

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería de la Energía

Análisis de la combinación de energía marina y fotovoltaica para desalación de agua de mar

Autor: María Jiménez del Moral

Tutora: Lourdes García Rodríguez

Baltasar Peñate Suárez

Dpto. Ingeniería energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de la Energía

Análisis de la combinación de energía marina y fotovoltaica para desalación de agua de mar

Autor:

María Jiménez del Moral

Tutores:

Lourdes García Rodríguez

Catedrática de Universidad

Baltasar Peñate Suárez

Jefe del Dpto de Agua del Instituto Tecnológico de Canarias- Gobierno de Canarias

Dpto. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2018

Trabajo Fin de Grado: Análisis de la combinación de energía marina y fotovoltaica para desalación de agua de mar

Autor: María Jiménez del Moral

Tutor: Lourdes García Rodríguez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

A mis profesores, por ayudarme a trazar la trayectoria que he ido siguiendo estos años. En especial a mi tutora, por sus consejos y su ánimo.

A mis padres, por su comprensión, su paciencia y por acompañarme en todas mis decisiones.

A mis compañeros de clase, en especial a mis ingenieras, porque con ellas las horas han volado, por hacer especial esta carrera.

A mis primero amigas, y después compañeras de piso, porque si estás agusto todo es más fácil, porque se han convertido en mi familia.

A Manu, por ser mi tranquilizante y mi apoyo. También, por esperar cuando no se qué pedir, y a pesar de no gustarle mi bufanda del Madrid.

Resumen

En el planeta tierra existen numerosas zonas áridas o semiáridas en las que el agua es un bien escaso, como consecuencia, frecuentemente, se recurre a la instalación de plantas desaladoras. Sin embargo, este tipo de instalaciones requieren un consumo energético. Por otro lado, el agotamiento de los recursos fósiles y el cambio climático impulsan el desarrollo de otras formas de energía: las renovables. De esta forma, cada vez es más común el empleo de fuentes de energía renovables para diversas aplicaciones, como la desalación de agua.

En el desarrollo de este proyecto se va a estudiar la posible combinación de las tecnologías mareomotriz de simple efecto y fotovoltaica para abastecer una planta desaladora en el condado de Broome, Australia. Para ello, se ha realizado un análisis del recurso y una estimación de la energía producida por cada instalación empleando la hoja de cálculo Excel. En cuanto a la tecnología de desalación, esta se basa en un proceso de ósmosis inversa con recuperación de energía para cuya definición se ha empleado el software ROSA. Finalmente, a partir del análisis de los resultados, se van a estudiar las consecuencias de la combinación de las dos tecnologías renovables, así como, qué alternativas o actividades complementarias podrían aplicarse para mejorar el sistema completo.

Abstract

On planet earth, there are plenty of arid and semi-arid areas where water is a scarce resource, consequently, desalination plants are commonly installed. Nevertheless, these kinds of installations consume energy. On the other hand, fossil resources depletion and climate change drive the development of other forms of energy: renewable ones. In this way, the use of renewable energy sources for different applications is increasing, such as water desalination.

The aim of this project is an analysis of the combination of tidal power (single-effect cycle) and photovoltaic technologies in order to supply a desalination plant in the shire of Broome, Australia. To this end, an analysis of the energetic resource has been done, together with an estimation of the energy produced in each installation, through the use of the spreadsheet Excel. As regards desalination technology, it is based in a osmosis reverse process with energy recovery, whose calculations have been made using the software ROSA. Finally, from the analysis of results, the consequences of both renewable technologies combination are going to be studied, as well as, which alternatives or complementary activities could be applied so as to improve the whole system.

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xxi
1 Presentación	1
1.1 <i>Objetivo</i>	1
1.2 <i>Energía mareomotriz</i>	1
1.2.1 Mareas	1
1.2.2 Energía mareomotriz	3
1.2.3 Tecnología del simple efecto	4
1.2.4 Centrales que emplean ciclos de simple efecto	7
1.3 <i>Energía fotovoltaica</i>	7
1.3.1 Recurso solar	7
1.3.2 Tecnología fotovoltaica	8
1.4 <i>Emplazamiento</i>	8
1.4.1 Población	9
1.4.2 Clima	10
1.4.3 Recurso mareal	10
1.4.4 Recurso solar	12
2 Planta de desalación	15
2.1 <i>Introducción</i>	15
2.1.1 Ósmosis inversa	15
2.1.2 Tecnología SWRO	16
2.2 <i>Dimensionado de la planta desaladora</i>	17
2.2.1 Parámetros	17
2.2.2 Comparación	20
2.2.3 Elección final	27
2.2.4 Recuperador energético	27
3 Central mareomotriz	29
3.1 <i>Estudio del recurso</i>	29
3.1.1 Distribución mensual del recurso	29
3.1.2 Días modelo de producción	30
3.2 <i>Dimensionado de la central</i>	37
3.2.1 Consumo planta desalación	37
3.2.2 Turbina	37
3.3 <i>Producción de energía</i>	39
3.3.1 Conceptos previos	39
3.3.2 Variación de la altura del mar	40

3.3.3	Variación del nivel de agua del embalse	41
3.3.4	Producción de energía diaria	45
4	Instalación fotovoltaica	49
4.1	<i>Estudio del recurso</i>	49
4.2	<i>Dimensionado del campo fotovoltaico</i>	50
4.3	<i>Energía producida</i>	52
5	Combinación de tecnologías	55
5.1	<i>Comparativa de la producción marina y fotovoltaica</i>	55
5.2	<i>Recomendaciones</i>	63
6	Conclusiones	65
Bibliografía		¡Error! Marcador no definido.
Anexos		69
	<i>ANEXO A: Ciclos de mareas</i>	69
	<i>ANEXO B: Días modelo de producción</i>	80
	<i>ANEXO C: Variación del nivel del embalse. Iteraciones</i>	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de mareas Broome (febrero 2018).	11
Tabla 2. Número de mareas de cada grupo establecido.	11
Tabla 3. Irradiación horizontal diaria en kWh/m ² día en Broome.	13
Tabla 4. Composición del agua de mar en las Islas Canarias.	18
Tabla 5. Composición del agua marina para S=35.000 mg/l.	19
Tabla 6. Composición del agua marina para S=37.000 mg/l.	19
Tabla 7. Resultados membrana SW30HRLE-440i.	20
Tabla 8. Resultados membrana SW30HRLE-440i.	21
Tabla 9. Resultados membrana SW30HRLE-440i.	21
Tabla 10. Resultados membrana SW30ULE-440i.	22
Tabla 11. Resultados membrana SW30ULE-440i.	22
Tabla 12. Resultados membrana SW30ULE-440i.	22
Tabla 13. Resultados membrana SW30XLE-440i.	23
Tabla 14. Resultados membrana SW30XLE-440i.	23
Tabla 15. Resultados membrana SW30XLE-440i.	23
Tabla 16. Resultados membrana SW30HRLE-440i.	24
Tabla 17. Resultados membrana SW30HRLE-440i.	24
Tabla 18. Resultados membrana SW30HRLE-440i.	24
Tabla 19. Resultados membrana SW30HRLE-440i.	25
Tabla 20. Resultados membrana SW30HRLE-440i.	25
Tabla 21. Resultados membrana SW30HRLE-440i.	25
Tabla 22. Resultados membrana SW30XLE-440i.	26
Tabla 23. Resultados membrana SW30XLE-440i.	26
Tabla 24. Resultados membrana SW30XLE-440i.	26
Tabla 25. Datos de mareas de enero de 2018.	31
Tabla 26. Promedio altura de la primera quincena de enero.	32
Tabla 27. Promedio hora de la primera quincena de enero.	33
Tabla 28. Promedio hora pleamar noche de la primera quincena de enero.	33
Tabla 29. Día modelo de producción de la primera quincena de enero.	33
Tabla 30. Día medio de producción del mes y de cada quincena de enero.	34
Tabla 31. Día medio de producción del mes y de cada quincena de febrero.	34
Tabla 32. Día medio de producción del mes y de cada quincena de marzo.	34

Tabla 33. Día medio de producción del mes y de cada quincena de abril.	34
Tabla 34. Día medio de producción del mes y de cada quincena de mayo.	35
Tabla 35. Día medio de producción del mes y de cada quincena de junio.	35
Tabla 36. Día medio de producción del mes y de cada quincena de julio.	35
Tabla 37. Día medio de producción del mes y de cada quincena de agosto.	35
Tabla 38. Día medio de producción del mes y de cada quincena de septiembre.	36
Tabla 39. Día medio de producción del mes y de cada quincena de octubre.	36
Tabla 40. Día medio de producción del mes y de cada quincena de noviembre.	36
Tabla 41. Día medio de producción del mes y de cada quincena de diciembre.	36
Tabla 42. Algunas realizaciones hidráulicas y mareométricas.	38
Tabla 43. Altura del mar en enero en cada intervalo de una hora.	41
Tabla 44. Cálculo de la variación del nivel del embalse.	41
Tabla 45. Estimación del área del embalse. Cálculos octubre.	42
Tabla 46. Primera iteración. Día modelo de producción de enero.	43
Tabla 47. Segunda iteración. Día modelo de producción de enero.	44
Tabla 48. Sexta iteración. Día modelo de producción de enero.	45
Tabla 49. Energía producida en el mes de enero.	46
Tabla 50. Producción de energía durante un año.	47
Tabla 51. Radiación global horaria sobre una superficie inclinada de cada día modelo.	50
Tabla 52. Radiación media en Broome para cada día modelo y para un año.	50
Tabla 53. Energía producida por el campo fotovoltaico para un tamaño de 748905 m ² .	51
Tabla 54. Energía producida por el campo fotovoltaico para un tamaño de 600000 m ² .	51
Tabla 55. Energía producida por el campo fotovoltaico para un tamaño de 550000 m ² .	52
Tabla 56. Energía producida por el campo fotovoltaico para un tamaño de 500000 m ² .	52
Tabla 57. Energía producida por el campo fotovoltaico para cada día modelo.	53
Tabla 58. Comparativa de la producción de energía marina y fotovoltaica, así como su combinación de los días modelo de enero, febrero y marzo.	55
Tabla 59. Comparativa de la producción de energía marina y fotovoltaica, así como su combinación de los días modelo de abril, mayo y junio.	56
Tabla 60. Comparativa de la producción de energía marina y fotovoltaica, así como su combinación de los días modelo de julio, agosto y septiembre.	56
Tabla 61. Comparativa de la producción de energía marina y fotovoltaica, así como su combinación de los días modelo de octubre y noviembre.	57
Tabla 62. Comparativa de la producción de energía marina y fotovoltaica, así como su combinación de los días modelo de cada quincena de diciembre.	57
Tabla 63. Periodos de generación de ambas energías combinadas.	64
Tabla 64. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de enero.	85
Tabla 65. Primera iteración. Día modelo de producción de enero.	85
Tabla 66. Segunda iteración. Día modelo de producción de enero.	86
Tabla 67. Tercera iteración. Día modelo de producción de enero.	86
Tabla 68. Cuarta iteración. Día modelo de producción de enero.	87

Tabla 69. Quinta iteración. Día modelo de producción de enero.	87
Tabla 70. Sexta iteración. Día modelo de producción de enero.	88
Tabla 71. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de febrero.	88
Tabla 72. Primera iteración. Día modelo de producción de febrero.	89
Tabla 73. Segunda iteración. Día modelo de producción de febrero.	89
Tabla 74. Tercera iteración. Día modelo de producción de febrero.	90
Tabla 75. Cuarta iteración. Día modelo de producción de febrero.	90
Tabla 76. Quinta iteración. Día modelo de producción de febrero.	91
Tabla 77. Sexta iteración. Día modelo de producción de febrero.	91
Tabla 78. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de marzo.	92
Tabla 79. Primera iteración. Día modelo de producción de marzo.	92
Tabla 80. Segunda iteración. Día modelo de producción de marzo.	93
Tabla 81. Tercera iteración. Día modelo de producción de marzo.	93
Tabla 82. Cuarta iteración. Día modelo de producción de marzo.	94
Tabla 83. Quinta iteración. Día modelo de producción de marzo.	94
Tabla 84. Sexta iteración. Día modelo de producción de marzo.	95
Tabla 85. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de abril.	95
Tabla 86. Primera iteración. Día modelo de producción de abril.	96
Tabla 87. Segunda iteración. Día modelo de producción de abril.	96
Tabla 88. Tercera iteración. Día modelo de producción de abril.	97
Tabla 89. Cuarta iteración. Día modelo de producción de abril.	97
Tabla 90. Quinta iteración. Día modelo de producción de abril.	98
Tabla 91. Sexta iteración. Día modelo de producción de abril.	98
Tabla 92. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de mayo.	99
Tabla 93. Primera iteración. Día modelo de producción de mayo.	99
Tabla 94. Segunda iteración. Día modelo de producción de mayo.	100
Tabla 95. Tercera iteración. Día modelo de producción de mayo.	100
Tabla 96. Cuarta iteración. Día modelo de producción de mayo.	101
Tabla 97. Quinta iteración. Día modelo de producción de mayo.	101
Tabla 98. Sexta iteración. Día modelo de producción de mayo.	102
Tabla 99. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de junio.	102
Tabla 100. Primera iteración. Día modelo de producción de junio.	103
Tabla 101. Segunda iteración. Día modelo de producción de junio.	103
Tabla 102. Tercera iteración. Día modelo de producción de junio.	104
Tabla 103. Cuarta iteración. Día modelo de producción de junio.	104
Tabla 104. Quinta iteración. Día modelo de producción de junio.	105
Tabla 105. Sexta iteración. Día modelo de producción de junio.	105
Tabla 106. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de julio.	106
Tabla 107. Primera iteración. Día modelo de producción de julio.	106

Tabla 108. Segunda iteración. Día modelo de producción de julio.	107
Tabla 109. Tercera iteración. Día modelo de producción de julio.	107
Tabla 110. Cuarta iteración. Día modelo de producción de julio.	108
Tabla 111. Quinta iteración. Día modelo de producción de julio.	108
Tabla 112. Sexta iteración. Día modelo de producción de julio.	109
Tabla 113. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de agosto.	109
Tabla 114. Primera iteración. Día modelo de producción de agosto.	110
Tabla 115. Segunda iteración. Día modelo de producción de agosto.	110
Tabla 116. Tercera iteración. Día modelo de producción de agosto.	111
Tabla 117. Cuarta iteración. Día modelo de producción de agosto.	111
Tabla 118. Quinta iteración. Día modelo de producción de agosto.	112
Tabla 119. Sexta iteración. Día modelo de producción de agosto.	112
Tabla 120. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de septiembre.	113
Tabla 121. Primera iteración. Día modelo de producción de septiembre.	113
Tabla 122. Segunda iteración. Día modelo de producción de septiembre.	114
Tabla 123. Tercera iteración. Día modelo de producción de septiembre.	114
Tabla 124. Cuarta iteración. Día modelo de producción de septiembre.	115
Tabla 125. Quinta iteración. Día modelo de producción de septiembre.	115
Tabla 126. Sexta iteración. Día modelo de producción de septiembre.	116
Tabla 127. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de octubre.	116
Tabla 128. Primera iteración. Día modelo de producción de octubre.	117
Tabla 129. Segunda iteración. Día modelo de producción de octubre.	117
Tabla 130. Tercera iteración. Día modelo de producción de octubre.	118
Tabla 131. Cuarta iteración. Día modelo de producción de octubre.	118
Tabla 132. Quinta iteración. Día modelo de producción de octubre.	119
Tabla 133. Sexta iteración. Día modelo de producción de octubre.	119
Tabla 134. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de noviembre.	120
Tabla 135. Primera iteración. Día modelo de producción de noviembre.	120
Tabla 136. Segunda iteración. Día modelo de producción de noviembre.	121
Tabla 137. Tercera iteración. Día modelo de producción de noviembre.	121
Tabla 138. Cuarta iteración. Día modelo de producción de noviembre.	122
Tabla 139. Quinta iteración. Día modelo de producción de noviembre.	122
Tabla 140. Sexta iteración. Día modelo de producción de noviembre.	123
Tabla 141. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.	123
Tabla 142. Primera iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.	124
Tabla 143. Segunda iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.	124
Tabla 144. Tercera iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.	125
Tabla 145. Cuarta iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.	125

Tabla 146. Quinta iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.	126
Tabla 147. Sexta iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.	126
Tabla 148. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.	127
Tabla 149. Primera iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.	127
Tabla 150. Segunda iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.	128
Tabla 151. Tercera iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.	128
Tabla 152. Cuarta iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.	129
Tabla 153. Quinta iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.	129
Tabla 154. Sexta iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto combinado del sol y la luna.	2
Figura 2. Distribución del recurso mareal.	3
<i>Figura 3. Ciclo de simple efecto con un solo embalse.</i>	5
Figura 4. Ciclo de simple efecto durante el vaciado.	5
Figura 5. Esquema de una central mareomotriz de ciclo múltiple.	7
Figura 6. Clasificación climática de Australia.	8
Figura 7. Broome, Australia.	9
Figura 8. Condado de Broome. ¹³	9
Figura 9. Irradiación incidente en Australia el 03/03/18.	12
Figura 10. Número de horas de sol durante la estación seca.	13
Figura 11. Ósmosis directa. Estado inicial (izquierda). Estado final (derecha). ²⁴	15
Figura 12. Ósmosis inversa.	15
Figura 13. Esquema básico del proceso de desalación SWRO.	16
Figura 14. Configuración SWRO con intercambiadores de presión (cámara isobárica). ²⁵	16
Figura 15. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de enero.	29
Figura 16. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de enero.	30
Figura 17. Línea temporal de la clasificación de mareas.	32
Figura 18. Día modelo de producción de la primera quincena de enero.	33
Figura 19. Gráfico Salto vs Caudal en función de la potencia para distintos tipos de turbinas.	38
Figura 20. Curvas de rendimiento en función del caudal relativo, en turbinas de reacción: Francis (continua), Axiales (discontinua), Pelton (punteada).	39
Figura 21. Día modelo de producción enero.	40
Figura 22. Día modelo de producción de enero completo.	41
Figura 23. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de enero.	58
Figura 24. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de febrero.	59
Figura 25. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de marzo.	59
Figura 26. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de abril.	59
Figura 27. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de mayo.	60
Figura 28. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de junio.	60
Figura 29. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de julio.	60
Figura 30. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de agosto.	61
Figura 31. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de septiembre.	61
Figura 32. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de octubre.	61

Figura 33. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de noviembre.	62
Figura 34. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de la primera quincena de diciembre.	62
Figura 35. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de la segunda quincena de diciembre.	62
Figura 36. Altura mar del a lo largo de un día en la primera quincena de febrero.	69
Figura 37. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de febrero.	69
Figura 38. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de marzo.	70
Figura 39. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de marzo.	70
Figura 40. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de abril.	71
Figura 41. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de abril.	71
Figura 42. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de mayo.	72
Figura 43. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de mayo.	72
Figura 44. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de junio.	73
Figura 45. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de junio.	73
Figura 46. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de julio.	74
Figura 47. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de julio.	74
Figura 48. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de agosto.	75
Figura 49. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de agosto.	75
Figura 50. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de septiembre.	76
Figura 51. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de septiembre.	76
Figura 52. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de octubre.	77
Figura 53. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de octubre.	77
Figura 54. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de noviembre.	78
Figura 55. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de noviembre.	78
Figura 56. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de diciembre.	79
Figura 57. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de diciembre.	79
Figura 58. Altura del mar a lo largo del día modelo de enero.	80
Figura 59. Altura del mar a lo largo del día modelo de febrero.	80
Figura 60. Altura del mar a lo largo del día modelo de marzo.	80
Figura 61. Altura del mar a lo largo del día modelo de abril.	81
Figura 62. Altura del mar a lo largo del día modelo de mayo.	81
Figura 63. Altura del mar a lo largo del día modelo de junio.	81
Figura 64. Altura del mar a lo largo del día modelo de julio.	82
Figura 65. Altura del mar a lo largo del día modelo de agosto.	82
Figura 66. Altura del mar a lo largo del día modelo de septiembre.	82
Figura 67. Altura del mar a lo largo del día modelo de octubre.	83
Figura 68. Altura del mar a lo largo del día modelo de noviembre.	83
Figura 69. Altura del mar a lo largo del día modelo de la primera quincena de diciembre.	83
Figura 70. Altura del mar a lo largo del día modelo de la segunda quincena de diciembre.	84

1 PRESENTACIÓN

Quien piensa en el mar, siente su murmullo incluso en el interior.

- Józef Bulatowicz -

1.1 Objetivo

En el ámbito de los recursos energéticos, la sociedad tiene una fuerte dependencia del petróleo, así como del resto de los combustibles fósiles. Las emisiones de gases de efecto invernadero, provenientes en gran medida de estas fuentes de energía, provocan daños perjudiciales sobre la salud de las personas entre otros efectos. Es por ello, que los gobiernos de numerosos países se han puesto de acuerdo para reducir estas emisiones y el efecto invernadero. En este ámbito es donde entran en juego las energías renovables, energía con emisiones nulas o casi nulas, además de inagotables.

El uso de recursos renovables no solo es aplicable en la producción eléctrica para su posterior venta a la red, si no que puede tener un papel protagonista en muchas otras aplicaciones como lo son la producción de energía térmica necesaria en una industria, alumbrado público, tratamiento de aguas y aplicaciones de desalación de agua.

El objetivo de las siguientes páginas va a consistir en realizar un análisis técnico de la posible combinación de las tecnologías marina y fotovoltaica para abastecer eléctricamente una planta de desalación.

Este análisis va a consistir en un estudio de la producción de energía horaria de cada tipo de aprovechamiento energético y, posteriormente, una comparativa y análisis de la posible hibridación de ambas tecnologías.

1.2 Energía mareomotriz

1.2.1 Mareas

“La marea es el movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso de las aguas del mar, producido por la atracción del sol y de la luna.” [Real Academia Española [RAE]. (2017). Marea. Edición Tricentenario. *Rae.es.*] Este movimiento provoca máximos y mínimos en la altura del nivel de las aguas conocidos como pleamar y bajamar, respectivamente.

Para entender con mayor exactitud las fuerzas gravitatorias que ejercen los cuerpos celestes sobre la masa de los océanos, es importante conocer en que se basa la ley de gravitación universal. Esta establece la fuerza con la que se atraen dos cuerpos por el hecho de tener masa. A partir de estos conceptos, se concluye que el fenómeno de las mareas aumenta con la masa y disminuye con la distancia de los cuerpos que influyen en la fuerza de atracción. Teniendo en cuenta las distancias relativas a la tierra, solo el sol y la luna tienen un efecto considerable sobre las mareas. El sol, al encontrarse más lejos, influye por su masa; y la luna, con una masa mucho menor, influye por su proximidad a la tierra.

Sin embargo, este influjo no es constante, sino que varía según la posición del sol y la luna. Por tanto, las mareas

tendrán un comportamiento cíclico que dependerá de la influencia de cada astro, siendo necesario estudiar cada caso por separado.

Por un lado, se observa que tanto la tierra como la luna giran. Este movimiento relativo provoca que se necesiten más de 24 horas para que el satélite se encuentre en la misma posición con respecto a la tierra. Hecho que afecta al ciclo de mareas, de forma que el periodo mareal con origen en la luna será de 12,42 horas.

Respecto al efecto que produce el sol, el periodo de marea será de 12 horas. Además, si se comparan las influencias de ambos astros, se observa que al ser la distancia del sol a la tierra mucho mayor que la de la luna a la tierra, según la ley de gravitación universal de Newton, la contribución del sol a la marea será de 0,45 veces la contribución lunar.¹

En cuanto al efecto combinado del sol y la luna se distinguen dos clases de mareas:

- **Spring tide:** Son mareas más intensas que se dan cuando la luna y el sol trabajan al unísono. Este efecto se puede observar en los días con luna llena y luna nueva.
- **Neap tide:** Son mareas de baja intensidad que se producen cuando el efecto de la luna y el sol se contrarresta. Se pueden apreciar con los cuartos menguantes y crecientes.

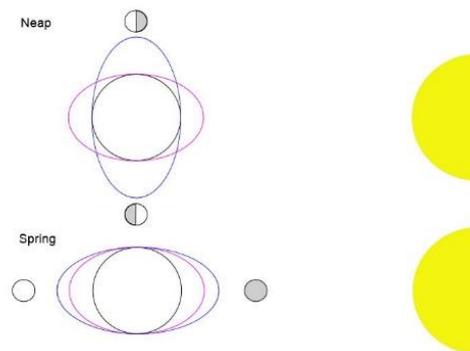


Figura 1. Efecto combinado del sol y la luna.²

En la *Figura 1* se observa como son este tipo de mareas. La línea azul representa la marea debido a la influencia de la luna y la morada la marea con origen en el sol.

Sin embargo, este hecho no se da con igual frecuencia ni intensidad en todas las localizaciones del planeta y la causa mayor es la inclinación del eje de la Tierra. En el ecuador se dan dos mareas de igual intensidad, conforme nos vamos alejando de este, la altura de cada marea será diferente hasta que, a latitudes lo suficientemente alejadas, solo se produzca una marea alta con el doble de intensidad.

La influencia de los continentes también es un factor a tener en cuenta. El fondo marino irregular y la peculiaridad de la costa, es decir, la geografía, difiere en los distintos puntos del planeta afectando también a la amplitud de marea.

Por último, es necesario mencionar la clasificación de las mareas según su frecuencia diaria. Cuando se dan dos máximos en un día se trata de mareas semidiurnas y, si en cambio, solo hay un pico se llaman mareas diurnas.

En cuanto a la distribución del recurso a lo largo de la costa, este es considerablemente variable. En algunos mares interiores como en el Mar Negro la amplitud de marea es prácticamente nula. En el Mediterráneo y algunas zonas del océano Pacífico sólo alcanza entre 20 y 40 cm. Estos valores se amplifican en localizaciones donde la profundidad del mar es pequeña o la costa tiene una baja inclinación, etc.

Las mayores mareas se registran principalmente en el océano Atlántico y algunas costas europeas. Destacan la costa argentina con amplitudes de 14 m, la bahía de Fundy (Canadá) donde se superan los 15 m, el estuario del Severn (Gran Bretaña) con 13,6 m de amplitud y Francia, donde se alcanzan 12,7 m en las bahías de Mont-Saint-Michel y 13,5 m en el estuario de la Rance.³

¹ Fernández Díez, Pedro. *Energía Maremotriz*. Extraído el 06/03/2018, de <http://es.pfernandezdiez.es/>

² López-Herrera Sanchez, José M^a. (2017). *Ocean Energy*. Universidad de Sevilla.

³ Fernández Díez, Pedro. *Energía Maremotriz*. Extraído el 06/03/2018, de <http://es.pfernandezdiez.es/>

1.2.2 Energía mareomotriz

Los mares y océanos constituyen una fuente limpia e inagotable de energía. Para la producción de electricidad a partir de la energía mareomotriz se emplea la diferencia de cotas de las mareas. La potencia total asociada a las mareas se estima del orden de 3000 GW. Teniendo en cuenta la amplitud de marea y las características geográficas (bahía apropiada, etc) solo unos 1000 GW podrían ser accesibles, pero en la práctica se cree que solo podrían instalarse 15 GW.⁴

Para el aprovechamiento energético del recurso marino se construyen barreras artificiales en estuarios y otras geografías similares dando lugar a embalses. Durante la pleamar se acumula agua en la presa siendo posible así el almacenamiento de energía potencial. Para extraer esta energía se hace pasar el agua por una turbina hidráulica instalada en la propia central. A fin de que la instalación sea rentable, la amplitud de marea, es decir, la diferencia de altura entre la pleamar y la bajamar debe de tener un mínimo de 5 m.

En la *Figura 2* se puede muestran los países en los que existen mareas con suficiente altura para que las centrales sean rentables.



*Figura 2. Distribución del recurso mareal.*⁵

A pesar de encontrarse en el ámbito de las conocidas como energías limpias este tipo de sistema se ha encontrado con ciertas barreras tanto económicas como medioambientales. A continuación, se detallan las ventajas e inconvenientes de las centrales mareomotrices.

Ventajas.

- Disponibilidad regular y predecible del recurso mareal. A modo de ejemplo decir que no presenta problemas de sequía como la tecnología hidráulica ya que las mareas se producen durante todo el año.
- Naturaleza renovable de la energía.
- Nulas emisiones de gases de efecto invernadero en el proceso de producción eléctrica.
- El embalse no solo se puede aprovechar en la producción de la energía, sino que existe una sinergia con otras actividades como la contención de agua frente a inundaciones o como puente o vía de enlace por que pueden circular tanto personas como vehículos.

