidráulica en energía mecánica aprovechable por la bomba y así elevar la presión del fluido. La energía se transfiere entre flujos distintos, por lo que puede estar instalado en cualquier punto de la instalación al carecer de motor.

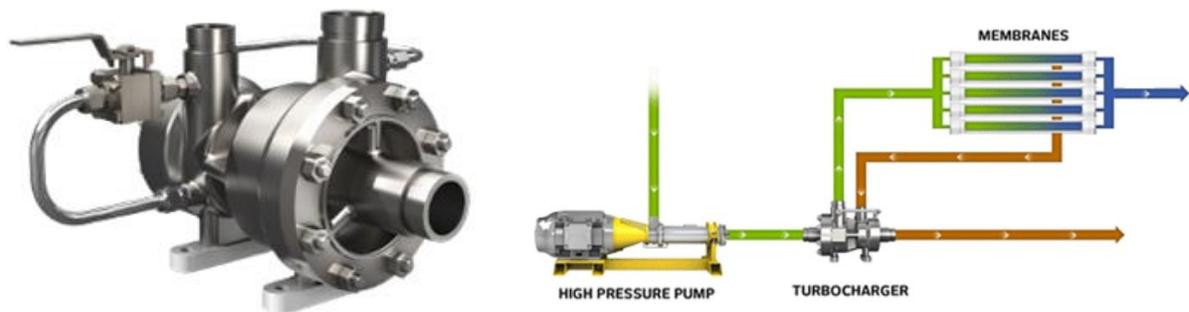


Figura 7. TurboCharger y esquema de operación (ERI)

3.1.3 Intercambiador de presión

En este sistema de recuperación de energía, la presión se transfiere directamente desde la salmuera a la corriente de agua de mar del sangrado. Esto se produce en el interior de la cámara de presión. Este mecanismo de desplazamiento positivo proporciona una alta eficiencia de transferencia ($\approx 98\%$ de eficiencia), pero también se produce una mezcla entre la corriente de salmuera y la otra. Eso se define como mezcla volumétrica.

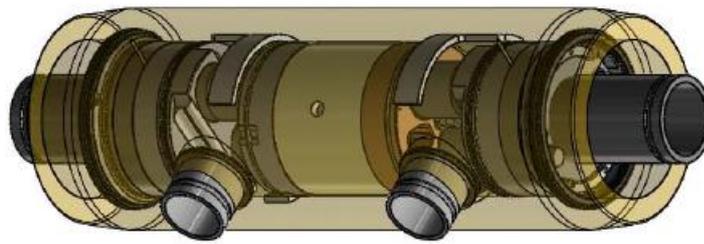


Figura 8. Detalle intercambiador de presión PX-Q (ERI)

El funcionamiento del mismo se basa en la rotación de un cilindro (rotor) provisto de agujeros en el cual confluyen ambas corrientes directamente, transmitiéndose la presión de la corriente de rechazo a la del agua de alimentación, como se observa en la figura 9.

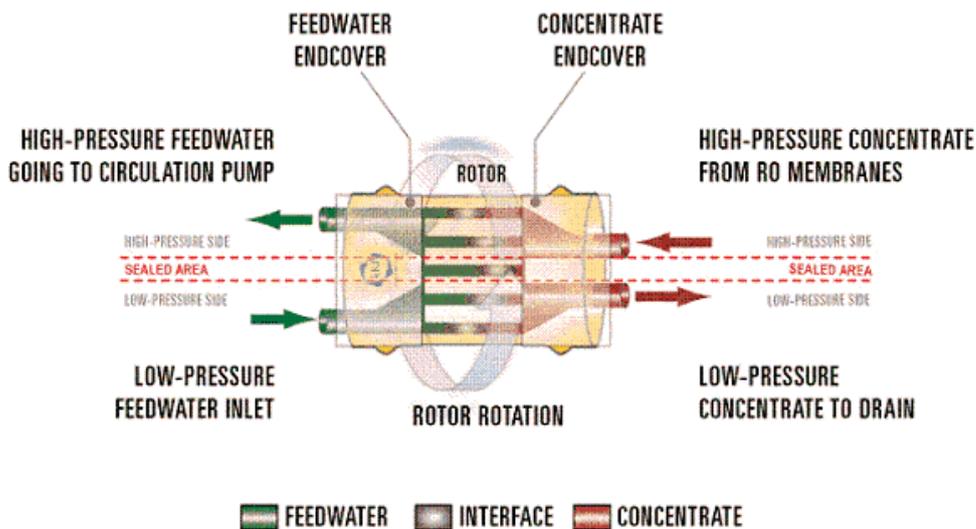


Figura 9. Esquema de funcionamiento de un intercambiador de presión (ERI)

El intercambiador de presión se instala junto a una bomba de circulación, también llamada bomba booster, a la salida de V1 (ver figura 10), la cual eleva la presión de la corriente que sale del intercambiador a alta presión, unos poco bar hasta alcanzar la presión de alta de alimentación. Con esto se consigue una reducción importante del caudal que debe suministrarse a la bomba de alta presión, que afecta directamente al consumo específico de la planta.

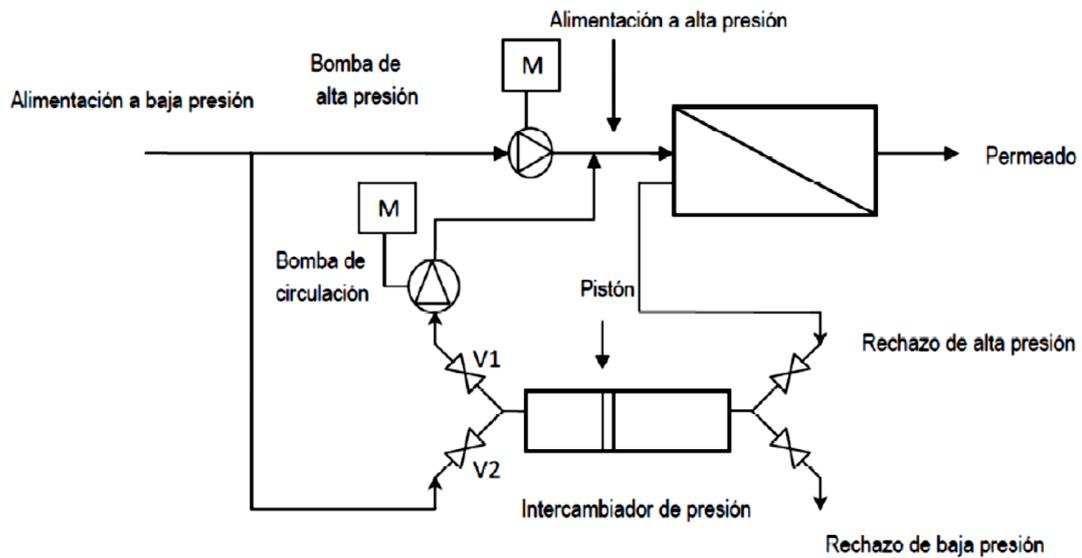


Figura 10. Esquema del núcleo de desalación con intercambiador de presión

Además de este sistema, existe otro intercambiador, llamado intercambiador de trabajo que tiene un funcionamiento muy similar, pero con una disposición mecánica diferente. El intercambio se lleva a cabo en dos tubos horizontales que separan ambas corrientes a través de un disco. La presión se transmite por medio de pistones de movimiento lento. Mientras un tubo está en descarga, el otro está presurizado, operando así en parejas.

ANEXO II: CÁLCULOS DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

2. Anexo II: Cálculos de la solución adoptada

En el presente anexo se llevarán a cabo todos los cálculos, de forma detallada, que han sido necesarios para elaborar el diseño del sistema indicado en el apartado 10. Resultados finales del documento 1. Memoria., de este proyecto.

Antes de nada se plantea un esquema muy intuitivo para explicar el procedimiento de cálculo que se ha seguido para alcanzar la solución definitiva, como se observa en la figura 11.



Figura 11. Procedimiento de cálculo para alcanzar la solución definitiva

Indicado el procedimiento general para realizar el análisis del sistema de desalación alimentado por energía eólica, explicamos brevemente los pasos a seguir.

En primer lugar, con los requisitos de diseño planteados en el apartado 7. Requisitos de diseño de la memoria, se realiza el cálculo inicial para el dimensionado de los bastidores de membranas a través del software del fabricante de membranas. Luego, los datos obtenidos de

este proceso se utilizan para el dimensionado del sistema de recuperación de energía. Se realiza entonces, un proceso iterativo para ajustar adecuadamente los parámetros de trabajo, entre el programa de membranas y el programa del recuperador de energía. En el siguiente diagrama (12) se observa el proceso iterativo que se desarrolla en la primera fase de cálculos.

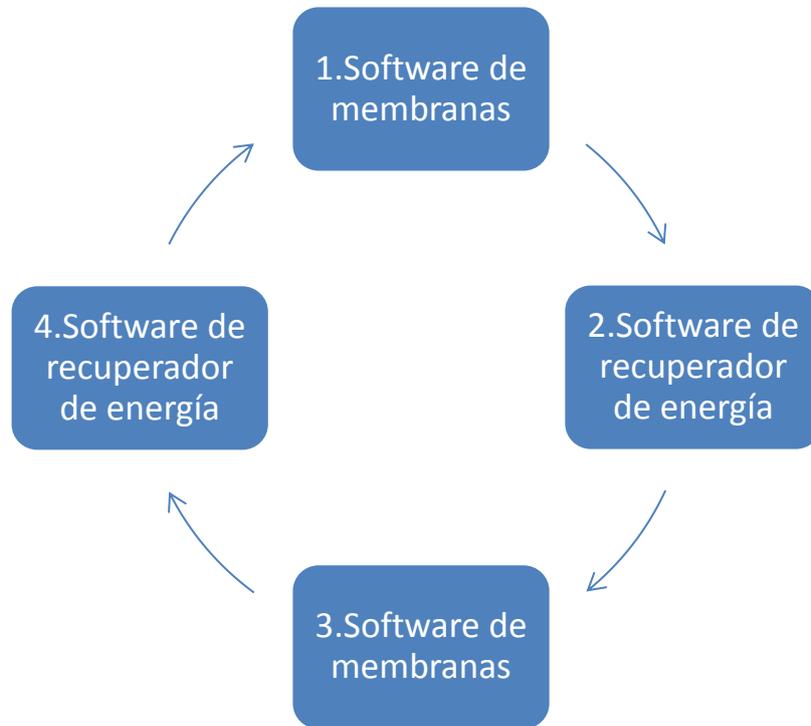


Figura 12. Proceso iterativo para el dimensionado de membranas y el sistema de recuperación de energía

Una vez se realiza este proceso, los parámetros de funcionamiento obtenidos son aplicados para el correcto dimensionado de las bombas, obteniendo nuevos datos referentes a rendimiento de las mismas. Estos rendimientos reales deben aplicarse sobre los softwares nuevamente, y observar si se produce alguna alteración de parámetros.

Concluida esta fase de cálculos, los datos finales son utilizados en un programa de elaboración propia para obtener la potencia total y el consumo específico del sistema de desalación.

Finalmente se procede a evaluar el recurso eólico en la ubicación elegida para instalar el aerogenerador a través de un programa también, de elaboración propia, que chequeamos con la aplicación desarrollada por el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC).

Tras esta breve explicación del proceso que se va a llevar a cabo para el correcto dimensionado del sistema, se comienza el desarrollo detallado de los cálculos.

2.1 Dimensionado de membranas

Tras haber expuesto las posibles soluciones sobre la configuración de las membranas, el tipo y el fabricante de las mismas, (en el apartado 9. Análisis de soluciones), a continuación se presenta el cálculo realizado a través del software IMSdesign, de diseño de sistemas de ósmosis inversa, del fabricante de membranas Hydranautics (Nitto Group Company).

El interfaz inicial de dicho software, como se observa en la figura 13, nos permite elegir los proyectos realizados (archivo) y crear un nuevo proyecto según el sistema de desalación. En nuestro caso elegimos “Diseño OI”.



Figura 13. Interfaz inicial del software IMSdesign

En la siguiente ventana emergente (Análisis), indicamos la información referente a nuestro proyecto (Título, código) e introducimos el análisis iónico del agua de mar y otros datos como la temperatura de diseño, tipo de toma, etc.

Introducimos la temperatura media del rango de diseño, es decir, 19°C, ya que es la que se toma para evaluar el análisis del agua de alimentación.

Antes de proseguir, debemos aclarar una cuestión referente a la temperatura, dato muy importante. El estudio se va a evaluar teniendo en cuenta la temperatura mínima y máxima de diseño, en el anexo III se detallan los cambios evaluados para el rango de temperaturas [17-21° C] y los años de las membranas. Dichas temperaturas son las que marcan los parámetros más restrictivos de funcionamiento y que cumplen con los requisitos de diseño, por lo que son los datos que se tienen en cuenta para la evaluación final del sistema. A medida que se incrementa la temperatura, los índices de Boro y la salinidad del agua producto aumentan. Por el contrario, la presión de alimentación de las membranas crece cuando la temperatura es menor.

También hay que señalar que el pH del agua de alimentación, como se comentó en el análisis de soluciones, está en torno al 8,1, un valor elevado para el cual las membranas tienen un funcionamiento y eficiencia reducida. Es por ello que en el pretratamiento de la planta se debe de ajustar el pH a los valores adecuados de operación de las membranas a través de la dosificación de elementos químicos como el ácido sulfúrico. En nuestro caso se ajusta el pH a 7, según los requerimientos de operación de las membranas elegidas [6,5-7 pH].

La toma de agua se indica como “agua de mar-pozo”, como se especificó en el análisis de soluciones y el análisis iónico del agua, el extraído del “Centro Canario del Agua (FCC)”, según requisitos de diseño.

En la siguiente figura (14) se observan los datos referentes al agua de alimentación del sistema:

Proyecto	Estudio de un sistema de desala		Código	EDEO	Alim.	Agua de mar - pozo	Fecha	
pH	8,10	Turbid.	0,0	Cond. E	55011	µS/cm	CO2	0,769 ppm
Temp.	19,0	C	SDI	0,0	15min	H2S	0,0	ppm
Ca	412,0	ppm	20,55	meq	CO3	11,4	ppm	0,38 meq
Mg	1290,0	ppm	106,17	meq	HCO3	134,0	ppm	2,20 meq
Na	10858,1	ppm	472,09	meq	SO4	2910,0	ppm	60,63 meq
K	399,0	ppm	10,23	meq	Cl	19354,0	ppm	545,95 meq
NH4	0,0	ppm	0,00	meq	F	1,3	ppm	0,07 meq
Ba	0,014	ppm	0,00	meq	NO3	0,0	ppm	0,00 meq
Sr	7,900	ppm	0,18	meq	B	4,50	ppm	0,00 meq
					SiO2	0,0	ppm	0,00 meq
Total Positiv.			609,22	meq	Auto balance	Total Negativ.	609,22 meq	
SDT calculados			35382	ppm	Fuerza iónica			0,703
Sat. CaSO4			23,5	%	Sat. BaSO4			59,9 %
Sat. Sílice			0,0	%	Saturación de			28,1 %
Índ. saturación			1,1	Langelier	Presión osmótica			365,8 psi

Figura 14. Datos de alimentación software IMSdesign

Una vez introducidos los datos que definen el agua de captación del sistema de desalación, se pasa al “Diseño OI”, en el cual se especifica la conversión, el número de etapas, el caudal de permeado, el tipo de proceso de recuperación de energía y la configuración de membranas, entre otros datos.

Comenzamos el diseño del núcleo de ósmosis inversa modificando el pH del agua de 8,1 a 7. Una vez se corrige, automáticamente la aplicación hace referencia a la dosificación de producto químico, mostrando el valor requerido del mismo en ppm. El producto químico seleccionado es el ácido sulfúrico, ya que elimina la alcalinidad del bicarbonato y previene la precipitación del carbonato.

Fijamos la temperatura a 21 °C, la mayor del rango, e indicamos el caudal de permeado (4000 m³/día), la tasa de recuperación (45 %) y el sistema de recuperación de energía (ERD), en primera instancia. Luego se definirán los demás parámetros de diseño.

Proyecto	Estudio de un sistema de desalación		Calculado por	Pedro Damián Acosta Díaz		Fecha	
pH	7,00	Edad membrana	3,0	años	Tipo de Químico	H2SO4	
Temp.	21,0	C	Dos. Prod. Quím.	8,0	ppm	Concent. Químicos, %	100
Disminución flujo %/año	5,0		Agua Alim.	Agua de mar - pozo			
Factor de Ensuciamiento	0,80		Mezcla permeado	<input type="checkbox"/> Contrapres. Perm. <input type="checkbox"/>			
Incum. paso sal %/año	7,0		Recirc. Concentrado	<input type="checkbox"/> Bomba búster <input type="checkbox"/>			
Recup. Permeado %	45,0		Center Port	<input type="checkbox"/> ERD <input checked="" type="checkbox"/>			
Caudal Perm.	m3/d	4000,00					
Flux promedio	l/m2-hr	18,7					
Caudal Alimentación	m3/d	8888,9					
Caudal Concentrado	m3/d	4888,9					

Figura 15. Diseño OI software IMSdesign

El siguiente paso es definir el sistema de recuperación de energía, que como se indicó en el análisis de soluciones, se ha optado por un intercambiador de presión. Dejamos los parámetros de funcionamiento con los valores por defecto, como se observa en la figura 16, ya que en este punto del dimensionado aún no se conoce el modelo de intercambiador de presión. Consideramos buenos esos datos porque luego se realizará el proceso iterativo con el que se conseguirán unos resultados más exactos y cercanos a la realidad.

CALCULOS DE ERE

Select ERD Type Intercambiador de Presión/Trabajo

Intercambiador de Presión/Trabajo

Fuga	1	%
Mezcla Volumétrica	6	%
H.P. Differential of Pressure/Work Exchanger	0,50	Bar
Pressure/Work Exchanger Boost Pressure	1,30	Bar

Figura 16. Datos del intercambiador de presión primera iteración software IMSdesign

Para concluir el diseño debemos especificar la configuración de membranas (figura 17). Por un lado se indican las etapas de las que consta el módulo de desalación, los tubos (cajas de presión) y el número de elementos de los que consta cada tubo. Por otro lado se debe especificar el modelo de membrana.

El software permite que cada membrana pueda ser de un modelo diferente. Con ello se pueden hacer diversas disposiciones que puedan mejorar la eficiencia del sistema.

Según lo analizado en el apartado análisis de soluciones, y cumpliendo con lo establecido en materia de calidad del agua, la configuración de membranas definitiva es la siguiente:

- Etapa 1: Arreglo 40x6. Modelo membrana: SWC4B

Además de indicar estos parámetros, hay que especificar el factor de ensuciamiento de cada membrana, el aumento del paso de sal anual y la edad de la membrana. Este último valor se fija en 3 años, ya que un diseño evaluado pensando en el arranque de la planta (0 años), no es fiable. Los valores típicos para una correcta predicción a la hora de dimensionar las membranas es una edad entre 3 y 5 años.

Por otro lado, el factor de ensuciamiento de la membrana va ligado a la edad de la misma y a la disminución del flujo por año, por lo que al modificarlas, dicho factor se corrige automáticamente. Por ejemplo, un factor de ensuciamiento de 0,8 indica que el 80% de la permeabilidad de las membranas se utiliza en el cálculo de la presión de alimentación requerida.

$$\text{Factor de ensuciamiento} = \left(1 - \frac{\text{Disminución flujo}}{100}\right)^{\text{Edad}} \quad (2.1)$$

El porcentaje de disminución de flujo considerado normalmente oscila entre el 4,5 y el 8,5 %. Depende de la calidad del agua y de la eficacia del tratamiento previo. En nuestro caso se fija en un 5 %.

El factor de incremento de paso de sales anual, por el contrario, viene definido según el material y modelo del elemento, aunque podemos modificarlo, sin salirnos del rango para las membranas de poliamida [5-15 % anual]. En el diseño se establece en un 7%. Esto quiere decir que al cabo de 3 años, la salinidad del permeado se incrementará un 21 % más respecto a la inicial.

Proyecto: Estudio de un sistema de desalación | Calculado por: Pedro Damián Acosta Díaz | Fecha: []

pH: 7,00 | Edad membrana: 3,0 años | Tipo de Químico: H2SO4

Temp.: 21,0 C | Dos. Prod. Quím.: 8,0 ppm | Concent. Químicos, %: 100

Disminución flujo %/año: 5,0 | Agua Alim.: Agua de mar - pozo

Factor de Ensuciamiento: 0,80 | Mezcla permeado: Contrapres. Perm.

Incram. paso sal %/año: 7,0 | Recirc. Concentrado: Bomba búster

Recup. Permeado %: 45,0 | Center Port: ERD

Caudal Perm.: m3/d | 4000,00

Flux promedio: l/m2-hr | 18,7

Caudal Alimentación: m3/d | 8888,9

Caudal Concentrado: m3/d | 4888,9

Sistema: Etapa 1

Modelo: SWC4B-LD

Elementos/tubo: 6 | Etapas Paso 1: 1

Tubos: 40 | Recalcular

Ejecutar | Impr. | Diagr. Flujo

Figura 17. Diseño OI con elección de membranas software IMSdesign

Una vez insertados todos los datos, ejecutamos la aplicación y nos muestra los resultados de funcionamiento obtenidos (18).

Resultados Cálculo

Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta
1-1	40	65,8	65,1	9,3	5,1	18,7	1,03
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Concentración Perm. (ppm)

Ca	0,32K	1,85Sr	0,01Cl	64,87NO3	0,00CO2	7,81
Mg	1,00NH4	0,00CO3	0,00SO4	2,45B	0,40pH	5,3
Na	40,25Ba	0,00HCO3	0,84F	0,01SiO2	0,00	

SDT total: 112,0 ppm

Parámetros Conc.

CaSO4 sat, %	51	SrSO4 sat, %	60	Fuerza iónica	1,31	pH	7,0
BaSO4 sat, %	123	SiO2 sat, %	0	Presión osmótica	47,4	Bar	

Índice Saturación: Langelier: 0,5 | Stiff & Davis: -0,53 | SDT total: 66068,8 ppm

Nota: Usar Inhib. Incrust.

Siguiente | Impr. | Diagr. Flujo

Resultados Cálculo sumario

Figura 18. Resultados finales de la primera iteración software IMSdesign

Se puede observar como el programa nos advierte del uso de “Inhibidor de incrustación”. El índice de Langelier determina si un agua es corrosiva (negativo) o por el contrario tiende a provocar incrustaciones de carbonato de calcio (positivo), como es el caso. Para el agua de mar, el índice más apropiado es el de Stiff & Davis, que si es negativo indica la mayor agresividad del agua.

Por tanto, el sistema de desalación tendrá la necesidad de constar con un inhibidor de incrustación.

En cuanto a la calidad del agua permeada, a continuación se señalan los datos de mayor relevancia.

Boro [ppm]	TDS producto [ppm]
0,402	112,0

Tabla 1. Datos referentes al Boro y TDS producto para 21°C

Como comentamos anteriormente, dimensionar el sistema considerando la temperatura más elevada del rango nos proporciona los niveles más altos de Boro y de salinidad del agua producto.

Observando el análisis que se lleva a cabo en el anexo III, los índices de Boro disminuyen cuando desciende la temperatura del agua. Con la salinidad del producto sucede exactamente lo mismo, a una mayor temperatura, mayor es la cantidad de sal disuelta en el agua. A continuación se muestra una gráfica (19) donde se observa como varían estos parámetros.

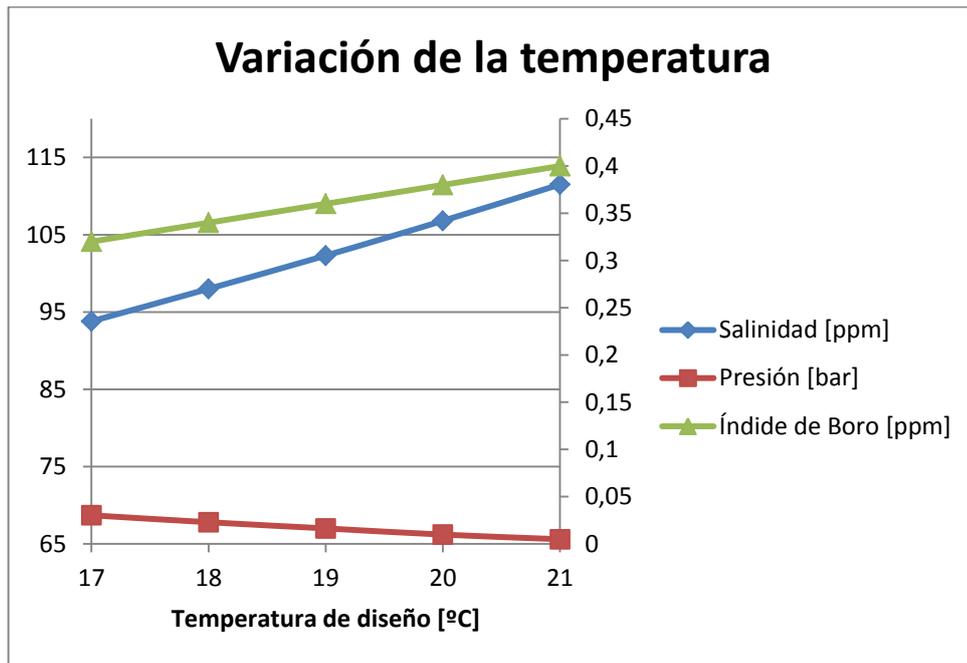


Figura 19. Variación de salinidad, presión e índices de Boro según la temperatura de diseño

Se debe cumplir con el requisito de diseño por ley que impone el RD 140/2003 sobre calidad del agua de consumo, por el cual los niveles de Boro no pueden superar 1 mg/L o 1 ppm. Consideramos, por tanto, aceptable el índice de Boro del agua de producto desalada por nuestro sistema en las condiciones de mayor temperatura, el cual no alcanza el 0,5 ppm. Por otro lado, el contenido de salinidad del agua producto está dentro del rango típico de valores en los que puede oscilar el agua para el consumo humano, debiendo ser menor que 500 ppm.

Para continuar con el correcto dimensionado debemos de realizar todo el proceso anterior, pero variando la temperatura de diseño a 17° C. Con esta temperatura obtendremos los valores de presión más elevados, los cuales tendremos que tener en cuenta para el posterior diseño del recuperador de energía y los equipos de bombeo.

	Alimentación	Rechazo
Presión [bar]	69	68,3
Caída de presión [bar]	0,7	

Tabla 2. Datos de presión a 17°C primera iteración

Una vez realizado el proceso se obtienen otros valores de Boro y TDS más bajos, mientras que la presión de alimentación de los bastidores aumenta como se observa en la tabla 2. La presión para la temperatura de 21°C es de 65,8 bar (ver figura 18), mientras que para los 17°C es de 69 bar.

En el siguiente apartado se evaluará el sistema de recuperación de energía con los datos volcados del informe emitido por el software de membranas.

2.2 Dimensionado del sistema de recuperación de energía (ERI)

A continuación se reflejan los valores extraídos del informe resultante del software de membranas de Hydranautics, y que se necesitan para dimensionar el intercambiador de presión a través del software que facilita la empresa Energy Recovery Inc (ver figura 20).

Los datos que se recogen en la tabla 3 son extraídos del fabricante de membranas, excepto la presión de captación, que es fijada según la caída de presión y la fase de pretratamiento.

	Captación	Alimentación	Rechazo	Permeado
Presión [bar]	2,4	69	68,3	0

Tabla 3. Datos de operación en la primera interacción

- Recuperación: 45 %
- N° de líneas (trains): 1
- Temperatura: 17°C

- TDS captación: 35.382 ppm y TDS permeado (17°C)= 94,3 ppm
- Caudal permeado: 166,67 m³/h =4000 m³/día

La presión a la entrada de la planta, se establece en 3 bar (incluyendo las pérdidas de carga de la conducción). Aplicando en la fase de pretratamiento una pérdida de carga del 20%, la presión antes de la bomba de alimentación de las membranas es de 2,4 bar. Esta presión es igual en el ramal hacia el intercambiador.

Por otro lado, el software nos permite introducir las características de funcionamiento (rendimiento, eficiencia del motor, etc.) de las bombas, tanto del núcleo de desalación como de la captación. En esta primera iteración estos datos serán los definidos por defecto por el programa.

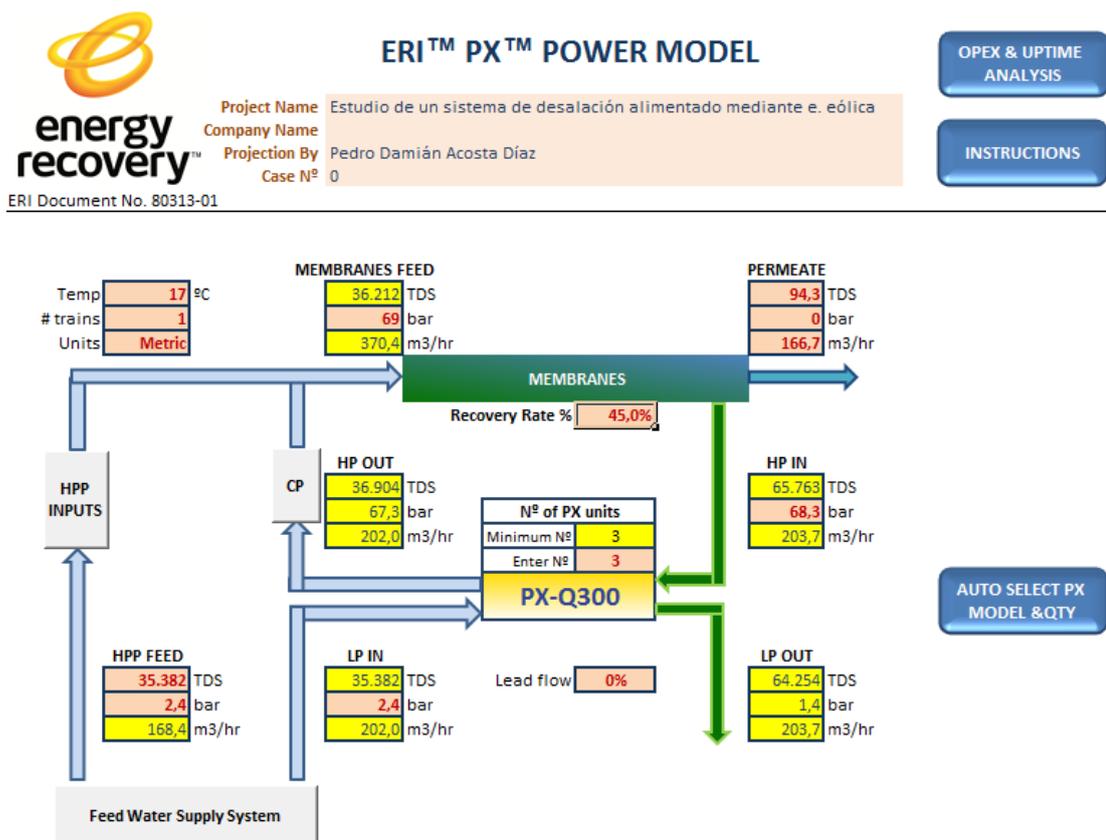


Figura 20. Interfaz del software de recuperación de energía ERI

Introducida la información señalada y eligiendo un tipo de modelo de ERI, según las especificaciones a cumplir que señala el software y el número mínimo de los mismos, en nuestro caso un modelo PX-Q300, se obtienen los siguientes resultados (21).

PX Technology Performance	
PX unitary flow	67,9 m ³ /hr
Salinity Increase at membranes	2,3%
Volumetric mixing VM	5,0%
Lubrication flow (LF) per PX array	1,7 m ³ /hr
LF as % of concentrate flow	0,9%
HP DP	1,0 bar
LP DP	1,0 bar
RO Specific Energy **	2,83 kWh/m ³
Efficiency	96,29%

** Includes Feedwater Supply Pump Energy consumption

Figura 21. Resultados de operación del intercambiador de presión primera interacción

Como se observa, el programa nos proporciona datos de funcionamiento del intercambiador de presión, los cuales vamos a volcar nuevamente a la aplicación de membranas para definir de una forma más precisa, los parámetros de funcionamiento de la instalación. También se debe de conocer la presión de descarga de rechazo, que es de 1,4 bar.

2.3 Proceso iterativo software de membranas vs ERI

Nos dirigimos nuevamente a la aplicación de las membranas e introducimos, como se observa en la figura 22, los datos extraídos del software ERI.

The screenshot shows a software window titled 'CALCULOS DE ERE'. At the top, there is a dropdown menu labeled 'Select ERD Type' with the selected option 'Intercambiador de Presión/Trabajo'. Below this, the window is divided into a section titled 'Intercambiador de Presión/Trabajo' which contains four input fields with their respective values and units:

Parameter	Value	Unit
Fuga	0,9	%
Mezcla Volumétrica	5	%
H.P. Differential of Pressure/Work Exchanger	1,00	Bar
Pressure/Work Exchanger Boost Pressure	1,70	Bar

Figura 22. Datos del intercambiador de presión segunda iteración software IMSdesign

Al variar las condiciones de funcionamiento del intercambiador de presión, los parámetros de operación de las membranas se ven afectados, produciéndose variaciones algo significativas.

Los índices de Boro y la salinidad (TDS) del agua producto no se han alterado, mientras, la presión de alimentación y de rechazo ha descendido, y con ello, la caída de presión.

	Alimentación	Rechazo
Presión [bar]	68,7	68,1
Caída de presión [bar]	0,6	

Figura 23. Datos de presión a 17°C segunda iteración

Los parámetros que se han modificado se introducen nuevamente en el software del recuperador de energía y se observan los cambios en los resultados (24).

Total # PX units: 3

PX Technology Performance	
PX unitary flow	67,9 m3/hr
Salinity Increase at membranes	2,3%
Volumetric mixing VM	5,0%
Lubrication flow (LF) per PX array	1,7 m3/hr
LF as % of concentrate flow	0,9%
HP DP	1,0 bar
LP DP	1,0 bar
RO Specific Energy **	2,82 kWh/m3
Efficiency	96,28%

** Includes Feedwater Supply Pump Energy consumption

Figura 24. Resultados de operación del intercambiador de presión segunda interacción

Respecto a los resultados de la primera iteración, se observa que los únicos valores que se han modificado son el consumo específico y la eficiencia del intercambiador presión, en magnitudes de 0,01%, por lo que damos por concluido el proceso de iteración entre las aplicaciones de membranas y de recuperación de energía.

2.4 Dimensionado de las bombas del núcleo de desalación

2.4.1 Bomba de alta presión

Obtenidos los parámetros de funcionamiento de las bombas (tabla 4), a continuación se procede a explicar el proceso de elección de la bomba adecuada para cada caso en base al estudio realizado en el análisis de soluciones.

Bomba	Presión [bar]	Caudal [m ³ /h]
Bomba de alta presión	68,7	168,4
Bomba Booster	1,6	202

Tabla 4. Datos de operación de las bombas del núcleo de desalación

La bomba de alta presión, tras evaluar las diferentes soluciones posibles en cuanto a fabricantes, se dimensiona a través de la aplicación online “Aquabold selector”, del fabricante Energy Recovery Inc. Se introducen los datos de operación (caudal, presión) como se muestra a continuación (25), y el programa nos proporciona los modelos de bombas disponibles y las curvas características de las mismas.

The screenshot shows the 'Operating Conditions' section of the Aquabold selector. It includes a 'Product Line' dropdown with 'Horizontal multi-stage centrifugal pumps' selected. The main configuration area contains the following fields:

- Flow, rated:** 168.4 m³/h
- Total head, rated:** 68.70 bar
- Pumps in parallel:** 1
- NPSH available, rated:** Ample m
- Cycle:** 50 Hz
- Search criteria:** Variable speed, maximum dia
- Driver design:** NEMA motor
- Driver sizing specification:** Rated power
- Liquid:** Sea Water

A 'Find Solutions' button is located at the bottom right of the configuration area.

Figura 25. Interfaz del aquabold selector de ERI

La bomba de alta presión elegida es la bomba modelo Aquabold 4x6x9-A HP (10 stages) del fabricante Energy Recovery Inc. A continuación se muestran la curva característica y de rendimiento de la bomba en cuestión, donde se indica el punto de operación (168.4,68.37).

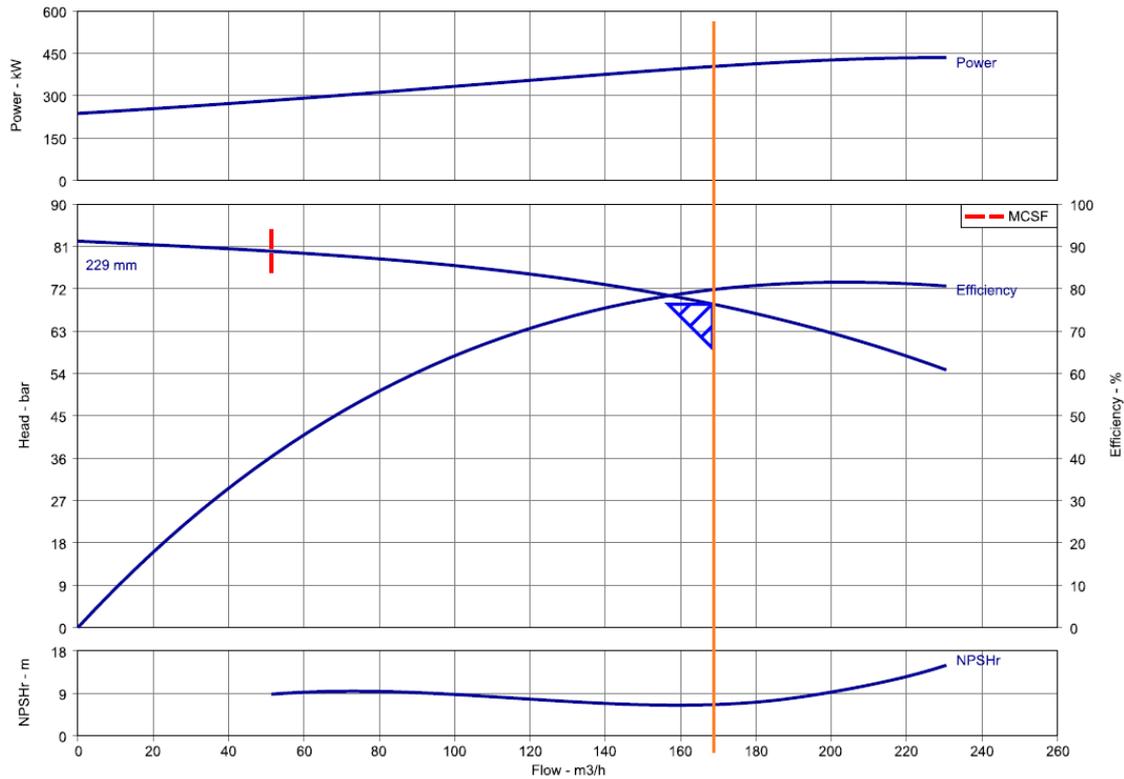


Figura 26. Trazado del punto de operación de la bomba de alta presión

Como se puede observar, el rendimiento de la bomba de alta presión es de 79,75 %, aproximadamente 80 %. Estos datos de operación pueden consultarse en el anexo VI.

