



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE PRODUCCIÓN ANUAL DE SALINA EN MARISMA CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Carmen González Halcón

Directores: Katia Hueso Kortekaas

Mar Cledera Castro

Madrid

Julio 2018

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor Dña. Carmen González Halcón, DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: ESTUDIO DE VIABILIDAD DE PRODUCCIÓN ANUAL DE SALINA EN MARISMA CON ENERGÍAS RENOVABLES, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

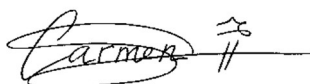
6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

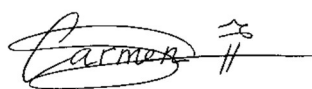
Madrid, a 18 de Julio de 2018

ACEPTA

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carmen', followed by a stylized flourish and a vertical line.

Fdo. Carmen González Halcón

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título ESTUDIO DE VIABILIDAD DE PRODUCCIÓN ANUAL DE SALINA EN MARISMA CON ENERGÍAS RENOVABLES en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2017/2018 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Carmen González Halcón

Fecha: 18/ 07/ 2018

Autorizada la entrega del proyecto

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO



Fdo.: Katia Hueso Kortekaas

Fecha: 18/ 07/ 2018



Fdo.: Mar Cledera Castro

Fecha: 18/ 07/ 2018

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE PRODUCCIÓN ANUAL DE SALINA EN MARISMA CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: González Halcón, Carmen

Director: Hueso Kortekaas, Katia

Director: Cledera Castro, Mar

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

La sal interviene en la vida del ser humano, de algún modo u otro, con sus múltiples usos desde hace mucho tiempo. La actividad dedicada a la extracción de sal es importante a nivel mundial, ya que hoy en día se producen aproximadamente *280.000 miles de toneladas* [1] y para conseguirlo se necesitan cubrir los puestos de trabajo correspondientes. Sin embargo, existen diferentes modos de obtener sal y no todos contribuyen de la misma forma a la sociedad, a la economía y a la naturaleza.

El cloruro sódico se puede encontrar en estado sólido o líquido, su explotación puede aprovechar la energía procedente del sol mediante evaporación solar o aprovechar el poder calorífico de algunas sustancias para aportar calor a la salmuera (agua con cierta salinidad), configurando así la evaporación forzada. Según el nivel de industrialización de la explotación se puede distinguir entre salinas industriales, semi-industriales, artesanales y primitivas.

La salina artesanal es el objeto de este proyecto, esto es debido a su contribución a todos los ámbitos de la sostenibilidad, pues genera empleo, aporta movimiento en la economía con la compraventa de sal y, por último, colabora de forma peculiar con el medioambiente permitiendo el desarrollo de ecosistemas que de otro modo no tendrían lugar. Además, debido a su producción no muy elevada, no cuenta con facilidad para competir en el mercado y esto ha provocado el abandono de muchas de ellas. Otras han sabido reinventarse, consiguiendo sostenerse económicamente gracias a la innovación en los productos relacionados con a sal, e introduciendo actividades culturales y relacionadas

con la salud en las propias salinas. Es importante destacar que la salina artesanal contribuye al patrimonio nacional.

Ejemplo de ello es la salina Flor de Sal Biomaris, ubicada en Isla Cristina (Huelva) casi en la frontera con Portugal. Esta explotación se puede definir como artesanal, de evaporación solar, costera que aprovecha las marismas y, lo mas importante, sostenible. Por ello que mejor proyecto que intentar mejorar su producción, de la forma más apropiada para provocar el menor impacto sobre el ecosistema, se propone el empleo de energías renovables.

Las salinas como las de Biomaris, no producen sal durante todo año, lo hacen únicamente en los meses en los que no hay lluvias. La producción se caracteriza por contar con varias etapas a las que la salmuera accede por acción de la gravedad hasta llegar a la última, las balsas de cristalización o cristalizadores.

Se plantea conseguir una producción anual y para ello se propone proteger de la lluvia un conjunto de cristalizadores, primero utilizando una cubierta móvil y segundo bombeando a cierta altura la salmuera. En este caso, durante los meses de precipitaciones, la explotación se realiza combinando evaporación solar y forzada.

La evaporación forzada para la obtención de sal es predominante en lugares donde hay lluvias y estas no permiten la precipitación de la sal mediante evaporación solar. Ejemplo de ello es la sal Maldon y en España operaban de forma similar las salinas de Léniz.

Gracias al aprovechamiento máximo de la solar y teniendo en cuenta que el agua del mar tiene una salinidad de 35g/L, la concentración de la salmuera es de 98'25 g/L cuando alcanza la primera etapa de la evaporación forzada.

Ya en la evaporación forzada se precisa de aporte energético externo. Para elegir la tecnología más adecuada se tienen en cuenta dos parámetros, la viabilidad económica y la independencia de otras empresas. Se concluye que la mejor opción es la solar fotovoltaica.

Una vez definido el ciclo de producción es necesario calcular la cantidad de energía necesaria para cada día. En el balance energético toman partido el bombeo de la salmuera y el aporte energético necesario durante la evaporación forzada, como energía consumida y la fotovoltaica interviene generando lo necesario.

Un aspecto importante es que, la densidad del agua varía con la salinidad y por lo tanto se debe tener en cuenta para calcular la cantidad de agua evaporada en kilogramos. Se considera que la evaporación de agua, durante la evaporación forzada, se lleva a cabo a temperatura y presión constantes. Esto deja a la densidad en función de la salinidad, y tomando valores a través de una aplicación [2], se obtiene el gráfico siguiente donde se aprecia una variación lineal de la densidad frente a la salinidad.

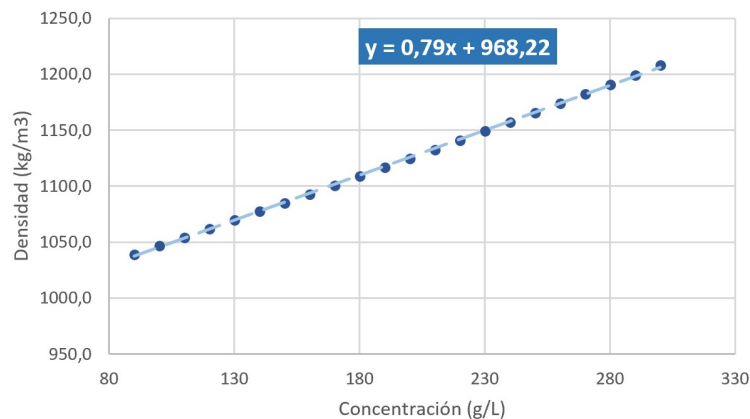


Figura 1. Comportamiento de la densidad frente a la variación de la salinidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Water Density Calculator.

Una vez obtenida la cantidad de agua que debe evaporarse, se calculan las potencias requeridas para cada etapa, incluido el bombeo, y se aplican las consideraciones necesarias, entre ellas que la instalación fotovoltaica es aislada, para obtener el número de paneles fotovoltaicos necesarios.

Finalmente, se realiza un estudio de viabilidad, teniendo en cuenta la producción anual y presentando una estimación de la inversión total. Se emplean diferentes índices para determinar la rentabilidad o no de la propuesta y la conclusión global es la no viabilidad del proyecto.

Referencias

- [1] Statistics and Information, Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), <https://minerals.usgs.gov>, (julio 2018)
- [2] Ocean Water Density Calculator, www.csgnetwork.com, (julio 2018)

FEASIBILITY STUDY OF ANNUAL PRODUCTION OF SALINA IN MARSHES WITH RENEWABLE ENERGIES

Author: González Halcón, Carmen

Director: Hueso Kortekaas, Katia

Director: Cledera Castro, Mar

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

PROJECT'S ABSTRACT

Salt has been involved in human life in some way, with its many uses for a long time. Extraction of it is an important activity worldwide, approximately today 280,000 thousand tonnes are produced[1] and in order to achieve this, it is necessary to fill the corresponding jobs. However, there are different ways of obtaining salt and not all contribute in the same way to society, to the economy and to nature.

Salt can be found in solid or liquid form, it can be obtained by taking advantage of the energy coming from the sun, means solar evaporation, or by taking advantage of the calorific power of some substances to contribute heat to the brine (water with a certain salinity), means forced evaporation. Depending on the level of industrialization of the salina, can be differentiate between industrial, semi-industrial, artisanal and primitive salt mines.

The object of this project is the artisanal salt mine, this is due to its contribution to all areas of sustainability, as it creates employment, favor economy movements with the purchase and sale of salt and, finally, collaborates in a extraordinary way with the environment allowing the development of ecosystems that otherwise would not take place. Also, due to its low production, it is not easily able to compete in the market and many of them have been abandoned. Others have been able to reinvent themselves, managing to sustain themselves economically thanks to innovation in salt-related products, and introducing cultural and health-related activities in the salinas. It is important to note that the artisanal salt contributes to the national heritage.

Flor de Sal Biomaris salina is located in Isla Cristina (Huelva), almost on the border with Portugal. This installation can be defined as artisanal, solar evaporation, coastal that takes advantage of the marshes and, most importantly, sustainable. Therefore, the objective is increase its production in the most appropriate way to leave the least impact on the ecosystem, the project proposes use of renewable energies.

Salinas, like Biomaris, don't produce salt all year, they only do it in the months when there is no rainfall. The production is characterized by several stages to which the brine accesses by the gravity action to reach the last, the crystallization tanks or crystallizers.

The aim is to achieve an annual production and for this purpose it is proposed to protect a set of crystallizers from the rain, firstly by using a mobile cover and secondly by pumping the brine at a certain height. In this case, during the months of precipitation, salt is going to be obtain by solar and forced evaporation.

Forced evaporation to obtain salt is predominant in places where there is rain and this does not allow obtain salt by solar evaporation. An example of this is the Maldon salt and in Spain the Léniz salinas operated in a similar way.

Thanks to the maximum use of the sun and taking into account that seawater has a salinity of 35g/L, the concentration of the brine is 98.25 g/L when it reaches the first stage of forced evaporation.

Already in forced evaporation, external energy input is required. In choosing the most appropriate technology, two parameters are taken into account: economic viability and independence from other companies. It is concluded that the best option is the photovoltaic solar energy.

Once the production cycle has been defined, it is necessary to calculate the amount of energy needed for each day. In the energy balance, the pumping of the brine and the necessary energy input during forced evaporation take part, as consumed energy and the photovoltaic one takes part in generating the necessary.

An important aspect is that the density of the water varies with salinity and therefore should be taken into account when calculating the amount of water evaporated in kilograms. Evaporation of water, during forced evaporation, is considered to take place at constant temperature and pressure. This leaves the density as a function of salinity, and

taking values through an application[2], the following graph shows a linear variation of density versus salinity.

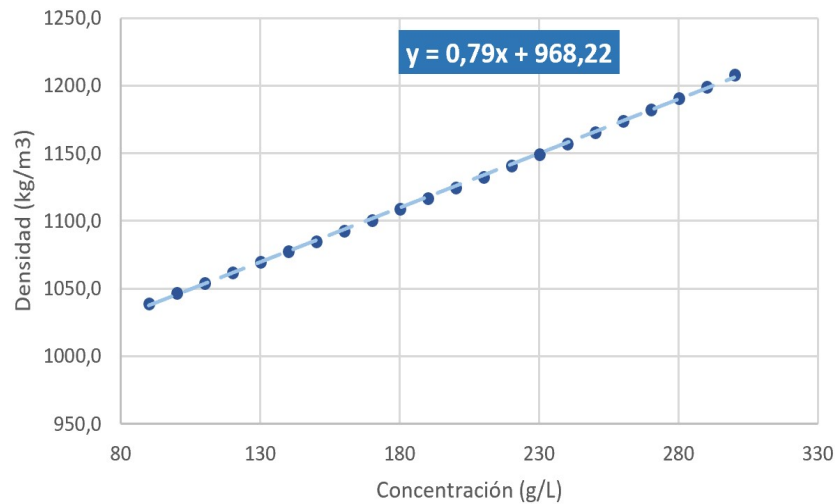


Figure 1. Density behaviour in relation to salinity variation.

Source: Own elaboration from Ocean Water Density Calculator data.

Once the amount of water to be evaporated has been obtained, the power requirements for each stage, including pumping, are calculated and the necessary considerations, including that the photovoltaic installation is insulated, are applied to obtain the number of photovoltaic panels required.

Finally, a feasibility study is carried out, taking into account the annual production and presenting an estimate of the total investment. Different indices are used to determine the profitability or otherwise of the proposal and the overall conclusion is that the project is not viable.

References

- [1] Statistics and Information, United States Geological Survey (USGS), <https://minerals.usgs.gov>, (july 2018)
- [2] Ocean Water Density Calculator, www.csgnetwork.com , (july 2018)

*¡Vosotros sois la sal de la Tierra!
¡Vosotros no sois de este mundo!
¡Vosotros sois la luz del mundo!
¡Id al mundo entero!
¡Poned la lámpara en lo alto
para que ilumine toda la casa!
Vosotros sois la sal de la Tierra,
y si la sal se vuelve sosa
¿con qué se salará?*

JESÚS DE NAZARET

ÍNDICE

TABLAS DE CONTENIDO.....	21
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	21
ÍNDICE DE TABLAS.....	23
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	24
MEMORIA	27
CAPÍTULO I: JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	29
1.1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	29
1.1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	30
CAPÍTULO II: INTRODUCCIÓN	33
1.2.1 USOS ACTUALES DE LA SAL	35
1.2.2 OBTENCIÓN DE LA SAL	38
1.2.2.1 Estado y ubicación del recurso.....	38
1.2.2.2 Métodos de obtención	40
1.2.3 CIFRAS INTERNACIONALES Y NACIONALES	42
1.2.3.1 La sal a nivel global	42
1.2.3.2 La sal en el territorio español.....	45
1.2.4 MERCADO DE LA SAL ARTESANAL.....	55
CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE.....	59
1.3.1 CASO DE ESTUDIO. BIOMARIS.....	59
1.3.1.1 Localización y tipo de explotación.....	59
1.3.1.2 Instalación actual.....	60
1.2.1.3 Producción.....	63
1.2.1.4 Más allá de la sal.....	67

1.2.1.5 Ecosistema. Marismas	68
1.2.1.6 Clima	71
1.2.2 EVAPORACIÓN FORZADA	72
1.2.3 ENERGÍAS RENOVABLES	74
CAPÍTULO III: PROPUESTA PARA PRODUCCIÓN ANUAL	77
1.3.2 CONDICIONES NECESARIAS	77
1.3.2.1 Calor, viento y nivel de radiación	77
1.3.2.2 Ausencia de precipitaciones y humedad ambiental	77
1.3.3 OPCIONES PARA EVITAR LLUVIAS	78
1.3.4 OPCIONES PARA APOORTE CALORÍFICO	78
1.3.4.1 Introducción	78
1.3.4.2 Fotovoltaica	79
1.3.5 PROPUESTA DE INSTALACIÓN	81
CAPÍTULO IV: CÁLCULOS	85
1.4.1 ENERGÍA PARA LA EVAPORACIÓN FORZADA	85
1.4.1.1 Entalpía de la salmuera	85
1.4.1.2 Volumen de las balsas de cristalización	85
1.4.1.3 Tiempo de la salmuera en evaporación solar	86
1.4.1.4 Concentración final en evaporación forzada	87
1.4.1.5 Volumen de salmuera bombeada	88
1.4.1.6 Tamaño de la primera etapa	89
1.4.1.7 Tamaño de la segunda etapa	90
1.4.1.8 Volumen total de agua evaporado en evaporación forzada	93
1.4.1.9 Cantidad total de agua evaporada en evaporación forzada	94

1.4.1.10 Energía y potencia necesaria para cambio de concentración.....	98
1.4.1.11 Potencia para cambio de temperatura	100
1.4.2 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PARA BOMBEO DE SALMUERA	101
1.4.4 PRODUCCIÓN ANUAL DE SAL	103
1.4.4 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	104
1.4.4.1 Potencia total diaria	104
1.4.4.2 Tensión de funcionamiento de la instalación	105
1.4.4.3 Ángulo de inclinación y azimut.....	105
1.4.4.4 Cálculo de HSP	107
1.4.4.5 Número de paneles fotovoltaicos	109
1.4.4.6 Dimensionado de la batería o acumulador	111
1.4.4.7 Determinación de los reguladores	112
1.4.4.8 Determinación de la potencia del inversor	112
CAPÍTULO V: VIABILIDAD ECONÓMICA.....	115
CAPÍTULO VI: CONCLUSIÓN DEL PROYECTO.....	119
REFERENCIAS.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	121
PRESUPUESTO.....	125
ANEXOS.....	129
ANEXO DE TABLAS	131
Producción de sal en España por comunidades autónomas (2012-2016).....	131
ANEXO DE CÁLCULOS.....	135
Cantidad total de energía. Experimento	135
Consideraciones para la densidad del agua respecto a su salinidad	136

Coeficiente K_{β}	139
LG 370W	140
Baterías Fornius.....	140
ANEXO DE GRÁFICOS	141
Entalpía del agua salada.....	141

TABLAS DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Rutas comerciales de la sal a principios de la Edad Moderna.....	34
Ilustración 2. Reparto de las aplicaciones de la sal.	35
Ilustración 3. Diferentes tipos de sal destinada a la alimentación.....	37
Ilustración 4. Minas de sal de Cardona, Barcelona.	38
Ilustración 5. Salinas de oro, manantial natural, Navarra.	39
Ilustración 6. Salinas de Bonanza, vista desde Sanlúcar de Barrameda.	42
Ilustración 7. Interior salinas de Zipaquirá.	45
Ilustración 8. Comparación de la Península Ibérica.	46
Ilustración 9. Reparto de la producción española de 2016 según tipo de sal.	47
Ilustración 10. Producción total de sal de 2016 por CCAA.....	48
Ilustración 11. Producción sal gema por CCAA 2016.	49
Ilustración 10. Producción sal marina por CCAA 2016.....	49
Ilustración 12. Evolución de la producción de sal, 2012 a 2016.	50
Ilustración 13. Fotografía antigua de las Salinas de Santa Pola, Alicante.	55
Ilustración 14. Spa al aire libre, Salinas de Sečovlje (Eslovenia).	58
Ilustración 15. Esquema simplificado de evaporación solar.	60
Ilustración 16. Estero de las Salinas de Flor de Sal, Biomas (Isla Cristina).....	61
Ilustración 17. Compuerta que separa balsa de concentración y cristalizadores.....	62
Ilustración 18. Muro que separa del estero.	63
Ilustración 19. Recogida de la sal común hacia los saleros con el utensilio habitual. ...	65
Ilustración 20. Flor de sal puesta a secar en recipientes azules.....	66

Ilustración 21. Cristalizadores y corredor secundario inundados.	66
Ilustración 22. Piscina de aceite de magnesio.	67
Ilustración 23. Instalaciones para la aplicación de fangos.	68
Ilustración 24. Salicornia en el borde de los cristalizadores de Biomaris.	69
Ilustración 25. Flamenco fotografiado en las salinas Flor de Sal, Biomaris.	70
Ilustración 26. Obtención de sal mediante ígnea.	72
Ilustración 27. Esquema de método utilizado para la obtención de Sal Maldon.	73
Ilustración 28. Predicción sobre uso de renovables hasta 2022.	74
Ilustración 29. Partes de un panel fotovoltaico.	79
Ilustración 30. Esquema simple de instalación aislada.	80
Ilustración 31. Mapa aéreo de las Salinas Flor de Sal, Biomaris.	81
Ilustración 32. Esquema simplificado de propuesta de instalación.	82
Ilustración 33. Esquema simple de balsa de cristalización.	86
Ilustración 34. Irradiación solar anual en Isla Cristina.	87
Ilustración 35. Esquema simplificado dorla de la primera etapa.	90
Ilustración 36. Decantación según salinidad de la salmuera.	91
Ilustración 37. Esquema simplificado dorla segunda etapa.	93
Ilustración 38. Comportamiento de la densidad frente a salinidad.	95
Ilustración 39. Relación entre volumen evaporado y densidad media del agua.	95
Ilustración 40. Inclinação de un panel fotovoltaico.	106
Ilustración 41. Representación del ángulo α	107
Ilustración 42. Curvas de la entalpía de la salmuera frente a temperatura.	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de estado de la sal, ubicación y método de obtención.	41
Tabla 2. Producción mundial de sal, años 2016 y 2017 (miles de toneladas).....	43
Tabla 3. Producción de sal común en la UE entre los años 2012 y 2014 (toneladas)....	44
Tabla 4. Destino de la sal según su origen (toneladas).	51
Tabla 5. Salinas artesanales españolas con cierto valor de patrimonio.	57
Tabla 6. Temperaturas máximas y mínimas (en °C) entre 2013 y 2017, Huelva.	71
Tabla 7. Cantidad de agua evaporada por incremento y total, 80°C (1).....	97
Tabla 8. Cantidad de agua evaporada por incremento y total, 80°C (2).....	98
Tabla 9. Resumen de la producción en los meses de lluvias.....	103
Tabla 10. Potencia total diaria.....	104
Tabla 11. Horas solar pico mensual en Isla Cristina.	109
Tabla 12. Ventas anuales.....	115
Tabla 13. Estimación de costes.....	127
Tabla 14. Producción de sal marina por comunidades autónomas (toneladas).....	131
Tabla 15. Producción de sal manantial por comunidades autónomas (toneladas).....	132
Tabla 16. Producción de sal gema por comunidades autónomas (toneladas).	133
Tabla 17. Resumen de la producción de sal, año 2016.	133
Tabla 18. Salinidad, densidad y volumen del agua (1).	136
Tabla 19. Volumen evaporado y densidad media del agua (1).	137
Tabla 20. Salinidad, densidad y volumen del agua (2).	138
Tabla 21. Volumen evaporado y densidad media del agua (2).....	139
Tabla 22. Coeficiente K_{β} según latitud e inclinación.	139

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Volumen de salmuera en cristizador (m^3).....	86
Ecuación 2. Concentración final en evaporación forzada.	88
Ecuación 3. Cambio de concentración.	88
Ecuación 4. Tamaño dorla de la etapa primera.....	89
Ecuación 5. Tamaño dorla de la etapa primera.....	92
Ecuación 6. Volumen de agua que debe evaporarse (L).	93
Ecuación 7. Cantidad de agua que debe evaporarse en kilogramos.....	96
Ecuación 8. Densidad media del agua en un incremento.	96
Ecuación 9. Volumen evaporado en un incremento.	96
Ecuación 10. Energía necesaria para cambio de concentración.	98
Ecuación 11. Potencia para cambio de concentración.....	99
Ecuación 12. Potencia para cambio de temperatura.	100
Ecuación 13. Potencia útil de una bomba.	101
Ecuación 14. Potencia eléctrica para bombeo.	102
Ecuación 15. Rendimiento global de la instalación.	104
Ecuación 16. Ángulo de inclinación.	106
Ecuación 17. Expresión para el cálculo de HSP.	107
Ecuación 18. Coeficiente para corregir efectos atmosféricos.....	108
Ecuación 19. Consumo diario en Ah.....	109
Ecuación 20. Consumo total diario por módulo en Ah.	110
Ecuación 21. Número total de paneles fotovoltaicos.	111
Ecuación 22. Consumo diario del acumulador en Ah.....	111
Ecuación 23. Número total de baterías.....	111

Ecuación 24. Carga del regulador.....	112
Ecuación 25. Potencia del inversor.....	113
Ecuación 26. Inversión total.	115



MEMORIA

CAPÍTULO I: JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

1.1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto aborda el problema que sufren las salinas artesanales por no ser competentes en el mercado, debido a que su volumen de producción es inferior al de las salinas industriales. Esto en la mayoría de los casos genera el abandono de las salinas, lo que supone una pérdida para el patrimonio nacional de este tipo de paisaje cultivado desde los principios de la humanidad.

Se conoce que la industria salinera interviene en la economía por los múltiples usos de la sal y muchas regiones de España están implicadas en este sector. Gracias a las condiciones climáticas e hidrogeológicas del país, es la región de Europa con salinas de interior que aplican técnicas de evaporación en la obtención de la sal. Si se observa el territorio nacional es Andalucía la autonomía con más zonas salineras, tanto costeras como de interior. Por ello se toma como caso de estudio una salina de esta comunidad autónoma.

La elegida es “Flor de Sal Salinas de Biomaris” por ser una de las salinas artesanales que perviven de todas las que, se ubicaban en las marismas que existen entre Isla Cristina y Ayamonte. Su interés por permanecer en el mercado, le han llevado a la innovación sacando nuevos productos y realizando actividades. Al ser salinas de evaporación solar solo producen durante una época del año. Por lo tanto, que mejor aportación que ofrecer una solución para que se pueda ampliar la obtención de sal a todos los meses del año.

Este proyecto también está motivado por un aspecto muy importante que se desarrolla en estas instalaciones, la sostenibilidad. Según el Informe Brundtland, *la sostenibilidad se entiende como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas.*

La sostenibilidad atiende a aspectos económicos, sociales y medioambientales. Biomaris tiene en cuenta los tres, luchando por la producción de sal para obtención de beneficios

económicos, generando empleo en la época de producción y realizando actividades culturales y relacionadas con la salud humana. Por último, desde esta empresa familiar, se cuida con mimo toda la naturaleza propia del ecosistema generado en las marismas salinas.