⁴ Vega de Kuyper, JC., Ramírez Morales, S. (2014). *Fuentes de energía, renovables y no renovables*. Barcelona: Marcombo.

⁵ López-Herrera Sanchez, José M^º. (2017). *Ocean Energy*. Universidad de Sevilla.

Inconvenientes.

- Producción intermitente. El movimiento de ascenso y descenso no es continuo, sino que se dan una o dos mareas altas dependiendo de la localización. Esta situación provoca que existan periodos en los que el agua almacenada sea insuficiente para poder turbinarla.
- Impacto medioambiental.
- Impacto visual sobre el paisaje.
- Las zonas con potencial energético destacable son limitadas, siendo menor que las aprovechables por otro tipo de energías renovables. Así mismo, el emplazamiento debe reunir las condiciones necesarias para la recogida y almacenamiento de agua, situación que también reduce el número de lugares explotables.
- Elevados costes de inversión y mantenimiento, sobre todo el coste inicial. Además, hay que tener en cuenta las condiciones ambientales de la ubicación ya que en zonas donde el oleaje y el viento sea fuerte las barreras deberán de ser más resistentes, circunstancia que aumentaría el valor a invertir considerablemente.

Impacto medioambiental.

Una de las principales limitaciones de esta tecnología es su impacto negativo en el ecosistema por ello es necesario un estudio más profundo.

La variación del nivel de las mareas produce una alteración de la sedimentación y el aumento de la turbidez del agua. Estas partículas en suspensión provocan una reducción de la luz solar que penetra en el mar, lo que afecta de forma negativa a la fauna y flora de esa zona.

En la desembocadura de los ríos, donde el agua dulce se mezcla con la salada aparecen ecosistemas fundamentales para la cadena alimentaria de algunas especies del océano. La implementación de una barrera puede dificultar el paso de animales tanto fuera como dentro del estuario perturbando el modo de vida de la fauna marina.

También es importante señalar el daño que pueden sufrir los animales debido a los efectos que provocan las turbinas (cambios de presión y cavitación) y sus álabes si no se toman las medidas necesarias.

1.2.3 Tecnología del simple efecto

Una central mareomotriz consiste en el almacenamiento de agua en un embalse construido en el mar a través de los distintos movimientos de subida y bajada del agua marina para su posterior turbinado. La tecnología de simple efecto se basa en la generación de energía durante el reflujos de la marea (bajamar) o durante el flujo (pleamar). Si, en cambio, la producción de electricidad se da tanto en el llenado como en el vaciado se trata de un ciclo de doble efecto. El sistema a instalar en este proyecto se fundamenta en el primer método mencionado, aprovechar la energía solamente durante la etapa de reflujos (Ver *Figura 3*).

1.2.3.1 Funcionamiento

Durante la subida del mar se abren las compuertas de la central y el agua pasa al depósito. Una vez comienza a bajar la marea se cierran las compuertas y se espera un tiempo. Cuando la diferencia de cota entre el depósito y el mar es la adecuada para que la turbina pueda funcionar con una eficiencia elevada se vuelven a abrir.

Como resultado de esta diferencia de alturas el agua vuelve al mar haciéndola pasar por las turbinas. Las palas o álabes, al girar, convierten la energía cinética del agua en mecánica de rotación accionando así un generador para producir electricidad. El tiempo de turbinación suele variar entre tres y seis horas, haciendo funcionar las turbinas dos veces al día en el caso de que las mareas sean semidiurnas.

Este método de funcionamiento se explica en las *Figura 3* y *Figura 4* donde se indican las distintas operaciones de la turbinas y compuertas. Se observa que durante la subida del mar el embalse se llena y durante la bajada se accionan las turbinas y se produce la generación de energía.

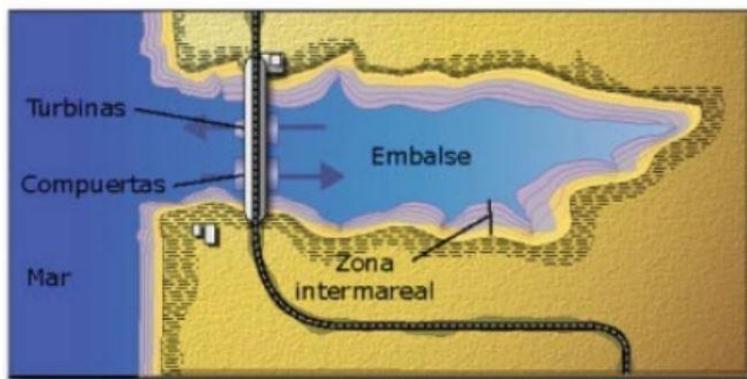


Figura 3. Ciclo de simple efecto con un solo embalse.⁶

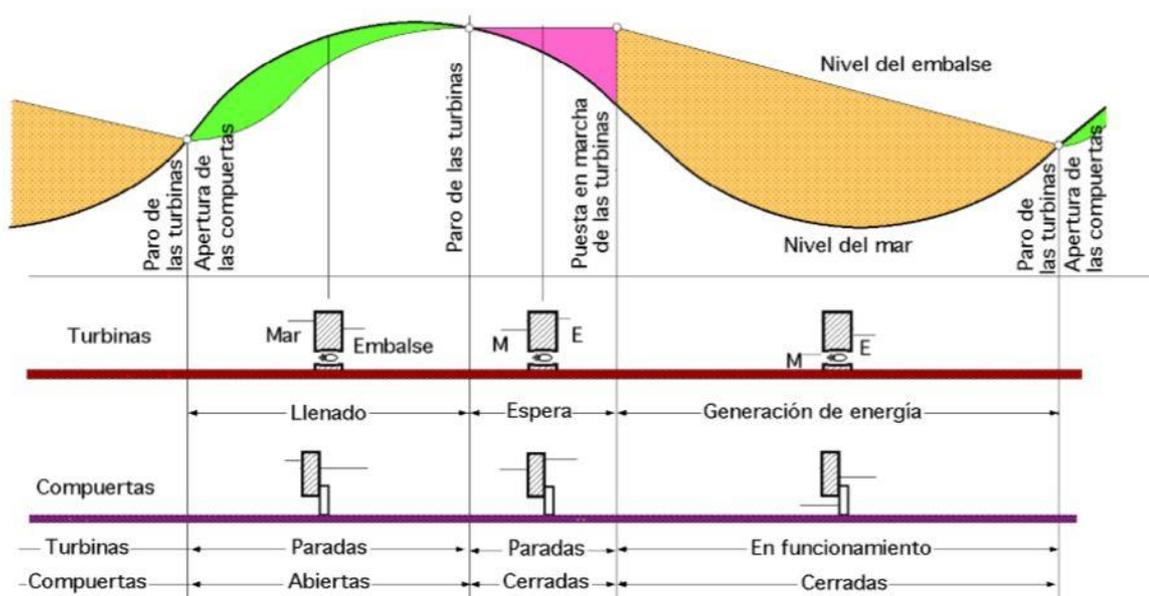


Figura 4. Ciclo de simple efecto durante el vaciado.⁷

1.2.3.2 Configuración

Los elementos básicos de los que se debe componer la central son:

- Diques.
- Compuertas.
- Turbinas.
- Generador eléctrico.
- Subsistema de control.
- Infraestructura de transporte de la electricidad generada.
- Ships locks para permitir el paso de barcos.

⁶ Fernández Díez, Pedro. *Energía Maremotriz*. Extraído el 06/03/2018, de <http://es.pfernandezdiez.es/>

⁷ Fernández Díez, Pedro. *Energía Maremotriz*. Extraído el 06/03/2018, de <http://es.pfernandezdiez.es/>

Turbina.

Para la producción de energía se usan turbinas hidráulicas. No obstante, los saltos de agua serán pequeños en comparación con las grandes centrales hidráulicas por lo que es preciso emplear turbinas especiales. También hay que tener en cuenta que el agua del mar posee una alta concentración en cloruros, en consecuencia, los materiales deberán de ser resistentes a la corrosión. Las turbinas más utilizadas son las que se muestran a continuación.

- **Turbina bulbo:** Permite la circulación del flujo en ambos sentidos por lo que puede operar en modo bomba. Se instala en el conducto de paso de agua junto con el alternador por lo que el acceso a la instalación es difícil.
- **Turbina Kaplan tubular:** El alternador se conecta a la turbina a través de un gran eje permitiendo su instalación en el exterior del conducto de flujo de agua
- **Turbina Straflo:** Lleva integrado el generador eléctrico alrededor de los álabes del rodete, formando así una unidad compacta. De esta forma se consigue un mayor rendimiento. Este tipo de turbinas no pueden bombear agua y su coste de ingeniería civil es bajo.

La regulación de la velocidad del generador convencional acoplado a la turbina es un factor crucial para la sincronización con el sistema al que se conecte. Una central mareomotriz trabaja en condiciones variables por ello son necesarios dispositivos que ayuden en la regulación de la frecuencia. Se suele usar un regulador colocado en frente de los álabes de las turbinas, una turbina Kaplan de álabes regulables o ambos sistemas a la vez. Otra alternativa, que, aunque más eficiente también es más costosa, se basa en usar un generador de velocidad variable, una solución electrónica que permite el giro de la turbina en su velocidad óptima en todas las condiciones.

Compuertas.

Las compuertas son una parte importante de la central puesto que son las que permiten y bloquean el paso de agua. Éstas deben ser lo suficientemente grandes y eficientes para facilitar que la cuenca detrás del dique se llene de agua en un tiempo adecuado.

Si el lugar es lo suficientemente profundo se pueden construir empleando el concepto de tubo de Venturi. Para que este sistema sea eficiente las compuertas deberán de estar completamente sumergidas. La ventaja frente a las convencionales es que para una misma velocidad de transferencia su tamaño podrá ser más pequeño.

1.2.3.3 Ciclo múltiple

Al ser las mareas un recurso intermitente se pueden emplear instalaciones de ciclo múltiple para compensar los valles de producción en el ciclo elemental. Esta central consiste en la construcción de dos embalses, por ejemplo. En el dique que separa el embalse superior del mar se construyen unas compuertas que se abren entre la marea media y alta para el llenado y se cierran entre la marea media y la marea baja. Una vez lleno el embalse superior se hace pasar el agua al inferior a través de las turbinas construidas en el dique que separa ambos embalses. La salida del agua al mar se realiza a través de las compuertas del embalse inferior durante el periodo comprendido entre la marea media y la bajamar. (Ver *Figura 5*)

Otra posibilidad de las centrales mareomotrices es el uso de turbinas reversibles que funcionen como bombas. En este caso, cuando exista un exceso de energía se puede bombear agua al embalse aumentando así su nivel y la disponibilidad de agua para la posterior producción eléctrica.

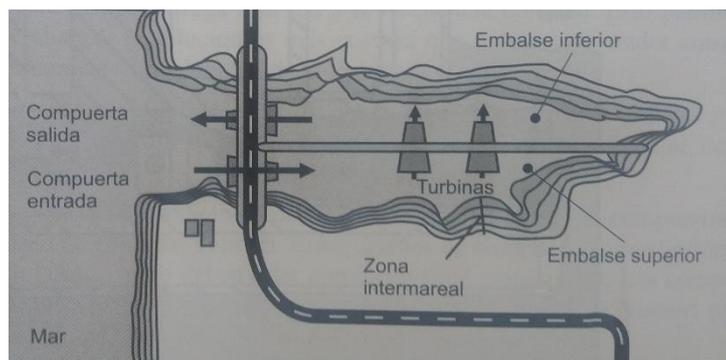


Figura 5. Esquema de una central mareomotriz de ciclo múltiple.⁸

1.2.4 Centrales que emplean ciclos de simple efecto

Central de Sihwa Lake.

Situada en Corea del Sur, esta central es la más grande del mundo, con una potencia instalada de 254 MW. Tiene 10 turbinas tipo bulbo de 25,4 MW de potencia. El dique está diseñado para minimizar las inundaciones y el área del embalse es de 43 km². La amplitud de marea media es de 5,6 m, generándose energía únicamente durante las entradas de agua.⁹

Central Annapolis Royal.

Está situada en la frontera entre los EEUU y Canadá. Emplea una turbina axial Straflo de 4 palas y produce 18 MW. El dique tiene una altura de 30,5 m y 46,5 m de longitud. La amplitud de marea máxima que se puede alcanzar en esa zona es de 15 m.¹⁰

1.3 Energía fotovoltaica

1.3.1 Recurso solar

La energía solar es la energía radiante procedente del sol que llega a la superficie terrestre. Esta, al atravesar la atmósfera, ve modificada su magnitud y dirección, es decir, se produce una disminución de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra. Debido a este fenómeno, la radiación global incidente sobre una superficie será la suma de otras dos:

- **Radiación solar directa:** es el componente mayor y tiene naturaleza direccional. Se puede definir como la radiación solar recibida, sin modificar su dirección, al atravesar la atmósfera.
- **Radiación solar difusa:** es la radiación solar recibida, después de modificar su dirección, al atravesar la atmósfera, debido al fenómeno de dispersión.

Por otro lado, la dirección de la radiación solar directa depende de la posición relativa entre el sol y la superficie de captación. Por consiguiente, la radiación solar incidente en una superficie también verá alterada su magnitud, dependiendo de su grado de inclinación respecto al plano horizontal y su orientación. Esto se debe a que el ángulo que forma la radiación solar con la normal a la superficie variará. El grado de inclinación y orientación

⁸ Carta González, J.A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., Castro Gil, M.A. (2012). *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: Pearson.

⁹ Gianola Otamendi, Alberto. (2016). *Energía producida o extraída del mar*. Extraído de http://www.cglnm.com.ar/public/PAC/171/Energia_Maritima.pdf

¹⁰ Gianola Otamendi, Alberto. (2016). *Energía producida o extraída del mar*. Extraído de http://www.cglnm.com.ar/public/PAC/171/Energia_Maritima.pdf

óptimos dependerá del momento y el lugar, debido a los movimientos de rotación y traslación de la tierra. Por ejemplo, mientras que en el hemisferio norte la mejor orientación para la superficie receptora es la sur, en el hemisferio sur será la norte, y, en general, una inclinación próxima a la latitud recibirá más radiación durante todo el año que si la superficie se coloca en el plano horizontal.

1.3.2 Tecnología fotovoltaica

El objetivo de una instalación fotovoltaica es la producción de electricidad directamente a partir de la radiación solar. Su componente principal son los módulos fotovoltaicos y se pueden acompañar de inversores, reguladores de tensión y baterías, entre otros componentes. A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de ellos:

- **Módulos fotovoltaicos:** están constituidos por células solares asociadas entre sí. Éstas son los dispositivos encargados de la conversión eléctrica en forma de corriente continua. Para su fabricación se pueden emplear muchos materiales, las más usadas son las de silicio monocristalino y policristalino.
- **Inversor:** es el dispositivo que transforma la corriente continua en corriente alterna. En general, tienen una gran fiabilidad y una alta eficiencia en la conversión de energía.
- **Regulador de tensión:** se encarga del control y protección de la batería, evitando tanto su sobrecarga, como su descarga profunda.
- **Batería:** es el dispositivo de almacenamiento de la energía. Puede proporcionar electricidad en caso de sombras sobre el campo solar (nubes, aves, etc) y durante la noche. Su funcionamiento se basa en guardar energía eléctrica en forma de energía química para recuperarla posteriormente. Las baterías son un sistema de almacenamiento poco eficiente, ya que se pierde del orden del 30 % o 40 % de la energía y además necesitan de un alto mantenimiento.

1.4 Emplazamiento

Australia es un país perteneciente al continente oceánico situado en el hemisferio sur. Se trata del sexto país del mundo más grande en superficie. Gran parte del territorio es desértico y semiárido (ver *Figura 6*) dándose lugar ciclones tropicales en el norte del país.

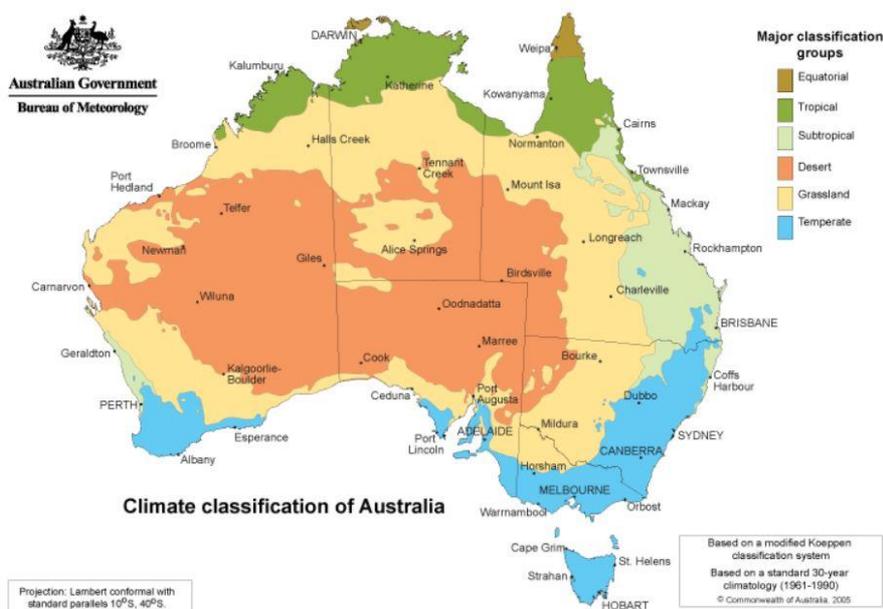


Figura 6. Clasificación climática de Australia. ¹¹

¹¹ Australian Government. Bureau of Meteorology. Extraído en 2018 de <http://www.bom.gov.au/?ref=logo>

El emplazamiento escogido es la ciudad de Broome (zona semiárida), situado en la región de Kimberly en Australia Occidental. Sus coordenadas geográficas son $-17,96^{\circ}$ de latitud y $122,24^{\circ}$ de longitud. La urbe se encuentra rodeada por las aguas del océano Índico, con la arena blanca de Cable Beach contrastando con las formaciones de rocas rojizas de Gantheaume Point.

En la *Figura 7* se muestra una perspectiva satélite de la ciudad de Broome. En la costa superior se puede observar Cable Beach y más en el centro de la ciudad se encuentra el Aeropuerto Internacional.

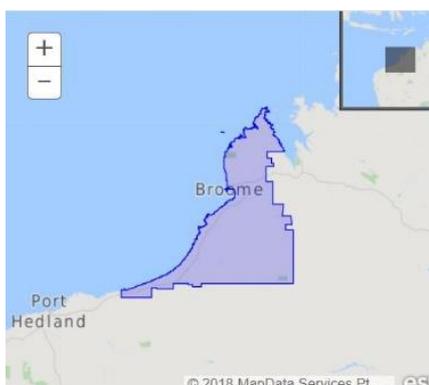


*Figura 7. Broome, Australia.*¹²

1.4.1 Población

En el censo de 2016 la población de Broome era de 13.984 personas con una media de edad de 34 años. En cuanto al condado de Broome, con una extensión de 55,7 km², cifra una población de 16.222 habitantes (ver *Figura 8*).¹³

Debido a la variedad de paisajes y actividades Broome es una ciudad bastante turística. Durante el periodo comprendido entre los meses de junio a agosto se producen picos de turismo en los cuales la población puede llegar a alcanzar los 45.000 habitantes.¹⁴



*Figura 8. Condado de Broome.*¹²

¹² Google Maps.

¹³ Australian Bureau of Statistics. Extraído en 2018 de http://www.censusdata.abs.gov.au/census_services/

¹⁴ <https://web.archive.org/web/20080410164139/http://www.broomevisitorcentre.com.au/pages/population-statistics/>

1.4.2 Clima

Broome se encuentra en la zona climática semiárida. Para definirlo se ha usado la clasificación de Köppen, la cual se apoya en los límites climáticos de algunas formas vegetales.

Las precipitaciones en este tipo de zonas son irregulares tanto en tiempo como en espacio. También existe una descompensación entre la cantidad de agua que puede pasar a la atmósfera y la cantidad disponible debida a las precipitaciones. Estas regiones tienen una demanda evaporativa atmosférica alta, la cual depende de la radiación solar, la presión de vapor del aire y la velocidad del viento.

Otras características a destacar son una alta radiación incidente y altas tasas de arrastre de sedimentos.

En el condado de Broome predominan dos estaciones. Los meses templados y secos de invierno van desde mayo a septiembre. Se conocen como la estación seca y es la época más frecuente para viajar. La temperatura máxima puede alcanzar valores de 30 °C y la mínima de 15°C, por lo que la media diaria será de 21 °C. La otra estación se conoce como la estación húmeda y está comprendida entre los meses entre octubre y abril. La temperatura media en esta época es de 27 °C, alcanzando de máximos 33°C y mínimos de 24°C.¹⁵

En cuanto a las precipitaciones, si contamos el periodo entre el 1 de octubre de 2017 y el 3 de marzo de 2018 (estación húmeda) la cantidad de lluvia es de unos 1600 mm. Respecto al tiempo entre el 1 de abril y el 30 de noviembre de 2017 (estación seca) las precipitaciones fueron de unos 25 mm.¹⁶

1.4.3 Recurso mareal

Debido a la atracción gravitatoria del sol y la luna se da lugar un fenómeno de subida y baja del nivel del mar conocido como mareas. La amplitud de marea es la diferencia entre la pleamar (altura máxima que alcanza) y la bajamar (altura mínima). En este punto se va a desarrollar un estudio de esta amplitud de marea para la ciudad de Broome.

El tipo de mareas de esta ciudad son semidiurnas, es decir, se dan dos máximos cada día y su intensidad será similar. Recurriendo a los datos recogidos entre 1966 y 2017 se observa una amplitud de marea media de 5,397 m. En cuanto a los extremos registrados en las tablas de mareas, la pleamar fue de 10,73 m el 22/03/2011 y la bajamar tomó un valor de -0,080 m el 05/10/1967. Estos datos están medidos respecto a un nivel de referencia conocido como BMI (bajamar media inferior), un promedio de las mareas más bajas registradas cada día durante el periodo de registro.¹⁷

Para elaborar un estudio más detallado de este fenómeno se ha recurrido a analizar las amplitudes de mareas durante el mes de febrero de 2018.

En la *Tabla 1* se muestran las pleamares y bajamares que se dan cada día del mes, así como su amplitud. La amplitud 1 se trata de la diferencia entre las dos primeras columnas de bajamar y pleamar y la amplitud 2 de las segundas. El símbolo * significa que para los días del 2 al 9 de febrero y del 17 al 24, el último registro de pleamar se corresponde con el día posterior. Es decir, la pleamar de 10,03 m anotada en el día 2 realmente tuvo lugar el día 3. Estas modificaciones se han realizado para una mayor facilidad a la hora de calcular las amplitudes.

¹⁵ Australian Government. Bureau of Meteorology. Extraído en 2018 de <http://www.bom.gov.au/?ref=logo>

¹⁶ Australian Government. Bureau of Meteorology. Extraído en 2018 de <http://www.bom.gov.au/?ref=logo>

¹⁷ Australian Government. Bureau of Meteorology. Extraído en 2018 de <http://www.bom.gov.au/?ref=logo>

Día	Bajamar [m]	Pleamar [m]	Bajamar [m]	Pleamar* [m]	Amplitud 1 [m]	Amplitud 2 [m]
1	1,24	9,18	1,7	9,82	7,94	8,12
2	0,84	9,59	1,29	10,03	8,75	8,74
3	0,71	9,8	1,14	9,98	9,09	8,84
4	0,85	9,78	1,26	9,69	8,93	8,43
5	1,23	9,54	1,64	9,17	8,31	7,53
6	1,8	9,09	2,23	8,48	7,29	6,25
7	2,52	8,49	2,95	7,7	5,97	4,75
8	3,3	7,8	3,72	6,9	4,5	3,18
9	4,09	7,11	4,44	6,18	3,02	1,74
10	4,83	6,57	-	-	1,74	-
11	4,66	6	4,96	6,64	1,34	1,68
12	4,1	6,63	4,4	7,25	2,53	2,85
13	3,42	7,3	3,75	7,89	3,88	4,14
14	2,78	7,9	3,14	8,46	5,12	5,32
15	2,23	8,42	2,6	8,92	6,19	6,32
16	1,78	8,83	2,15	9,26	7,05	7,11
17	1,45	9,16	1,8	9,48	7,71	7,68
18	1,25	9,39	1,58	9,57	8,14	7,99
19	1,21	9,51	1,52	9,51	8,3	7,99
20	1,34	9,5	1,64	9,28	8,16	7,64
21	1,65	9,31	1,94	8,85	7,66	6,91
22	2,13	8,96	2,43	8,24	6,83	5,81
23	2,76	8,43	3,07	7,48	5,67	4,41
24	3,51	7,78	3,82	6,67	4,27	2,85
25	4,32	7,1	-	-	2,78	-
26	4,37	6,22	4,71	6,93	1,85	2,22
27	3,91	6,8	4,16	7,59	2,89	3,43
28	3	7,76	3,21	8,49	4,76	5,28

Tabla 1. Tabla de mareas Broome (febrero 2018).¹⁸

A modo de resumen, en la *Tabla 2*, se puede observar el número de mareas que se han dado durante el mes de febrero dependiendo de la amplitud. Hay establecidos 4 grupos:

- Amplitudes de mareas menores de 4m.
- Amplitudes de mareas entre 4 y 5 m.
- Amplitudes de mareas entre 5 y 7 m.
- Amplitudes de mareas mayores de 7 m.

	Menor de 4 m	Entre 4 Y 5 m	Entre 5 Y 7 m	Mayor de 7 m
Nº de mareas	15	6	11	22
Porcentaje	0,28	0,11	0,2	0,41

Tabla 2. Número de mareas de cada grupo establecido.

¹⁸ Los datos de pleamar y bajamar se han obtenido de Australian Government. Bureau of Meteorology. Extraído en 2018 de <http://www.bom.gov.au/?ref=logo>

Analizando los resultados se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- El 61 % de los días la amplitud de marea es mayor de 5 m.
- El 11 % de los días la amplitud de marea está entre los 4 y 5 m.
- El 28 % de los días la amplitud de marea es menor de 4 m.

Otro dato a destacar es el tiempo medio entre la marea alta y la baja que toma valores entre 5 y 6 horas.

1.4.4 Recurso solar

Australia es una zona con un alto nivel de radiación por lo que la tecnología fotovoltaica y termosolar se ha incentivado, apostando más por la fotovoltaica. Así, en 2015 fue el octavo país del mundo con mayor capacidad fotovoltaica instalada ese año y el noveno en capacidad fotovoltaica acumulada.¹⁹

Para una mejor visualización de la radiación disponible en Australia se muestra la *Figura 9*. En el mapa se indica la radiación global a la que estuvo expuesto el país el día 3 de marzo del 2018. Poniendo el foco en la ciudad de Broome, se puede observar que el valor de irradiación es de 24 MJ/m² lo que equivale a unos 6,67 kWh/ m².

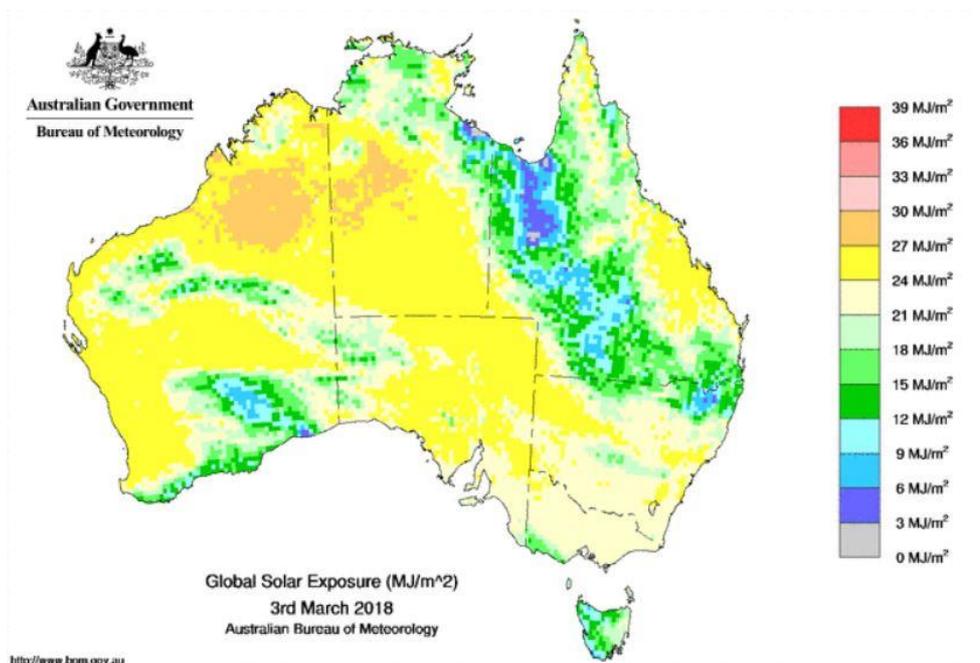


Figura 9. Irradiación incidente en Australia el 03/03/18.²⁰

En cuanto a la irradiación horizontal diaria (GHI) que se da durante un año en Broome, la media recibida cada mes se muestra en la *Tabla 3*. Se destaca que la media anual es de 6,2 kWh/ m²día.