2.4.2 Bomba Booster (de circulación)

Para estimar el punto de operación de esta bomba se ha realizado el cálculo de altura útil de la bomba a través de la expresión de la altura (4.7), despreciando el término de la energía cinética (cambio en las velocidades despreciable) y de la altura de cota (misma cota):

$$H = \frac{P_s - P_e}{\gamma} = \frac{6870000 \text{ Pa} - 6710000 \text{ Pa}}{10153,35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}^2}} = 15,76 \text{ m}$$

Obtenida la altura, se traza el punto de operación de la bomba (202,15.71), como se observa en la figura 27. La bomba elegida opera con un rendimiento de aproximadamente el 77,5 %, a 2270 rpm. Las especificaciones técnicas se pueden consultar en el anexo VI.

El modelo elegido es el VP-4671.

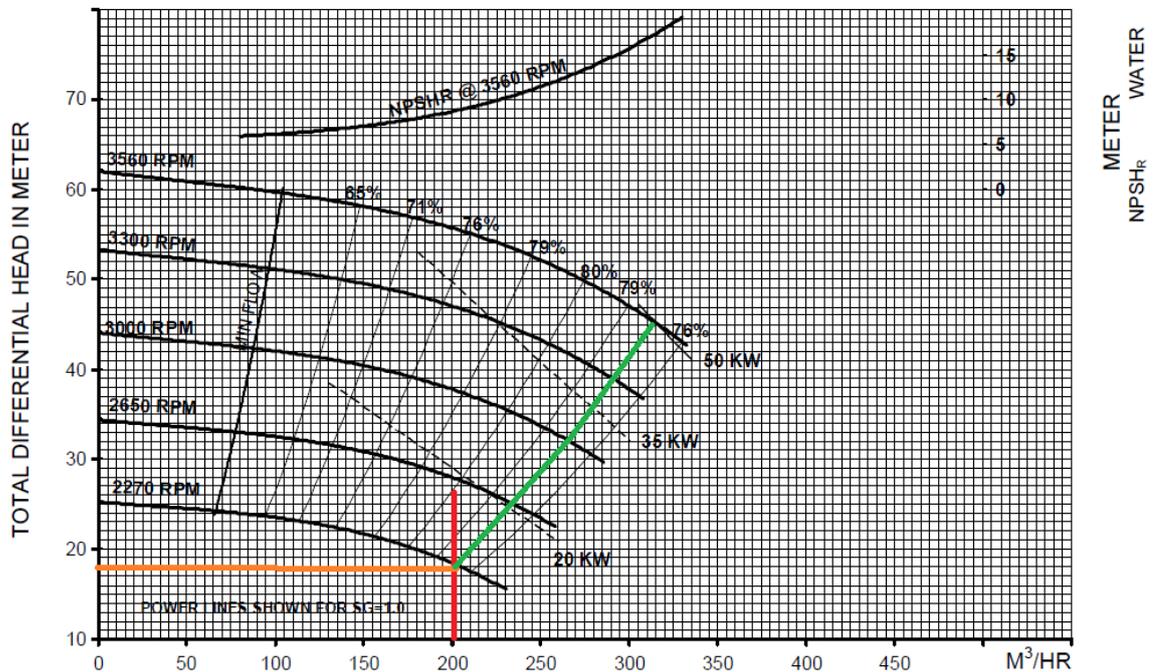


Figura 27. Trazado del punto de operación de la bomba booster

2.4.3 Resultados finales

En este apartado se recogen los datos de eficiencia referentes a las bombas del núcleo de desalación, tras su dimensionado.

Bomba	Eficiencia (B) [%]	Eficiencia (B+M) [%]
Bomba HP	79,75	75,8
Bomba Booster	77,5	73,6

Tabla 5. Eficiencias de la bomba de alta y la bomba booster

Dimensionadas las bombas del núcleo de desalación se procede a realizar el dimensionado de las bombas de captación del agua de alimentación y las bombas de distribución y abastecimiento de aguas. Ello implica conocer las pérdidas de carga de las conducciones para ambos casos.

2.5 Cálculo de pérdidas de carga

2.5.1 Conducción de captación

Datos para el cálculo:

- Caudal de captación: 370,4 m³/h
- Longitud tubería: 250 m
- Diámetro tubería: 300 mm
- Material de diseño: PRFV (Plástico reforzado con fibra de vidrio)

Una vez deducida la ecuación de la altura (Anexo IV), calculamos las pérdidas de carga (Hr) del colector desde los pozos de captación hasta planta, previo al pretratamiento.

En primera instancia evaluamos el número de Reynolds, coeficiente adimensional que nos va a proporcionar información sobre el tipo de régimen del fluido (laminar, turbulento o de transición).

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (2.2)$$

Para obtenerlo, antes de nada calculamos la velocidad media de la conducción, conocido el caudal y suponiendo el diámetro interno de la conducción de 300 mm.

A través de la definición de caudal:

$$Q = v \cdot S \quad (2.3)$$

La velocidad media obtenida es de: $v=1,455$ m/s.

Por otro lado, la viscosidad dinámica del fluido a la temperatura media de diseño de 19°C (17-21°C) se obtiene interpolando los siguientes datos (tabla 6) recabados de las tablas de propiedades físicas del agua a 1 bar extraídas de (Agüera Soriano 2002).

Temperatura °C	Viscosidad dinámica [N*s/m ²]
15	1,139 10 ⁻³
20	1,002 10 ⁻³

Tabla 6. Datos de viscosidad dinámica

La viscosidad dinámica para la temperatura de 19 °C es de: $\mu=1,0294 \cdot 10^{-3} \text{ N*s/m}^2$.

La densidad, deducida en el apartado 4.1.1 del Anexo IV, es 1035 kg/m³.

El número de Reynolds resultante es: $Re=438874,6$. Como es mayor de 4000, deducimos que el régimen es turbulento. Por tanto aplicamos la ecuación de Colebrook (2.4) para calcular el coeficiente de fricción de la tubería y poder así obtener las pérdidas de carga a través de Darcy-Weisbach (2.5).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (2.4)$$

$$Hr = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.5)$$

El campo de aplicación de la ecuación 2.4 está entre la zona de transición de flujo laminar a turbulento, y la zona de turbulento, por lo que para la obtención de un coeficiente de fricción fiable se debe de realizar un proceso iterativo. Este proceso comienza suponiéndose un “f”. Cuando el error del coeficiente obtenido es menor que 10⁻⁴ se deduce que dicho valor es fiable y se concluye el proceso iterativo.

La rugosidad relativa (k/D) para la tubería es de:

$$\frac{k}{D} = \frac{0.029}{300} = 9,6667 \cdot 10^{-5}$$

Siendo la rugosidad (k) del material PRFV de 0,029 mm, según el fabricante de tuberías “Flowtite”.

Comenzamos suponiendo un $f_0=0,02$;

Número de iteraciones	Valor inicial	Valor calculado
1 ^a	0,02	0,0143306
2 ^a	0,0143306	0,0146473
3 ^a	0,0146473	0,014626
4 ^a	0,014626	0,014627
5 ^a	0,014627	0,014627

Tabla 7. Proceso iterativo para el cálculo del coeficiente de fricción en la tubería de captación

Finalizado el proceso iterativo, el coeficiente de fricción es de $f=0,01463$. Este valor vamos a contrastarlo con el extraído a través del diagrama de Moody, para verificar los cálculos.

Como podemos ver en la figura 28, aproximadamente, los factores de fricción por ambos métodos coinciden. Damos por bueno el factor de fricción calculado con la ecuación de Colebrook.

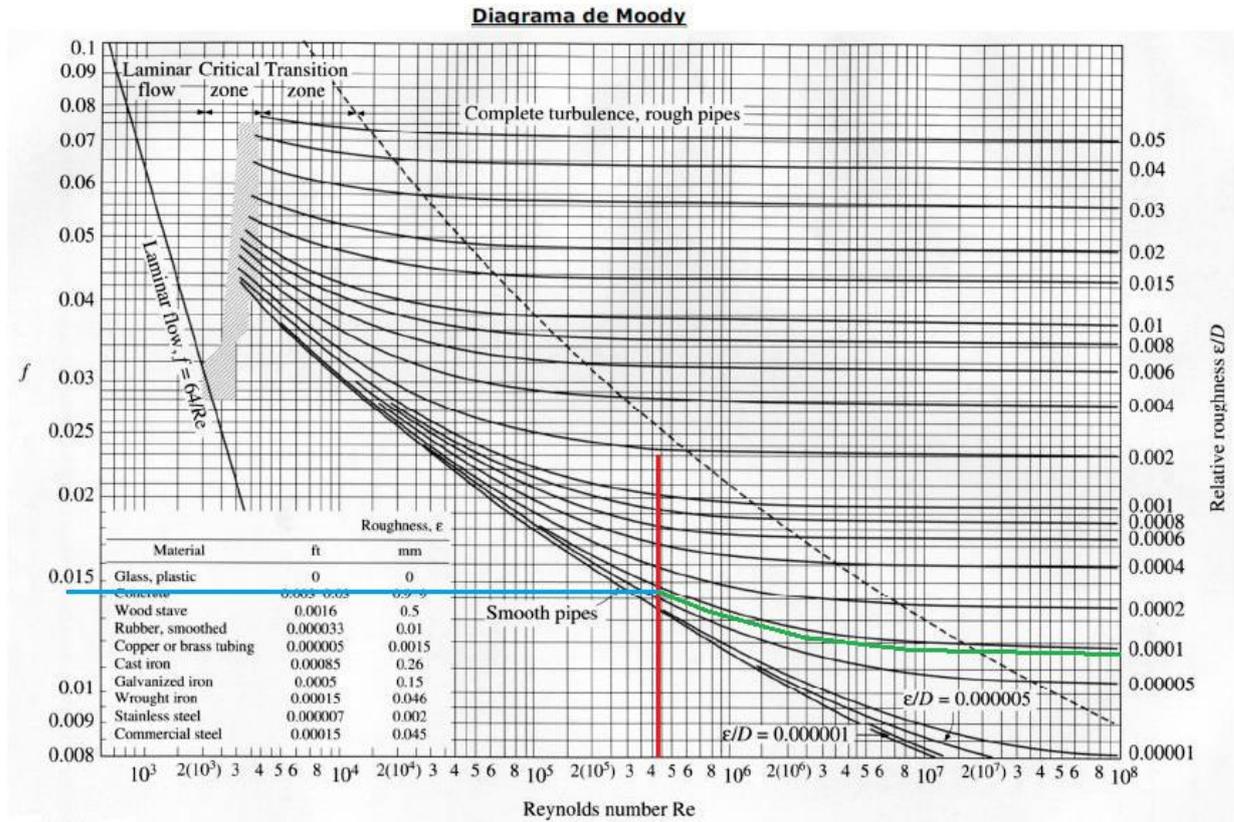


Figura 28. Obtención del coeficiente de fricción a través del Diagrama de Moody

De la ecuación 2.5,

$$Hr = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde todos los valores son conocidos, las pérdidas de carga continuas son: $Hr=1,32$ m.

Además, consideramos la pérdida local ocasionada por los codos de 90° a la salida de los pozos. En nuestro caso se decidió instalar tres pozos de captación.

La pérdida local de un elemento se evalúa con la siguiente ecuación:

$$H_k = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.6)$$

En la cual “K” es el coeficiente de forma del elemento en cuestión. Para un codo de 90° normal, $K=0,9$.

$$H_k = 0,9 \cdot \frac{1,455^2}{2g} = 0,097 \text{ m}$$

Como en la instalación habrán 3 codos, la pérdida local es de: $H_k = 0,29 \text{ m}$

Las pérdidas de carga totales en la conducción de impulsión del agua de captación hasta planta son:

$$H_{rT} = 1,32 + 0,29 = 1,61 \text{ m}$$

Comprobando el cálculo a través de la longitud equivalente, se obtiene aproximadamente el mismo valor. La longitud equivalente para un codo de 90° es de 19 m (tres codos = 57 m). La longitud equivalente total es de 307 m. Por tanto:

$$H_{rT} = f \cdot \frac{Leq}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = 1,62 \text{ m}$$

2.5.2 Conducción de distribución

Para deducir las pérdidas de carga en el colector de distribución se tienen en cuenta los siguientes datos:

- Caudal de producto: 166,7 m³/h
- Longitud tubería: 800 m
- Diámetro tubería: 200 mm
- Material: PRFV

La longitud de la tubería se delimita, según lo indicado en el apartado de 10. Resultados finales de la Memoria, a través de la aplicación “IDEVisor 3.0”, teniendo en cuenta la ubicación del futuro tanque de regulación más cercano.

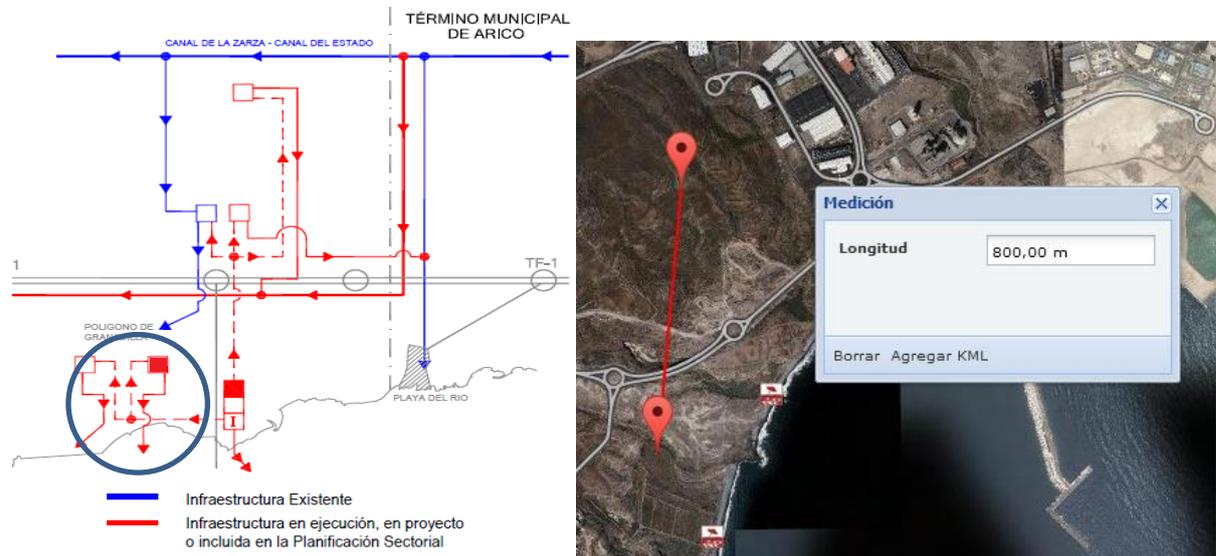


Figura 29. Longitud de la tubería de distribución

El proceso a seguir es el mismo que para el apartado anterior, 2.5.1, comenzando por deducir la velocidad del agua, calculando el número de Reynold y el factor de fricción de la tubería, para concluir obteniendo las pérdidas de carga.

Antes de nada hay que citar que la pérdida de carga en la fase de postratamiento es de un 60 %, por lo que la presión del agua al llegar a las bombas de distribución la consideramos como insignificante (Presión atmosférica).

Evaluamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

Para obtenerlo, antes de nada calculamos la velocidad media de la conducción, conocido el caudal y suponiendo el diámetro interno de la conducción de 200 mm.

A través de la definición de caudal (ecuación 2.2), la velocidad media obtenida es de: $v=1,474$ m/s.

Por otro lado, la viscosidad dinámica del fluido a la temperatura media de diseño de 19°C ($17-21^{\circ}\text{C}$) se obtiene interpolando los datos de la tabla 6, igual que el caso anterior.

La viscosidad dinámica para la temperatura de 19°C es de: $\mu=1,0294 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$.

La densidad, para este caso, es $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, porque se trata de agua pura.

El número de Reynolds resultante es: $\text{Re}=286.380,4$. Como es mayor de 4000, deducimos que el régimen es turbulento. Por tanto aplicamos la ecuación de Colebrook (2.4) para calcular el coeficiente de fricción de la tubería y poder así obtener las pérdidas de carga a través de Darcy-Weisbach (2.5).

La rugosidad relativa (k/D) para la tubería es de:

$$\frac{k}{D} = \frac{0,029}{200} = 1,45 \cdot 10^{-4}$$

Siendo la rugosidad (k) del material PRFV de $0,029 \text{ mm}$, según el fabricante de tuberías “Flowtite”.

Comenzamos suponiendo un $f_0=0,02$;

Número de iteraciones	Valor inicial	Valor calculado
1 ^a	0,02	0,015664
2 ^a	0,015664	0,015929
3 ^a	0,015929	0,01591
4 ^a	0,01591	0,015911
5 ^a	0,015911	0,015911

Tabla 8. Proceso iterativo para el cálculo del coeficiente de fricción en la tubería de distribución

Finalizado el proceso iterativo, el coeficiente de fricción es de $f=0,01591$. Este valor se contrasta con el extraído a través del diagrama de Moody, verificándolo.

De la ecuación 2.4,

$$Hr = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde todos los valores son conocidos, las pérdidas de carga continuas son: $Hr=7,05$ m.

Las pérdidas secundarias ocasionadas por los accesorios de tuberías como codos, válvulas, etc, se estiman en un 15% de las primarias.

$$H_{rT} = 7,05 + 1,06 = 8,11 \text{ m}$$

2.6 Cálculo de la altura útil de las bombas de captación y distribución

Una vez se conocen los caudales de operación y las pérdidas de carga ocasionadas en las conducciones, se procede a obtener las alturas manométricas de las bombas de captación y de las bombas de distribución a través de la ecuación 4.7 (ver anexo IV), que define la altura útil de una bomba:

$$H_B = \frac{P_S - P_E}{\gamma} + \frac{v_S^2 - v_E^2}{2 \cdot g} + (z_S - z_E) + Hr$$

2.6.1 Bombas de captación

Los datos necesarios para definir la altura útil son los siguientes.

- Presión entrada a planta: 3 bar
- Desnivel: 23 m
- Pérdidas de carga: 1,62 m

- Peso específico agua de alimentación: $10153 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^2$

Despreciamos la contribución de la energía cinética, porque consideramos la variación de la velocidad insignificante a lo largo de la conducción, y tomamos la presión (P_e) de la superficie libre de fricción como 0, al considerar las bombas sumergidas. Por tanto:

$$H_{B-c} = \frac{P_S - P_e}{\gamma} + (z_S - z_E) + H_{rT}$$

$$H_{B-c} = \frac{300000 \text{ Pa}}{10153} + (23 - 0) + 1,62$$

La altura total de las bombas de captación es: $H_{B-c} = 54,17 \text{ m}$

2.6.2 Bombas de distribución

Los datos necesarios para definir la altura útil son los siguientes.

- Presión después del postratamiento: $\approx 0 \text{ bar}$
- Presión en el depósito (SLL): 0 bar
- Desnivel: 40 m
- Pérdidas de carga: $8,11 \text{ m}$
- Peso específico agua de alimentación: $9810 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}^2$

Despreciamos la contribución de la energía cinética, porque consideramos la variación de la velocidad insignificante a lo largo de la conducción. Por tanto:

$$H_{B-d} = \frac{P_S - P_e}{\gamma} + (z_S - z_E) + H_{rT}$$

$$H_{B-d} = \frac{0}{9810} + (40 - 0) + 8,11$$

La altura total de las bombas de distribución del agua producto es: $H_{B-d} = 48,11 \text{ m}$

Obtenidos estos parámetros de funcionamiento de las bombas, se prosigue con la elección del modelo más adecuado para las condiciones establecidas de operación.

2.7 Dimensionado de las bombas de captación y distribución

2.7.1 Bombas de captación

El punto de operación de las bombas de captación se observa en la tabla 9:

Bomba	Altura [m]	Caudal [m ³ /h]
Bombas de captación	54,17	370,4

Tabla 9. Punto de operación de las bombas de captación

El sistema contará con tres bombas (tres pozos) más una bomba de repuesto para averías, dispuestas en paralelo. Por tanto, cada una de ellas elevará un caudal de 123,47 m³/h.

La evaluación de las bombas de captación se llevó a cabo a través de la aplicación offline “KSB Easyselect”, del fabricante KSB.

Esta aplicación nos proporciona una interfaz en la que podemos interactuar para fijar las condiciones y parámetros de funcionamiento que requerimos. Al ejecutarla, tenemos la opción de elegir el tipo actividad que vamos a llevar a cabo (extracción de agua, distribución, etc.). En nuestro caso señalamos extracción de agua y la pestaña de “pozo/bombas de pozo”.

Posteriormente se introducen los datos de operación del sistema.



Figura 30. Interfaz de la herramienta EasySelect de KSB

Realizado esto, el programa nos proporciona una serie de bombas que se ajustan o aproximan a las condiciones requeridas. Entre ellas elegimos, según lo indicado en el análisis de soluciones, por su eficiencia, la bomba sumergible modelo UPA 200B-130/4d. En la figura 31 se puede observar la representación del punto de funcionamiento.

La eficiencia de la misma es del 79,2 %, mientras que el rendimiento del motor es de un 84,6 %.

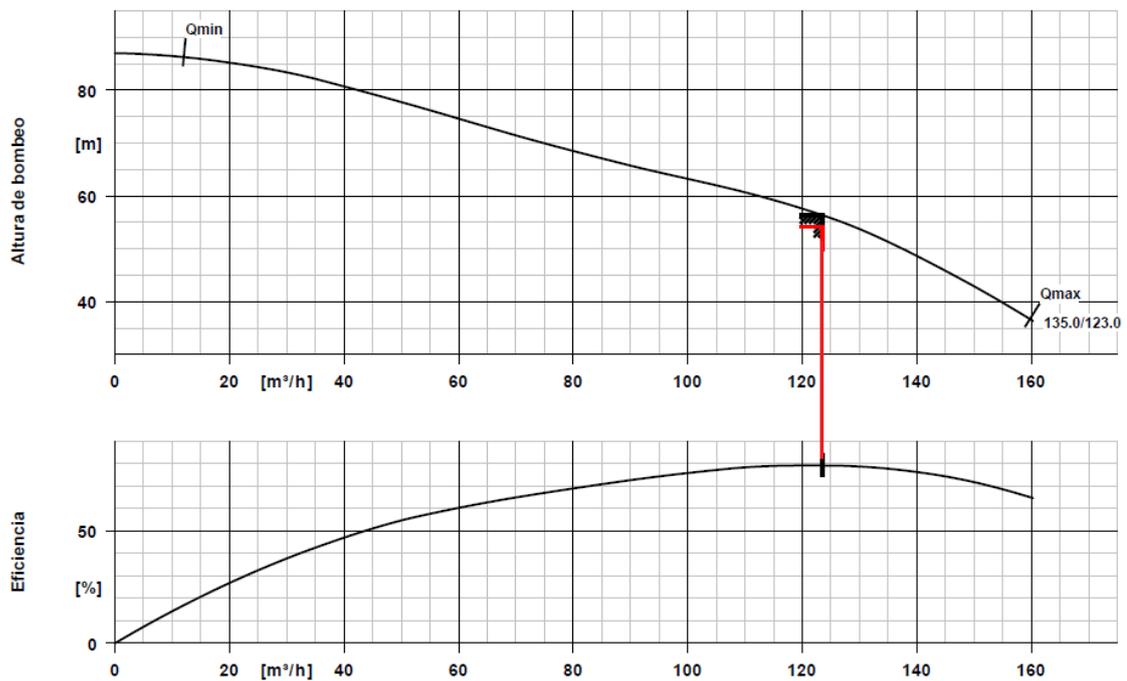


Figura 31. Punto de operación de las bombas de captación

2.7.2 Bombas de distribución

En la siguiente tabla se indica el punto de operación de las bombas de distribución de agua producto.

Bomba	Altura [m]	Caudal [m ³ /h]
Bombas de distribución	48,11	166,7

Tabla 10. Punto de operación de las bombas de distribución

El sistema de bombeo estará compuesto de tres bombas, cada una de ellas con un caudal de 55,6 m³/h, más una bomba de repuesto, con un acoplamiento en paralelo.

El dimensionado de las mismas se lleva a cabo a través de la aplicación “Webcaps” del fabricante Grundfos, la cual nos permite fijar los parámetros de operación como se puede ver en la siguiente figura (32) para evaluar los diferentes tipos de bomba del catálogo.

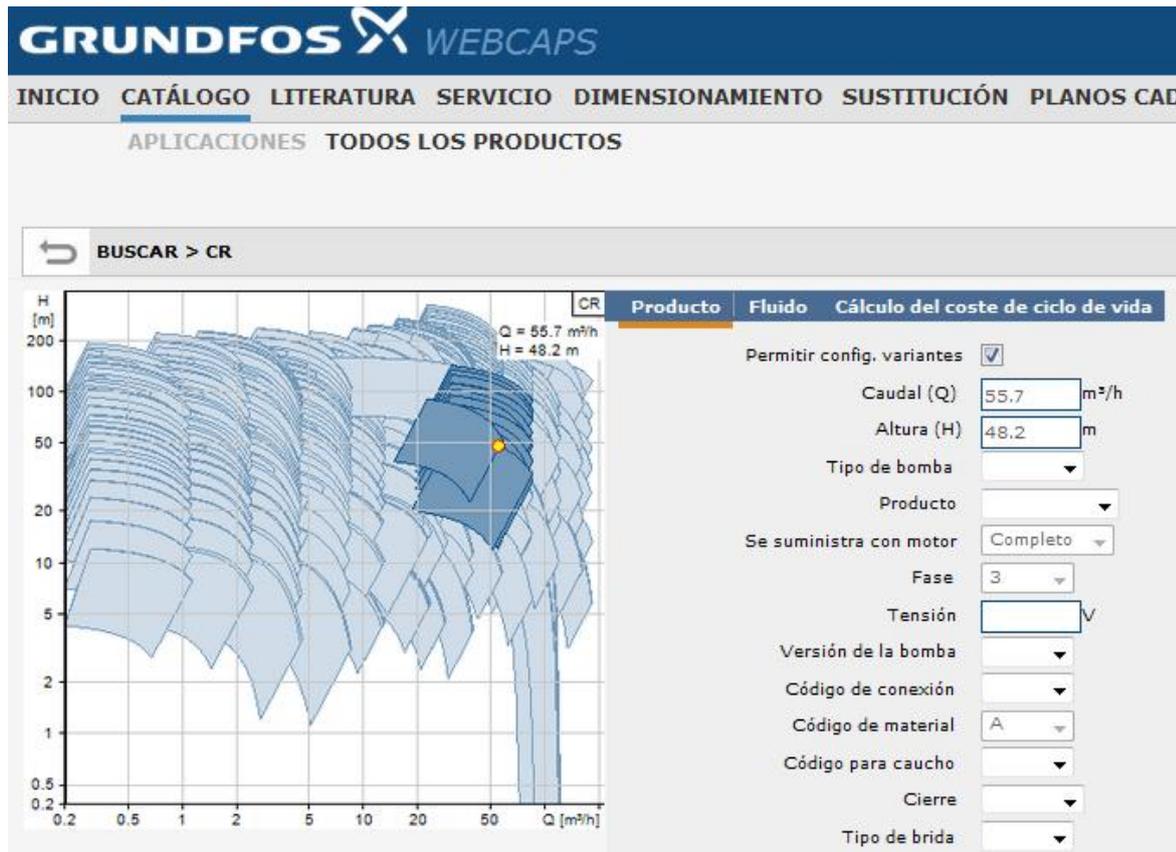


Figura 32. Interfaz de la herramienta Grundfos Webcaps

En nuestro caso se ha elegido la gama de bombas de distribución de agua “CR”, para la cual, con las condiciones de funcionamiento establecidas, selecciona una serie de modelos que se adaptan a las mismas.

Según lo evaluado en el análisis de soluciones, el modelo seleccionado es el CR 64-2 A-F-A-E-HQQE. El rendimiento de la bomba es del 76,1 %, como se observa en la figura 33, en la que se muestran las curvas características de las tres bombas iguales en paralelo. El rendimiento del motor es 91,2 %.

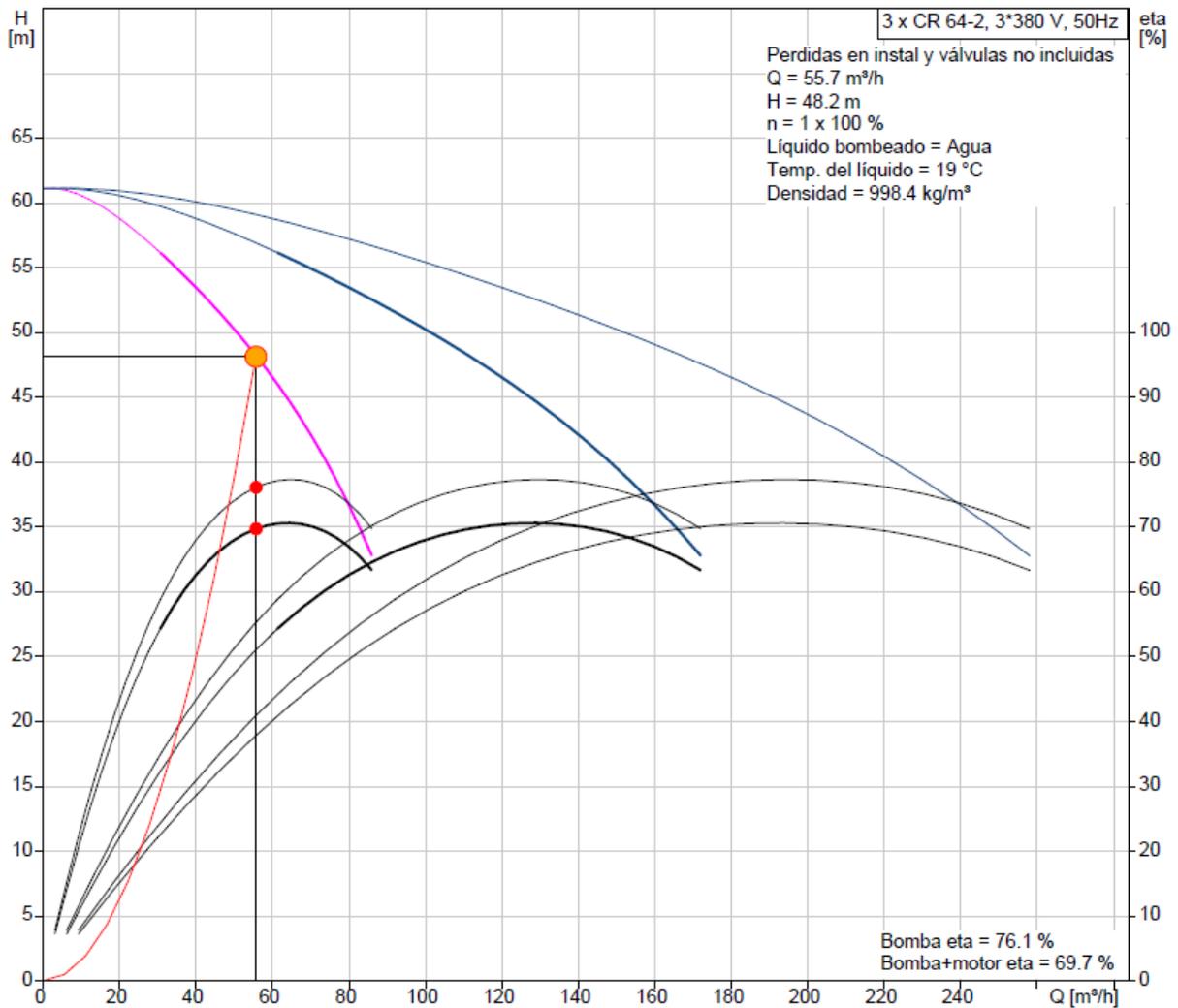


Figura 33. Punto de operación de las bombas de distribución

2.7.3 Resultados finales

En este apartado se recogen los datos de eficiencia referentes a las bombas de captación y distribución, tras su dimensionado.

Bomba	Eficiencia (B) [%]	Eficiencia (B+M) [%]
Bombas de captación	79,2	67
Bombas de distribución	76,1	69,7

Tabla 11. Eficiencias de las bombas de captación y distribución

2.8 Cálculo del consumo específico de la planta

Antes de nada, para el cálculo del consumo específico se consideran las siguientes hipótesis de trabajo, que también se tuvieron en cuenta para evaluar las bombas de distribución y captación:

1. Régimen estacionario
2. Convenio de signos internacional
3. Todos los equipos se consideran que operan de forma adiabática
4. Se trabaja con presiones relativas
5. Se desprecian las pérdidas de carga en las líneas entre las etapas de desalación, excepto la línea de impulsión del agua de captación y la línea de distribución
6. Fluidos de trabajo según densidades (ver 4.1.1, Anexo IV)

El consumo específico de una instalación desaladora es un parámetro de la instalación que indica el consumo externo de energía por m^3 de agua producida. El consumo principal de una planta de ósmosis inversa es debido a la bomba de alta presión y suele estar en torno al 80% del consumo total.

El consumo específico de la planta se obtiene de la aplicación de elaboración propia en el programa Excel, para el cálculo del consumo específico de una planta de desalación por ósmosis inversa (figura 34), la cual se detalla en el anexo IV.

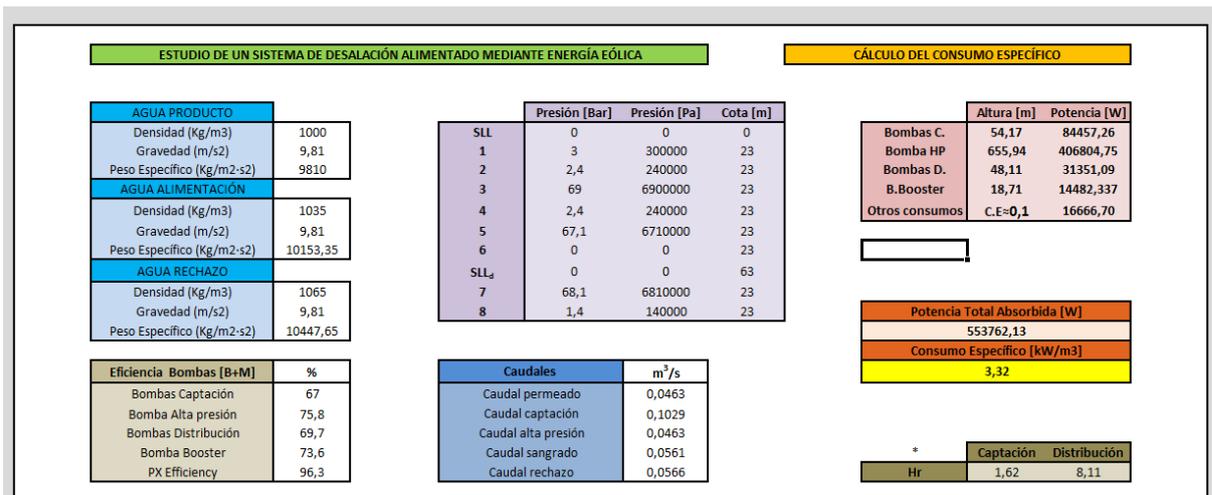


Figura 34. Interfaz de la herramienta de elaboración propia para el cálculo del C.E

A continuación se muestran, con más claridad, los datos obtenidos de la misma:

Bomba	Altura [m]	Potencia [kW]
Bombas de captación (3)	54,17	84,5
Bomba de alta presión	655,94	406,8
Bomba Booster	18,71	14,5
Bombas de distribución (3)	48,11	31,4
Otros consumos	0,1 kWh/m ³	

Tabla 12. Alturas y potencias de las bombas del sistema desalador

Como se puede observar, el consumo principal de energía es el generado en el núcleo de desalación por la bomba de alta presión, que representa el 76% del consumo total de la instalación, muy cerca del 80% comentado con anterioridad.

Se estima el consumo eléctrico del resto de consumos fijos, como son las válvulas motorizadas, bombas dosificadoras, equipos de aire comprimidos, sistemas de control, limpieza de membranas, entre otros, en 0,1 kWh/m³, del consumo específico total. Las pérdidas de carga en las conducciones entre las distintas etapas del sistema, una vez en planta, son despreciadas para dicho cálculo.

Por tanto, una vez obtenida la potencia total de consumo externo del sistema de desalación, que es de 553,8 kW, se deduce el consumo específico (CE):

$$CE = 3,32 \frac{kwh}{m^3}$$

El valor del consumo específico entra dentro del rango actual de valores para un sistema de desalación por ósmosis inversa con recuperación de energía mediante intercambiador de presión. Dicho rango oscila entre 2,5 y 4 kwh/m³, según las condiciones de la planta.

La disponibilidad anual de la planta se establece en un 95 %, por lo que la energía anual requerida para el sistema de desalación se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$Disponibilidad\ anual = 0,95 * 365\ días * 24\ h = 8322\ h$$

$$Energía\ anual = 553,8\ kW * 8322\ h = 4608723,6\ kWh$$

Parámetros energéticos	
Consumo energético [kW]	553,8
Energía anual [MWh]	4609

Tabla 13. Parámetros energéticos del sistema de desalación

2.9 Dimensionado del sistema eólico

La evaluación energética se realiza combinando la distribución de Weibull, la distribución de probabilidades de velocidades del viento y la curva de potencia del aerogenerador. Esto se implementa en la aplicación de Excel de elaboración propia que se detalla en el anexo IV cuyo interfaz se observa en la figura 35.

EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE AEROGENERADORES	
DATOS	
Densidad del aire [kg/m ³]	1,225
Área barrida [m ²]	2642
Factor de forma (k)	2,08
velocidad media [m/s]	6,9
Factor de escala C [m/s]	7,789927348
RESULTADOS	
Potencia promedio generada [kW]	313,2320249
Energía anual estimada [MWh]	2661,60

Viento [m/s]	Potencia [kW]	Cp (v)
3	15	0,343311688
4	52	0,502093343
5	100	0,49436883
6	198	0,566464284
7	220	0,396359849
8	380	0,458642958
9	520	0,440795253
10	650,00	0,401674674
11	800,00	0,371426619
12	850,00	0,30397389
13	850,00	0,239083697
14	850,00	0,191423791
15	850,00	0,155634632
16	850,00	0,128238985
17	850,00	0,106913674
18	850,00	0,090066338
19	850,00	0,07658068
20	850,00	0,06565836
21	850,00	0,05671816
22	825,00	0,047879213
23	800	0,040631941

f(v)	Potencia promedio generada
0,0830401	1,2456013
0,1012363	5,2642868
0,1111418	11,1141773
0,1126571	22,3061026
0,1068279	23,5021271
0,0954995	36,2898179
0,0808764	42,0557095
0,0650958	42,3122608
0,0499079	39,9263580
0,0365063	31,0303648
0,0255068	21,6807773
0,0170377	14,4820646
0,0108873	9,2541927
0,0066588	5,6599895
0,0038995	3,3145721
0,0021872	1,8590935
0,0011752	0,9989283
0,0006050	0,5142816
0,0002985	0,2537215
0,0001411	0,1164339

Figura 35. Interfaz de la herramienta de elaboración propia para la estimación energética anual de aerogeneradores

Lo primero que se establece son los parámetros de viento referentes al lugar donde se va a instalar el aerogenerador. Estos son la velocidad media anual del viento y el factor de forma “k”, evaluados para determinadas alturas de la torre (40, 60, 80 m), pudiéndose interpolar para otras alturas.

Los aerogeneradores, como se comentó en el análisis de soluciones, debe emplazarse a una distancia mínima de separación de otro elemento. Esta distancia es entre líneas. Según esto, y teniendo en cuenta la situación de la desaladora y los parámetros más adecuados de velocidad media del viento y factor de forma, el emplazamiento de los aerogeneradores posee las siguientes coordenadas:

- Coordenadas UTM: [X=351850, Y=3106350 ; X=352000, Y=3106350]

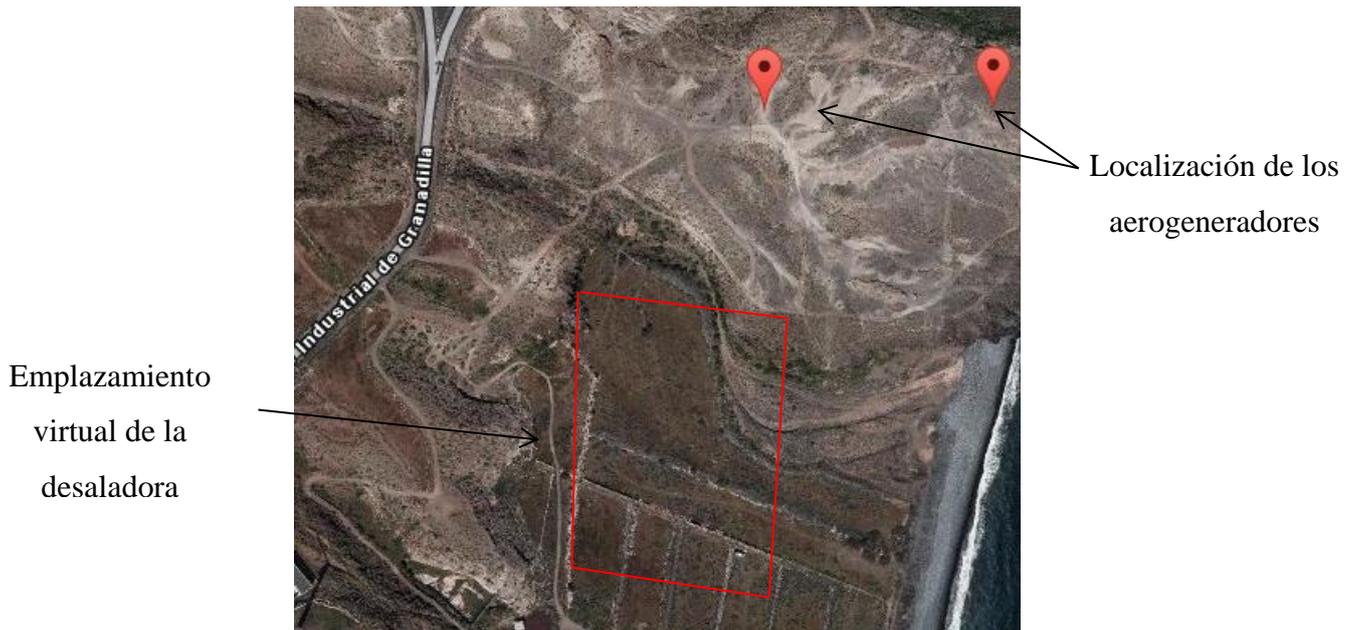


Figura 36. Localización de los aerogeneradores

Tras definir la localización y por tanto los parámetros indicados, se procede a evaluar el modelo de aerogenerador para que garantice la demanda de consumo energético del sistema de desalación.

El modelo a instalar es el G58/850 kW del fabricante Gamesa.

Según DECRETO 32/2006, de 27 de marzo, por el que se regula la instalación y explotación de los parques eólicos en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias, la distancia mínima entre líneas debe cinco veces el diámetro del rotor, mientras que entre dos aerogeneradores de la misma línea, es de dos veces el diámetro del rotor, como se señaló en el análisis de soluciones.

El modelo elegido tiene un diámetro de rotor de 58 m. La distancia mínima debe ser de 290 metros. Los aerogeneradores instalados en el Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER), en las proximidades del emplazamiento del sistema de desalación, están a una distancia de entre 460 y 550 m, para las localizaciones establecidas, evaluada a través de la herramienta online “Visor 3.0 IDECanarias (GRAFCAN)”, del punto de localización del aerogenerador (ver figura 37), por lo que el emplazamiento elegido es correcto. En dicha figura se representa la distancia mínima.

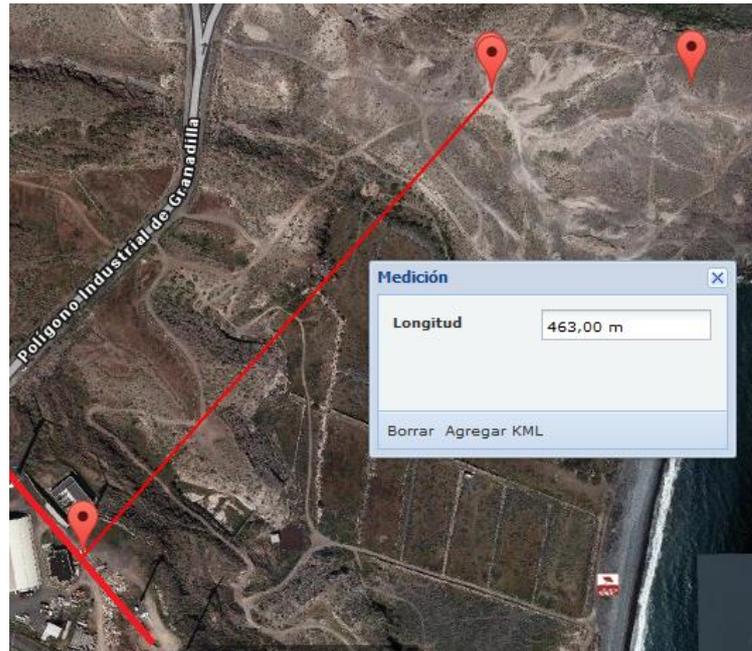


Figura 37. Distancia entre líneas de aerogeneradores

A través de la página web del Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), se accede al “Recurso eólico de Canarias”, una sección desde la que se nos facilita información relativa a los parques eólicos existentes en Canarias así como datos del recurso eólico de Canarias y herramientas de cálculo y evaluación. En el apartado de detalles numéricos por islas se recoge la información referente a velocidad media y factor de forma para puntos georeferenciados cada 100 metros.



Tenerife y La Gomera. TOMO 10 de 15.
Recurso Eólico de Canarias.

X	Y	V. Viento 40	Weibk 40	V. Viento 60	Weibk 60	V. Viento 80	Weibk 80	¹ Dirección Predominante
351850	3106550	6,360	2,103	6,980	2,030	7,470	1,993	NE
351850	3106450	6,480	2,103	7,080	2,030	7,540	1,993	NE
351850	3106350	6,630	2,104	7,190	2,031	7,630	1,993	NE
351850	3106250	6,610	2,104	7,190	2,031	7,630	1,994	NE

Figura 38. Muestra de datos del recurso eólico

Hay que señalar que los datos están recogidos para alturas de 40 m, mientras que el aerogenerador seleccionado tiene 44 m de torre. Para ambas localizaciones se necesita de una interpolación para obtener los parámetros más exactos, entre la altura de 40 y 60 m. También

hay que indicar que la posición del segundo aerogenerador no está recogida en el listado anterior, por lo que los datos de viento se aproximan a la localización más próxima. La herramienta que pone a disposición pública el ITC, del recurso eólico de Canarias, “Estimación de la energía producida por un aerogenerador”, calcula de forma inmediata la velocidad media y el factor de forma para cada localización y altura determinada. Los datos recabados para las localizaciones fijadas son (tabla 14):

Altura 44 m	Velocidad media	Factor de forma
X=351850, Y=3106350	6,7	2,09
X=352000, Y=3106350	6,9	2,08

Tabla 14. Datos del recurso eólico para los emplazamientos seleccionados

Posteriormente se introducen en la aplicación de Excel, los datos recabados referentes al recurso eólico (densidad del aire, factor de forma, velocidad media) y los estipulados por el catálogo del fabricante, el área de barrido y la curva de potencia (figuras 39 y 40), para ambos emplazamientos.

DATOS	
<i>Densidad del aire [kg/m³]</i>	1,225
<i>Área barrida [m²]</i>	2642
<i>Factor de forma (k)</i>	2,09
<i>velocidad media [m/s]</i>	6,7

Figura 39. Datos para el emplazamiento X=351850, Y=3106350

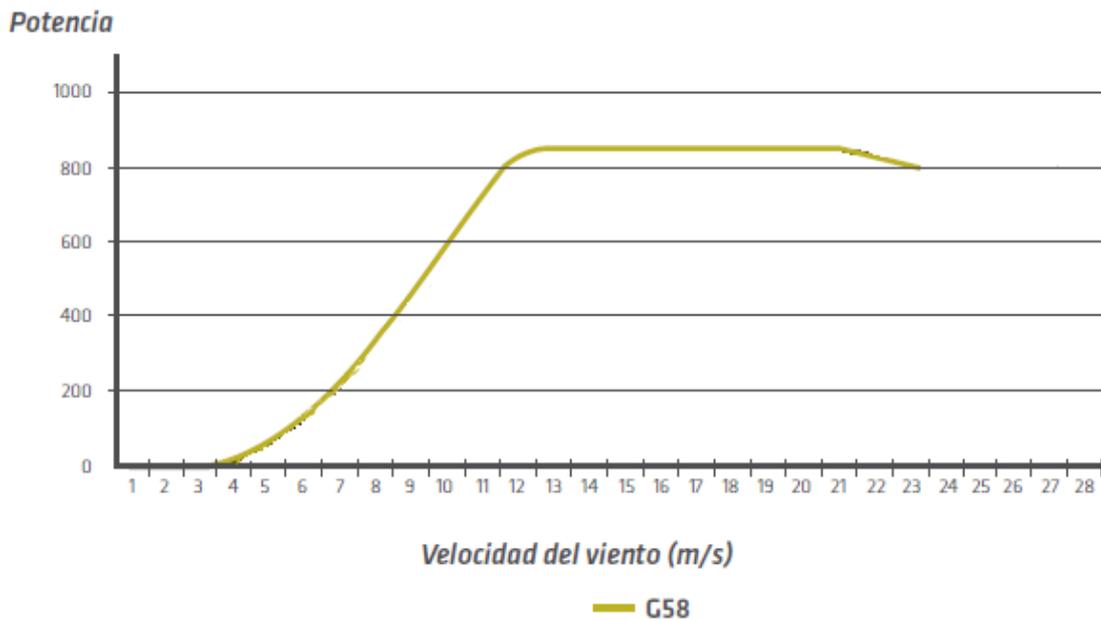


Figura 40. Curva de potencia del modelo G58/850

Según la curva de potencia del aerogenerador, el pico de potencia (850 kW) se alcanza cuando la velocidad del viento está en torno a los 12 m/s, velocidad necesaria para alcanzar la potencia nominal que señala el fabricante. Al superar esta velocidad, la potencia se mantiene constante.

El programa nos proporciona la potencia promedio generada en kW y la energía anual estimada.

Resultados	Potencia promedio generada [kW]	Energía anual estimada [MWh]
X=351850, Y=3106350	290,12	2541
X=352000, Y=3106350	306,6	2685,8
Total	596,72	5226,8

Tabla 15. Potencia y energía anual estimada por el parque eólico sin pérdidas

Considerando las pérdidas indicadas en el análisis se soluciones:

Coefficientes	[%]
Disponibilidad	97
Fallos de la red	2
Pérdidas eléctricas	3

Tabla 16. Coeficientes a aplicar sobre la generación de energía

La disponibilidad del aerogenerador se estima en un 97 %, por lo que el número de horas anual es de 8497,2 h. Las pérdidas por fallos y pérdidas en la red se aplican a la energía anual estimada.

$$\text{Disponibilidad anual} = 0.97 * 365 \text{ días} * 24 \text{ h} = 8497,2 \text{ h}$$

$$\text{Energía anual estimada} = (\text{Potencia promedio kW} * 8497,2 \text{ h}) - (5\%)$$

La energía anual estimada final generada por cada aerogenerador es de:

Resultados	Potencia promedio generada [kW]	Energía anual estimada [MWh]
X=351850, Y=3106350	290,12	2342
X=352000, Y=3106350	306,6	2475
Total	596,72	4817

Tabla 17. Potencia y energía anual estimada por el parque eólico con pérdidas

Comparando estos datos con los datos de demanda energética de la planta de desalación, se concluye:

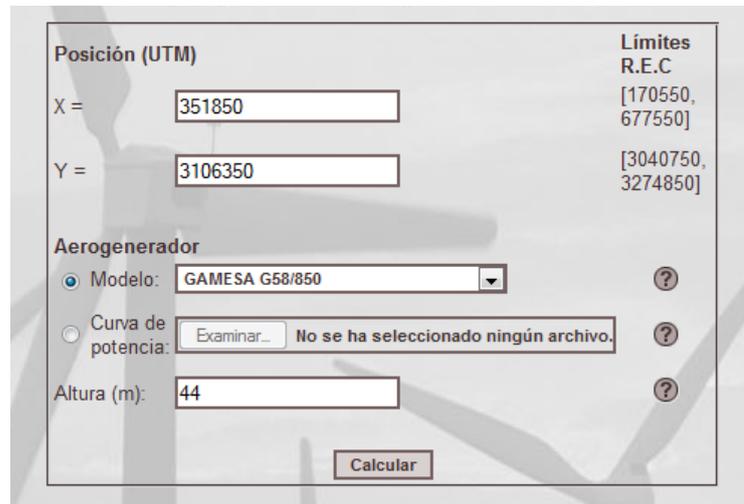
Comparación	
Energía anual requerida [MWh]	4609
Energía anual generada [MWh]	4817

Tabla 18. Comparación de demanda y generación de energía

Por tanto se concluye que el aerogenerador seleccionado cubre la demanda de energía de la planta de desalación.

Los cálculos obtenidos a través de la aplicación de elaboración propia son contrastados con el software online de cálculo de potencia, “Estimación de la energía producida por un aerogenerador”, elaborada por el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), el cual nos permite fijar las siguientes variables:

- Posición del aerogenerador
- Modelo o curva de potencia y altura de la torre.



The image shows a web-based form for calculating wind energy production. It is divided into two main sections: 'Posición (UTM)' and 'Aerogenerador'. In the 'Posición (UTM)' section, there are input fields for X and Y coordinates, with values 351850 and 3106350 respectively. To the right, under 'Límites R.E.C', the ranges [170550, 677550] and [3040750, 3274850] are displayed. The 'Aerogenerador' section includes a radio button for 'Modelo' (selected) with a dropdown menu showing 'GAMESA G58/850', and another radio button for 'Curva de potencia' with a file selection button and the text 'No se ha seleccionado ningún archivo.'. Below this is an 'Altura (m)' field with the value 44. A 'Calcular' button is located at the bottom of the form.

Figura 41. Interfaz de la herramienta del ITC para la estimación de la energía producida por un aerogenerador

Tras introducir los valores, el software emite los datos del recurso eólico (velocidad y factor de forma) y los parámetros energéticos de operación, como se muestra en la siguiente figura (42).

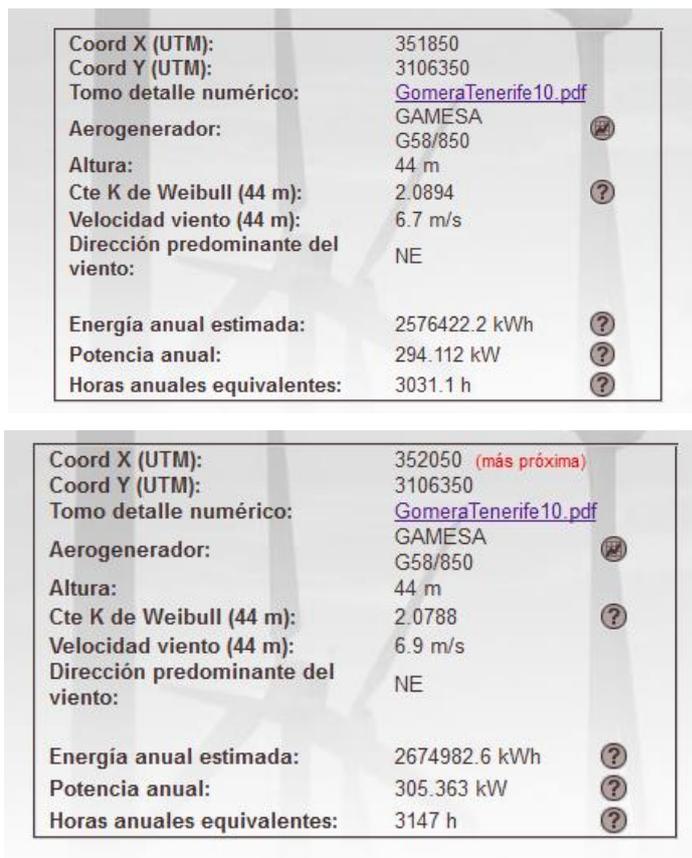


Figura 42. Resultados finales emitidos por la herramienta del ITC

Como se observa, los valores obtenidos difieren muy poco de los evaluados por la aplicación Excel.

Comparativa de potencia promedio		
	Excel	Herramienta ITC
X=351850, Y=3106350	290,12	294,1
X=352000, Y=3106350	313,23	305,4
Total	610,4	5187

Tabla 19. Comparación de resultados entre la herramienta del ITC y la de elaboración propia

Este error, menor del 1%, está provocado por un posible cambio actual en los parámetros de la curva de potencia del aerogenerador respecto a la base de datos del software del ITC, que no ha sido actualizada en los últimos años, presentando también modelos de otros fabricantes

ya obsoletos. Pese a esto, la estimación se considera muy buena y se aceptan los resultados obtenidos a través de la aplicación de elaboración propia.

A continuación se muestra un gráfico (43) donde se representa la potencia promedio generada, la potencia incidente y la potencia nominal del modelo de aerogenerador seleccionado para la localización X=351850, Y=3106350.

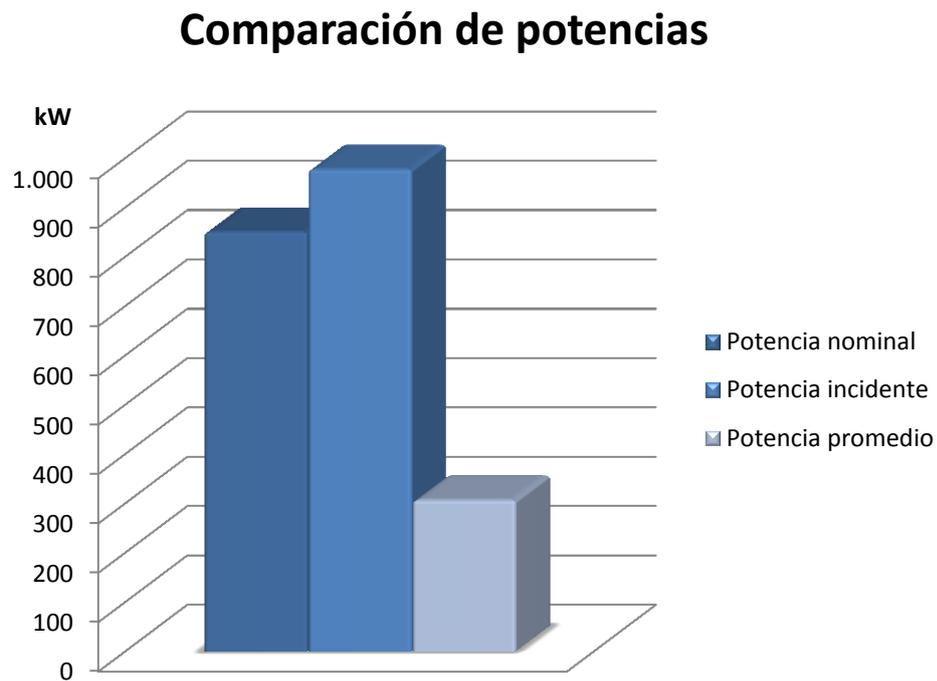


Figura 43. Comparación de potencias del aerogenerador

Atendiendo a ello, se concluye que la potencia promedio generada es alrededor de un 32 % la potencia incidente, por lo que sólo es aprovechable el 32% de la potencia que realmente incide en el aerogenerador. Esto viene fijado por el Límite de Betz, que impide que el sistema pueda captar más del 59,3 % de la energía incidente en el mismo. En la práctica ni mucho menos se alcanzan esas cotas teóricas. El intervalo más eficiente se encuentra entre el 30 y 45 %.

Además, existe un intervalo de velocidades para el cuál el coeficiente de potencia es máximo (ver figura 44).

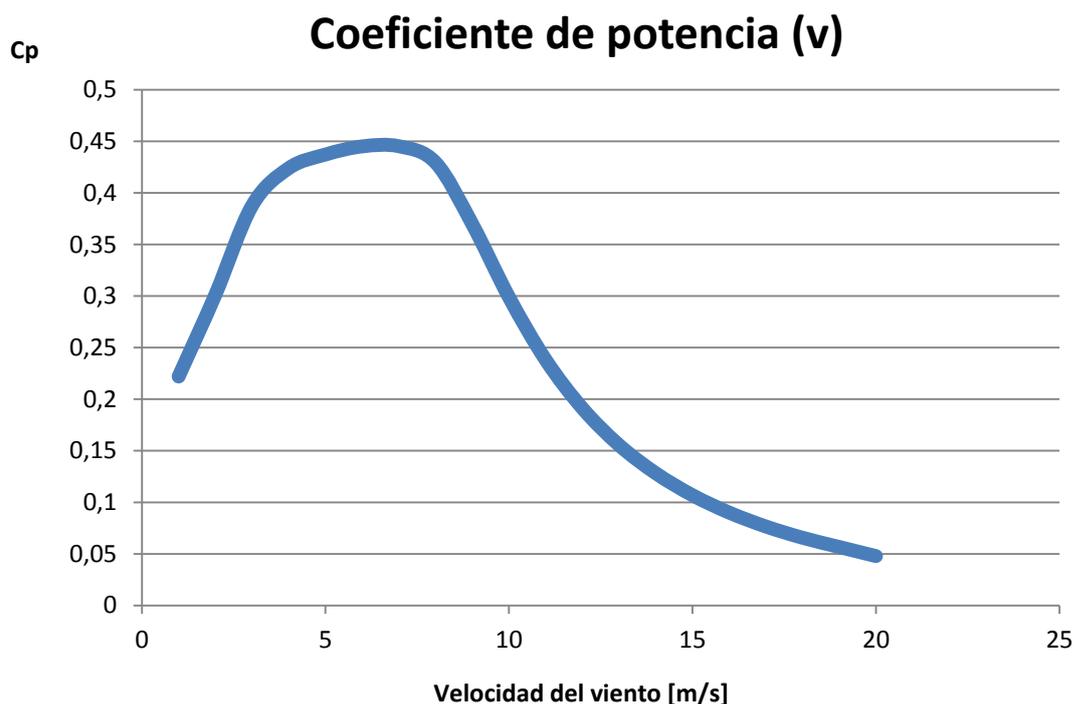


Figura 44. Curva del coeficiente de potencia del aerogenerador

Para el modelo de aerogenerador evaluado, la mayor eficiencia se encuentra en el rango de velocidades del viento entre 4 y 9 m/s.

Esta afirmación se corrobora con la representación de la contribución del intervalo de velocidades del siguiente gráfico (45). En él se puede observar como el intervalo entre 6 y 9 m/s es el que mayor porcentaje de potencia generada posee.

Contribución del intervalo de velocidades

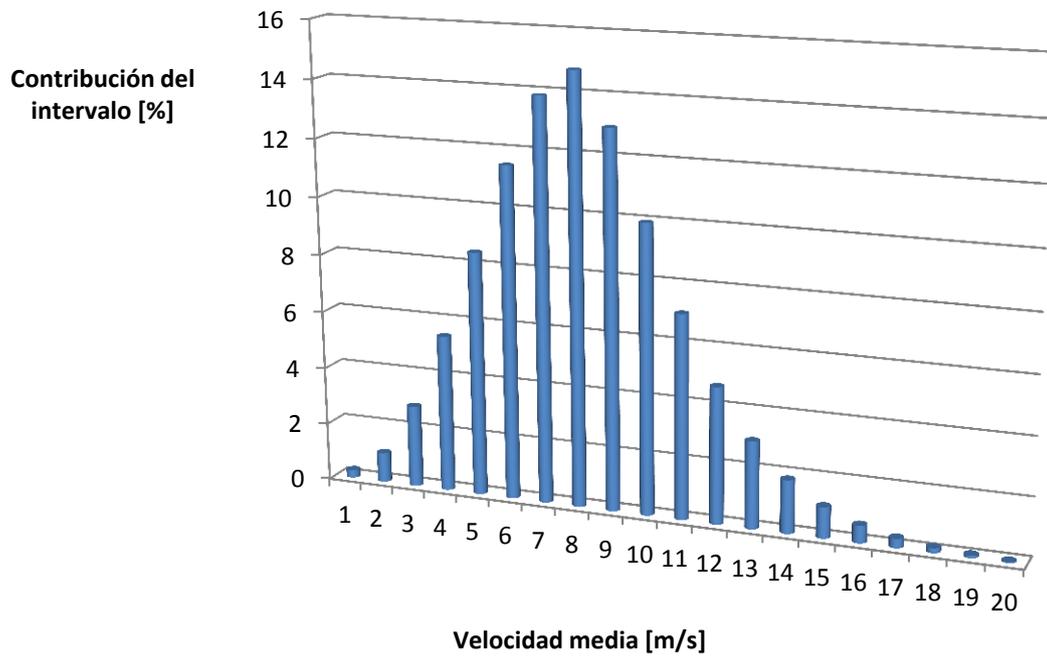


Figura 45. Contribución del intervalo de velocidades del aerogenerador

Bibliografía:

Iglesias, Manuel Fariña. *ÓSMOSIS INVERSA. Fundamentos, tecnología y aplicaciones*. España: McGRAW-HILL, 1999.

Juan, José Antonio Media San. *Desalación de aguas salobres y de mar. Ósmosis Inversa*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1999.

Kucera, Jane. *Reverse Osmosis. Industrial Applications and Processes*. Scrivener, 2010.

Soriano, José Agüera. *Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas*. 5ª Edición actualizada. Madrid: Ciencia 3 S.L, 2002.

- Resto de normativa y otras fuentes indicadas en el apartado 5. Normas y referencias del documento 1. Memoria.

ANEXO III: EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO DE LAS MEMBRANAS

3. Anexo III: Evaluación de las condiciones de trabajo de las membranas

En el presente anexo se procede a realizar un análisis de las condiciones de operación de las membranas según la temperatura de trabajo, el pH del agua de alimentación y la edad propia de las membranas, que son los factores de diseño que producen más alteraciones.

La evaluación se lleva a cabo con la aplicación IMSdesign de diseño de membranas. Se analizarán los resultados obtenidos en términos de presión de alimentación y los índices de Boro y salinidad del agua producto, para observar los cambios que se producen al alterar los parámetros de operación, además de la caída de presión en las membranas.

3.1 Variación de la temperatura

El rango de trabajo, como se ha comentado en apartados anteriores, se estableció entre 17 y 21°C, según datos recabados del Agencia Estatal de Meteorología. A continuación se procede, con los parámetros de operación del intercambiador de presión extraídos del anexo II, a realizar un diseño atendiendo a la variación de la temperatura, fijando la edad de las membranas en 3 años (año más significativo) y el pH del agua en 7.

Para 17°C:

Proyecto	Estudio de un sistema de desalación		Calculado por	
pH	7,00	Edad membrana	3,0	
Temp.	17,0 C	Dos. Prod. Quím.	14,0	

Resultados Cálculo							
		Presión		Caudal/tubo			
		bar		m3/hr		l/m2-hr	
Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta
1-1	40	68,7	68,0	9,3	5,1	18,7	1,03
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Concentración Perm. (ppm)											
Ca	0,27	K	1,55	Sr	0,01	Cl	54,36	NO3	0,00	CO2	8,31
Mg	0,84	NH4	0,00	CO3	0,00	SO4	2,05	B	0,32	pH	5,2
Na	33,72	Ba	0,00	HCO3	0,69	F	0,01	SiO2	0,00		
SDT total										93,8	ppm

Figura 46. Resultados para 17°C

Para 18°C:

Proyecto	Estudio de un sistema de desalación		Calculado por								
pH	7,00	Edad membrana	3,0								
Temp.	18,0 C	Dos. Prod. Quím.	14,5								
Resultados Cálculo											
	Presión	bar	Caudal/tubo	m3/hr	Vm2-hr						
Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta				
1-1	40	67,8	67,1	9,3	5,1	18,7	1,03				
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
Concentración Perm. (ppm)											
Ca	0,28	K	1,62	Sr	0,01	Cl	56,78	NO3	0,00	CO2	8,17
Mg	0,87	NH4	0,00	CO3	0,00	SO4	2,15	B	0,34	pH	5,2
Na	35,22	Ba	0,00	HCO3	0,72	F	0,01	SiO2	0,00		
SDT total										98,0	ppm
Parámetros Conc.											

Figura 47. Resultados para 18°C

Para 19°C:

Proyecto	Estudio de un sistema de desalación		Calculado por								
pH	7,00	Edad membrana	3,0								
Temp.	19,0 C	Dos. Prod. Quím.	15,0								
Resultados Cálculo											
	Presión	bar	Caudal/tubo	m3/hr	Vm2-hr						
Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta				
1-1	40	67,0	66,2	9,3	5,1	18,7	1,03				
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
Concentración Perm. (ppm)											
Ca	0,29	K	1,69	Sr	0,01	Cl	59,27	NO3	0,00	CO2	8,03
Mg	0,91	NH4	0,00	CO3	0,00	SO4	2,24	B	0,36	pH	5,2
Na	36,77	Ba	0,00	HCO3	0,76	F	0,01	SiO2	0,00		
SDT total										102,3	ppm
Parámetros Conc.											

Figura 48. Resultados para 19°C

Para 20°C:

Proyecto	Estudio de un sistema de desalaciór		Calculado por				
pH	7,00	Edad membrana	3,0				
Temp.	20,0 C	Dos. Prod. Quím.	15,5				
Resultados Cálculo							
	Presión	bar	Caudal/tubo	m3/hr			
				l/m2-hr			
Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta
1-1	40	66,2	65,5	9,3	5,1	18,7	1,03
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Concentración Perm. (ppm)							
Ca	0,30 K	1,76 Sr	0,01 Cl	61,87 NO3	0,00 CO2	7,90	
Mg	0,95 NH4	0,00 CO3	0,00 SO4	2,34 B	0,38 pH	5,2	
Na	38,38 Ba	0,00 HCO3	0,80 F	0,01 SiO2	0,00		
					SDT total	106,8	ppm
Parámetros Conc.							

Figura 49. Resultados para 20°C

Para 21°C

Proyecto	Estudio de un sistema de desalaciór		Calculado por				
pH	7,00	Edad membrana	3,0				
Temp.	21,0 C	Dos. Prod. Quím.	16,0				
Resultados Cálculo							
	Presión	bar	Caudal/tubo	m3/hr			
				l/m2-hr			
Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta
1-1	40	65,6	64,8	9,3	5,1	18,7	1,03
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Concentración Perm. (ppm)							
Ca	0,32 K	1,84 Sr	0,01 Cl	64,57 NO3	0,00 CO2	7,78	
Mg	0,99 NH4	0,00 CO3	0,00 SO4	2,44 B	0,40 pH	5,3	
Na	40,06 Ba	0,00 HCO3	0,83 F	0,01 SiO2	0,00		
					SDT total	111,5	ppm
Parámetros Conc.							

Figura 50. Resultados para 21°C

Como se puede observar, hay una variación significativa en los parámetros de operación, sobre todo en la presión de alimentación, pasando de 68,7 bar a 17°C, a 65,6 bar a 21°C, una diferencia de 3 bar que es muy importante a la hora de dimensionar la bomba de alta. Respecto a los índices de Boro y salinidad, las variaciones no son muy destacables pero se observa como a una menor temperatura, son más bajos. La pérdida de carga en las membranas se mantiene constante entre 0,7 y 0,8 bar.

3.2 Variación de la edad de la membrana

A continuación se procede a evaluar la variación de la edad de las membranas, fijando la temperatura a 17°C y a 21°C, con un pH de 7. El estudio se hará de 0 a 3 años.

Para 0 años, a 17°C:

Proyecto	Estudio de un sistema de desalación		Calculado por	
pH	7,00	Edad membrana	0,0	
Temp.	17,0 C	Dos. Prod. Quím.	14,0	

Resultados Cálculo							
Presión		bar		Caudal/tubo		m3/hr	
		Vm2-hr					
Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta
1-1	40	64,5	63,8	9,3	5,1	18,7	1,03
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Concentración Perm. (ppm)												
Ca	0,22	K	1,29	Sr	0,00	Cl	45,19	NO3	0,00	CO2	8,31	
Mg	0,69	NH4	0,00	CO3	0,00	SO4	1,71	B	0,27	pH	5,1	
Na	28,03	Ba	0,00	HCO3	0,57	F	0,01	SiO2	0,00			
										SDT total	78,0	ppm

Figura 51. Resultados para edad de membranas 0 años y 17°C

Para 1 años, a 17°C:

Proyecto	Estudio de un sistema de desalación		Calculado por								
pH	7,00	Edad membrana	1,0								
Temp.	17,0 C	Dos. Prod. Quím.	14,0								
Resultados Cálculo											
Presión		bar		Caudal/tubo							
				m3/hr							
				l/m2-hr							
Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta				
1-1	40	65,8	65,1	9,3	5,1	18,7	1,03				
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
Concentración Perm. (ppm)											
Ca	0,24	K	1,37	Sr	0,00	Cl	48,24	NO3	0,00	CO2	8,31
Mg	0,74	NH4	0,00	CO3	0,00	SO4	1,82	B	0,29	pH	5,1
Na	29,93	Ba	0,00	HCO3	0,61	F	0,01	SiO2	0,00		
SDT total										83,3	ppm
Parámetros Conc.											

Figura 52. Resultados para edad de membranas 1 años y 17°C

Para 2 años, a 17°C:

Proyecto	Estudio de un sistema de desalación		Calculado por								
pH	7,00	Edad membrana	2,0								
Temp.	17,0 C	Dos. Prod. Quím.	14,0								
Resultados Cálculo											
Presión		bar		Caudal/tubo							
				m3/hr							
				l/m2-hr							
Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta				
1-1	40	67,2	66,5	9,3	5,1	18,7	1,03				
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
Concentración Perm. (ppm)											
Ca	0,25	K	1,46	Sr	0,00	Cl	51,30	NO3	0,00	CO2	8,31
Mg	0,79	NH4	0,00	CO3	0,00	SO4	1,94	B	0,31	pH	5,2
Na	31,82	Ba	0,00	HCO3	0,65	F	0,01	SiO2	0,00		
SDT total										88,5	ppm
Parámetros Conc.											

Figura 53. Resultados para edad de membranas 2 años y 17°C

Para 3 años, a 17°C:

Proyecto	Estudio de un sistema de desalación		Calculado por								
pH	7,00	Edad membrana	3,0								
Temp.	17,0 C	Dos. Prod. Quím.	14,0								
Resultados Cálculo											
Presión		bar	Caudal/tubo								
			m3/hr	l/m2-hr							
Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta				
1-1	40	68,7	68,0	9,3	5,1	18,7	1,03				
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00				
Concentración Perm. (ppm)											
Ca	0,27	K	1,55	Sr	0,01	Cl	54,36	NO3	0,00	CO2	8,31
Mg	0,84	NH4	0,00	CO3	0,00	SO4	2,05	B	0,32	pH	5,2
Na	33,72	Ba	0,00	HCO3	0,69	F	0,01	SiO2	0,00		
SDT total										93,8	ppm

Figura 54. Resultados para edad de membranas 3 años y 17°C

La presión necesaria a la entrada de los bastidores aumenta a medida que se incrementa la edad de las membranas. Esto sucede por el ensuciamiento de las membranas, que para mantener la misma conversión y caudal de recuperado, necesitan aumentar la presión. Los índices de Boro y salinidad varían poco, pero aumentan a medida que envejece la membrana, como es lógico.

En cuanto a la pérdida de carga, se mantiene a lo largo de los años en 0,7 bar.

Para la temperatura de 21 °C, sucede lo mismo, pero a presiones de trabajo menores e índices de boro y salinidad mayores.

3.3 Variación del pH

Se realizara el análisis variando el pH entre 6,5 y 8,1, manteniendo la temperatura a 21°C y la edad de las membranas en 3 años, ya que la variación de pH afecta sobre todo a los índices de Boro.

Para pH 6,5:

Proyecto	Estudio de un sistema de desalación		Calculado por				
pH	6,50	Edad membrana	3,0				
Temp.	21,0 C	Dos. Prod. Quím.	17,0				
Resultados Cálculo							
	Presión	bar	Caudal/tubo	m3/hr			
				l/m2-hr			
Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta
1-1	40	65,5	64,8	9,3	5,1	18,7	1,03
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Concentración Perm. (ppm)							
Ca	0,32K	1,84Sr	0,01Cl	64,60NO3	0,00CO2	21,31	
Mg	0,99NH4	0,00CO3	0,00SO4	2,44B	0,41pH	4,8	
Na	40,04Ba	0,00HCO3	0,72F	0,01SiO2	0,00		
					SDT total	111,4	ppm
Parámetros Conc.							