1.1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo fundamental del proyecto es conseguir que la producción de la salina artesanal de Isla Cristina pueda ser anual y no afecte a la sostenibilidad alcanzada actualmente por la empresa. Para ello es necesario plantear de forma más específica los siguientes objetivos:

1. Intentar explotar al máximo el sistema de evaporación de las instalaciones actuales, en otros términos, aprovechar la radiación solar para aumentar la concentración de la salmuera lo que sea posible.
 - 1.1 Necesario conocer el mapa solar de la zona y número de días nublados.
 - 1.2 Conocer los vientos de la zona durante todas las estaciones del año, pues es una condición necesaria para la evaporación del agua. Determinar si las nuevas instalaciones necesitaran ventilación.
 - 1.3 Estudio sobre las lluvias de Isla Cristina y como afectan a la concentración de la salmuera en las balsas de cristalización. Para ello se emplea bancos de datos climatológicos de varios años.
2. Estudio de posibilidades existentes para proteger la salmuera de las precipitaciones una vez que alcanza la concentración adecuada, evitando que se interrumpa el proceso de cristalización de la sal.

3. Determinar de qué forma se va a llevar a cabo el aporte calorífico para la obtención de la sal y que cantidad de este es necesario. Sólo se contemplan energías renovables económicamente viables para una instalación como la que se encuentra bajo estudio. Predomina la necesidad de ser una empresa independiente.
4. Estudio de viabilidad económico para conocer si las nuevas posibles nuevas instalaciones son rentables o no.

CAPÍTULO II: INTRODUCCIÓN

El cloruro sódico (NaCl) conocido también como sal, es una sustancia procedente de la naturaleza en forma de roca o disuelta en el agua de la Tierra, con diferentes concentraciones según la procedencia de esta última.

La Real Academia Española de la Lengua (RAE) define la sal (del latín sal) como *sustancia, consistente en cloruro sódico, ordinariamente blanca, cristalina, de sabor propio, muy soluble en agua, que se emplea para sazonar y conservar alimentos, es muy abundante en las aguas del mar y también se encuentra en la corteza terrestre.*

Los primeros datos sobre extracción de sal se ubican en Rumanía durante el Neolítico temprano, se cree que es el yacimiento más antiguo aproximadamente de unos 4000 - 3300 a.d.C. En Asia, se encuentra una de las primeras salinas cuyo uso era la alimentación humana, data de 2670 a.d.C. [1] y se ubica en la provincia de Shanxi (China), su explotación comienza en tiempos del emperador Huangdi. En occidente, los egipcios incluían la sal en ritos funerarios, como la momificación, y si eran maestros del comercio, fueron auténticos innovadores en la exportación de alimentos en salazón.

La conservación de los alimentos gracias a la sal fue relevante durante los periodos de escasez permitiendo proveer a la población de alimento, y en épocas de guerra en diferentes territorios, permitió el abastecimiento de los ejércitos durante largas temporadas.

En el ámbito económico la sal, también conocida como oro blanco, tiene un papel protagonista desde hace mucho tiempo. En el imperio romano, uno de los usos de la sal fue la retribución al trabajo, de este hecho procede el término salario. Durante la Edad Media en gran parte de Europa, se estableció un impuesto relacionado con la sal, recibió el nombre *gabelle* en Francia y obligaba a todos los ciudadanos a comprar una determinada cantidad de esta. Generó desigualdades entre la población debido a la existencia de estamentos exentos del impuesto, dando lugar al contrabando de sal.



Ilustración 1. Rutas comerciales de la sal a principios de la Edad Moderna.

Fuente: "Salinas de Andalucía", Junta de Andalucía y Universidad de Cádiz.

El comercio de este elemento tan preciado dio paso a las rutas de la sal, considerados todos aquellos caminos que, se usaron en la antigüedad para transportar el cloruro sódico a las zonas donde las condiciones no eran óptimas para su producción. Una de estas rutas fue creada por los romanos y se denomina vía salaria.

En España, el esplendor salinero alcanza su máximo en el siglo XVIII con Carlos III, modernizó las instalaciones y aumentó considerablemente la productividad de las explotaciones salineras. Mas tarde, llegó el declive de la producción que se frenó de algún modo con la aprobación de la ley de desestanco de la sal en 1869. Esta ley permitió la privatización de las salinas pues el Estado ya no podía hacer frente a tantas explotaciones. En definitiva, desde hace muchos siglos la sal ha intervenido y lo sigue haciendo en diferentes aspectos de la vida.

No solo se puede hacer referencia a la influencia de la sal sobre la vida humana. Su producción favorece el desarrollo de paisajes y ecosistemas que de otro modo no serían posibles. Es necesario poner en valor su contribución al medio ambiente, sobre todo cuando la forma de extracción es completamente artesanal, pues en este caso genera

impacto sobre el medio modificando el paisaje, pero aportando un gran valor y favoreciendo la biodiversidad. El impacto en este caso es positivo.

1.2.1 USOS ACTUALES DE LA SAL

Hoy en día, el mayor consumidor de cloruro sódico es la industria química. Esta actividad consume más de la mitad de la producción, le siguen el uso por parte de la población humana y el empleo para el deshielo. En España, la aplicación de sal en diferentes campos se distribuye, aproximadamente, como se refleja en el siguiente gráfico de la ilustración 2.

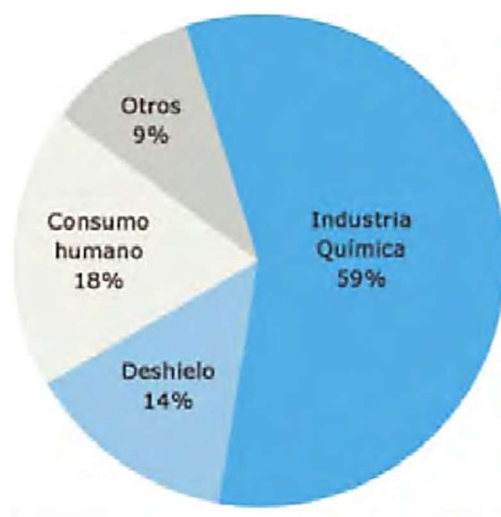


Ilustración 2. Reparto de las aplicaciones de la sal.

Fuente: "Sal para industria", Unión Salinera.

Industrial

Un gran consumidor de sal es la industria química, pues la utiliza en los procesos de producción de más del 50% de sus productos [2]. Existen dos compuestos básicos en dicha industria, el cloro y la soda cáustica, no aparecen tal cual en la naturaleza y ambos se obtienen a partir de una salmuera de cloruro sódico. El primero se emplea en la elaboración de plásticos como el policloruro de vinilo (PVC), medicamentos y

fitosanitarios entre otros. El segundo se utiliza, por ejemplo, para la fabricación de papel, fibras y detergentes.

La sal desenvuelve un papel importante en el tratamiento de aguas, para modificar su dureza e intervenir en la desinfección mediante el cloro. Otras de sus aplicaciones son la exploración de petróleo y gas, la industria textil y las curtidurías.

Alimentación

El uso de la sal como condimento es posiblemente el más conocido. La evolución de la industria gastronómica como una de las primeras opciones de ocio, sitúa a los productos alimenticios y entre ellos a la sal, en un nivel donde se exige calidad y variedad.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda ingerir una cantidad inferior a 5 gramos de sal al día en adultos, ya que un exceso puede favorecer la aparición de problemas cardiovasculares, cerebrovasculares y alta tensión arterial. Sin embargo, el consumo en la medida apropiada tiene múltiples beneficios sobre la salud como, por ejemplo: favorece una digestión adecuada pues estimula las glándulas salivales y la creación de jugos digestivos, ayuda a reducir la congestión del sistema respiratorio, colabora para evitar la osteoporosis e interviene en el movimiento de los músculos.

Se pueden distinguir distintos tipos de sal para el consumo humano según su forma de extracción, como pueden ser la flor de sal o la sal de escamas. La flor de sal es por excelencia la sal gourmet, es la más valorada pues conserva todas las propiedades al no recibir tratamiento posterior a su recogida. Su extracción se realiza de forma manual y está constituida por los primeros cristales que aparecen en la superficie de la salmuera (agua con un elevado contenido en sal) y que aún no han precipitado al fondo de las balsas donde se obtienen.

También hay clasificación de este condimento según su procedencia. Ejemplo de ello son, la sal de Himalaya (conocida como sal rosa, por su color) procede de Pakistán, la sal negra de origen volcánico (procedente de Hawái), la sal Maldon (sal de escamas) procedente de Inglaterra y la sal procedente de la India (denominada Kala Namak)

también de color negro por su contenido rico en sulfatos. El uso de un tipo u otro radica en las propiedades de cada una, pues algunas tienen más poder de salar que otras y según el tipo de cocinado es más adecuado el grano fino o grueso.



Ilustración 3. Diferentes tipos de sal destinada a la alimentación.

Fuente: “Entenda os diferentes tipos de sal”, www.quiadasemana.com.br.

Además, la sal se emplea para controlar el grado de fermentación en lácteos y masas (panadería y pastelería) así como en la conservación de alimentos, encurtidos y salazones. El pienso destinado a los animales incorpora la sal como ingrediente.

Deshielo

Uno de los principales objetivos de cualquier país o empresa es ser productivo durante todo el año. Con la llegada del invierno, el mantenimiento de las carreteras en condiciones óptimas para el transporte es fundamental. El modo más económico para llevar a cabo el deshielo es con cloruro sódico o con salmuera.

Su aplicación es sencilla y hay alta disponibilidad. Una vez disuelta la sal en el agua, baja la temperatura de congelación de esta y es más eficaz si se emplea antes de que aparezca el hielo.

1.2.2 OBTENCIÓN DE LA SAL

La producción de sal depende del estado en el que se encuentra el recurso y de las condiciones geográficas y meteorológicas de su ubicación. Plinio, naturalista y geógrafo, en su obra *Naturalis Historia* hace referencia a dos tipos de sal, nativa natural de montañas, lagunas, fuentes, ríos y de la espuma del mar, y por otro lado sal artificial extraída por el hombre mediante el empleo de diferentes técnicas.

1.2.2.1 Estado y ubicación del recurso

La sal en estado sólido se conoce como sal roca o sal gema. Su explotación no depende en gran medida de las condiciones climatológicas, a diferencia de cuando se encuentra en estado líquido. La ubicación propia de este estado es la mina o yacimiento de halita, también denominada mineral de cloruro sódico, que se encuentra en el subsuelo.



Ilustración 4. Minas de sal de Cardener, Barcelona.

Fuente: "La montaña de sal de Cardener", www.espacioural.com.

En estado líquido, la sal recibe el nombre de salmuera. La climatología cuenta con un papel importante para la evaporación del agua y obtener así el grano o cristal de sal. En este caso la salmuera puede obtenerse de distintas ubicaciones:

Salina costera: instalación que aprovecha la cercanía del mar o incluso las marismas de la costa para abastecerse del agua del mar. La salmuera puede llegar a la instalación a través del bombeo o bien de forma natural (mareas, mareas vivas, filtraciones y tempestades). Un ejemplo de ello son las salinas de Bonanza, situadas entre Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) y el Coto de Doñana (Huelva), aprovechan las marismas en la desembocadura de río Guadalquivir.

Salina de manantial: situada generalmente en el interior, aprovecha el agua salada subterránea que, en el caso más sencillo, alcanza la superficie de manera natural o bien mediante bombeo. En este último caso se pueden emplear pozos cercanos.



Ilustración 5. Salinas de oro, manantial natural, Navarra.

Fuente: www.seldespyrenees.com.

Laguna salada: agua salada del subsuelo que alcanza la superficie de modo natural o resultante de la evaporación de la escorrentía. El fluido se deposita sobre la superficie con un espesor pequeño permitiendo que la evaporación solar genere una costra de sal, pudiéndose recoger directamente. En otros casos se emplean balsas de cristalización (superficie donde tiene lugar la última etapa de producción de la sal, en la que se lleva a cabo la formación del grano de sal debido a la elevada concentración de la salmuera).

1.2.2.2 Métodos de obtención

Evaporación solar

La evaporación del agua tiene lugar gracias a la acción del sol, aportando calor, y a la acción del viento que permite que se seque la salmuera. Es necesaria la ausencia de precipitaciones, para que una vez reducida la salmuera no disminuya su concentración. Por ello en algunos lugares se puede llevar a cabo la explotación de las salinas mediante invernadero, que permite proteger de chubascos o del relente, siempre que favorezca la evaporación y la ventilación. Este método se puede aplicar a agua procedente del mar, de manantial y a la salmuera resultante de la disolución de sal gema.

Evaporación forzada o Ígnea

Tiene lugar a partir de algún combustible, renovable o no, que proporcione calor a la salmuera. Se realiza en recipientes metálicos, pudiendo estar protegidos de la lluvia, lo que permite una independencia de la meteorología, facilitando una producción de sal durante todo el año. Del mismo modo que en la evaporación solar, se puede aplicar a agua procedente del mar, de manantial y de disolución de sal roca. Un ejemplo de salina donde se producía sal de esta forma es las Salinas de Léniz en Guipúzcoa.

Vacuum

Proceso de termo-compresión, de evaporación en condiciones de vacío. Trata de aplicar a la salmuera calor de forma externa y reducir la presión para disminuir el punto de evaporación del agua, obteniendo así los cristales de sal con una concentración elevada. Es un proceso industrial. En España, uno de los lugares donde se produce sal mediante este método es en Jumilla, Murcia (Jumсал).

Minería

Obtener sal a partir de su estado sólido se puede llevar a cabo a través de técnicas clásicas de minería cuando el recurso se encuentra bajo suelo. Sin embargo, si la sal aparece en la superficie se aplican procedimientos de minería a cielo abierto. Otro

método es la disolución de la sal gema mediante la inyección de agua y su posterior bombeo y evaporación, esta última puede ser solar, forzada o vacuum.

Otros métodos para obtener sal son la combustión y posterior disolución (a partir de plantas empapadas en agua salada), lavado de arenas y la evaporación eólica o graduación, aunque son muy minoritarios o ya inexistentes.

Cabe destacar que hay salinas que utilizan varias de las técnicas definidas en la producción de sal. Ejemplo de ello las salinas de Jumsal (Jumilla, Murcia), pues extraen la sal utilizando la disolución de halita mediante inyección de agua en cavidades estables y posteriormente emplean evaporación solar a una parte y vacuum a otra.

Estado	Ubicación		Método
Sólido	Mina		Disolución y evaporación
			Técnicas clásicas
			Técnicas minería a cielo abierto
Líquido	Salina costera	Salmuera	Evaporación solar
	Salina de manantial		Evaporación forzada
	Laguna salada		Vacuum

Tabla 1. Resumen de estado de la sal, ubicación y método de obtención.

Fuente: Elaboración propia.

A su vez los procesos de obtención se pueden clasificar según el nivel de industrialización empleado. Es posible distinguir entre: industrial (gran escala y empleo de maquinaria), semi-industrial (intervención de maquinaria, pero a pequeña escala), artesanal (el trabajo se realiza a mano) y por último primitiva (producción de sal de forma natural sin necesidad prácticamente de la intervención humana).

La intervención de maquinaria en la recogida de la sal implica posiblemente la cosecha de elementos no deseados como restos de vegetación o impurezas. Esto obliga a tratar la sal mediante refino, obteniendo 99% de cloruro sódico. El refino también se emplea porque la sal de los cristalizadores incluye otras sales que restan pureza. Si no se aplicara este tratamiento la pureza de la sal estaría entre 94% y 97%, por debajo de la normativa

recogida en el Real Decreto 1424/1983, de 27 de abril. Sin embargo, con el Real Decreto 1634/2011, de 14 de noviembre, se permite un nivel de pureza de este grado para la flor de sal.



Ilustración 6. Salinas de Bonanza, vista desde Sanlúcar de Barrameda.

Fuente: “Cerro del Águila”, el blog de Manuel, www.rutasyfotos.com.

En caso de necesidad de aplicar refino tras la extracción, se pierden oligoelementos propios de la sal. Se establece en la ley vigente, de obligado cumplimiento añadir yodo y flúor.

1.2.3 CIFRAS INTERNACIONALES Y NACIONALES

1.2.3.1 La sal a nivel global

La explotación de aquellos lugares, donde es posible la obtención de la sal, es una actividad extendida en todo el planeta. La producción de esta contribuye a la economía y a la industria, y en cierto modo queda ligada al aumento de la población.

En la actualidad, el mayor productor de sal es China con 68 millones de toneladas en el año 2017, lo que supone un 24'28% de la producción mundial. Sin embargo, hasta el año 2004 el primer puesto lo había ocupado Estados Unidos con una cifra de 45'1 millones de toneladas, año en el que China produce 34 megatoneladas. En el año 2005 las producciones se igualan y es en el año 2006 cuando el gigante asiático comienza a distanciarse de USA. El año pasado la diferencia entre ambos fue de 25 millones de toneladas.

PAÍS	2016	2017
China	67 000	68 000
Estados Unidos	42 000	43 000
India	25 000	26 000
Canadá	14 000	13 000
Alemania	12 000	13 000
Chile	12 000	12 000
Australia	11 000	11 000
Turquía	11 000	11 000
México	8 800	9 000
Brasil	7 600	7 500
Francia	6 000	6 000
Reino Unido	5 000	5 000
España	4 300	4 300
Polonia	3 500	3 500
Otros	45 000	45 000
Total mundial	270 000	280 000

Tabla 2. Producción mundial de sal, años 2016 y 2017 (miles de toneladas).

Fuente: Statistics and Information, Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), <https://minerals.usgs.gov>.

Canadá cuenta con tres grandes yacimientos de sal ubicados en Ontario y en las provincias del Atlántico. En México, su principal empresa dedicada a la obtención de sal, Exportadora de Sal SA (ESSA), lleva a cabo la explotación de la salina más grande del mundo con capacidad para producir 7'5 millones de toneladas al año.

En Europa, España se encuentra entre las primeras posiciones de países productores de sal común. Según datos hasta 2014, la producción española supone un 8'38% de la europea. En primera posición se encuentra Alemania con un 26'6%.

PAÍS	2012	2013	2014
Alemania	14 646 485	17 389 096	13 330 692
Países Bajos	6 513 000	6 518 000	6 485 000
Francia	6 850 000	6 300 000	6 300 000
Reino Unido	6 460 000	6 930 000	5 000 000
Polonia	3 524 700	4 056 000	4 265 085
España	4 108 662	4 309 839	4 200 000
Bulgaria	2 100 000	2 000 000	3 300 000
Italia	2 862 440	3 543 881	3 200 000
Rumanía	2 338 749	2 397 398	2 058 292
Austria	958 187	1 115 410	1 154 309
Dinamarca	600 000	600 000	600 000
Grecia	189 500	189 500	146 402
Portugal	473 095	473 095	69 702
Malta	6 000	6 000	6 000
Total UE	51 703 803	55 847 279	50 115 482

Tabla 3. Producción de sal común en la UE entre los años 2012 y 2014 (toneladas).

Fuente: "Panorama minero 2016", Instituto Geológico y Minero de España.

Por otro lado, no solo hay que tener en cuenta los ingresos que se obtienen a partir de la elaboración de sal sino también de los ingresos que aportan las actividades realizadas en relación con la sal (visitas turísticas, culturales, pedagógicas, alta cocina, etc.). En el panorama mundial existen muchas explotaciones de este tipo que ya no se dedican a esta actividad como tal, bien porque han sido abandonadas o porque en el caso de los yacimientos de halita se haya agotado el recurso.

Un ejemplo muy claro sobre esta situación se encuentra en Colombia. Las instalaciones de Zipaquirá, que antiguamente producían sal a partir de sal roca mediante disolución. Hoy son la Catedral de la Sal y el Parque de la Sal, las que aprovechan todas las zonas de la antigua mina para ofrecer diversos servicios. Por ejemplo, en la Catedral se pueden realizar expediciones, con el material adecuado, a una profundidad de 180 metro bajo suelo y conocer las diferentes capas geológicas. Se ofrecen experiencias religiosas a través de las catorce estaciones del vía crucis talladas sobre rocas de sal y en el Parque se realizan visitas pedagógicas y se celebran actividades deportivas.



Ilustración 7. Interior salinas de Zipaquirá.

Fuente: Parque de la sal de Zipaquirá, www.catedraldesal.gov.co.

1.2.3.2 La sal en el territorio español

La Península Ibérica contiene una gran reserva de paisajes y patrimonio relacionado con la sal, no solo a nivel europeo sino también a escala mundial. Antes de realizar un análisis sobre la producción del cloruro sódico en España, la cantidad anual y su distribución en las distintas aplicaciones, es necesario conocer el motivo por el cual hay una gran extensión adecuada para la extracción de sal.

España cuenta con una cantidad considerable de kilómetros de costa. Estas zonas, por su proximidad al mar, tienen más posibilidades de convertirse en lugares aptos para la obtención de sal. Dichas áreas también están favorecidas por la presencia de estuarios y marismas.

Por otro lado, se hallan muchas salinas de interior y gran parte de ellas de origen marino. Esto se debe a que *200 millones de años atrás durante el Triásico Superior* [3], parte de la Península Ibérica, concretamente la zona occidental, estaba inundada por el Mar de Tethys.

El Triásico Superior o Tardío es la última etapa del Triásico, que a su vez constituye la última época del Mesozoico. Este último es una división de la escala temporal geológica,

conocida también como la Era Mesozoica o Era Secundaria, sus dos primeros periodos son, en orden cronológico, el Cretácico y el Jurásico.

Con el paso del tiempo se fueron conformando capas, muy ricas en sales, depositándose sobre el suelo con diferentes grosores. Esto se debe a ciclos de evaporación y reinundación del territorio. Posteriormente, como consecuencia de desplazamientos tectónicos, estas capas se fragmentaron y cierta proporción quedó cerca de la superficie.

La facilidad de explotación se debe a dos circunstancias. La primera, surgen manantiales de agua salada gracias a la existencia de capas freáticas por debajo de las sales. La segunda, debida a la halocinesis o halotectónica, ascensión por el subsuelo de una bolsa de sal o diapiro por ser más plástica y ligera que los elementos de su alrededor.

Las comunidades autónomas, que constituyen la zona donde tuvo lugar la evaporación de forma sucesiva durante el Triásico son: Andalucía, Cataluña, Comunidad Valenciana, Navarra, Murcia, Castilla La Mancha y País Vasco.

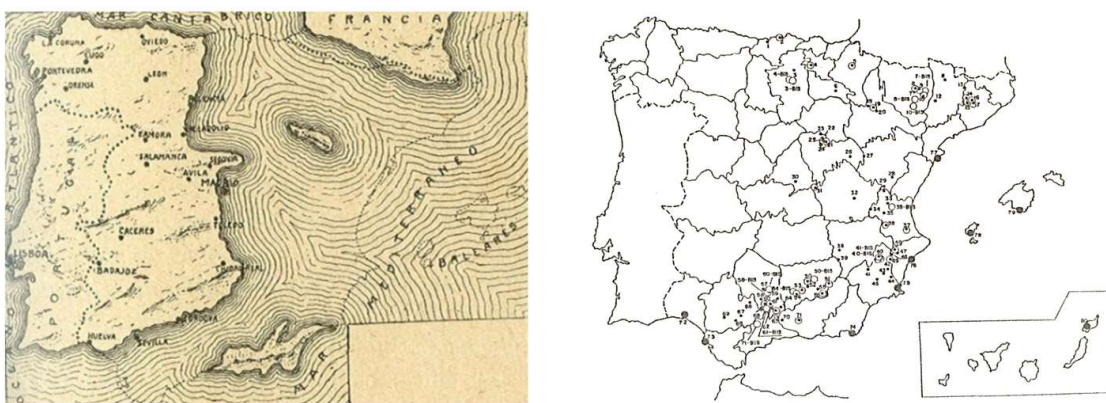


Ilustración 8. Comparación de la Península Ibérica.

Fuente: "Las salinas de interior", Los Paisajes Ibéricos de la Sal, Jesús-F Carrasco Vayá y Katia Hueso Korteaga.

En la ilustración 8 hay dos imágenes, la situada en la izquierda refleja las inundaciones sufridas en lo que hoy sería Península Ibérica durante el Triásico Superior. En la derecha, se plasma la situación en el año 1995, ubicando las salinas activas en aquel entonces. Se observa que gran parte de las explotaciones destinadas a la obtención de sal se encuentran en la zona que algún día fue ocupada por el Mar de Tethys.

Producción de sal

El Gobierno de España publicó en 2016 un informe denominado “Estadística Minera Anual 2016”, donde se refleja que el valor de la producción de minerales industriales es de 758 millones de euros. Este grupo de minerales incluye la sal gema y la sal marina, contribuyendo la sal con un 14% de la producción. Esto implica que la sal aporta de forma anual 106'12 millones de euros aproximadamente.