¹⁹ Global PV Markets-IEA PVPS

²⁰ Australian Government. Bureau of Meteorology. Extraído en 2018 de <http://www.bom.gov.au/?ref=logo>

Mes	GHI diaria [kWh/m ² día]
Enero	6,47
Febrero	6,06
Marzo	6,18
Abril	5,83
Mayo	5,18
Junio	4,69
Julio	5,11
Agosto	5,92
Septiembre	6,78
Octubre	7,48
Noviembre	7,7
Diciembre	7
Anual	6,2

Tabla 3. Irradiación horizontal diaria en kWh/m²día en Broome.²¹

Otro factor importante en cuanto a la radiación es el número medio de horas de sol disponible. Como se muestra en la Figura 10, durante la estación seca, Broome dispone de 9 horas de sol. Al encontrarse en el noreste del país el clima no será muy variable por lo que durante la estación húmeda el número de horas de sol será similar. Estas mediciones se han realizado a partir de los datos recogidos por un heliógrafo.

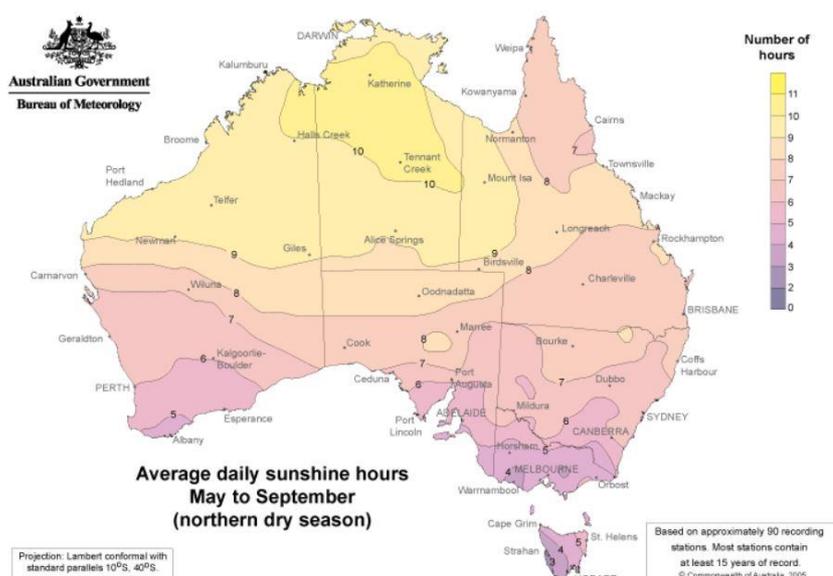


Figura 10. Número de horas de sol durante la estación seca.²²

Potencia fotovoltaica instalada.

Recurriendo a datos del 30 de diciembre de 2017 la potencia fotovoltaica instalada en el condado de Broome era de 5.417 kW. De los cuales 1.616 kW pertenecen a instalaciones por debajo de los 10 kW y 3.801 kW a instalaciones entre los 10 y los 100 kW. El número de instalaciones totales era de 471.²³

²¹ <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>

²² Australian Government. Bureau of Meteorology. Extraído en 2018 de <http://www.bom.gov.au/?ref=logos>

²³ Australian PV Institute. Extraído en 2018 de <http://pv-map.apvi.org.au/historical#6/-18.355/123.311>

2 PLANTA DE DESALACIÓN

En este capítulo se realiza una breve descripción de la tecnología SWRO empleada para la desalación de agua de mar. Servirá como prólogo frente al dimensionamiento y descripción de la planta de desalación presentada en este trabajo.

2.1 Introducción

2.1.1 Ósmosis inversa

El fenómeno de ósmosis es un proceso a través del cual dos soluciones tienden a igualar sus concentraciones. Si un disolvente puro y una disolución, con una misma presión inicial, se separan mediante una membrana semipermeable al disolvente puro, aparecerá un flujo espontáneo de disolvente. Este flujo cesará cuando se alcance la altura de equilibrio, h_{eq} , momento en que la diferencia de presiones entre (1) y (2) sea igual a su diferencia de presiones osmóticas. (Ver Figura 11).

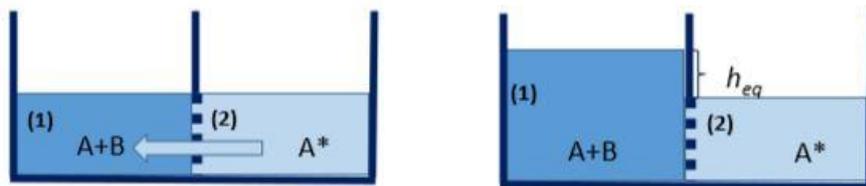


Figura 11. Ósmosis directa. Estado inicial (izquierda). Estado final (derecha).²⁴

En cambio, si se requiere que el flujo de disolvente sea contrario al sentido espontáneo, será necesaria la aplicación de una presión externa. A este proceso se le conoce como ósmosis inversa (Ver Figura 12).

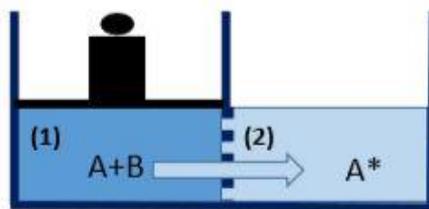


Figura 12. Ósmosis inversa.²⁴

Previamente a establecer la condición a cumplir para que se produzca dicho proceso, es necesario definir el concepto de Net Driving Pressure. Conocida por las siglas NDP, se entiende como la presión que produce el movimiento del fluido en ambos lados de la membrana.

Por tanto, para que pueda producirse la transferencia del solvente se tiene que cumplir la siguiente desigualdad:

²⁴ García Rodríguez, Lourdes. (2018). Fundamentos termodinámicos de la desalación por ósmosis inversa: Transferencia de disolvente a través de una membrana semipermeable. Universidad de Sevilla.

$$NDP = (p_1 - p_2) - (\pi_1 - \pi_2) > 0 \quad (1)$$

2.1.2 Tecnología SWRO

El agua de mar es una disolución compuesta por agua y diversas sales, por tanto, se puede emplear la ósmosis inversa como mecanismo para la desalación de agua. La tecnología SWRO (Sea Water Reverse Osmosis) se basa en el empleo de bombas y membranas mediante las cuales se conseguirá este efecto, es decir, la obtención de agua pura a través de agua de mar.

El esquema básico de una planta basada en la tecnología SWRO se muestra en la *Figura 13* donde una bomba incrementa la presión del agua de mar (alimentación). A continuación, el agua marina ya presurizada se hace pasar por los elementos de membrana conectados en serie en el interior de unos tubos de presión. La membrana permitirá, como ya se ha citado anteriormente, la transferencia de solvente. El paso del agua por este dispositivo hará que disminuya la concentración en sales del agua de mar obteniendo, finalmente, permeado y concentrado.

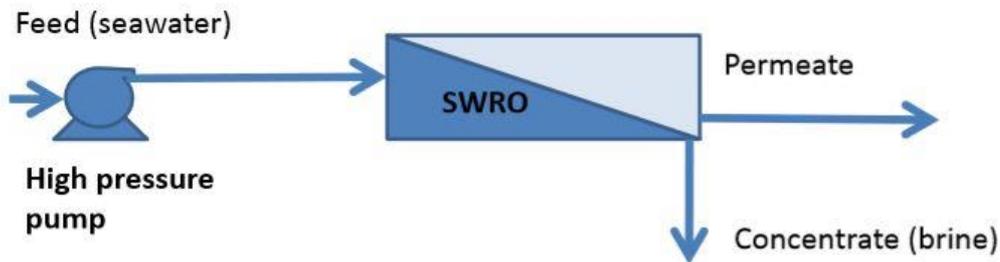


Figura 13. Esquema básico del proceso de desalación SWRO.²⁵

Para aumentar la eficiencia de la planta y disminuir el consumo se recurre a los recuperadores de energía basados en intercambiadores de presión (PEX), donde parte del agua de mar se hace pasar a través del intercambiador o cámara isobárica, al mismo tiempo que lo atraviesa el concentrado (Ver *Figura 14*). En este dispositivo se consigue un aumento de la presión de la alimentación disminuyendo la del concentrado, con un porcentaje de eficiencia bastante alto. De esta forma, se logra una disminución de la potencia necesaria para desalar el mismo volumen de agua. Para comprender mejor el esquema de la *Figura 14* se definen sus elementos como:

- HPP (High Pressure Pump), bomba de alta presión.
- SWRO (Sea Water Reverse Osmosis), bastidor de membranas de ósmosis inversa para agua de mar.
- BP (Booster Pump), bomba de circulación.
- PEX (Pressure EXchanger), recuperador energético basado en cámaras isobáricas.

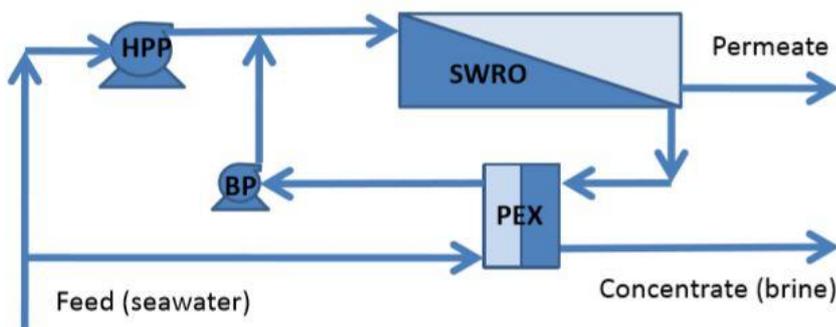


Figura 14. Configuración SWRO con intercambiadores de presión (cámara isobárica).²⁵

²⁵ García Rodríguez, Lourdes. (2018). SWRO desalination: System configuration. Universidad de Sevilla.

2.2 Dimensionado de la planta desaladora

El dimensionado de la planta de desalación se realizará mediante el software ROSA (Reverse Osmosis System Analysis), un programa para sistemas de ósmosis inversa. A través de la definición de ciertos parámetros como lo son las características del agua de mar a utilizar, la capacidad de la planta o el tipo de membrana entre otros se obtendrán los datos necesarios para el dimensionado como la TDS o el consumo energético de la planta.

Para realizar un dimensionado lo más correcto posible se van a comparar los resultados obtenidos con ROSA para dos salinidades distintas y diferentes tipos de membranas.

2.2.1 Parámetros

2.2.1.1 Capacidad

La capacidad de la planta, es decir, los m³/día demandados por persona depende de la población a abastecer. En Broome, en época de turismo, la población es considerablemente superior al número de habitantes habituales de la ciudad, 45.000 frente a unos 16.000. Por tanto, el consumo se estimará para la población turística del lugar.

Según la Comisión Europea (2015) el agua disponible por habitante debe de ser de 2.000 m³/persona*año. Puesto que la planta está abastecida eléctricamente por energía renovable y la disponibilidad de esta no es constante se estimará el consumo como el doble del indicado. De esta forma se asegura el suministro incluso en el caso de paro parcial o total de la planta durante un cierto periodo de tiempo.

Por tanto, una selección razonable de la capacidad de la planta, teniendo en cuenta que existirían otros recursos será:

- Población: 45.000 habitantes
- Consumo anual: 1.500 m³/pers.*año
- Consumo diario: 4,11 m³/pers.*día
- Capacidad de la planta: 185.000 m³/día
- Capacidad apropiada de la planta: 370.000 m³/día (Aplicando el criterio de duplicar el consumo)
- Capacidad apropiada de la planta: 154.410,96 m³/h

2.2.1.2 Composición del agua de mar

Para caracterizar el agua del mar de Broome se comienza escogiendo una composición igual a la del océano en las Islas Canarias (Ver *Tabla 4*). Habiéndose obtenido la concentración, C , mediante la *Ecuación 2* con una densidad $\rho=1025,83$ kg/m³.

$$C \left[\frac{mg}{l} \right] = S \left[\frac{Kg}{kg} \right] * \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 10^3 \quad (2)$$

Componente	S inicial (ppm)	S inicial (kg/kg)	C inicial (mg/l)
Amoniaco (NH3)	-	-	-
Potasio (k)	429	0,00043	440,08
Sodio (Na)	11700	0,01170	12002,21
Magnesio (Mg)	1526	0,00153	1565,42
Calcio (Ca)	464	0,00046	475,99
Estroncio (Sr)	-	-	-
Bario (Ba)	-	-	-
CO3	3,20	0,000003	3,28
Bicarbonato	204,00	0,000204	209,27
NO3	-	-	-
Cloro (Cl)	21344	0,02	21895,32
Fluor (F)	-	-	-
Sulfato (SO4)	3059	0,00306	3138,01
SiO2	-	-	-
Boro (B)	4,50	0,000005	4,62
Total	38733,7	0,0387	39734,19147

Tabla 4. Composición del agua de mar en las Islas Canarias.

Sin embargo, la salinidad en Australia es distinta a la de las Islas Canarias por lo que habrá que corregir los datos diluyendo o concentrando la disolución.

Según Saliby, Okour, Shon y Kim (2008) la planta de Kwinana opera con unas salinidades entre 35.000 mg/l y 37.000 mg/l y temperaturas del mar entre 16 °C y 24 °C, por lo tanto, será necesario diluir la solución inicial. Se estudiarán los dos casos extremos.

Para el análisis se empleará una aproximación de la densidad a 1025,5 kg/m³ junto con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Respecto al total: } S_{Final} = \frac{S_{Inicial}}{1 + \frac{\Delta m_A}{m_{A,inicial}}} \quad (3)$$

$$\text{Respecto a cada ion: } S_{F,ion} = \frac{S_{I,ion}}{1 + \frac{\Delta m_A}{m_{A,inicial}}} \quad (4)$$

Caso 1: C=35.000 mg/l y T=16 °C.

En primer lugar, se necesita conocer cual debe ser la salinidad final de la disolución en (kg/kg). Para ello se aplica la ecuación [2] y una densidad $\rho=1025,5 \text{ kg/m}^3$ dando lugar a una $S_{final,1}=0,0341 \text{ kg/kg}$. A continuación, se calcula el incremento de disolvente (en este caso agua) que será necesario añadir. Despejando de la Ecuación 3 se obtiene $\frac{\Delta m_A}{m_{A,inicial}} = 0,1349 \text{ kg/kg}$.

Por último, se procede a hallar la composición final que tendrá el agua de mar en este caso resolviendo la Ecuación 4. En la Tabla 5 se observan los resultados finales.

Componente	S _{final,ion} (kg/kg)	S _{final,ion} (mg/l)
Amoniaco (NH ₃)	-	-
Potasio (k)	0,00038	387,65
Sodio (Na)	0,01031	10572,19
Magnesio (Mg)	0,00134	1378,90
Calcio (Ca)	0,00041	419,27
Estroncio (Sr)	-	-
Bario (Ba)	-	-
CO ₃	2,8E-06	2,89
Bicarbonato	1,8E-04	184,34
NO ₃	-	-
Cloro (Cl)	0,01881	19286,56
Fluor (F)	-	-
Sulfato (SO ₄)	0,00270	2764,13
SiO ₂	-	-
Boro (B)	4,0E-06	4,07

Tabla 5. Composición del agua marina para S=35.000 mg/l.

Caso 2: C=37.000 mg/l y T=24 °C.

El procedimiento a seguir en estas circunstancias es el mismo que en el caso 1 obteniéndose los siguientes resultados (Ver Tabla 6).

$$S_{\text{final},2}=0,0361 \text{ kg/kg}$$

$$\frac{\Delta m_A}{m_{A,\text{inicial}}} = 0,0736 \text{ kg/kg}$$

Componente	S _{final,ion} (kg/kg)	S _{final,ion} (mg/l)
Amoniaco (NH ₃)	-	-
Potasio (k)	0,0004	409,80
Sodio (Na)	0,0109	11176,31
Magnesio (Mg)	0,0014	1457,70
Calcio (Ca)	0,0004	443,23
Estroncio (Sr)	-	-
Bario (Ba)	-	-
CO ₃	0,000003	3,06
Bicarbonato	0,000190	194,87
NO ₃	-	-
Cloro (Cl)	0,019882	20388,65
Fluor (F)	-	-
Sulfato (SO ₄)	0,002849	2922,08
SiO ₂	-	-
Boro (B)	0,000004	4,30

Tabla 6. Composición del agua marina para S=37.000 mg/l.

Por tanto, los datos a introducir en ROSA serán la composición final para cada caso y el tipo de agua “Seawater with DOW Ultrafiltration. SDI<2.5”.

2.2.1.3 Otros parámetros

- Unidades: Flujo en m³/h; presión en bar y temperatura en °C.
- Temperatura: T=16 °C o T=24 °C (según el caso que se esté estudiando)
- Recuperación del 42 %
- Elementos de membrana: 7
- Número de tubos de presión: 4.223
- Flujo de permeado: Q = 154.410,96 m³/h
-

El número de tubos de presión se ha calculado en función del flujo límite que puede atravesar un tubo, es decir, dividiendo la capacidad de la planta entre los 3,65 (m³/h) que atravesarán cada tubo como máximo.

El resto de parámetros serán los que se indiquen por defecto.

2.2.2 Comparación

Para este estudio se van a comparar los resultados proporcionados por ROSA con respecto a los dos casos citados en el punto anterior, empleando tres modelos de membrana distintos (SW30HRLE-440i, SW30ULE-440i y SW30XLE-440i).

2.2.2.1 Caso 1. C=35.000 mg/l y T=16 °C

Membrana SW30HRLE-440i

Los detalles del sistema se muestran en las tablas siguientes:

Feed Flow to Stage 1	36692,76	m ³ /h
Raw Water Flow to System	36692,76	m ³ /h
Feed Pressure	53,14	bar
Flow Factor	0,85	
Chem, Dose	None	
Total Active Area	1208335,4	M ²
Pass 1 Permeate Flow	15413,61	m ³ /h
Pass 1 Recovery	42,01	%
Pass 1 Conc Flow	21279,16	m ³ /h
Pass 1 Conc Press	51,37	bar
Feed Temperature	16	C
Feed TDS	35046,44	mg/l
Number of Elements	29561	
Average Pass 1 Flux	12,76	lmh
Osmotic Pressure:		
Feed	23,82	bar
Concentrate	41,94	bar
Average	32,88	bar
Average NDP	19,29	bar
Power	67716,67	kW
Specific Energy	4,39	kWh/m ³

Tabla 7. Resultados membrana SW30HRLE-440i.

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4+ + NH3	0	0	0	0	0
K	387,65	387,65	667,24	1,66	1,66
Na	10572,2	10591,85	18235,45	39,52	39,52
Mg	1378,9	1378,9	2376,85	1,19	1,19
Ca	419,27	419,27	722,71	0,36	0,36
Sr	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0
CO3	10,47	10,47	20,89	0	0
HCO3	184,34	184,34	311,73	0,98	0,98
NO3	0	0	0	0	0
Cl	19286,6	19286,56	33209,48	65,38	65,38
F	0	0	0	0	0
SO4	2764,13	2764,13	4765,66	0,93	0,93
SiO2	0	0	0	0	0
Boron	4,07	4,07	6,62	0,54	0,54
CO2	1,78	1,78	3,31	2,19	2,19
TDS	35026,8	35046,44	60347,87	113,14	113,14
pH	7,8	7,8	7,78	5,88	5,88

Tabla 8. Resultados membrana SW30HRLE-440i.

En la *Tabla 9* se pueden observar los detalles de la etapa:

Element	Recovery	Perm Flow (m ³ /h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0,09	0,81	58,71	8,69	35046,44	52,8
2	0,09	0,71	72,85	7,88	38625,23	52,51
3	0,08	0,61	91,7	7,18	42419,56	52,27
4	0,08	0,51	116,98	6,57	46324,18	52,05
5	0,07	0,42	151,15	6,06	50205,46	51,85
6	0,06	0,34	197,41	5,64	53916,65	51,68
7	0,05	0,27	259,84	5,31	57327,6	51,52

Tabla 9. Resultados membrana SW30HRLE-440i.

Membrana SW30ULE-440i

Los detalles del sistema se muestran en las tablas siguientes:

Feed Flow to Stage 1	36692,76	m ³ /h
Raw Water Flow to System	36692,76	m ³ /h
Feed Pressure	47,81	bar
Flow Factor	0,85	
Chem, Dose	None	
Total Active Area	1208335,44	M ²
Pass 1 Permeate Flow	15411,64	m ³ /h
Pass 1 Recovery	42	%
Pass 1 Conc Flow	21281,12	m ³ /h
Pass 1 Conc Press	46,08	bar
Feed Temperature	16	C
Feed TDS	35046,44	mg/l
Number of Elements	29561	
Average Pass 1 Flux	12,75	lmh
Osmotic Pressure:		
Feed	23,82	bar
Concentrate	41,86	bar
Average	32,84	bar
Average NDP	14,12	bar
Power	60919,11	kW
Specific Energy	3,95	kWh/m ³

Tabla 10. Resultados membrana SW30ULE-440i.

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Permeate		
			Concentrate Stage 1	Stage 1	Total
NH4+ + NH3	0	0	0	0	0
K	387,65	387,65	665,78	3,59	3,59
Na	10572,2	10591,85	18200,4	85,6	85,6
Mg	1378,9	1378,9	2375,62	2,59	2,59
Ca	419,27	419,27	722,34	0,78	0,78
Sr	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0
CO3	10,47	10,47	20,92	0	0
HCO3	184,34	184,34	311	1,94	1,94
NO3	0	0	0	0	0
Cl	19286,6	19286,56	33151,2	141,61	141,61
F	0	0	0	0	0
SO4	2764,13	2764,13	4764,42	2,03	2,03
SiO2	0	0	0	0	0
Boron	4,07	4,07	6,33	0,95	0,95
CO2	1,78	1,78	3,29	2,19	2,19
TDS	35026,8	35046,44	60247,88	243,58	243,58
pH	7,8	7,8	7,79	6,15	6,15

Tabla 11. Resultados membrana SW30ULE-440i.

En la *Tabla 12* se pueden observar los detalles de la etapa:

Element	Recovery	Perm Flow (m ³ /h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0,11	0,95	109,23	8,69	35046,44	47,46
2	0,1	0,78	145,63	7,74	39337,44	47,18
3	0,09	0,62	197,37	6,96	43718,11	46,94
4	0,08	0,48	271,33	6,34	47960,79	46,73
5	0,06	0,36	376,82	5,86	51844,63	46,55
6	0,05	0,27	525,32	5,5	55213,26	46,38
7	0,04	0,2	729,74	5,24	58006,2	46,23

Tabla 12. Resultados membrana SW30ULE-440i.

Membrana SW30XLE-440i

Los detalles del sistema se muestran en las tablas siguientes:

Feed Flow to Stage 1	36692,76	m ³ /h
Raw Water Flow to System	36692,76	m ³ /h
Feed Pressure	50,21	bar
Flow Factor	0,85	
Chem, Dose	None	
Total Active Area	1208335,44	M ²
Pass 1 Permeate Flow	15411,53	m ³ /h
Pass 1 Recovery	42	%
Pass 1 Conc Flow	21281,23	m ³ /h
Pass 1 Conc Press	48,46	bar
Feed Temperature	16	C
Feed TDS	35046,44	mg/l
Number of Elements	29561	
Average Pass 1 Flux	12,75	lmh
Osmotic Pressure:		
Feed	23,82	bar
Concentrate	41,92	bar
Average	32,87	bar
Average NDP	16,4	bar
Power	63979,98	kW
Specific Energy	4,15	kWh/m ³

Tabla 13. Resultados membrana SW30XLE-440i.

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4+ + NH3	0	0	0	0	0
K	387,65	387,65	666,94	1,98	1,98
Na	10572,2	10591,85	18228,13	47,19	47,19
Mg	1378,9	1378,9	2376,45	1,43	1,43
Ca	419,27	419,27	722,59	0,43	0,43
Sr	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0
CO3	10,47	10,47	20,9	0	0
HCO3	184,34	184,34	311,58	1,14	1,14
NO3	0	0	0	0	0
Cl	19286,6	19286,56	33197,07	78,05	78,05
F	0	0	0	0	0
SO4	2764,13	2764,13	4765,06	1,12	1,12
SiO2	0	0	0	0	0
Boron	4,07	4,07	6,54	0,66	0,66
CO2	1,78	1,78	3,31	2,19	2,19
TDS	35026,8	35046,44	60326,13	135,07	135,07
pH	7,8	7,8	7,79	5,94	5,94

Tabla 14. Resultados membrana SW30XLE-440i.

En la Tabla 14 se pueden observar los detalles de la etapa:

Element	Recovery	Perm Flow (m ³ /h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0,1	0,87	65,18	8,69	35046,44	49,86
2	0,09	0,74	83,6	7,82	38955,3	49,58
3	0,09	0,61	108,96	7,07	43032,62	49,34
4	0,08	0,5	144,11	6,46	47115,79	49,12
5	0,07	0,39	192,87	5,96	51022,83	48,94
6	0,05	0,3	260,43	5,57	54591,18	48,76
7	0,04	0,23	353,83	5,27	57708,83	48,61

Tabla 15. Resultados membrana SW30XLE-440i.

2.2.2.2 Caso 2. C=37.000 mg/l y T=24 °C

Membrana SW30HRLE-440i

Los detalles del sistema se muestran en las tablas siguientes:

Feed Flow to Stage 1	36692,76	m ³ /h
Raw Water Flow to System	36692,76	m ³ /h
Feed Pressure	53,34	bar
Flow Factor	0,85	
Chem. Dose	None	
Total Active Area	1208335,44	M ²
Pass 1 Permeate Flow	15408,6	m ³ /h
Pass 1 Recovery	41,99	%
Pass 1 Conc Flow	21248,17	m ³ /h
Pass 1 Conc Press	51,76	bar
Feed Temperature	24	C
Feed TDS	37057,66	mg/l
Number of Elements	29561	
Average Pass 1 Flux	12,75	lmh
Osmotic Pressure:		
Feed	26,01	bar
Concentrate	45,96	bar
Average	35,98	bar
Average NDP	16,55	bar
Power	67976,58	kW
Specific Energy	4,41	kWh/m ³

Tabla 16. Resultados membrana SW30HRLE-440i.

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4+ + NH3	0	0	0	0	0
K	409,8	409,8	704,46	2,78	2,78
Na	11176,3	11200,88	19261,92	66,02	66,02
Mg	1457,7	1457,7	2511,55	1,99	1,99
Ca	443,23	443,23	763,68	0,6	0,6
Sr	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0
CO3	15,86	15,86	30,24	0	0
HCO3	194,87	194,87	329,43	1,55	1,55
NO3	0	0	0	0	0
Cl	20388,7	20388,65	35069,9	109,19	109,19
F	0	0	0	0	0
SO4	2922,08	2922,08	5036,38	1,56	1,56
SiO2	0	0	0	0	0
Boron	4,3	4,3	6,78	0,88	0,88
CO2	1,57	1,57	3,05	1,95	1,95
TDS	37033,1	37057,66	63746,31	188,73	188,73
pH	7,8	7,8	7,79	6,06	6,06

Tabla 17. Resultados membrana SW30HRLE-440i.

En la Tabla 18 se pueden observar los detalles de la etapa:

Element	Recovery	Perm Flow (m ³ /h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0,11	0,92	87,18	8,69	37057,66	53
2	0,1	0,76	114,22	7,77	41412,81	52,75
3	0,09	0,62	152,22	7,01	45907,38	52,54
4	0,08	0,49	205,9	6,39	50328,76	52,35
5	0,06	0,37	281,88	5,91	54457,91	52,18
6	0,05	0,28	388,39	5,53	58117,95	52,03
7	0,04	0,21	536,07	5,25	61217,43	51,89

Tabla 18. Resultados membrana SW30HRLE-440i.

Membrana SW30ULE-440i

Los detalles del sistema se muestran en las tablas siguientes:

Feed Flow to Stage 1	36692,76	m ³ /h
Raw Water Flow to System	36692,76	m ³ /h
Feed Pressure	53,34	bar
Flow Factor	0,85	
Chem. Dose	None	
Total Active Area	1208335,44	M ²
Pass 1 Permeate Flow	15408,6	m ³ /h
Pass 1 Recovery	41,99	%
Pass 1 Conc Flow	21284,17	m ³ /h
Pass 1 Conc Press	51,76	bar
Feed Temperature	24	C
Feed TDS	37057,66	mg/l
Number of Elements	29561	
Average Pass 1 Flux	12,75	lmh
Osmotic Pressure:		
Feed	26,01	bar
Concentrate	45,96	bar
Average	35,98	bar
Average NDP	16,55	bar
Power	67976,58	kW
Specific Energy	4,41	kWh/m ³

Tabla 19. Resultados membrana SW30HRLE-440i.