Figura 55. Resultados pH 6,5

Para pH 8:

Proyecto	Estudio de un sistema de desalación		Calculado por				
pH	8,00	Edad membrana	3,0				
Temp.	21,0 C	Dos. Prod. Quím.	3,2				
Resultados Cálculo							
	Presión	bar	Caudal/tubo	m3/hr			
				l/m2-hr			
Arreglo	Tubos	Alim.	Conc.	Alim.	Conc.	Flux	Beta
1-1	40	65,6	64,8	9,3	5,1	18,7	1,03
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Concentración Perm. (ppm)							
Ca	0,32K	1,84Sr	0,01Cl	64,57NO3	0,00CO2	0,76	
Mg	0,99NH4	0,00CO3	0,00SO4	2,43B	0,31pH	6,3	
Na	40,05Ba	0,00HCO3	0,82F	0,01SiO2	0,00		
					SDT total	111,4	ppm
Parámetros Conc.							

Figura 56. Resultados pH 8

En este caso, al ajustar el pH, además de modificarse la cantidad de producto químico a dosificar, se produce una modificación algo considerable en el índice de Boro, que desciende al aumentar el pH, si bien hay que señalar que las membranas tienen un pH de operación óptimo, el cual no debe superarse.

3.4 Comparación de resultados

Concluido el análisis de parámetros, se procede a mostrar mediante gráficas, las variaciones derivadas de dicho análisis y las conclusiones obtenidas.

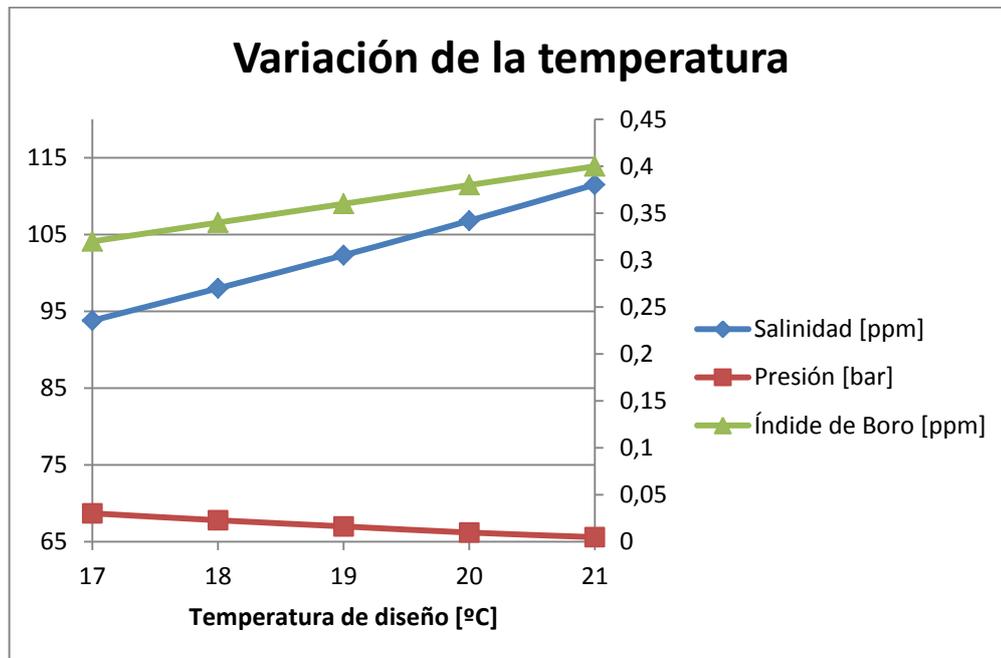


Figura 57. Variación de salinidad, presión e índices de Boro según la temperatura de diseño

Como se puede observar en el gráfico anterior, al aumentar la temperatura, disminuye la presión de alimentación, y aumentan los índices de boro y salinidad.

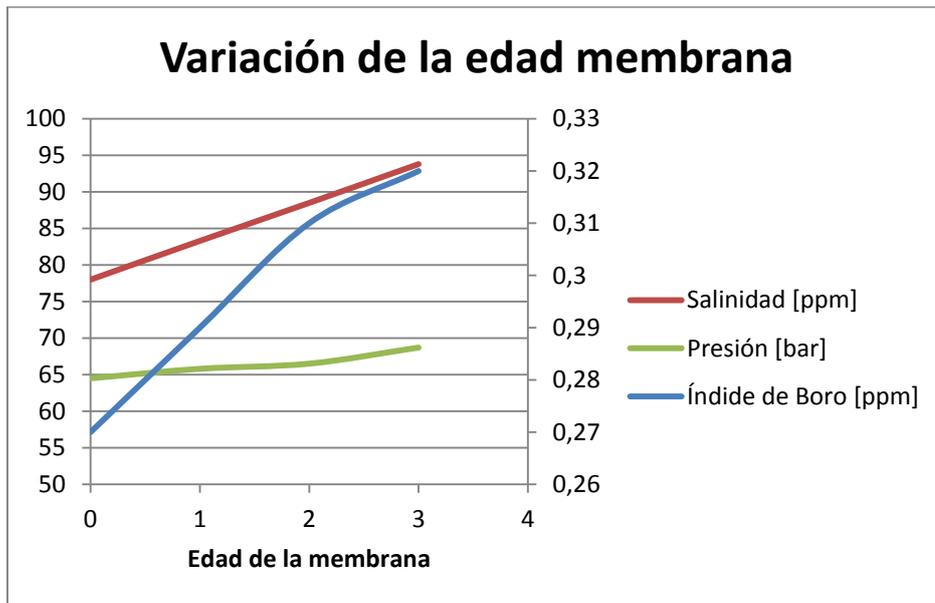


Figura 58. Variación de salinidad, presión e índices de Boro según la edad de la membrana

A medida que se incrementa la edad de la membrana, por efectos del ensuciamiento, como comentamos anteriormente, se produce un aumento de la presión de trabajo y del Boro y la salinidad de agua producto.

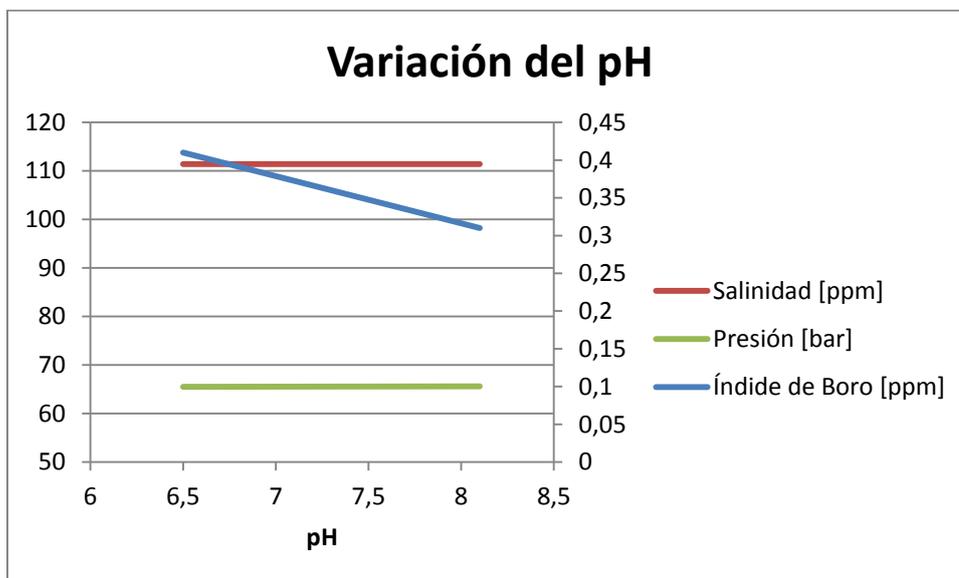


Figura 59. Variación de salinidad, presión e índices de Boro según el pH del agua de alimentación

Por último, se observa como al variar el pH, se mantiene la salinidad y la presión de trabajo, mientras que desciende el índice de Boro del agua producto. Pero no hay que olvidar que las membranas tienen un rango de operación en el que el pH no debe ser superior a un determinado valor, según la resistencia de la misma a la agresividad del pH.

Por tanto y a modo de conclusión, tal y como se llevó a cabo en el anexo II, se debe de realizar el dimensionado de las membranas atendiendo a varios factores. En primer lugar, la edad de la membrana fijada en 3 años como el año más significativo de la desalación, y que corresponde a la presión más alta y los índices más desfavorables. Según la legislación, respecto al Boro, y en materia de calidad del agua, en cuanto a la salinidad, el diseño debe de acometerse con la temperatura más elevada del rango fijado, mientras que para la presión, se deberá tener en cuenta la temperatura más baja. Por último, el pH será ajustado, como se describió en el anexo II, según lo estipulado en las especificaciones técnicas de la membrana en cuestión.

**ANEXO IV: PROGRAMAS DE
ELABORACIÓN PROPIA PARA LA
OBTENCIÓN DEL CONSUMO ESPECÍFICO
DEL SISTEMA DE DESALACIÓN Y LA
ENERGÍA ESTIMADA PARA EL
AEROGENERADOR**

4. Anexo IV: Programas de elaboración propia para la obtención del consumo específico del sistema de desalación y la energía estimada para el aerogenerador

En este anexo se explicará el proceso de cálculo de los programas de elaboración propia que se han realizado para determinar el consumo específico de la planta de ósmosis inversa y por otro lado, la energía anual estimada por el aerogenerador.

4.1 Herramienta para determinar el consumo específico

En primer lugar, y antes de abordar los pasos para la elaboración del programa, se detallará la relación de densidades que se utiliza en el mismo, y con la que dimensiona todo el sistema de desalación en el presente proyecto.

4.1.1 Densidad del agua de mar

En teoría, si consideramos la densidad del agua de mar como la densidad del agua pura, es decir, 1000 kg/m^3 , obtendríamos unos resultados no más allá de realidad. Como esto no es una aproximación del todo correcta y para realizar una evaluación más realista, determinaremos una densidad para el agua de mar. Además, a lo largo de los procesos de la instalación nos encontramos con varias densidades ya que el agua de alimentación tiene una concentración de sales determinada, la salmuera tendrá una concentración de sales mayor, y el agua producto, una densidad muy próxima a la del agua pura.

Tras el análisis iónico del agua de mar, la concentración de la misma es de 35.461,7 ppm, es decir, 35.462 mg/l. Expresado en palabras, lo que quiere decir es que hay 35 mg de sales en un litro de agua de mar. Por lo tanto, la densidad para el agua de alimentación será de 1035 Kg/m^3 . Para calcular la concentración de sales del rechazo usamos la siguiente definición:

$$C_r = \frac{C_a}{(1 - R)} \quad (4.1)$$

Donde “R” indica la conversión de la membrana, y “Ca” la concentración de sales en el agua de alimentación. Por lo tanto sustituyendo los datos disponibles:

$$C_r = \frac{35462 \text{ ppm}}{(1 - 0,45)} = 64476,36 \text{ ppm}$$

Por lo tanto tenemos que en un litro de salmuera existen 64476,36 mg de sales. Así, la densidad que utilizaremos para el agua de rechazo será de 1065 Kg/m³.

Tipo	Densidad [kg/m ³]
Densidad de alimentación	1035
Densidad de rechazo	1065
Densidad de permeado	1000

Tabla 20. Densidades de los flujos presentes en el sistema de desalación

4.1.2 Deducciones teóricas de cálculo

La herramienta informática que se ha elaborado tiene como base teórica lo estipulado a continuación.

La ecuación de Bernouilli habla de la energía expresada en forma de altura. La energía del fluido en un punto de la instalación sería la suma de la energía de presión, cinética y de cota:

$$E = E_p + E_c + E_z \quad (4.2)$$

Donde:

$$E_p = \text{Energía de Presión} = P \cdot V \quad (4.2.1)$$

$$E_c = \text{Energía Cinética} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (4.2.2)$$

$$E_z = \text{Energía de Cota} = m \cdot g \cdot z \quad (4.2.3)$$

La ecuación de Bernouilli nos permite definir la energía en forma de altura del fluido en un punto. Para obtener esto debemos dividir la ecuación (4.2) por $(m \cdot g)$, resultando

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + z \quad (4.3)$$

Donde nos encontramos un nuevo término:

$$\gamma: \text{peso específico} = \rho \cdot g \left[\frac{Kg}{m^2 \cdot s^2} \right] \quad (4.3.1)$$

La ecuación (4.3) expresa la altura en metros del fluido en un punto de la instalación. El siguiente paso sería realizar un balance de energía entre dos puntos cualesquiera de la instalación, “i” y “j” utilizando la expresión de Bernouilli. Para ello debemos suponer que la altura en el punto inicial “i” de la instalación, más la energía que pueda suministrar alguna bomba, menos las pérdidas de carga que se produzcan a lo largo del recorrido, debe ser igual a la altura en el punto final “j” más la energía que haya podido extraer alguna turbina. De esta manera nos queda:

$$H_i + \sum_k H_{Bk} - \sum H_r = H_j + \sum_q H_{tq} \quad (4.4)$$

Donde, expresado en metros:

$$H_i = \text{energía en forma de altura en el punto } i$$

$$\sum_k H_{Bk} = \text{sumatoria de la energía suministrada por bombas}$$

$$\sum H_r = \text{pérdidas de carga en la instalación}$$

$$H_j = \text{energía en forma de altura en el punto } j$$

$$\sum_q H_{tq} = \text{sumatoria de la energía extraída por las turbinas}$$

La terminología referente a turbinas se anula para los cálculos en este documento.

El rendimiento para una bomba que usaremos se define según la siguiente ecuación:

$$\eta_B = \frac{P}{P_a} \quad (4.5)$$

Donde 'P' es la potencia útil y 'Pa' es la potencia absorbida. La potencia útil de una bomba se calcula de la siguiente manera:

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H_B \quad (4.6)$$

Donde la altura útil de la bomba corresponde a 'H_B', el caudal 'Q' y el peso específico 'γ'. Por lo tanto la expresión del rendimiento:

$$\eta_B = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_B}{P_a} \quad (4.6.1)$$

Para calcular dicha altura útil se utilizará el balance de energía con Bernouilli que se ha explicado anteriormente, entre la entrada y la salida del equipo en cuestión. Para una bomba cualquiera se aplica Bernouilli entre la entrada y la salida de la misma y resulta, aplicando la ecuación (4.4):

$$H_E + H_B - H_r = H_S$$

Por lo tanto, despejando el término correspondiente a la altura útil de la bomba (H_B):

$$H_B = H_S + H_E + H_r$$

Se sustituyen las expresiones para la altura de un fluido en un punto cualquiera y nos queda:

$$H_B = \frac{P_S - P_E}{\gamma} + \frac{v_S^2 - v_E^2}{2 \cdot g} + (z_S - z_E) \quad (4.7)$$

La expresión general (4.7) será utilizada para calcular la altura útil que proporciona una bomba al fluido. Las variaciones de velocidad se consideran despreciables por lo que el término correspondiente a la energía cinética no se tiene en cuenta en los cálculos.

Obtenido el valor de la altura útil, se calcula la potencia consumida o absorbida por la bomba a través de la ecuación de rendimiento de una bomba.

A continuación se muestran los detalles de la aplicación elaborada.

4.1.3 Interfaz de la herramienta

Al ejecutar la herramienta de cálculo del consumo específico para una planta desaladora, de Excel, se muestra la siguiente y única ventana:

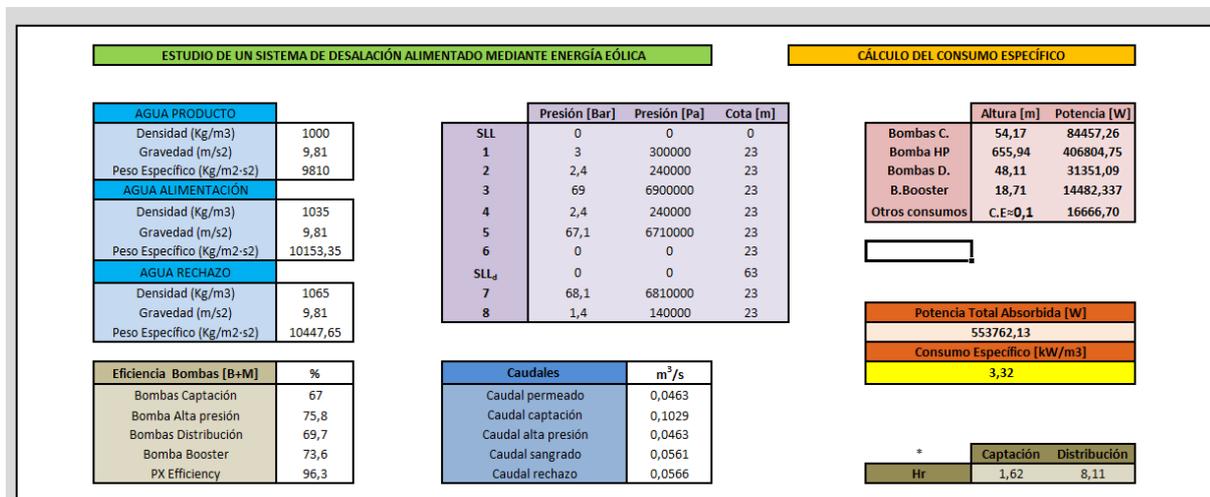


Figura 60. Interfaz de la herramienta de elaboración propia para el cálculo del C.E

A la izquierda se encuentra la parte de introducción de datos iniciales. Estos son la densidad de los diferentes flujos que concurren en la planta desaladora y el valor de la aceleración de la gravedad, obteniendo con ellos, el peso específico del fluido.

$$\gamma = \rho \cdot g \left[\frac{Kg}{m^2 \cdot s^2} \right]$$

AGUA PRODUCTO	
Densidad (Kg/m ³)	1000
Gravedad (m/s ²)	9,81
Peso Específico (Kg/m ² ·s ²)	9810
AGUA ALIMENTACIÓN	
Densidad (Kg/m ³)	1035
Gravedad (m/s ²)	9,81
Peso Específico (Kg/m ² ·s ²)	10153,35
AGUA RECHAZO	
Densidad (Kg/m ³)	1065
Gravedad (m/s ²)	9,81
Peso Específico (Kg/m ² ·s ²)	10447,65

Figura 61. Densidades y pesos específicos a indicar en la herramienta

Debajo de esta sección se encuentra la parte de rendimientos de los componentes mecánicos de la instalación y los caudales de cada uno de los flujos que intervienen en el proceso de desalación por ósmosis inversa.

Eficiencia Bombas [B+M]	%	Caudales	m ³ /s
Bombas Captación	67	Caudal permeado	0,0463
Bomba Alta presión	75,8	Caudal captación	0,1029
Bombas Distribución	69,7	Caudal alta presión	0,0463
Bomba Booster	73,6	Caudal sangrado	0,0561
PX Efficiency	96,3	Caudal rechazo	0,0566

Figura 62. Eficiencias y caudales a indicar en la herramienta

Hay que señalar que las eficiencias engloban el rendimiento propio de la bomba y del motor.

Las pérdidas de carga consideradas para las conducciones de impulsión del agua de captación y de distribución se indican en la esquina derecha de la aplicación, previamente evaluadas.

*	Captación	Distribución
Hr	1,62	8,11

Figura 63. Pérdidas de carga a indicar en la herramienta

En la parte central (figura 65) están definidos los distintos puntos de la instalación de desalación, según esquema (figura 64) con los parámetros de operación (presión) y cotas definidas a partir de los pozos de captación (cota 0).

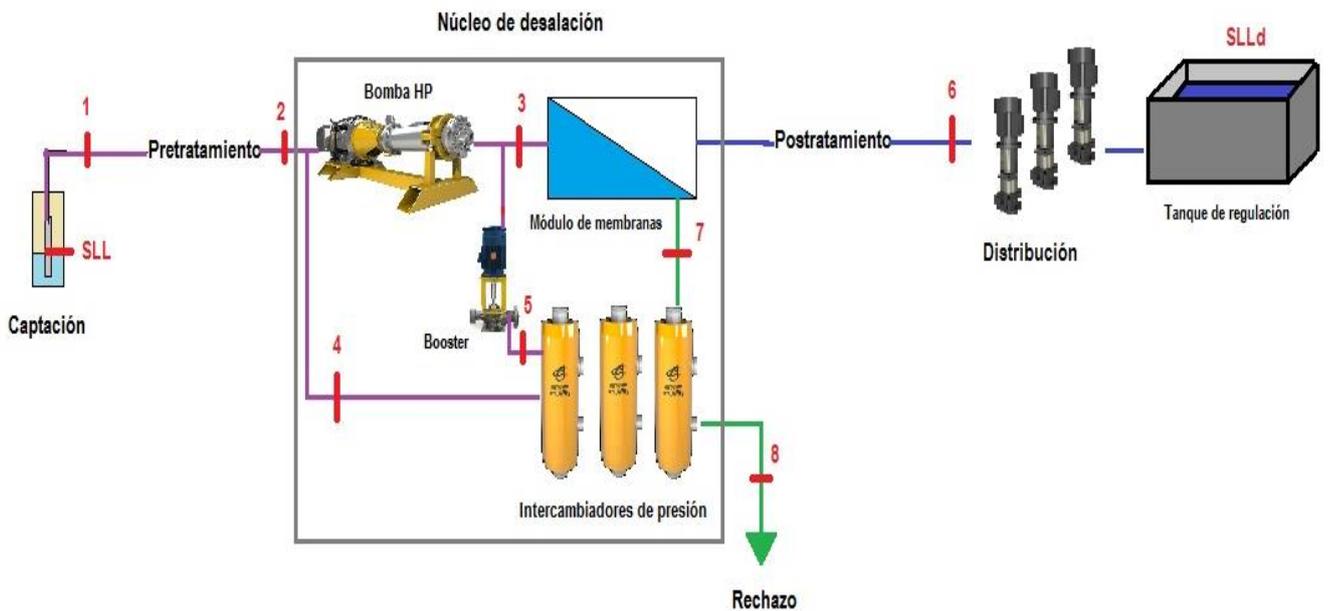


Figura 64. Esquema sistema desalación

	Presión [Bar]	Presión [Pa]	Cota [m]
SLL	0	0	0
1	3	300000	23
2	2,4	240000	23
3	69	6900000	23
4	2,4	240000	23
5	67,1	6710000	23
6	0	0	23
SLL _d	0	0	63
7	68,1	6810000	23
8	1,4	140000	23

Figura 65. Definición de estados a indicar en la herramienta

Considerando presiones relativas, el primer punto (SLL) es la salida de la bomba sumergida, por lo que la presión es 0. El punto 6 se aproximó a 0 ya que el agua producto a la salida de las membranas sale prácticamente a presión atmosférica. El punto SLL_d es el tanque de regulación destino del agua producto, siendo la presión 0 por estar abierto.

El programa se basa en obtener la altura útil a través de los datos de los puntos de la instalación y las pérdidas de carga en las conducciones citadas, con la ecuación 4.7.

	Altura [m]	Potencia [W]
Bombas C.	54,17	84457,26
Bomba HP	655,94	406804,75
Bombas D.	48,11	31351,09
B.Booster	18,71	14482,337
Otros consumos	C.E≈0,1	16666,70

Figura 66. Resultados de potencia

La potencia absorbida por la bomba, por otro lado, se obtiene de la expresión 4.6.1, aplicando los rendimientos de las mismas y los caudales que operan en cada una.

Considerando el consumo específico por otros consumos menos importantes, pero presentes en la instalación, de 0,1 kWh/m³, finalmente se suman las contribuciones de cada sistema de bombeo y se obtiene la potencia total necesaria (o externa) en el sistema de ósmosis inversa.

El consumo específico se define como:

$$C.E = \frac{\text{Capacidad de la planta}}{\text{Consumo externo}} \quad (4.8)$$

Los resultados se señalan en las casillas que se observan en la siguiente figura (67):

Potencia Total Absorbida [W]
553762,13
Consumo Específico [kWh/m3]
3,32

Figura 67. Resultados de consumo específico

4.2 Herramienta para determinar la energía anual estimada para un aerogenerador

4.2.1 Deducciones teóricas de cálculo

La evaluación energética a través de este software de elaboración propia se implementa combinando la distribución de Weibull, la distribución estadística de velocidades del viento, y la curva de potencia del aerogenerador, como ya se indicó en el apartado 2.9 del anexo II.

La distribución de Weibull, caracterizada por dos parámetros, permite calcular valores promedios anuales y con ella se obtiene la potencia promedio anual incidente sobre el aerogenerador, que combinada con la curva de potencia, define la potencia promedio anual generada por el mismo. Los dos parámetros característicos en la distribución de Weibull son el factor de forma (k) y el factor de escala (c). El primero de ellos, adimensional, que puede extraerse de los datos numéricos de recurso eólico por islas que proporciona el ITC, determina si la forma de la distribución está más o menos simétricamente ajustada en torno al máximo de la distribución. El factor de escala, por otro lado, se obtiene de la siguiente expresión:

$$c = \frac{\bar{v}}{e^{(\Gamma * \ln(1 + \frac{1}{k}))}} \quad (4.9)$$

Derivada de la siguiente expresión, en la cual Γ es la función gamma de Euler.

$$\bar{v}^n = c^n * \Gamma * \left(1 + \frac{n}{k}\right) \quad (4.10)$$

La función de probabilidad de velocidad del viento se define como:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4.11)$$

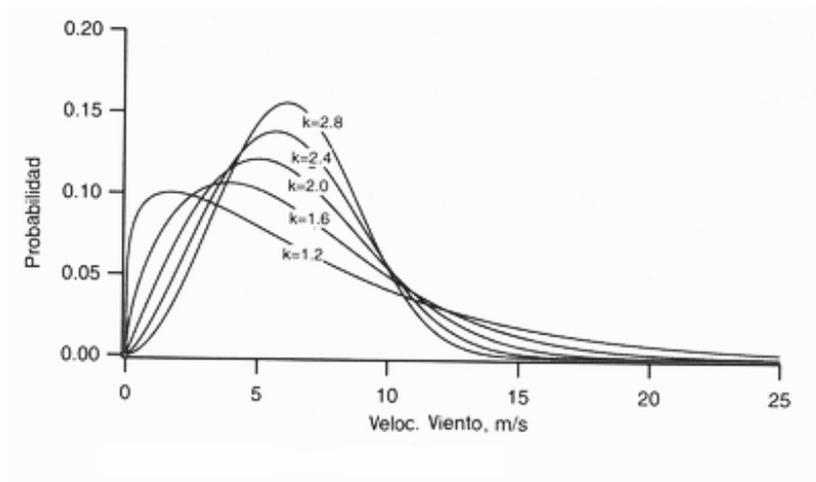


Figura 68. Representación de la distribución de Weibull frente a la velocidad media para diferentes factores de forma

En la evaluación eólica aparecen tres tipos de potencia, o tres conceptos de potencia y el llamado coeficiente de potencia. Por un lado la potencia eólica incidente, que es proporcional al área de barrido del aerogenerador y al cubo de la velocidad media del viento. La potencia promedio generada, restringida por el Límite de Betz y la potencia nominal del propio aerogenerador. Esta potencia nominal define el coeficiente de potencia, que indica, según la velocidad del viento, la potencia generada por área.

La potencia nominal, definida por la curva de potencia del aerogenerador, se define de la siguiente forma, siendo C_p el coeficiente de potencia:

$$P_n(v) = 0,5 * \rho * A * v^3 * C_p(v) \quad (4.12)$$

Con la potencia eólica incidente y la distribución de Weibull se estima la potencia promedio anual incidente:

$$\bar{P}_I = 0,5 * \rho * A * c^3 * \left(1 + \frac{3}{k}\right) * \Gamma \quad (4.13)$$

Luego, la potencia promedio generada combina la curva de potencia y la función de distribución de Weibull de velocidades del viento (4.11), integrada sobre todo el rango de

velocidades de viento, aunque es comúnmente realizarla considerando la velocidad mínima o de arranque para vencer la inercia del rotor y la máxima o de parada.

$$\overline{P_G} = \int_{v_a}^{v_p} f(v) * P_n(v) dv \quad (4.14)$$

A través del Excel la integración no puede llevarse a cabo por lo que se simula mediante sumatorios tomados en intervalos pequeños de velocidad, de 1 m/s, según curva de potencia del fabricante.

4.2.2 Interfaz de la herramienta

Cuando se ejecuta esta herramienta elaborada en la aplicación informática Excel, se observa la siguiente pantalla (69):

EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE AEROGENERADORES			
DATOS			
Densidad del aire [kg/m ³]	1,225		
Área barrida [m ²]	2642		
Factor de forma [k]	2,08		
velocidad media [m/s]	6,9		
Factor de escala @ [m/s]	7,789927348		
RESULTADOS			
Potencia promedio generada [kW]	313,2320249		
Energía anual estimada [MWh]	2661,60		

Viento [m/s]	Potencia [kW]	Cp [v]	f(v)	Potencia promedio generado
3	15	0,343311688	0,0830401	1,2456013
4	52	0,502093343	0,1012363	5,2642868
5	100	0,49436883	0,1111418	11,1141773
6	198	0,566464284	0,1126571	22,3061026
7	220	0,396359849	0,1068279	23,5021271
8	380	0,458642958	0,0954995	36,2898179
9	520	0,440795253	0,0808764	42,0557095
10	650,00	0,401674674	0,0650958	42,3122608
11	800,00	0,371426619	0,0499079	39,9263580
12	850,00	0,30397389	0,0365063	31,0303648
13	850,00	0,239083697	0,0255068	21,6807773
14	850,00	0,191423791	0,0170377	14,4820646
15	850,00	0,155634632	0,0108873	9,2541927
16	850,00	0,128238985	0,0066588	5,6599895
17	850,00	0,106913674	0,0038995	3,3145721
18	850,00	0,090066338	0,0021872	1,8590935
19	850,00	0,076580668	0,0011752	0,9989283
20	850,00	0,06565836	0,0006050	0,5142816
21	850,00	0,05671816	0,0002985	0,2537215
22	825,00	0,047879213	0,0001411	0,1164339
23	800	0,040631941		

Figura 69. Interfaz de la herramienta de elaboración propia para la estimación energética anual de aerogeneradores

A la izquierda tenemos la opción de introducir los datos de partida. Estos son la densidad del aire, el área de barrido, el factor de forma y la velocidad media del viento, para la localización estipulada. Estos dos últimos datos son extraídos, como se indicó ya, a través de la base de datos del recurso eólico de Canarias para puntos georeferenciados cada 100 m. El área de barrido es un dato que nos aporta el fabricante del aerogenerador a estudio.

DATOS	
Densidad del aire [kg/m ³]	1,225
Área barrida [m ²]	2642
Factor de forma (k)	2,08
velocidad media [m/s]	6,9
Factor de escala © [m/s]	7,789927348

Figura 70. Datos para el emplazamiento X=352000, Y=3106350

Con estos datos, (velocidad media y factor de forma), deducimos el factor de escala “c”, a través de la ecuación 4.9.

En la parte central de la interfaz se introducen los parámetros referentes a la curva de potencia que extraemos del catálogo del fabricante, y calculamos a través de la ecuación 4.12, el coeficiente de potencia “cp (v)”.

Viento [m/s]	Potencia [kW]	Cp (v)
3	9,7	0,222008225
4	31,2	0,301256006
5	78,4	0,387585163
6	148,2	0,423989934
7	242,7	0,437256979
8	368,8	0,44512506
9	525,3	0,445287974
10	695,00	0,429482921
11	796,60	0,369848056
12	835,90	0,2989315
13	846,80	0,238183617
14	849,30	0,191266148
15	849,30	0,155506462
16	850,00	0,128238985
17	850,00	0,106913674
18	850,00	0,090066338
19	850,00	0,07658068
20	850,00	0,06565836
21	850,00	0,05671816
22	825,00	0,047879213
23	800	0,040631941

Figura 71. Datos de curva de potencia a introducir en la herramienta

Tras esto se evalúa la función de probabilidad de velocidad ($f(v)$), según ecuación 4.11, y con ella, aplicando la expresión 4.14, se deduce la potencia promedio generada para cada intervalo de velocidades (1 m/s).

$f(v)$	Potencia promedio generada
0,0830401	0,8054888
0,1012363	3,1585721
0,1111418	8,7135150
0,1126571	16,6957799
0,1068279	25,9271193
0,0954995	35,2202233
0,0808764	42,4843542
0,0650958	45,2415712
0,0499079	39,7566709
0,0365063	30,5156258
0,0255068	21,5991555
0,0170377	14,4701382
0,0108873	9,2465716
0,0066588	5,6599895
0,0038995	3,3145721
0,0021872	1,8590935
0,0011752	0,9989283
0,0006050	0,5142816
0,0002985	0,2537215
0,0001411	0,1164339
0,0000640	0,0511639

Figura 72. Obtención de parámetros de potencia y $f(v)$ en la herramienta

La potencia total promedio anual generada por el aerogenerador es la suma las contribuciones de cada velocidad, por lo que los resultados finales se muestran en la esquina inferior izquierda:

RESULTADOS	
Potencia promedio generada [kW]	306,6029700
Energía anual estimada [MWh]	2685,84

Figura 73. Resultados finales

La potencia promedio incidente, al ser un parámetro menos influyente, se presenta en otra ventana de la aplicación, calculada a través de la ecuación 4.13. Por otro lado, la contribución de intervalos define en porcentaje, que intervalo de velocidad es el más influyente de cara a la

generación de energía promedio. Dicha contribución se obtiene dividiendo la potencia promedio generada para cada intervalo, entre la potencia total promedio generada.

ANEXO V: RESULTADOS DEL PROGRAMA IMSdesign

5. Anexo V: Resultados del programa IMSdesign

En el presente anexo se recogen los resultados emitidos por el software de dimensionado de membranas IMSdesign del fabricante Hydranatuics para la evaluación final tras el proceso iterativo definido en el anexo II.

Se presentan los resultados obtenidos para la temperatura de 17 °C y de 21°C, considerando un pH de 7 y la edad de las membranas de 3 años.