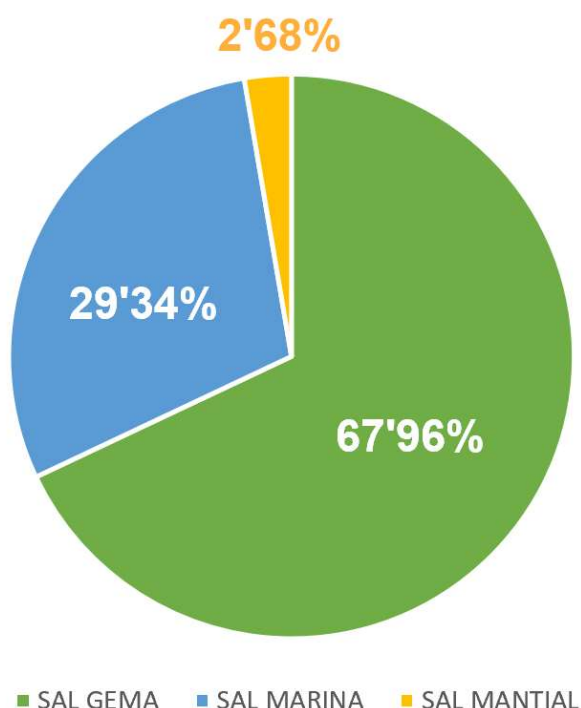


Ilustración 9. Reparto de la producción española de 2016 según tipo de sal.

Fuente: Elaboración propia a partir de conjunto de datos, datos abiertos del Ministerio, MINERVA.

Las sales producidas en España pueden tener su origen en estado sólido, en este caso sal gema. En estado líquido, pueden proceder del mar llamadas sales marinas u obtenidas a partir de manantiales llamadas tal y como indica su procedencia, sal manantial. Como indica en la ilustración 9, gráfico referido al año 2016, más de la mitad de la producción es constituida por sal gema, seguida de la sal marina que supone menos de la tercera parte de la primera. Por último, la sal manantial con un porcentaje muy inferior al de los otros dos tipos de sal.

Sin embargo, no todas las comunidades autónomas del territorio nacional cuentan con la posibilidad de extraer cloruro sódico. Teniendo en cuenta que se producen tres tipos de sales según su procedencia, se muestra a continuación un análisis de producción por comunidades autónomas y provincias, de la fecha más reciente de la que se tienen datos (año 2016). El conjunto de datos completo se puede examinar en el anexo de tablas (Producción de sal en España por comunidades autónomas (2012-2016)).

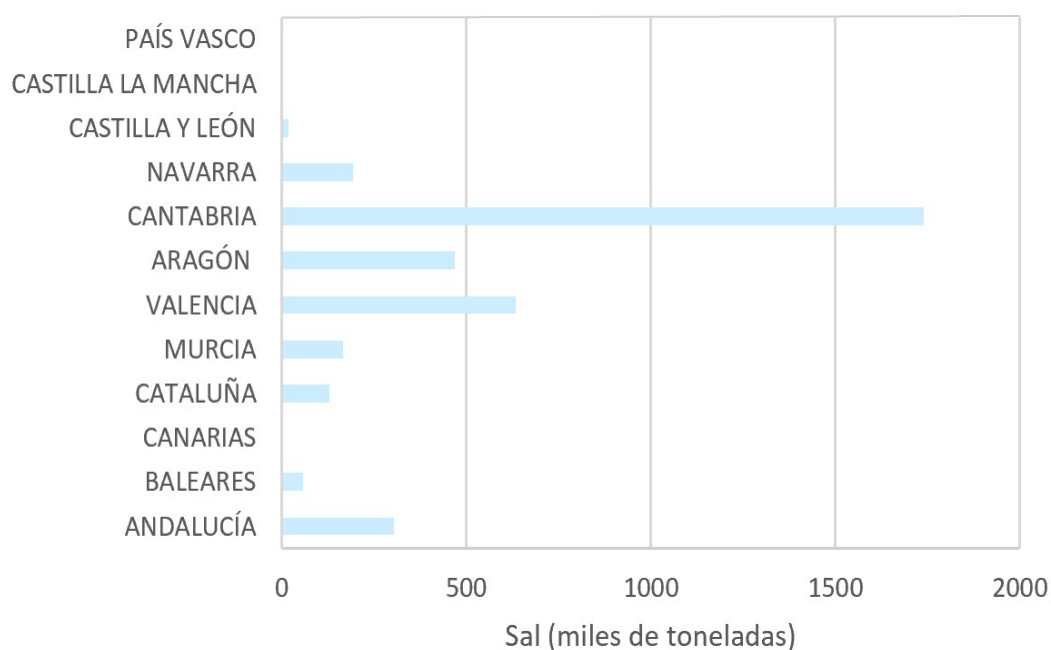


Ilustración 10. Producción total de sal de 2016 por CCAA.

Fuente: Elaboración propia a partir de conjunto de datos, datos abiertos del Ministerio, MINERVA.

La comunidad autónoma que se clasifica como mayor fabricante de sal es Cantabria, todo el cloruro sódico que se obtiene en esta comunidad es sal gema y ronda una cifra de 1'74 millones de toneladas. Aunque no se aprecia en el gráfico de la ilustración 8, País Vasco, Castilla La Mancha y Canarias si tiene explotaciones de sal, pero sus cifras son pequeñas con respecto a las demás.

En Canarias la sal que se obtiene es marina, aproximadamente 200 toneladas anuales, y su extracción tiene lugar en Las Palmas. En el País Vasco la explotación de sal se realiza en Álava, mientras que en Castilla La Mancha tiene lugar en Cuenca. En estas dos últimas

localizaciones la sal es de manantial y las cifras son de 50 y 3000 toneladas respectivamente.

Baleares es otra de las comunidades con menor producción junto con Castilla y León. En la primera localización la sal es marina y la obtención se sitúa en 58 miles de toneladas. Por parte de Castilla y León, son Burgos y Soria las productoras de sal manantial donde la primera provincia triplica la elaboración de la segunda.

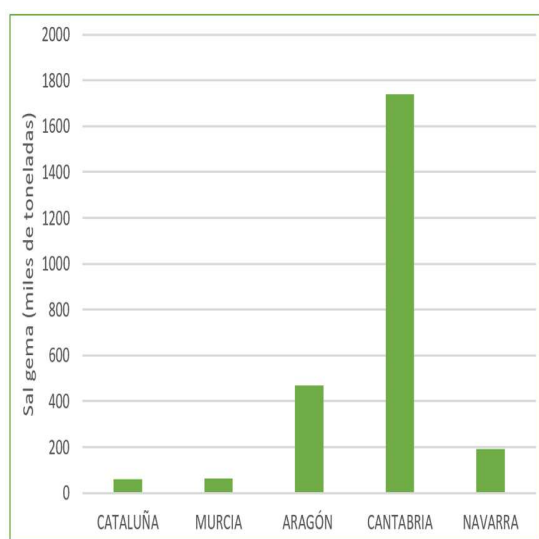


Ilustración 11. Producción sal gema por CCAA 2016.

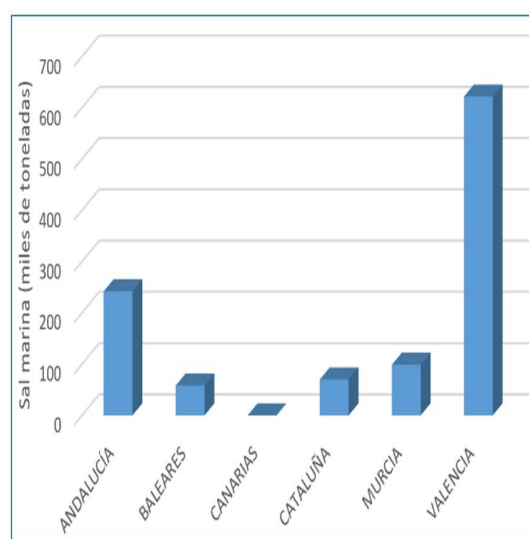


Ilustración 10. Producción sal marina por CCAA 2016.

Fuente: Elaboración propia a partir de conjunto de datos, datos abiertos del Ministerio, MINERVA.

En Cataluña se produce sal marina en la provincia de Tarragona y sal gema en Barcelona, siendo la obtención de la que proviene del mar mayor que la cantidad en estado sólido. En Murcia también se elabora de ambos tipos, ocurriendo lo mismo que en Cataluña respecto a la cantidad entre ambas. Esta última comunidad es la única que produce sal de los tres tipos estudiados.

Aragón solo se dedica a la sal gema, es la segunda comunidad con mayor producción de este tipo de sal, realizando su actividad en Huesca y Zaragoza. Por otro lado, Navarra aporta no solo en sal roca, también lo hace en sal manantial. Valencia elabora sal

manantial y marina, de esta última es su mayor productor con un valor cercano a 622 miles de toneladas.

La comunidad autónoma más al sur de la Península Ibérica es el segundo creador de sal marina, desarrolla esta actividad en Cádiz, Huelva y Almería. Pero también tiene explotaciones de sal manantial en Córdoba, Jaén y Sevilla. En cuanto a este último tipo de sal, Andalucía es su mayor productora y Sevilla se posiciona como primera provincia con aproximadamente 58 miles de toneladas.

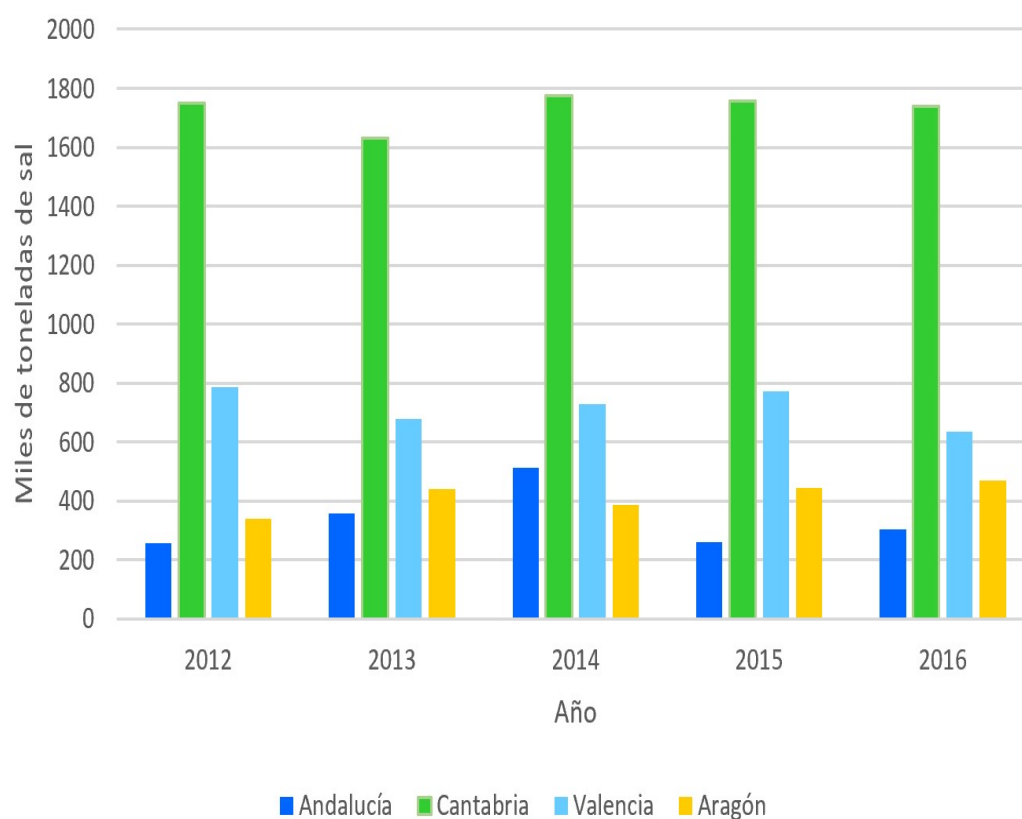


Ilustración 12. Evolución de la producción de sal, 2012 a 2016.

Fuente: Elaboración propia a partir de conjunto de datos, datos abiertos del Ministerio, MINERVA.

Las comunidades que más sal producen son Cantabria, Valencia, Aragón y Andalucía. La evolución de la producción entre 2012 y 2016 es notable en las tres últimas mientras que la primera no sufre grandes cambios.

En cuanto a la producción artesanal en España, el ingreso económico que realiza es una proporción pequeña de la producción total. Sin embargo, la actividad de las salinas

artesanales lleva a cabo una importante aportación desde el punto de vista de la sostenibilidad, ya que asegura actividades culturales y genera empleo. En el ámbito económico, aporta sales con un valor añadido, las sales gourmet, que puede llegar a superar considerablemente el precio de la sal común.

En España, la sal tiene distintos destinos pues no solo la producción nacional se consume dentro del territorio, también se exporta. Según el Instituto de la Sal, basándose en datos del Ministerio de Industria del año 2008, el reparto de la sal es el que se muestra en la siguiente tabla.

ORIGEN	DESTINO			
	Exportación	Alimentación	Industria Química	Otros
Sal Gema	505 951	24 526	1 901 927	2 732 863
Sal Manantial	9 551	36 550	2 160	115 862
Sal Marina	452 482	239 878	177 600	1 468 614

Tabla 4. Destino de la sal según su origen (toneladas).

Fuente: "Mercado nacional de la sal y destino de su producción", Instituto de la Sal.

Cuando se habla de otros como destinos pueden ser muchos. Es curioso que solo hay una autonomía de la que no se conocen lugares adecuados para obtener sal, y tenga este elemento como unos de los condimentos principales de su producto estrella. Es el caso de Extremadura y el jamón ibérico.

Siendo una de las elaboraciones más demandadas desde Japón, el jamón ibérico experimenta un proceso de curación elaborado que lleva incluso años. Una vez extraído del cerdo Ibérico, se perfila y sumerge en sal tantos días como kilogramos de peso tenga. El cloruro sódico que lo envuelve debe estar continuamente hidratado, por ello se emplean humificadores que mantienen la humedad cerca del 90%. Conforme pasa el tiempo el jamón va soltando el agua que contiene y a su vez absorbe la salmuera.

Poco a poco la sal va penetrando la parte magra hasta repartirse de manera uniforme, esto se consigue 90 días después, teniendo en cuenta que un peso habitual es entre 6 y

7 kilogramos y por lo tanto son 6 o 7 días los que pasa envuelto en cloruro sódico. Así pues, la relación entre ambos productos es íntima y necesaria.

Principales empresas productoras

La facturación total de las empresas que pertenecen al ámbito de la extracción de la sal es aproximadamente 146'56 millones de euros. A continuación, se lleva a cabo un análisis de las diez empresas mejor posicionadas de acuerdo con sus ingresos (últimos datos registrados de 2016), en el ranking sectorial correspondiente. El orden de descripción establecido indica la posición que ocupa en el ranking desde la primera posición a la décima, excepto en el caso del cuarto puesto que se explica con el primero.

UNION SALINERA DE ESPAÑA SA

Queda aglutinada junto con Nueva Compañía Arrendataria de las Salinas de Torrevieja SA, bajo el nombre Salins Ibérica. Explotan zonas situadas en Cabo de Gata (Almería) y dominan las técnicas más punteras, avalada por la certificación ISO 9001. Unión Salinera de España SA tiene como objeto social producción y venta de sal, una producción aproximada de 3'7 millones de toneladas anuales y unas ventas por el valor de 37'36 millones de euros.

A su vez Nueva Compañía Arrendataria de las Salinas de Torrevieja SA, presenta como objeto social la explotación de las lagunas de Torrevieja. Cuenta con unas ventas anuales de 10'9 millones de euros y ocupa la cuarta posición del ranking.

IBERICA DE SALES SA

Su objeto social es la extracción y distribución de sal, y tiene ventas por el valor de 12'42 millones de euros anuales. En el año 2014 pasó a formar parte del Grupo Minersa y sus productos tienen como destino la nutrición animal, la viabilidad invernal y la

descalcificación. Son líderes a nivel nacional en los mercados relacionados con los dos primeros destinos.

COMPAÑÍA ESPAÑOLA DE INVESTIGACIÓN Y FOMENTO MINERO SA

Se dedica a producir la sal, su envasado y comercialización tanto al por mayor como al por menor. Cuenta con cinco marcas entre ellas Flor del Delta y sus ventas se aproximan a los 11'4 millones de euros. Se encarga de la explotación de la única salina marina de Cataluña y desde 1946 tiene la concesión de explotación de las Salinas de la Trinidad ubicadas en el Parque Natural Delta del Ebro.

SALINERA ESPAÑOLA SA

Llega en el quinto puesto una empresa cuya actividad es la extracción de la sal con unas ventas de 10'8 millones de euros. Nace en el año 1878 y llega a tener delegaciones en el extranjero durante la primera mitad del siglo veinte debido al esplendor de la industria de salazón. Actualmente desarrolla su actividad en las Salinas de Ibiza y en las Salinas de San Pedro del Pinatar.

JUMSAL SA

Se dedican a la obtención y comercialización de sal gema, trabajan utilizando dos métodos la evaporación solar y vacuum. Sus productos son sales gourmet (escamas de sal), de evaporación solar y vacuum y entre ellas distinguen entre sales secas o húmedas. El recurso que explota esta empresa se encuentra situado en un valle y consiste en un diapiro, que pertenece a la Ruta Natura 2000, y se ubica dentro de los límites del municipio de Jumilla (Murcia).

SAL COSTA SL

Con unas ventas de 7'8 millones de euros y alcanzando la séptima posición, esta empresa cuenta con 40 marcas y los usos de la sal que obtiene son la alimentación, lavavajillas e industria. Fue fundada en 1846 y al principio comercializaba bajo el nombre Sal Caba, el cual debía al apellido de su fundador Onofre Caba. Finalmente, en mayo de 1968 se constituye como SAL COSTA SL y posteriormente sería aprobada por la Oficina Española de Patentes y Marcas la marca Sal Costa. Se comercializa con el recipiente a rayas hasta 2009. Utiliza una forma peculiar de separar la sal de las posibles impurezas, se lleva a cabo mediante un sistema de limpieza óptica que extrae la sal.

SALINAS DEL ODIEL SL

Se ubican en Huelva y se dedican a la extracción y comercio de sal al por mayor. Producen de forma industrial, cuenta con una planta de refinado y una de envasado. La ubicación de las salinas es Paraje Natural y tienen varias marcas entre ellas El Guanche.

SALES MONZÓN SA

Ofrecen sal común, sal lavada y sal líquida, sus ventas ascienden a los seis millones y medio de euros. Los recursos explotados para la obtención de cloruro sódico son depósitos salinos situados en Aragón, Navarra y Cataluña. Dichos depósitos se formaron hace miles de años y los de mayor calidad se encuentran a una profundidad de entre 500 y 1200 metro y se ubican en Castejón del Puente, provincia de Huesca. Esta empresa se constituyó y comenzó su actividad el año de la Exposición Universal de Sevilla y de los JJOO de Barcelona, 1992.

BRAS DEL PORT SA

Fundada en 1900, cuenta con una producción media diaria de 4000 toneladas de sal, unas ventas anuales que superan los 5'5 millones de euros y son pioneros en

descalcificación. Ubicadas en Santa Pola, Alicante, son actualmente salinas industriales, pero en su día se ayudaron de los animales para llevar a cabo la obtención de sal.



Ilustración 13. Fotografía antigua de las Salinas de Santa Pola, Alicante.

Fuente: “Cinco generaciones de trabajadores a lo largo de un siglo de historia”, www.brasdelport.com.

Es necesario nombrar algunas de las empresas que no entraron en el top 10 en el año 2016 como Salinera Cardona SL, Marítimas Sales SL y Polasal SA. En este conjunto de principales productoras de sal en España, no quedan reflejadas las salinas artesanales. Esto se debe a que su producción es muy inferior respecto a las empresas nombradas, por ello las salinas artesanales, para mantenerse en el mercado, buscan sinergias con el mundo del turismo, el bienestar, el patrimonio y la gastronomía.

1.2.4 MERCADO DE LA SAL ARTESANAL

Se sabe que la sal se puede obtener de diferentes maneras según el grado de industrialización de la producción. Es necesario ser consciente de que no todos los

métodos tienen la misma capacidad de competencia dentro del mercado, debido a los medios utilizados unos llegan a producir mucho más que otros.

Es el caso de las salinas artesanales, muchas de ellas abandonadas por no poder sostenerse económicamente. Sin embargo, muchas de estas explotaciones han conseguido ampliar sus miras a productos de calidad como la flor de sal, y a otras actividades relacionadas con la salud y el turismo vinculado con la naturaleza. La innovación ha permitido a las salinas artesanales, incluidas las que estaban abandonadas, alcanzar una producción sostenible en todos los sentidos.

A lo largo del globo terráqueo encontramos salinas con reconocimientos de ámbitos diferentes al de la sal. A nivel mundial las figuras de reconocimiento pueden ser Patrimonio de la Humanidad, Reserva de la Biosfera, Área Importante para las Aves o espacios naturales protegidos, entre otros. La escala europea contempla por ejemplo las zonas de especial conservación de la Red Natura 2000 y a escala nacional encontramos el reconocimiento como Bien de Interés Cultural.

En España hay algunas salinas artesanales declaradas Bien de Interés Cultural. Es el caso de Poza de la Sal (Burgos), tiene la categoría de sitio histórico, y de la Rambla Salada de Murcia declarado lugar de interés etnográfico.

Otro caso es el de Valle Salado de Añana (Álava) con categoría de monumento, no solo produce sal pues cuenta con numerosas actividades como visitas y un programa pedagógico que acoge a diferentes colectivos, escolares, familias y universitarios entre otros.

Declarada Zona Arqueológica se encuentran las Salinas de Espartinas (Madrid), ya improductivas fueron en su momento consideradas como una de las minas más importantes y antiguas de Europa. Está documentado, que la obtención del cloruro sódico se llevaba a cabo a través de ígnea en la Edad del Bronce y con mucha probabilidad también lo hacían así los romanos y musulmanes cuando vivieron en la península. Salinas artesanales se pueden encontrar también en las Islas Canarias, donde en el siglo XVI se desarrollan las primeras salinas sobre roca. A continuación, se muestra

una tabla resumen con las salinas artesanales españolas consideradas patrimonio cultural y natural.

Nombre	Ubicación	Protección		Producción	Visitas
		Natural	Cultural		
Biomaris	Huelva	X		Artesanal	X
San Vicente	Cádiz	X		Artesanal	X
Es Trenc	Islas Baleares	X		Artesanal e industrial	X
Ses Salines	Islas Baleares	X		Artesanal e industrial	X
Los Agujeros	Lanzarote		X	Artesanal	
Arinaga	Gran Canaria		X	Artesanal	
Bocacangrejo	Gran Canaria			Artesanal	
Bufadero	Gran Canaria		X	Artesanal	X
La Florida	Gran Canaria			Artesanal	
Fuencaliente	La Palma	X		Artesanal	X
Janubio	Lanzarote	X	X	Artesanal	X
Tenefé	Gran Canaria		X	Artesanal	X
Duernas	Córdoba			Artesanal	X
Iptuci	Cádiz	X	X	Artesanal	X
Salinas de Añana	Álava	X	X	Artesanal	X
Salinas de Oro	Navarra			Artesanal	X
San Juan	Guadalajara	X	X	Artesanal	X

Tabla 5. Salinas artesanales españolas con cierto valor de patrimonio.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recogidos en "Salt in our veins", Katia Hueso Kortekaas.

En Europa destacan las salinas situadas en Eslovenia, Salinas de Secovlje. Se ubican muy cerca del municipio turístico de Piran, famoso por su muelle y su arquitectura de estilo veneciano. La actividad salinera aquí forma parte de un parque en el que se puede hacer senderismo, disfrutar de actividades culturales que muestran la historia de las salinas y cuentan con una tienda gourmet y un spa en sus instalaciones. Todo ello forma parte de un plan de negocio, que, a partir del pago de las diversas actividades, pueden reinvertir en las instalaciones que lo precisen durante la época de no producción. Son salinas de evaporación solar y solo obtienen sal durante unos meses al año.



Ilustración 14. Spa al aire libre, Salinas de Sečovelje (Eslovenia).

Fuente: "Salt in ours veins", Katia Hueso Kortekaas.

CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE

1.3.1 CASO DE ESTUDIO. BIOMARIS

En el año 1955, una empresa alemana denominada Biomaris comenzó la explotación de esta salina, era una de las 17 que había entre Isla Cristina y Ayamonte, produciendo unas 50 toneladas de sal marina virgen. Veinticinco años más tarde, Don Manuel Gómez Rodríguez, que había trabajado aquí desde su puesta en funcionamiento, adquiere las salinas hasta el 11 de julio de 2003. Por motivos de salud y edad gestiona la baja temporal de la salina a través de la Jefatura de Minas.

Al año siguiente es su hija, Doña Manuela Gómez Santana, quien se hace cargo de la explotación salinera, constituyendo una empresa familiar. En esta etapa predomina la innovación por sacar al mercado nuevos productos naturales 100%. Adquieren capacidad competitiva en el mercado, siendo la primera salina en territorio nacional en producir y comercializar flor de sal. También ocupa un papel importante la extracción y uso de magnesio.