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4+ + NH3	0	0	0	0	0
K	409,8	409,8	704,46	2,78	2,78
Na	11176,3	11200,88	19261,92	66,02	66,02
Mg	1457,7	1457,7	2511,55	1,99	1,99
Ca	443,23	443,23	763,68	0,6	0,6
Sr	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0
CO3	15,86	15,86	30,24	0	0
HCO3	194,87	194,87	329,43	1,55	1,55
NO3	0	0	0	0	0
Cl	20388,7	20388,65	35069,9	109,19	109,19
F	0	0	0	0	0
SO4	2922,08	2922,08	5036,38	1,56	1,56
SiO2	0	0	0	0	0
Boron	4,3	4,3	6,78	0,88	0,88
CO2	1,57	1,57	3,05	1,95	1,95
TDS	37033,1	37057,66	63746,31	188,73	188,73
pH	7,8	7,8	7,79	6,06	6,06

Tabla 20. Resultados membrana SW30HRLE-440i.

En la Tabla 21 se pueden observar los detalles de la etapa:

Element	Recovery	Perm Flow (m ³ /h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0,11	0,92	87,18	8,69	37057,66	53
2	0,1	0,76	114,22	7,77	41412,81	52,75
3	0,09	0,62	152,22	7,01	45907,38	52,54
4	0,08	0,49	205,9	6,39	50328,76	52,35
5	0,06	0,37	281,88	5,91	54457,91	52,18
6	0,05	0,28	388,39	5,53	58117,95	52,03
7	0,04	0,21	536,07	5,25	61217,43	51,89

Tabla 21. Resultados membrana SW30HRLE-440i.

Membrana SW30XLE-440i

Los detalles del sistema se muestran en las tablas siguientes:

Feed Flow to Stage 1	36692,76	m ³ /h
Raw Water Flow to System	36692,76	m ³ /h
Feed Pressure	51,26	bar
Flow Factor	0,85	
Chem. Dose	None	
Total Active Area	1208335,44	M ²
Pass 1 Permeate Flow	15409,65	m ³ /h
Pass 1 Recovery	42	%
Pass 1 Conc Flow	21283,11	m ³ /h
Pass 1 Conc Press	49,69	bar
Feed Temperature	24	C
Feed TDS	37057,66	mg/l
Number of Elements	29561	
Average Pass 1 Flux	12,75	lmh
Osmotic Pressure:		
Feed	26,01	bar
Concentrate	45,94	bar
Average	35,97	bar
Average NDP	14,51	bar

Tabla 22. Resultados membrana SW30XLE-440i.

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Permeate		
			Concentrate Stage 1	Stage 1	Total
NH ₄ ⁺ + NH ₃	0	0	0	0	0
K	409,8	409,8	704,11	3,31	3,31
Na	11176,3	11200,88	19253,62	78,79	78,79
Mg	1457,7	1457,7	2511,39	2,38	2,38
Ca	443,23	443,23	763,63	0,71	0,71
Sr	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0
CO ₃	15,86	15,86	30,26	0	0
HCO ₃	194,87	194,87	329,24	1,82	1,82
NO ₃	0	0	0	0	0
Cl	20388,7	20388,65	35056,33	130,32	130,32
F	0	0	0	0	0
SO ₄	2922,08	2922,08	5036,41	1,87	1,87
SiO ₂	0	0	0	0	0
Boron	4,3	4,3	6,67	1,03	1,03
CO ₂	1,57	1,57	3,04	1,95	1,95
TDS	37033,1	37057,66	63723,12	225,11	225,11
pH	7,8	7,8	7,79	6,12	6,12

Tabla 23. Resultados membrana SW30XLE-440i.

En la *Tabla 24* se pueden observar los detalles de la etapa:

Element	Recovery	Perm Flow (m ³ /h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
1	0,11	1	96,52	8,69	37057,66	50,91
2	0,1	0,8	131,71	7,69	41851,46	50,66
3	0,09	0,62	183,01	6,89	46689,26	50,45
4	0,07	0,47	258,1	6,27	51279,71	50,27
5	0,06	0,34	367,49	5,81	55366,08	50,11
6	0,05	0,25	524,07	5,47	58796,95	49,96
7	0,03	0,18	732,37	5,22	61548,66	49,82

Tabla 24. Resultados membrana SW30XLE-440i.

2.2.3 Elección final

Analizando los resultados del software ROSA se observa que la TDS del caso 1 es menor para todas las membranas ensayadas. A la hora de realizar un dimensionado hay que estudiar el caso más desfavorable por lo que el caso escogido será el 2, con $S=37.000$ mg/l y un mayor consumo energético.

En cuanto a la elección de la membrana que se instalará en la planta de desalación el criterio a seguir será con la que se obtengan unos resultados medios en comparación con las otras dos. En este caso, la membrana que cumple este requisito es la SW30XLE-440i, con una $TDS= 225,11$ mg/l.

2.2.4 Recuperador energético

Para reducir el consumo energético, que según la *Tabla 22* es de $4,24$ kWh/m³, se instalará un recuperador de energía. Los nuevos parámetros característicos quedarán definidos por las siguientes ecuaciones²⁶, para cuya resolución será necesario el empleo de los resultados obtenidos a través del ROSA:

$$q_{v,ERD} = q_{v,Brine} * \frac{(P_{F,ERDin} - LP_{DP}) - P_{B,ERDin} * Eff}{P_{F,ERDin} * Eff - (P_{B,ERDin} - HP_{DP})} \quad (5)$$

$$LP_{DP} = p_{F,ERDin} - p_{B,ERDout} \quad (6)$$

$$HP_{DP} = p_{BD,ERDin} - p_{F,ERDout} \quad (7)$$

Donde:

- $Q_{v,Brine} = 21283,1$ m³/h (Caudal de concentrado).
- $P_{F,ERDin}$ se supone 0,35 bar (Presión del agua de alimentación a la entrada del recuperador).
- LP_{DP} se supone 0,6 bar (Diferencia de presión del flujo de baja presión).
- HP_{DP} se supone 0,7 bar (Diferencia de presión del flujo de alta presión).
- Eff se supone 0,95 (Eficiencia del PEX).
- $P_{B,ERDin} = 49,7$ bar (Presión del concentrado a la entrada, la cual coincide con la presión a la salida del SWRO).

Por lo tanto, el caudal total presurizado por el ERD, $q_{v,ERD}$, es de $20.757,35$ m³/h.

El nuevo consumo específico de la planta desaladora dependerá de la nueva potencia de la bomba de alta presión, la cual se verá reducida al ser menor el caudal que la atraviesa; así como de la potencia del Booster (BP), el cual contrarresta las pérdidas del bastidor y del recuperador energético. Para su cálculo se ha razonado de la siguiente forma:

1. En primer lugar, se calcula cual es la “potencia” proporcionada por el recuperador de energía, al agua de mar que lo atraviesa, la cual será proporcional al incremento de presión que sufre.

$$P_{W,ERD-PX} = q_{v,ERD} * \frac{p_{F,ERDin} - p_{F,ERDout}}{\eta_{BP}}$$

$$= q_{v,ERD} \left[\frac{m^3}{h} \right] * \frac{1}{3600} * \left[\frac{h}{s} \right] * \frac{(HP_{DP} + p_{F,ERDin} - p_{B,ERDin})[bar] * 100 \left[\frac{kPa}{bar} \right]}{\eta_{BP}} \quad (8)$$

Sabiendo que η_{BP} es la eficiencia del Booster y se supone 0,8.

²⁶ García Rodríguez, Lourdes. (2018). Basic Concept on Seawater Reverse Osmosis Desalination. Universidad de Sevilla.

2. Finalmente, la nueva potencia consumida por la bomba de alta presión será la que se tenía inicialmente menos la que ha proporcionado el recuperador energético. De este modo se obtiene la *Ecuación 9*.

$$P_{W.net} = P_{W,initial} - |P_{W,ERD-PX}| \quad (9)$$

Donde:

- $P_{W,initial} = 65314,7 \text{ kW}$.
- $P_{W,ERD-PX} = 35056,9 \text{ kW}$.

Por lo tanto, la potencia que consumirá la planta de desalación al emplear un recuperador energético, $P_{W.net}$, será de 30257,8 kW.

En cuanto al consumo específico, este viene definido por la siguiente relación:

$$SEC_{net} = \frac{P_{W.net}}{q_{v,P}} = \frac{30257,8 \text{ [kW]}}{15409,7 \text{ [m}^3\text{/h]}} = 1,96 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right] \quad (10)$$

Para concluir el dimensionado de la planta desaladora, hay que calcular el consumo total, es decir, teniendo en cuenta un consumo auxiliar estimado en 1 MW relacionado con la captación de agua de mar y la distribución del producto.

$$P_{total} = P_{W.net} + P_{W,aux} = 31,257 \text{ MW} \quad (11)$$

3 CENTRAL MAREOMOTRIZ

3.1 Estudio del recurso

El recurso marino, aunque predecible, es variable en el tiempo. La amplitud de marea depende de muchos factores (luna, sol, geografía, etc) por lo que su variación no se corresponderá con ciclos perfectamente periódicos, sino que se verán afectados durante el tiempo. Por ello, para que el estudio del recurso sea más completo se ha escogido un periodo de un año en la ciudad de Boome, en concreto los datos de mareas del 2018 proporcionados por Australian Government. Bureau of Meteorology (2018).

3.1.1 Distribución mensual del recurso

Observando el mes de enero (Figura 15 y 16) se aprecia como la curva se va desplazando hacia la derecha conforme pasan los días. También hay que destacar que la altura de la pleamar que se da en las horas centrales del día aumenta a lo largo de la semana para luego volver a bajar, y así sucesivamente. También existen días en los que las curvas difieren de la mayoría (Días 11, 12, 13, 27, 28 y 29 de enero) donde la amplitud de marea es mucho menor. Comparando ambas quincenas se observa que los ciclos son similares, es decir, en las dos, las curvas se desplazan y modifican siguiendo un patrón parecido. Este mismo proceso sucede el resto de meses como se puede observar en el Anexo A.

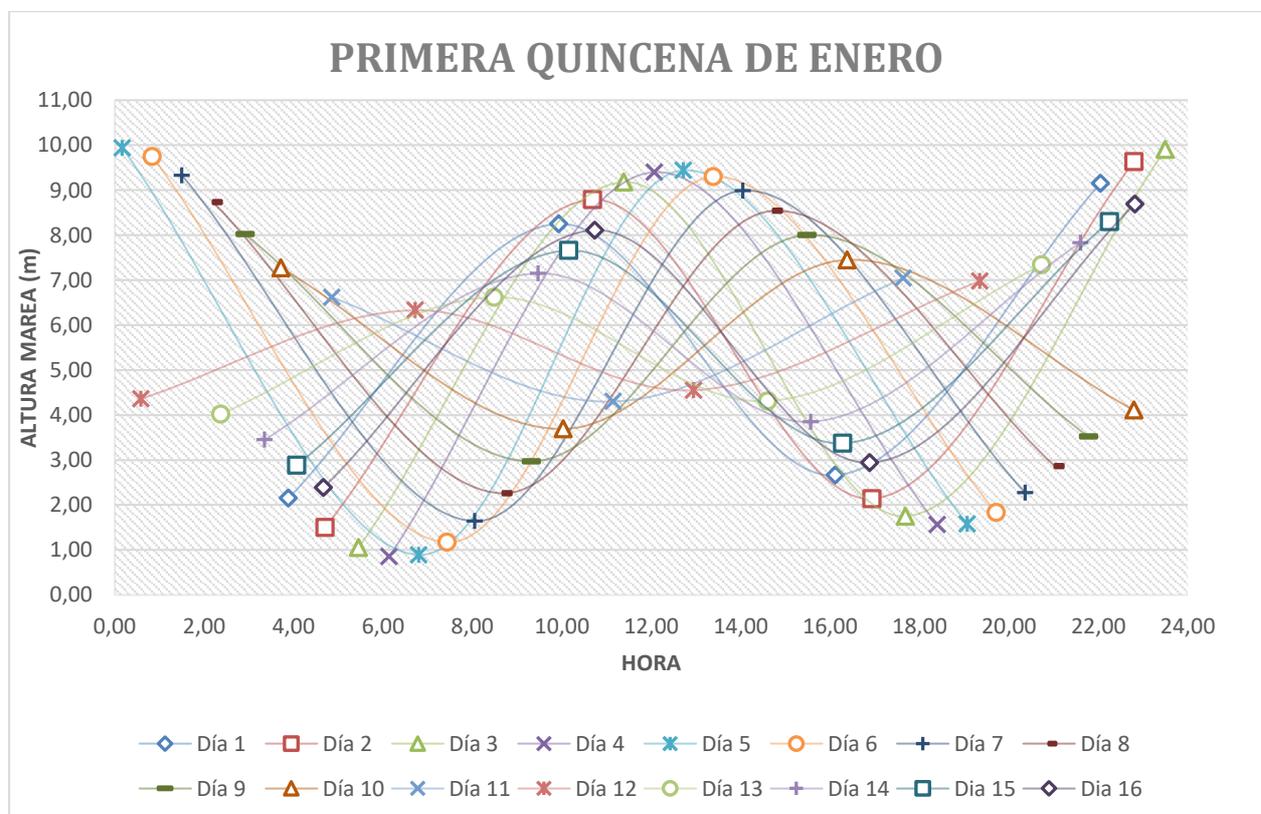


Figura 15. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de enero.

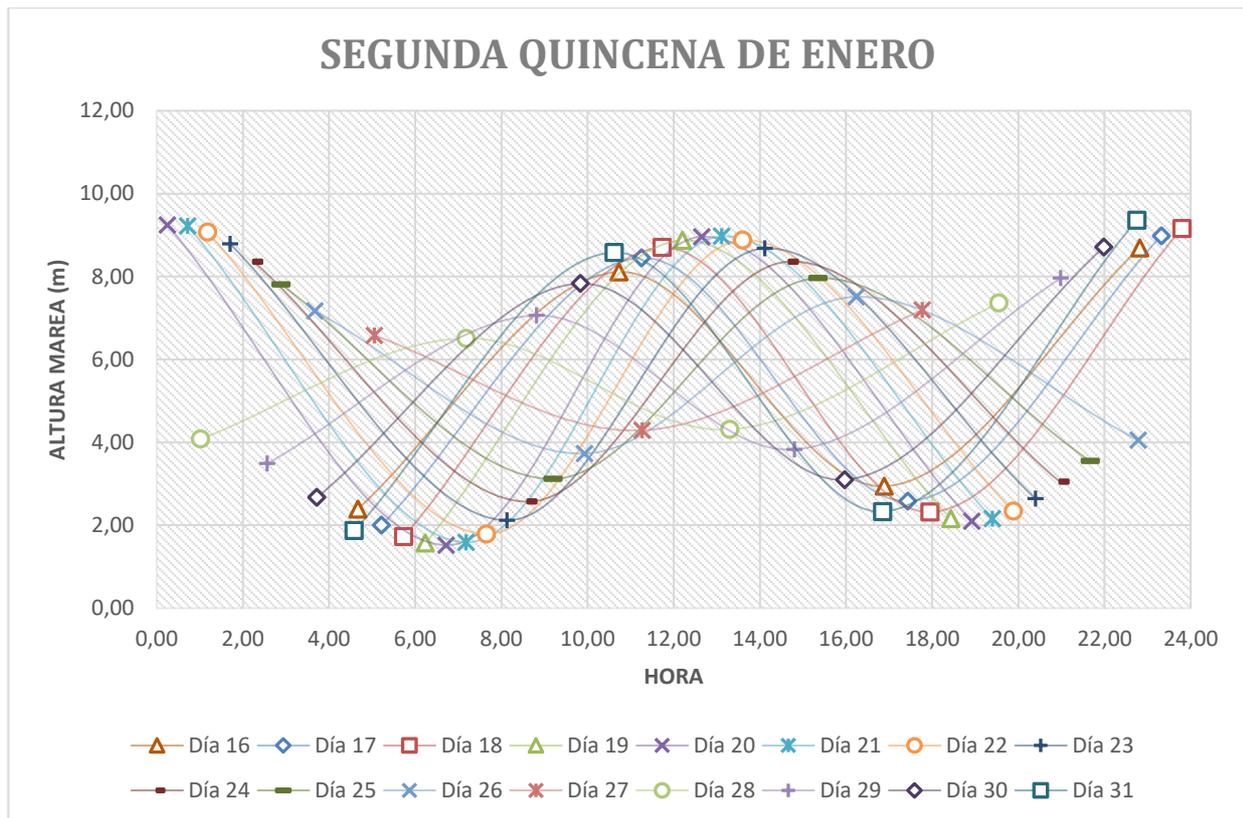


Figura 16. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de enero.

Con el objeto de realizar un análisis más profundo hay que destacar que, durante el 2018, en Broome las alturas de marea varían desde los 0,47 m (septiembre) hasta los 10,15 m (octubre), donde las amplitudes más bajas no llegan al metro, mientras que las más altas superan los 7 m. De estos datos se concluye que no todos los días serán aptos para la producción de energía puesto que para poner en marcha la turbina es necesaria una amplitud mínima, que en el caso de la turbina escogida será de 2 m.

3.1.2 Días modelo de producción

Un día modelo es una media aritmética tanto de las alturas de las mareas como de la hora a la que se producen durante un periodo de tiempo concreto. Este día da una idea de cómo se comportará la marea de forma media para una etapa determinada.

Un día modelo de producción será entonces aquel que para su modelado solo se hayan tenido en cuenta los datos de los días en los que se producirá energía, puesto que el objetivo de estos cálculos es hallar la generación energética. A modo de ejemplo, si se realiza un día modelo de producción del mes de enero el resultado obtenido se podrá interpretar como que todos los días de este mes, en los que se va a producir energía, la marea se va a comportar de ese modo.

3.1.2.1 Procedimiento

1º Paso. Elección del rango de datos.

El objetivo de este modelado es establecer un día tipo de producción. Es por ello, que para la realización del promedio no se han escogido todos los datos, sino que se han descartado aquellos días del año en los que, debido a la baja amplitud de marea, no se va a producir energía. Es decir, solo se han tenido en cuenta los días en los que todas las mareas tienen una amplitud mayor de dos metros, ya que para rangos menores la turbina no opera.

Con el fin de realizar un estudio más profundo se ha realizado un día modelo tanto como para cada mes como para cada quincena, empleando los datos del año 2018. La primera quincena usará los datos de los primeros quince días y la segunda utilizará los siguientes restantes excepto febrero que se dividirán en dos grupos de catorce días. Cada rango de datos vendrá dado por el día del mes al que se refiere junto con la altura de cada

pleamar y bajamar, y la hora a la que se producen.

En la *Tabla 25* se muestra a modo de ejemplo el rango de datos de la primera quincena de enero donde se ha descartado el día 12 de enero por no alcanzar la amplitud de marea el mínimo de dos metros. Para llegar a esta conclusión se ha analizado la columna “Amplitud”. Esta se forma mediante la columna “Altura”, restándole a la primera pleamar la siguiente cifra de altura. Los datos de amplitud relevantes son los situados a la derecha de las celdas de cada bajamar, ya que estas amplitudes son las que influirán en la producción de energía.

La columna “Hora decimal” aparece para facilitar los cálculos y la creación de gráficas en la herramienta de Excel. Para ello las horas se han pasado a un formato decimal mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Hora decimal} = \text{Hora} + \frac{\text{Minuto}}{60} \quad (12)$$

Enero									
Día	Hora	Hora decimal	Altura (m)	Amplitud (m)	Día	Hora	Hora decimal	Altura (m)	Amplitud (m)
1	03:53	3,88	2,15	-	8	02:12	2,20	8,73	6,46
	09:56	9,93	8,25	6,1		08:41	8,68	2,26	6,47
	16:07	16,12	2,66	5,59		14:44	14,73	8,54	6,28
	22:03	22,05	9,15	6,49		21:02	21,03	2,86	5,68
2	04:42	4,70	1,50	7,65	9	02:55	2,92	8,02	5,16
	10:41	10,68	8,79	7,29		09:19	9,32	2,97	5,05
	16:56	16,93	2,14	6,65		15:29	15,48	8,00	5,03
	22:48	22,80	9,63	7,49		21:47	21,78	3,52	4,48
3	05:27	5,45	1,05	8,58	10	03:43	3,72	7,27	3,75
	11:23	11,38	9,18	8,13		10:02	10,03	3,69	3,58
	17:41	17,68	1,75	7,43		16:23	16,38	7,45	3,76
	23:30	23,50	9,90	8,15		22:48	22,80	4,11	3,34
4	06:08	6,13	0,85	9,05	11	04:51	4,85	6,62	2,51
	12:04	12,07	9,40	8,55		11:09	11,15	4,30	2,32
	18:24	18,40	1,56	7,84		17:38	17,63	7,04	2,74
5	00:10	0,17	9,94	8,38	12	00:35	0,58	4,36	2,68
	06:48	6,80	0,89	9,05		06:43	6,72	6,33	1,97
	12:43	12,72	9,44	8,55		12:57	12,95	4,55	1,78
	19:04	19,07	1,58	7,86		19:21	19,35	6,98	2,43
6	00:50	0,83	9,75	8,17	13	02:22	2,37	4,02	2,96
	07:26	7,43	1,17	8,58		08:29	8,48	6,62	2,6
	13:23	13,38	9,30	8,13		14:36	14,60	4,31	2,31
	19:43	19,72	1,83	7,47		20:44	20,73	7,34	3,03
7	01:30	1,50	9,33	7,5	14	03:21	3,35	3,45	3,89
	08:03	8,05	1,64	7,69		09:28	9,47	7,15	3,7
	14:03	14,05	8,99	7,35		15:34	15,57	3,85	3,3
	20:22	20,37	2,27	6,72		21:36	21,60	7,83	3,98
					15	04:04	4,07	2,88	4,95
						10:09	10,15	7,66	4,78
						16:17	16,28	3,37	4,29
						22:15	22,25	8,30	4,93

Tabla 25. Datos de mareas de enero de 2018.

2º Paso. Acotación.

Se han establecido cuatro tipos de mareas según su altura y el momento del día en el que se producen. El criterio seguido en cuanto a la altura establece que aquellas superiores a los 5 m son consideradas pleamar y las menores bajamar. En cuanto al periodo de tiempo en el que se producen, se acota mediante un rango de 12 horas. Por tanto, quedan definidos los cuatro grupos como:

- **Pleamar noche:** Pleamar que se produce entre la medianoche y las seis de la mañana, y entre las seis de la tarde y las doce de la noche.
- **Pleamar día:** Pleamar producida entre las seis de la mañana y las seis de la tarde, es decir, en las horas centrales del día.
- **Bajamar noche:** Bajamar que se produce entre la medianoche y las doce de la mañana.
- **Bajamar día:** Bajamar que se produce entre las doce de la mañana y doce de la noche.

Este criterio se ha establecido tras un análisis visual de los periodos de mareas durante el 2018 y teniendo en cuenta que la marea es semidiurna. Para una mejor comprensión se adjunta la *Figura 17*.

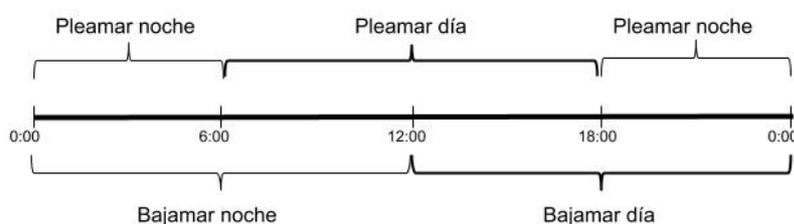


Figura 17. Línea temporal de la clasificación de mareas.

3º Paso. Promedio.

El objetivo de este paso es realizar el promedio para cada tipo de marea definido en el paso anterior. Para ello, se comienza por la media aritmética de las alturas del mar. Como se puede observar en la *Tabla 26*, para el rango de datos escogido se suman las alturas y el número de mareas que cumplen cada condición. Dividiendo la primera entre la segunda se obtendrá el promedio.

Altura			
	Pleamar noche (m)	Nº de pleamar noche	
	105,19	12,00	
Media (m)		8,77	
	Pleamar día (m)	Nº de pleamar día	
	108,77	13,00	
Media (m)		8,37	
	Bajamar noche (m)	Nº de bajamar noche	
	28,52	13,00	
		2,19	
	Bajamar día (m)	Nº de bajamar día	
	35,81	13,00	
		2,75	

Tabla 26. Promedio altura de la primera quincena de enero.

Para la media de la hora a la que se produce cada tipo de pleamar y bajamar se lleva a cabo el procedimiento anterior excepto para la hora media de la pleamar noche (Ver *Tabla 27*). Debido a las limitaciones de Excel en cuanto a las sumas condicionales y la distribución horaria ha sido necesario establecer otro método para la obtención del promedio. Tras filtrar los datos que cumplen el criterio de pleamar noche se han renombrado las horas considerando como hora 0 las 18,00, hora 1 las 19,00 y así sucesivamente hasta llegar a la hora 12 a la que equivalen las 6,00 de la mañana. A partir de estos datos se ha realizado directamente el promedio y, por último, la hora resultado se ha reconvertido al formato original (Ver *Tabla 28*).

Hora					
Pleamar noche (h)		Nº de pleamar noche	Bajamar noche (h)		Nº de bajamar noche
		12,00	80,27		13,00
Media (h)					6,17
Pleamar día (h)		Nº de pleamar día	Bajamar día (h)		Nº de bajamar día
158,92		13,00	240,35		13,00
Media (h)					18,49

Tabla 27. Promedio hora de la primera quincena de enero.

Día	Hora decimal	Nueva hora	Promedio hora	Promedio hora real
1	22,05	4,05	6,02	0,02
2	22,80	4,80		
3	23,50	5,50		
5	0,17	6,17		
6	0,83	6,83		
7	1,50	7,50		
8	2,20	8,20		
9	2,92	8,92		
10	3,72	9,72		
13	20,73	2,73		
14	21,60	3,60		
15	22,25	4,25		

Tabla 28. Promedio hora pleamar noche de la primera quincena de enero.

4º Paso. Representación del día modelo de producción.

Para un mejor análisis de los resultados es necesario realizar un último paso. Se agruparán los datos y representará gráficamente la curva de marea, en la que se muestra la variación de la su altura a lo largo del día (Ver Tabla 29 y Figura 18).

Hora media (h)	Altura media (m)
0,02	8,77
6,17	2,19
12,22	8,37
18,49	2,75

Tabla 29. Día modelo de producción de la primera quincena de enero.

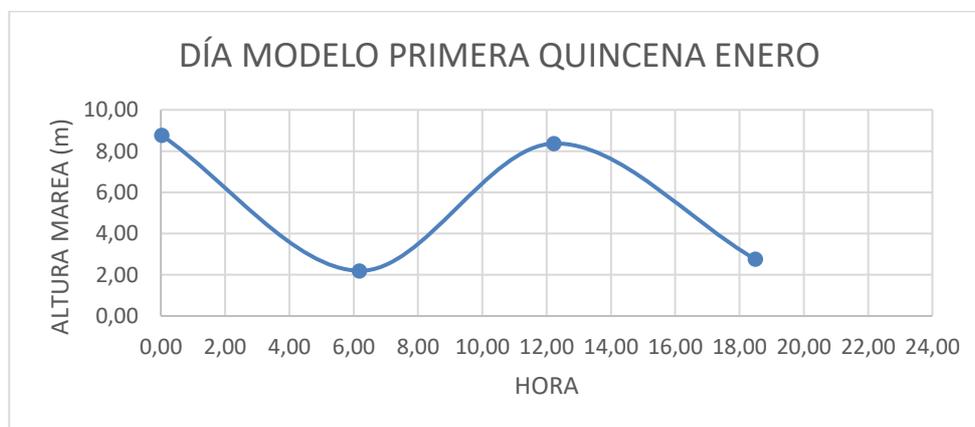


Figura 18. Día modelo de producción de la primera quincena de enero.

3.1.2.2 Resultados

Enero.

Días eliminados: 11 de enero.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
0,36	8,51	0,39	8,60	0,33	8,43
6,46	2,45	6,53	2,34	6,40	2,53
12,55	8,21	12,61	8,27	12,49	8,16
18,43	2,83	18,49	2,75	18,38	2,90

Tabla 30. Día medio de producción del mes y de cada quincena de enero.