1. Datos resultantes del dimensionado para 17°C

2. Datos resultantes del dimensionado para 21°C

DISEÑO BASICO CON Intercambiador de Trabajo/Presión

Programa O.I. licenciado a:

Cálculo creado por:

Proyecto:

Pedro Damián Acosta Díaz
Estudio de un sistema de
desalación alimentado
mediante energía eólica

Caudal de Permeado: 4000,00 m3/d

Caudal bomba alta pres: 166,7 m3/hr Caudal agua cruda: 8888,9 m3/d
 Presión Alim.: 68,7 bar Recuperación: 45,0 %
 Temp. Agua Alim.: 17,0 C(63F)
 pH Agua Alim.: 7,00 Edad de las Membranas: 3,0 años
 Dosis Químico, ppm (100%): 14,0 H2SO4 Disminución flux %/año: 5,0
 Factor de Ensuciamiento 0,86
 Incremento paso sales, %/año: 7,0

Flux promedio: 18,7 l/m2hr Tipo de Alimentación: Agua de mar - pozo

Etap	Perm. Flujo m3/hr	Caudal/tubo Alim. m3/hr	Flux l/m2-hr	Beta	Conc.&Contra. Presiones bar bar	Elemento Tipo	Elem. N?	Arreglo
1-1	166,7	9,3	18,7	1,02	68,0 0,0	SWC4B-LD	240	40x6

	Agua cruda	Agua luego de ajuste	Agua Alim.	Permeado	Conc.	Rechazo SER
ión	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ca	412,0	412,0	421,7	0,267	766,6	748,8
Mg	1290,0	1290,0	1320,5	0,835	2400,1	2344,6
Na	10858,1	10858,1	11113,8	33,721	20179,4	19713,3
K	399,0	399,0	408,4	1,549	741,3	724,1
NH4	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0
Ba	0,014	0,014	0,014	0,000	0,026	0,0
Sr	7,900	7,900	8,087	0,005	14,699	14,4
CO3	10,6	1,1	1,1	0,000	3,1	3,5
HCO3	134,0	136,0	139,4	0,688	243,4	237,9
SO4	2910,0	2923,2	2993,1	2,055	5440,4	5313,9
Cl	19354,0	19354,0	19810,0	54,364	35973,6	35142,6
F	1,3	1,3	1,3	0,007	2,4	2,4
NO3	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0
B	4,50	4,50	4,60	0,323	8,10	7,9
SiO2	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0
CO2	0,80	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31
TDS	35382,2	35387,2	36222,0	93,8	65773,1	64253,5
pH	8,10	7,00	7,00	5,18	7,01	

	Agua cruda	Agua Alim.	Conc.
CaSO4 / Ksp * 100:	24%	25%	52%
SrSO4 / Ksp * 100:	29%	30%	62%
BaSO4 / Ksp * 100:	60%	62%	122%
Sat. SiO2:	0%	0%	0%
Indice Sat. de Langelier	1,01	-0,12	0,37
Indice Sat. de Stiff & Davis	0,12	-1,02	-0,61
Fuerza iónica	0,70	0,72	1,31
Presión osmótica	25,1 bar	25,6 bar	46,6 bar
H.P. Differential of Pressure/Work Exchanger	1,0 bar	Fuga de Intercambiador de trabajo/Presión	0,9 %
Pressure/Work Exchanger Boost Pressure	1,7 bar	Mezcla Volumétrica	5 %

Los cálculos de rendimiento del producto están basados en el rendimiento nominal del elemento de membrana, funcionando con agua de alimentación de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los listados creados por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. Ninguna garantía del producto o rendimiento del sistema es expresada o implícita, a menos que sea proporcionada en una garantía separada firmada por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de la presión de alimentación aplicada son las mejores estimaciones para asistir al cliente en el dimensionamiento de la bomba de alta de alta presión y no son una garantía de la presión actual de operación durante la vida del producto. Las presiones calculadas contienen un margen de seguridad para asegurar que las bombas de alimentación sean apropiadamente dimensionadas basándose en la información proporcionada. El margen de seguridad incluye factores para un ratio normal de ensuciamiento de la membrana durante la vida del producto. Los cálculos para el consumo de productos químicos son la vida del producto. Los cálculos para el consumo de productos químicos son proporcionados para la conveniencia y están basados en varias hipótesis acerca de la calidad y la composición del agua de alimentación. Como la cantidad de reactivos químicos necesarios para el ajuste de pH es dependiente del agua de alimentación y no es dependiente de la membrana, Hydranautics no garantiza el consumo de reactivos químico. Si se requiere una garantía de sistema o producto, por favor póngase en contacto con representantes de Hydranautics. Las garantías no estándar o ampliadas, pueden resultar en precios diferentes a los precios cotizados anteriormente. (8/63)

DISEÑO BASICO CON Intercambiador de Trabajo/Presión

Programa O.I. licenciado a:

Cálculo creado por:

Proyecto:

Pedro Damián Acosta Díaz
Estudio de un sistema de
desalación alimentado
mediante energía eólica

Caudal de Permeado:

4000,00 m3/d

Caudal bomba alta pres:

166,7 m3/hr

Caudal agua cruda:

8888,9 m3/d

Presión Alim.:

68,7 bar

Recuperación:

45,0 %

Temp. Agua Alim.:

17,0 C(63F)

pH Agua Alim.:

7,00

Edad de las Membranas:

3,0 años

Dosis Químico, ppm (100%):

14,0 H2SO4

Disminución flux %/año:

5,0

Factor de Ensuciamiento

0,86

Incremento paso sales,

7,0

%año:

Flux promedio:

18,7 l/m2hr

Tipo de Alimentación:

Agua de mar - pozo

Etapa	Perm. Flujo m3/hr	Caudal/tubo Alim. m3/hr	Conc. m3/hr	Flux l/m2-hr	Beta	Conc.&Contra. Presiones bar	Contra. Presiones bar	Elemento Tipo	Elem. N?	Arreglo
1-1	166,7	9,3	5,1	18,7	1,02	68,0	0,0	SWC4B-LD	240	40x6

etapa	Elem N°	Alim. pres Bar	Pres gota Bar	Perm flujo m3/hr	Perm Flux l/m2h	Beta	Perm sal SDT (ppm)	Conc. osm pres	Ca	Mg	Cumulative Perm Ion levels Cl	B	SiO2
1-1	1	68,7	0,2	1,0	26,8	1,04	49,5	28,7	0,15	0,46	28	0,18	0,00
1-1	2	68,6	0,1	0,9	23,5	1,04	56,0	32,1	0,17	0,52	31	0,20	0,00
1-1	3	68,4	0,1	0,7	20,1	1,04	63,5	35,7	0,19	0,59	35	0,22	0,00
1-1	4	68,3	0,1	0,6	16,9	1,03	72,2	39,4	0,21	0,67	40	0,25	0,00
1-1	5	68,2	0,1	0,5	13,8	1,03	82,1	43,1	0,24	0,76	46	0,28	0,00
1-1	6	68,1	0,1	0,4	11,2	1,02	93,1	46,6	0,28	0,87	52	0,32	0,00

Etapa PND
bar
1-1 32,3

Los cálculos de rendimiento del producto están basados en el rendimiento nominal del elemento de membrana, funcionando con agua de alimentación de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los listados creados por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. Ninguna garantía del producto o rendimiento del sistema es expresada o implícita, a menos que sea proporcionada en una garantía separada firmada por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de la presión de alimentación aplicada son las mejores estimaciones para asistir al cliente en el dimensionamiento de la bomba de alta de alta presión y no son una garantía de la presión actual de operación durante la vida del producto. Las presiones calculadas contienen un margen de seguridad para asegurar que las bombas de alimentación sean apropiadamente dimensionadas basándose en la información proporcionada. El margen de seguridad incluye factores para un ratio normal de ensuciamiento de la membrana durante la vida del producto. Los cálculos para el consumo de productos químicos son la vida del producto. Los cálculos para el consumo de productos químicos son proporcionados para la conveniencia y están basados en varias hipótesis acerca de la calidad y la composición del agua de alimentación. Como la cantidad de reactivos químicos necesarios para el ajuste de pH es dependiente del agua de alimentación y no es dependiente de la membrana, Hydranautics no garantiza el consumo de reactivos químico. Si se requiere una garantía de sistema o producto, por favor póngase en contacto con representantes de Hydranautics. Las garantías no estándar o ampliadas, pueden resultar en precios diferentes a los precios cotizados anteriormente.
(8/63)

DISEÑO BASICO CON Intercambiador de Trabajo/Presión

Programa O.I. licenciado a:

Cálculo creado por:

Pedro Damián Acosta Díaz

Proyecto:

Estudio de un sistema de desalación alimentado mediante energía eólica

Caudal de Permeado:

4000,00 m3/d

Caudal bomba alta pres:

166,7 m3/hr

Caudal agua cruda:

8888,9 m3/d

Presión Alim.:

65,6 bar

Recuperación:

45,0 %

Temp. Agua Alim.:

21,0 C(70F)

pH Agua Alim.:

7,00

Edad de las Membranas:

3,0 años

Dosis Químico, ppm (100%):

16,0 H2SO4

Disminución flux %/año:

5,0

Factor de Ensuciamiento

0,86

Incremento paso sales, %/año:

7,0

Flux promedio:

18,7 l/m2hr

Tipo de Alimentación:

Agua de mar - pozo

Etap	Perm. Flujo m3/hr	Caudal/tubo Alim. m3/hr	Conc. m3/hr	Flux l/m2-hr	Beta	Conc.&Contra. Presiones bar	bar	Elemento Tipo	Elem. N?	Arreglo
1-1	166,7	9,3	5,1	18,7	1,03	64,8	0,0	SWC4B-LD	240	40x6

	Agua cruda	Agua luego de ajuste	Agua Alim.	Permeado	Conc.	Rechazo SER
ión	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ca	412,0	412,0	421,7	0,317	766,5	748,8
Mg	1290,0	1290,0	1320,5	0,992	2400,0	2344,5
Na	10858,1	10858,1	11113,7	40,056	20173,9	19708,1
K	399,0	399,0	408,4	1,839	741,0	723,9
NH4	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0
Ba	0,014	0,014	0,014	0,000	0,026	0,0
Sr	7,900	7,900	8,086	0,006	14,698	14,4
CO3	12,3	1,3	1,3	0,000	3,7	4,1
HCO3	134,0	138,7	142,3	0,834	248,9	243,1
SO4	2910,0	2925,1	2995,2	2,442	5443,8	5317,1
Cl	19354,0	19354,0	19809,7	64,566	35964,8	35134,3
F	1,3	1,3	1,3	0,009	2,4	2,4
NO3	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0
B	4,50	4,50	4,60	0,401	8,03	7,9
SiO2	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0
CO2	0,74	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78
TDS	35382,2	35391,9	36226,8	111,5	65767,8	64248,5
pH	8,10	7,00	7,00	5,26	7,01	

	Agua cruda	Agua Alim.	Conc.
CaSO4 / Ksp * 100:	23%	24%	51%
SrSO4 / Ksp * 100:	28%	29%	60%
BaSO4 / Ksp * 100:	60%	62%	122%
Sat. SiO2:	0%	0%	0%
Indice Sat. de Langelier	1,10	-0,02	0,47
Indice Sat. de Stiff & Davis	0,18	-0,95	-0,53
Fuerza iónica	0,70	0,72	1,31
Presión osmótica	25,4 bar	26,0 bar	47,2 bar
H.P. Differential of Pressure/Work Exchanger	1,0 bar	Fuga de Intercambiador de trabajo/Presión	0,9 %
Pressure/Work Exchanger Boost Pressure	1,7 bar	Mezcla Volumétrica	5 %

Los cálculos de rendimiento del producto están basados en el rendimiento nominal del elemento de membrana, funcionando con agua de alimentación de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los listados creados por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. Ninguna garantía del producto o rendimiento del sistema es expresada o implícita, a menos que sea proporcionada en una garantía separada firmada por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de la presión de alimentación aplicada son las mejores estimaciones para asistir al cliente en el dimensionamiento de la bomba de alta de alta presión y no son una garantía de la presión actual de operación durante la vida del producto. Las presiones calculadas contienen un margen de seguridad para asegurar que las bombas de alimentación sean apropiadamente dimensionadas basándose en la información proporcionada. El margen de seguridad incluye factores para un ratio normal de ensuciamiento de la membrana durante la vida del producto. Los cálculos para el consumo de productos químicos son la vida del producto. Los cálculos para el consumo de productos químicos son proporcionados para la conveniencia y están basados en varias hipótesis acerca de la calidad y la composición del agua de alimentación. Como la cantidad de reactivos químicos necesarios para el ajuste de pH es dependiente del agua de alimentación y no es dependiente de la membrana, Hydranautics no garantiza el consumo de reactivos químico. Si se requiere una garantía de sistema o producto, por favor póngase en contacto con representantes de Hydranautics. Las garantías no estándar o ampliadas, pueden resultar en precios diferentes a los precios cotizados anteriormente.
(8/63)

DISEÑO BASICO CON Intercambiador de Trabajo/Presión

Programa O.I. licenciado a:

Cálculo creado por:

Pedro Damián Acosta Díaz

Proyecto:

Estudio de un sistema de desalación alimentado mediante energía eólica

Caudal de Permeado:

4000,00 m3/d

Caudal bomba alta pres:

166,7 m3/hr

Caudal agua cruda:

8888,9 m3/d

Presión Alim.:

65,6 bar

Recuperación:

45,0 %

Temp. Agua Alim.:

21,0 C(70F)

pH Agua Alim.:

7,00

Edad de las Membranas:

3,0 años

Dosis Químico, ppm (100%):

16,0 H2SO4

Disminución flux %/año:

5,0

Factor de Ensuciamiento

0,86

Incremento paso sales,

7,0

%año:

Flux promedio:

18,7 lm2hr

Tipo de Alimentación:

Agua de mar - pozo

Etapa	Perm. Flujo m3/hr	Caudal/tubo Alim. m3/hr	Conc. m3/hr	Flux l/m2-hr	Beta	Conc.&Contra. Presiones bar	bar	Elemento Tipo	Elem. N?	Arreglo			
1-1	166,7	9,3	5,1	18,7	1,03	64,8	0.0	SWC4B-LD	240	40x6			
etapa	Elem N°	Alim. pres Bar	Pres gota Bar	Perm flujo m3/hr	Perm Flux l/m2h	Beta	Perm sal SDT (ppm)	Conc. osm pres	Ca	Cumulative Perm Mg	Ion levels Cl	B	SiO2
1-1	1	65,6	0,2	1,0	27,9	1,04	56,4	29,3	0,17	0,53	32	0,21	0,00
1-1	2	65,4	0,1	0,9	24,0	1,04	64,5	32,8	0,19	0,60	36	0,24	0,00
1-1	3	65,2	0,1	0,7	20,2	1,04	73,8	36,6	0,22	0,69	41	0,27	0,00
1-1	4	65,1	0,1	0,6	16,5	1,03	84,7	40,3	0,25	0,79	47	0,31	0,00
1-1	5	65,0	0,1	0,5	13,2	1,03	97,0	43,9	0,29	0,90	54	0,35	0,00
1-1	6	64,9	0,1	0,4	10,5	1,02	110,5	47,3	0,33	1,03	62	0,40	0,00

Etapa PND bar
1-1 28,7

Los cálculos de rendimiento del producto están basados en el rendimiento nominal del elemento de membrana, funcionando con agua de alimentación de una calidad aceptable. Los resultados mostrados en los listados creados por este programa son estimaciones del rendimiento del producto. Ninguna garantía del producto o rendimiento del sistema es expresada o implícita, a menos que sea proporcionada en una garantía separada firmada por un representante autorizado de Hydranautics. Los cálculos de la presión de alimentación aplicada son las mejores estimaciones para asistir al cliente en el dimensionamiento de la bomba de alta presión y no son una garantía de la presión actual de operación durante la vida del producto. Las presiones calculadas contienen un margen de seguridad para asegurar que las bombas de alimentación sean apropiadamente dimensionadas basándose en la información proporcionada. El margen de seguridad incluye factores para un ratio normal de ensuciamiento de la membrana durante la vida del producto. Los cálculos para el consumo de productos químicos son la vida del producto. Los cálculos para el consumo de productos químicos son proporcionados para la conveniencia y están basados en varias hipótesis acerca de la calidad y la composición del agua de alimentación. Como la cantidad de reactivos químicos necesarios para el ajuste de pH es dependiente del agua de alimentación y no es dependiente de la membrana, Hydranautics no garantiza el consumo de reactivos químico. Si se requiere una garantía de sistema o producto, por favor póngase en contacto con representantes de Hydranautics. Las garantías no estándar o ampliadas, pueden resultar en precios diferentes a los precios cotizados anteriormente.
(8/63)

ANEXO VI: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y CATÁLOGOS

6. Anexo VI: Especificaciones técnicas y catálogos

En el presente anexo se recogen las especificaciones técnicas y de operación de los equipos y elementos mecánicos dimensionados en el anexo II.

Se indican los siguientes elementos, por orden de visualización:

- Especificaciones técnicas del modelo de membrana seleccionado
- Especificaciones técnicas del intercambiador de presión
- Especificaciones técnicas de la bomba de alta presión
- Especificaciones técnicas de la bomba booster
- Especificaciones técnicas de las bombas de captación
- Especificaciones técnicas de las bombas de distribución
- Especificaciones técnicas de los aerogeneradores

Membrane Element

SWC4B

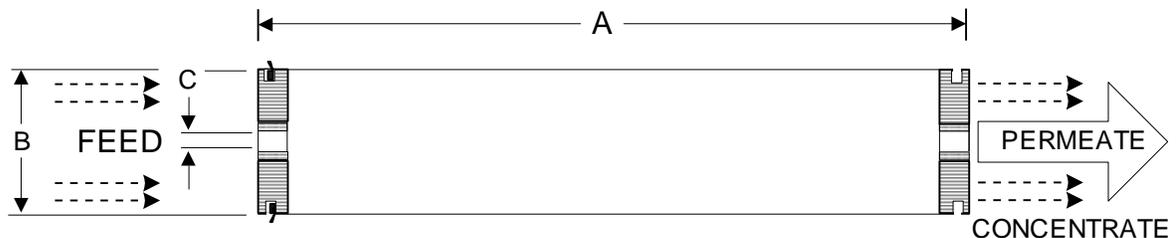
Performance:	Permeate Flow:	6,500 gpd (24.6 m ³ /d)
	Salt Rejection:	99.8 % (99.7 % minimum)
	Boron Rejection (Typical):	95.0% [†]
Type	Configuration:	Spiral Wound
	Membrane Polymer:	Composite Polyamide
	Nominal Membrane Area:	400 ft ²
Application Data*	Maximum Applied Pressure:	1200 psig (8.27 MPa)
	Maximum Chlorine Concentration:	< 0.1 PPM
	Maximum Operating Temperature:	113 °F (45 °C)
	Feedwater pH Range:	3.0 - 10.0
	Maximum Feedwater Turbidity:	1.0 NTU
	Maximum Feedwater SDI (15 mins):	5.0
	Maximum Feed Flow:	75 GPM (17.0 m ³ /h)
	Minimum Ratio of Concentrate to Permeate Flow for any Element:	5:1
Maximum Pressure Drop for Each Element:	10 psi	

* The limitations shown here are for general use. The values may be more conservative for specific projects to ensure the best performance and longest life of the membrane.

Test Conditions

The stated performance is initial (data taken after 30 minutes of operation), based on the following conditions:

- 32,000 ppm NaCl
- 800 psi (5.5 MPa) Applied Pressure
- 77 °F (25 °C) Operating Temperature
- 10% Permeate Recovery
- 6.5 - 7.0 pH Range



A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)	Weight, lbs. (kg)
40.0 (1016)	7.89 (200)	1.125 (28.6)	36 (16.4)

Notice: Permeate flow for individual elements may vary + or - 15 percent. Element weight may vary. All membrane elements are supplied with a brine seal, interconnector, and o-rings. Elements are enclosed in a sealed polyethylene bag containing less than 1.0% sodium meta-bisulfite solution, and then packaged in a cardboard box.

[†] When tested at standard test conditions with 5.0ppm Boron in feed solution.

Hydranautics believes the information and data contained herein to be accurate and useful. The information and data are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. Hydranautics assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the presented information and data. It is the user's responsibility to determine the appropriateness of Hydranautics' products for the user's specific end uses. 10/07/13



1717 Doolittle Dr.
San Leandro, CA
94577, USA
Phone: 1-510-483-7370
FAX: 1-510-483-7371

Energy Recovery, Inc.
Specifications Sheet
PX-Q300

REV	BY	CKD	REVISION	DATE
0	TR	JA	Initial release	1/1/2012
1	RBC	RAB	General update	2/13/2012
2	RBC	RAB	Corrected Typo	3/13/2012

DESCRIPTION:
TECHNICAL DATA SHEET, POSITIVE
DISPLACEMENT ENERGY RECOVERY
DEVICE

Sheet
Page 1 of 1

Document number:
80315-01

1. Part number 40032		2. Service		3. Reference				
OPERATING CONDITIONS	4	Liquid	Seawater	46	Performance	Standard		
	5	Operating Temperature	33°F-120°F (0.6-49°C)	47	Case Hydrotest	Standard		
	6	Max. Temperature	120°F (49°C)	48	Rotation Speed Test	Standard		
	7	Specific Gravity	1.03	49	Die Penetrant Test (ceramics)	Standard		
	8	Viscosity	1.060 cP @ 70°F (21.1°C)	50	Cavitation Test	Standard		
	9	Flow range	200 - 300 gpm (45 - 68m3/h)	51	Witnessed Test	Optional		
	10	Maximum High-Pressure Inlet Flow	300 gpm (68 m3/h)	52				
	11	Maximum Low-Pressure Outlet Flow	300 gpm (68 m3/h)	53				
	12	Maximum Inlet High Pressure	1200 psi (82.7 bar)	54				
	13	Maximum Inlet Low Pressure	145 psi (10 bar)	55				
	14	Minimum Discharge Pressure	12 psi (0.8 bar)	56				
	15	Filtration Requirement (Nominal)	20 µm	57				
	16			58	Outside Dimensions	Standard		
	17			59	Internal Components	Standard		
	18			60	Housing Dimensions	Standard		
	19			61	Ceramic Dimensions	Standard		
	PERFORMANCE	20	Peak Efficiency	98%	62	INSPECTION	Material Certificates	Standard
		21	Maximum High Pressure Differential	14.5 psi (1 bar) @ 300 gpm	63		Visual	Standard
		22	Maximum Low Pressure Differential	14.5 psi (1 bar) @ 300 gpm	64		Packing and Crating	Standard
23		Maximum Lubrication Flow	4.4 gpm (1 m3/h) @ 300 gpm	65				
24		Maximum Rotational Speed	800 rpm @ 300 gpm	66				
25		Maximum Salinity Increase at Membranes	3% @ 40% Recovery	67				
26		Noise Per ISO 3744	Less Than 85 dB(A)	68				
27		Warranted Efficiency***	97.2%	69				
MATERIALS	28	Housing**	GRP	70	SHIPPING WEIGHT AND DIMENSIONS	PX-Q300 unit Shipping Dimensions	47x17x17 inch 119x43x43 cm	
	29	Rotor, Sleeve, Endcover Assembly	Ceramic-alumina			PX-Q300 unit Shipping Weight	210 lbs. (95 kg)	
	30	Low Pressure Inlet Port Fitting	PVC			Dry PX-Q300 unit weight	200 lbs. (91 kg)	
	31	Low Pressure Outlet Port Fitting	PVC			72	Cartridge Shipping Dimensions	20x12x12 inch 51x31x31 cm
	32	High Pressure Inlet Port Fitting	Superduplex (S32750 OR S32760)			73	Cartridge Weight	49 lbs. (22 kg)
	33	High Pressure Outlet Port Fitting	Superduplex (S32750 OR S32760)			74	Shipping and Storage Temperature	33°F-120°F (0.6-49°C)
	34	Internal Low Pressure Interconnector	Titanium			75		
	35	Fasteners/Hardware (non-wetted)	316SS			76		
	36	Tension Rod Assembly*	AL-6XN* / C-276			77		
	37	O-rings	EPDM					
PIPING CONNECTIONS	38							
	39	Low Pressure Inlet Port Fitting	4" (DN100) Grooved-end Flexible Pipe Coupling	78	MISCELLANEOUS	Internal Volume	830 in ³ (13,601 cm ³)	
	40	Low Pressure Outlet Port Fitting		79		Wet Weight	230 lbs. (104 kg)	
	41	High Pressure Inlet Port Fitting	3" (DN80) Grooved-end Flexible Pipe Coupling	80				
	42	High Pressure Outlet Port Fitting		81				
43			82					
44			83					
45			84					

*AL-6XN is a registered trademark of Allegheny Ludlum

**Housing designed in accordance with the engineering standards of the Boiler and Pressure Vessel Code of the American Society of Mechanical Engineers.

***The standardized efficiency test is conducted under conditions of balanced flow, 1000psi pressure and the mid-flow for the PX model under test.

ERI RESERVES THE RIGHT TO MAKE SPECIFICATION CHANGES AT ANY TIME WITHOUT PRIOR NOTICE.

PRICE: sales@energyrecovery.com

MANUFACTURER: Energy Recovery Inc

MODEL: PX-Q300



1717 Doolittle Dr.
San Leandro, CA
94577, USA
Phone: +1(510)483-7370
Fax: +1(510)483-7371

ENERGY RECOVERY, INC.
PX-Q300

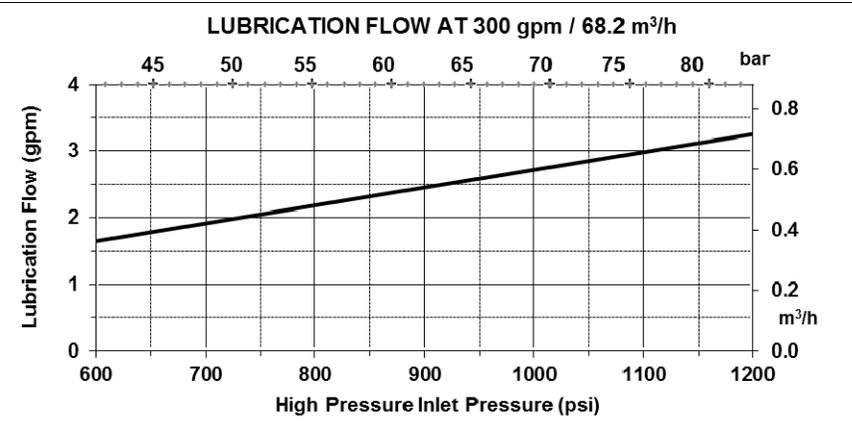
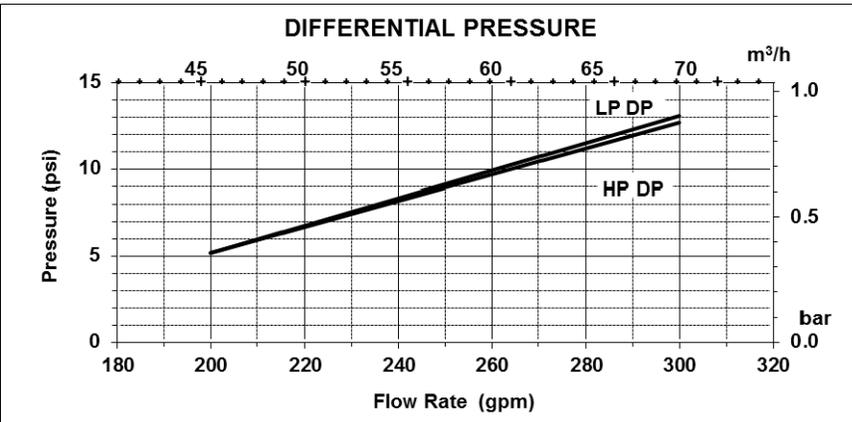
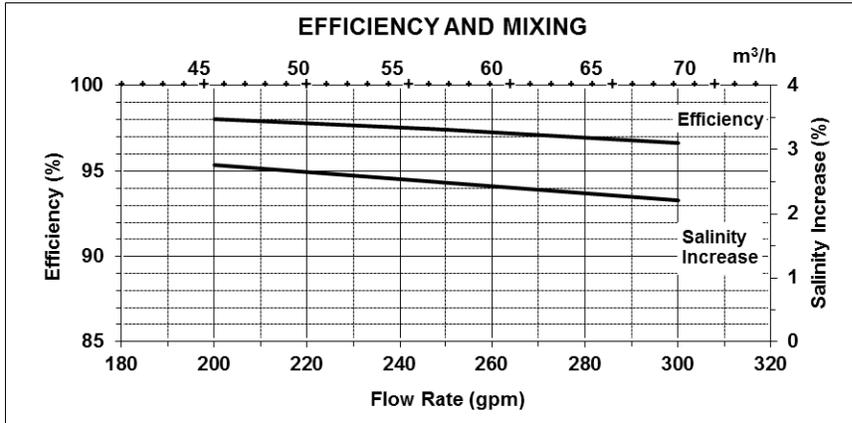
SHEET
1 of 1

DOCUMENT NUMBER
80328-01 Rev 0

MANUFACTURER
ERI

REV	BY	CKD	REVISION	DATE
0	JLA	APT	Initial Release	1/19/12

PERFORMANCE CURVES, POSITIVE
DISPLACEMENT ENERGY RECOVERY
DEVICE



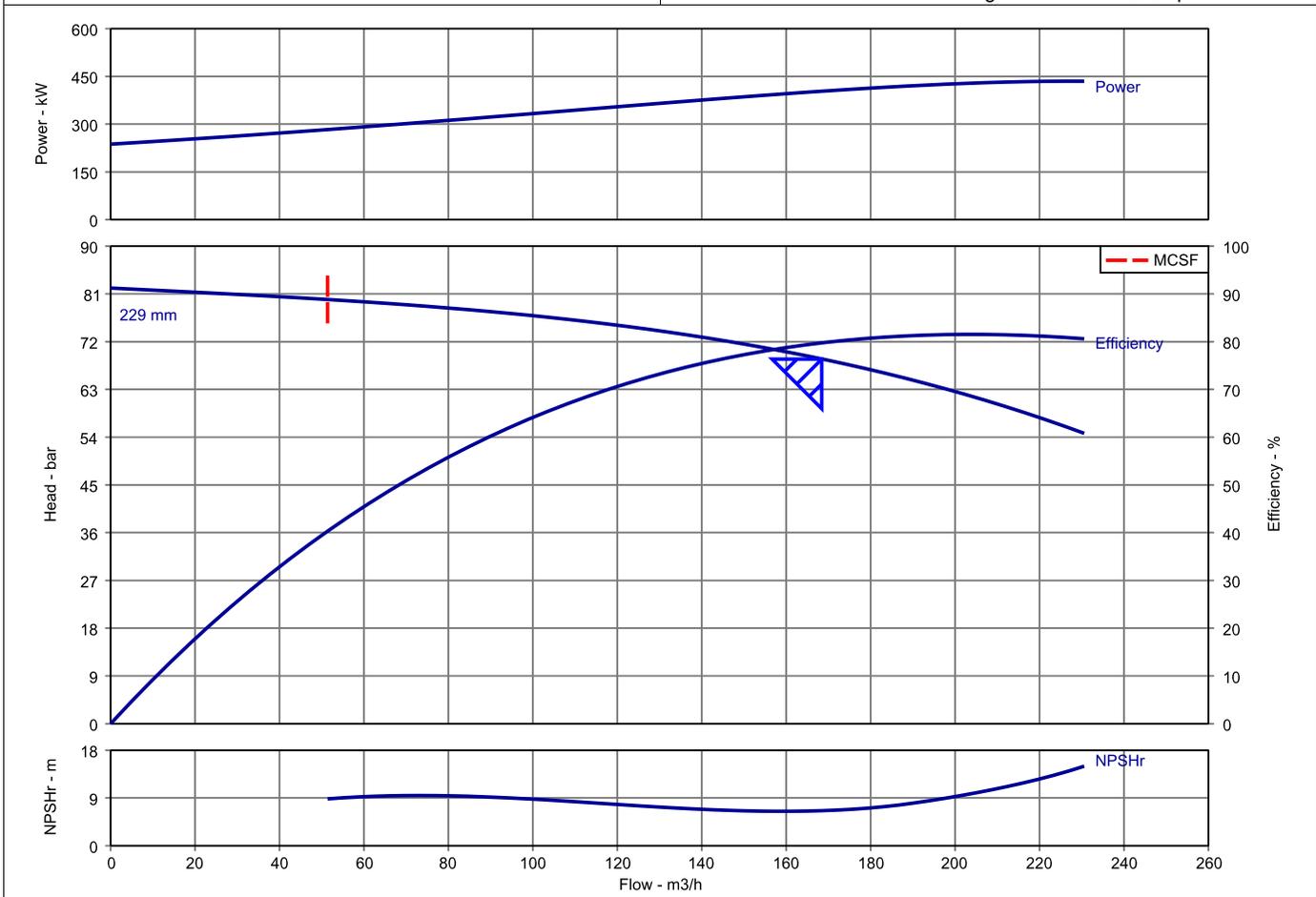
NOTE: See ERI document number 80008-01 for definitions and test conditions.

Pump Performance Datasheet

Customer :	Project name : 338808
Customer reference :	Size : 4x6x9-A
Item number : 002	Stages : 10
Service :	Based on curve number : 4x6x9-A
Quantity : 1	Date last saved : 19 Jun 2014 8:50 PM

Operating Conditions	Liquid
Flow, rated : 168.4 m3/h	Liquid type : Sea Water
Differential head / pressure, rated (requested) : 68.70 bar	Additional liquid description :
Differential head / pressure, rated (actual) : 68.75 bar	Solids diameter, max : 0.00 mm
Suction pressure, rated / max : 0.00 / 0.00 bar.g	Solids concentration, by volume : 0.00 %
NPSH available, rated : Ample	Temperature, max : 20.00 deg C
Frequency : 50 Hz	Fluid density, rated / max : 1.026 / 1.026 kg/dm3
	Viscosity, rated : 1.05 cSt
	Vapor pressure, rated : 0.07 bar.a

Performance	Material
Speed, rated : 3,290 rpm	Material selected : Standard
Impeller diameter, rated : 229 mm	
Impeller diameter, maximum : 229 mm	Pressure Data
Impeller diameter, minimum : 229 mm	Maximum working pressure : 82.10 bar.g
Efficiency : 79.75 %	Maximum allowable working pressure : 82.74 bar.g
NPSH required / margin required : 6.60 / 0.00 m	Maximum allowable suction pressure : N/A
nq (imp. eye flow) / S (imp. eye flow) : 34 / 141 Metric units	Hydrostatic test pressure : N/A
MCSF : 51.35 m3/h	Driver & Power Data
Head, maximum, rated diameter : 82.10 bar	Driver sizing specification : Rated power
Head rise to shutoff : 19.42 %	Margin over specification : 0.00 %
Flow, best eff. point (BEP) : 203.7 m3/h	Service factor : 1.00
Flow ratio (rated / BEP) : 82.67 %	Power, hydraulic : 322 kW
Diameter ratio (rated / max) : 100.00 %	Power, rated : 403 kW
Head ratio (rated dia / max dia) : 100.00 %	Power, maximum, rated diameter : 435 kW
Cq/Ch/Ce/Cn [ANSI/HI 9.6.7-2010] : 1.00 / 1.00 / 1.00 / 1.00	Minimum recommended motor rating : 447 kW / 600 hp
Selection status : Acceptable	



		1717 Doolittle Dr. San Leandro, CA 94577 USA Phone: 1-510-483-7370 FAX: 1-510-483-7371		Energy Recovery, Inc. Technical Specifications Sheet		REV	BY	CHK	CHANGE	DATE
						0	RBC	ERK	INITIAL RELEASE	2/15/2011
DESCRIPTION TECHNICAL DATA SHEET, ERI™ AquaBold™ 4x6x9 HIGH PRESSURE PUMP		SHEET 1 OF 1 DOCUMENT NUMBER 80261-01 MANUFACTURER ERI		1	RBC	ERK	UPDATED MATL	2/24/2011		
1. Pump Model		4x6x9		2. Service		3. Reference				
OPERATING DATA	1	Liquid	Sea/Brackish Water	36	STANDARD MATERIALS	Containment Shell	Duplex 2205 SS			
	2	Specific Gravity	1.03	37		Suction Housing	Duplex 2205 SS			
	3	Viscosity	1.060 cP @ 70°F (21.1°C)	38		Impeller/Diffuser	Duplex 2205 SS			
	4	Operating Temperature	33°F - 120°F (0.6°C - 49°C)	39		Shaft	Duplex 2205 SS			
	5	Minimum Cont. Stb. Flow	See ERI PERFORMANCE CURVE	40		Interstage Bearing	Graphitar M101			
	6	Maximum Flow	See ERI PERFORMANCE CURVE	41		Wear Ring Bearing	Graphitar M101			
	7	Maximum Inlet Pressure	150 psi (10 bar)	42		Tubing	Super-Duplex 2507			
	8	Maximum Outlet Pressure	1200 psi (83 bar)	43		Fasteners (non-wetted)	316 SS			
	9	NPSH _R	See ERI PERFORMANCE CURVE	44		Coupling	Black Oxide Coated CS			
	10	Maximum Design Speed	VFD Operated up to 4000 RPM	45		Coupling Guard	Powder Coated CS			
	11	BEP @ Rated Speed	See ERI PERFORMANCE CURVE	46		Motor/Pump Adapter	Powder Coated CS			
	12	Filtration (Nominal)	10µ	47		Base	Powder Coated CS			
	13	Pump Power	See ERI PERFORMANCE CURVE	48		Containment Shell	Super-Duplex 2507			
DESIGN	14	Number of Stages	PER DESIGN	49	OPTIONAL MATERIALS	Suction Housing	Super-Duplex 2507			
	15	Inlet	6" (DN 150)	50		Impeller/Diffuser	Super-Duplex 2507			
	16	Outlet	4" (DN 100)	51		Shaft	Super-Duplex 2507			
	17	Piping Connections	Grooved-End Flexible Pipe Coupling	52		Tubing	Super-Duplex 2507			
	18	Impeller Nominal Diameter	9" (228.6 mm)	53						
	19	Seal Lubrication	Plan 11, Process Lubricated	54						
	20	Shaft Seal	John Crane Type 1 or equivalent	55						
	21	Seal Face Materials (Body)	Silicon Carbide (Duplex 2205 SS)	56						
	22	Shaft Seal Manufacturer	Manufactured for ERI	57						
	23	Shaft Coupling	Flexible Spacer	58		TESTS	Performance	Standard - ANSI HI Level A		
24	Thrust Bearing	Hiperax	59	Witnessed Test	Optional					
25	Direction of Rotation	CW facing Shaft End	60	Hydrostatic Test	Standard					
INSPECTION	26	Certified Drawings	Standard	61	DIMENSIONS	Shipping Dimensions	TBD			
	27	Material Certificates	Standard	62		Shipping Weight	TBD			
	28	Visual	Optional	63						
	29	Packing and Crating	Standard	64						
	30			65						
	31			66						
	32			67						
	33			68						
	34			69						
	35			70						
Notes: ERI RESERVES THE RIGHT TO MAKE SPECIFICATION CHANGES AT ANY TIME WITHOUT PRIOR NOTICE. HYDRAULIC PERFORMANCE AND TECHNICAL DATA FOR YOUR SPECIFIC APPLICATION WILL BE INCLUDED IN YOUR PROPOSAL.										
PRICE: sales@energyrecovery.com										
MANUFACTURER: Energy Recovery, Inc.			Model No. 4x6x9			WEIGHT: TBD				



1908 Doolittle Dr.
San Leandro, CA
94577, USA
Phone: 1-510-483-7370
FAX: 1-510-483-7371

**Energy Recovery, Inc.
Technical
Specifications Sheet**

REV	BY	CKD	REVISION	DATE
0	IBC	JGM	Initial Release	7/18/2008
1	ABK	JGM	Revised	3/27/2009

DESCRIPTION:
**TECHNICAL DATA SHEET, VP-4671
CIRCULATION PUMP**

**SHEET
1 of 1**
**Document Number
80126-01**
**MANUFACTURER
ERI**

1. Part Number	50009	2. Service:	3. Reference:
----------------	--------------	-------------	---------------

OPERATING DATA		DESIGN		MATERIALS		MOTOR		TESTING	
4	Liquid	5	Specific Gravity	16	Number of Stages	33	Volute Casing, Cover	56	Case Hydrostatic
5	Seawater	17	1.03	17	1	34	Cover	57	Impeller Balance
6	1.060 cP @ 70°F (21.1°C)	18	6" (DN 150)	18	6" (DN 150)	35	Impeller	58	Motor Test
7	33°F - 120°F (0.6°C - 49°C)	19	4" (DN 100)	19	4" (DN 100)	36	Impeller Bushing	59	Witness Test
8	See ERI Document 80123-01	20	ASME 600#	20	ASME 600#	37	Wear Ring	60	Material Certs
9	See ERI Document 80123-01	21	ASME 600#	21	ASME 600#	38	Vent Valve		
10	1200 psi (83 bar)	22	7" (180mm)	22	7" (180mm)	39	Case Drain Plug		
11	1290 psi (89 bar)	23	N/A	23	N/A	40	Shaft		
12	See ERI Document 80123-01	24	API Plan 13 with Vent Valve	24	API Plan 13 with Vent Valve	41	Flush Tubing		
13	VFD Operated up to 3600 RPM	25	Pressure Balance Mechanical Seal	25	Pressure Balance Mechanical Seal	42	Gaskets		
14	See ERI Document 80123-01	26	Silicon Carbide / Carbon	26	Silicon Carbide / Carbon	43	Shaft Coupling		
15	See ERI Document 80123-01	27	Manufactured for ERI	27	Manufactured for ERI	44	Coupling Guard		
		28	Rigid	28	Rigid	45	Motor Support		
		29	In Motor	29	In Motor	46	Fasteners		
		30	CCW from Drive	30	CCW from Drive	47	NEMA Frame		
		31	Radial	31	Radial	48	Frequency		
		32	Threaded Plug	32	Threaded Plug	49	Maximum Rated Power		
						50	Type		
						51	Voltage		
						52	Phase		
						53	Manufacturer		
						54	Tropicalization		
						55	Paint System		
						56	Case Hydrostatic		
						57	Impeller Balance		
						58	Motor Test		
						59	Witness Test		
						60	Material Certs		

Notes:

ERI RESERVES THE RIGHT TO MAKE SPECIFICATION CHANGES AT ANY TIME WITHOUT PRIOR NOTICE.