1.3.1.1 Localización y tipo de explotación

Las salinas *Flor de Sal*, *Salinas de Isla Cristina*, *Biomaris* se ubican en las marismas que hay entre el municipio de Isla Cristina y la pedanía que hay cerca, llamada Pozo del Camino, en la provincia de Huelva, a tan solo 7km de Portugal. La zona está estrechamente ligada a la extracción de sal desde la época de los romanos, y esta actividad se ha conservado gracias a la pesca, labor abundante en la costa, que favorece el desarrollo de trabajos relacionados con la conservación de los productos del mar.

Fue en el siglo XIX y mediados del XX, cuando las salinas llegan a ocupar un 30% de la extensión de dichas marismas. Durante esta época, la sal obtenida se empleaba en la floreciente industria de salazón y otra fracción de la producción se exportaba a Alemania para su uso en cremas y jabones. El transporte de la sal fuera de nuestras fronteras se realizaba en lebrillos de cerámica.

La Real Academia Española de la Lengua (RAE) dice sobre *lebrillo* lo expuesto a continuación: *Vasija de barro vidriado, de plata u otro metal, más ancha por el borde que por el fondo, y que sirve para lavar ropa, para baños de pies y otros usos.*

El tipo de explotación desarrollado en esta ubicación atiende a distintas clasificaciones, su situación geográfica la coloca en el grupo de salinas costeras. Aprovecha la radicación solar para obtener el grano de sal y por lo tanto es de evaporación solar. No hay intervención alguna de procesos industriales, ello la define como salina completamente artesanal. Esto implica que la sal recogida no pierde ninguna de sus propiedades beneficiosas para la salud y no precisa refino. Además, su impacto es positivo respecto al medio.

1.3.1.2 Instalación actual

Las salinas están formadas por distintas zonas, en las que tienen lugar las diferentes etapas para la formación del cloruro sódico. Según su ubicación geográfica y concentración de la salmuera inicial se precisa de más o menos fases para alcanzar la proporción de sal idónea en un litro de agua. En el caso de las salinas artesanales de Isla Cristina se pueden distinguir las definidas a continuación.



Ilustración 15. Esquema simplificado de evaporación solar.

Fuente: Elaboración propia.

Estero (1)

Zona pantanosa, de gran extensión con un drenaje imperfecto. Esto favorece su inundación parcial debido a las precipitaciones, filtraciones o mareas que facilitan la llegada del agua de mar. En este caso, el estero es la zona de las marismas más próxima al mar.



Ilustración 16. Estero de las Salinas de Flor de Sal, Biomaris (Isla Cristina).

Fuente: Elaboración propia durante la visita, enero 2018.

Corredor

Pasillo que conecta diferentes zonas de las salinas. Hay dos tipos de corredores, el principal o primario (2), que une el estero con las balsas de concentración, y el secundario (4), que enlaza las balsas de concentración con las balsas de cristalización.

Balsas de concentración (3)

Zonas de extensión y profundidad considerables, constituyen la etapa intermedia entre el estero y las balsas de cristalización. La salmuera permanece el tiempo necesario en estas balsas para aumentar su concentración a valores adecuados. En la salina que se encuentra bajo estudio existen dos balsas de este tipo.

Balsas de cristalización o cristalizadores (5)

Se conocen también como cristalizadores, pilas o tajos en algunas salinas. Tienen una superficie comprendida entre los 15 y 17 m², y una profundidad de unos 30 cm. En esta instalación, hay en producción 300 balsas de este tipo, separadas en bloques para su fácil acceso, presentan distintos tamaños según agrupación. Están orientadas de tal forma que el viento dominante de la zona favorezca la evaporación. Constituyen la última etapa en la formación de la sal.

Saleros

Zonas planas que se encuentran entre las balsas de cristalización, donde se deposita la sal común una vez extraída de la salmuera. Lugares donde se forma los típicos montones de sal hasta que esta es envasada.

Los elementos que sirven de división entre las distintas zonas se denominan compuertas, permiten el control del flujo de la salmuera a través de toda la instalación. Los tapones permiten el vaciado de las balsas de cristalización.



Ilustración 17. Compuerta que separa balsa de concentración y cristalizadores.

Fuente: Elaboración propia durante la visita, enero 2018.

Para evitar que el mar alcance la producción, la salina queda protegida mediante un muro constituido por materiales naturales como son el fango, las piedras y la vegetación adecuadas. Este muro se ubica entre el estero y las demás etapas.

La construcción de todas las zonas que constituyen la salina se lleva a cabo con elementos extraídos de la naturaleza, donde el fango ocupa un papel muy importante. Las compuertas o divisiones necesarias están hechas con madera.



Ilustración 18. Muro que separa del estero.

Fuente: Elaboración propia durante la visita, enero 2018.

1.2.1.3 Producción

Al ser una instalación que aprovecha la energía procedente del sol para conseguir la evaporación del agua, solo puede producir sal en los meses de calor en los que hay ausencia de lluvias. Las precipitaciones de un día pueden paralizar la producción durante días, pues el agua de la lluvia se considera dulce frente a la del mar y esto provoca la reducción de la concentración en sal del agua en las distintas fases de la explotación.

Teniendo en cuenta el clima de la zona, el periodo de producción de sal es desde junio hasta que comienzan las primeras lluvias de otoño. Actualmente la cantidad de sal común que se obtiene al año es aproximadamente 300 toneladas realizando tres o cuatro extracciones de los cristalizadores. De flor de sal y escamas de sal se extraen más

o menos 15 toneladas, de las cuales 8 toneladas se exportan principalmente a Alemania, Italia y Reino Unido.

Recorrido desde el mar hasta el grano de sal

Con la pleamar (subida del nivel del mar debido a las mareas), el agua inunda el estero con una concentración 35 gramos de sal por litro de agua. Se abre la compuerta y la salmuera comienza a recorrer el corredor principal hasta que llega a las balsas de concentración.

La proporción de sal por litro de agua, una vez que la salmuera alcanza las balsas de concentración, es aproximadamente 120 -180 g sal /litro. Posteriormente la salmuera pasa por el corredor secundario hasta distribuirse en los cristalizadores donde la concentración aumenta desde 220g sal/litro a 300 g sal/litro. Las concentraciones expuestas son estimaciones basadas en la experiencia de las personas que trabajan en este tipo de instalación, pues en las salinas artesanales se conoce dicha propiedad a través de un elemento artesanal (densímetro o pesasales) que no da valores numéricos.

Se debe tener en cuenta que el recorrido del agua es de circulación continua, dicho de otro modo, ninguna fase queda sin agua en ningún momento. La salmuera pasa de una etapa a otra gracias a la acción de la gravedad, pues las fases están a distintos niveles, la primera está situada a una cota superior que la siguiente y así sucesivamente.

Para la extracción de la sal en los cristalizadores, se debe esperar a que en el fondo de estas se forme una costra de sal, esto permite que al retirar la sal no se coseche también el fango del fondo. La altura de agua de las balsas en el momento de retirar la sal es entre 3 y 5 centímetros y la salmuera no suele superar los 30° C.

En estas salinas se producen tres tipos de sal:

Sal Marina Virgen

El utensilio que se emplea para su recogida es una vara de madera con una tabla. Se lava y se deja secar gracias a la acción del sol y el viento. Esta denominación se debe a la

modificación del Real Decreto 1424/1983, de 27 de abril, por el cual en el Real Decreto 1634/2011, de 14 de noviembre, se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la obtención, circulación y venta de la sal y salmueras comestibles [4]. Con esto se consigue diferenciar esta sal de la obtenida mediante procesos industriales.



Ilustración 19. Recogida de la sal común hacia los saleros con el utensilio habitual.

Fuente: Flor de Sal, Biomaris.

Flor de sal

Antes de que los granos de sal se precipiten, algunas láminas muy finas de sal flotan en la superficie de las balsas de cristalización. Estas se recogen de forma manual y no en cualquier momento del día, debe ser durante el amanecer o el atardecer. En su composición se diferencia de las demás formas de sal por tener menos contenido en sodio, en otras palabras, es menos salada. Sin embargo, contiene mayor proporción de otros elementos como el calcio o el magnesio.

Escamas de sal

Es más consistente que la flor de sal. Se extrae de forma manual, son aquellos copos en suspensión entre la costra de sal del suelo y la superficie del cristalizador. Una vez

recogidas y de forma manual, las escamas son separadas de los pequeños granos de sal que aparecen adheridos a ellas antes de ser envasadas.



Ilustración 20. Flor de sal puesta a secar en recipientes azules.

Fuente: Guadalupe Fernández-Blanco Amador.

¿Qué ocurre durante los meses de no producción?

Durante estos meses se inunda la instalación completa, exceptuando las zonas de paso. Antes de comenzar con la producción del año siguiente se lleva a cabo la limpieza de las balsas de cristalización, cuyo fondo queda protegido de alguna manera gracias a la costra de sal.



Ilustración 21. Cristalizadores y corredor secundario inundados.

Fuente: Elaboración propia durante la visita, enero 2018.

1.2.1.4 Más allá de la sal

La sal es el producto estrella de esta salina. Desde aquí se comercializa para alimentación, es el caso de la flor de sal, las escamas de sal y la sal común. Pero también se ofrece una amplia gama de sales condimentadas y aromatizadas de forma natural y de elaboración propia. Algunos de los sabores son ahumado, barbacoa, orégano, tomillo y romero. Por supuesto también se distribuye sal fina y gruesa. La cocina no es el único destino de la sal que aquí se obtiene, también se emplea para piscinas.

Son pioneros en la extracción de magnesio, tanto en estado líquido como sólido, se exporta un porcentaje a Alemania para su empleo en cosméticos. En condición fluida el magnesio se conoce como aceite de magnesio y presenta múltiples beneficios para la salud. Puede usarse como relajante muscular y alivia la artritis y la artrosis entre otros.

El magnesio es un subproducto de la sal, se obtiene a partir de las aguas madres. Dichas aguas son ricas en cloruro de magnesio y es la salmuera que queda tras cristalizar el cloruro sódico.



Ilustración 22. Piscina de aceite de magnesio.

Fuente: Elaboración propia durante la visita, enero 2018.

Las salinas de Biomaris, han puesto a disposición de la población unas piscinas de aceite de magnesio, así como la posibilidad de recibir masajes con este producto para eliminar determinadas dolencias. También se aplican plastas de fango.



Ilustración 23. Instalaciones para la aplicación de fangos.

Fuente: Elaboración propia durante la visita, enero 2018.

La actividad de esta empresa no queda ahí, preocupados también por la educación ambiental, reciben visitas de colegios en las que se exponen temas como la producción de sal o el preciado ecosistema que son las marismas. También reciben visitas del turismo relacionado con la naturaleza, es un lugar perfecto para ver ciertas especies de aves muy de cerca.

1.2.1.5 Ecosistema. Marismas

Las marismas donde se ubica la salina de Biomaris, ocupa una extensión de 2.145 hectáreas [5] que van desde Isla Cristina hasta Ayamonte. Su formación se debe a la desembocadura del río Carreras y al estuario del río Guadiana, que este desarrolla cuando se aproxima al mar. Fue declarado Paraje Natural en el año 1989 con la *ley 2/89 de inventario de los Espacios Naturales Protegidos de Andalucía* [5].

Este espacio se caracteriza por ser una zona húmeda, tener una cota algo inferior al nivel del mar lo que permite su inundación con las mareas altas y está constituido por caños, brazos, esteros, canales y llanuras fangosas.

Se desarrolla en las marismas un ecosistema propio con numerosas especies de flora y fauna típica de estos paisajes. También acoge a especies amenazadas como el camaleón, que encuentra aquí un lugar apartado perfecto para su vida.

La obtención de sal en esta zona aporta en gran medida al desarrollo del ecosistema, favoreciendo el crecimiento que especies a las que les gusta la sal, así como su incalculable contribución al cuidado y mantenimiento de este Paraje Natural.

Ejemplo de ello es la artemia, pertenece al grupo de los crustáceos y su morfología apenas ha cambiado desde el Triásico. Mide menos de un centímetro y se alimenta de microorganismos que también habitan en salmueras. Estos últimos transforman la energía procedente del sol en alimento *mediante unas moléculas ricas en betacaroteno* [3], esto provoca que las artemias tengan un color rojizo.

La existencia de las artemias en las salinas atrae a otras especies que encuentran en ellas su alimento, es el caso de los flamencos. De hecho, en Huelva, en el Paraje Natural de las Marismas de Odiel se encuentra la segunda colonia de flamencos más grande de España y la tercera a nivel europeo. Se sabe que el color rojizo de algunas partes del cuerpo de los flamencos es debido a su consumo de artemia, ricas en betacaroteno, pues al nacer son de color blanco y en algunas zonas presentan un tono grisáceo.



Ilustración 24. Salicornia en el borde de los cristalizadores de Biomaris.

Fuente: Elaboración propia durante la visita, enero 2018.



Ilustración 25. Flamenco fotografiado en las salinas Flor de Sal, Biomarís.

Fuente: Guadalupe Fernández-Blanco Amador.

En cuanto a la flora que nace en la salina destaca la salicornia (*Salicornia europea*). Como es obvio, pertenece al grupo de las plantas halófilas (se desarrollan en zonas con elevada salinidad), son carnosas, normalmente no superan los 40 centímetros de altura y tienen un sabor muy salado.

Estas marismas ofrecen un espectáculo ornitológico (ornitología, campo de la zoología dedicado al análisis de las aves) debido a la variedad de las aves, que además del flamenco, habitan aquí. Algunas son la garceta común (*Egretta garzetta*), la garcilla bueyera (*Bubulcus ibis*) y el ánade real (*Anas platyrhynchos*). Las aves migratorias que aparecen en la zona son la garza imperial (*Ardea purpurea*), la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*) y la avoceta común (*Recurvirostra avosetta*).

Todo este ecosistema se ve afectado de algún modo por otras actividades humanas no relacionadas con la producción de sal. Uno de los principales problemas con los que se

encuentran las salinas son los micro plásticos, que al ser tan pequeños son recogidos con la sal. Son generados por las grandes cantidades de residuos acumulados en los océanos, que con las mareas y corrientes se van haciendo cada vez más pequeños.

1.2.1.6 Clima

El clima de Huelva varia de la sierra a la costa. El del litoral, donde se encuentra Isla Cristina puede definirse como mediterráneo continental con influencias atlánticas. Las temperaturas son suaves durante casi todo el año sin bajar aproximadamente de los 5° C, mientras en verano el termómetro sube de temperatura rondando los 35° C y puntualmente puede alcanzar los 40° C. En cuanto a las precipitaciones, no son abundantes teniendo lugar algunas durante los meses de noviembre, diciembre y enero.

MES	TEMPERATURA									
	2013		2014		2015		2016		2017	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
Enero	20,1	4,1	20,1	4,1	19,5	0,9	20,6	5,4	18,7	1,3
Febrero	21,0	2,7	17,6	4,6	20,9	3,4	22,6	1,7	21,5	5,4
Marzo	19,4	4,8	24,1	7,0	30,8	5,6	22,7	4,8	28,1	4,1
Abril	29,4	6,7	30,2	9,4	29,4	11,1	26,2	7,9	29,6	10,0
Mayo	29,7	8,2	34,2	11,1	34,7	12,1	30,4	11,4	31,4	10,2
Junio	35,8	13,4	33,9	14,8	38,9	14,6	34,7	14,6	38,6	14,7
Julio	36,1	16,7	33,2	16,1	38,2	17,8	37,8	17,6	37,1	16,2
Agosto	38,2	18,4	37,2	17,2	36,4	17,3	37,8	18,7	40,1	16,7
Septiembre	32,4	17,1	30,6	16,6	30,1	14,6	39,8	14,7	36,4	14,1
Octubre	29,6	10,3	35,4	14,0	28,5	12,9	31,2	10,4	32,7	12,8
Noviembre	26,5	3,3	25,7	8,0	25,7	6,0	24,4	5,4	23,6	6,3
Diciembre	19,7	2,7	20,7	2,9	22,2	6,9	21,2	4,1	20,7	3,1

Tabla 6. Temperaturas máximas y mínimas (en °C) entre 2013 y 2017, Huelva.

Fuente: Resúmenes mensuales y anuales, MeteoHuelva.

1.2.2 EVAPORACIÓN FORZADA

Es indudable que el primer método de obtención de la sal fue de forma natural, simplemente recogiendo la sal que cristalizaba sobre superficies adecuadas gracias a la acción del sol, sin necesidad de actividad por parte de los humanos.

Durante el Neolítico, el consumo de sal aumentó no solo para los humanos sino también para la alimentación de los animales. La producción de sal de forma natural ya no era suficiente y comenzaron a desarrollar métodos para su obtención. Antes de utilizar la evaporación de solar, lo hacían mediante evaporación forzada, calentando la salmuera en recipientes de cerámica. La siguiente imagen refleja la producción de sal a través del calentamiento de la salmuera extraída de un pozo, data de principios del siglo XVII.

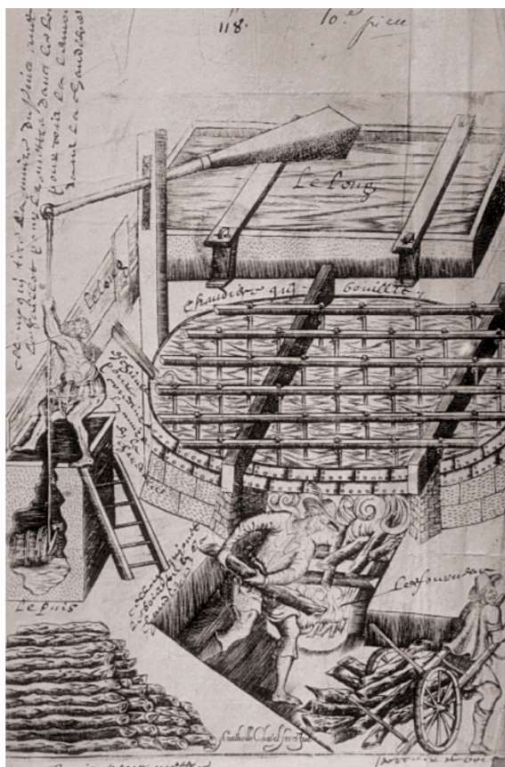


Ilustración 26. Obtención de sal mediante ígnea.

Fuente: Biblioteca Municipal, Besançon

En España llegó de la mano del chef Ferrán Adriá y su procedencia es inglesa, es la Sal Maldon. Pertenece al grupo de escamas de sal y se obtiene en las marismas del estuario del río Blackwater en el condado de Essex. Todo comenzó en 1882 cuando, después de

muchos años producción sal, comenzaron a comercializar bajo el nombre The Maldon Salt Company. Años más tarde sería adquirida por la familia Osborne y en el 2012 se le concede el *Royal Warrant*.

En este estuario la salmuera entra en las marismas aumentando su concentración y se recoge para cocerla eliminando las impurezas. Posteriormente se calienta, con el aporte externo de biomasa, para obtener la sal.

De modo similar, operaban las salinas de Léniz. Se abastecían de un manantial de concentración elevada, cerca de los 200 gramos de sal por litro de agua. Para la extracción de la salmuera usaban mecanismos tipo bomba y calentaban el agua a través de fuego de leña. Mas tarde se incorporaban a bandejas situadas encima de un horno para que se secase la salmuera hasta su cristalización. Cesó de forma definitiva su producción en 1972.

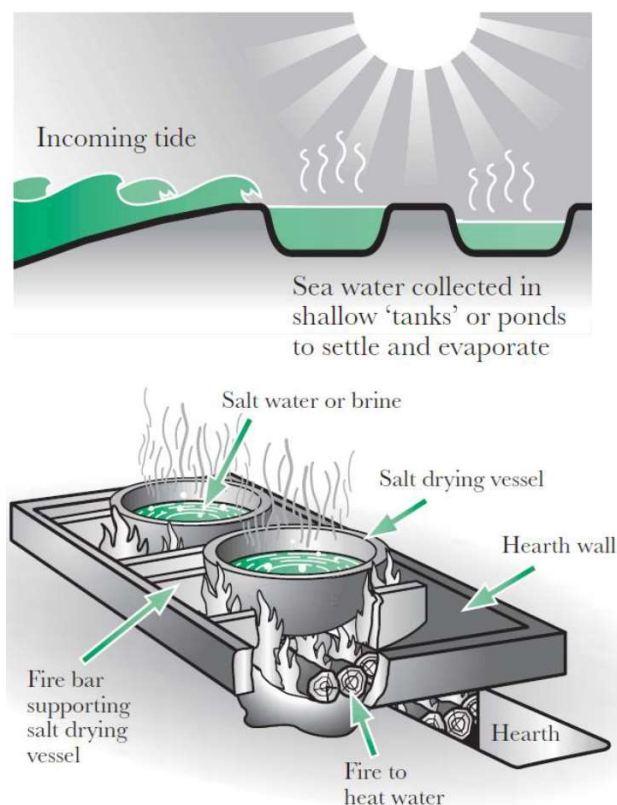


Ilustración 27. Esquema de método utilizado para la obtención de Sal Maldon.

Fuente: "The Magic of Maldon sea salt", www.maldonsalt.co.uk.

1.2.3 ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son aquellas que emplean recursos naturales inagotables (por la inmensa cantidad que hay de ellos o bien porque se regeneran de forma natural) o aquellos cuya tasa de reposición sea inferior a la de su consumo. Hay que distinguir entre renovables y limpias, estas últimas son definidas como energías que excluyen cualquier tipo de contaminación o residuo. No todas las renovables son limpias.

La eólica genera electricidad mediante aerogeneradores aprovechando el viento. La solar lo hace utilizando la energía que procede del sol a través de fotovoltaica y termoeléctrica. También se puede obtener energía eléctrica a partir de la biomasa y de las instalaciones que transforman la energía hidráulica. La generación térmica es llevada a cabo por termosolar o biomasa. Se emplean como carburantes el bioetanol y el biodiesel.

En la actualidad, cada vez se apuesta más por este tipo de energías frente a las tradicionales pues contaminan menos, reducen las emisiones de CO₂ y favorecen que el cambio climático no siga su curso. En la siguiente gráfica se muestra una previsión del crecimiento de las renovables en su empleo para electricidad, calor y transporte hasta el año 2022.

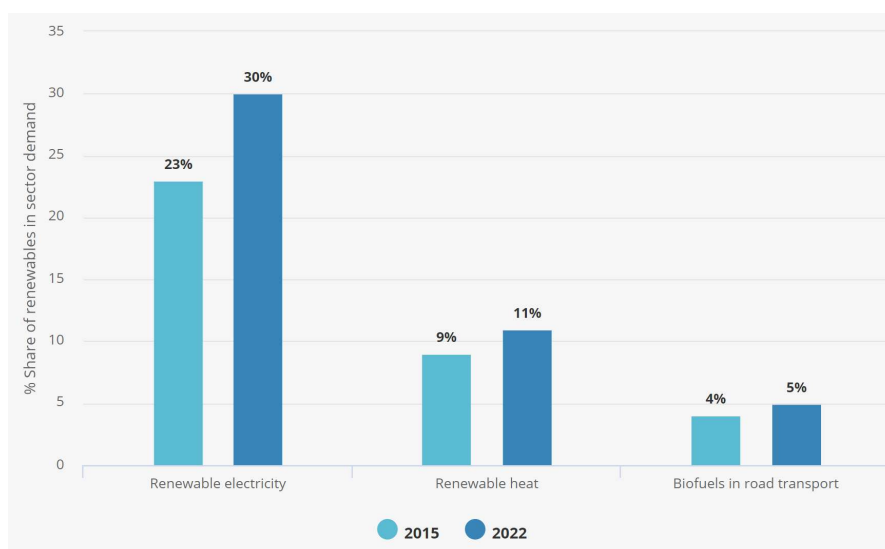


Ilustración 28. Predicción sobre uso de renovables hasta 2022.

Fuente: "Renovables", International Energy Agency.

Es cierto que estas instalaciones son de mayor inversión inicial que las tradicionales. Durante unos años desde Europa llegaban subvenciones para el desarrollo de algunas de estas tecnologías, sin embargo, muchas ayudas llegaron a su fin y en el caso de los huertos solares supuso un problema económico para las pequeñas empresas que habían invertido.

El sistema eléctrico español está basado en generación, transporte, distribución y consumo en dirección única. Sin embargo, con ciertas tecnologías renovables, los consumidores pueden convertirse en generadores y por ello se advierte un futuro donde el flujo de energía pueda ser bidireccional.

El Ministerio Para la Transición Ecológica del Gobierno de España contempla en el Plan de Fomento de las Energías Renovables en España las siguientes energías renovables:

1. Generación eléctrica: eólica, hidroeléctrica y solar fotovoltaica.
2. Aprovechamiento térmico: biomasa, biogás, biocarburantes, solar térmica y valorización energética de los residuos sólidos urbanos.

CAPÍTULO III: PROPUESTA PARA PRODUCCIÓN ANUAL

1.3.2 CONDICIONES NECESARIAS

Actualmente, las condiciones necesarias para la extracción de sal en una salina de evaporación solar durante los meses de producción son calor, viento y ausencia de precipitaciones. Por lo tanto, estas serán las mismas para el resto del año, aunque precisen de aporte externo.