Febrero.

Días eliminados: 10, 11 y 26 de febrero.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
0,65	8,64	0,60	8,67	0,70	8,61
6,72	2,30	6,70	2,24	6,75	2,35
12,78	8,53	12,76	8,52	12,80	8,53
18,91	2,57	19,04	2,64	18,77	2,49

Tabla 31. Día medio de producción del mes y de cada quincena de febrero.

Marzo.

Días eliminados: 11, 12, 13 y 27 de marzo.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
0,26	8,85	0,37	8,93	0,17	8,80
6,29	2,19	6,43	2,06	6,17	2,29
12,28	8,83	12,43	8,87	12,17	8,79
18,67	2,29	18,75	2,24	18,61	2,33

Tabla 32. Día medio de producción del mes y de cada quincena de marzo.

Abril.

Días eliminados: 10, 11 y 25 de abril.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
0,11	8,64	0,20	8,57	0,03	8,70
6,07	2,45	6,18	2,50	5,97	2,40
12,06	8,79	12,18	8,66	11,95	8,90
18,50	2,31	18,55	2,44	18,46	2,19

Tabla 33. Día medio de producción del mes y de cada quincena de abril.

Mayo.

Días eliminados: 9, 10 y 11 de mayo.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
23,89	8,33	0,04	8,45	23,79	8,26
6,02	2,66	5,96	2,64	6,06	2,67
11,75	8,72	11,91	8,65	11,62	8,78
18,25	2,26	18,35	2,35	18,17	2,19

Tabla 34. Día medio de producción del mes y de cada quincena de mayo.

Junio.

Días eliminados: Ninguno.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
23,91	7,96	23,91	7,92	23,92	8,00
6,15	2,89	6,09	3,02	6,21	2,77
11,73	8,22	11,70	8,13	11,76	8,30
18,27	2,60	18,23	2,71	18,30	2,48

Tabla 35. Día medio de producción del mes y de cada quincena de junio.

Julio.

Días eliminados: Ninguno.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
0,33	8,02	0,26	7,93	0,39	8,10
6,38	2,80	6,48	2,85	6,29	2,75
12,16	8,13	12,05	8,13	12,27	8,13
18,48	2,42	18,58	2,50	18,38	2,33

Tabla 36. Día medio de producción del mes y de cada quincena de julio.

Agosto.

Días eliminados: 20, 21 y 22 de agosto.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
0,30	8,36	0,24	8,16	0,36	8,61
6,30	2,34	6,20	2,42	6,41	2,25
12,23	8,41	12,16	8,40	12,30	8,43
18,42	2,15	18,23	2,22	18,65	2,07

Tabla 37. Día medio de producción del mes y de cada quincena de agosto.

Septiembre.

Días eliminados: 5, 19, 20 y 21 de septiembre.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
0,16	8,78	0,07	8,78	0,27	8,78
6,42	2,03	6,43	1,93	6,40	2,14
12,10	8,45	11,92	8,48	12,31	8,42
18,46	2,13	18,38	2,05	18,54	2,22

Tabla 38. Día medio de producción del mes y de cada quincena de septiembre.

Octubre.

Días eliminados: 4, 18, 19 y 20 de octubre.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
23,82	8,90	23,74	8,91	23,91	8,90
6,13	2,02	6,15	1,91	6,12	2,13
11,87	8,39	11,67	8,41	12,08	8,36
18,15	2,39	18,05	2,30	18,25	2,48

Tabla 39. Día medio de producción del mes y de cada quincena de octubre.

Noviembre.

Días eliminados: 2, 16, 17 y 18 de noviembre.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
23,64	8,72	23,85	8,56	23,37	8,93
5,73	2,17	5,85	2,17	5,60	2,18
11,74	8,33	11,86	8,32	11,60	8,34
17,76	2,69	17,72	2,74	17,81	2,64

Tabla 40. Día medio de producción del mes y de cada quincena de noviembre.

Diciembre.

Días eliminados: 17 y 18 de diciembre.

MES		PRIMERA QUINCENA		SEGUNDA QUINCENA	
Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)	Hora media (h)	Altura media (m)
0,01	8,45	23,73	8,34	0,34	8,59
6,40	2,49	6,25	2,56	6,55	2,42
12,28	8,13	11,92	8,08	12,64	8,19
18,51	2,98	18,13	3,01	18,88	2,94

Tabla 41. Día medio de producción del mes y de cada quincena de diciembre.

3.1.2.3 Conclusiones

Analizando los resultados se puede observar que la variación no solo de la hora media, sino que también de la altura media es baja entre cada quincena. Hecho que se repite durante los días modelo de producción de casi la totalidad de los meses. Realizando un estudio más detallado del mes de diciembre se percibe que la alteración es mayor que en los otros meses, principalmente en cuando a la hora se refiere. Por lo tanto, para el resto de los cálculos, entre enero y noviembre bastará con emplear el día modelo de producción de todo el mes, mientras que para diciembre será necesario utilizar los resultados de las dos quincenas.

3.2 Dimensionado de la central

La energía marina es un bien con diversas aplicaciones. Se puede utilizar para inyectar energía en la red eléctrica o abastecer directamente a los consumidores de energía. En este caso, la energía producida en la central marina suministrará una planta desaladora.

Para definir la central es necesario conocer las características del recurso marino, de las turbinas, así como de la planta desaladora.

3.2.1 Consumo planta desalación

Para estimar el consumo global de la planta es primordial conocer su capacidad. Como ya se ha mencionado en el Capítulo 2, para una población de 45.000 habitantes y con una producción mínima de 3.000 m³/pers.*año la capacidad de la planta es de 15.410,96 m³/h.

Una vez definida la capacidad es necesario establecer un consumo. Se tomará un valor estándar donde P=3,5 kWh/m³.

A partir de estos datos solo se necesita aplicar una ecuación para el cálculo del consumo global de la planta de desalación:

$$\text{Consumo global} = \text{Consumo} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) * \text{Capacidad} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 53,94 \text{ MW} \quad (13)$$

Por tanto, la potencia a instalar en la central mareomotriz deberá cubrir los 53,94 MW que necesitará la desalación.

3.2.2 Turbina

La producción de energía aprovechando las mareas tiene como característica su discontinuidad, es decir, la amplitud de marea no será siempre la misma con lo que el caudal turbinado, y con ello la potencia, se pueden ver afectados. Este hecho es un factor muy importante a la hora de la elección de la turbina ya que la mayoría del tiempo no se operará en condiciones de diseño.

La turbina elegida para instalar en la central es una de tipo Bulbo. Esta clase de turbinas axiales poseen álabes articulados permitiéndoles girar y cambiar la geometría del rodete y los triángulos de velocidades. Gracias a este hecho las Bulbo tendrán buenos rendimientos a cargas parciales. Además, para optimizar el rendimiento cuando los saltos son pequeños se eliminan los elementos que producen altas pérdidas de carga como la cámara espiral o los cambios de dirección del fluido en el interior de la máquina. En consecuencia, estas turbinas son muy buena opción para operar en una central mareomotriz donde el recurso es variable tanto en tiempo como en magnitud.

En concreto, la turbina será de la compañía Hydrotu, la cual trabaja con grandes rangos de operación y son ideales para altos caudales y saltos bajos. Las especificaciones técnicas con las que trabaja esta empresa son:

- Salto: de 2 m a 20 m.
- Capacidad: de 100 kW a 10 MW.
- Diámetro del rodete: de 0,4 a 5 m.
- Frecuencia: 50 Hz o 60 Hz.

Analizando los parámetros de operación con los que trabajan otras centrales hidráulicas y mareomotrices se observa que la central belga posee características similares a la que se está definiendo en Broome. Más concretamente el salto medio del que dispondrán las turbinas, que según los días medios de producción modelados es alrededor de los 6 m, mientras que en Bélgica es de 5,5 m (Ver *Tabla 42*).

Año	1980	1980	1980	1982	1983
País	Bélgica	Bélgica	Suiza	Austria	Canadá
Localidad	Andenne	Lixhe	Höngg	Weizöde	Annápolis
Unidades	3	4	1	2	1
Diámetro Rodete (m)	3,55	3,55	3	3,7	7,6
Salto (m)	5,5	5,5	3,5	11	7,1
Potencia (MW)	3,5	3,5	1,5	8	20

Tabla 42. Algunas realizaciones hidráulicas y mareomotrices.²⁷

En cuanto al caudal de diseño, se ha recurrido a la *Figura 19* en la cual aparecen representadas el caudal y salto de diseño para cada potencia, rangos que definirán el tipo de turbina más adecuado para cada situación. De esta forma se confirma el acierto al emplear la turbina bulbo, así como el caudal de diseño que tendrá.

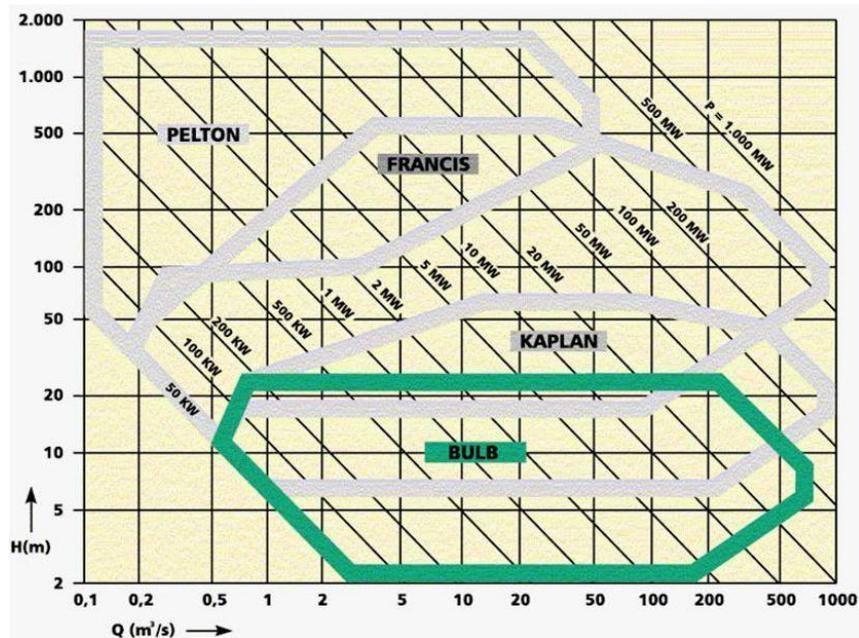


Figura 19. Gráfico Salto vs Caudal en función de la potencia para distintos tipos de turbinas.²⁸

A partir de todas las consideraciones mencionadas, la *Tabla 42* y *Figura 19*, la turbina a instalar se definirá mediante los siguientes parámetros:

- Diámetro del rodete: 4 m
- Salto nominal: 4 m
- Salto mínimo: 2 m
- Caudal: 100 m³/s
- Potencia: 3,5 MW

En cuanto al rendimiento de la turbina, en las de tipo axial la curva rendimiento-caudal es bastante plana. Para la realización de los cálculos de la central se ha establecido un rendimiento medio de un 90 % siempre y cuando la relación $Q/Q_{\text{diseño}}$ sea mayor de un 40 %. (Ver *Figura 20*)

²⁷ Fernández Díez, Pedro. *Turbinas Kaplan y Bulbo*. Extraído el 04/2018, de <http://es.pfernandezdiez.es/>

²⁸ De Andrade, Jesus & Asuaje, Miguel. *Turbinas Hidráulicas*. Extraído el 04/2018 en ecousb.com.ve/

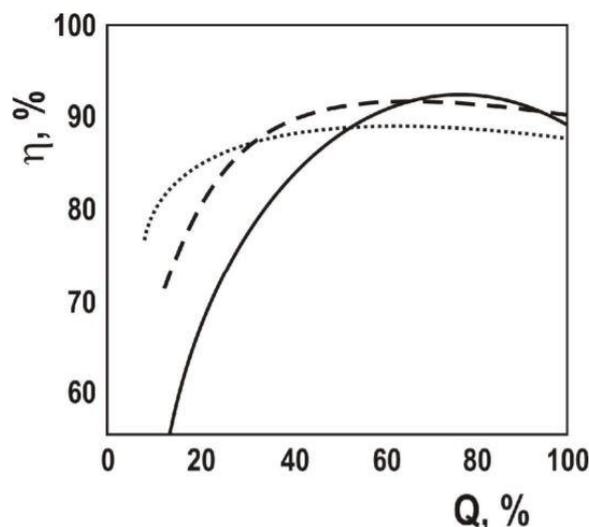


Figura 20. Curvas de rendimiento en función del caudal relativo, en turbinas de reacción: Francis (continua), Axiales (discontinua), Pelton (punteada).²⁹

El número de turbinas viene dado por la potencia instalada y sus características. En este caso, se requiere una potencia de 53,94 MW y teniendo en cuenta que la potencia nominal de la Bulbo escogida es de 3,5 MW, la cantidad de turbinas necesaria es de 16.

3.3 Producción de energía

En el presente apartado se va a explicar la forma de calcular la producción eléctrica de la central mareomotriz. Los cálculos se realizan para la totalidad de un año compuesto por los días modelo de producción ya calculados. Este año quedará definido por 13 días tipo que son los correspondientes a los meses desde enero a noviembre junto con las dos quincenas de diciembre. Cada uno de estos días se divide en intervalos de una hora, calculándose para cada uno de ellos la producción de energía.

La magnitud fundamental será la amplitud de marea. Esta viene dada por los días modelo de producción y es la encargada de proporcionar la energía potencial para hacer funcionar la turbina.

Por otro lado, el nivel del embalse irá variando según suba o baje la marea y la cantidad de agua que se turbine. Cuando la marea sube, el embalse empieza a llenarse aumentando su nivel hasta que alcanza la misma altura que la pleamar. Una vez que la marea comienza a bajar, aparece un periodo de espera que acaba, en este caso, cuando la diferencia entre el nivel del embalse y del mar es de un mínimo de dos metros. En ese momento se comienza a desalojar agua haciéndola atravesar las turbinas y así producir energía.

A continuación, a partir de estos datos se va a obtener para cada intervalo la diferencia de cota o salto entre ambas láminas de agua. Posteriormente, se calcularán el resto de parámetros que influyen en la producción energética de una central mareomotriz como lo son el caudal y la potencia generada.

3.3.1 Conceptos previos

Siguiendo las indicaciones de la tesis doctoral de Alejandro Ibañez Astaburuaga, “Energías Renovables en el Sistema Marítimo Portuario: “Aprovechamiento Energético de los Molinos de Marea” del 2015, en el que se emplea el Teorema de Bernouilli para la obtención de la velocidad de paso a través de la turbina y el caudal, quedan definidos los siguientes parámetros:

²⁹ González Marcos, M.Pilar. (2009). *Turbinas de Reacción*. Universidad del País Vasco.

3.3.1.1 Velocidad de paso

$$v = c_v \sqrt{2gH} \quad (14)$$

Donde:

- c_v es un coeficiente que refleja la influencia de las pérdidas de carga sobre la velocidad. Su valor estándar es $c_v = 0,95$.
- g es la gravedad en $[m/s^2]$.
- H es la diferencia de cota o salto entre el nivel del embalse y el mar medida en $[m]$.

3.3.1.2 Caudal de paso

$$Q = vA \quad (15)$$

Donde:

- v es la velocidad de paso en $[m/s]$.
- A es el área de paso de la turbina. Por lo que si $D = 4 \text{ m}$, $A = 12,57 \text{ m}^2$.

3.3.2 Variación de la altura del mar

La función que define la variación de la altura del mar es de tipo coseno y ésta será continua en el tiempo. De esta manera, y a partir de los datos de las pleamares y bajamares de cada día modelo se han construido con Excel gráficas que representen el nivel de la marea en cada momento del día.

Con el objetivo de establecer la altura que tendrá el mar en cada intervalo se ha medido directamente en las gráficas, anotando la altura obtenida en el punto medio de cada uno de ellos. Sin embargo, solo se disponen de cuatro puntos exactos de cada día por lo que tal y como muestra la *Figura 21* la función quedará incompleta.

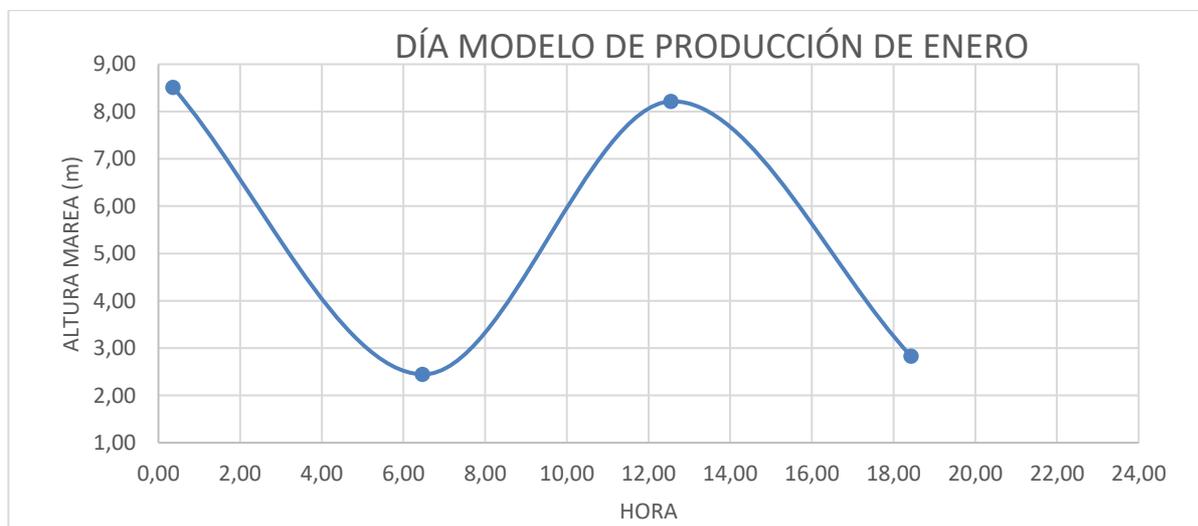


Figura 21. Día modelo de producción enero.

Para reflejar como varía el mar de forma continua durante un día entero, y así completar la gráfica y realizar las mediciones oportunas se ha añadido a cada representación un nuevo punto. El dato incorporado será aquel de forma que, si se representasen todos los días tipo seguidos, en una única gráfica, el año quedase totalmente definido por una función continua. Por lo tanto, este nuevo punto será el primero del día siguiente. Sin embargo, existen meses donde no se puede aplicar este procedimiento debido al tipo de datos disponibles, por ejemplo, podrían aparecer dos bajamares seguidas. Para solucionar este inconveniente, la pleamar incorporada entre los meses de abril y mayo, y mayo y junio será la pleamar noche de mayo, y entre los meses de septiembre y octubre, y octubre y noviembre será la pleamar noche de octubre. Por consiguiente, la nueva representación del día modelo de producción de enero se puede observar en la *Figura 22*. Las representaciones del resto de días modelo

se muestran en el Anexo B.

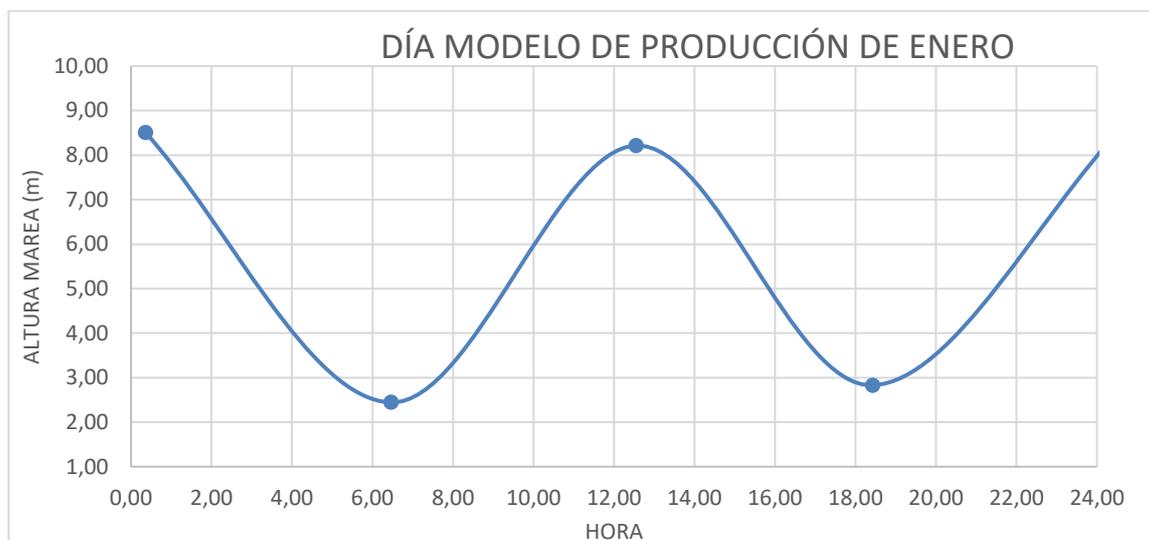


Figura 22. Día modelo de producción de enero completo.

Siguiendo con el ejemplo del mes de enero y para una mejor comprensión del método se adjunta la *Tabla 43* donde se muestra la altura del mar en cada intervalo habiéndose obtenido los datos como se ha citado anteriormente, midiendo en la *Figura 22* para este caso concreto.

Intervalos hora (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hora real (h)	0,36						6,46					
Altura mar (m)	8,51	7,25	5,9	4,6	3,5	2,75	2,45	2,9	3,9	5,25	6,6	7,75
Intervalos hora (h)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Hora real (h)	12,6						18,4					
Altura mar (m)	8,21	7,9	6,9	5,5	4,1	3,1	2,83	3,25	4	5	6,25	7,4

Tabla 43. Altura del mar en enero en cada intervalo de una hora.

3.3.3 Variación del nivel de agua del embalse

La metodología seguida para el cálculo del nivel del embalse es un proceso iterativo donde se completarán las siguientes columnas:

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m ³ /s)	Volumen Desalojado-1 (hm ³)	Volumen embalse-2 (hm ³)
----------------	----------------	---------------------	-------------	-------------	-------------------	------------------------------	---	--------------------------------------

Tabla 44. Cálculo de la variación del nivel del embalse.

- **Intervalo hora:** franjas de una hora para las cuales se van a realizar los cálculos.
- **Altura mar:** altura que tendrá la marea en cada intervalo.
- **Nivel del embalse:** nivel que tendrá el agua del embalse en cada intervalo.
- **Salto:** diferencia entre el nivel del embalse y la altura del mar.
- **Condición:** cumplimiento del nivel de salto mínimo para que se comience a producir energía. Esta altura, como ya se ha especificado anteriormente, será de 2 m. En las celdas de esta columna se colocará un 1 cuando el salto cumpla la condición y un 0 cuando no.
- **Velocidad:** velocidad de paso del agua al atravesar la turbina.
- **Caudal:** caudal turbinado.

- **Volumen desalojado:** cantidad de agua que se vierte al mar. Este se calcula a partir del caudal y el intervalo en el que se produce:

$$Volumen\ desalojado = Q \left[\frac{m^3}{h} \right] * tiempo [h] \quad (16)$$

- **Volumen del embalse:** cantidad de agua almacenada en el embalse durante cada intervalo. Para su obtención se restan el volumen del embalse y el volumen de agua desalojado en el intervalo anterior.
- Los números que acompañan a cada celda se refieren a la iteración a la que corresponden los cálculos.

3.3.3.1 Superficie del embalse

La superficie del embalse depende de la cantidad de agua que se quiera almacenar. Por lo tanto, esta se estimará para la mayor cantidad de agua que pueda albergar.

Se supone un volumen del embalse lo suficientemente grande como para que el nivel del agua permanezca constante incluso cuando se esté descargando agua. Este nivel será igual a la altura de cada pleamar.

A continuación, se rellena la *Tabla 44* mediante las ecuaciones desarrolladas en el punto “conceptos previos” teniendo en cuenta que el caudal se ve multiplicado por el número de turbinas, 16 en este caso.

Para la estimación del área del embalse, el conjunto de datos se dividirá en dos grupos, uno que abarque la primera descarga y otro la segunda. El caudal acumulado o volumen que debe albergar el embalse para esa descarga será la suma del volumen desalojado en cada intervalo. En cuanto a la altura, esta será el nivel del embalse durante cada una de las descargas. A partir de estos datos y sabiendo que $Volumen = Área * Altura$ (17) se obtiene la superficie que debería de tener el embalse para ser capaz de almacenar el agua de cada descarga.

Este proceso se repite durante todos los días modelo de producción para, finalmente, comparar los resultados y definir la superficie. Puesto que el mar es considerado un depósito infinito de forma que el embalse siempre se llenará hasta alcanzar la misma altura de la pleamar, el área elegida será la mayor de todas las calculadas. En este caso, el embalse tendrá una superficie de 681,63 hm² correspondiéndose a la primera descarga de octubre. Esta metodología viene reflejada en la *Tabla 45*.

Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	60,66	Caudal acumulado (hm3)	50,76
Caudal acumulado (m3)	60664766,51	Caudal acumulado (m3)	50758366,40
Nivel embalse inicial (m)	8,9	Nivel embalse inicial (m)	8,39
Área embalse (hm2)	681,63	Área embalse (hm2)	604,99
Área embalse (m2)	6816265,90	Área embalse (m2)	6049864,89
Área embalse final (m2)	6816265,90		
Área embalse final (hm2)	681,63		

Tabla 45. Estimación del área del embalse. Cálculos octubre.

3.3.3.2 Iteraciones

Para facilitar la comprensión, las iteraciones se van a realizar empleando los caudales de una única turbina. La superficie del embalse también se supondrá para una turbina y será de 42,6 hm².

1ª Iteración.

Se supone que el nivel del embalse, y por lo tanto también su volumen no varía durante cada descarga. Es decir, se realiza la misma hipótesis que durante la estimación de la superficie del embalse.

Posteriormente, se completan en la *Tabla 44* las celdas correspondientes a la primera iteración. A modo de ejemplo se adjunta la *Tabla 46* donde se reflejan los resultados del día modelo de enero.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m ³ /s)	Volumen Desalojado-1 (hm ³)
1	8,51	8,51	0	0	0	0,00	0,00
2	7,25	8,51	1,26	0	0	0,00	0,00
3	5,9	8,51	2,61	1	6,79	85,39	0,31
4	4,6	8,51	3,91	1	8,32	104,51	0,38
5	3,5	8,51	5,01	1	9,41	118,30	0,43
6	2,75	8,51	5,76	1	10,09	126,84	0,46
7	2,45	8,51	6,06	1	10,35	130,11	0,47
8	2,9	8,51	5,61	1	9,96	125,18	0,45
9	3,9	8,51	4,61	1	9,03	113,48	0,41
10	5,25	8,51	3,26	1	7,59	95,43	0,34
11	6,6	8,51	1,91	0	0	0,00	0,00
12	7,75	8,51	0,76	0	0	0,00	0,00
13	8,21	8,21	0	0	0	0,00	0,00
14	7,9	8,21	0,31	0	0	0,00	0,00
15	6,9	8,21	1,31	0	0	0,00	0,00
16	5,5	8,21	2,71	1	6,92	87,01	0,31
17	4,1	8,21	4,11	1	8,53	107,15	0,39
18	3,1	8,21	5,11	1	9,51	119,47	0,43
19	2,83	8,21	5,38	1	9,76	122,59	0,44
20	3,25	8,21	4,96	1	9,37	117,71	0,42
21	4	8,21	4,21	1	8,63	108,44	0,39
22	5	8,21	3,21	1	7,54	94,69	0,34
23	6,25	8,21	1,96	0	0	0,00	0,00
24	7,4	8,21	0,81	0	0	0,00	0,00

Tabla 46. Primera iteración. Día modelo de producción de enero.

2ª Iteración.

No obstante, suponer un volumen de agua constante es una situación que se aleja bastante de lo real. Al desalojar agua la cantidad almacenada disminuye y con ello lo hace el nivel del embalse, por lo que se necesita de otra iteración en la que se recalcula el volumen acumulado en función del caudal de agua desalojado en la primera iteración.

Para definir la nueva variación de la cantidad de agua almacenada, se parte de un volumen inicial igual al correspondiente si se acumulase el agua hasta alcanzar la altura de la pleamar y, seguidamente, se modifica, conforme se va turbinando el agua.

A continuación, se opera para obtener la nueva variación del nivel del embalse. A partir del volumen desalojado y siendo la superficie del embalse conocida, basta con aplicar la *Ecuación 17* del volumen para calcular la disminución del nivel. Puesto que el objetivo de estas iteraciones es obtener la producción de energía, lo cual se produce durante el vertido de agua al mar, solo se operará para conocer el descenso de la cota del embalse. Una vez que se vuelve a alcanzar la pleamar, el nivel se supondrá igual a esa altura y se repetirá el proceso ya detallado.