PRICE: sales@energyrecovery.com	SHIPPING:	DELIVERY:
MANUFACTURER: Energy Recovery, Inc.	MODEL NO. VP-4671	WEIGHT: 1080 lb (490 kg)

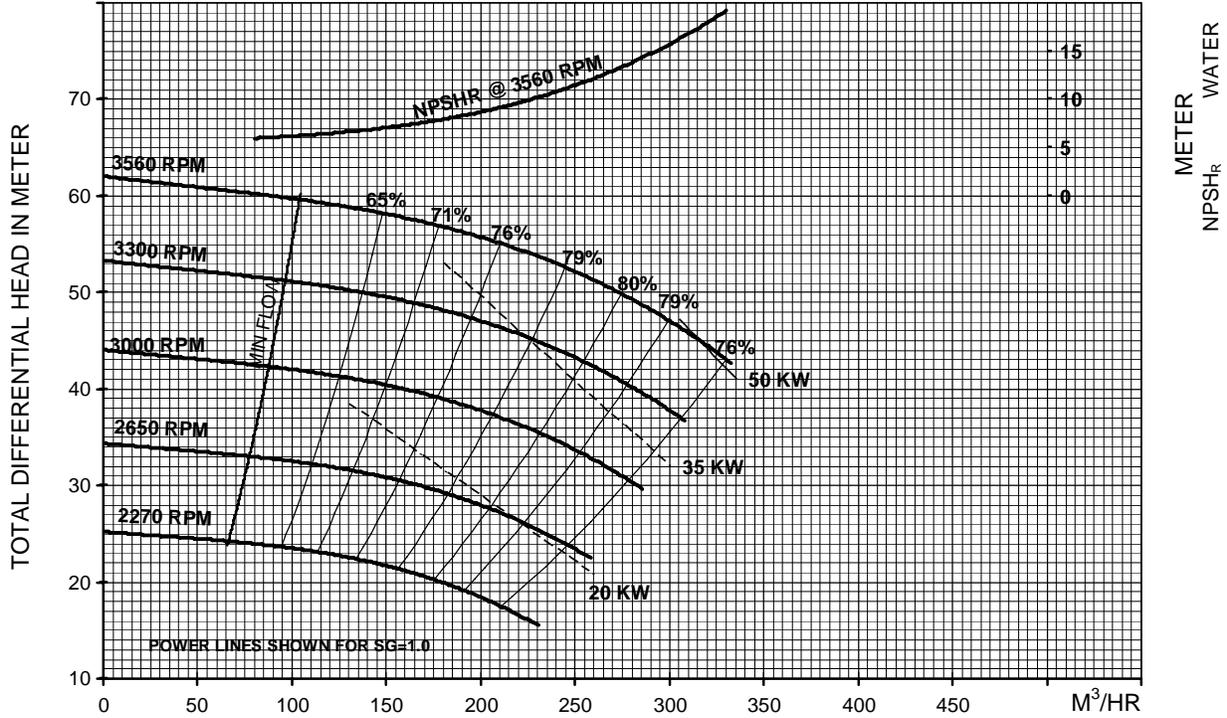


Energy Recovery, Inc
 1908 Doolittle Drive
 San Leandro CA
 94577
 USA
 Tel: +1 510 483
 7370

**PERFORMANCE
 CURVES, VP-4671
 CIRCULATION
 PUMP**

Doc. No. 80123-01
 Sheet No. 1 of 1

REV	BY	CKD	REVISION	DATE
000	JGM	IBC	INITIAL RELEASE	07/11/08



Nº de posición del cliente:
 Pedido fechado: 21/06/2014
 Nº de pedido: Cotización rápida
 Cantidad: 4

Número: ES 10
 Nº de artículo: 400
 Date: 21/06/2014
 Página: 1 / 5

UPA 200B-130/4d UMA 150D 26/21
 Bomba sumergible

Versión nº.: 1

Datos de trabajo

Caudal bombeado requerido	123,50 m ³ /h	Corriente volumétrica	123,50 m ³ /h
Altura de bombeo requerida	54,17 m	Altura manométrica sin	56,40 m
Medio bombeado	agua	válvula anti-retorno.	
	Agua limpia	Eficiencia sin válvula anti-	79,2 %
	No contiene sustancias	retorno	
	químicas o mecánicas que	Absorción de potencia	23,83 kW
	afecten a los materiales	Potencia máxima de curva	24,57 kW
Temperatura ambiente	20,0 °C	Mín.caudal permitido para	48,13 m ³ /h
Temperatura del medio a	19,0 °C	funcionamiento estable	
bombear		continuo	
Densidad del fluido	998 kg/m ³	Mínimo caudal permitido para	12,03 m ³ /h
		funcionamiento de corta	
		duración	
		Altura de bombeo en el punto	87,01 m
		de caudal cero	
Viscosidad del medio a	1,02 mm ² /s	Caudal máximo admisible	159,73 m ³ /h
bombear		Diseño	Bomba individual 1 x 100%
altura lado aspiración con	55,51 m		
válvula anti-retorno			
Velocidad del caudal en torno	0,2 m/s		
al motor			

Ejecución

Bomba estándar	Bombas sumergibles	Anillo rozante	Anillo partido / de rodadura
Diseño	de acoplamiento directo	Diámetro del rodete	129,0 mm
Orientación	Vertical	Mínimo nivel de fluido por	0,50 m
Diseño de acuerdo con la	Agua potable de acuerdo con	encima de la bomba	
norma	ACS	Válvula de no retorno	con
Descarga norma de conexión	EN ISO 228-1	Placa de válvula taladrada	no
Diám.nominal descarga	G 5	Tapa de aspiración	Sin
Presión nominal de descarga	PN 25	Soporte de cojinete	Sin
		Máx.diámetro exterior	191,0 mm
		Longitud total de la unidad	2144,0 mm

Accionamiento, accesorios

Tamaño del motor	150D	Tipo de corriente	Trifásico (3~)
Diseñado para trabajar con	no	Llenado agua potable	no
variador de frecuencia		Bobinado J2	no
Velocidad del motor	2885 rpm	Extensión cable	Conectar prolongador de
Frecuencia	50 Hz		cable en fábrica
Tensión de servicio	400 V	Cable corto	F4
Potencia dimensionada P2	26,00 kW	Corte transversal con cable	6,00 mm ²
Reserva disponible	5,83 %	corto	
Corriente de régimen	54,6 A	Longitud de cable corto	4,00 m
Clase de protección del motor	IP68	Diseñado con cables de prolongación para tipo de instalación	libre de aire en contacto con superficies.
Coseno phi a plena carga	0,81	Tipo de rosca	Sin
(4/4)			
Rendimiento del motor a	84,6 %		
plena carga (4/4)			
Modo de arranque	Conexión directa		

Nº de posición del cliente:
 Pedido fechado: 21/06/2014
 Nº de pedido: Cotización rápida
 Cantidad: 4

Número: ES 10
 Nº de artículo: 400
 Date: 21/06/2014
 Página: 2 / 5

UPA 200B-130/4d UMA 150D 26/21
 Bomba sumergible

Versión nº.: 1

Materiales Bomba G - Materiales Accionamiento G

Indicaciones

general criteria for a water analysis: pH-value ≥ 7 ; chloride content (Cl) ≤ 250 mg/kg. chlorine (Cl₂) ≤ 0.6 mg/kg. Ammonium (NH₄⁺) ≤ 2 mg/kg, free of H₂S; Chlorine (Cl₂) ≤ 0.6 mg/kg.

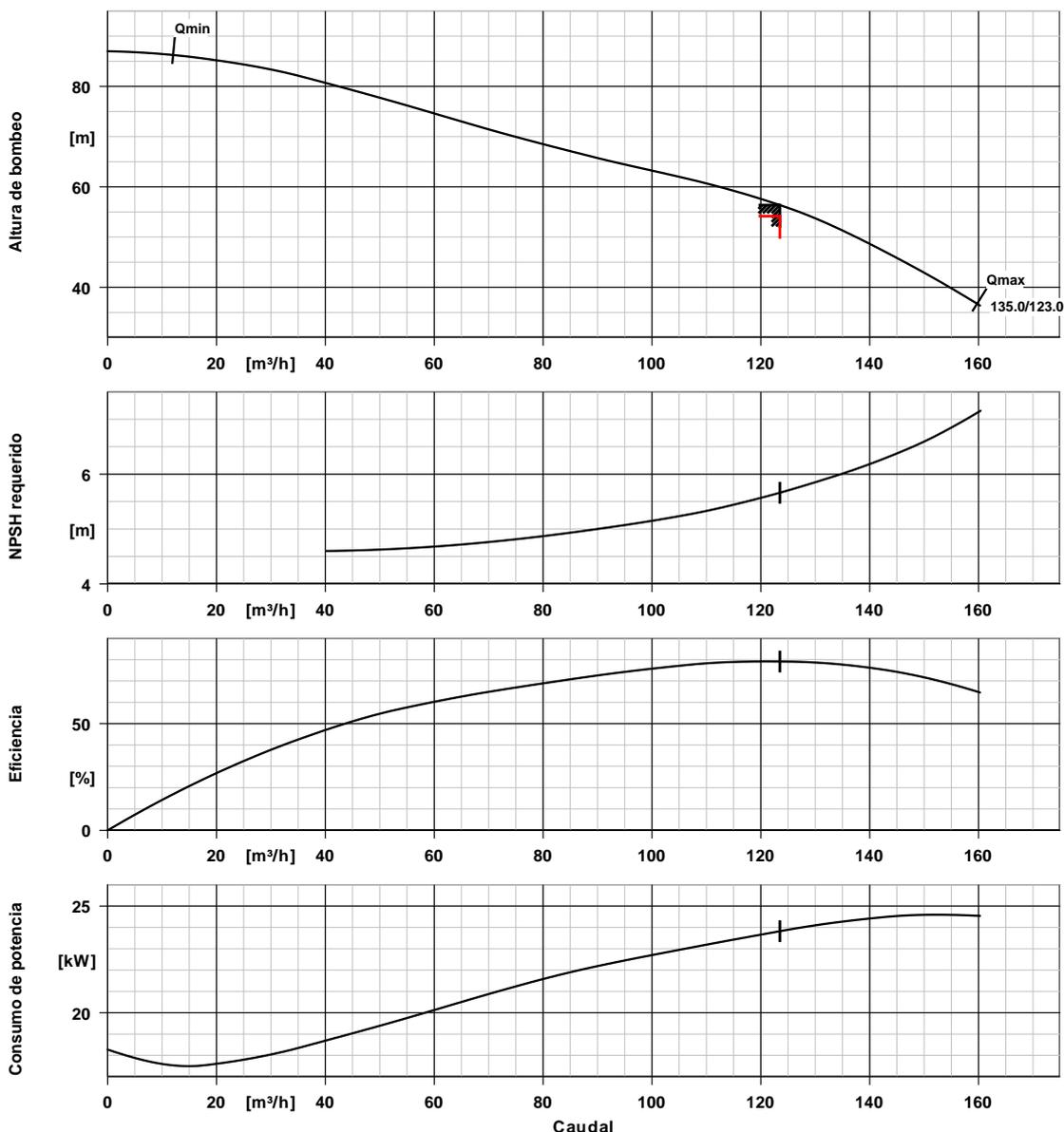
Carcasa de aspiración (106)	Hierro fundido JL1030+OSA (sin revestimiento protección)	Soporte de cojinete (382.52)	Hierro fundido JL1030
Cuerpo de etapa (108)	Hierro fundido JL1040+OSA (sin revestimiento protección)	Anillo partido (502)	CC491K-GC
Eje de la bomba (211)	Acero al cromo 1.4021+QT800	Anillo del rodete (503)	CC491K-GC
Rodete de giro a la derecha (232)	GFN 1630V ACS AGUA POTABLE PERMISIBLE	Casquillo de cojinete (529)	Acero al cromo 1.4021+QT800
Revestimiento de cojinete roscado (354)	Hierro fundido JL1030	Casquillo de cojinete (545)	KHT
Soporte de cojinete (382.51)	Hierro fundido JL1030	Cuerpo de válvula (751)	Hierro fundido JL1040+OSA (sin revestimiento protección)
		Estátor (81-59)	Acero CrNi 1.4301
		Eje del motor (819)	1.4021+QT
		Cable del motor (824)	CU-caucho

Nº de posición del cliente:
 Pedido fechado: 21/06/2014
 Nº de pedido: Cotización rápida
 Cantidad: 4

Número: ES 10
 Nº de artículo: 400
 Date: 21/06/2014
 Página: 3 / 5

UPA 200B-130/4d UMA 150D 26/21
 Bomba sumergible

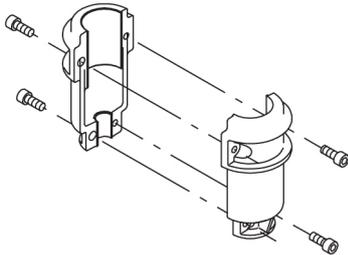
Versión nº.: 1



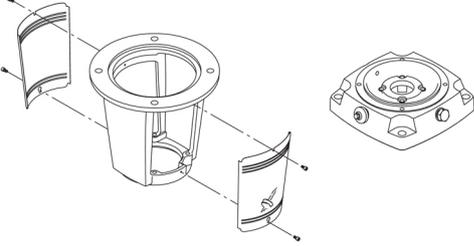
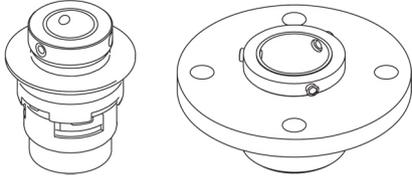
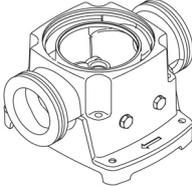
Datos de curvas

Velocidad de giro	2895 rpm	Altura manométrica sin válvula anti-retorno.	56,40 m
Densidad del fluido	998 kg/m³	Eficiencia sin válvula anti-retorno	79,2 %
Viscosidad	1,02 mm²/s	Absorción de potencia	23,83 kW
Corriente volumétrica	123,50 m³/h	NPSH requerido	5,66 m
Caudal bombeado	123,50 m³/h	Número de curva	K3400.52.09/st3
requerido		Diámetro efectivo del rodete	129,0 mm
Altura de bombeo requerida	54,17 m		



Posición	Contar	Descripción
	1	<p>CR 64-2 A-F-A-E-HQQE</p>  <p>Código: 96123486</p> <p>Bomba centrífuga vertical multietapa con puertos de aspiración y descarga al mismo nivel (en línea) para hacer posible su instalación en sistemas monotubo horizontales. El cabezal de la bomba y la base están fabricados en fundición; todas las demás piezas destinadas al contacto con el líquido están fabricadas en acero inoxidable. Un cierre mecánico de cartucho garantiza la máxima fiabilidad, permite llevar a cabo la manipulación de forma segura y facilita el acceso y el mantenimiento. La transmisión de potencia tiene lugar por medio de un acoplamiento dividido. La conexión de las tuberías se lleva a cabo por medio de bridas DIN.</p> <p>La bomba está equipada con un motor asincrónico de 3 fases, refrigerado por ventilador y montado sobre soportes.</p> <p>Más información acerca del producto</p> <p>El producto ostenta la etiqueta Grundfos Blueflux®. Dicha etiqueta distingue los motores y convertidores de frecuencia Grundfos de mayor eficiencia energética. Las soluciones Grundfos Blueflux® satisfacen o exceden los requisitos legales establecidos por normas como la Directiva EuP en sus niveles IE3 e IE4.</p>  <p>Las piezas de acero, fundición y aluminio poseen un revestimiento con base de epoxi creado por electrodeposición catódica (CED). Como parte del proceso de pintura por inmersión de alta calidad conocido como CED, se crea un campo eléctrico alrededor de los productos que garantiza la deposición de las partículas sobre una capa de la superficie delgada y muy controlada. Una de las partes más importantes de dicho proceso es el pretratamiento. El proceso completo se compone de las siguientes etapas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Limpieza basada en agentes alcalinos. 2) Fosfatación de zinc. 3) Electrodeposición catódica. 4) Secado hasta obtener un grosor de capa seca de 18-22 µm. <p>El código de color del producto acabado es NCS 9000/RAL 9005.</p> <p>Bomba</p> <p>Un acoplamiento dividido de gran longitud conecta la bomba al eje del motor. Dos cubiertas protectoras lo mantienen dentro del soporte del motor. El acoplamiento de gran longitud permite sustituir el cierre mecánico sin necesidad de desmontar el motor de la bomba.</p> 



Posición	Contar	Descripción
		<p>El soporte del motor conecta el cabezal de la bomba al motor. El cabezal de la bomba posee un tapón de cebado y un tornillo de purga de aire combinados de 1/2".</p>  <p>La bomba está equipada con un cierre de junta tórica equilibrado con sistema de transmisión rígida de par. Este tipo de cierre forma parte de una unidad de cartucho, lo cual convierte la sustitución en una tarea segura y sencilla. Al ser equilibrado, este tipo de cierre resulta adecuado para aplicaciones de alta presión. El diseño del cartucho también protege el eje de la bomba frente a su posible desgaste, gracias a una junta tórica dinámica situada entre el eje de la bomba y el cierre mecánico.</p> <p>Cierre primario:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Material del anillo del cierre giratorio: Carburo de silicio (SiC) - Material del asiento estacionario: Carburo de silicio (SiC) <p>Esta combinación de materiales se usa en casos en los que es preciso conferir al equipo una mayor resistencia a la corrosión. La elevada dureza de esta combinación de materiales proporciona una magnífica resistencia contra las partículas abrasivas.</p> <p>Material del cierre secundario: EPDM (caucho de etileno-propileno)</p> <p>El EPDM posee una excelente resistencia al agua caliente. El EPDM no es apto para el uso con aceites minerales.</p>  <p>El cierre mecánico se mantiene retenido en el cabezal de la bomba por medio de una cubierta y tornillos. Su sustitución es posible sin necesidad de desmontar el motor.</p> <p>Las cámaras y los impulsores están fabricados en lámina de acero inoxidable. Las cámaras cuentan con un anillo de collar de PTFE que proporciona mayor hermeticidad y eficiencia. Los impulsores poseen la superficie lisa y la forma de los álabes garantiza una gran eficiencia.</p> <p>La base está fabricada en fundición. Tanto el lado de aspiración como el lado de descarga de la base poseen dos orificios roscados para la inserción de manómetros. La bomba se fija al cimiento insertando cuatro pernos en la placa de base. Las bridas se sujetan a la base por medio de anillos de cierre.</p>  <p>Motor</p>



El motor es totalmente cerrado, cuenta con refrigeración por ventilador y sus principales dimensiones se ajustan a las normas IEC y DIN. El motor está montado con una brida dotada de orificios libres (FF).

Designación de montaje del motor según la norma IEC 60034-7: IM B 5 (Código I)/IM 3001 (Código II).

Las tolerancias eléctricas satisfacen los requisitos establecidos por la norma IEC 60034.

El nivel de eficiencia del motor de acuerdo con la norma IEC 60034-30 es IE3.

El motor posee termistores (sensores PTC) en los bobinados, de acuerdo con las normas DIN 44081/DIN 44082. El sistema de protección reacciona a los aumentos de temperatura lentos y rápidos (como aquellos que tienen lugar en condiciones de sobrecarga constante y atasco).

Los térmicos deben conectarse a un circuito de control externo para garantizar que la función de restablecimiento automático no pueda dar lugar a accidentes. Los motores deben conectarse a un disyuntor protector para motor de acuerdo con lo establecido por la normativa local en vigor.

El motor se puede conectar a un variador de frecuencia para hacer posible el ajuste del punto de trabajo de la bomba a cualquier valor. La gama CUE de Grundfos pone a su disposición un amplio abanico de variadores de frecuencia. Encontrará más información en Win-/WebCAPS.

Datos técnicos

Líquido:

Líquido bombeado: Agua
Rango de temperatura del líquido: -30 .. 120 °C
Temp. líquido: 20 °C
Densidad: 998.2 kg/m³
Viscosidad cinemática: 1 mm²/s

Técnico:

Velocidad para datos de bomba: 2924 rpm
Caudal real calculado: 55.7 m³/h
Altura resultante de la bomba: 48.2 m
Cierre: HQQE
Homologaciones en placa: CE,TR
Tolerancia de curva: ISO 9906:1999 Annex A

Materiales:

Cuerpo hidráulico: Fundición
EN-JS1050
ASTM 80-55-06
Impulsor: Acero inoxidable
DIN W.-Nr. 1.4301
AISI 304

Instalación:

Temperatura ambiental máxima: 60 °C
Presión máxima a la temp. declarada: 16 bar / 120 °C
16 bar / -30 °C

Tipo de brida: DIN
Diámetro de conexiones: DN 100
Presión: PN 16
Tamaño de la brida del motor: FF300

Datos eléctricos:

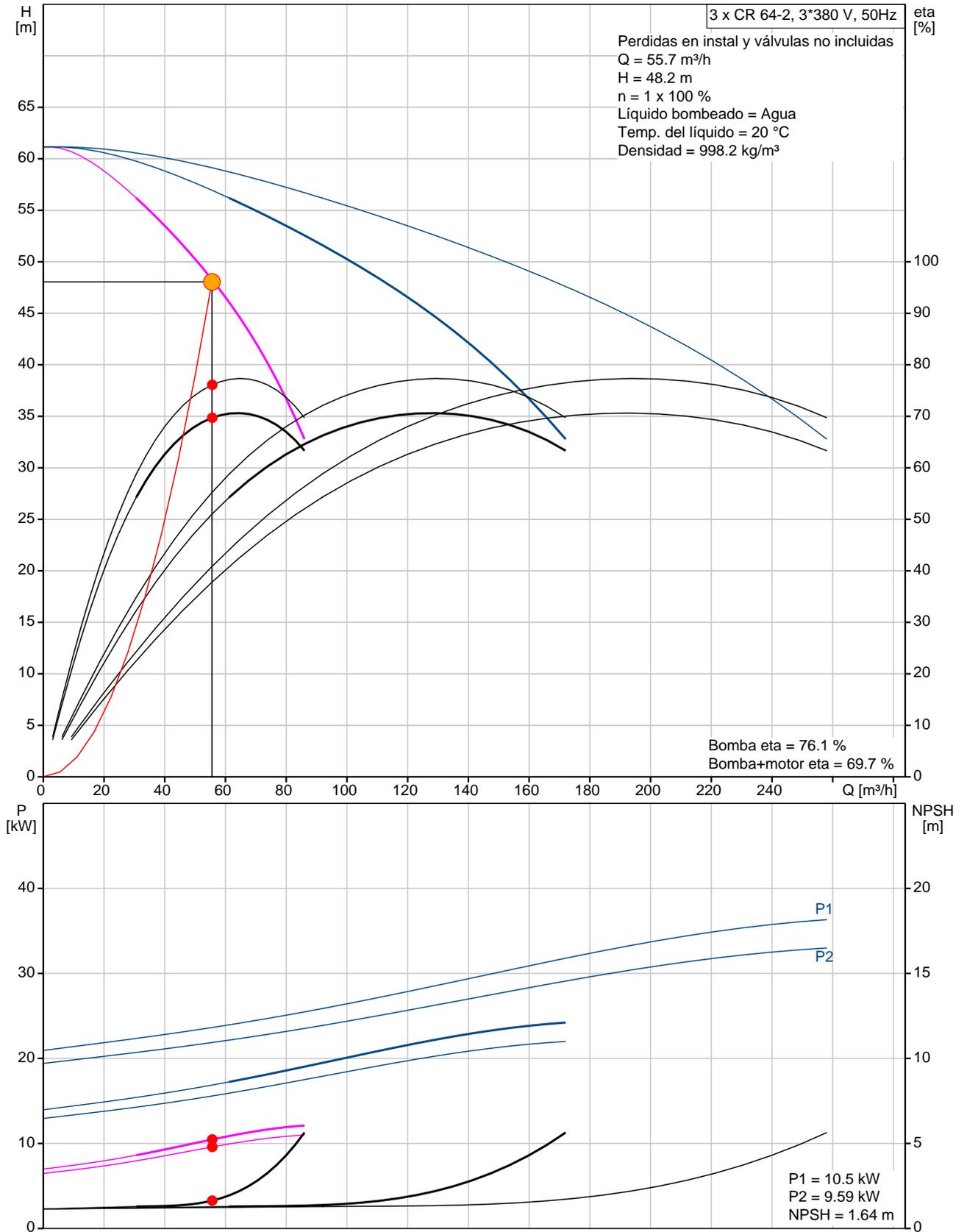
Tipo de motor: 160MB



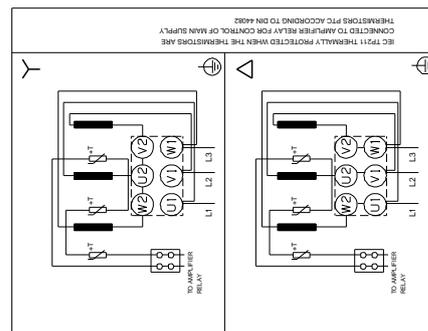
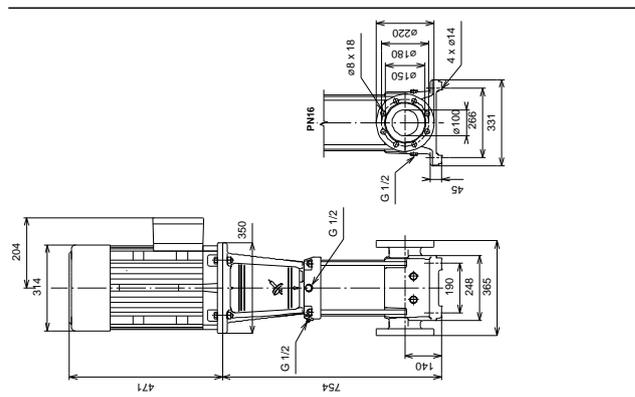
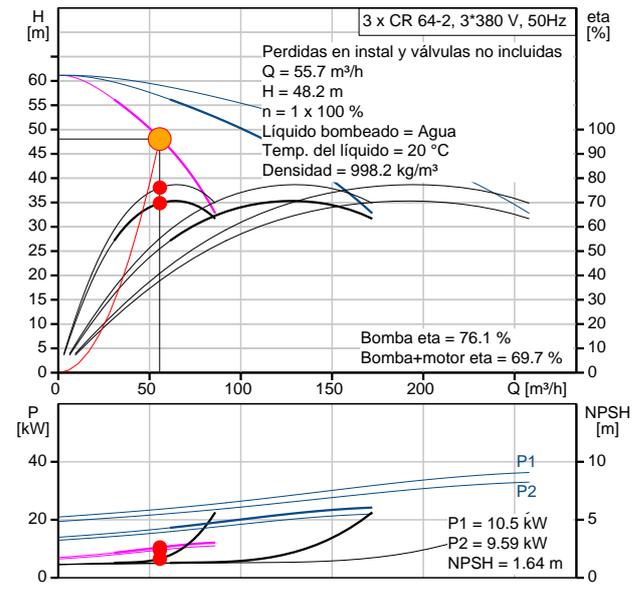
Posición	Contar	Descripción
		IE Efficiency class: IE3 Número de polos: 2 Potencia nominal - P2: 11 kW Potencia (P2) requerida por la bomba: 11 kW Frecuencia de alimentación: 50 Hz Tensión nominal: 3 x 220-240 D/380-415 Y V Corriente nominal: 36,0-34,5/20,8-19,8 A Intensidad de arranque: 660-780 % Cos phi - Factor de potencia: 0,88-0,84 Velocidad nominal: 2940-2950 rpm Efficiency: IE3 91,2% Rendimiento del motor a carga total: 91,2-91,2 % Rendimiento del motor a 3/4 de carga: 91,8-91,8 % Rendimiento del motor a 1/2 carga: 91,3-91,2 % Grado de protección (IEC 34-5): 55 (Protect. water jets/dust) Clase de aislamiento (IEC 85): F Otros: Label: Grundfos Blueflux Minimum efficiency index, MEI : 0.7 Peso neto: 162 kg Peso bruto: 195 kg Volumen: 0.31 m3



96123486 CR 64-2 50 Hz



Descripción	Valor
Producto::	CR 64-2 A-F-A-E-HQQE
Código::	96123486
Número EAN::	5700396696867
Precio:	Bajo pedido
Técnico:	
Velocidad para datos de bomba:	2924 rpm
Caudal real calculado:	55.7 m³/h
Altura resultante de la bomba:	48.2 m
Altura máxima:	60.9 m
Impulsores:	2
Cierre:	HQQE
Homologaciones en placa:	CE,TR
Tolerancia de curva:	ISO 9906:1999 Annex A
Tipo de bomba:	CR 64
Etapas:	2
Versión de la bomba:	A
Modelo:	B
Materiales:	
Cuerpo hidráulico:	Fundición EN-JS1050
	ASTM 80-55-06
Impulsor:	Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304
Código de material:	A
Código para caucho:	E
Instalación:	
Temperatura ambiental máxima:	60 °C
Presión máxima a la temp. declarada:	16 bar / 120 °C
	16 bar / -30 °C
Tipo de brida:	DIN
Código de conexión:	F
Diámetro de conexiones:	DN 100
Presión:	PN 16
Tamaño de la brida del motor:	FF300
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua
Rango de temperatura del líquido:	-30 .. 120 °C
Temp. líquido:	20 °C
Densidad:	998.2 kg/m³
Viscosidad cinemática:	1 mm²/s
Datos eléctricos:	
Tipo de motor:	160MB
IE Efficiency class:	IE3
Número de polos:	2
Potencia nominal - P2:	11 kW
Potencia (P2) requerida por la bomba:	11 kW
Frecuencia de alimentación:	50 Hz
Tensión nominal:	3 x 220-240 D/380-415 Y V
Corriente nominal:	36,0-34,5/20,8-19,8 A
Intensidad de arranque:	660-780 %
Cos phi - Factor de potencia:	0,88-0,84
Velocidad nominal:	2940-2950 rpm
Efficiency:	IE3 91,2%
Rendimiento del motor a carga total:	91,2-91,2 %
Rendimiento del motor a 3/4 de carga:	91,8-91,8 %



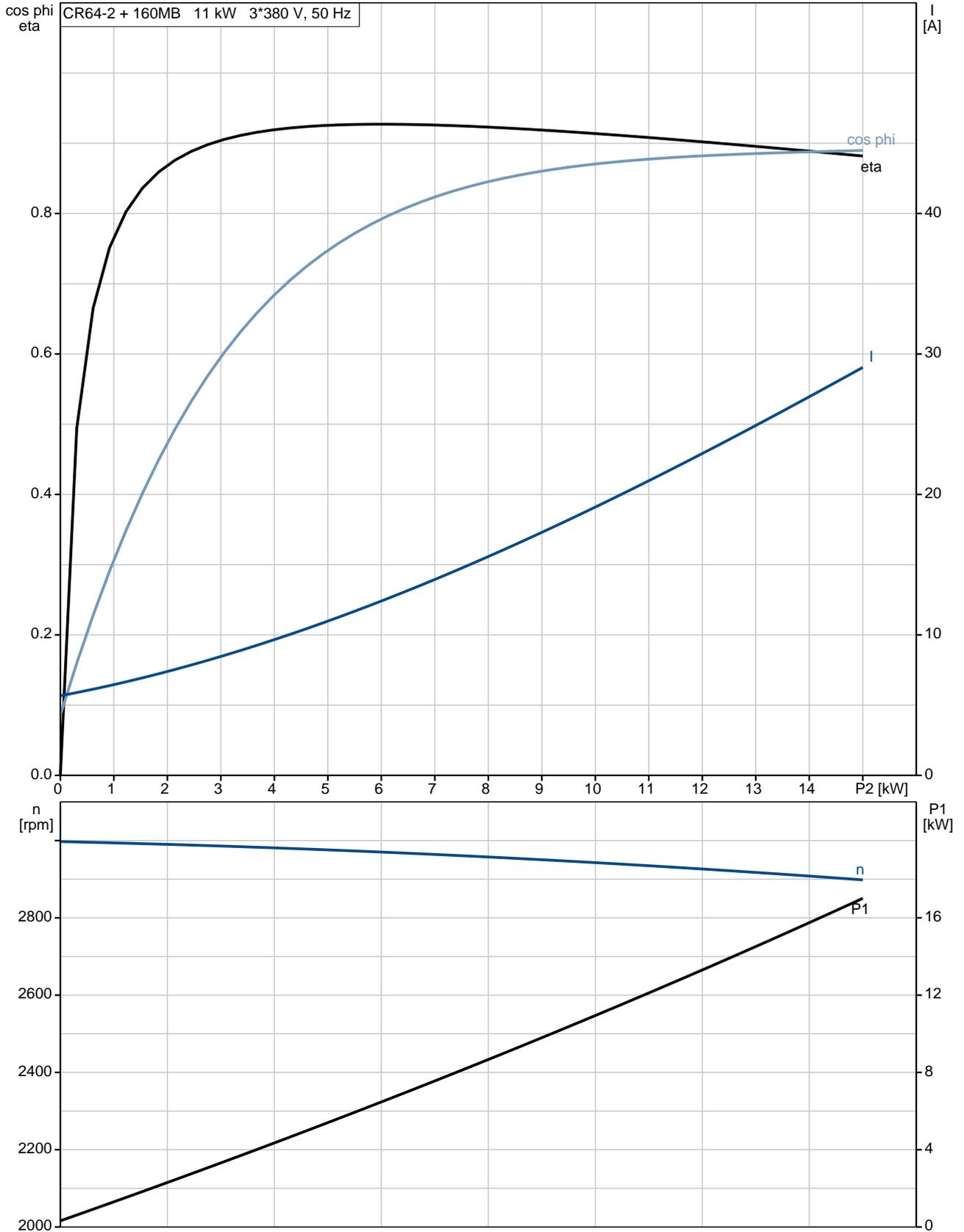
Descripción	Valor
Rendimiento del motor a 1/2 carga:	91,3-91,2 %
Grado de protección (IEC 34-5):	55 (Protect. water jets/dust)
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Protección del motor:	PTC
Motor Nº:	85U07524

Otros:

Label:	Grundfos Blueflux
Minimum efficiency index, MEI :	0.7
Peso neto:	162 kg
Peso bruto:	195 kg
Volumen:	0.31 m3



96123486 CR 64-2 50 Hz



Gamesa 850 kW

Fiabilidad y experiencia

G52-850 kW
G58-850 kW

Gamesa



2/3



GLOBAL TECHNOLOGY
EVERLASTING ENERGY

Especificaciones técnicas

58
GS8-850 kW

ROTOR

Diámetro	58 m
Área de barrido	2.642 m ²
Velocidad de giro	19,44 - 30,8 rpm

PALAS

Número de palas	3
Longitud	28,3 m
Perfil	NACA 63,XXX + FFA-W3
Material	Fibra de vidrio preimpregnado de resina epoxy

TORRES

Tipo	Tubular troncocónica de acero
Ratio	44, 49, 55, 65 y 74 m

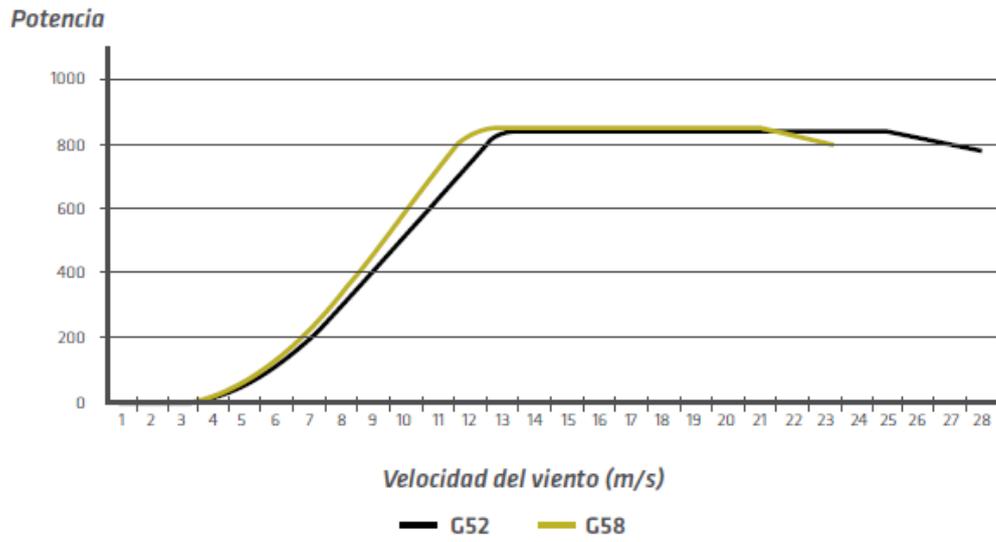
MULTIPLICADORA

Tipo	1 etapa planetaria 2 etapas de ejes paralelos
Ratio	1:61,74 (50 Hz) 1:74,5 (60 Hz)

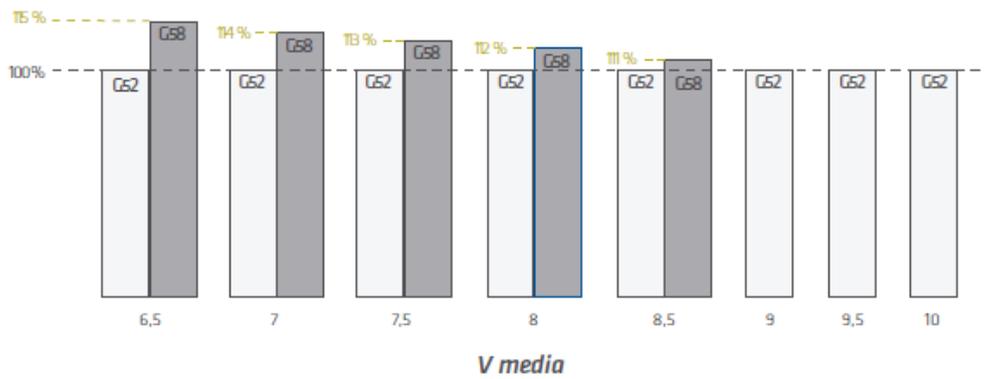
GENERADOR 850 kW

Tipo	Generador doblemente alimentado
Potencia nominal	850 kW
Tensión	690 V AC
Frecuencia	50 Hz / 60 Hz
Clase de protección	IP 54
Factor de potencia	0.95 CAP - 0.95 IND a cargas parciales y a 1 potencia nominal

Curva de potencia



Incremento de producción



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

Planos

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN ALIMENTADO MEDIANTE
ENERGÍA EÓLICA

AUTOR

Pedro Damián Acosta Díaz

TUTOR

Vicente José Romero Ternero

Índice

1. Planos.....	3
1.1 Plano nº 1: Situación	5
1.2 Plano nº 2: Emplazamiento	7

1. Planos

En el presente documento se recogen los planos que detallan la situación y el emplazamiento concreto del sistema de desalación a estudio y el parque eólico que abastecerá energéticamente dicho sistema. Ambos documentos están editados en formato A3 y plegados según Norma UNE 1027:1995 Dibujos técnicos: Plegado de planos.