1.3.2.1 Calor, viento y nivel de radiación

En cuanto a las temperaturas, la media anual se sitúa alrededor de los 20°C mientras que la máxima durante el invierno se aproxima a dicho valor. Las mínimas no suelen bajar de los 5°C. En esta zona hay viento durante todo el año y no será preciso ventilar la instalación de forma artificial. Esto se corrobora con los datos de la Agencia Estatal de Meteorología, el viento máximo alcanzado en el último año es de 21'4 m/s y la mínima media se sitúa en los 7m/s.

En cuanto a la irradiación solar, según ADRASE (Acceso a Datos de Radiación Solar en España) los meses con valores más pequeños son noviembre, diciembre, enero y febrero quedando por debajo de los 5kWh/m².

1.3.2.2 Ausencia de precipitaciones y humedad ambiental

Los datos analizados son entre 2013 y 2017 procedentes de la Agencia Estatal de Meteorología. La precipitación máxima diaria tuvo lugar el 11 de febrero de 2017 con una cantidad de 62 litro por m². Sin embargo, esto no es habitual pues solo en un año se alcanzan los 60 litros por m². Los meses más lluviosos son noviembre, diciembre, enero y febrero, no suele llover más de 5 o 6 días al mes y la media de precipitación diaria ronda los 10 litro por m². La humedad ambiental es alta durante todo el año, cercana al 90%.

1.3.3 OPCIONES PARA EVITAR LLUVIAS

Lo primero, se debe tener en cuenta que en la instalación el agua circula por gravedad y que el corredor secundario está completamente pegado de las balsas de cristalización correspondientes. De hecho, en la época de no producción se inundan juntos.

Para evitar que la lluvia llegue a los cristalizadores, se cubren con una cubierta móvil junto con su corredor secundario. Dicha instalación, no crea sombra y es de fácil uso. A su vez, la salmuera es bombeada a una cierta altura para facilitar la ventilación y el aporte de calor, ya que esto último sería muy complicado si tuviera que realizarse sobre las balsas de cristalización actuales. Para evitar las inundaciones en las instalaciones cubiertas, siempre es posible el uso de los desagües propios de las instalaciones actuales.

1.3.4 OPCIONES PARA APORTE CALORÍFICO

1.3.4.1 Introducción

Se valora la posibilidad de usar todo tipo de renovables siempre que sean viables económicamente y que causen el menor impacto sobre la zona. Se requiere la mayor independencia de la instalación posible con respecto a otras empresas. Teniendo en cuenta las renovables que están definidas en el Plan de Fomento de las Energías Renovables en España comentadas en el capítulo dos, se realiza el siguiente análisis.

Por ser instalaciones inasequibles económicamente con respecto a la instalación artesanal que se trata, quedarían descartadas eólica, biogás, biocarburantes y residuos sólidos urbanos.

La hidroeléctrica queda descartada por la falta de desniveles y porque no se valora la opción de realizar instalación alguna sobre unas marismas declaradas Paraje Natural. La solar térmica se considera no adecuada por estar orientada a otros tipos de consumo.

Las dos mejores opciones que quedan son biomasa o solar fotovoltaica. Sin embargo, en el caso de la biomasa sería necesario adquirirla y no muy lejos pues el transporte supone un coste. Además, si se busca independencia la fotovoltaica solo depende de la radiación y no de ninguna empresa externa. Por ello la elegida es la energía solar fotovoltaica.

1.3.4.2 Fotovoltaica

Es una tecnología cuyo máximo desarrollo tuvo lugar debido a la carrera espacial que disputaron Estados Unidos y Rusia, consiguiendo un incremento del rendimiento del 3% al 18%.

La energía solar fotovoltaica convierte los rayos de sol directamente en electricidad. Lo hace gracias al efecto fotoeléctrico que tiene lugar en los paneles. Dicho efecto consiste en la emisión de electrones por parte de un material debido a que este es alcanzado por la radiación solar.

Una placa solar fotovoltaica está constituida principalmente por tres elementos, dos semiconductores de silicio y la unión. El semiconductor que recibe la radiación solar es de tipo N, con carga negativa, mientras que el otro semiconductor es de tipo P, con carga positiva. Los fotones de los rayos excitan a los electrones del semiconductor N, moviéndose hacia el semiconductor P generando una corriente eléctrica.

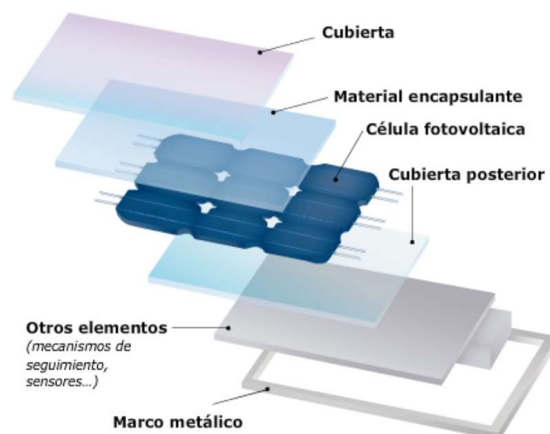


Ilustración 29. Partes de un panel fotovoltaico.

Fuente: "Componentes principales de una instalación solar fotovoltaica",
<http://m.ecosistemasdelsureste.com> (Julio 2018).

La conexión de un grupo de paneles puede ser en serie, en paralelo o combinando ambas. Si se conectan en serie la tensión es elevada, pero si se conectan en paralelo entonces es la corriente la que es elevada. Si la conexión es paralelo-serie entonces la tensión y la corriente son variables proporcionando mayor seguridad que en los dos casos anteriores. En el caso de esta instalación la conexión es en paralelo-serie.

El material por excelencia para los paneles fotovoltaicos es el silicio y se distinguen tres tipos de paneles monocristalino, policristalino y amorfo. Estos se diferencian en diferentes aspectos como su forma de fabricación, su comportamiento ante las altas temperaturas y su rendimiento siendo los primeros los que más rendimiento tienen.

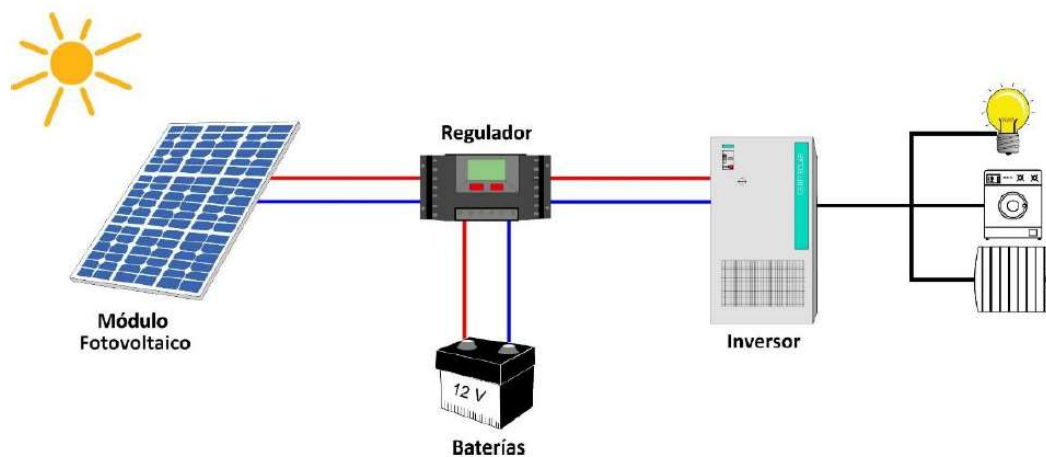


Ilustración 30. Esquema simple de instalación aislada.

Fuente: Energía solar fotovoltaica, apuntes Ingeniería y desarrollo sostenible (ICAI) (mayo 2018).

Las instalaciones de fotovoltaica pueden estar unidas a la red o no. El conjunto de equipos que acompaña a los paneles depende de si está conectado o no a la red. En este caso, la instalación es aislada y sus principales componentes son:

- 1) Acumulador, se define como un conjunto de baterías.
- 2) Regulador de carga, se encarga de proteger a las baterías frente a sobredescargas y sobrecargas.
- 3) Inversor, se encarga de convertir la corriente continua en alterna.

1.3.5 PROPUESTA DE INSTALACIÓN

La instalación para la producción anual, en los meses donde no es posible la extracción únicamente por evaporación solar, consta de una instalación de bombeo, recipientes elevados para la salmuera, paneles fotovoltaicos, reguladores, inversores, baterías y cubierta móvil para los cristalizadores y corredor secundario. Además, cuenta con toda la instalación actual de la que se intenta sacar el máximo rendimiento. En cuanto a los materiales empleados para las nuevas instalaciones, se pretende usar aquellos que generen el menor impacto posible sobre el medioambiente.

La salmuera recorre las instalaciones actuales pero debido a las condiciones climatológicas llega a las balsas de cristalización con una concentración inferior a la habitual. Desde allí es bombeada a una cierta altura para evitar inundación por lluvia en la etapa de concentrado y cristalizado. La salmuera llega a unos recipientes donde se le aporta calor gracias a la electricidad generada en los paneles fotovoltaicos.

En Salinas Biomaris hay 300 balsas de cristalización divididas en agrupaciones. La agrupación elegida consta de 29 balsas marcadas en amarillo en la imagen inferior. Como proyecto piloto se plantean dos posibles escenarios, el primero la explotación de las 29 balsas y el segundo la explotación únicamente de la mitad de ellas. Se realiza el planteamiento de este modo para comprobar si puede llegar a ser viable a partir de un nivel de producción.

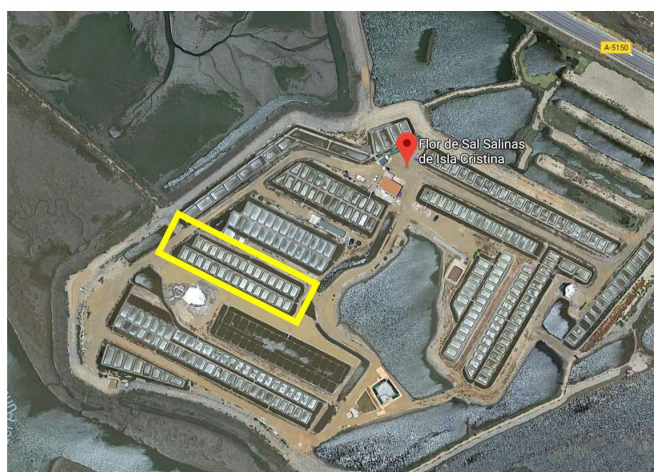


Ilustración 31. Mapa aéreo de las Salinas Flor de Sal, Biomaris.

Fuente: Google Maps (febrero 2018).

La producción es continua al igual que la circulación del agua por las instalaciones, al término de la temporada actual de producción continua la explotación con evaporación forzada. Ante las primeras previsiones de lluvias, se cubren las 29 balsas con la cubierta móvil.

Cuando comienza la explotación con evaporación forzada, en el escenario uno se bombea el volumen completo de un cristalizador y se vuelve a llenar con salmuera de una concentración menor. En el caso del escenario dos, se bombea la mitad del volumen del cristalizador y se llena al día siguiente una vez que se bombea la mitad restante. La salmuera bombeada pasa el mismo día por dos etapas, la primera trata de elevar la temperatura de la salmuera a 80°C y concentrar la salmuera, y la segunda lleva a cabo la cristalización. De cada cristalizador se bombea cada 29 días aproximadamente.

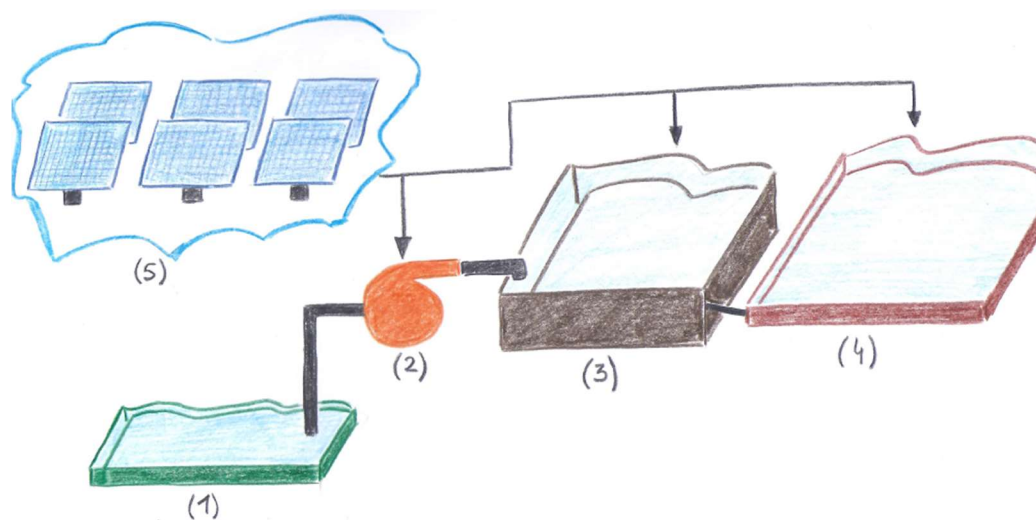


Ilustración 32. Esquema simplificado de propuesta de instalación.

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se refleja un esquema sencillo sobre la instalación de evaporación forzada propuesta para conseguir una producción anual. En la imagen no se refleja la cubierta móvil que cubre, durante los meses de lluvia, a las 29 balsas de cristalización elegidas y a el corredor secundario que las rodea. Una vez bombeada la salmuera, el paso de la primera a la segunda etapa lo realiza por gravedad, la dorla de cristalización está colocada en una cota algo inferior a la dorla de concentración. Los diferentes

componentes que intervienen están numerados y se nombran a continuación, excepto la cubierta móvil.

- (1) Balsa de cristalización de la instalación actual, desde donde se bombea el agua.
- (2) Instalación de bombeo.
- (3) Dorla de concentración, etapa primera.
- (4) Dorla de cristalización o segunda etapa.
- (5) Instalación de fotovoltaica, suministra la energía necesaria a las instalaciones que lo precisa.

El término dorla se emplea para denominar las balsas concentradoras y cristalizadoras en las instalaciones de evaporación forzada. El uso de este término procede del norte de España, pues solo en las Salinas de Léniz se obtenía sal mediante evaporación forzada en todo el territorio nacional.

CAPÍTULO IV: CÁLCULOS

1.4.1 ENERGÍA PARA LA EVAPORACIÓN FORZADA

Debido a la falta de bibliografía acerca de la cantidad de energía necesaria para obtener un kilogramo de sal, se realiza un experimento en casa con el fin de obtener un orden de magnitud aproximado. Dicho experimento queda explicado en el anexo de cálculos (Cantidad total de energía. Experimento).

1.4.1.1 Entalpía de la salmuera

Las consideraciones realizadas se basan en una gráfica que, muestra las curvas de la entalpía de salmueras naturales de agua de mar con diferentes concentraciones en función de la temperatura. Dicha ilustración se incluye en el anexo de gráficos (Entalpía del agua salada).

Durante la evaporación solar el agua a 20°C eleva su temperatura, pero no a más de 35°C, mientras que durante la evaporación forzada el agua no supera los 80°C. Se establece el límite de los 80°C, porque si la salmuera supera esta temperatura el grano de sal se rompe y se obtendría sal en polvo que no es lo que se desea.

En la gráfica de la entalpía de agua salada se observa que en el rango de temperaturas considerado y con cualquier concentración, se puede estimar la entalpía de evaporización constante durante todo el proceso. Su valor es de 539 calorías/gramo de agua [6].

1.4.1.2 Volumen de las balsas de cristalización

Para calcular el volumen de salmuera de las balsas de cristalización de las instalaciones de evaporación solar, se tiene en cuenta el área de una balsa y la altura de agua que tiene que ser entre 3 y 5 centímetros. Los cristalizadores tienen más altura, pero no se cuenta debido a la existencia en el fondo de la costra de sal. Esta costra de sal se

forma durante la precipitación de la sal y se favorece su formación para evitar el arrastre de fango cuando se recoge la sal. El volumen calculado es el que hay en el cristalizador para una concentración de 300 gramos de sal por litro de agua.

$$V_{bdc} = A \cdot h = 16 \cdot 0'035 = 0'56 \text{ m}^3$$

Ecuación 1. Volumen de salmuera en cristalizador (m³).

Donde,

A Superficie de una balsa de cristalización o cristalizador (m²).

h Altura de la salmuera en el cristalizador (m).

V_{bdc} Volumen de la salmuera en el cristalizador (m³).

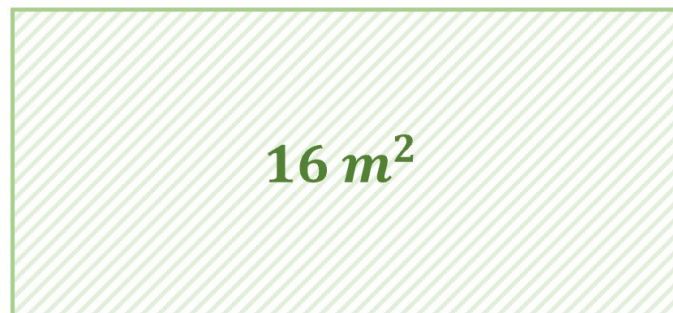


Ilustración 33. Esquema simple de balsa de cristalización.

Fuente: Elaboración propia.

$$V_{bdc} \text{ (litros)} = 0'56 \text{ m}^3 \cdot \frac{10^3 \text{ dm}^3}{\text{m}^3} \cdot \frac{1 \text{ L}}{\text{dm}^3} = 560 \text{ L de agua}$$

1.4.1.3 Tiempo de la salmuera en evaporación solar

Para poder estimar los ciclos de producción, es necesario conocer el tiempo que debe estar la salmuera en las instalaciones de evaporación solar hasta alcanzar la concentración máxima según la irradiación recibida. Así se podrá sacar el máximo rendimiento a la evaporación solar.

Se conoce que, durante el periodo de explotación actual, aproximadamente tres o cuatro meses, se saca sal de los cristalizadores una vez al mes. Por ello se establece que la salmuera permanecerá un mes en las instalaciones de evaporación solar antes de ser llevada a la evaporación forzada.

1.4.1.4 Concentración final en evaporación forzada

Según el mapa solar de Isla Cristina, el mes más desfavorable es diciembre con un valor medio de 2’3 kWh/m². Este valor es un 28’75% del valor medio de irradiación más alto del año, que se da en junio. La concentración final que alcanza la salmuera mediante la evaporación solar es directamente proporcional a la irradiación del mes más desfavorable. La concentración final de evaporación solar es la inicial para evaporación forzada.

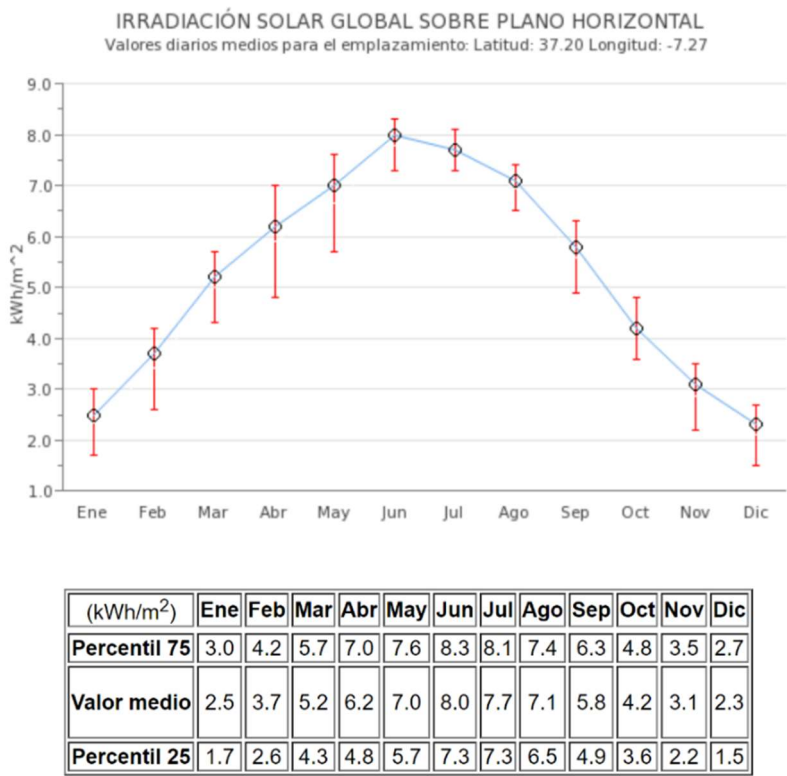


Ilustración 34.Irradiación solar anual en Isla Cristina.

Fuente: Acceso a datos de radiación solar de España, ADRASE.

$$C_{evp\ final} = \frac{2'3}{8} \cdot C_{evp} + 35 = \frac{2'3}{8} \cdot 220 + 35 = 98'25\ g/L$$

Ecuación 2. Concentración final en evaporación forzada.

Donde,

$C_{evp\ final}$ Concentración final tras la evaporación solar (g/L).

C_{evp} Concentración con la que la salmuera alcanza los cristalizadores en los meses actuales de producción (g/L).

1.4.1.5 Volumen de salmuera bombeada

Se conoce el volumen de salmuera que hay en un cristizador cuando la concentración de esta es de 300 g/L, calculado anteriormente (ecuación 1). La concentración del agua bombeada se conoce y es de 98'25 g/L (ecuación 2). Para conocer el volumen de la salmuera bombeada se aplica la ecuación de cambio de concentración.

$$V_{inicial} \cdot C_{inicial} = V_{final} \cdot C_{final}$$

Ecuación 3. Cambio de concentración.

Donde,

$C_{inicial}$ Concentración máxima en cristizador, 300 g/L.

C_{final} Concentración de la salmuera bombeada 98'25 g/L.

$V_{inicial}$ Volumen de la salmuera con la concentración de 300 g/L (V_{bdc} , litros).

V_{final} Volumen de la salmuera bombeada (litros).

$$V_{final} = \frac{560 \cdot 300}{98'25} = 1709'92\ L = V_{bombeado}$$

Este resultado corresponde al volumen bombeado en el escenario uno, mientras que en el escenario dos el volumen bombeado al día es justo la mitad con un valor de 854'96 L.

1.4.1.6 Tamaño de la primera etapa

Una vez que el agua es bombeada pasa a una dorla, especie de recipiente donde se calienta la salmuera para la obtención de los cristales o granos de sal. La dorla de la primera etapa debe tener capacidad para contener el volumen de la salmuera bombeada sin que este rebose. Sabiendo que una superficie grande favorece la evaporación del agua debe existir un equilibrio entre la superficie de la dorla y su altura. Se elige la superficie de la dorla teniendo en cuenta el espacio disponible.

$$V_{bombeado} = A_1 \cdot h$$

Ecuación 4. Tamaño dorla de la etapa primera.

Donde,

$V_{bombeado}$ Volumen de salmuera bombeado (m^3).

A_1 Superficie de la dorla de la primera etapa (m^2).

h Altura que ocupa la salmuera en la primera dorla (m).

$$h = \frac{1'7}{10} = 0'17m = 17 \text{ cm (escenario 1)}$$

$$h = \frac{0'54}{5} = 0'108m = 10'8 \text{ cm (escenario 2)}$$

En el escenario uno, la altura que ocupa el volumen bombeado es 17 cm, pero la dorla debe tener un poco más de altura para que la salmuera no rebose. En este caso se elige una altura de 18 cm (h_1) y un área de 10 m^2 .

En el escenario dos, el volumen bombeado ocupa una altura de 10'8 cm, por lo tanto, se elige una dorla de 12 cm de altura y un área de 5 m^2 .

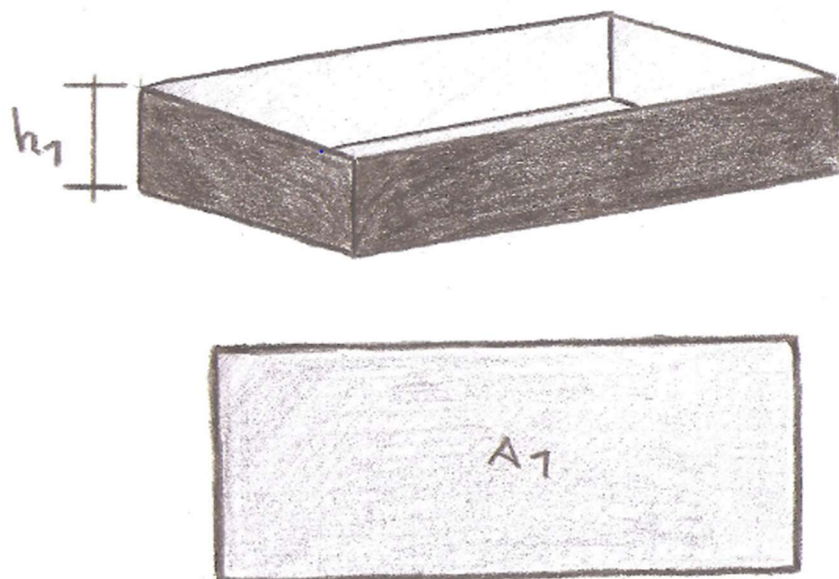


Ilustración 35. Esquema simplificado dorla de la primera etapa.