Por otra parte, si la diferencia de cota entre el embalse y el mar se ve modificada también lo hará el caudal turbinado. Como consecuencia, también será necesario recalcularlo para estas nuevas condiciones.

En la *Tabla 47* se observa cómo sería la segunda iteración en el día modelo de enero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm3)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m3/s)	Volumen Desalojado-2 (hm3)
1	8,51	3,625	8,51	0,00	0	0,00	0,00	0,00
2	7,25	3,625	8,51	1,26	0	0,00	0,00	0,00
3	5,9	3,625	8,51	2,61	1	6,79	85,39	0,31
4	4,6	3,318	7,79	3,19	1	7,51	94,37	0,34
5	3,5	2,942	6,91	3,41	1	7,76	97,53	0,35
6	2,75	2,516	5,91	3,16	1	7,47	93,89	0,34
7	2,45	2,059	4,83	2,38	1	6,49	81,60	0,29
8	2,9	1,591	3,73	0,83	0	0,00	0,00	0,00
9	3,9	1,140	2,68	-1,22	0	0,00	0,00	0,00
10	5,25	0,732	1,72	-3,53	0	0,00	0,00	0,00
11	6,6	0,388	0,91	-5,69	0	0,00	0,00	0,00
12	7,75	0,388	0,91	-6,84	0	0,00	0,00	0,00
13	8,21	3,498	8,21	0,00	0	0,00	0,00	0,00
14	7,9	3,498	8,21	0,31	0	0,00	0,00	0,00
15	6,9	3,498	8,21	1,31	0	0,00	0,00	0,00
16	5,5	3,498	8,21	2,71	1	6,92	87,01	0,31
17	4,1	3,184	7,47	3,37	1	7,73	97,09	0,35
18	3,1	2,799	6,57	3,47	1	7,83	98,44	0,35
19	2,83	2,369	5,56	2,73	1	6,95	87,32	0,31
20	3,25	1,927	4,52	1,27	0	0,00	0,00	0,00
21	4	1,503	3,53	-0,47	0	0,00	0,00	0,00
22	5	1,113	2,61	-2,39	0	0,00	0,00	0,00
23	6,25	0,772	1,81	-4,44	0	0,00	0,00	0,00
24	7,4	0,772	1,81	-5,59	0	0,00	0,00	0,00

Tabla 47. Segunda iteración. Día modelo de producción de enero.

3^a-6^a iteración.

Al haber obtenido un nuevo caudal en la segunda iteración, el nivel del embalse se volverá a ver afectado ya que se desaloja un volumen de agua distinto al supuesto inicialmente. Por ello, se continuarán realizando iteraciones en las que se recalcula tanto la variación del nivel del embalse como el nuevo caudal turbinado hasta que el procedimiento converja.

Tras continuar con el procedimiento, finalmente, en la sexta iteración se observa que todos los resultados se mantienen constantes, por lo que la variación del nivel del embalse que se escogerá será la correspondiente a dicha iteración.

En la *Tabla 48* se muestra el ejemplo referido a la sexta iteración para el día modelo de producción de enero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	8,51	3,625	8,51	0,00	0	0,00	0,00	0,00
2	7,25	3,625	8,51	1,26	0	0,00	0,00	0,00
3	5,9	3,625	8,51	2,61	1	6,79	85,39	0,31
4	4,6	3,318	7,79	3,19	1	7,51	94,37	0,34
5	3,5	2,978	6,99	3,49	1	7,86	98,75	0,36
6	2,75	2,623	6,16	3,41	1	7,76	97,55	0,35
7	2,45	2,272	5,33	2,88	1	7,14	89,73	0,32
8	2,9	1,949	4,57	1,67	0	0,00	0,00	0,00
9	3,9	1,949	4,57	0,67	0	0,00	0,00	0,00
10	5,25	1,949	4,57	-0,68	0	0,00	0,00	0,00
11	6,6	1,949	4,57	-2,03	0	0,00	0,00	0,00
12	7,75	1,949	4,57	-3,18	0	0,00	0,00	0,00
13	8,21	3,498	8,21	0,00	0	0,00	0,00	0,00
14	7,9	3,498	8,21	0,31	0	0,00	0,00	0,00
15	6,9	3,498	8,21	1,31	0	0,00	0,00	0,00
16	5,5	3,498	8,21	2,71	1	6,92	87,01	0,31
17	4,1	3,184	7,47	3,37	1	7,73	97,09	0,35
18	3,1	2,835	6,65	3,55	1	7,93	99,64	0,36
19	2,83	2,476	5,81	2,98	1	7,26	91,27	0,33
20	3,25	2,148	5,04	1,79	0	0,00	0,00	0,00
21	4	2,148	5,04	1,04	0	0,00	0,00	0,00
22	5	2,148	5,04	0,04	0	0,00	0,00	0,00
23	6,25	2,148	5,04	-1,21	0	0,00	0,00	0,00
24	7,4	2,148	5,04	-2,36	0	0,00	0,00	0,00

Tabla 48. Sexta iteración. Día modelo de producción de enero.

El proceso iterativo completo del día modelo de producción de enero, así como del resto de días generados se pueden observar en el Anexo C.

3.3.4 Producción de energía diaria

La producción energética de una central mareomotriz depende de factores ambientales como lo son los ciclos de mareas o las características del embalse, y de factores mecánicos como las propiedades de la turbina. Los primeros han quedado definidos en los apartados anteriores (altura del mar, nivel del embalse, caudal), pero en cuanto a los segundos, es necesario realizar ciertas consideraciones.

La potencia cedida por el fluido viene dada por la siguiente expresión:

$$P = \rho Q g H \quad (18)$$

Donde:

- ρ es la densidad del agua del mar y toma un valor medio de 1025,5 kg/m³.
- Q es el caudal que atraviesa la turbina en el instante analizado. Puesto que la potencia total depende del número de turbinas, el caudal se multiplica por las 16 turbomáquinas instaladas.
- g es la gravedad y toma un valor de 9,8 m/s².
- H es el salto o diferencia de cota entre el nivel de agua del embalse y del mar en el instante estudiado.

Sin embargo, como en el interior de la turbina hay pérdidas, la potencia producida será menor. Para obtener la potencia cedida por el eje de la turbomáquina habrá que multiplicar por el rendimiento de la misma. Como ya se ha citado en el segundo apartado de este capítulo, la eficiencia de la turbina se supondrá 0,9 y solo se aplicará

cuando la relación $Q/Q_{\text{diseño}}$ sea mayor de un 40 %. La ecuación que define esta potencia quedará de la siguiente manera:

$$P_{eje} = \rho Q g H \eta \quad (19)$$

La energía producida depende del tiempo que esté funcionando la turbina y de la potencia que produzca. Esta viene dada por la siguiente expresión:

$$E = P_{eje} \Delta t \quad (20)$$

Donde:

- P_{eje} es la potencia producida por la turbina en MW.
- Δt es el tiempo durante el que se produce esa potencia. En este caso se han escogido intervalos de una hora.

Como resumen del procedimiento se muestra el encabezado de la tabla en la que se han desarrollado los cálculos junto con los resultados del mes de enero (ver *Tabla 49*).

Intervalos hora	Altura mar (m)	Nivel embalse (m)	Salto (m)	Condición (1)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	$\frac{Q}{Q_{\text{diseño}}}$	Condición (2)	Potencia (MW)	Potencia eje (MW)	Energía (MWh)
1	8,51	8,51	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0	0
2	7,25	8,51	1,26	0	0	0	0,00	0	0	0	0
3	5,9	8,51	2,61	1	6,79	1366,16	0,85	1	35,83	32,25	32,25
4	4,6	7,79	3,19	1	7,51	1509,98	0,94	1	48,39	43,55	43,55
5	3,5	6,99	3,49	1	7,86	1579,99	0,99	1	55,43	49,89	49,89
6	2,75	6,16	3,41	1	7,76	1560,76	0,98	1	53,43	48,09	48,09
7	2,45	5,33	2,88	1	7,14	1435,63	0,90	1	41,58	37,43	37,43
8	2,9	4,57	1,67	0	0	0	0,00	0	0	0	0
9	3,9	4,57	0,67	0	0	0	0,00	0	0	0	0
10	5,25	4,57	-0,68	0	0	0	0,00	0	0	0	0
11	6,6	4,57	-2,03	0	0	0	0,00	0	0	0	0
12	7,75	4,57	-3,18	0	0	0	0,00	0	0	0	0
13	8,21	8,21	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0	0
14	7,9	8,21	0,31	0	0	0	0,00	0	0	0	0
15	6,9	8,21	1,31	0	0	0	0,00	0	0	0	0
16	5,5	8,21	2,71	1	6,92	1392,09	0,87	1	37,91	34,12	34,12
17	4,1	7,47	3,37	1	7,73	1553,47	0,97	1	52,69	47,42	47,42
18	3,1	6,65	3,55	1	7,93	1594,26	1,00	1	56,95	51,25	51,25
19	2,83	5,81	2,98	1	7,26	1460,35	0,91	1	43,77	39,39	39,39
20	3,25	5,04	1,79	0	0	0	0,00	0	0	0	0
21	4	5,04	1,04	0	0	0	0,00	0	0	0	0
22	5	5,04	0,04	0	0	0	0,00	0	0	0	0
23	6,25	5,04	-1,21	0	0	0	0,00	0	0	0	0
24	7,4	5,04	-2,36	0	0	0	0,00	0	0	0	0

Tabla 49. Energía producida en el mes de enero.

Donde:

- Las primeras celdas son el resultado del proceso iterativo.
- La relación $Q/Q_{\text{diseño}}$ es el resultado de dividir el caudal de cada intervalo entre el de diseño de la turbina, que es 100 m³/s.
- La condición (2) muestra un 1 cuando $Q/Q_{\text{diseño}}$ es mayor de 0,4 lo que indica que la turbina podrá operar con un rendimiento de un 90 %.
- La potencia, potencia en el eje y la energía se calculan mediante las fórmulas comentadas en este apartado.

Siguiendo este procedimiento en cada día modelo se obtiene la producción de energía horaria durante un año (Ver *Tabla 50*). Se observa que existen dos periodos de producción al día que se prolongan entre seis y cuatro horas. Además, entre las 8:00 y las 14:00, y las 20:00 y las 1:00 la planta no generará energía en ninguna época del año modelo. Finalmente, añadir que esta producción varía entre los 22,29 MWh y los 73,05 MWh.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic. QUIN1	Dic. QUIN2
Intervalo	Energía (MWh)												
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	27,20	25,47	0	0	0	33,00	37,77	25,30	0
3	32,25	28,26	41,75	42,56	34,85	28,67	26,16	35,07	40,34	43,23	47,73	33,08	31,88
4	43,55	38,75	53,64	52,21	37,93	34,30	34,83	44,15	52,30	52,84	57,04	41,28	42,18
5	49,89	48,64	60,25	73,05	37,70	34,55	39,88	49,64	62,45	56,14	54,32	42,63	51,86
6	48,09	52,35	59,37	51,24	32,74	30,13	36,46	44,19	60,17	48,14	48,29	39,78	49,80
7	37,43	43,93	44,73	35,11	21,65	0	26,35	26,65	46,63	36,11	27,74	28,76	39,40
8	0	25,08	0	0	0	0	0	0	22,47	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	22,29	29,69	49,44	0	0	0	28,26	27,20	0	0
16	34,12	0	46,48	37,81	45,19	32,77	42,35	48,16	49,01	41,74	40,71	41,34	24,79
17	47,42	40,34	59,25	47,77	54,67	38,02	52,02	63,16	61,66	48,23	47,29	47,87	35,44
18	51,25	50,14	55,13	57,08	57,79	39,75	55,40	63,40	66,42	51,99	47,08	44,26	43,47
19	39,39	69,32	60,70	47,66	44,07	30,72	43,98	47,11	53,93	36,84	27,21	33,21	40,69
20	0	29,97	37,34	24,52	0	0	22,93	0	29,34	0	0	0	23,41
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 50. Producción de energía durante un año.

4 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

El objetivo de este capítulo es la estimación de la energía que producirá la instalación fotovoltaica. En primer lugar, se realiza un estudio del recurso solar, diseñando y definiendo los días modelo. A continuación, se procede a dimensionar el campo, estableciendo la superficie que deberán de cubrir los módulos fotovoltaicos para, finalmente, calcular la producción de energía a lo largo de cada día.

4.1 Estudio del recurso

La radiación solar es una fuente de energía muy variable, no solo deja de ser aprovechable por la noche, sino que la lluvia, las nubes e incluso las sombras producidas por aves reducen considerablemente la radiación incidente sobre los paneles.

La ciudad de Broome se encuentra en el hemisferio sur y muy cerca del ecuador. Su localización geográfica hace que sus condiciones climáticas se mantengan bastante constantes durante todo el año. Es por ello que la radiación recibida no presentará grandes diferencias entre una estación u otra.

Previo a obtener los datos de radiación es necesario definir varios parámetros que condicionarán la planta fotovoltaica:

- El grado de inclinación de los paneles se va a definir aproximado a la latitud del emplazamiento. Es decir, $\beta=18^\circ$.
- Puesto que se trata del hemisferio sur, el azimut (desviación de la proyección de la radiación solar directa con respecto al meridiano local) será $\Psi=180^\circ$. Es decir, los paneles estarán orientados al norte.

Empleando el programa Meteonorm se conseguirán los datos de radiación. Este programa utiliza la información recogida en la estación meteorológica del aeropuerto de Broome durante el año 2005 y la muestra de forma horaria.

Para reducir el volumen de datos y realizar un estudio coherente con el objetivo de este trabajo, se ha hallado un promedio de los datos obtenidos, consiguiendo de este modo, un día modelo de cada mes, excepto de diciembre, el cual se ha dividido en dos quincenas como se hizo para el recurso marino. Para ello, se han comparado los valores de irradiancia a la misma hora de cada uno de los días del mes, repitiendo el mismo procedimiento para cada uno de los meses, o quincenas en el caso de diciembre. En la *Tabla 51* se muestran los resultados obtenidos para todos los días tipo, donde G_{Gk} es la radiación global sobre la superficie inclinada.

Se observa que el periodo nocturno va comprendido aproximadamente entre las 19:00 y las 6:00, por lo que durante ese tiempo no se podrá producir energía mediante el recurso solar. Por otra parte, es necesario destacar que los periodos de máxima radiación abarcan entre las 11:00 y las 13:00, siendo el pico máximo de $996,4 \text{ W/m}^2$ a las 12:00 del mes de septiembre. La radiación más baja se da tanto a principio como a final del día, registrándose un mínimo de $0,2 \text{ W/m}^2$ a las 19:00 de marzo.

	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic. QUIN 1	Dic. QUIN 2
Hora	G_Gk (W/m ²)												
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	3,9	0,3	0	0	0	0	0	0	0,4	8,1	19,1	16,8	11,3
7	116,4	78,3	74,3	29,3	15,9	7,0	6,0	17,6	126,4	189,5	204,3	168,6	147,3
8	317,5	270,4	300,0	299,8	278,3	247,4	249,0	293,4	382,2	434,3	432,1	368,3	344,6
9	531,0	467,7	527,0	526,1	513,5	498,1	503,5	556,9	625,9	659,0	644,8	573,3	543,9
10	694,3	623,4	722,9	722,5	701,7	687,0	697,1	759,8	821,4	841,4	834,1	740,5	697,7
11	809,0	785,1	862,0	868,6	834,7	816,7	836,7	903,6	956,5	960,3	939,7	849,6	798,8
12	791,1	786,7	838,2	930,2	891,0	881,1	905,9	975,7	996,4	992,1	973,3	897,9	850,6
13	803,5	760,0	845,9	931,5	872,4	871,8	905,5	969,0	977,3	962,7	938,9	871,5	874,4
14	735,8	713,5	795,4	848,2	786,0	789,2	826,5	889,9	882,7	869,6	842,9	790,5	812,5
15	625,3	614,6	682,1	705,6	636,4	642,9	686,2	737,2	720,1	698,0	678,9	651,8	686,2
16	461,1	470,6	494,8	500,4	437,9	441,0	483,3	524,2	504,7	477,8	475,3	462,3	518,1
17	274,8	290,9	279,4	253,6	201,0	208,4	224,9	257,2	250,0	239,2	248,1	252,5	290,1
18	103,4	107,4	69,0	11,7	1,9	1,2	3,5	8,4	12,4	19,5	40,3	60,3	90,9
19	3,4	2,3	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	2,8
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 51. Radiación global horaria sobre una superficie inclinada de cada día modelo.

4.2 Dimensionado del campo fotovoltaico

A lo largo del siguiente punto se va a estimar la dimensión del campo fotovoltaico. En primer lugar, se supone una eficiencia de un 14 %, es decir, solo el 14 % de la radiación que incide sobre los módulos fotovoltaicos se va a transformar en electricidad.

Una vez definidos los días modelo, se comienza obteniendo la radiación media incidente para cada uno de ellos. Al igual que en el dimensionado de la central mareomotriz, estos días modelo son de producción, por lo que solo se escogerán los valores con los que la generación sea posible, es decir, aquellos distintos de cero. Seguidamente, a partir de los resultados obtenidos se calcula la radiación media anual disponible para la producción de energía (Ver *Tabla 52*).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic. QUIN1	Dic. QUIN2	Anual
G_GK (W/m ²)	447,89	426,51	499,32	552,31	514,22	507,66	527,34	574,40	558,19	565,49	559,36	478,88	476,37	514,45

Tabla 52. Radiación media en Broome para cada día modelo y para un año.

Partiendo de la radiación media anual calculada, se halla la producción media por metro cuadrado del campo fotovoltaico:

$$P = \eta * G_{Gk})_m = 0,14 * 514,45 = 72,023 \text{ W/m}^2 \quad (21)$$

Por otro lado, es necesario saber cuál será la potencia instalada de la que constará el campo. Para ello se comienza suponiéndola igual al consumo de la planta de desalación, es decir, de 53,94 MW. Por consiguiente, los metros cuadrados de campo fotovoltaico necesarios para cubrir dicha potencia serán:

$$\text{Tamaño campo FV} = \frac{\text{Consumo desalación [W]}}{\text{Producción FV [W/m}^2]} = 748.904,6 \text{ m}^2 \quad (22)$$

Aproximando, se obtiene que el tamaño del campo fotovoltaico debe de ser, a priori, de 748.905 m².

En cuanto a la producción de potencia en cada instante, basta con multiplicar la radiación, la eficiencia y los metros cuadrados que tendrá el campo para obtener cual será la generación en cada hora, según se muestra en la Ecuación 23.

$$P [W] = \eta * G_{Gk} [W/m^2] * S [m^2] \quad (23)$$

Donde:

- η es la eficiencia y toma un valor de 0,14.
- G_{Gk} es la radiación global sobre la superficie inclinada en el instante analizado.
- S es el tamaño del campo, es decir, es la superficie total de módulos fotovoltaicos que compondrán el campo, que en este caso será de 748.905 m².

Observando el caso más desfavorable, es decir, el día modelo correspondiente al mes de febrero, por ser el periodo que recibe menos radiación, se puede comprobar que la energía producida supera considerablemente la necesaria para abastecer la planta de desalación, alcanzando valores de 28,56 MWh por encima del nominal (Ver Tabla 53).

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
MW	0	0	0	0	0	0,03	8,2	28,3	49,0	65,4	82,3	82,5	79,7	74,8	64,4	49,3	30,5	11,3	0,2	0	0	0	0	0

Tabla 53. Energía producida por el campo fotovoltaico para un tamaño de 748905 m².

Por lo tanto, teniendo en cuenta que la central mareomotriz también suministrará energía para la desalación de agua, se ha tomado la decisión de reducir el tamaño del campo fotovoltaico.

En primer lugar, se comienza reduciendo el tamaño a 600.000 m², pero como se puede observar en la Tabla 54, la potencia sigue siendo superior a la demandada en varios periodos de tiempo.

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
MW	0	0	0	0	0	0,03	6,6	22,7	39,3	52,4	65,9	66,1	63,8	59,9	51,6	39,5	24,4	9,0	0,2	0	0	0	0	0

Tabla 54. Energía producida por el campo fotovoltaico para un tamaño de 600000 m².

Si se reduce el tamaño a 550.000 m² y 500.000 m² la potencia producida será la más próxima a la demandada de todos los casos analizados (Ver *Tabla 55 y 56*).

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
MW	0	0	0	0	0	0,02	6,0	20,8	36,0	48,0	60,5	60,6	58,5	54,9	47,3	36,2	22,4	8,3	0,2	0	0	0	0	0

Tabla 55. Energía producida por el campo fotovoltaico para un tamaño de 550000 m².

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
MW	0	0	0	0	0	0,02	5,5	18,9	32,7	43,6	55,0	55,1	53,2	49,9	43,0	32,9	20,4	7,5	0,2	0	0	0	0	0

Tabla 56. Energía producida por el campo fotovoltaico para un tamaño de 500000 m².

Sin embargo, para 500.000 m² el número de periodos en los que se alcanza la potencia de diseño de la planta de desalación es menor que para 550.000 m² por lo que el tamaño del campo fotovoltaico será de 550.000 m².

4.3 Energía producida

La producción de energía depende de una serie de parámetros relacionados tanto con la radiación recibida, como con las características técnicas de la instalación fotovoltaica. Por ello, antes de proceder a su estimación es de interés realizar un resumen de los principales condicionantes:

- Tamaño del campo: $S=550.000 \text{ m}^2$.
- Eficiencia: $\eta=0,14$.
- Radiación recibida (G_{Gk}): se utilizará la radiación global sobre la superficie inclinada, es decir, en las condiciones en las que se instala el módulo fotovoltaico. Además, esta será la correspondiente a cada hora de cada día modelo. (Ver *Tabla 51*)
- El intervalo de tiempo para el que se calculará la energía será de 1 hora.

La ecuación a emplear para el cálculo de la energía depende de los parámetros ya citados y viene dada por la siguiente expresión:

$$E[MWh] = \eta * G_{Gk} * S * \Delta t \quad (24)$$

Por tanto, la producción de energía horaria de cada día modelo será la que aparece en la *Tabla 57*. Se observa que el intervalo de producción varía entre 12 horas y 14 horas, y se da en las horas centrales del día. Así mismo, la energía oscila entre los valores 0,02 MWh y 76,72 MWh.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic. (QUIN1)	Dic. QUIN2
Intervalos hora	E (MWh)	E (MWh)											
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,87	0,02	0	0	0	0	0	0	0,03	0,62	1,47	1,29	0,87
7	11,34	6,03	5,72	2,26	1,22	0,54	0,46	1,35	9,73	14,60	15,73	12,98	11,34
8	26,54	20,82	23,10	23,09	21,43	19,05	19,17	22,59	29,43	33,44	33,27	28,36	26,54
9	41,88	36,01	40,58	40,51	39,54	38,35	38,77	42,88	48,19	50,74	49,65	44,14	41,88
10	53,72	48,00	55,67	55,64	54,03	52,90	53,68	58,50	63,25	64,79	64,23	57,02	53,72
11	61,50	60,45	66,37	66,88	64,27	62,89	64,43	69,58	73,65	73,94	72,35	65,42	61,50
12	65,50	60,57	64,54	71,63	68,60	67,85	69,75	75,13	76,72	76,39	74,94	69,14	65,50
13	67,33	58,52	65,14	71,73	67,17	67,13	69,73	74,61	75,25	74,13	72,30	67,11	67,33
14	62,56	54,94	61,24	65,31	60,52	60,77	63,64	68,52	67,97	66,96	64,90	60,87	62,56
15	52,84	47,32	52,52	54,33	49,00	49,50	52,83	56,77	55,45	53,74	52,28	50,19	52,84
16	39,90	36,23	38,10	38,53	33,72	33,96	37,21	40,36	38,86	36,79	36,60	35,60	39,90
17	22,34	22,40	21,51	19,52	15,48	16,05	17,32	19,80	19,25	18,42	19,10	19,44	22,34
18	7,00	8,27	5,31	0,90	0,15	0,09	0,27	0,64	0,95	1,50	3,10	4,65	7,00
19	0,22	0,18	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,22
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 57. Energía producida por el campo fotovoltaico para cada día modelo.

5 COMBINACIÓN DE TECNOLOGÍAS

A lo largo de este capítulo se va a analizar la generación mediante energía marina compaginada con la fotovoltaica, teniendo en cuenta las necesidades de la planta de desalación. Finalmente, y a partir del estudio realizado, se elaborarán una serie de recomendaciones que optimicen la combinación de ambas tecnologías.

5.1 Comparativa de la producción marina y fotovoltaica

La energía marina y la energía solar proceden de fuentes variables tanto en módulo como en tiempo, es decir, su producción energética no será continua. Es por ello, que, si se desea generar durante un número considerable de horas, probablemente no sea posible usar una de estas formas de energía de manera independiente, sino que será necesario apoyarse en otra forma de producción o en el uso combinado de ambas tecnologías.

En capítulos anteriores se ha calculado la producción de energía de la central mareomotriz y de la instalación fotovoltaica. Para su análisis, será provechoso representar ambas tecnologías de forma contigua. En las *Tablas 58, 59, 60, 61 y 62* se reproducen, los datos obtenidos para cada día modelo de producción, donde la tercera columna de cada uno de ellos indica la suma de la producción de energía marina y fotovoltaica.

Intervalos hora	Enero			Febrero			Marzo		
	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	32,25	0	32,25	28,26	0	28,26	41,75	0	41,75
4	43,55	0	43,55	38,75	0	38,75	53,64	0	53,64
5	49,89	0	49,89	48,64	0	48,64	60,25	0	60,25
6	48,09	0,87	48,96	52,35	0,02	52,38	59,37	0	59,37
7	37,43	11,34	48,76	43,93	6,03	49,95	44,73	5,72	50,45
8	0	26,54	26,54	25,08	20,82	45,90	0	23,10	23,10
9	0	41,88	41,88	0	36,01	36,01	0	40,58	40,58
10	0	53,72	53,72	0	48,00	48,00	0	55,67	55,67
11	0	61,50	61,50	0	60,45	60,45	0	66,37	66,37
12	0	65,50	65,50	0	60,57	60,57	0	64,54	64,54
13	0	67,33	67,33	0	58,52	58,52	0	65,14	65,14
14	0	62,56	62,56	0	54,94	54,94	0	61,24	61,24
15	0	52,84	52,84	0	47,32	47,32	0	52,52	52,52
16	34,12	39,90	74,02	0	36,23	36,23	46,48	38,10	84,58
17	47,42	22,34	69,76	40,34	22,40	62,74	59,25	21,51	80,76
18	51,25	7,00	58,25	50,14	8,27	58,41	55,13	5,31	60,44
19	39,39	0,22	39,61	69,32	0,18	69,49	60,70	0,02	60,72
20	0	0	0	29,97	0	29,97	37,34	0	37,34
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 58. Comparativa de la producción de energía marina y fotovoltaica, así como su combinación de los días modelo de enero, febrero y marzo.

Intervalos hora	Abril			Mayo			Junio		
	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	27,20	0	27,20	25,47	0	25,47
3	42,56	0	42,56	34,85	0	34,85	28,67	0	28,67
4	52,21	0	52,21	37,93	0	37,93	34,30	0	34,30
5	73,05	0	73,05	37,70	0	37,70	34,55	0	34,55
6	51,24	0	51,24	32,74	0	32,74	30,13	0	30,13
7	35,11	2,26	37,36	21,65	1,22	22,88	0	0,54	0,54
8	0	23,09	23,09	0	21,43	21,43	0	19,05	19,05
9	0	40,51	40,51	0	39,54	39,54	0	38,35	38,35
10	0	55,64	55,64	0	54,03	54,03	0	52,90	52,90
11	0	66,88	66,88	0	64,27	64,27	0	62,89	62,89
12	0	71,63	71,63	0	68,60	68,60	0	67,85	67,85
13	0	71,73	71,73	0	67,17	67,17	0	67,13	67,13
14	0	65,31	65,31	0	60,52	60,52	0	60,77	60,77
15	22,29	54,33	76,62	29,69	49,00	78,69	49,44	49,50	98,94
16	37,81	38,53	76,34	45,19	33,72	78,90	32,77	33,96	66,73
17	47,77	19,52	67,29	54,67	15,48	70,15	38,02	16,05	54,07
18	57,08	0,90	57,98	57,79	0,15	57,94	39,75	0,09	39,84
19	47,66	0	47,66	44,07	0	44,07	30,72	0	30,72
20	24,52	0	24,52	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 59. Comparativa de la producción de energía marina y fotovoltaica, así como su combinación de los días modelo de abril, mayo y junio.