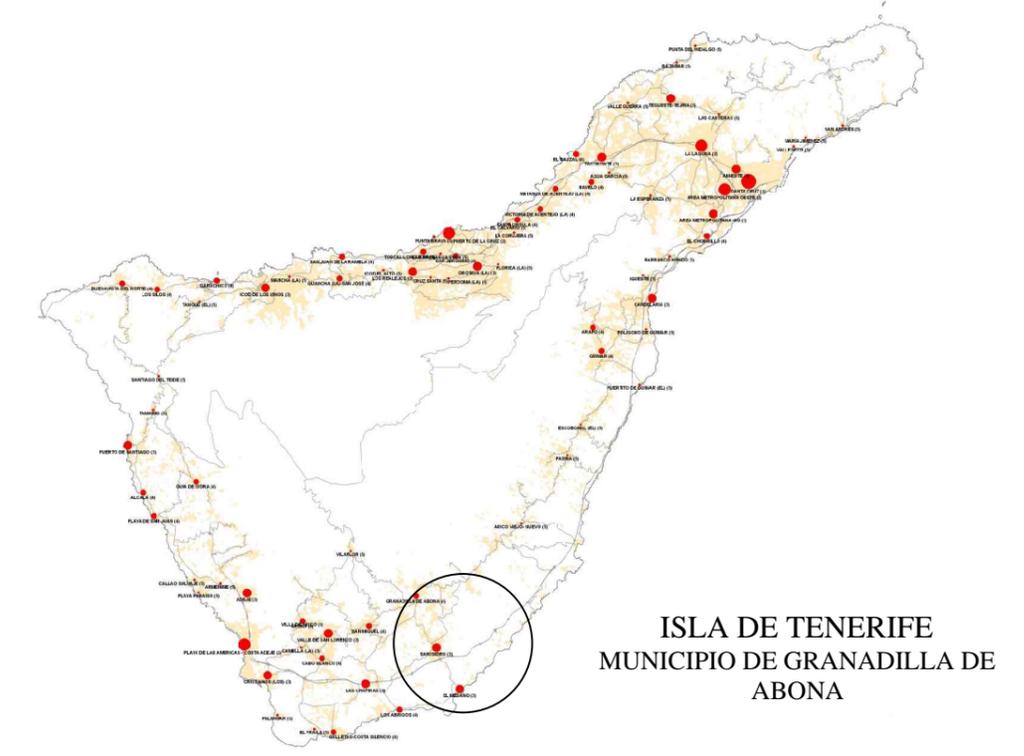
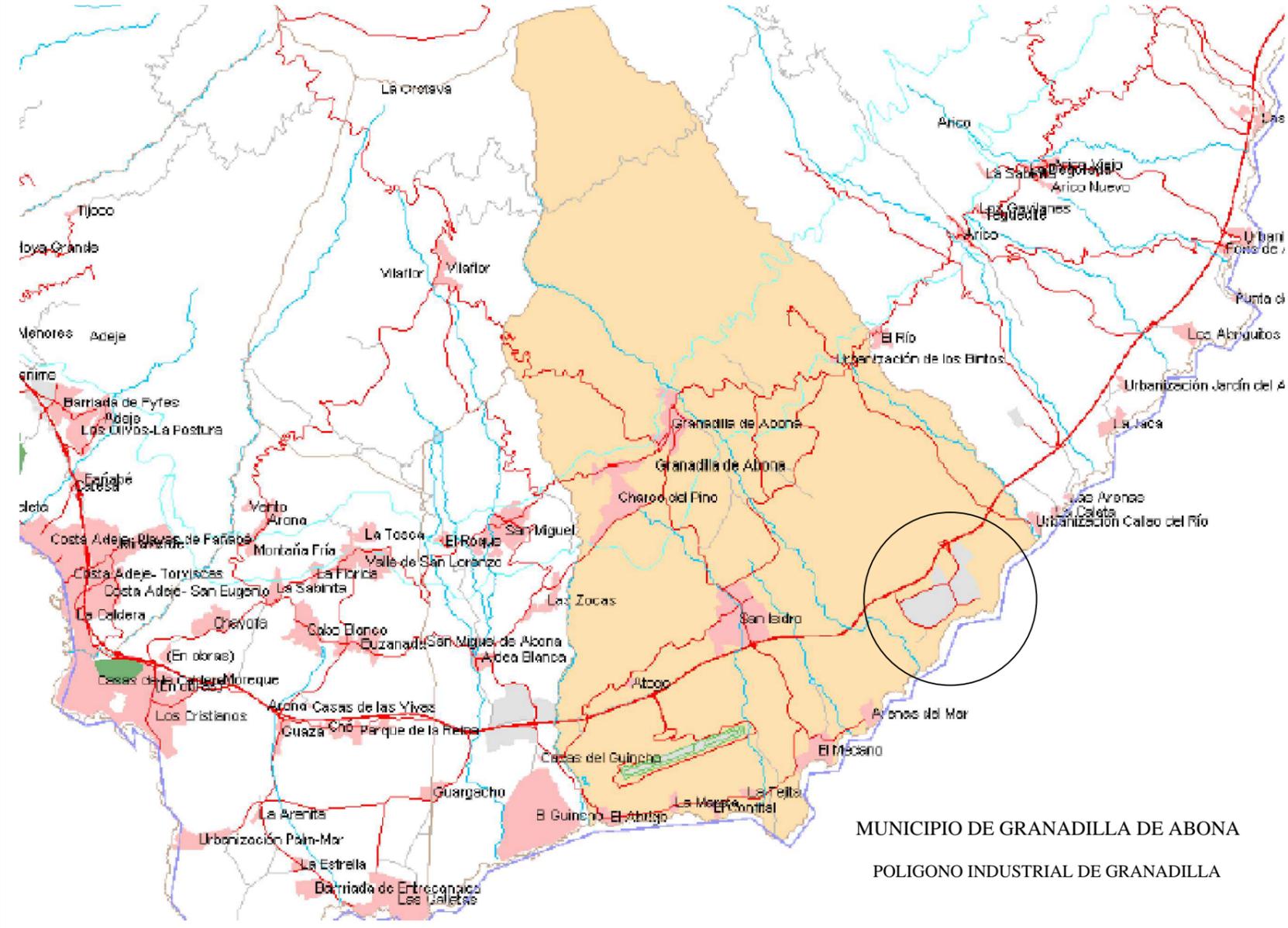
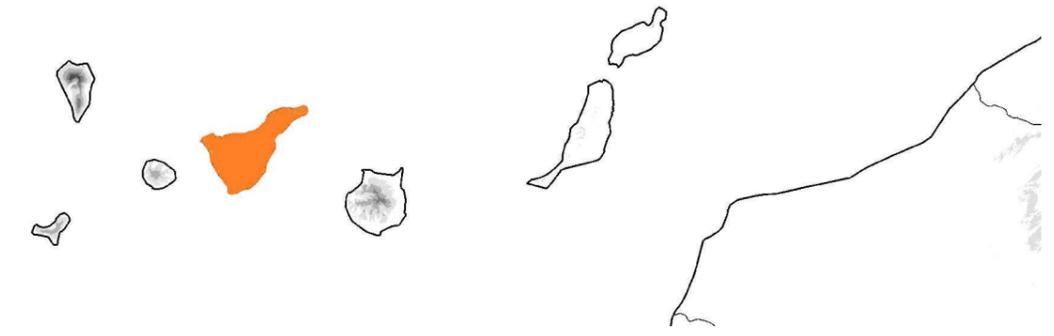
- Plano nº1: Situación

- Plano nº2: Emplazamiento

Nº Rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Revisado
--------	------------------	-------	-------	----------



ISLAS CANARIAS



ISLA DE TENERIFE
MUNICIPIO DE GRANADILLA DE ABONA

MUNICIPIO DE GRANADILLA DE ABONA
POLIGONO INDUSTRIAL DE GRANADILLA

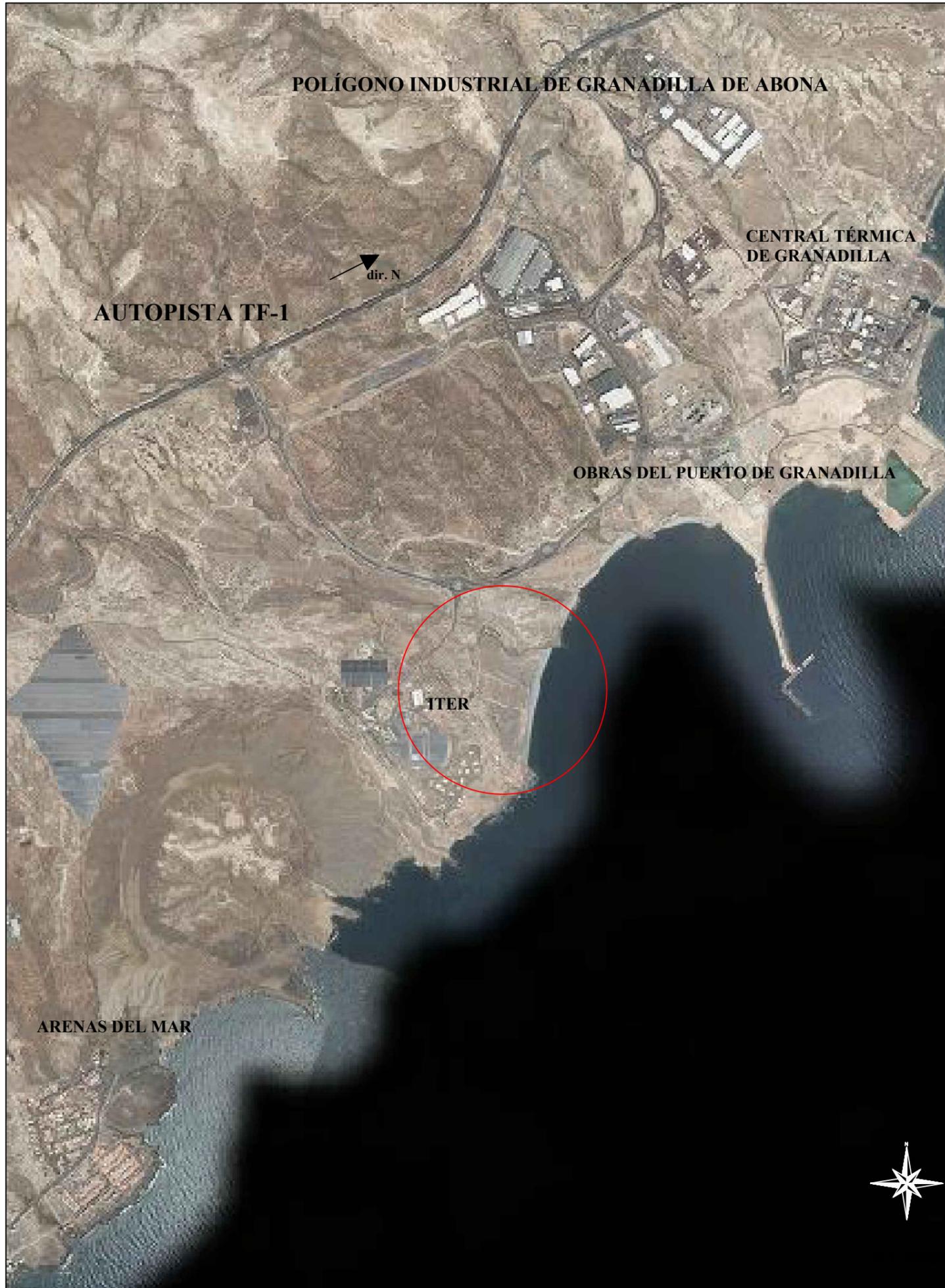


Estudio de un sistema de desalación alimentado mediante energía eólica			
Autor			ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	PEDRO DAMIÁN ACOSTA DÍAZ		
Fecha	07/2014		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: S/E	SITUACIÓN		Nº PLANO: 1

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

Nº Rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Revisado
--------	------------------	-------	-------	----------



E 1:5000

Estudio de un sistema de desalación alimentado mediante energía eólica			
Autor		 Universidad de La Laguna	ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	PEDRO DAMIÁN ACOSTA DÍAZ		
Fecha	07/2014		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:20000	EMPLAZAMIENTO		Nº PLANO : 2



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

Pliego de Condiciones

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN ALIMENTADO MEDIANTE
ENERGÍA EÓLICA

AUTOR

Pedro Damián Acosta Díaz

TUTOR

Vicente José Romero Ternero

Índice

1. Definición y alcance del pliego	5
2. Condiciones generales	5
2.1 Normativa general a cumplir	5
2.2 Documentos del proyecto	6
2.3 Estructura del pliego de condiciones	6
2.4 Documentación del contrato de obra	6
2.5 Permisos y licencias	7
2.6 Variaciones	7
3. Condiciones particulares	9
3.1 Condiciones legales	9
3.1.1 Sistema de desalación	9
3.1.2 Sistema de captación eólica	10
3.2 Condiciones facultativas y del contratista	15
3.2.1 Condiciones facultativas	15
3.2.2 Condiciones del contratista	16
3.3 Condiciones económicas	21
3.3.1 Base fundamental	21
3.3.2 Garantía	21
3.3.3 Fianzas	21
3.3.4 Fianza provisional	22
3.3.5 Ejecución de trabajos con cargos a la fianza	23
3.3.6 De su devolución en general	23
3.3.7 Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales	23
3.3.8 Revisión de precios	23
3.3.9 Descomposición de los precios unitarios	24
3.3.10 Precios e importes de ejecución material	25
3.3.11 Precios e importes de ejecución por contrata	26
3.3.12 Gastos generales y fiscales	26
3.3.13 Gastos imprevistos	26
3.3.14 Beneficio industrial	27
3.3.15 Honorarios de la dirección técnica y facultativa	27

3.3.16 Gastos por cuenta del contratista.....	27
3.3.17 Precios contradictorios	28
3.3.18 Mejoras de obra libremente ejecutadas	29
3.3.19 Abono de las obras	30
3.3.20 Abono de trabajos presupuestados por partidaalzada	31
3.3.21 Obras no terminadas.....	31
3.3.22 Certificaciones.....	31
3.3.23 Demoras en los pagos.....	33
3.3.24 Conservación de la obra	34
3.3.25 Seguro de las obras.....	34
3.3.26 Mejoras y aumentos de obra	35
3.4 Condiciones técnicas de materiales y equipos. Sistema de desalación.....	37
3.4.1 Documentación exigible.....	37
3.4.2 Protocolo de pruebas	38
3.4.3 Normas de aprobación de suministradores.....	38
3.4.4 Garantía para los equipos	38
3.4.5 Soldaduras	38
3.4.6 Tornillería.....	39
3.4.7 Soportería	39
3.4.8 Equipos mecánicos.....	40
3.4.9 Ruidos	40
3.4.10 Equipos de bombeo	41
3.4.11 Sistemas de intercambio de presión	43
3.4.12 Membranas	44
3.5 Condiciones técnicas de materiales y equipos. Aerogeneradores.....	47
3.5.1 Generalidades	47
3.5.2 Parque de aerogeneradores.....	48
3.5.3 Control y aceptación de los elementos y equipos que conforman la instalación eólica	50
3.6 Condiciones técnicas de ejecución y montaje.....	53
3.6.1 Consideraciones generales	53
3.6.2 Tipos de trabajo a realizar	54
3.6.3 Comprobaciones iniciales	55

3.6.4 Instalación y montaje de los elementos	55
3.6.5 Instalación de aerogeneradores y sus elementos	55
3.6.6 Condiciones a satisfacer respecto a las distancias de los aerogeneradores a viviendas o a otros aerogeneradores.	56
3.6.7 Condiciones a satisfacer respecto a la eficiencia energética	56

1. Definición y alcance del pliego

El presente pliego de condiciones del proyecto “Estudio de un sistema de desalación alimentado por energía eólica”, se refiere a la instalación del equipamiento mecánico de un sistema de desalación de ósmosis inversa alimentado por energía eólica ubicado en el Polígono Industrial de Granadilla de Abona en el municipio de Granadilla de Abona, Tenerife. En concreto hace referencia a los elementos mecánicos del núcleo de desalación (módulo de membranas, recuperación de energía y bomba de alta presión) y los sistemas de bombeo de las etapas de captación y distribución de agua y a la instalación del aerogenerador que alimentará energéticamente al sistema en cuestión, en la cual no se precisan las prescripciones particulares técnicas eléctricas, electrónicas, de control y de obra civil.

Quedan excluidos también todos los trabajos de obra civil y ayudas de albañilería necesarias para la ejecución de los mismos que deberán ser objeto de especificación aparte y responsabilidad de la empresa constructora.

2. Condiciones generales

2.1 Normativa general a cumplir

Serán de aplicación con carácter general, en la ejecución del proyecto, las siguientes normas y pliegos:

- Ley 54/1997 de 27 de noviembre del sector eléctrico.
- Decreto 32/2006, de 27 de marzo, por el que se regula la instalación y explotación de los parques eólicos en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias.
- Pliego de condiciones técnicas particulares para instalaciones eólicas adaptado al decreto 141/2009.
- Legislación sobre seguridad e higiene industrial.

- Normas UNE o UNE-EN que afecten a materiales e instalaciones del presente proyecto
- Pliego de Condiciones Técnicas Particulares del presente pliego de condiciones.

2.2 Documentos del proyecto

Comprende el proyecto, además del presente pliego de condiciones, los documentos adjuntos de memoria, planos, anexos, mediciones y presupuesto.

2.3 Estructura del pliego de condiciones

El presente pliego de condiciones se estructura en alcance, donde precisa el objeto de dicho pliego, seguido de las actuales condiciones generales, sobre normativa general de aplicación, y las condiciones particulares, que constan de las condiciones legales, facultativas y del contratista, económicas y técnicas, sobre materiales y equipos, y de ejecución y montaje.

2.4 Documentación del contrato de obra

Integran el contrato los siguientes documentos relacionados por orden de prelación en cuanto al valor de sus especificaciones en caso de omisión o aparente contradicción:

1. Las condiciones fijadas en el propio documento de contrato de empresa o arrendamiento de obra, si existiere.
2. El Pliego de Condiciones particulares.
3. El resto de la documentación del Proyecto (memoria, planos, mediciones y presupuesto).

Las órdenes e instrucciones de la Dirección facultativa de las obras se incorporan al Proyecto como interpretación, complemento o precisión de sus determinaciones.

En cada documento, las especificaciones literales prevalecen sobre las gráficas y en los planos, la cota prevalece sobre la medida a escala.

2.5 Permisos y licencias

El peticionario tendrá la obligación de obtener todos los permisos y licencias necesarias para la ejecución de las obras y abonará todas las cargas, tasas e impuestos derivados de los mismos.

2.6 Variaciones

El presente proyecto queda sujeto a cualquier variación que se juzgue conveniente por la Dirección Facultativa, y que no altere esencialmente el proyecto, precios y condiciones del contrato, a su vez se reserva el derecho al dictamen sobre todos aquellos puntos que no quedasen suficientemente aclarados en los documentos del proyecto.

La Dirección Facultativa se reserva el derecho de presentar a lo largo de las obras cuantos documentos o planos sean necesarios y convenientes para realizar el presente Proyecto, con la obligatoriedad por parte del contratista de ser respetados.

3. Condiciones particulares

3.1 Condiciones legales

3.1.1 Sistema de desalación

Las condiciones técnicas que regirán los equipos mecánicos de la planta desaladora y resto de actuaciones, serán de aplicación de modo explícito las siguientes normas y disposiciones:

- Instrucciones del Instituto Español de Racionalización (Normas UNE).
- Legislación sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Código ASME
- Normas DIN
- Normas VDE
- Normas AISI
- Reglamento de recipientes a presión
- Recomendaciones y Normas de la Organización Internacional de Normalización (I.S.O)
- Ordenanzas Municipales de Granadilla de Abona.

En general, cuantas prescripciones figuran en los Reglamentos, Normas e Instrucciones Oficiales, que guarden relación con obras del presente proyecto, o con sus instalaciones complementarias o con los trabajos necesarios para realizarlas.

Si alguna de las Condiciones o Normas a las que se refieren los párrafos anteriores, coincidieran de modo distinto en algún concepto, se entenderá válida la más restrictiva.

Las modificaciones de las Condiciones o Normas citadas en párrafos anteriores que se han introducido en este Pliego, serán siempre de aplicación preferente a éstas, cuando lo permita la legislación establecida.

3.1.2 Sistema de captación eólica

Las condiciones técnicas que regirán el aerogenerador y resto de actuaciones, serán de aplicación de modo explícito las siguientes normas y disposiciones:

- DECRETO 584/1972, de 24 de febrero, de Servidumbres Aeronáuticas (BOE nº 69, 21/03/1972).
- REAL DECRETO 2366/1994 de 9 de Diciembre sobre producción de energía eléctrica para las instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables. (BOE de 31 de Diciembre de 1994).
- REAL DECRETO 2135/1980, de 26 de septiembre, de Liberalización Industrial (BOE de 14/10/80).
- ORDEN de 19 de diciembre de 1980, sobre Normas de Procedimiento y desarrollo del Real Decreto 2135/1980, de 26 de septiembre, de Liberalización Industrial (BOE de 24/12/80).
- REAL DECRETO 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (BOE nº 288 del 01/12/82).
- ORDEN de 4 de junio de 1984, por la que se aprueba la Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IER “Instalaciones de electricidad: Red exterior” (BOE nº 146 de 19/06/84).

- ORDEN de 5 de septiembre de 1985, por la que se establecen normas administrativas y técnicas para funcionamiento y conexión a las redes eléctricas de centrales hidroeléctricas de hasta 5000 kVA y centrales de autogeneración eléctrica (BOE nº 219, 12/09/85).
- LEY 11/1990, de 13 de julio, de Prevención del Impacto Ecológico (BOC nº 92 de 23/07/90).
- LEY 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- LEY 31/1995, de 8 de noviembre de prevención de riesgos laborales; modificaciones por Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales e instrucción para la aplicación de la misma (B.O.E. 8/3/1996).
- ORDEN de 14 de marzo de 1996, por la que se regulan las condiciones de acceso de los generadores eólicos a las redes eléctricas de Canarias.
- REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- LEY 54/1997, de 27 de noviembre, del sector eléctrico.
- Ley 11/1997, de 2 de diciembre, de regularización del Sector Eléctrico Canario (BOC nº 158 de 08/12/97).
- REAL DECRETO 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración
- DECRETO 100/2000, de 12 de junio, por el que se modifica el Decreto 216/1998, de 20 de noviembre, por el que se regula la organización y el funcionamiento del Registro de Instalaciones de Producción Eléctrica.

- REAL DECRETO 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. (BOE 27-12-2000).
- ORDEN de 21 de septiembre de 2001, por la que se regulan las condiciones técnico-administrativas de las instalaciones eólicas ubicadas en Canarias (BOC nº 137, 19/10/01).
- DIRECTIVA 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de septiembre de 2001 relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad.
- REAL DECRETO 841/2002, de 2 de agosto, por el que se regula para las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial su incentivación en la participación en el mercado de producción, determinadas obligaciones de información de sus previsiones de producción, y la adquisición por los comercializadores de su energía eléctrica producida.
- REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto de 2002, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- ORDEN de 16 de abril de 2010, por la que se aprueban las Normas Particulares para las Instalaciones de Enlace, en el ámbito de suministro de Endesa Distribución Eléctrica, S.L.U. y
- LEY 8/2005, de 21 de diciembre, de modificación de la Ley 11/1997, de 2 de diciembre, de modificación de la Ley 11/1997, de 2 de diciembre, de regulación del Sector Eléctrico Canario.
- DECRETO 32/2006, de 27 de marzo, por el que se regula la instalación y explotación de los parques eólicos en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias.

- DECRETO 141/2009, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento por el que se regulan los procedimientos administrativos relativos a la ejecución y puesta en servicio de las instalaciones eléctricas en Canarias.
- ORDEN de 15 de noviembre de 2006, por la que se regulan las condiciones técnico-administrativas de las instalaciones eólicas ubicadas en Canarias. (BOC Núm. 225 - Lunes 20 de Noviembre de 2006).
- REAL DECRETO 661/2007, de 26 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial que sustituye al Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial por una nueva regulación de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Normas de Unión Eléctrica de Canarias (NUECSA)
- Recomendaciones UNESA en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias
- Ordenanzas Municipales de Granadilla de Abona.
- Colección de Norma UNE del REBT y Normas UNE declaradas de obligado cumplimiento
- Y resto de normas o reglamentación que le sean de aplicación.

En general, cuantas prescripciones figuran en los Reglamentos, Normas e Instrucciones Oficiales, que guarden relación con obras del presente proyecto, o con sus instalaciones complementarias o con los trabajos necesarios para realizarlas.

Si alguna de las Condiciones o Normas a las que se refieren los párrafos anteriores, coincidieran de modo distinto en algún concepto, se entenderá válida la más restrictiva.

Las modificaciones de las Condiciones o Normas citadas en párrafos anteriores que se han introducido en este Pliego, serán siempre de aplicación preferente a éstas, cuando lo permita la legislación establecida.

3.2 Condiciones facultativas y del contratista

3.2.1 Condiciones facultativas

La junta rectora de la Propiedad designará al Director de Obra, representante de la propiedad frente al contratista, en quién recaerán las siguientes funciones:

- Planificar, a la vista del proyecto, del contrato y de la normativa técnica de aplicación, el control de calidad y económico de las obras.
- Redactar, cuando se requiera expresamente por el constructor, el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización de la obra y aprobar el Plan de seguridad e higiene para la aplicación del mismo.
- Efectuar el replanteo de la obra y preparar el acta correspondiente, suscribiéndola en unión del Constructor.
- Ordenar, dirigir y vigilar la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de buena construcción.
- Asistir a las obras, cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las contingencias que se produzcan e impartir las instrucciones complementarias que sean precisas para conseguir la correcta solución.
- Coordinar la intervención en obra de otros técnicos que, en su uso, concurran a la dirección con función propia en aspectos parciales de su especialidad.
- Realizar o disponer las pruebas y ensayos de materiales, instalaciones y demás unidades de obra según frecuencias de muestreo programadas en el plan de control, así como efectuar las demás comprobaciones que resulten necesarias para asegurar la calidad constructiva, de acuerdo con el proyecto y la normativa técnica aplicable. De los resultados informará puntualmente al constructor, impartándole en su caso, las órdenes oportunas.

- Realizar las mediciones de obra ejecutada, realizar y aprobar las certificaciones parciales, realizar y aprobar la certificación final de obra, y asesorar al promotor en el acto de la recepción.
- Suscribir el certificado final de obra.

3.2.2 Condiciones del contratista

El Constructor o Contratista habrá de proporcionar toda clase de facilidades al Director de Obra, o a sus subalternos a fin de que estos puedan desempeñar su trabajo con el máximo de eficacia. Específicamente corresponde al Constructor:

- Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- Elaborar, cuando se requiera, el Plan de Seguridad e Higiene de la obra en aplicación del estudio correspondiente y disponer en todo caso la ejecución de medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observación de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene industrial en el trabajo.
- Suscribir con el Director de Obra el acta de replanteo de la obra
- Ostentar la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas.
- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o prescripción del Director de Obra, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- Custodiar el Libro de órdenes y seguimiento de la obra, y dar el enterado a las anotaciones que se practiquen en el mismo.

- Facilitar al Director de Obra con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
- Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.
- Suscribir con el Promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
- Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.

El contratista o subcontratista/as deberán estar al día en la normativa vigente que afecta a las instalaciones a las cuales ofertan su trabajo. La incorrecta ejecución de la instalación por parte del contratista en referencia a dichas normas o prescripciones, delimitarán la responsabilidad del técnico que suscribe, siendo el contratista o subcontratista/as el único responsable. Antes de iniciar las obras deberán solicitar una copia del proyecto técnico a la propiedad para su estudio y análisis, y concertar con el director de obra un replanteo general antes de iniciar los trabajos. Durante la ejecución de los mismos y ante una duda manifiesta de imposibilidad de ejecución de lo proyectado consultará al técnico director otras soluciones técnicas alternativas.

3.2.2.1 Verificación de los documentos del proyecto

Antes de dar comienzo a las obras e inmediatamente después de recibidos, el Constructor deberá confrontar la documentación relacionada con el proyecto que le haya sido aportada y deberá informar con la mayor brevedad posible al Director de las Obras sobre cualquier discrepancia, contradicción u omisión solicitando las aclaraciones pertinentes.

3.2.2.2 Plan de seguridad e higiene

El Constructor, a la vista del Proyecto de Ejecución conteniendo, en su caso, el Estudio de Seguridad e Higiene, presentará el Plan de Seguridad e Higiene de la obra a la aprobación del Director de Obra de la dirección facultativa.

3.2.2.3 Oficina en la obra

El Constructor habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina tendrá siempre el Contratista a disposición del Director de Obra de la Dirección Facultativa.

El Proyecto de Ejecución completo, incluidos los complementos que en su caso redacte el Director de Obra.

- La Licencia de Obras.
- El Libro de Órdenes y Asistencias.
- El Plan de Seguridad e Higiene.
- El Libro de incidencias.
- El Reglamento y Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- La documentación de los seguros

Dispondrá además el Constructor una oficina para la Dirección facultativa, convenientemente acondicionada para que en ella se pueda trabajar con normalidad a cualquier hora de la jornada.

3.2.2.4 Presencia del constructor en la obra

El Jefe de obra, por sí o por medio de sus técnicos o encargados, deberá estar presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Director de Obra en las visitas que haga a las obras, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándoles los datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones.

3.2.2.5 Faltas del personal

El Director de Obra, en supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifiesta incompetencia o negligencia grave que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, podrá requerir al Contratista que aparte de la obra a los dependientes u operarios causantes de la perturbación.

El Contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales, con sujeción en su caso a lo estipulado en el Pliego de Condiciones particulares, y sin perjuicio de sus obligaciones como Contratista general de la obra.

3.3 Condiciones económicas

3.3.1 Base fundamental

Como base fundamental de estas condiciones económicas, todos los que intervienen en el proceso de construcción tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo al proyecto y a las condiciones generales y particulares contractualmente establecidas.

La propiedad, el contratista y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

3.3.2 Garantía

La Dirección Facultativa podrá exigir al Contratista la presentación de referencias y/o avales bancarios o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de que éste reúne todas las condiciones de solvencia requeridas para el exacto cumplimiento del Contrato; dichas referencias, si le son pedidas, las presentará el Contratista antes de la firma del Contrato.

Asimismo deberá acreditar el título oficial correspondiente a los trabajos que el mismo vaya a realizar.

3.3.3 Fianzas

La fianza que se exige al Contratista para que responda del cumplimiento de lo contratado, será convenida previamente entre el Director de Obra y el Contratista, entre una de las siguientes fórmulas:

- Depósito previo, en metálico, valores, o aval bancario, por importe entre el 4 por 100 y el 10 por 100 del precio total de contrata.
- Mediante retención en las certificaciones parciales o pagos a cuenta en igual proporción.

El porcentaje de aplicación para el depósito o la retención se fijará en el Pliego de Condiciones Particulares. A la firma del contrato, el Contratista presentará las fianzas y

seguros obligados por Ley, así mismo, en el contrato suscrito entre Contratista y Propiedad se podrá exigir todas las garantías que se consideren necesarias para asegurar la buena ejecución y finalización de la obra en los términos establecidos en el contrato y en el proyecto de ejecución.

El Contratista está obligado a asegurar la obra contratada mientras dure el plazo de ejecución, hasta su recepción.

3.3.4 Fianza provisional

En el caso de que la obra se adjudique por subasta pública, el depósito provisional para tomar parte en ella se especificará en el anuncio de la misma y su cuantía será de ordinario, y salvo estipulación distinta en el Pliego de Condiciones particulares vigente en la obra, de un cuatro por ciento (4 por 100) como mínimo, del total del Presupuesto de contrata.

El Contratista a quien se haya adjudicado la ejecución de una obra o servicio para la misma, deberá depositar en el punto y plazo fijados en el anuncio de la subasta o el que se determine en el Pliego de Condiciones Particulares del Proyecto, la fianza definitiva que se señale y, en su defecto, su importe será el diez por cien (10 por 100) de la cantidad por la que se haga la adjudicación de las formas especificadas en el apartado anterior.

El plazo señalado en el párrafo anterior, y salvo condición expresa establecida en el Pliego de Condiciones particulares, no excederá de treinta días naturales a partir de la fecha en que se le comunique la adjudicación, y dentro de él deberá presentar el adjudicatario la carta de pago o recibo que acredite la constitución de la fianza a que se refiere el mismo párrafo.

La falta de cumplimiento de este requisito dará lugar a que se declare nula la adjudicación, y el adjudicatario perderá el depósito provisional que hubiese hecho para tomar parte en la subasta.

3.3.5 Ejecución de trabajos con cargos a la fianza

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastare para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

3.3.6 De su devolución en general

La fianza retenida será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de treinta días una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. La Propiedad podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontratos, etc.

3.3.7 Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales

Si la Propiedad, con la conformidad del Director de Obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le reintegre la parte proporcional de la fianza o cantidades retenidas en concepto de garantías.

3.3.8 Revisión de precios

Para que el Contratista tenga derecho a solicitar alguna revisión de precios, será preceptivo que tal extremo figure expresamente acordado en el contrato, donde deberá especificarse los casos concretos en los cuales podrá ser considerado.

En tal caso, el Contratista presentará al Director de Obra el nuevo presupuesto donde se contemple la descomposición de los precios unitarios de las partidas.

En todo caso, salvo que se estipule lo contrario en el contrato, se entenderá que rige sobre este particular el principio de reciprocidad, reservándose en este caso la Propiedad, el derecho de proceder a revisar los precios unitarios,

3.3.9 Descomposición de los precios unitarios

Para que el Contratista tenga derecho a pedir la revisión de precios, será condición indispensable que, antes de comenzar todas y cada una de las unidades de obra contratadas, reciba por escrito la conformidad del Director de obra a los precios descompuestos de cada una de ellas, que el Contratista deberá presentarle, así como la lista de precios de salarios o jornales, de materiales, de costes de transportes y los porcentajes que se expresan en los subapartados del presente artículo.

El Director de obra valorará la exactitud de la justificación de los nuevos precios, tomando como base de cálculo tablas, bases de datos o informes sobre rendimiento de personal, de maquinaria, de materiales elementales, de precios auxiliares, etc. editadas por entidades profesionales de la Comunidad Autónoma con facultades para ello, de Organismos Nacionales o Internacionales de reconocida solvencia, etc., desestimando aquellos gastos imputables a la mala organización, improductividad o incompetencia de la Contrata.

A estos efectos, se considerarán los siguientes tipos de costes:

- Costes indirectos
 - a) La mano de obra, con sus pluses y cargas y seguros sociales, que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra.
 - b) Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que queden integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
 - c) Los equipos y sistemas técnicos de seguridad y salud para la prevención de riesgos laborales y protección de accidentes y enfermedades profesionales.
 - d) Los gastos de personal, de combustible, de energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.

e) Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.

- Costes indirectos

Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, de comunicaciones, de edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, comedores, laboratorios, seguros, etc., los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos, evaluándose todos ellos en un porcentaje de los costes directos.

- Gastos generales

Los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la Administración, legalmente establecidas. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos (en los contratos de obras de la Administración pública este porcentaje se establece entre un 13 por 100 y un 17 por 100).

3.3.10 Precios e importes de ejecución material

Se entiende por precios de ejecución material, para cada unidad de obra, los resultantes de la suma de los costes directos más los costes indirectos, compuestos por los conceptos de: mano de obra, materiales, transportes, equipos y sistemas técnicos de seguridad y salud, gastos de combustibles, gastos de energía, gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos así como gastos de instalación de oficinas a pie de obra, de comunicaciones, de edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorios, seguros, etc., los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos.

Estos precios no contemplan el Beneficio Industrial.

3.3.11 Precios e importes de ejecución por contrata

Se entenderá por precios de ejecución por Contrata, a la suma de los costes directos, los costes indirectos, los gastos generales y el beneficio Industrial, sobre el cual deberá aplicarse el % de IGIC (Impuesto General Indirecto Canario) que corresponda, aunque este impuesto no forme parte del propio precio.

En el caso de que los trabajos a realizar en una obra se contratasen a tanto alzado, se entiende por precio de Contrata el que importa el coste total de la unidad de obra.

3.3.12 Gastos generales y fiscales

Se establecerán en un porcentaje calculado sobre los precios de ejecución material, como suma de conceptos tales como:

- Gastos de Dirección y Administración de la Contrata.
- Gastos de prueba y control de calidad.
- Gastos de Honorarios de la Dirección Técnica y Facultativa.
- Gastos Fiscales.

3.3.13 Gastos imprevistos

Tendrán esta consideración aquellos gastos que siendo ajenos a los aumentos o variaciones en la obra y que sin ser partidas especiales y específicas omitidas en el presupuesto general, se dan inevitablemente en todo trabajo de construcción o montaje de instalaciones, y cuya cuantificación y determinación es imposible efectuar a priori. Por ello, se establecerá una partida fija de un dos por ciento (2%) calculado sobre los precios de ejecución material.

3.3.14 Beneficio industrial

El beneficio industrial del Contratista será el pactado en el contrato suscrito entre la Propiedad y el Contratista. En obras para las Administraciones éste se establecerá en el 6 por 100 sobre la suma de las anteriores partidas.

3.3.15 Honorarios de la dirección técnica y facultativa

Dichos honorarios, serán por cuenta del Contratista, y se entenderán incluidos en el importe de los gastos generales, salvo que se especifique lo contrario en el contrato de adjudicación, o sean deducidos en la contratación. Tanto en lo referente a forma de abono como a la cuantía de los mismos, se estará a lo dispuesto en el Decreto 1998/1961 de 19 de octubre de 1961, las normas de aplicación de este decreto contenidas en la Orden de 9 diciembre 1961 y a la normativa del Colegio Oficial correspondiente.

3.3.16 Gastos por cuenta del contratista

Serán por cuenta del Contratista, entre otros, los gastos que a continuación se detallan:

3.3.16.1 Medios auxiliares

Serán por cuenta del Contratista los andamios, cimbras, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten, no afectando por tanto a la Propiedad, cualquier responsabilidad que por avería o accidente personal pueda ocurrir en las obras por insuficiencia o mal uso de dichos medios auxiliares.

3.3.16.2 Abastecimiento de agua

Será por cuenta del Contratista, disponer de las medidas adecuadas para que se cuente en obra con el agua necesaria para el buen desarrollo de las obras.

3.3.16.3 Energía eléctrica

En caso de que fuese necesario el Contratista dispondrá los medios adecuados para producir la energía eléctrica en obra.

3.3.16.4 Vallado

Serán por cuenta del Contratista la ejecución de todos los trabajos que requiera el vallado temporal para las obras, así como las tasas y permisos, debiendo proceder a su posterior demolición, dejándolo todo en su estado primitivo.

3.3.16.5 Accesos

Serán por cuenta del Contratista de cuantos trabajos requieran los accesos para el abastecimiento de las obras, así como tasas y permisos, debiendo reparar, al finalizar la obra, aquellos que por su causa quedaron deteriorados.

3.3.16.6 Materiales no utilizados

El Contratista, a su costa, transportará y colocará agrupándolos ordenadamente y en el sitio de la obra en que por no causar perjuicios a la marcha de los trabajos se le designe, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra.

3.3.16.7 Materiales y aparatos defectuosos

Cuando los materiales y aparatos no fueran de calidad requerida o no estuviesen perfectamente reparados, la Dirección Facultativa dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los Pliegos. A falta de estas condiciones, primarán las órdenes de la Dirección Facultativa

3.3.16.8 Ensayos y pruebas

Los gastos de los análisis y ensayos ordenados por la Dirección Facultativa, serán a cuenta del Contratista cuando el importe máximo corresponde al 1% del presupuesto de la obra contratada, y de la Propiedad si el importe supera este porcentaje.