Fuente: Elaboración propia.

1.4.1.7 Tamaño de la segunda etapa

La dorla de cristalización debe tener capacidad para contener el volumen de salmuera que sale de la etapa primera. Se debe tener en cuenta que los cristalizadores realizan bien su función si la salmuera ocupa una altura comprendida entre los 3 y 5 cm. El volumen que llega a la segunda etapa depende de la concentración con lo que la salmuera debe llegar al cristizador. Para ello se tiene en cuenta el siguiente esquema, donde se muestra la decantación de diferentes sustancias según la salinidad hasta que se llega a la concentración en la que precipita la sal. La concentración elegida para el cambio de la dorla de concentración a la de cristalización es 180 g/L.

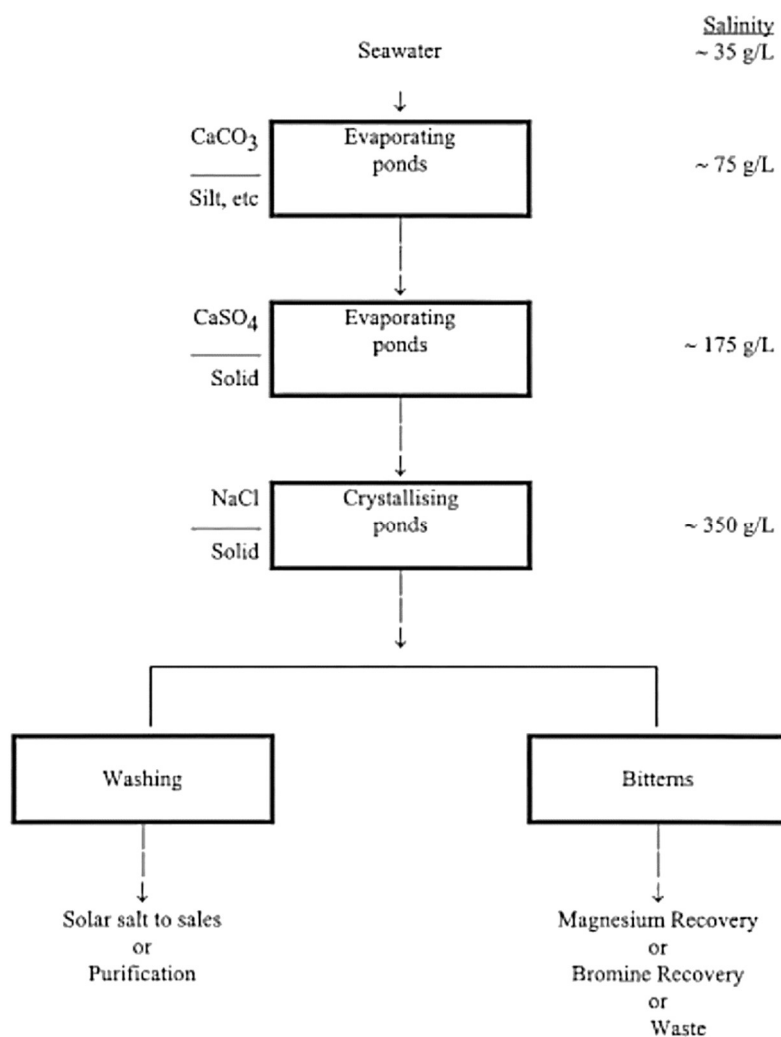


Ilustración 36. Decantación según salinidad de la salmuera.

Fuente: Ghassemzadeh, F. (1998). *Biological and chemical features associated with salt production in solar saltfields in Dry Creek, South Australia. Doctora Diss., University of Adelaide.*

Para conocer el volumen de la dorla de cristalización o segunda etapa, se aplica de nuevo la ecuación de cambio de concentración (ecuación 3) para calcular el volumen de la salmuera cuando llega a la segunda etapa.

Donde,

$C_{inicial}$ Concentración de la salmuera bombeada, 98'25 g/L.

C_{final} Concentración de la salmuera definida para el cambio de etapa, 180 g/L.

$V_{inicial}$ Volumen de la salmuera bombeada (L).

V_{final} Volumen de la salmuera cuando sale de la primera etapa (litros).

$$V_{final} = \frac{98'25 \cdot 1709'92}{180} = 933'33 L = V_{inicial\ segunda\ etapa} \text{ (escenario 1)}$$

$$V_{final} = \frac{98'25 \cdot 854'96}{180} = 466'66 L = V_{inicial\ segun\ etapa} \text{ (escenario 2)}$$

Si se define la superficie para la dorla de cristalización con un valor de 20 m² para el escenario uno y 10 m² para el escenario 2, entonces la altura que ocupa la salmuera se calcula aplicando la siguiente ecuación.

$$V_{inicial\ segunda\ etapa} = A_2 \cdot h'$$

Ecuación 5. Tamaño dorla de la etapa primera.

Donde,

$V_{inicial\ segunda\ etapa}$ Volumen de salmuera que alcanza la segunda etapa (m³).

A_2 Superficie de la dorla de la segunda etapa (m²).

h' Altura que ocupa la salmuera en la segunda dorla (m).

$$h' = \frac{0'933}{20} = 0'0466m = 4'7 \text{ cm (escenario 1)}$$

$$h' = \frac{0'466}{10} = 0'0466m = 4'7 \text{ cm (escenario 2)}$$

La altura que ocupa el volumen de la salmuera que llega a la segunda etapa es 4'7 cm en ambos escenarios, pero la dorla debe tener un poco más de altura para que la salmuera no rebose. En este caso se elige una altura de 5'5 cm (h_2).

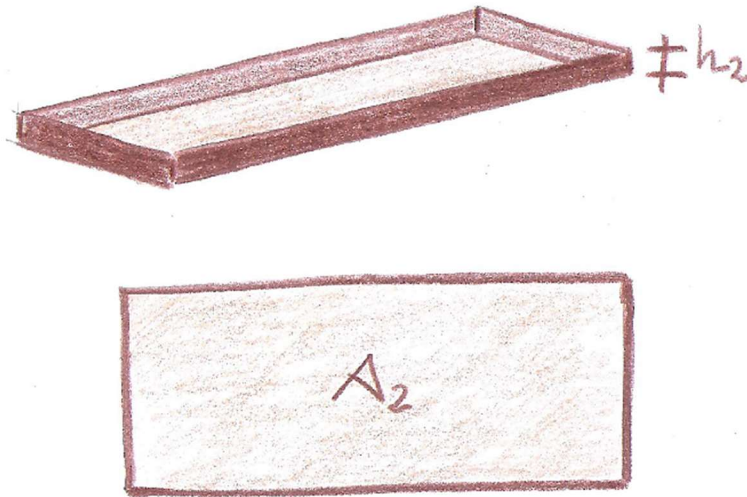


Ilustración 37. Esquema simplificado de la segunda etapa.

Fuente: Elaboración propia.

1.4.1.8 Volumen total de agua evaporado en evaporación forzada

El volumen total de agua evaporado durante la evaporación forzada será la cantidad correspondiente para pasar de una concentración de 98'25 g/L a 300 g/L. Aunque el aumento de concentración se realiza en dos etapas la cantidad de volumen evaporado se puede calcular de forma global.

$$V_{evp} = V_{inicial} - V_{final} = 1709'92 - 560 = 1149'92 \text{ L (escenario 1)}$$

Ecuación 6. Volumen de agua que debe evaporarse (L).

Donde,

$V_{inicial}$ Volumen de salmuera con 98'25 gramos de sal por litro de agua, 1709'92 L.

V_{final} Volumen de salmuera con 300 gramos de sal por litro de agua, 560 L.

V_{evp} Volumen de agua que debe evaporarse para pasar de la concentración inicial a la final (L).

En el caso del escenario dos, primero se aplica la ecuación de cambio de concentración (ecuación 3) para conocer el volumen cuando la salmuera alcanza los 300 g/L. En este

caso el volumen final será de 279'99 L y por lo tanto el volumen de agua evaporado es de $854'96 - 279'99 = 574'97 \equiv 575L$. En definitiva, se evapora la mitad de volumen que en el escenario uno.

1.4.1.9 Cantidad total de agua evaporada en evaporación forzada

La cantidad de agua en kilogramos depende de su densidad, y esta a su vez depende de la salinidad del agua. Para conocer la densidad, se emplea una aplicación denominada Ocean Water Density Calculator [7].

En el gráfico de que se muestra a continuación, se observa el comportamiento de la densidad del agua frente a cambios en la salinidad a temperatura constante de 80°C. Se elige esta temperatura porque la evaporación forzada se lleva a cabo a temperatura constante y no puede ser a más de este valor porque el grano de sal se rompería y se obtendría polvo de sal. Se puede decir que entre 90 g/L y 300 g/L la densidad del agua varía de forma lineal.

El conjunto de datos de referencia y calculados utilizados en los gráficos a continuación se incluyen en el anexo de cálculos (Consideraciones para la densidad del agua respecto a su salinidad). Se toma como referencia que en 560 L hay una concentración de 300 gramos de sal por litro de agua.

En la gráfica de la ilustración 36, la línea discontinua, que aparece en un color azul claro, representa la curva a la que se aproxima la variación de la densidad frente a la concentración.

Si se aplica la ecuación de cambio de concentración (ecuación 3) entre un conjunto de concentraciones, por ejemplo, entre 80 g/L y 300 g/L en saltos del mismo orden, se aprecia que la cantidad de agua que se evapora para pasar de 80 g/L a 90 g/L es mucho mayor que para pasar de 170 g/L a 180 g/L y esta relación no es lineal.

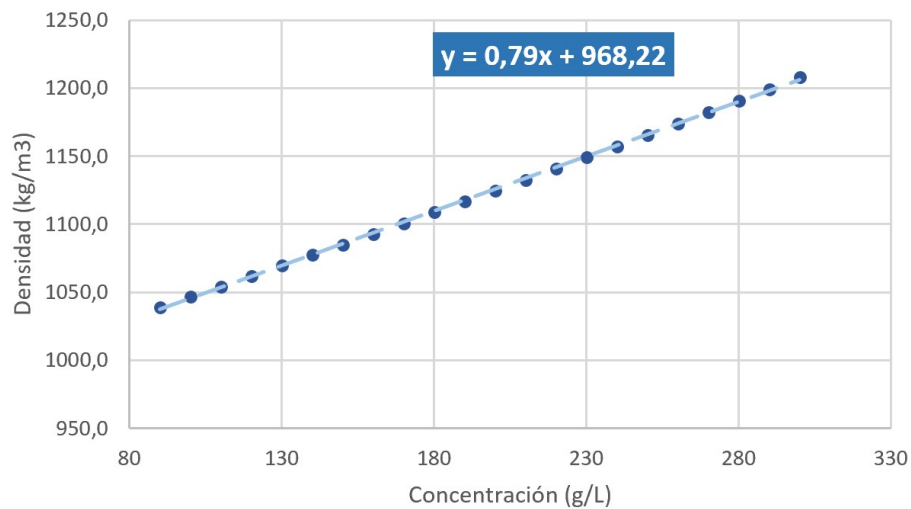


Ilustración 38. Comportamiento de la densidad frente a salinidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Water Density Calculator.

Para poder calcular la cantidad en kg de agua evaporada, se considera que los incrementos de 10 en la concentración son válidos como pequeños ya que la variación de la densidad en estos saltos es pequeña y por lo tanto la densidad en estos incrementos se puede considerar como la densidad media. Esta última se entiende como la media de las densidades correspondientes a las dos concentraciones límites del intervalo. La gráfica siguiente se ha realizado para una temperatura de 80°C y corresponde al escenario uno.

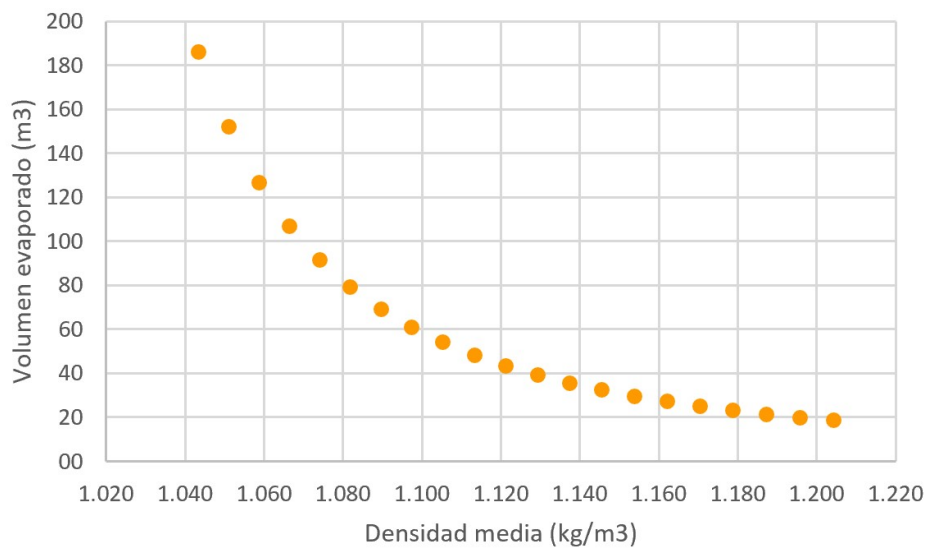


Ilustración 39. Relación entre volumen evaporado y densidad media del agua.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Water Density Calculator.

Finalmente, para calcular la cantidad total de agua evaporada se multiplica intervalo a intervalo, la cantidad de agua evaporada por la densidad media del intervalo. Las ecuaciones aplicadas quedan definidas a continuación.

$$M_{agua} = \sum_{i=0}^n V_i \cdot \rho_i$$

Ecuación 7. Cantidad de agua que debe evaporarse en kilogramos.

Donde,

i	Incremento entre dos concentraciones.
V_i	Volumen de agua evaporada en el i (m^3).
ρ_i	Densidad media del agua en i (kg/m^3).
n	Número de incrementos
M_{agua}	Cantidad total de agua evaporada (kg).

$$\rho_i = \frac{\rho_j + \rho_{j+1}}{2}$$

Ecuación 8. Densidad media del agua en un incremento.

Donde,

j	Concentración.
ρ_j	Densidad en la concentración j (kg/m^3).
ρ_{j+1}	Densidad en la concentración siguiente a j (kg/m^3).

$$V_i = V_{j+1} - V_j$$

Ecuación 9. Volumen evaporado en un incremento.

Donde,

j Concentración.

V_j Volumen en la concentración j (m^3).

V_{j+1} Volumen en la concentración siguiente a j (m^3).

Para el escenario primero, el volumen evaporado, la densidad media y la cantidad de agua en kilogramos se resume en la tabla que se muestra a continuación. Posterior a dicha tabla aparece la correspondiente al escenario dos.

INCREMENTO DE SALINIDAD	VOLUMEN EVAPORADO (m^3)	DENSIDAD MEDIA (kg/m^3)	kg AGUA
98,25-100	0,030	1046,2	31,30
100-110	0,153	1050,6	160,46
110-120	0,127	1058,3	134,69
120-130	0,108	1065,9	114,79
130-140	0,092	1073,6	99,10
140-150	0,080	1081,4	86,51
150-160	0,070	1089,2	76,24
160-170	0,062	1097,0	67,76
170-180	0,055	1104,9	60,66
180-190	0,049	1112,9	54,67
190-200	0,044	1120,9	49,55
200-210	0,040	1128,9	45,16
210-220	0,036	1137,0	41,35
220-230	0,033	1145,2	38,02
2230-240	0,030	1153,4	35,10
240-250	0,028	1161,7	32,53
250-260	0,026	1170,0	30,24
260-270	0,024	1178,4	28,20
270-280	0,022	1186,8	26,37
280-290	0,021	1195,3	24,73
290-300	0,019	1203,9	23,25
TOTAL	1,1499		1260,69

Tabla 7. Cantidad de agua evaporada por incremento y total, 80°C (1).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Water Density Calculator.

INCREMENTO DE SALINIDAD	VOLUMEN EVAPORADO (m3)	DENSIDAD MEDIA (kg/m3)	kg AGUA
98,25-100	0,015	1046,2	15,65
100-110	0,076	1050,6	80,23
110-120	0,064	1058,3	67,34
120-130	0,054	1065,9	57,40
130-140	0,046	1073,6	49,55
140-150	0,040	1081,4	43,26
150-160	0,035	1089,2	38,12
160-170	0,031	1097,0	33,88
170-180	0,027	1104,9	30,33
180-190	0,025	1112,9	27,33
190-200	0,022	1120,9	24,78
200-210	0,020	1128,9	22,58
210-220	0,018	1137,0	20,67
220-230	0,017	1145,2	19,01
2230-240	0,015	1153,4	17,55
240-250	0,014	1161,7	16,26
250-260	0,013	1170,0	15,12
260-270	0,012	1178,4	14,10
270-280	0,011	1186,8	13,19
280-290	0,010	1195,3	12,37
290-300	0,010	1203,9	11,62
TOTAL	0,5750		630,34

Tabla 8. Cantidad de agua evaporada por incremento y total, 80°C (2).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Water Density Calculator.

1.4.1.10 Energía y potencia necesaria para cambio de concentración.

Para calcular la energía necesaria se emplea la entalpía del agua y sus consideraciones realizadas. La energía será el producto de la cantidad de agua evaporada y la entalpía del agua. La cantidad de agua evaporada en kilogramos se calcula en el apartado anterior y su valor es de 1260'69 kg y 630'34 kg para los escenarios uno y dos respectivamente.

$$E_{evp} = M_{agua} \cdot 539 = 1260'69 \cdot 10^3 \cdot 539 = 679'5 \text{ Mca (escenario 1)}$$

$$E_{evp} = M_{agua} \cdot 539 = 630'34 \cdot 10^3 \cdot 539 = 339'7 \text{ Mca (escenario 2)}$$

Ecuación 10. Energía necesaria para cambio de concentración.

$$679'5 \text{ Mca} \cdot \frac{1000 \text{ kca}}{1 \text{ Mca}} \cdot \frac{1 \text{ J}}{0'000239 \text{ kca}} = 2843'1 \text{ MJ (escenario 1)}$$

$$339'7 \text{ Mca} \cdot \frac{1000 \text{ kca}}{1 \text{ Mca}} \cdot \frac{1 \text{ J}}{0'000239 \text{ kca}} = 1421'3 \text{ MJ (escenario 2)}$$

Esta es la energía total para pasar de 98'25 g/L a 300 g/L. Sin embargo, hay que tener en cuenta que se realiza en dos etapas y estas no duran el mismo tiempo. En la primera etapa la cantidad de agua evaporada es de 831'52 kg para el escenario uno y de 415'76 kg para el escenario dos. En la segunda se evaporan 429'17 kg para el primer escenario y 214'58 kg para el segundo escenario. El tiempo de duración para la primera etapa será de 7 horas 45 min, y la segunda de 5 horas.

$$P_{\text{cambio concentración}} = P_1 + P_2 = 120'98 \text{ kW (escenario 1)}$$

$$P_{\text{cambio concentración}} = P_1 + P_2 = 60'49 \text{ kW (escenario 2)}$$

Ecuación 11. Potencia para cambio de concentración.

Donde,

Para el escenario uno

$$P_1 = \frac{E_1}{t_1} = \frac{1875'26 \cdot 10^6 \text{ J}}{27900 \text{ s}} = 67'21 \text{ kW}$$

$$P_2 = \frac{E_2}{t_2} = \frac{967'87 \cdot 10^6 \text{ J}}{18000 \text{ s}} = 53'77 \text{ kW}$$

$$E_1 = 831'52 \cdot 10^3 \cdot 539 = 448'19 \text{ Mca} \equiv 1875'26 \text{ MJ}$$

$$E_2 = 429'17 \cdot 10^3 \cdot 539 = 231'32 \text{ Mca} \equiv 967'87 \text{ MJ}$$

Para el escenario dos

$$P_1 = \frac{E_1}{t_1} = \frac{937'63 \cdot 10^6 \text{ J}}{27900 \text{ s}} = 33'61 \text{ kW}$$

$$P_2 = \frac{E_2}{t_2} = \frac{483'92 \cdot 10^6 \text{ J}}{18000 \text{ s}} = 26'88 \text{ kW}$$

$$E_1 = 415'76 \cdot 10^3 \cdot 539 = 224'09 \text{ Mca} \equiv 937'63 \text{ MJ}$$

$$E_2 = 214'58 \cdot 10^3 \cdot 539 = 115'65 \text{ Mca} \equiv 483'92 \text{ MJ}$$

El cambio de concentración de la salmuera se lleva a cabo a temperatura constante de 80°C. Para ello se emplean resistencias eléctricas y se estima que el rendimiento de estas es aproximadamente del 80%. Por ello la potencia eléctrica necesaria para el cambio de concentración será la potencia para el cambio de concentración entre el rendimiento estimado, el resultado es 151'22 kW para el escenario uno y 75'61 kW para el escenario dos.

1.4.1.11 Potencia para cambio de temperatura

Cuando la salmuera es bombeada, lo primero que se lleva a cabo es elevar su temperatura de 20°C a 80°C. Para ello se tiene en cuenta que el calor específico del agua es 4000 J/kg · K, el volumen de agua a calentar es 1'709m³ en el escenario uno y 0'85m³ para el escenario dos, con una densidad de 1074'08 kg/m³, y la cantidad en kg de agua es 1835'6 kg y 917'8 kg respectivamente. El tiempo estimado para elevar la temperatura es de 3 horas.

$$P_{temp} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{t} = \frac{1835'6 \cdot 4000 \cdot 60}{10800} = 40'79 \text{ kW (escenario 1)}$$

$$P_{temp} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{t} = \frac{917'8 \cdot 4000 \cdot 60}{10800} = 20'39 \text{ kW (escenario 2)}$$

Ecuación 12. Potencia para cambio de temperatura.

Donde,

P_{temp}	Potencia para cambio de temperatura (kW).
m	Cantidad de agua calentada (kg).
c_p	Calor específico del agua (J kg ⁻¹ K ⁻¹).
ΔT	Variación de temperatura (K).
t	Tiempo estimado para calentar el agua (s).

El cambio de temperatura se lleva a cabo a través de resistencias eléctricas con un rendimiento estimado del 80%. La potencia eléctrica necesaria para el cambio de temperatura es la potencia para el cambio de temperatura entre el rendimiento, el resultado es 50'98 kW para el escenario uno y 25'48 kW para el escenario dos.

1.4.2 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PARA BOMBEO DE SALMUERA

En la estación de bombeo se eleva, a una altura de 1'1m, un volumen de 1709'92 litros de agua (1'709 m³) en el escenario uno y 854'96 L en el escenario dos. En este punto, teniendo en cuenta la salinidad del agua que es de 98'25 g/L y su temperatura de 20°C, la densidad del volumen bombeado es de 1074'08 kg/m³. Estas instalaciones cuentan con una bomba, un motor eléctrico y el conjunto de tuberías por donde circula la salmuera. Se tiene en cuenta las pérdidas y a continuación se muestra el balance de potencias. Se estima que la duración del bombeo es de 15 minutos.

La potencia útil de la bomba se define con la siguiente expresión matemática,

$$P_u = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Ecuación 13. Potencia útil de una bomba.

Donde,

P_u	Potencia útil de la bomba (W).
ρ	Densidad del fluido que recorre la bomba (kg/m ³).
Q	Caudal que entra en la bomba (m ³ /s).
g	Aceleración de la gravedad (m/s ²).
H	Altura manométrica ganada por el fluido al pasar por la bomba (m).

Para saber el caudal se divide el volumen entre el tiempo en que debe bombearse. En cuanto a la altura manométrica, se compone de tres términos expresados en metros:

(1) La altura geométrica que debe vencer el fluido, en este caso 1'1m.

(2) Las pérdidas debidas al paso del fluido por tuberías, válvulas, etc. Se pueden estimar entre 5 y 10 m, y en este caso se elige el caso más desfavorable (10 m).

(3) Término relacionado con la presión diferencial existente entre la superficie desde donde se bombea el fluido y la superficie a la que llega. En este caso ambas superficies se encuentran a la misma presión, la atmosférica, y por lo tanto este término es nulo.

$$P_u = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 1074'08 \cdot 9'81 \cdot \frac{1709'92 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 60} \cdot (1'1 + 10) = 222'21 \text{ W (1)}$$

$$P_u = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 1074'08 \cdot 9'81 \cdot \frac{854'96 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 60} \cdot (1'1 + 10) = 111'10 \text{ W (2)}$$

Este valor no es la potencia eléctrica que consume el conjunto de bombeo. Para obtenerla se divide la potencia útil calculada entre tres rendimientos que se explican a continuación.

η_H Rendimiento hidráulico, relación entre la altura que alcanza el fluido y la que alcanzaría si no hubiese pérdidas. Para bombas pequeñas se puede estimar entre 0'85 y 0'88.

η_V Rendimiento volumétrico, tiene en cuenta las pérdidas debidas a fugas de fluido en el interior del cuerpo de la bomba. En este caso, pequeños caudales, se puede estimar en 0'9.