Intervalos hora	Julio			Agosto			Septiembre		
	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	26,16	0	26,16	35,07	0	35,07	40,34	0	40,34
4	34,83	0	34,83	44,15	0	44,15	52,30	0	52,30
5	39,88	0	39,88	49,64	0	49,64	62,45	0	62,45
6	36,46	0	36,46	44,19	0	44,19	60,17	0,03	60,21
7	26,35	0,46	26,81	26,65	1,35	28,01	46,63	9,73	56,36
8	0	19,17	19,17	0	22,59	22,59	22,47	29,43	51,90
9	0	38,77	38,77	0	42,88	42,88	0	48,19	48,19
10	0	53,68	53,68	0	58,50	58,50	0	63,25	63,25
11	0	64,43	64,43	0	69,58	69,58	0	73,65	73,65
12	0	69,75	69,75	0	75,13	75,13	0	76,72	76,72
13	0	69,73	69,73	0	74,61	74,61	0	75,25	75,25
14	0	63,64	63,64	0	68,52	68,52	0	67,97	67,97
15	0	52,83	52,83	0	56,77	56,77	0	55,45	55,45
16	42,35	37,21	79,57	48,16	40,36	88,52	49,01	38,86	87,88
17	52,02	17,32	69,34	63,16	19,80	82,96	61,66	19,25	80,91
18	55,40	0,27	55,67	63,40	0,64	64,04	66,42	0,95	67,38
19	43,98	0	43,98	47,11	0	47,11	53,93	0	53,93
20	22,93	0	22,93	0	0	0	29,34	0	29,34
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 60. Comparativa de la producción de energía marina y fotovoltaica, así como su combinación de los días modelo de julio, agosto y septiembre.

Intervalos hora	Octubre			Noviembre		
	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)
1	0	0	0	0	0	0
2	33,00	0	33,00	37,77	0	37,77
3	43,23	0	43,23	47,73	0	47,73
4	52,84	0	52,84	57,04	0	57,04
5	56,14	0	56,14	54,32	0	54,32
6	48,14	0,62	48,76	48,29	1,47	49,76
7	36,11	14,60	50,71	27,74	15,73	43,47
8	0	33,44	33,44	0	33,27	33,27
9	0	50,74	50,74	0	49,65	49,65
10	0	64,79	64,79	0	64,23	64,23
11	0	73,94	73,94	0	72,35	72,35
12	0	76,39	76,39	0	74,94	74,94
13	0	74,13	74,13	0	72,30	72,30
14	0	66,96	66,96	0	64,90	64,90
15	28,26	53,74	82,00	27,20	52,28	79,48
16	41,74	36,79	78,53	40,71	36,60	77,30
17	48,23	18,42	66,65	47,29	19,10	66,39
18	51,99	1,50	53,49	47,08	3,10	50,18
19	36,84	0	36,84	27,21	0	27,21
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

Tabla 61. Comparativa de la producción de energía marina y fotovoltaica, así como su combinación de los días modelo de octubre y noviembre.

Intervalos hora	Diciembre QUIN1			Diciembre QUIN2		
	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)	MWh (marina)	MWh (FV)	MWh (Marina y FV)
1	0	0	0	0	0	0
2	25,30	0	25,30	0	0	0
3	33,08	0	33,08	31,88	0	31,88
4	41,28	0	41,28	42,18	0	42,18
5	42,63	0	42,63	51,86	0	51,86
6	39,78	1,29	41,07	49,80	0,87	50,67
7	28,76	12,98	41,74	39,40	11,34	50,74
8	0	28,36	28,36	0	26,54	26,54
9	0	44,14	44,14	0	41,88	41,88
10	0	57,02	57,02	0	53,72	53,72
11	0	65,42	65,42	0	61,50	61,50
12	0	69,14	69,14	0	65,50	65,50
13	0	67,11	67,11	0	67,33	67,33
14	0	60,87	60,87	0	62,56	62,56
15	0	50,19	50,19	0	52,84	52,84
16	41,34	35,60	76,94	24,79	39,90	64,68
17	47,87	19,44	67,31	35,44	22,34	57,77
18	44,26	4,65	48,90	43,47	7,00	50,46
19	33,21	0,04	33,24	40,69	0,22	40,91
20	0	0	0	23,41	0	23,41
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0

Tabla 62. Comparativa de la producción de energía marina y fotovoltaica, así como su combinación de los días modelo de cada quincena de diciembre.

El estudio de esta combinación se basa en dos ramas principales: las horas de producción y la energía generada.

Horas de producción.

Si se analiza cada instalación de forma independiente, se observa que la central marina solo genera durante un máximo de 10 horas, y la planta fotovoltaica durante un máximo de 14 horas. Estudiando la distribución de ambos recursos a lo largo de un día, se concluye que una combinación de ambas energías podrá incrementar las horas de producción entre un 40% y un 80%.

En lo relativo al periodo sin producción de energía, este coincide con el periodo nocturno en la generación fotovoltaica, mientras que la mareomotriz tendrá dos intervalos en los que la central permanecerá parada, uno nocturno y otro diurno. Se observa que gran parte de las horas de producción solar coinciden con la no generación de marina, en consecuencia, combinando las dos instalaciones, se consigue un único periodo sin electricidad renovable que abarca entre 6 y 7 horas por la noche.

Energía generada.

Tanto la central mareomotriz como la fotovoltaica tienen sus picos de producción en el centro de cada periodo de generación. Gracias a este factor, el enlace entre ambas tecnologías será favorable. En general, los intervalos de mediana o baja producción de cada uno coinciden, por consiguiente, su suma se aproximará a la potencia nominal. Por otro lado, los picos de máxima producción se verán como casos aislados o, en algunas circunstancias, en combinación con los periodos de escasa producción de la otra tecnología.

En conclusión, la suma de las instalaciones marina y fotovoltaica permitirá una producción más estable y próxima a la energía demandada por la planta de desalación, durante gran parte del día.

Para mejorar la comprensión de los datos y explorar otra perspectiva, es conveniente realizar una representación gráfica que muestre los MW producidos frente al tiempo, de todas las tecnologías. Desde la *Figura 23* a la *Figura 35* se muestran las curvas correspondientes a todos los días modelo de producción definidos.

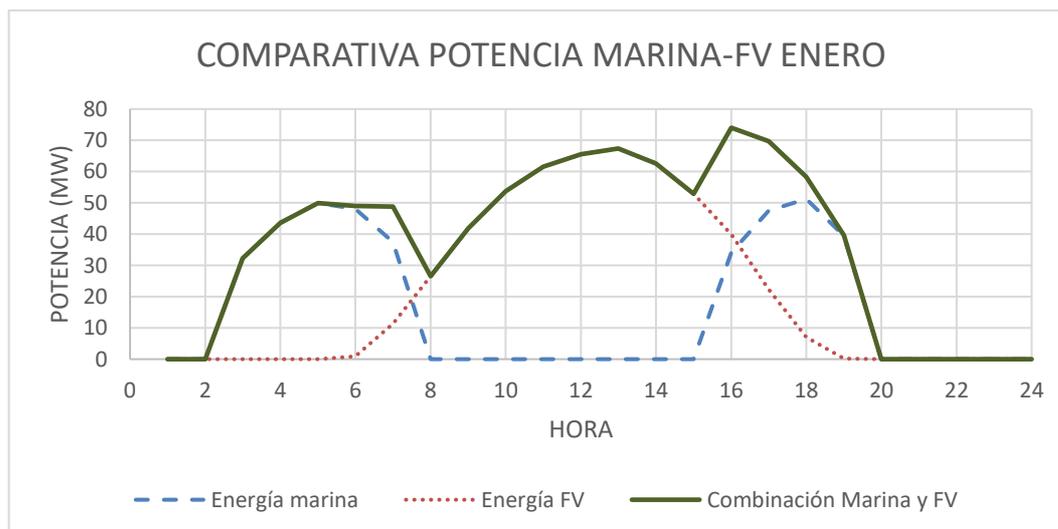


Figura 23. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de enero.

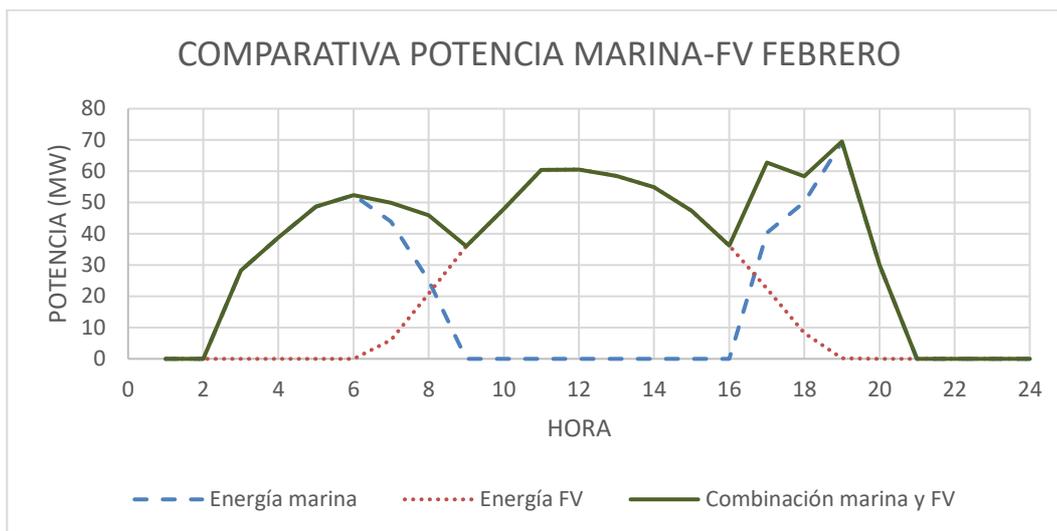


Figura 24. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de febrero.

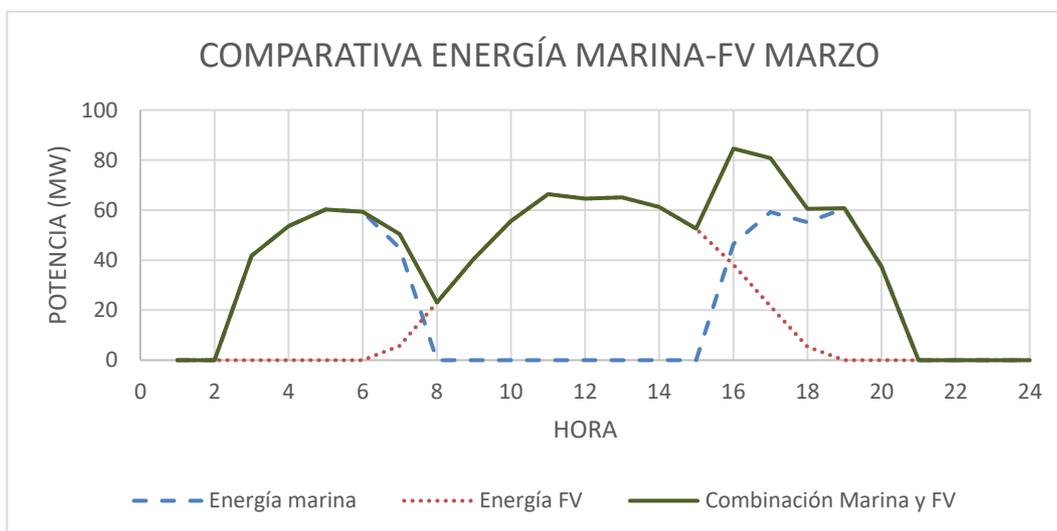


Figura 25. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de marzo.

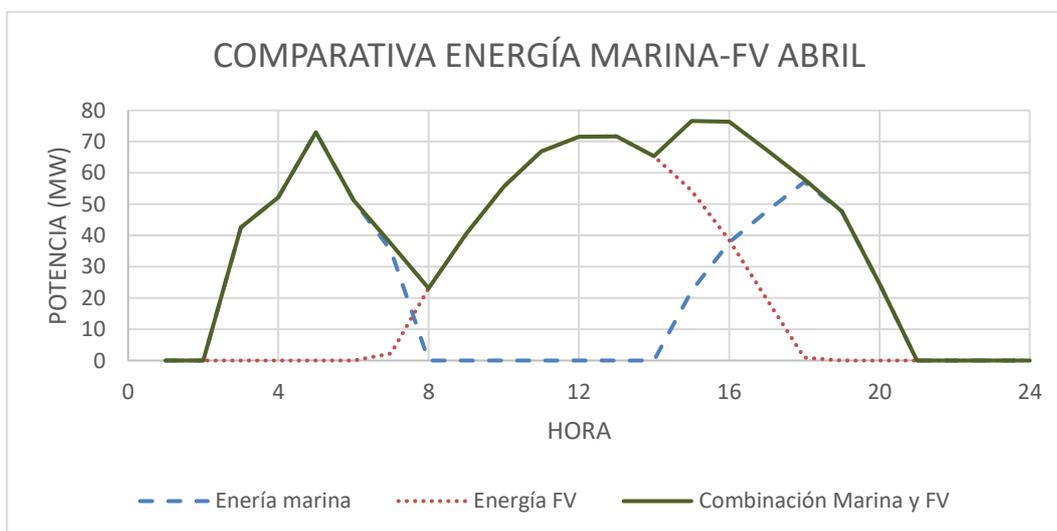


Figura 26. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de abril.

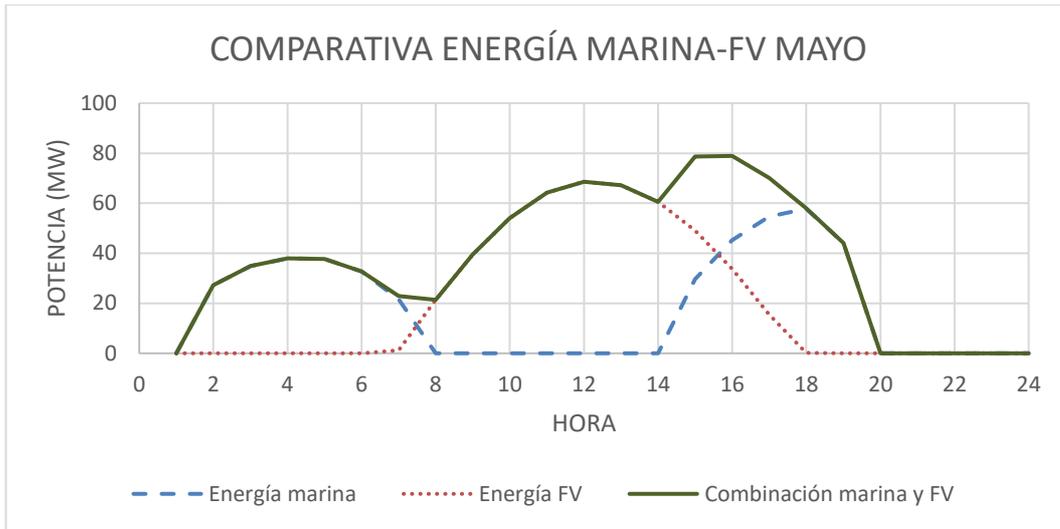


Figura 27. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de mayo.

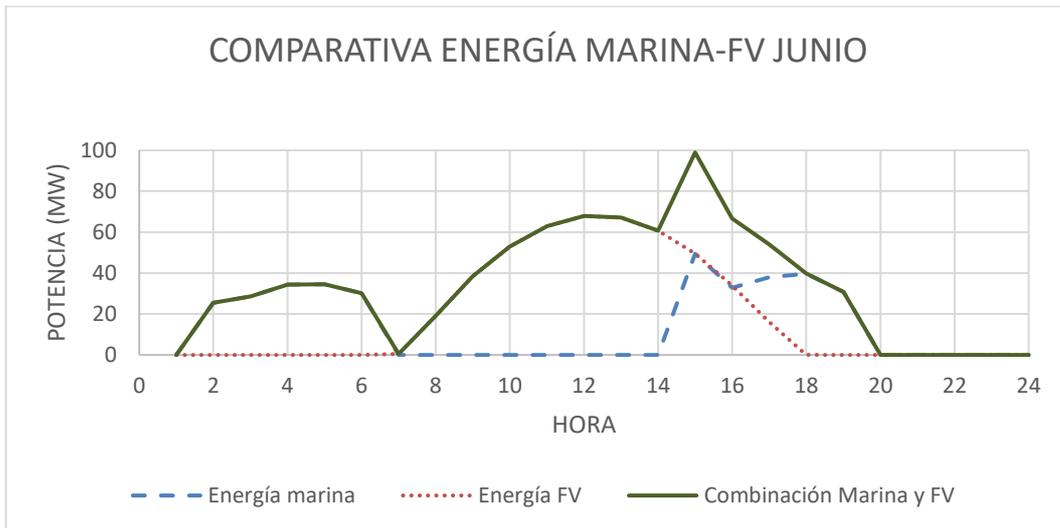


Figura 28. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de junio.

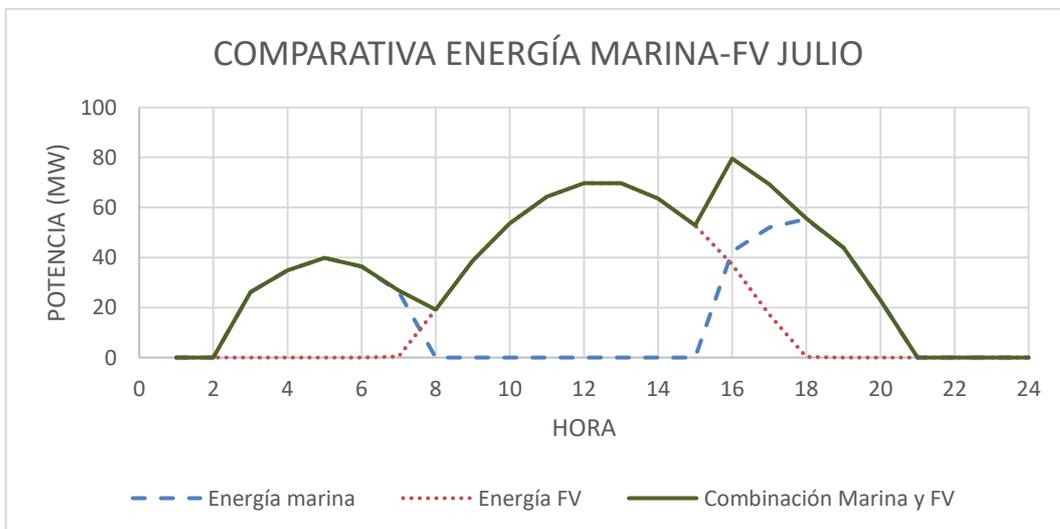


Figura 29. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de julio.

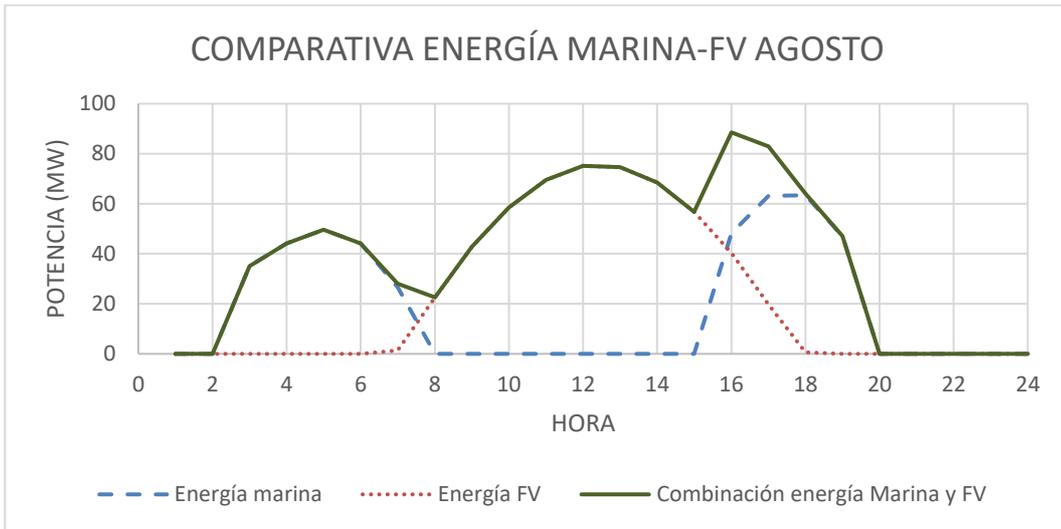


Figura 30. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de agosto.

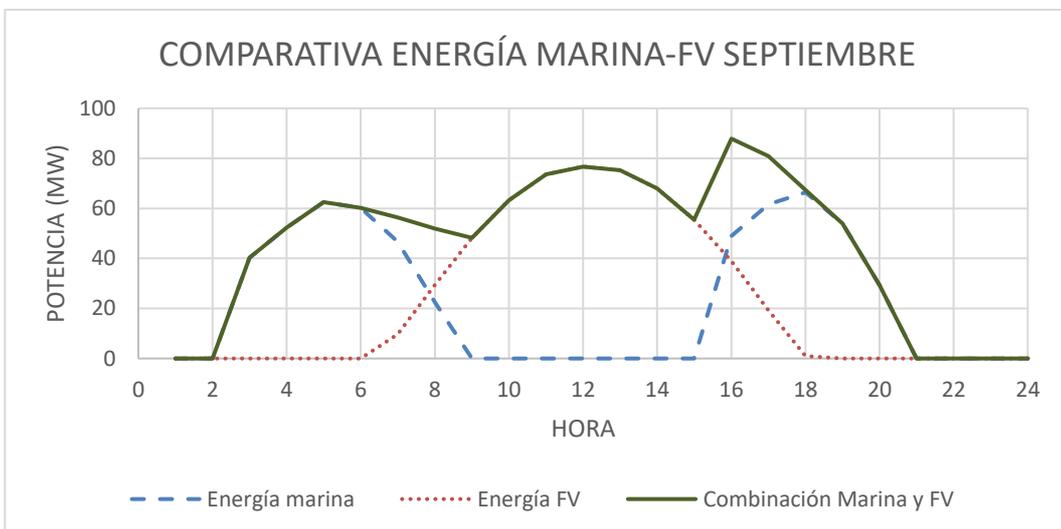


Figura 31. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de septiembre.

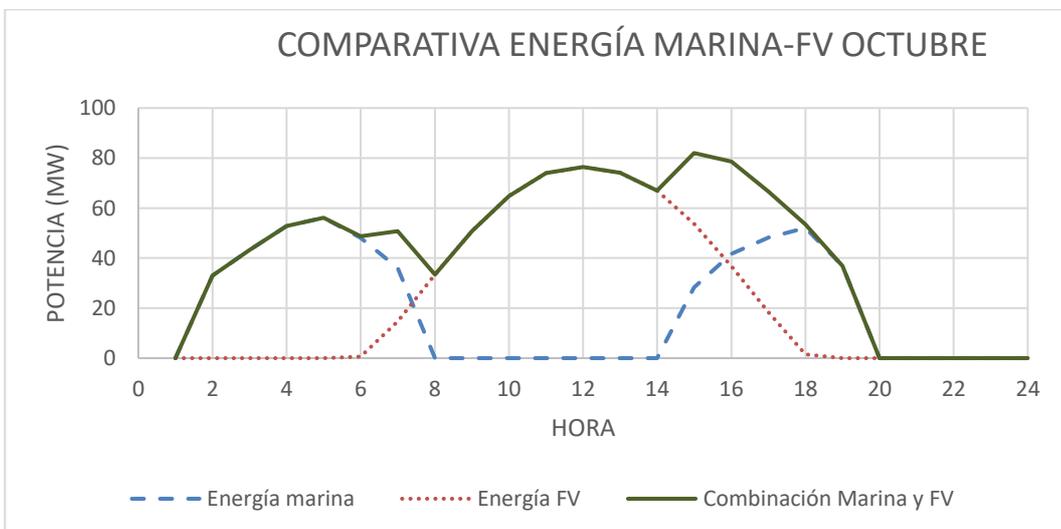


Figura 32. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de octubre.

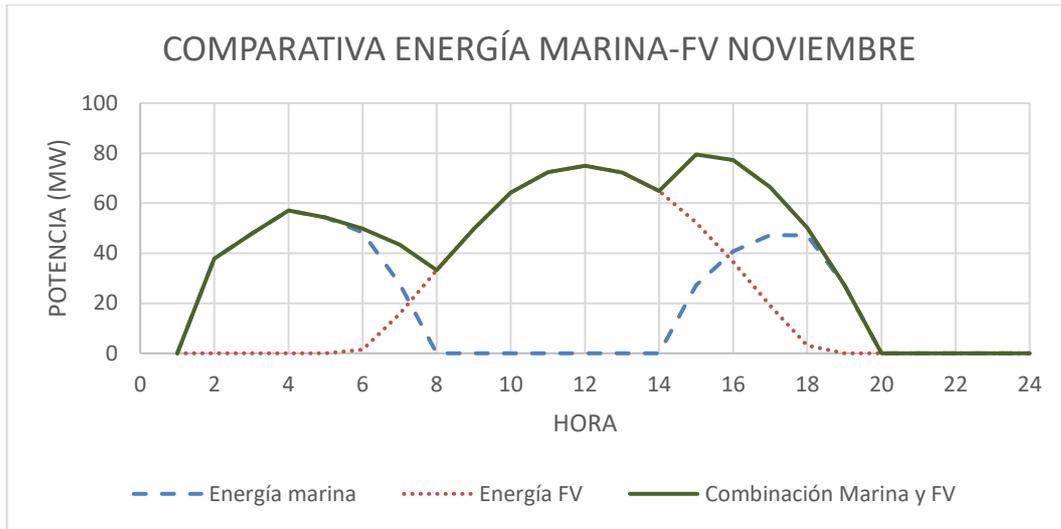


Figura 33. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de noviembre.

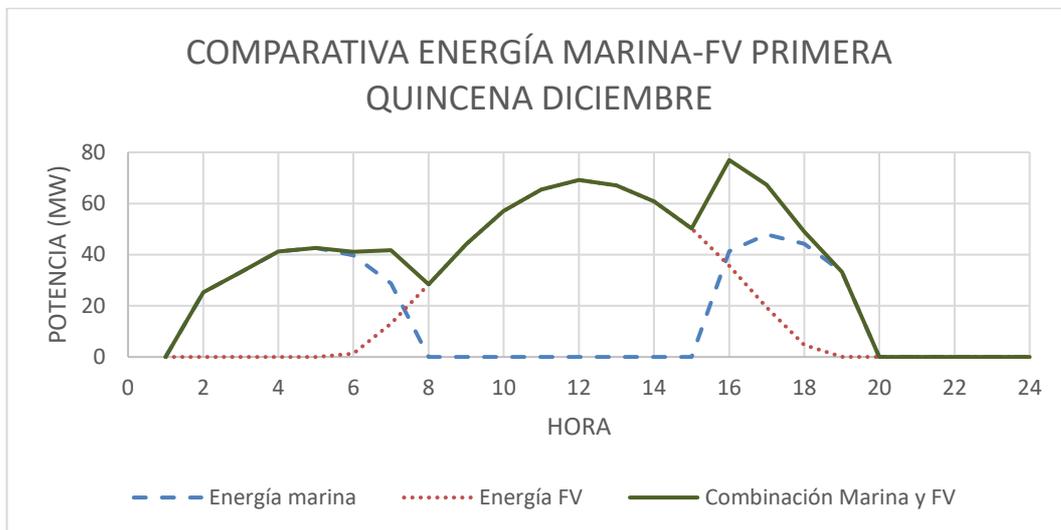


Figura 34. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de la primera quincena de diciembre.

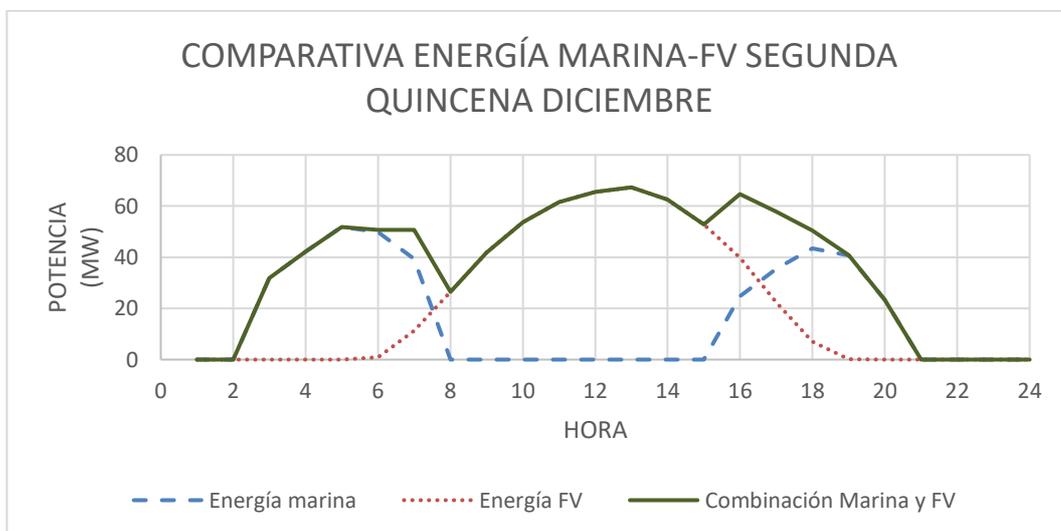


Figura 35. Comparativa de la potencia marina y FV frente al tiempo del día modelo de la segunda quincena de diciembre.