3.3.17 Precios contradictorios

Se originan precios contradictorios solamente cuando la Propiedad, a través del Director de Obra, decida introducir nuevas unidades de obra o cambios en la calidad de alguna de las inicialmente acordadas, o cuando sea necesario afrontar circunstancias no previstas.

A falta de acuerdo y antes de iniciar la obra, los precios de unidades de obra así como los de materiales, equipos, o de mano de obra de trabajos que no figuren en los contratos, se fijarán contradictoriamente entre el Director de Obra y el Contratista, o su representante expresamente autorizado a estos efectos, siempre que a juicio de ellos, dichas unidades no puedan incluirse en el dos por ciento (2%) de gastos imprevistos.

Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto, y en segundo lugar al Banco de Precios o Base de Datos de Unidades de obra de uso más frecuente en la Comunidad Autónoma oficialmente aprobado o adoptado por las diversas Administraciones.

El Contratista los presentará descompuestos, de acuerdo con lo establecido en el artículo correspondiente a la descomposición de los precios unitarios del presente Pliego, siendo condición necesaria la aprobación y presentación de estos precios antes de proceder a la ejecución de las unidades de obra.

De los precios así acordados, se levantará actas que firmarán por triplicado el Director de Obra, la Propiedad y el Contratista o representantes autorizados a estos efectos por los últimos.

Los precios contradictorios que existieran quedarán siempre referidos a los precios unitarios de la fecha del contrato.

3.3.18 Mejoras de obra libremente ejecutadas

Cuando el Contratista, incluso con autorización del Director de obra, usase materiales y/o equipos de mejor calidad que los señalados en el Proyecto, o sustituyese una clase de fábrica por otra que tuviese mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquier parte de la obra, o en general introdujese en ésta, y sin ser solicitada, cualquier otra modificación que fuese beneficiosa, a juicio del Director de obra no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono de lo que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

3.3.19 Abono de las obras

El abono de los trabajos ejecutados se efectuará previa medición periódica (según intervalo de tiempo que se acuerde) y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, tanto en las certificaciones como en la liquidación final, al precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas, siempre y cuando se hayan realizado con sujeción a los documentos que constituyen el proyecto o bien siguiendo órdenes que, por escrito, haya entregado el Director de obra.

Según la modalidad elegida para la contratación de las obras y salvo que en el contrato suscrito entre el Contratista y el Propietario se preceptúe otra cosa, el abono de los trabajos se efectuará así:

- 1º Tipo fijo o tanto alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación, disminuida en su caso en el importe de la baja efectuada por el adjudicatario.

- 2º Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas.

Previa medición y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, del precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas, se abonará al Contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con arreglo y sujeción a los documentos que constituyen el proyecto, los que servirán de base para la medición y valoración de las diversas unidades.

- 3º Tanto variable por unidad de obra, según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes del Director de obra. Se abonará al Contratista en idénticas condiciones al caso anterior.

- 4º Por listas de salarios o jornales y recibos de materiales, autorizados en la forma que el contrato suscrito entre el Contratista y la Propiedad determina.

- 5º Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas en el contrato.

3.3.20 Abono de trabajos presupuestados por partidaalzada

El abono de los trabajos presupuestados en partidaalzada, se efectuará de acuerdo con el procedimiento que corresponda entre los que a continuación se expresan:

- a) Si existiesen precios contratados para unidades de obra iguales, las presupuestadas mediante partidaalzada, se abonarán previa medición y aplicación del precio establecido.
- b) Si existen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán precios contradictorios para las unidades con partidaalzada, deducidos de los similares contratados.
- c) Si no existen precios contratados para unidades de obra iguales o similares, la partidaalzada se abonará íntegramente al Contratista, salvo el caso de que en el Presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse, en cuyo caso, el Director de Obra indicará al Contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que ha de seguirse para llevar dicha cuenta, que en realidad será de Administración, valorándose los materiales y jornales a los precios que figuren en el Presupuesto aprobado o, en su defecto, a los que con anterioridad a la ejecución convengan las dos partes, incrementándose su importe total con el porcentaje correspondiente al Beneficio industrial del Contratista.

3.3.21 Obras no terminadas

Las obras no terminadas o incompletas no se abonarán o se abonaran en la parte en que se encuentren ejecutadas, según el criterio establecido por la Dirección Facultativa. Las unidades de obra sin acabar, fuera del orden lógico de la obra o que puedan sufrir deterioros, no serán calificadas como certificables hasta que la Dirección Facultativa no lo considere oportuno.

3.3.22 Certificaciones

El Contratista tomará las disposiciones necesarias, para que periódicamente, según el intervalo de tiempo acordado en el contrato, lleguen a conocimiento del Director de Obra las unidades de obra realizadas previa medición, quien tendrá la facultad de revisarlas sobre el propio terreno, al cual le facilita aquel, cuantos medios sean indispensables para llevar a buen término su cometido.

Lo ejecutado por el Contratista en las condiciones preestablecidas, se valorará aplicando al resultado de la medición general, cúbica, superficial, lineal, ponderada o numeral correspondiente para cada unidad de obra, los precios unitarios aprobados y extenderá la correspondiente certificación, teniendo presente además lo establecido en el presente Pliego de Condiciones respecto a mejoras o sustituciones de material y a las obras accesorias y especiales.

Presentada dicha certificación al Director de Obra, previo examen, y comprobación sobre el terreno, si así lo considera oportuno, en un plazo de diez (10) días, pondrá su Vº Bº, y firma, en el caso de que fuera aceptada, y con este requisito, podrá pasarse la certificación a la Propiedad para su abono, previa deducción, en tanto por ciento, de la correspondiente constitución de fianza o garantías y tasa por Honorarios de Dirección Facultativa, si procediera.

Dichas certificaciones, como recoge el párrafo anterior, se remitirán al Propietario, con carácter de documento y entregas a buena cuenta, sin que supongan aprobación o recepción en obra, sujetos a rectificaciones y variaciones derivadas de la liquidación final, no suponiendo tampoco estas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

El Propietario deberá realizar los pagos al Contratista o persona autorizada por el mismo, en los plazos previstos y su importe será el correspondiente a las especificaciones de los trabajos expedidos por la Dirección Facultativa.

Se podrán aplicar fórmulas de depreciación en aquellas unidades de obra, que tras realizar los ensayos de control de calidad correspondientes, su valor se encuentre por encima del límite de rechazo, muy próximo al límite mínimo exigido aunque no llegue a alcanzarlo, pero que obtenga la calificación de aceptable. Las medidas adoptadas no implicarán la pérdida de funcionalidad, seguridad o que no puedan ser subsanadas posteriormente, en las unidades de obra afectadas, según el criterio de la Dirección Facultativa.

El material acopiado a pie de obra, por indicación expresa y por escrito del Director de obra o del Propietario, a través de escrito dirigido al Director de obra, podrá ser certificado hasta el

noventa por ciento (90%) de su importe, a los precios que figuren en los documentos del proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de Contrata.

En caso de que el Director de obra, no estimase aceptable la liquidación presentada por el Contratista, comunicará en un plazo máximo de diez (10) días, las rectificaciones que considere deba realizar al Contratista, en aquella, quien en igual plazo máximo, deberá presentarla debidamente rectificada, o con las justificaciones que crea oportunas. En el caso de disconformidad, el Contratista se sujetará al criterio del Director de obra, y se procederá como en el caso anterior.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. En el caso de que el Director de obra lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

3.3.23 Demoras en los pagos

Si el Propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente a que corresponda el plazo convenido, el Contratista tendrá además el derecho de percibir el abono de la cantidad pactada en el contrato suscrito con el Propietario, en concepto de intereses de demora durante el espacio del tiempo de retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

Si aún transcurrieran dos meses a partir del retraso del término de dicho plazo de un mes, sin realizarse el pago, tendrá derecho el Contratista a la rescisión unilateral del contrato, procediéndose a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que éstos reúnan las condiciones preestablecidas y que su cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

No obstante lo anteriormente expuesto, se rechazará toda solicitud de resolución del contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha invertido en obra o en materiales acopiados admisibles la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el contrato.

Si la obra no está terminada para la fecha prevista, el Propietario podrá disminuir las cuantías establecidas en el contrato, de las liquidaciones, fianzas o similares.

El Contratista no podrá suspender los trabajos o realizarlos a ritmo inferior que lo establecido en el proyecto, alegando un retraso de los pagos.

3.3.24 Conservación de la obra

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que la instalación no haya sido puesta en marcha por el Propietario antes de la recepción definitiva, el Director de Obra, en representación del Propietario, podrá disponer todo lo que sea preciso para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el Contratista la instalación, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de resolución del contrato, está obligado a dejarla desocupada y limpia en el plazo que el Director de Obra señale.

Después de la recepción provisional de la instalación y en el caso de que la conservación de la misma corra a cargo del contratista, no deberá haber en ella más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuese preciso ejecutar.

3.3.25 Seguro de las obras

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados. El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en el caso de siniestro, se ingresará en cuanto a nombre del Propietario, para que con cargo a ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecho en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para

menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada; la infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda resolver el contrato, con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no se le hubiesen abonado, pero sólo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la Compañía de Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Director de Obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de Seguros, los pondrá el Contratista, antes de contratarlos, en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

3.3.26 Mejoras y aumentos de obra

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el Director de Obra haya ordenado por escrito la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Director de Obra ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

En todos estos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o equipos ordenados emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirán el mismo criterio y procedimiento, cuando el Director de Obra introduzca innovaciones que supongan una reducción apreciable en los importes de las unidades de obra contratadas.

3.4 Condiciones técnicas de materiales y equipos. Sistema de desalación

Las condiciones de materiales y equipos que deberán cumplir las Instalaciones y Equipos se especifican en los siguientes apartados.

3.4.1 Documentación exigible

Para cada equipo ofertado, se deberá presentar, como mínimo, la siguiente documentación:

- Plano conjunto del equipo
- Plano de detalle
- Documentación complementaria suficiente para que el Director de la Obra pueda tener la información precisa para determinar la aceptación o rechazo del equipo.
- Materiales que componen cada elemento del equipo
- Normas de acuerdo con las cuales ha sido diseñado.
- Normas a emplear para las pruebas de recepción, especificando cuales de ellas deben realizarse en banco y cuales en obra. Para las primeras deberán avisarse a la Dirección de la Obra con quince días (15 días) de anticipación a la fecha de pruebas.

Se dará preferencia a las normas españolas UNE y en su defecto a las internacionales ISO. Si el Concursante presentase un equipo cuyas pruebas a realizar no estén contenidas en ninguna de las normas antes citadas, deberá presentar la norma extranjera por él propuesta, acompañada de la correspondiente traducción al español.

En el caso de que las pruebas propuestas no se ajusten a ninguna norma oficial y deban desarrollarse bajo condiciones particulares, se estará obligado a prestar cuanta información complementaria estime el Director de Obra, quien podrá rechazar el equipo propuesto si, a juicio, dicho programa de pruebas no ofrece garantías suficientes.

3.4.2 Protocolo de pruebas

Estará formado por el conjunto de normas que para los diferentes equipos se presenten, y será utilizado para la comprobación de los equipos a la recepción y durante el período de pruebas de la Planta antes de su Recepción Provisional.

3.4.3 Normas de aprobación de suministradores

No se podrá instalar ningún material sin que haya recibido la aprobación correspondiente por parte de la Dirección de Obra. Esta aprobación se hará por escrito, conservando en su poder una muestra del material aceptado. Los materiales considerados como inadecuados deberán ser retirados de obra lo más rápidamente posible.

3.4.4 Garantía para los equipos

Se garantizará el funcionamiento satisfactorio de todos los equipos, así como del conjunto de los mismos con las condiciones de servicio fijadas en la oferta.

Todos los equipos estarán garantizados contra defectos de diseño, material y fabricación por un período de dos años después de la recepción Provisional y se corregirá, sin cargo alguno los defectos que produzcan durante este período.

3.4.5 Soldaduras

Todos los elementos de la instalación que precisen de soldadura serán de calidad soldable y no se admitirán relaminados ni procedentes de desguaces. Queda prohibido rellenar agujeros o taladros con soldaduras.

Los electrodos a utilizar cumplirán con la norma UNE 14022 y 14003 debiendo estar homologados.

Las superficies a soldar deberán estar libres de cascarillas, grada, pintura o cualquier otro material extraño, con excepción de la cascarilla de laminación que resista un vigoroso cepillado metálico.

Todas las superficies que hayan que soldarse, se deberán acercar todo lo posible y dicha separación nunca podrá ser superior a 1,5 mm. El tamaño de la soldadura será aumentado en la misma medida que tenga la separación.

Cuando por la importancia del trabajo sea requerido, se utilizarán soldadores debidamente homologados y se podrán exigir el radiografiado de las soldaduras. Los soldadores estarán cualificados según la norma UNE 4010.

Todas las soldaduras a tope serán continuas y de penetración completa. Cuando el espesor de las piezas a unir sea igual o menor que 6 mm, se permitirá la soldadura a testa por un solo lado y sin preparación de bordes, siempre que se utilice un electrodo que asegure una penetración completa. La separación entre bordes, en este caso, deberá ser inferior a la mitad del espesor de la pieza más delgada a soldar. Cuando el espesor de las piezas a unir sea de 8 mm o superior, se deberán preparar los bordes para soldadura en X o en V según sean o no accesibles ambas caras. En cualquier caso la separación entre bordes no será mayor de 3 mm. En soldaduras en X deberá realizarse un saneamiento de la raíz antes de soldar por el lado puesto.

Cuando se tenga que utilizar anillo o placa de respaldo, el material utilizado deberá ser de la misma naturaleza que el material base y deberá asegurarse una perfecta fusión de las tres piezas. Cuando se precise realizar varias pasadas, se limpiarán intensamente la pasada anterior antes de proceder a la siguiente.

3.4.6 Tornillería

Todos los tornillos que se utilicen en la instalación serán de acero inoxidable AISI 316. Las dimensiones y roscas estarán de acuerdo con las normas DIN o UNE.

3.4.7 Soportería

Toda la soportería utilizada en la instalación se construirá en acero al carbono y las abrazaderas comerciales serán cadmiadas, intercalando una lámina de teflón u otro material similar.

3.4.8 Equipos mecánicos

Siempre que sea posible se instalarán equipos análogos cuyos componentes unitarios sean intercambiables, a fin de reducir al mínimo el número de repuestos.

Los equipos mecánicos deberán ser fácilmente revisables y accesibles, por lo cual se deberá prever espacio suficiente para su reparación o sustitución.

Cuando el peso unitario de algún elemento lo requiera, se preverán sistemas para su izado y manejo. La naturaleza de estos elementos auxiliares será proporcionada a su función y a la frecuencia de la misma.

La instalación de los equipos se hará de forma que se eviten vibraciones, trepidaciones o ruidos en todo lo posible.

Cuando existan varias máquinas la distancia mínima entre sus bordes extremos, serán como mínimo de 1,00 m.

3.4.9 Ruidos

En nivel de ruidos en las salas de máquinas y en el conjunto de la instalación no llegará a convertir la zona en un área molesta, por lo que, cuando sea necesario, se deberá prever un aislamiento acústico para la absorción de los mismos, de forma que se garantice el cumplimiento de las normas vigentes de la Ordenanza de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Los tonos puros deberán eliminarse por resultar molestos al oído, además de que pueden ser consecuencia de algún defecto constructivo del equipo. Si se detecta algún tono puro deberá rebajarse hasta 5 dB.

Los niveles de ruido (presión sonora) máximos admisibles serán los siguientes:

Motores eléctricos: 82 dB (nivel global) tomando dicho nivel a 1,00 m de la superficie de la máquina o cerramiento, siempre que el eje esté situado, como mínimo a 0,25 m por encima del suelo o bien a 1,00 m de cerramiento sobre la línea del eje y siempre con el motor en

carga. En caso de que los niveles no se puedan medir en carga se reducirá el nivel global en 3 dB.

Bombas: 82 dB (nivel global) tomando dicho nivel a 1,00 m de la superficie de la máquina o cerramiento, siempre que el eje esté situado, como mínimo, a 0,25 m por encima del suelo o bien a 1,00 m desde la pared de las tuberías de succión y descarga, o bien 1,00 m del cerramiento sobre la línea del eje.

Equipos varios: 86 dB (nivel global) tomando dicho nivel a 1,00 m de la superficie de la máquina o cerramiento, a la altura del eje, situándose este a una altura del suelo menor de 0,25 m. En las descargas a la atmósfera se medirá el nivel a 3,00 m de la boca de salida en cualquier dirección y a 1,50 m por encima del terreno o plataforma de acceso.

3.4.10 Equipos de bombeo

Todos los grupos de bombeo de la instalación estarán debidamente equilibrados estática y dinámicamente.

La instalación de cada equipo estará diseñada de forma tal, que el ruido y las vibraciones producidas en funcionamiento no resulten molesto, adaptándose los elementos precisos de aislamiento para cumplir con las normativas vigentes existentes sobre ruidos.

En el enlace de las tuberías rígidas con las bocas de aspiración e impulsión de las bombas, se intercalarán manquitos antivibratorios de calidad adecuada al fluido a circular.

Se especificarán perfectamente los tipos y calidades de los materiales empleados en la construcción de las bombas.

Cuando la conducción de aspiración o de impulsión sea mayor que la conexión de la bomba, las válvulas que se precisen serán del mismo diámetro que el de la conducción.

Todas las bombas deberán estar proyectadas para impulsar los líquidos que correspondan, tanto en materiales de construcción como en la adaptabilidad a las variaciones de caudal que puedan existir.

En todas las tuberías de aspiración y de impulsión de bombas se instalarán manómetros con grifo de aislamiento y purga.

Todas las bombas llevarán válvulas de aislamiento en aspiración e impulsión, para facilitar el desmontaje de cualquier de ellas sin la necesidad de parar toda la instalación.

Se instalarán válvulas de retención en las impulsiones de las bombas, entre la tubuladura de la misma y la válvula de aislamiento, cuando dos o más bombas trabajen en paralelo, o cuando la presión en el lado de descarga sea continua o pueda causar una rotación inversa de la bomba.

Cuando en la aspiración de una bomba sea preciso montar una reducción ésta será obligatoriamente de tipo excéntrico y con la parte plana superior.

En las instalaciones de bombeo en que el servicio requiera una sola bomba, existirá otra de reserva de idénticas características. Si el servicio requiere varias bombas en paralelo, todas las unidades deberán ser de idénticas características.

Cada conjunto de bombas y motor irá provisto de orejetas o cáncamos de elevación fijos, para facilitar su manejo.

Los ejes estarán cuidadosamente mecanizados en toda su longitud, con especial cuidado en el acabado de las zonas de apoyo. Siempre que sea posible, los ejes estarán provistos de camisas en las zonas de desgaste. En todos los puntos donde deban aspirar bombas, se instalará un dispositivo que impida su funcionamiento en vacío.

- Bombas centrífugas. Los materiales y características, que se especificarán, serán los recomendados para el tipo de fluido a circular y para el tiempo de trabajo a realizar. Todas las bombas llevarán válvulas en la aspiración y descarga que permitan su aislamiento.

- Bombas de alta presión: Las bombas se construirán en AISI 904L hMo o similar. Llevarán cierres mecánicos cuyo diseño se realizará específicamente para el uso con agua de mar y salmuera no desaireada.

3.4.11 Sistemas de intercambio de presión

Se deberán indicar como mínimo las siguientes características del diseño propuesto:

En términos de Concentración:

- Mezcla

En términos de Caudal:

- Barrido
- Fugas salmuera o lubricación
- Agua bruta para accionamiento hidráulico
- Rango (máximo, mínimo)

En términos de presión:

- Alimentación en baja
- Alimentación en alta
- Pérdidas de carga en baja
- Pérdidas de carga en alta
- Contrapresión mínima de salida

- Rango (máximo, mínima)

En términos de curvas:

- Curva de mezcla-caudal de barrido
- Curva de presión-fuga de salmuera
- Curva de pérdida de carga-caudal
- Curva de ruido-caudal

Otros términos (ruido, pulsaciones, consumos auxiliares, tiempo del ciclo, disponibilidad).

La definición de estas características se encuentra en el documento Aedyr: Criterios sobre los sistemas de intercambio de presión.

En caso de que el nivel de ruido sobrepase los límites exigidos deberán aislarse mediante cabinas de insonorización.

3.4.12 Membranas

Las membranas serán del tipo de arrollamiento en espiral.

Las membranas deben ser capaces de soportar las presiones diferenciales que garanticen la desalación de agua de mar de alimentación.

Las características de las membranas (superficie activa, material, etc.) se deberán adecuar al tipo de agua a tratar.

Se realizará el diseño adoptando el caudal específico por unidad de superficie de membrana adecuado, de acuerdo con las características del agua a tratar.

El diseño del bastidor de membranas deberá garantizar un reparto hidráulico correcto dentro del sistema.

El rechazo de sales de las membranas deberá ser superior al 99,5 % en las condiciones teóricas y normalizadas de trabajo. A tal fin, una vez decidida la membrana a instalar, el adjudicatario deberá aportar listados individualizados del rechazo de sales de cada membrana, no aceptándose definitivamente los pedidos hasta que no estén amparados en la garantía de calidad de fabricación.

Las ofertas deberán incluir las medidas necesarias para garantizar el almacenamiento de las membranas desde su llegada a la obra hasta su colocación definitiva en los bastidores. Se especificará el espacio de almacenamiento, las condiciones de preservación, el programa de control de recepción y colocación en los bastidores, así como el procedimiento de conservación de las membranas en los bastidores previo al arranque.

En la oferta también se definirán las condiciones de temperatura y presión que se han tenido en cuenta a la hora del diseño del bastidor en cuanto al número y disposición de las membranas.

Para hacer frente al deterioro de las membranas como consecuencia del uso, deberá preverse una tasa de reposición anual de las mismas.

Para las membranas ofertadas se debe presentar la siguiente información:

- Superficie activa

- Flujo unitario

- Presión máxima de trabajo

- Temperatura máxima de trabajo

- Presión de funcionamiento

- Pérdida de carga por membrana
- Rechazo de sales
- Tamaño
- Sistema de interconexión entre membranas

Las membranas irán colocadas en el interior de un recipiente adecuado, resistente a la presión de las bombas (incluso a válvulas cerradas) y a la corrosión.

Cada tubo de presión tendrá instalada una toma de muestra del producto, la cual será llevada a un panel de toma de muestra general. El panel será de acero inoxidable AISI 316L o de material plástico y estará instalado junto al bastidor correspondiente.

3.5 Condiciones técnicas de materiales y equipos. Aerogeneradores

3.5.1 Generalidades

Una instalación eólica conectada a red está constituida por un conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captación de la energía del viento, generando energía eléctrica adaptarla a las características que la hagan utilizable por los consumidores conectados a la red de distribución de corriente alterna. Este tipo de instalaciones eólicas trabajan en paralelo con el resto de los sistemas de generación que suministran a la red de distribución, considerándose como instalaciones de generación eléctrica en régimen especial.

Existen, generalmente, dos tipos de instalaciones eólicas:

- Aisladas, para generar electricidad en lugares remotos, destinada fundamentalmente al autoconsumo. Estas instalaciones pueden ir combinadas con placas solares fotovoltaicas.

- Parques eólicos.

Los componentes o sistemas que conforman la instalación de un parque eólico, básicamente son los siguientes:

- Parque de Aerogeneradores.

- Edificio principal que albergará:
 - Centro de control y maniobra.

 - Transformador de servicios auxiliares.

 - Almacén de repuestos y herramientas

 - Oficina de control, mando y telemando del parque.

- Red interna de baja o media tensión (B.T./M.T.) que conecte cada aerogenerador con el centro de transformación correspondiente.
- Red externa de media tensión (M.T.) que conecte el parque con la subestación o centro de transformación de la red de distribución pública (cuando únicamente se trate de un parque no aislado).

La instalación eólica se ubicará en un terreno (dependiendo de la rugosidad del mismo y de la longitud de esa rugosidad) adecuado para el montaje de todos los elementos anteriormente enunciados, el cual determinará tanto el diámetro máximo de palas de los aerogeneradores que se podrán utilizar y la distancia de separación máxima entre éstos. Estos terrenos podrán ser de titularidad pública y/o privada.

3.5.2 Parque de aerogeneradores

Sus características generales quedan definidas por:

- a) Tipo (marca, modelo) y número de aerogenerador/es o turbina/s eólica empleada/s.
- b) Condiciones climáticas (margen de temperaturas y humedad ambiente de funcionamiento, protección frente a la corrosión)
- c) Distancia entre aerogeneradores en las dos direcciones perpendiculares de configuración.

3.5.2.1 Elementos del aerogenerador

- Torre
- Rotor
- Palas y buje
- Góndola

- Multiplicadora

- Eje principal

- Bastidor

- Capota

- Generador eléctrico

- Medición del viento

- Controlador electrónico

- Sistema hidráulico

- Sistema de orientación de las palas

- Sistema de refrigeración.

Sus características generales quedan determinadas por:

- Marca y modelo.

- Tipo de rotor, dimensiones, palas

- Orientación de funcionamiento (barlovento o sotavento).

- Sistema de Orientación.

- Sistemas de Control.

- Buje
- Características Eléctricas.
- Multiplicadora.
- Frenos
- Góndola

La torre del aerogenerador presenta además los siguientes grados de protección de sus elementos:

- Protección del generador eléctrico: IP 54.
- Protección de los aislantes: IP 23.
- Protección de los motores: IP 44.
- Protección de las conexiones de los motores: IP 55.

3.5.3 Control y aceptación de los elementos y equipos que conforman la instalación eólica

La Dirección Facultativa velará porque todos los materiales, productos, sistemas y equipos que formen parte de la instalación eólica sean de marcas de calidad (UNE, EN, CEI, CE, AENOR, etc.), y dispongan de la documentación que acredite que sus características mecánicas y eléctricas se ajustan a la normativa vigente, así como de los certificados de conformidad con las normas UNE, EN, CEI, CE u otras que le sean exigibles por normativa o por prescripción del proyectista y por lo especificado en el presente Pliego de Condiciones Técnicas Particulares.

La Dirección Facultativa asimismo podrá exigir muestras de los materiales a emplear y sus certificados de calidad, ensayos y pruebas de laboratorios, rechazando, retirando, desmontando o reemplazando dentro de cualquiera de las etapas de la instalación los productos, elementos o dispositivos que a su parecer perjudiquen en cualquier grado el aspecto, seguridad o bondad de la obra.

Cuando proceda hacer ensayos para la recepción de los productos o verificaciones para el cumplimiento de sus correspondientes exigencias técnicas, según su utilización, estos podrán ser realizadas por muestreo u otro método que indiquen los órganos competentes de las Comunidades Autónomas, además de la comprobación de la documentación de suministro en todos los casos, debiendo aportarse o incluirse, junto con los equipos y materiales, las indicaciones necesarias para su correcta instalación y uso debiendo marcarse con las siguientes indicaciones mínimas:

El contratista o instalador autorizado entregará al usuario un documento-albarán en el que conste el suministro de componentes, materiales y manuales de uso y mantenimiento de la instalación. Este documento será firmado por duplicado por ambas partes, conservando cada una un ejemplar. Los manuales entregados al usuario estarán en idioma español para facilitar su correcta interpretación.

Antes de la puesta en servicio de todos los elementos principales, éstos deberán haber superado las pruebas de funcionamiento en fábrica, de las que se levantará oportuna acta que se adjuntará con los certificados de calidad.

Concretamente por cada elemento tipo, estas indicaciones para su correcta identificación serán las siguientes.

Aerogeneradores:

Certificación, según Norma IEC WT-01 de homologación, por una entidad de reconocida solvencia aceptada para ello por la Administración Pública Canaria, de las condiciones eléctricas, mecánicas, acústicas, energéticas y de seguridad de los aerogeneradores o turbinas

eólicas, indicando las normas seguidas para su diseño, fabricación, calidad del proceso de fabricación, instalación, ensayos, pruebas, etc.

El resto de componentes de la instalación deberán recibirse en obra conforme a: la documentación del fabricante, marcado de calidad, la normativa si la hubiere, especificaciones del proyecto y a las indicaciones de la Dirección Facultativa durante la ejecución de las obras.

Asimismo aquellos materiales no especificados en el presente proyecto que hayan de ser empleados para la realización del mismo, dispondrán de marca de calidad y no podrán utilizarse.

3.6 Condiciones técnicas de ejecución y montaje.

Las condiciones de ejecución generales que deberán cumplir la instalación de aerogeneradores se especifica a continuación:

3.6.1 Consideraciones generales

Las instalaciones eólicas conectadas a la red eléctrica serán ejecutadas por instaladores eléctricos autorizados, para el ejercicio de esta actividad, según lo estipulado por el DECRETO 141/2009 e Instrucciones Técnicas Complementarias ITC del REBT, y deberán realizarse conforme a lo que establece el presente Pliego de Condiciones Técnicas Particulares y a la reglamentación vigente.

El Director de obra rechazará todas aquellas partes de la instalación eólica que no cumplan los requisitos para ellas exigidas, obligándose la empresa instaladora autorizada o Contratista a sustituirlas a su cargo.

Durante el proceso de ejecución de la instalación se dejarán las líneas sin tensión y, en su caso, se conectarán a tierra. Deberá garantizarse la ausencia de tensión mediante un comprobador adecuado antes de cualquier manipulación.

Se cumplirán, además, todas las disposiciones legales que sean de aplicación en materia de seguridad y salud en el trabajo.

La instalación eólica incorporará todos los elementos y características necesarios para garantizar en todo momento la calidad y seguridad del suministro eléctrico.

El Contratista facilitará, de todos los componentes que integran la instalación, fotocopias de las especificaciones técnicas proporcionadas por los fabricantes. Por motivos de seguridad y operación de los equipos, los indicadores, etiquetas, etc. de los mismos estarán en idioma español.

El funcionamiento de las instalaciones eólicas no deberá provocar en la red averías, disminuciones de las condiciones de seguridad ni alteraciones superiores a las admitidas por

la normativa que resulte aplicable. Tampoco podrá dar origen a condiciones peligrosas de trabajo para el personal de mantenimiento, operación y explotación de la red de distribución.

El transporte, manipulación y empleo de los materiales se hará de forma que no queden alteradas sus características ni sufran deterioro sus formas o dimensiones. Los materiales situados en intemperie se protegerán contra los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la humedad.

La instalación eólica incluirá todos los elementos necesarios de seguridad y protecciones propias de las personas, asegurando la protección frente a contactos directos e indirectos, cortocircuitos, sobrecargas, así como dispone de elementos y protecciones adicionales resultado de la aplicación de la legislación vigente.

Si durante la ejecución de las obras apareciesen restos históricos, arqueológicos o paleontológicos, se paralizarán éstas en la zona afectada, procediendo el titular a ponerlo en conocimiento de las autoridades competentes.

3.6.2 Tipos de trabajo a realizar

Los trabajos a realizar en el montaje del parque eólico son:

- Trabajos en instalaciones eléctricas de baja tensión, con y sin tensión.
- Trabajos en instalaciones eléctricas de alta tensión, con y sin tensión.
- Trabajos en la ejecución de canalizaciones subterráneas eléctricas.
- Trabajos de transporte, acopio y montaje de aerogeneradores.
- Trabajos de soldadura

3.6.3 Comprobaciones iniciales

Se comprobará que todos los elementos y componentes de la instalación eólica coinciden con su desarrollo en el proyecto, y en caso contrario se redefinirá en presencia de la Dirección Facultativa. Se marcará por Instalador autorizado y en presencia de la Dirección Facultativa el lugar de montaje los diversos componentes de la instalación.

3.6.4 Instalación y montaje de los elementos

Durante la etapa de construcción será necesario el establecimiento de una zona de acopio para el manejo de materiales y equipos.

3.6.5 Instalación de aerogeneradores y sus elementos

Transportados los componentes del aerogenerador hasta el punto de anclaje, se procederá a su ensamblaje, haciendo uso de una grúa de grandes dimensiones. De este modo se realiza el izado de la torre, la góndola y el rotor.

La corona de orientación, sobre la que está apoyada la góndola mediante unas zapatas de deslizamiento, se atornilla a la torre de manera que el acceso a la turbina se consigue a través de la propia corona y de un agujero practicado en el fondo de la parte delantera de la plataforma.

Los aerogeneradores se montarán sobre torre tubular troncocónica de acero, protegida contra la corrosión (o sobre torre en celosía de acero galvanizado).

La torre tubular podrá incorporar lámparas y puntos de potencia, además de escaleras interiores, plataformas de descanso y protección, y cable de seguridad, instalado en la escalera de la torre de celosía.

Antes del levantamiento de las torres se realizarán los trabajos preparativos incluyendo el ajuste de los paneles de compensación para la nivelación de las plataformas de cimientos.

Las mediciones de teodolito deberán asegurar la orientación precisa del segmento inferior de la torre para prevenir un basculamiento que podría generarse a causa de un servicio inseguro de la turbina.

Todos los segmentos de torre serán abridados y apretados con bulones con pares específicos y llaves dinamométricas especiales.

3.6.6 Condiciones a satisfacer respecto a las distancias de los aerogeneradores a viviendas o a otros aerogeneradores.

No podrá instalarse ningún aerogenerador si dentro de su área de sensibilidad eólica se localiza un aerogenerador previamente autorizado, o si queda dentro del área de sensibilidad eólica de un aerogenerador previamente autorizado. Dicha área podrá reducirse siempre que se aporte un estudio de afecciones a terceros y que éste se apruebe por parte de la Consejería competente en materia de energía, previa audiencia de los posibles afectados. Asimismo, se prohíbe la instalación de cualquier construcción perteneciente a una infraestructura eólica si afecta a un aerogenerador autorizado.

La distancia mínima entre dos aerogeneradores de una misma línea no será inferior a dos (2) diámetros de rotor. La distancia entre dos líneas de un mismo parque ha de ser como mínimo de cinco (5) diámetros de rotor.

Cuando el planeamiento aplicable no imponga separaciones mayores, la distancia entre un aerogenerador y una vivienda no será inferior a 150 metros y a 250 metros respecto de un núcleo habitado. Estas distancias podrán ser ampliadas en caso de que se superen los niveles máximos de ruido establecidos en la reglamentación vigente.

En situaciones excepcionales, se podrán alterar dichos valores mínimos siempre que se aporte un estudio justificativo y que sea aprobado por el Centro Directivo competente en materia de energía.

3.6.7 Condiciones a satisfacer respecto a la eficiencia energética

Los parques eólicos y los aerogeneradores que lo componen deberán alcanzar unos niveles mínimos de eficiencia energética.

Los aerogeneradores a instalar deberán ser nuevos y no haber sido puestos en producción con anterioridad a la puesta en marcha del parque eólico. Asimismo, deberán permitir la regulación de potencia a través de mecanismos adecuados.

Con independencia del rendimiento energético de la máquina también se valorará su comportamiento en sistemas eléctricos aislados y pequeños, como los existentes en Canarias. En este sentido, el nivel de respuesta del aerogenerador debe garantizar:

- Una óptima calidad de la energía eléctrica entregada a la red. Es decir, su índice de calidad será igual o superior al de la red, medido en el punto de interconexión.
- Que las fluctuaciones que existan en la red eléctrica debido a sus condiciones intrínsecas sean soportadas, hasta un nivel aceptable, por el aerogenerador sin que pierda su estabilidad respecto de la misma.

En cualquier caso, las máquinas que se instalen en la Comunidad Autónoma de Canarias deberán estar certificadas por una entidad de reconocida solvencia aceptada para ello por la Administración Pública Canaria. Esta entidad deberá certificar las condiciones eléctricas, mecánicas, acústicas, energéticas y de seguridad de las máquinas, indicando las normas seguidas para su diseño, fabricación, calidad del proceso de fabricación, instalación, etc.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

Mediciones y Presupuesto

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACIÓN ALIMENTADO MEDIANTE
ENERGÍA EÓLICA

AUTOR

Pedro Damián Acosta Díaz

TUTOR

Vicente José Romero Ternero

Índice

1. Mediciones y presupuesto.....	3
----------------------------------	---

1. Mediciones y presupuesto

En el presente documento se detallan las mediciones de las unidades de los elementos mecánicos llevados a estudio y el presupuesto material.

Por un lado se plasman los equipos que componen el núcleo de desalación (membranas, bomba de alta presión, bomba booster e intercambiadores de presión). Por otro lado se indican las bombas de los sistemas de captación y de distribución y por último las unidades de aerogeneradores que conforman el parque eólico.

MEDICIONES Y PRESUPUESTO MATERIAL									
CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	MEDICIÓN	TOTAL	PRECIO	PRECIO TOTAL [€]		
1	UNIDAD	NÚCLEO DE DESALACIÓN							
		Elementos mecánicos que conforman el núcleo de desalación de ósmosis inversa del sistema de desalación de agua de mar alimentado por energía eólica							
		1.01	MÓDULO DE MEMBRANAS						
			Membranas SWC4-B (40x6)	240	240	240	417,86	100286,4	
		1.02	SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA						
			Intercambiador de presión PX-Q300	3	3	3	29029,97	87089,91	
			Bomba Booster VP-4671	1	1	1	41904	41904	
			Repuestos y herramientas						
			20033-01 Quadribaric Series Spare Parts Kit	3	3	3	101,31	303,93	
			20037-01 Quadribaric Series Tool Kit	1	1	1	471,81	471,81	
								129769,65	
		1.03	BOMBEO DE ALTA PRESIÓN						
			Bomba Aquabold 4x6x9-A /10	1	1	1	42711	42711	
			Embalaje de exportación	1	1	1	806,42	806,42	
			Motor: GE 600 HP 380V TEFC 5011LSC Premium Efficiency	1	1	1	16958	16958	
			VFD: Mitsubishi or Equivalent, 683 A, NEMA IP00	1	1	1	17159	17159	
			Placa base: Bomba (incluye motor) Turbo Line / Model: N/A	1	1	1	3813	3813	
								81447,42	
		2	UNIDAD	SISTEMA DE CAPTACIÓN					
				Bombas para la captación de agua de mar en los pozos de captación del sistema de desalación de agua de mar alimentado por energía eólica					
		2.01	Bombas de captación						
	Bomba sumergible KSB modelo UPA 200B-130/4d	4	4	4	7284,65	29138,6			
3	UNIDAD	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN							
		Bombas para la distribución del agua producto del sistema de desalación de agua de mar alimentado por energía eólica							
3.01	Bombas de distribución								
	Bomba vertical Grundfos modelo CR 64-2 A-F-A-E-HQQE	4	4	4	6618,2	26472,8			
4	UNIDAD	CAPTACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA							
		Aerogeneradores que conforman el parque eólico							
4.01	Aerogeneradores								
	Aerogenerador Gamesa modelo G58/850 kW	2	2	2	850258	1700516			
							P.M		
							2067630,87		