η_M Rendimiento del motor, se puede estimar en 0'83 por ser una bomba pequeña.

$$P_e = \frac{P_u}{\eta_H \cdot \eta_V \cdot \eta_M} = \frac{222'21}{0'85 \cdot 0'9 \cdot 0'83} = 349'96 \text{ W (escenario 1)}$$

$$P_e = \frac{P_u}{\eta_H \cdot \eta_V \cdot \eta_M} = \frac{111'10}{0'85 \cdot 0'9 \cdot 0'83} = 174'97 \text{ W (escenario 2)}$$

Ecuación 14. Potencia eléctrica para bombeo.

1.4.4 PRODUCCIÓN ANUAL DE SAL

Actualmente, se produce sal durante tres cuatro meses al año y se obtiene más o menos unas 300 toneladas de sal común y 15 toneladas de flor de sal y escamas. Si se tiene en cuenta la propuesta de instalación, durante los 8 meses restantes también se puede producir sal.

Para el escenario uno, si el volumen final son 560L con una concentración de 300g/L, se recoge al día 168 kg de sal que, multiplicado por 29 días en los que se puede recoger, se tienen 4872 kg al mes. Por lo tanto, durante los 8 meses, la cantidad total de sal común será 38976 kg que son casi 39 toneladas de sal. Esta cantidad supone un 13% de lo que se produce actualmente.

En cuanto a la sal de escamas y flor de sal, posiblemente la producción será en la misma proporción que la sal común, un 13% de las 15 toneladas que se producen durante los meses no lluviosos. Esto es una cantidad cercana a 2 toneladas.

En el escenario dos, el volumen final es 279'99L con una concentración de 300 g/L cada día y por lo tanto se estima una producción mensual de 2435'71 kg de sal. Si se produce esta cantidad durante 8 meses, el total es de 19485'68 kg que son casi 20 toneladas de sal común. Esto supone un 6'5% de la producción actual. En este caso la cantidad de flor de sal y escamas obtenida será de 0'975 toneladas.

Escenario	Sal común (t)	Flor y escamas (t)	% sobre la producción actual
1	38'9	2	12'98
2	19'4	0'97	6'5

Tabla 9. Resumen de la producción en los meses de lluvias.

Fuente: Elaboración propia.

1.4.4 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

1.4.4.1 Potencia total diaria

ESCENARIO	USO		POTENCIA (kW/día)	Horas	kWh/día
1	BOMBEO SALMUERA		0,35	0,25	0,09
	CAMBIO DE TEMPERATURA		50,98	3	152,94
	CAMBIO DE CONCENTRACIÓN	Etapa 1	84,01	7,75	651,10
		Etapa 2	67,21	5	336,06
	Total		202,55	16	1140,2
2	BOMBEO SALMUERA		0,17	0,25	0,04
	CAMBIO DE TEMPERATURA		25,48	3	76,44
	CAMBIO DE CONCENTRACIÓN	Etapa 1	42,01	7,75	325,58
		Etapa 2	33,6	5	168,00
	Total		101,26	16	570,06

Tabla 10. Potencia total diaria.

Teniendo en cuenta las pérdidas asociadas a la instalación, el rendimiento global de la instalación se puede calcular como se indica a continuación. Se han tomado valores típicos para los distintos coeficientes de pérdidas y para la profundidad de descarga. En cuanto a la autonomía de la instalación, como Isla Cristina se ubica en una región con alta insolación anual, se estima que la batería puede cubrir la necesidad energética de dos días.

$$K_T = (1 - k_b - k_R - k_c - k_v)(1 - k_a \cdot \frac{D_{aut}}{p_d})$$

Ecuación 15. Rendimiento global de la instalación.

Donde,

- k_b Coeficiente de pérdidas de las baterías.
- k_R Coeficiente de pérdidas debido al rendimiento del regulador.
- k_c Coeficiente de pérdidas debido al rendimiento del inversor.
- k_v Coeficiente de pérdidas debido a diversas causas.
- k_a Coeficiente de pérdidas debido a la autodescarga de las baterías.

D_{aut} Días de autonomía de la instalación.

p_d Profundidad de descarga.

$$K_T = (1 - 0'05 - 0'1 - 0'1 - 0'1) \cdot \left(1 - 0'005 \cdot \frac{2}{0'6}\right) = 0'65 \cdot 0'983 = 0'64$$

Por lo tanto, la energía que debe llegar al grupo de las baterías es de

$$E_{mx} = \frac{1140'2}{0'64} = 1781'56 \text{ kWh/día (escenario 1)}$$

$$E_{mx} = \frac{570'06}{0'64} = 890'71 \text{ kWh/día (escenario 2)}$$

1.4.4.2 Tensión de funcionamiento de la instalación

La tensión de funcionamiento se puede establecer a partir de la energía consumida por la instalación. Se emplean tensiones estándar y las recomendaciones generales son las siguientes:

Potencia de la instalación	Tensión
1) menor de 1'5 kW	12 V
2) entre 1'5 kW y 5 kW	24V o 48 V
3) mayor de 5 kW	48V o 120 V

Por lo tanto, al ser la potencia de la instalación superior a 5kW, la tensión de funcionamiento será de 120V.

1.4.4.3 Ángulo de inclinación y azimut

Los paneles fotovoltaicos, para aprovechar al máximo la energía que llega del sol, pueden estar inclinados con respecto al suelo, el ángulo de inclinación se indica con la letra β , y orientado con respecto al sur (en el hemisferio norte) o con respecto al norte (en el hemisferio sur), en este caso el ángulo se indica con la letra α y se denomina azimut.

Ángulo de inclinación

Para el cálculo del ángulo de inclinación (β), se debe tener en cuenta si la prioridad es el funcionamiento en invierno, en primavera o verano, o si la prioridad es la uniformidad durante todo el año. En este caso es más importante que la instalación funcione con el rendimiento más elevado en invierno, ya que en verano no es necesaria la energía de los paneles fotovoltaicos para extraer sal.

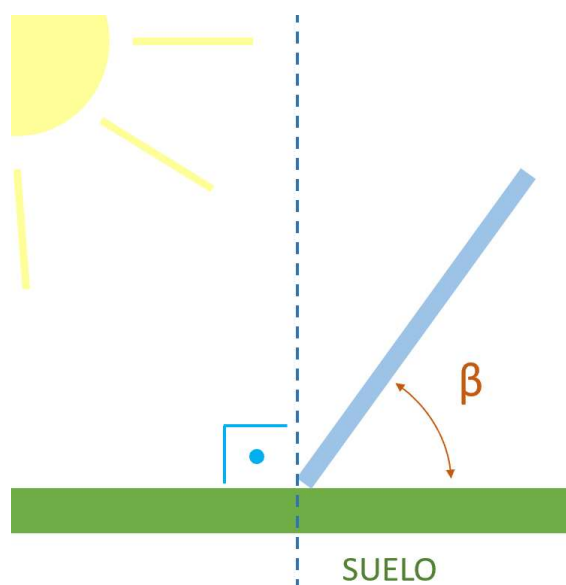


Ilustración 40. Inclinación de un panel fotovoltaico.

Fuente: Elaboración propia.

El ángulo β está estrechamente relacionado con la latitud de la ubicación de los paneles. La latitud de Isla Cristina es $37^{\circ}22'$ [8], y para obtener β se aplica la siguiente expresión:

$$\beta = \text{latitud} + 20^{\circ} = 57^{\circ}22'$$

Ecuación 16. Ángulo de inclinación.

Azimut

Cuando se elige este parámetro hay que tener en cuenta que no se produzcan sombras sobre los paneles y se podría considerar un ángulo α entre $+20^{\circ}$ y -20° . También se debe definir si la producción de energía debe ser igual entre por la mañana y por la tarde, si

puede ser mayor durante la mañana o si puede ser mayor durante la tarde. En este caso la producción debe ser igual por la mañana y por la tarde y por lo tanto la orientación de los paneles será hacia el sur y $\alpha = 0^\circ$.

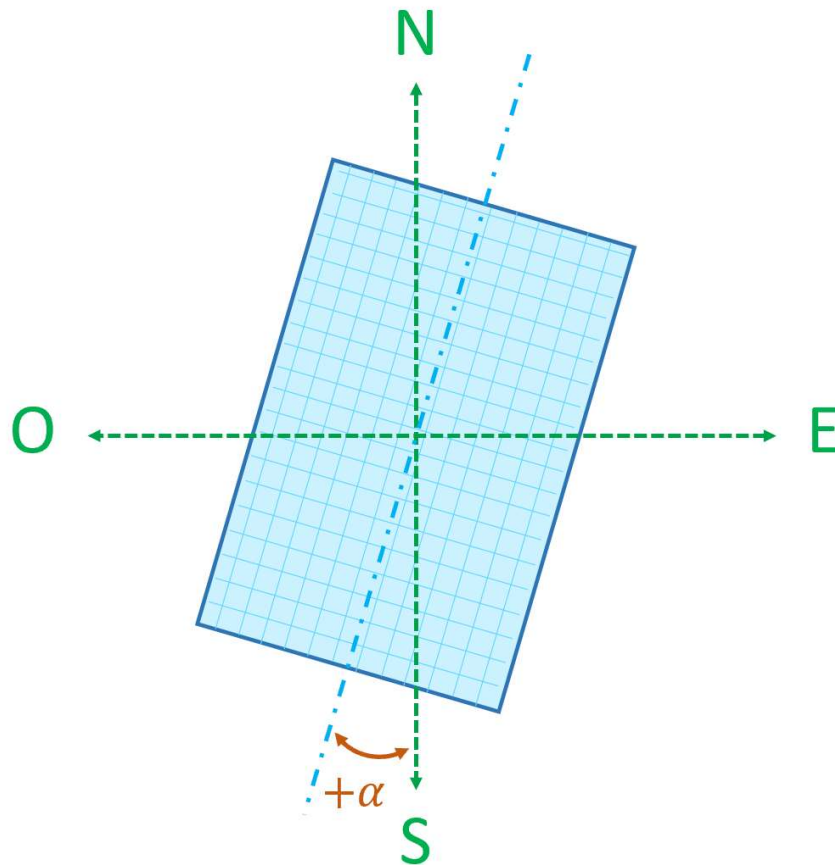


Ilustración 41. Representación del ángulo α

Fuente: Elaboración propia.

1.4.4.4 Cálculo de HSP

Las horas solar pico (HSP) son las horas necesarias, con una irradiación constante de 1kW/m^2 , para conseguir el total de irradiación solar durante todo el día en una ubicación concreta.

$$HSP = H \cdot K_{\beta} \cdot K_{\alpha} \cdot K_{atm}$$

Ecuación 17. Expresión para el cálculo de HSP.

Donde,

HSP	Horas solar pico en Wh
H	Irradiancia en el plano horizontal en un lugar determinado en kWh/m ² día.
K_{β}	Coeficiente para corregir la inclinación del panel fotovoltaico.
K_{α}	Coeficiente para corregir la desviación del panel con respecto a la dirección sur.
K_{atm}	Coeficiente para corregir los efectos atmosféricos.

Los valores de la irradiancia en el plano horizontal se obtienen del Sistema de información geográfica fotovoltaica [9], el coeficiente para corregir la inclinación del panel se adquiere del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía y para el coeficiente destinado a corregir los efectos atmosféricos se emplea la expresión siguiente.

$$K_{atm} = 1'14 - 0'085 \cdot \alpha$$

Ecuación 18. Coeficiente para corregir efectos atmosféricos.

Donde,

α	Ángulo de desviación del panel con respecto a la dirección sur (azimut), en este caso es nulo.
----------	--

A continuación, se muestra una tabla con los cálculos de las horas solar pico, de todos los meses del año, en Isla Cristina. El coeficiente para corregir la inclinación del panel depende de la latitud de la ubicación y del mes del año, se adjunta en el anexo de cálculos (Coeficiente K_{β}) una tabla que hace referencia a dicho coeficiente.

MES	H (kWh/m ² día)	K _β	K _α	K _{atm}	HSP (h)
ENERO	2,57	1,35	1,14	1	3,96
FEBRERO	3,68	1,22	1,14	1	5,12
MARZO	5,2	1,06	1,14	1	6,28
ABRIL	6,22	0,9	1,14	1	6,38
MAYO	7,25	0,78	1,14	1	6,45
JUNIO	8,09	0,74	1,14	1	6,82
JULIO	8,16	0,78	1,14	1	7,26
AGOSTO	7,22	0,91	1,14	1	7,49
SEPTIEMBRE	5,67	1,1	1,14	1	7,11
OCTUBRE	4,26	1,32	1,14	1	6,41
NOMVIEMBRE	2,91	1,47	1,14	1	4,88
DICIEMBRE	2,31	1,45	1,14	1	3,82

Tabla 11. Horas solar pico mensual en Isla Cristina.

Fuente: Elaboración propia.

El caso más desfavorable tiene lugar en diciembre con HSP=3'82. La energía producida por vatios pico instalados es de 3'82 Wh.

1.4.4.5 Número de paneles fotovoltaicos

Se eligen paneles fotovoltaicos con una potencia pico grande, pues la energía que se debe generar al día es elevada, para que el número de paneles no sea excesivo. En este caso el panel elegido es un módulo de LG con una potencia pico de 370W, sus características se encuentran en el anexo de cálculos (LG 370W).

Consumo en Ah/día

$$C_{Tmax} = \frac{E_{mx}}{V_{nom}} = \frac{1781'56}{120} = 14'84 \text{ kAh/día (escenario 1)}$$

$$C_{Tmax} = \frac{E_{mx}}{V_{nom}} = \frac{890'71}{120} = 7'42 \text{ kAh/día (escenario 1)}$$

Ecuación 19. Consumo diario en Ah.

Donde,

C_{Tmax} Consumo total diario considerando las pérdidas de la instalación (kAh/día).

E_{mx} Energía total diaria teniendo en cuenta las pérdidas (kWh/día).

V_{nom} Tensión nominal de la instalación.

Energía del módulo en Ah/día

$$E_{modulo} = \eta_m \cdot I_{mx\ modulo} \cdot HSP = 0'95 \cdot 10'01 \cdot 3'82 = 36'32 \text{ Ah/día}$$

Ecuación 20. Consumo total diario por módulo en Ah.

Donde,

E_{modulo} Energía total diaria de cada módulo (Ah/día).

η_m Rendimiento del módulo.

HSP Horas solar pico en el mes más desfavorable.

I_{modulo} Corriente máxima del módulo (A).

Número de módulos en paralelo

$$N_p = \frac{C_{Tmax}}{E_{modulo}} = \frac{14'84 \cdot 10^3}{36'32} = 408'5 \equiv 409 \text{ (escenario 1)}$$

$$N_p = \frac{C_{Tmax}}{E_{modulo}} = \frac{7'42 \cdot 10^3}{36'32} = 204'2 \equiv 205 \text{ (escenario 2)}$$

Número de módulos en serie

$$N_s = \frac{V_{sistema}}{V_{modulo}} = \frac{120}{37} = 3'24 \equiv 4$$

Número total de módulos

$$N_T = N_p \cdot N_s = 409 \cdot 4 = 1636 \text{ paneles (escenario 1)}$$

$$N_T = N_p \cdot N_s = 205 \cdot 4 = 820 \text{ paneles (escenario 2)}$$

Ecuación 21. Número total de paneles fotovoltaicos.

1.4.4.6 Dimensionado de la batería o acumulador

Capacidad nominal del acumulador

$$C_{nom\ b} = \frac{C_{Tmax} \cdot D_{aut}}{p_{dmax}} \cdot 100 = \frac{14'84 \cdot 10^3 \cdot 2}{0'6} \cdot 100 = 4946'6 \text{ kAh (escenario 1)}$$

$$C_{nom\ b} = \frac{C_{Tmax} \cdot D_{aut}}{p_{dmax}} \cdot 100 = \frac{7'42 \cdot 10^3 \cdot 2}{0'6} \cdot 100 = 2473'3 \text{ kAh (escenario 2)}$$

Ecuación 22. Consumo diario del acumulador en Ah.

Donde,

C_{Tmax} Consumo total considerando las pérdidas del sistema (Ah/día).

p_{dmax} Profundidad máxima de descarga.

$C_{nom\ b}$ Capacidad nominal del acumulador (kAh).

Numero de baterías en serie y paralelo

Las baterías elegidas son Fronius y sus características se adjuntan en el anexo de cálculos (Baterías Fronius, Battery 4.5).

$$N_T = N_p \cdot N_s = \frac{C_{nom\ b}}{C_b} \cdot \frac{V_{sistema}}{V_b} = \frac{14'84 \cdot 10^3}{16} \cdot \frac{120}{120} = 928 \text{ Baterías (1)}$$

$$N_T = N_p \cdot N_s = \frac{C_{nom\ b}}{C_b} \cdot \frac{V_{sistema}}{V_b} = \frac{7'42 \cdot 10^3}{16} \cdot \frac{120}{120} = 464 \text{ Baterías (2)}$$

Ecuación 23. Número total de baterías.

Donde,

- C_b Capacidad de una batería (Ah).
 $V_{sistema}$ Tensión nominal del sistema (V).
 $C_{nom\ b}$ Capacidad nominal del acumulador (Ah).
 V_b Tensión nominal de la batería.

1.4.4.7 Determinación de los reguladores

$$I_{regulador_seg} = 1'1 \cdot N_p \cdot I_{módulo} = 1'1 \cdot 396 \cdot 10'01 = 4'36 \text{ kA} \quad (1)$$

$$I_{regulador_seg} = 1'1 \cdot N_p \cdot I_{módulo} = 1'1 \cdot 198 \cdot 10'01 = 2'18 \text{ kA} \quad (2)$$

Ecuación 24. Carga del regulador.

Donde,

- $I_{regulador_seg}$ Carga del regulador (kA) con un margen de seguridad del 10 %.
 N_p Número de paneles en paralelo.
 $I_{módulo}$ Corriente máxima del panel fotovoltaico.

Número de reguladores

El regulador elegido es Yangtze 120V, con una corriente de 100 A.

$$N_{reg} = \frac{I_{regulador_seg}}{I_{reg}} = \frac{4'36 \cdot 10^3}{100} = 43'6 \equiv 44 \text{ (escenario 1)}$$

$$N_{reg} = \frac{I_{regulador_seg}}{I_{reg}} = \frac{2'18 \cdot 10^3}{100} = 21'8 \equiv 22 \text{ (escenario 2)}$$

1.4.4.8 Determinación de la potencia del inversor

La potencia del inversor se obtiene dividiendo la potencia de los consumos en corriente alterna, en este caso son todos, entre el rendimiento estimado del inversor. Se elige el inversor Power Xpert Solar 250 kW de Eaton.

$$P_{inversor} = \frac{202'55}{0'85} = 238'29 \text{ kW (escenario 1)}$$

$$P_{inversor} = \frac{101'26}{0'85} = 119'12 \text{ kW (escenario 2)}$$

Ecuación 25. Potencia del inversor.

CAPÍTULO V: VIABILIDAD ECONÓMICA

La inversión total tiene en cuenta las cifras obtenidas en el presupuesto, pero también otras partidas como los costes de puesta en marcha, licencias, etc. Aplicando ratios basados en la experiencia se puede obtener la inversión total como:

$$INV_T = 1'47 \cdot INV = 1'47 \cdot 7'36 = 10'81 \text{ millones } € \text{ (escenario 1)}$$

$$INV_T = 1'47 \cdot INV = 1'47 \cdot 3'68 = 5'4 \text{ millones } € \text{ (escenario 2)}$$

Ecuación 26. Inversión total.

El estudio de viabilidad se lleva a cabo con la inversión del escenario dos, aunque 5'4 millones de euros como inversión inicial es una cantidad elevada para tratarse de una salina artesanal. Las ventas anuales quedan reflejadas en la tabla que se muestra a continuación.

Meses	Tipo de sal	Cantidad (kg)	Importe (€)
Evaporación solar	sal marina virgen	300000	675.000,00 €
	flor de sal y escamas	15000	390.000,00 €
Evaporación combinada	sal marina virgen	19400	43.650,00 €
	flor de sal y escamas	970	25.220,00 €
Total			1.133.870,00 €

Tabla 12. Ventas anuales.

Fuente: Elaboración propia.

Para analizar el flujo de caja, lo primero es calcular el margen bruto (MB). Este último se calcula como la diferencia entre las ventas y los pagos. Se entiende por pagos los costes de mantenimiento, supervisión y operación de la instalación de forma anual. En este caso los pagos equivalen al salario de dos personas durante todo el año.

La vida útil de las instalaciones se considera de 20 años, la amortización se considera lineal teniendo en cuenta que en el año 14 la amortización debe ser cero.

Posteriormente se calcula el Beneficio Antes de Intereses e Impuestos (BAIT), como la suma de el margen bruto y la amortización. Para calcular el beneficio neto (BN), como no se tienen en cuenta intereses sobre la inversión inicial ($BAIT=BAT$), se puede calcular como el Beneficio Antes de Impuestos (BAT) menos el impuesto de sociedades del año 2018 (25% del BAT).

Los principales índices para la evaluación de proyectos son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de rentabilidad (TIR). Se pueden obtener a partir del flujo de caja, y este se calcula sumando la amortización y el beneficio neto.

Para que la inversión sea rentable, genere beneficios, el VAN debe ser mayor que cero. En este caso el VAN es negativo y por lo tanto no es rentable. A continuación, se muestran las tablas que incluyen los valores del análisis de rentabilidad.

		1	2	3	4
Ingresos de sal		1133870,0	1133870,0	1133870,0	1133870,0
pagos		-35280,0	-35280,0	-35280,0	-35280,0
MB		1098590,0	1098590,0	1098590,0	1098590,0
Amortización		-416746,6	-416746,6	-416746,6	-416746,6
BAIT		681843,4	681843,4	681843,4	681843,4
Impuestos		170460,9	170460,9	170460,9	170460,9
BN		511382,6	511382,6	511382,6	511382,6
FC	-5417705,58	94636,0	94636,0	94636,0	94636,0

Inflación	1,2%	VAN	-5.338.820,87 €
Impuestos	25%	TIR	-2%
Inversión	5,4 millones €		

5	6	7	8	9	10
1133870,0	1133870,0	1133870,0	1133870,0	1133870,0	1133870,0
-35280,0	-35280,0	-35280,0	-35280,0	-35280,0	-35280,0
1098590,0	1098590,0	1098590,0	1098590,0	1098590,0	1098590,0
-416746,6	-416746,6	-416746,6	-416746,6	-416746,6	-416746,6
681843,4	681843,4	681843,4	681843,4	681843,4	681843,4
170460,9	170460,9	170460,9	170460,9	170460,9	170460,9
511382,6	511382,6	511382,6	511382,6	511382,6	511382,6
94636,0	94636,0	94636,0	94636,0	94636,0	94636,0

11	12	13	14	15
1133870,0	1133870,0	1133870,0	1133870,0	1133870,0
-35280,0	-35280,0	-35280,0	-35280,0	-35280,0
1098590,0	1098590,0	1098590,0	1098590,0	1098590,0
-416746,6	-416746,6	-416746,6	0,0	0,0
681843,4	681843,4	681843,4	1098590,0	1098590,0
170460,9	170460,9	170460,9	274647,5	274647,5
511382,6	511382,6	511382,6	823942,5	823942,5
94636,0	94636,0	94636,0	823942,5	823942,5

16	17	18	19	20
1133870,0	1133870,0	1133870,0	1133870,0	1133870,0
-35280,0	-35280,0	-35280,0	-35280,0	-35280,0
1098590,0	1098590,0	1098590,0	1098590,0	1098590,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1098590,0	1098590,0	1098590,0	1098590,0	1098590,0
274647,5	274647,5	274647,5	274647,5	274647,5
823942,5	823942,5	823942,5	823942,5	823942,5
823942,5	823942,5	823942,5	823942,5	823942,5

CAPÍTULO VI: CONCLUSIÓN DEL PROYECTO

El sector salinero ha tenido y tiene una presencia considerable a nivel mundial. Concretamente en España, se encuentran amplias zonas salineras constituyendo un importante patrimonio. Las salinas artesanales españolas forman parte del patrimonio nacional y de forma significativa contribuyen al desarrollo de actividades completamente sostenibles en todos sus aspectos.

En el caso de Biomaris, se lucha por conservar el paraje natural que constituyen las marismas y para ello competir en el mercado no solo con la producción de cloruro sódico, también con actividades relacionadas con la sal y con la naturaleza, con la cultura y con la salud.

En cuanto a los objetivos planteados en el capítulo primero, se pueden concluir los siguientes aspectos:

- 1) Las condiciones climatológicas de Isla Cristina permiten un aprovechamiento de las instalaciones de evaporación solar, obteniendo una salmuera con una concentración cercana a los 100 g/L.
- 2) La mejor forma de proteger a la salmuera de las lluvias es mediante una cubierta móvil, que cubre las balsas de cristalización, y el posterior bombeo de la salmuera a una zona elevada y cubierta que permite la ventilación.
- 3) En cuanto a la forma de aportar calor, las dos energías renovables óptimas para el caso de estudio son la biomasa y la fotovoltaica. Sin embargo, la biomasa no permite la independencia de otras empresas, como son las empresas productoras de biomasa o las empresas dedicadas al transporte de la misma. Por lo tanto, la mejor opción es la fotovoltaica.
- 4) Para realizar los cálculos, se toma como referencia una consideración basada en la experiencia de los salineros artesanales. Cuando la salmuera se encuentra en

los cristalizadores y ha alcanzado los 300 g/L, la altura que ocupa se encuentra entre los 3 y 5 cm. También se concluye que la variación de la densidad del agua frente a su salinidad, a temperatura y presión constante, es lineal.

- 5) En cuanto a la viabilidad económica, tras el estudio de viabilidad realizado, el proyecto no es rentable. Esto se debe a que la salina es artesanal y su producción es pequeña como para cubrir la inversión y obtener beneficios. También es debido a que la salmuera, para producir en unos tiempos considerables, precisa de gran potencia.

REFERENCIAS

- [1] “*Historia de la sal*”, Instituto de la sal (Isal), www.institutodelasal.com, (febrero 2018)
- [2] “Salt Uses”, European Salt Producers Association, <https://eusalt.com> (mayo 2018)
- [3] Jesús-F Carrasco, Katia Hueso Kortekaas, (2008). “*Las salinas de interior*”
- [4] Flor de Sal Biomaris, www.flordesalbiomaris.com (junio 2018)
- [5] “Paraje Natural Marismas de Isla Cristina”, www.marina-islacanela.com, (julio 2018)
- [6] Entalpía de vaporización, es.wikipedia.org, (mayo 2018)
- [7] Ocean Water Density Calculator, www.csgnetwork.com , (julio 2018)
- [8] Coordenadas Google Map de Isla Cristina, www.coordenadas.com.es , (julio 2018)
- [9] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), Joint Reserch Center, <http://re.jrc.ec.europa.eu> (julio 2018)

BIBLIOGRAFÍA

- ACCIONA. (julio de 2018). Obtenido de www.acciona.com
- AEMET. (junio de 2018). Obtenido de datosclima.es
- Aparicio, M. P. (2010). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- (2013-2014). *Apuntes Energías Renovables (ICAI)* .
- Bras del Port. (julio de 2018). Obtenido de www.brasdelport.com
- Brown, T. J. (2018). *World Mineral Production 2012-2016*. Keyworth, Nottingham: British Geological Survey.
- Co, M. C. (2016). <http://www.maldonsalt.co.uk>.

Consulta de estadísticas mineras. (junio de 2018). Obtenido de Ministerio para la transición ecológica: www.mincotur.gob.es

Ekorna. (julio de 2018). Obtenido de www.ekorna.net

España, I. G. (s.f.). *Panorama minero 2016.*

European Salt Producers Association. (marzo de 2018). Obtenido de eusalt.com

Flor de Sal Biomaris. (mayo de 2018). Obtenido de flordesalbiomaris.com

Flor del Delta. (junio de 2018). Obtenido de www.flordeldelta.com

Historia de la sal. (febrero de 2018). Obtenido de Instituto de la sal: www.institutodelasal.com

Histórico, I. A. (abril de 2018). *Extracción artesanal de la sal en Isla Cristina.* Obtenido de www.iaph.es

Iberica de Sales. (julio de 2018). Obtenido de www.ibericadesales.com

INFOSA. (julio de 2018). Obtenido de www.infosa.com

Instituto de la sal. (s.f.). Obtenido de www.institutodelasal.com

Jesús-F Carrasco Vayá, Katia Hueso Kortekaas (2008). *Los paisajes Ibéricos de la sal.*

JUMSAL. (julio de 2018). Obtenido de www.jumsal.com

Hueso Kortekaas, K. (2015). *Sal en el salero, Gestión del patrimonio y los paisajes de la sal del siglo XXI.*

Hueso Kortekaas, K. (2017). *Salt in ours veins,* (Tesis doctoral, Universidad de Barcelona). Barcelona.

Krannich. (julio de 2018). Obtenido de es.krannich-solar.com

Román López, E. (2014). *Paisajes de la sal en Andalucía,* (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid). Madrid.

Maldon Salt. (julio de 2018). Obtenido de www.maldonsalt.co.uk

Medida del calor que entrega una resistencia eléctrica. (julio de 2018). Obtenido de teleformacion.edu.aytolacoruna.es

MINERVA. (julio de 2018). Obtenido de Datos abiertos del ministerio: sedeaplicaciones.minetur.gob.es

Organización Mundial de la Salud. (mayo de 2018). Obtenido de www.who.int

Paraje Natural Marismas de Isla Cristina. (julio de 2018). Obtenido de www.marina-islacanela.com

Parque de la sal Zipaquirá. (julio de 2018). Obtenido de www.catedraldesal.gov.co

Photovoltaic Geographical Information System. (julio de 2018). Obtenido de Centro Común de Investigación: re.jrc.ec.europa.eu/pvgis

Ranking de Empresas del sector Extracción de sal. (junio de 2018). Obtenido de ranking-empresas.eleconomista.es

Real Academia de Ingeniería. (julio de 2018). Obtenido de diccionario.raing.es

Sal Costa. (julio de 2018). Obtenido de www.salcosta.com

Sales Monzón. (julio de 2018). Obtenido de www.salesmonzon.com

Salgado, J. M. (2010). *Compendio de energía solar: fotovoltaica, térmica y termoeléctrica.* Madrid.

Salinera Española. (julio de 2018). Obtenido de www.salineraespañola.com

Senderos de la sal. (julio de 2018). Obtenido de www.senderosdealicante.com

Servicio Geológico de los Estado Unidos. (junio de 2018). Obtenido de minerals.usgs.gov

Sistema de explotación. (febrero de 2018). Obtenido de Jumsal: www.jumsal.com

Tecknosolar. (julio de 2018). Obtenido de tecknosolar.com

Unión Salinera. (julio de 2018). Obtenido de www.unionsalinera.es



PRESUPUESTO

Se realiza una estimación aproximada del coste que supone la inversión de la nueva instalación teniendo en cuenta los elementos con un coste mayor. Los importes que se muestran llevan el IVA incluido. Solo se han tenido en cuenta la inversión, ya que los gastos de mantenimiento, supervisión y operación de las instalaciones son pequeños comparados con la instalación en sí misma.

Costes			
	Concepto	Unidades	Importe
ESCENARIO 1	Módulos fotovoltaicos	1636	929.084,40 €
	Baterías	928	6.402.272,00 €
	Reguladores	44	30.800,00 €
	Inversores	1	2.000,00 €
	Bomba	1	1.500,00 €
	Total		7.365.656,40 €
ESCENARIO 2	Módulos fotovoltaicos	820	465.678,00 €
	Baterías	464	3.201.136,00 €
	Reguladores	22	15.400,00 €
	Inversores	1	2.000,00 €
	Bomba	1	1.300,00 €
	Total		3.685.514,00 €

Tabla 13. Estimación de costes.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXOS

ANEXO DE TABLAS

Producción de sal en España por comunidades autónomas (2012-2016)

		PRODUCCIÓN ANUAL				
PROVINCIA	TIPO DE SAL	2012	2013	2014	2015	2016
ANDALUCÍA						
CÁDIZ	MARINA	186695	178487	285702	248180	241898
HUELVA	MARINA	70599	154551	154523	136528	90773
ALMERÍA	MARINA	0	0	0	18089	18214
Total		257294	333038	440225	402797	350885
BALEARES						
	MARINA	33732	67819	46458	76090	58070
Total		33732	67819	46458	76090	58070
CANARIAS						
LAS PALMAS	MARINA	300	300	190	195	200
Total		300	300	190	195	200
CATALUÑA						
TARRAGONA	MARINA	66585	58800	67700	70000	70000
Total		66585	58800	67700	70000	70000
MURCIA						
	MARINA	92213	95840	87749	92041	98817
Total		92213	95840	87749	92041	98817
VALENCIA						
ALICANTE	MARINA	771936	665215	716325	761549	621697
Total		771936	665215	726325	761549	621696

Tabla 14. Producción de sal marina por comunidades autónomas (toneladas).

Fuente: Elaboración propia a partir de conjunto de datos, datos abiertos del Ministerio, MINERVA.

		PRODUCCIÓN ANUAL				
PROVINCIA	TIPO DE SAL	2012	2013	2014	2015	2016
ANDALUCÍA						
CÓRDOBA	MANANTIAL	2775	2742	2934	3345	2388
JAÉN	MANANTIAL	0	600	705	740	2200
SEVILLA	MANANTIAL	11313	21090	68774	53120	58336
Total		14088	24432	72413	57205	62924
CASTILLA Y LEÓN						
BURGOS	MANANTIAL	3611	3726	3714	13933	13640
SORIA	MANANTIAL	3142	3568	2954	1954	3973
Total		6753	7294	6668	15887	17613
CASTILLA LA MANCHA						
CUENCA	MANANTIAL	9000	9000	5000	5000	3000
Total		9000	9000	5000	5000	3000
MURCIA						
	MANANTIAL	56083	59178	59057	64112	4228
Total		56083	59178	59057	64112	4228
NAVARRA						
	MANANTIAL	600	700	600	800	600
Total		600	700	600	800	600
PAÍS VASCO						
ÁLAVA	MANANTIAL	119	125	50	60	50
Total		119	125	50	60	50
VALENCIA						
ALICANTE	MANANTIAL	14000	14100	13400	11400	11400
Total		14000	14100	13400	11400	11400

Tabla 15. Producción de sal manantial por comunidades autónomas (toneladas).

Fuente: Elaboración propia a partir de conjunto de datos, datos abiertos del Ministerio, MINERVA.

		PRODUCCIÓN ANUAL				
PROVINCIA	TIPO DE SAL	2012	2013	2014	2015	2016
ARAGÓN						
HUESCA	GEMA	16800	19500	14067	19701	17464
ZARAGOZA	GEMA	324000	422284	372541	425000	452570
Total		340800	441784	386608	444701	470034
CANTABRIA						
	GEMA	1750710	1632030	1774560	1757810	1739960
Total		1750710	1632030	1774560	1757810	1739960
CATALUÑA						
BARCELONA	GEMA	100807	73787	57368	62355	59117
Total		100807	73787	57368	62355	59177
MURCIA						
	GEMA	0	0	0	0	63828
Total		0	0	0	0	63828
NAVARRA						
NAVARRA	GEMA	160000	160000	161300	172000	193000
Total		160000	160000	161300	172000	193000

Tabla 16. Producción de sal gema por comunidades autónomas (toneladas).

Fuente: Elaboración propia a partir de conjunto de datos, datos abiertos del Ministerio, MINERVA.

2016	SAL GEMA	SAL MARINA	SAL MANTIAL	SAL
ANDALUCÍA	0	241898	62924	304822
BALEARES	0	58070	0	58070
CANARIAS	0	200	0	200
CATALUÑA	59117	70000	0	129117
MURCIA	63828	98817	4228	166873
VALENCIA	0	621696	11400	633096
ARAGÓN	470034	0	0	470034
CANTABRIA	1739960	0	0	1739960
NAVARRA	193000	0	600	193600
CASTILLA Y LEÓN	0	0	17613	17613
CASTILLA LA MANCHA	0	0	3000	3000
PAÍS VASCO	0	0	50	50
Total	2525939	1090681	99815	3716435

Tabla 17. Resumen de la producción de sal, año 2016.

Fuente: Elaboración propia a partir de conjunto de datos, datos abiertos del Ministerio, MINERVA.

ANEXO DE CÁLCULOS

Cantidad total de energía. Experimento

El agua de mar presenta una concentración de 35g de sal / litro. Se desea conocer la energía total necesaria para obtener una concentración de 300 g de sal / litro. A esta última concentración se obtiene el grano de sal.

Para la obtención de un kilogramo de sal se lleva a cabo un experimento en casa. Los elementos utilizados son: una cacerola, la vitrocerámica, 35 gramos de sal y un litro de agua.

Para simular el agua de mar se disuelven 35 gramos de sal en un litro de agua. Dicha salmuera se introduce en la cacerola y se lleva a la vitrocerámica a máxima potencia. Se cronometra el tiempo hasta que aparecen los primeros cristales de sal.

La vitrocerámica tiene una potencia de $1'7kW = 1'7kJ/s$. El tiempo medido es de $30min = 30 \cdot 60 = 1800 \text{ segundos}$. La energía consumida es $1'7 \cdot 1800 = 3060 \text{ kJ} = 3060 \cdot 0'239006 = 731'35kca$ para 35 gramos de sal.

Por lo tanto, la energía necesaria para obtener 1kg de sal será $731'35 / \frac{35}{1000} = 20895'95 \text{ kca/kg de sal}$. Sin embargo, este valor incluye las pérdidas de calor entre la vitrocerámica y la cacerola. También hay que tener en cuenta que la evaporación del agua es más fácil en recipientes planos, la cacerola debido a su altura impide que el vapor de agua escape con facilidad.

Consideraciones para la densidad del agua respecto a su salinidad

Escenario 1

SALINIDAD (g/L)	DENSIDAD (kg/m ³)	VOLUMEN (L)
90	1039,3	1866,7
100	1046,8	1680,0
110	1054,4	1527,3
120	1062,1	1400,0
130	1069,8	1292,3
140	1077,5	1200,0
150	1085,3	1120,0
160	1093,1	1050,0
170	1101,0	988,2
180	1108,9	933,3
190	1116,9	884,2
200	1124,9	840,0
210	1132,9	800,0
220	1141,1	763,6
230	1149,3	730,4
240	1157,5	700,0
250	1165,8	672,0
260	1174,2	646,2
270	1182,6	622,2
280	1191,1	600,0
290	1199,6	579,3
300	1208,2	560,0

Tabla 18. Salinidad, densidad y volumen del agua (1).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Water Density Calculator.

INCREMENTO DE SALINIDAD	VOLUMEN EVAPORADO (L)	DENSIDAD MEDIA (kg/m3)
90-100	186,7	1043,0
100-110	152,7	1050,6
110-120	127,3	1058,3
120-130	107,7	1065,9
130-140	92,3	1073,6
140-150	80,0	1081,4
150-160	70,0	1089,2
160-170	61,8	1097,0
170-180	54,9	1104,9
180-190	49,1	1112,9
190-200	44,2	1120,9
200-210	40,0	1128,9
210-220	36,4	1137,0
220-230	33,2	1145,2
2230-240	30,4	1153,4
240-250	28,0	1161,7
250-260	25,8	1170,0
260-270	23,9	1178,4
270-280	22,2	1186,8
280-290	20,7	1195,3
290-300	19,3	1203,9

Tabla 19. Volumen evaporado y densidad media del agua (1).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Water Density Calculator.

Escenario 2

SALINIDAD (g/L)	DENSIDAD (kg/m3)	VOLUMEN (m3)
90	1039,3	933,3
100	1046,8	840,0
110	1054,4	763,6
120	1062,1	700,0
130	1069,8	646,2
140	1077,5	600,0
150	1085,3	560,0
160	1093,1	525,0
170	1101,0	494,1
180	1108,9	466,7
190	1116,9	442,1
200	1124,9	420,0
210	1132,9	400,0
220	1141,1	381,8
230	1149,3	365,2
240	1157,5	350,0
250	1165,8	336,0
260	1174,2	323,1
270	1182,6	311,1
280	1191,1	300,0
290	1199,6	289,7
300	1208,2	280,0

Tabla 20. Salinidad, densidad y volumen del agua (2).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Water Density Calculator.

INCREMENTO DE SALINIDAD	VOLUMEN EVAPORADO (L)	DENSIDAD MEDIA (kg/m3)
90-100	93,3	1043,0
100-110	76,4	1050,6
110-120	63,6	1058,3
120-130	53,8	1065,9
130-140	46,2	1073,6
140-150	40,0	1081,4
150-160	35,0	1089,2
160-170	30,9	1097,0
170-180	27,5	1104,9
180-190	24,6	1112,9
190-200	22,1	1120,9
200-210	20,0	1128,9
210-220	18,2	1137,0
220-230	16,6	1145,2
2230-240	15,2	1153,4
240-250	14,0	1161,7
250-260	12,9	1170,0
260-270	12,0	1178,4
270-280	11,1	1186,8
280-290	10,3	1195,3
290-300	9,7	1203,9

Tabla 21. Volumen evaporado y densidad media del agua (2).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Water Density Calculator.

Coeficiente K_b

LATITUD = 37°

Inclinación ENL	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.07	1.06	1.04	1.03	1.01	1.01	1.02	1.03	1.05	1.07	1.08
10	1.13	1.1	1.08	1.05	1.02	1.01	1.02	1.05	1.09	1.13	1.15
15	1.18	1.15	1.1	1.06	1.02	1.01	1.02	1.06	1.12	1.19	1.23
20	1.23	1.18	1.12	1.06	1.02	1	1.02	1.07	1.15	1.23	1.28
25	1.27	1.21	1.14	1.06	1	.98	1	1.07	1.16	1.27	1.34
30	1.3	1.23	1.14	1.05	.98	.96	.98	1.06	1.17	1.3	1.38
35	1.33	1.24	1.14	1.03	.96	.93	.96	1.04	1.17	1.32	1.42
40	1.35	1.25	1.13	1.01	.92	.89	.92	1.02	1.17	1.34	1.45
45	1.35	1.25	1.11	.98	.88	.85	.88	.99	1.15	1.34	1.45
50	1.35	1.24	1.09	.94	.84	.8	.81	.95	1.13	1.33	1.47
55	1.35	1.22	1.05	.9	.78	.74	.76	.91	1.1	1.32	1.47
60	1.33	1.19	1.02	0.85	.73	.68	.73	.86	1.06	1.3	1.45
65	1.31	1.16	.98	.8	.67	.62	.66	.8	1.02	1.26	1.43
70	1.27	1.12	.93	.74	.6	.55	.6	.74	.97	1.22	1.4
75	1.23	1.07	.87	.67	.53	.48	.53	.68	.91	1.17	1.36
80	1.19	1.02	.81	.6	.46	.4	.45	.6	.84	1.12	1.31
85	1.13	.96	.74	.53	.38	.32	.38	.53	.77	1.05	1.26
90	1.07	.89	.67	.46	.3	.25	.3	.45	.7	.98	1.19

Tabla 22. Coeficiente K_b según latitud e inclinación.

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

LG 370W

Propiedades eléctricas (STC³)

Modelo		LGXXXQ1C-A5		
Potencia máxima (P _{máx})	[W]	370	365	360
Tensión MPP (V _{mpp})	[V]	37,0	36,7	36,5
Corriente MPP (I _{mpp})	[A]	10,01	9,95	9,87
Tensión en circuito abierto (V _{oc})	[V]	42,8	42,8	42,7
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	[A]	10,82	10,8	10,79
Factor de eficiencia del módulo	[%]	21,4	21,1	20,8
Temperatura de funcionamiento	[°C]	-40 ~ +90		
Tensión máxima del sistema	[V]	1.000		
Corriente nominal del fusible en serie	[A]	20		
Tolerancia de potencia	[%]	0 ~ +3		

³1) STC (Standard Test Condition, condiciones estándar de prueba): Irradiación 1.000 W/m², temperatura del módulo 25 °C, AM 1,5.

2) La variación típica de la eficiencia del módulo con 200 W/m² en relación con 1.000 W/m² es de -4,5 %.

3) Clase de aplicación: A. Clase de protección: II.

4) LG Electronics no garantiza la exactitud de los datos eléctricos.

Baterías Fornius

DATOS TÉCNICOS	BATTERY 4.5	BATTERY 6.0	BATTERY 7.5	BATTERY 9.0	BATTERY 10.5	BATTERY 12.0
Capacidad nominal	4,5 kWh	6,0 kWh	7,5 kWh	9,0 kWh	10,5 kWh	12,0 kWh
Capacidad útil (80% DoD)	3,6 kWh	4,8 kWh	6,0 kWh	7,2 kWh	8,4 kWh	9,6 kWh
Estabilidad del ciclo (80% DoD)	8.000					
Rango de tensión	120 - 170 V	160 - 230 V	200 - 290 V	240 - 345 V	280 - 400 V	320 - 460 V
Máxima potencia de carga	2.400 W	3.200 W	4.000 W	4.800 W	5.600 W	6.400 W
Máxima potencia de descarga	2.400 W	3.200 W	4.000 W	4.800 W	5.600 W	6.400 W
Máxima corriente de carga	16 A					
Máxima corriente de descarga	16 A					

ANEXO DE GRÁFICOS

Entalpía del agua salada

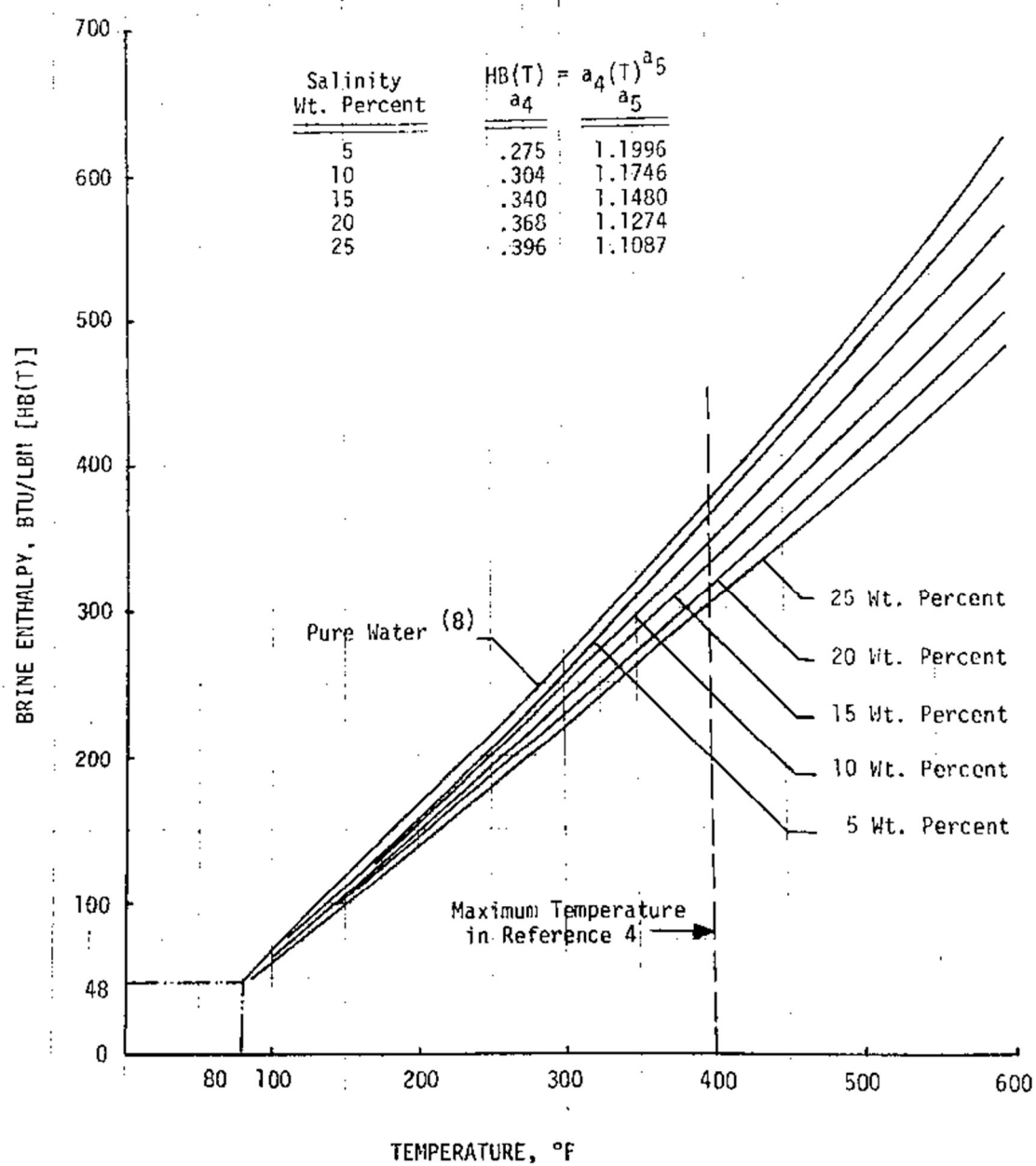


Ilustración 42. Curvas de la entalpía de la salmuera frente a temperatura.

Fuente: Dittman, Gerald L. (1997), "Calculation of brine properties", Lawrence Livermore Laboratory (EEUU).

Agradecimientos:

A mi padre y a mi madre,
a mi abuela Mati y a mi abuelo Lisardo,
a mi abuelo Pepe y a mi abuela Carmen,
a María Victoria Ortiz,
a Pepe Halcón Muñoz y familia,
a Elisa Olmedo Halcón y familia,
a tía Dolores y a tío Miguel,
a Ángel Pocostales Muñoz,
y a María de los Ángeles Halcón Moreno.

A los todos los profesores de ICAI,

con mención especial a
María Luisa Guerrero Lerma,
a mis directoras,
y a todos los que han estado,
pero sobre todo a aquellos
que colaboraron a mi desarrollo
como persona.

A todas las personas que trabajan en
los servicios de la universidad.

A la personas de Biomaris.

A los compañeros de carrera, a los amigos
y a Dios.