De esta forma, destacan tres picos de producción, uno durante la madrugada, otro al mediodía y otro por la tarde. Por el contrario, la producción mínima, sin tener en cuenta el periodo con $P=0$ MW, se da durante las primeras horas de la mañana. Además, se observa que la media de la generación se encuentra entorno a los 40-50 MW.

En un principio, se estimó el consumo de la planta de desalación en 53,94 MW. Sin embargo, en vista de los resultados, y tras realizar un estudio de la producción media de la combinación de energías, se contempla la opción de disminuir la potencia nominal consumida por la planta a 40 MW para un buen aprovechamiento de las energías renovables.

5.2 Recomendaciones

Aunque el aprovechamiento de las dos energías combinadas lleva consigo un aumento tanto de las horas de producción como de la generación energética, no es posible conseguir una producción continua. La causa es su origen renovable, existen periodos fijos en los que no hay recurso, y otros variables en los que este puede disminuir bruscamente (nubes, sombras de animales sobre los módulos fotovoltaicos, etc). Por ello, es necesario establecer una serie de recomendaciones que ayuden a disminuir los efectos negativos de en estas circunstancias.

Baterías.

En instalaciones de energía renovable, y sobretodo en fotovoltaica, es común emplear un sistema de almacenamiento como las baterías. No obstante, esta forma de acumulación es bastante ineficiente (se pierde entre un 30-40% de la energía) y también es delicada, por lo que necesita un mantenimiento continuo.

En el caso de esta instalación, la cual supera los 40 MW instalados, el número de baterías que se precisarían sería muy elevado, así como la capacidad de cada una de ellas. Actualmente, el uso de acumuladores con estas características no es muy frecuente, y el mercado está limitado. Por consiguiente, previo a aventurarse a su instalación es recomendable explorar otras vías.

Si la potencia radiante se veiese reducida, no es necesario la parada total de la planta de desalación. Gracias a su trabajo en paralelo, la parada será parcial, es decir, seguirán funcionando las líneas cuyo consumo se pueda cubrir.

Otra consecuencia de no utilizar baterías; y, por tanto, producir menos energía o tener periodos sin producción, es la reducción del volumen de agua desalada. Sin embargo, este problema se verá mermado no solo por las características de la planta, sino del emplazamiento. En el diseño de la capacidad de la planta de desalación se estimó el doble de ($m^3/persona \cdot día$) del recomendado y se aplicó para la población en la época de mayor turismo de la ciudad (45.000 personas). Puesto que este periodo solamente abarca unos tres meses y los habitantes durante el resto del año serán unos 16.000, bastará con almacenar el agua sobrante para poder satisfacer las necesidades de la población durante un mayor periodo de tiempo. De esta forma, se podrá compensar la eliminación de las baterías de la instalación fotovoltaica.

Posibilidad de conexión a la red eléctrica.

Como ya se ha mencionado, y queda reflejado en las *Gráficas 7, 8 y 9*, no se consigue producir durante las 24 horas del día, por tanto, es de provecho analizar el horario en el que la planta de desalación permanecerá parada. Estudiando los periodos en los que se genera energía, de todos los días modelo de producción, se construye la *Tabla 63*. Esta muestra las tres combinaciones que han quedado disponibles, donde un 1 refleja el intervalo en el que se produce energía y un 0 en el que no.

Horas de producción			
Intervalos hora	1° tipo	2° tipo	3° tipo
1	0	0	0
2	0	0	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1
11	1	1	1
12	1	1	1
13	1	1	1
14	1	1	1
15	1	1	1
16	1	1	1
17	1	1	1
18	1	1	1
19	1	1	1
20	0	1	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0

Tabla 63. Periodos de generación de ambas energías combinadas.

Puesto que se ha eliminado la posibilidad de instalar baterías, y en el caso de que bien por mantenimiento de las membranas, o por falta de agua desalada almacenada, sea necesario mantener la planta de desalación en funcionamiento, es recomendable analizar la conexión de la planta con la red eléctrica. Así mismo, destaca el hecho de que estos periodos se producen durante la noche, cuando la tarifa eléctrica es más barata, y el consumo ayuda a la regulación de la red eléctrica.

De este mismo modo, se plantean los días en los que no se puede aprovechar la energía marina. Durante estos, la única fuente de apoyo renovable será la fotovoltaica, por lo que las horas de producción y energía disminuirán considerablemente. Como consecuencia, y en estas circunstancias, será necesario extraer energía de la red.

En cuanto a los intervalos de exceso de producción, que según se observa en la *Tabla 57*, coinciden con las horas centrales del día, se recomienda vender el excedente a la red eléctrica en lugar de reducir la producción de las instalaciones renovables.

6 CONCLUSIONES

Finalmente, en el presente capítulo se recogen las conclusiones obtenidas tras el análisis de la posible implantación de las tecnologías marina, fotovoltaica y de desalación en Broome, Australia. Se considera fundamentalmente un estudio energético que combine el conjunto de las técnicas con el objetivo de que una planta desaladora pueda abastecerse a partir de fuentes de energía renovable.

Tras el estudio realizado a lo largo de este proyecto, se pone de manifiesto la complementariedad que existe entre los recursos energéticos solares y de las mareas en el emplazamiento estudiado. Dicho lugar, combina características esenciales para el análisis como ser una zona semiárida, tener una amplitud de marea media superior a los 5 m y buenos niveles de irradiación. En cuanto a la producción de energía, esta se complementa de forma que la generación se produzca durante 17 o 18 horas diarias sin pausa, consiguiendo una potencia más o menos continua, de entre 22,93 MWh y 98,94 MWh, que permita a la planta de desalación consumir principalmente de fuentes renovables.

Por otro lado, se ha detallado el análisis de una planta de desalación de gran capacidad, resultando que podría operar alrededor de un 70% del año empleando, únicamente, fuentes de energía renovables. Como ya se ha comentado con anterioridad, se elimina la opción de instalar baterías debido al tamaño de las instalaciones. Por consiguiente, en el caso de que se requiera aumentar tanto el tiempo de producción como la energía necesaria, es recomendable apoyarse en la red eléctrica de la ciudad, así como en el caso de que se produzca un excedente de energía. En relación a las horas sin producción energética renovable, destaca que acaecen durante la noche, periodo durante cual, el consumo de la red dispone de tarifas habitualmente menores, así como, ayuda a conseguir una mejor regulación de la red eléctrica.

En cuanto a la capacidad de la planta desaladora es necesario mencionar que se encuentra sobredimensionada, con 185.000 m³/día. Su diseño está enfocado para producir un volumen de agua suficiente para cubrir las necesidades de la población durante los periodos de mayor demanda (meses turísticos), de esta forma, la mayoría del año se producirá un excedente que se puede almacenar o, en cambio, acomodar la producción a la demanda parando los módulos necesarios.

Finalmente, hay que destacar que el trabajo realizado muestra que la combinación de energías solar y marina permite, en lugares favorables como el estudiado, la implantación de plantas de desalación de gran capacidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fernández Díez, Pedro. *Energía Maremotriz*. Extraído el 06/03/2018, de <http://es.pfernandezdiez.es/>
- [2] López-Herrera Sanchez, José M^a. (2017). *Ocean Energy*. Universidad de Sevilla.
- [3] Vega de Kuyper, J.C., Ramírez Morales, S. (2014). *Fuentes de energía, renovables y no renovables*. Barcelona: Marcombo.
- [4] Carta González, J.A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., Castro Gil, M.A. (2012). *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: Pearson
- [5] Gianola Otamendi, Alberto. (2016). *Energía producida o extraída del mar*. Extraído de http://www.cglnm.com.ar/public/PAC/171/Energia_Maritima.pdf
- [6] Australian Government. Bureau of Meteorology. Extraído en 2018 de <http://www.bom.gov.au/?ref=logo>
- [7] Google Maps.
- [8] Australian Government. Bureau of Statistics. Extraído en 2018 de http://www.censusdata.abs.gov.au/census_services/
- [9] <https://web.archive.org/web/20080410164139/http://www.broomevisitorcentre.com.au/pages/population-statistics/> Extraído el 03/2018.
- [10] Global PV Markets-IEA PVPS.
- [11] <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/> Extraído el 03/2018
- [12] Australian PV Institute. Extraído el 03/2018 de <http://pv-map.apvi.org.au/historical#6/-18.355/123.311>
- [13] García Rodríguez, Lourdes. (2018). *Fundamentos termodinámicos de la desalación por ósmosis inversa: Transferencia de disolvente a través de una membrana semipermeable*. Universidad de Sevilla.
- [14] Real Academia Española [RAE]. (2017). Marea. Edición Tricentenario. *Rae.es.*
- [15] García Rodríguez, Lourdes. (2018). *SWRO desalination: System configuration*. Universidad de Sevilla.
- [16] Graciá Ribes, M. Teresa & Ordás Jiménez, Santiago. (2014). *Estudio de las diferentes formas de conseguir energía con el mar y su aplicabilidad en el litoral español* (Proyecto Final de Carrera). Universidad Politécnica de Cataluña.
- [17] European Neighbourhood Instrument (ENI). (2015). *Mediterranean Sea Basin Programme 2014-2020*. European Commission.

- [18] García Rodríguez, Lourdes. (2018). *Basic Concepc on Seawater Reverse Osmosis Desalination*. Universidad de Sevilla.
- [19] El Saliby, Y. Okour, H.K. Shon, J.Kandasamy & In S.Kim. (2008). *Desalination plants in Australia, review and facts*. Elsevier
- [20] De Andrade, Jesus & Asuaje, Miguel. *Turbinas Hidráulicas*. Extraído el 04/2018 en ecousb.com.ve/
- [21] González Marcos, M.Pilar. (2009). *Turbinas de Reacción*. Universidad del País Vasco.
- [22] Fernández Díez, Pedro. *Turbinas Kaplan y Bulbo*. Extraído el 04/2018, de <http://es.pfernandezdiez.es/>
- [23] Ibañez Astaburuaga, Alejandro.(2015). *Energías Renovables en el Sistema Marítimo Portuario: Aprovechamiento Energético de los Molinos de Marea* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid.
- [24] Dagà Kunze, Jordi Sebastián. (2008). *Aprovechamiento hidroeléctrico de las mareas y su posible desarrollo en Chile* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- [25] Quintero González, Julián Rodrigo & Quintero González, Laura Estefanía. (2015). *Sistemas de Producción y Potencial Energético de la Energía Mareomotriz*. Resvista Ingeniería, Investigación y Desarrollo.
- [26] Cortés Ríos, Cristhian Camilo & Guzmán Chacón, Sergio Alejandro. (2015). *Diseño, construcción y comparación de dos prototipos de generación eléctrica: mareomotriz y undimotriz* (Trabajo de grado). Universidad Distral Francisco José de Caldas, Bogotá.
- [27] López-González J., Hiriart-Le Bert G. & Silva-Casarín R. (2009). *Cuantificación de energía de una planta mareomotriz*. Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología.
- [28] Fernandez García-Navas, Antonio. (2017). *Turbinas de reacción*. Instalaciones y Máquinas Hidráulicas. Universidad de Sevilla.
- [29] Lillo Bravo, Isidoro. (2017). *Teoría y problemas*. Instalaciones Fotovoltaicas. Universidad de Sevilla.
- [30] Fernández Gálvez, Jesús. *El recurso suelo-agua en medios áridos y semiáridos*. Granada, España.
- [31] Shire of Broome. Extraído en 03/2018 de <http://www.broome.wa.gov.au>

ANEXOS

ANEXO A: Ciclos de mareas

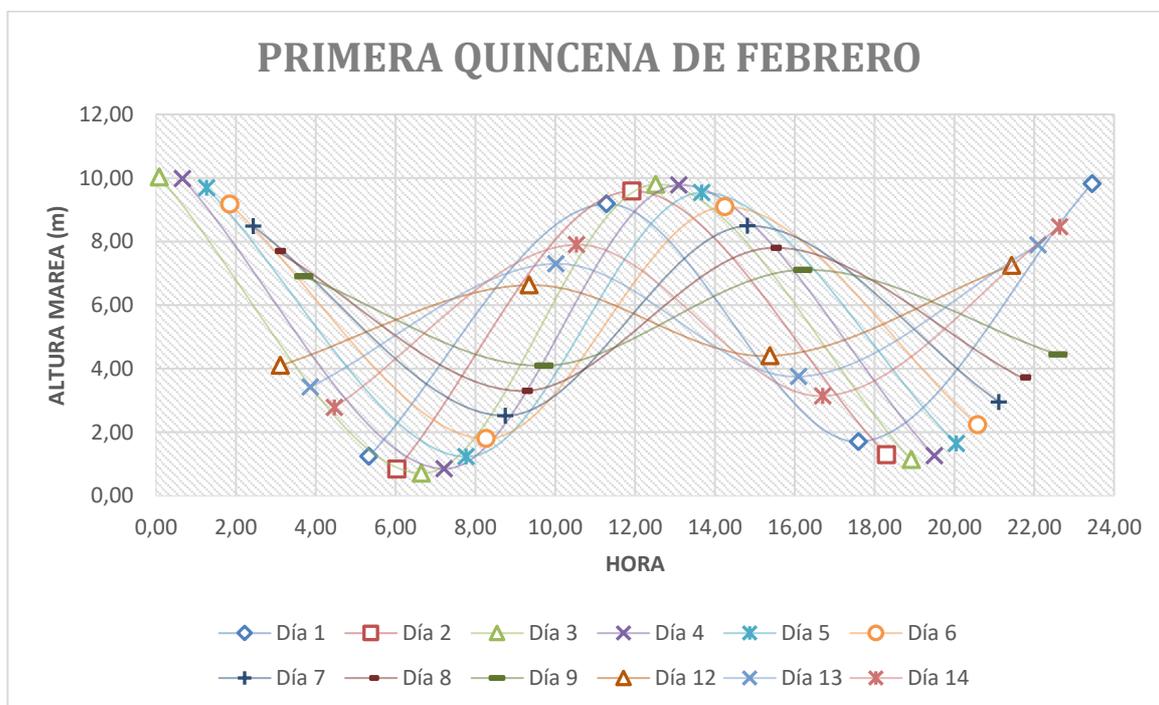


Figura 36. Altura mar del a lo largo de un día en la primera quincena de febrero.

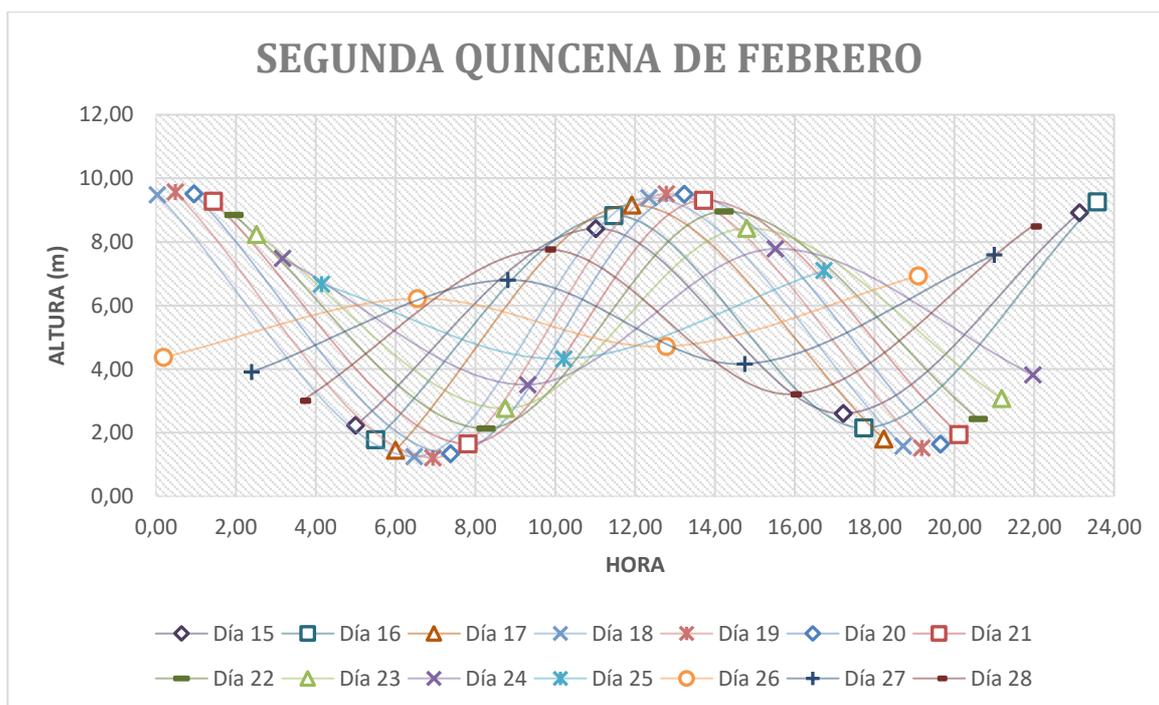


Figura 37. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de febrero.

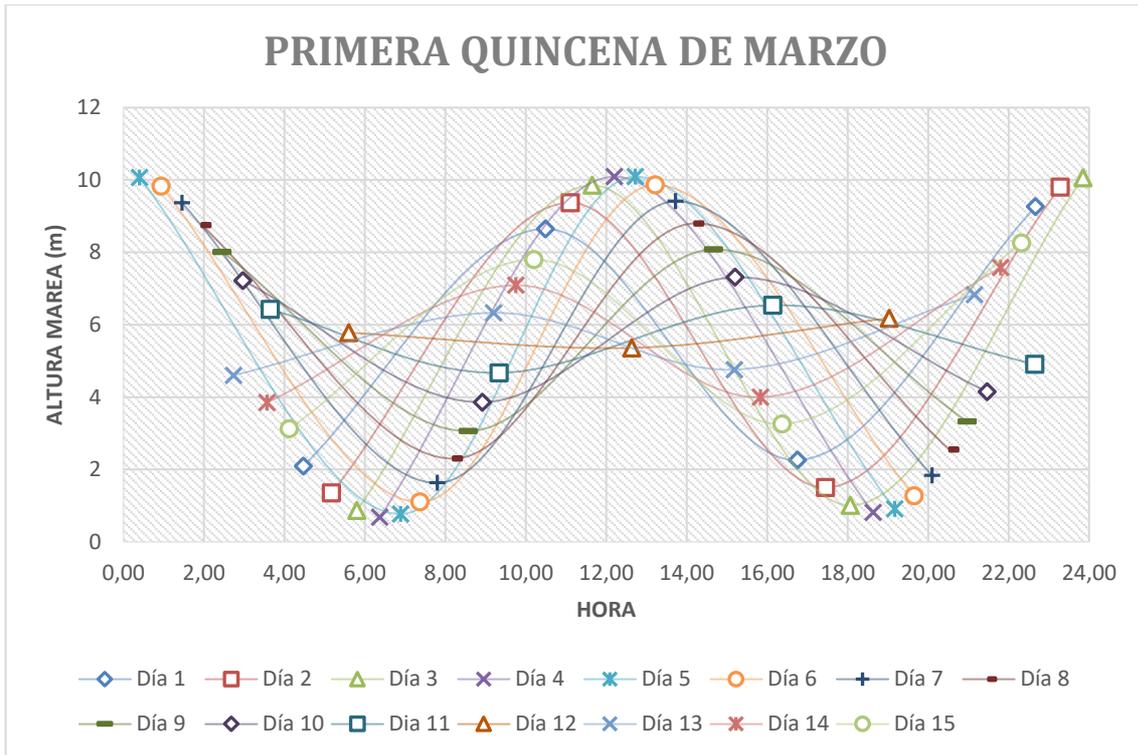


Figura 38. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de marzo.

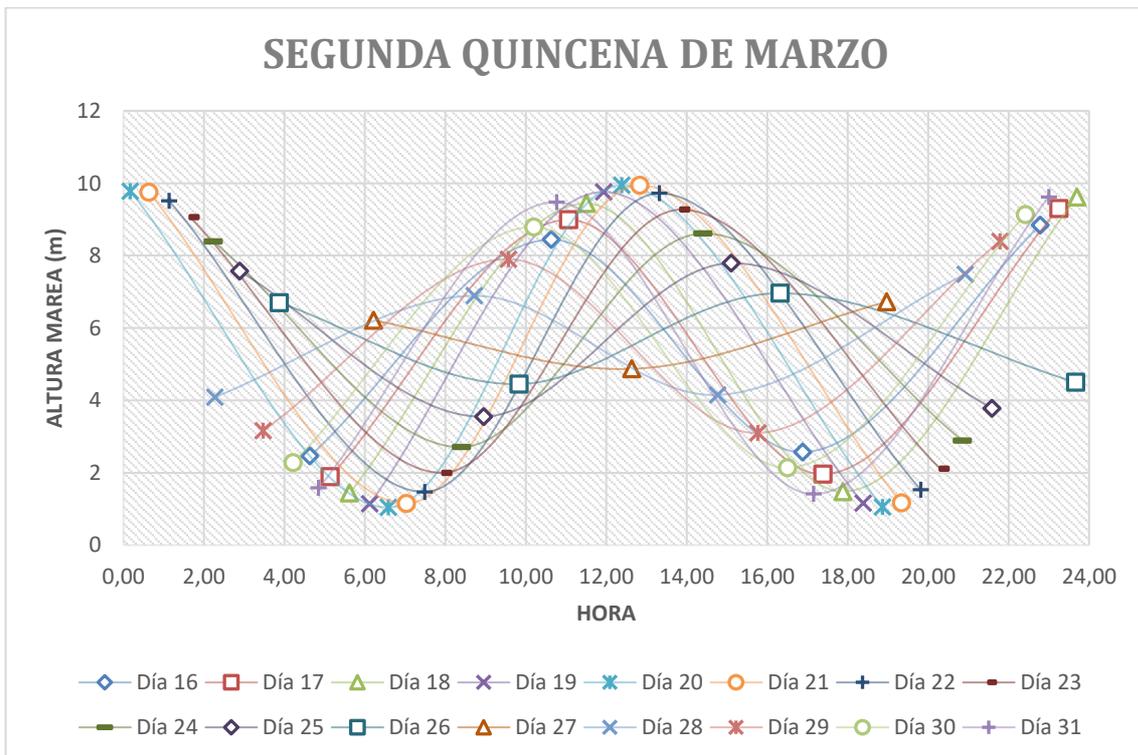


Figura 39. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de marzo.

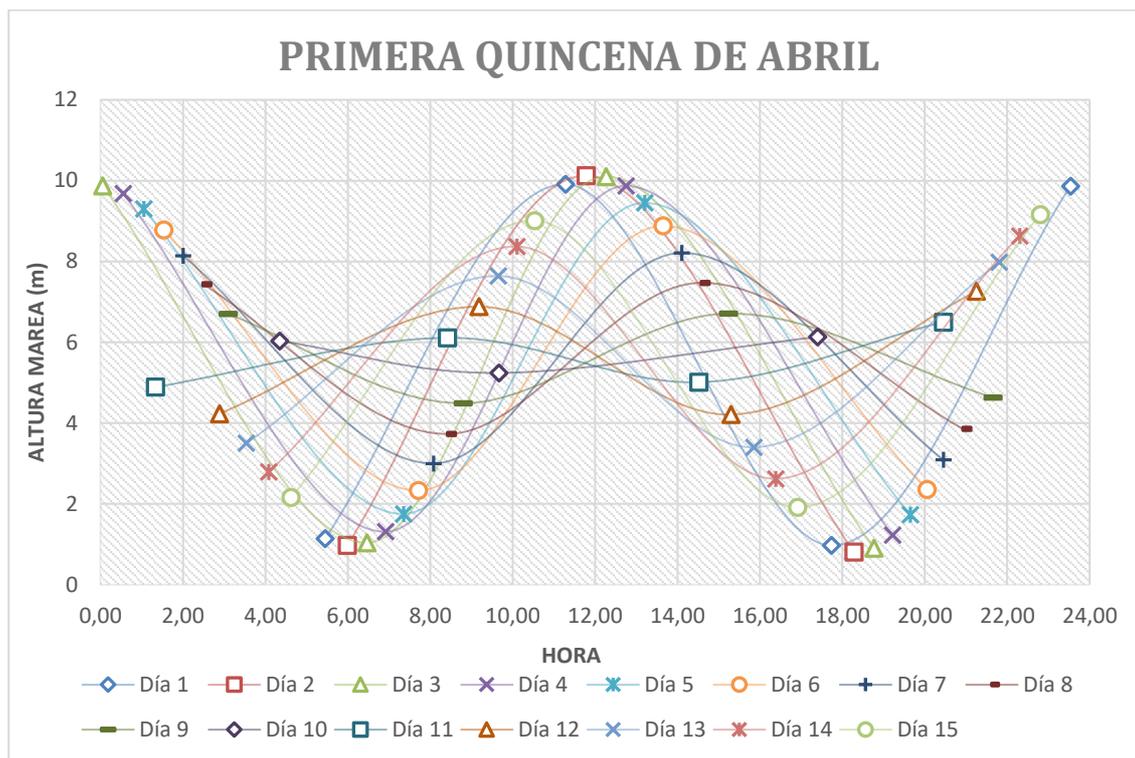


Figura 40. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de abril.

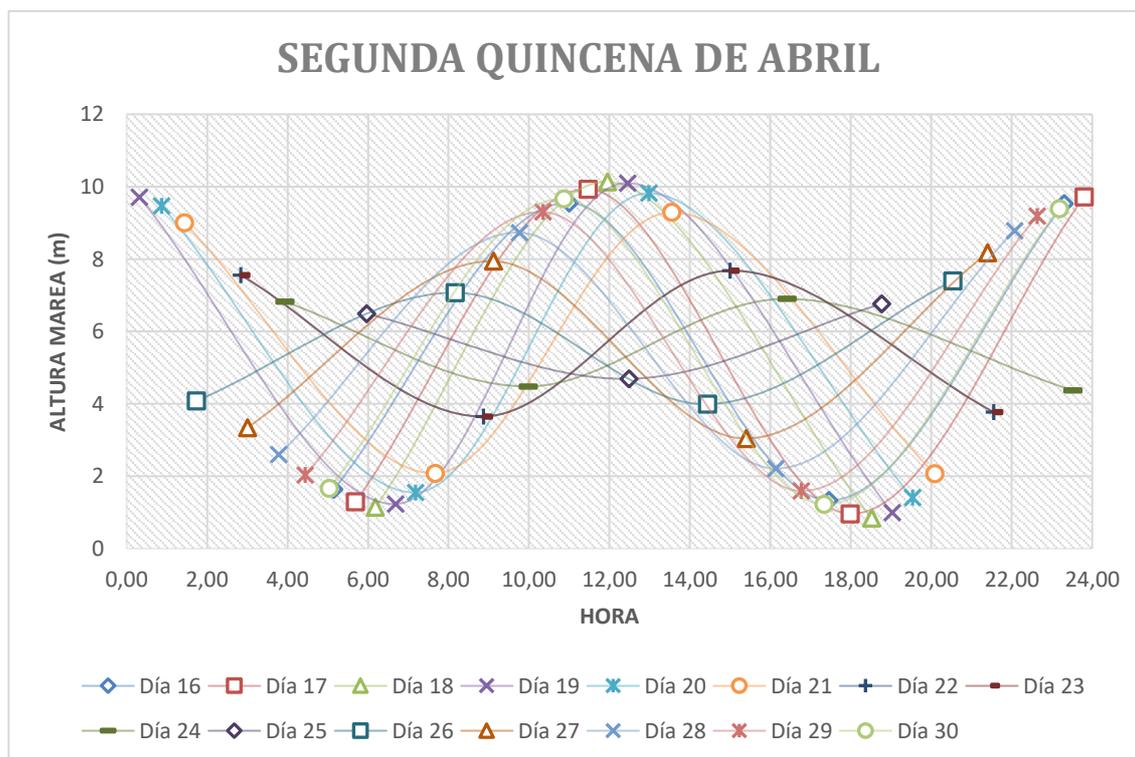


Figura 41. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de abril.

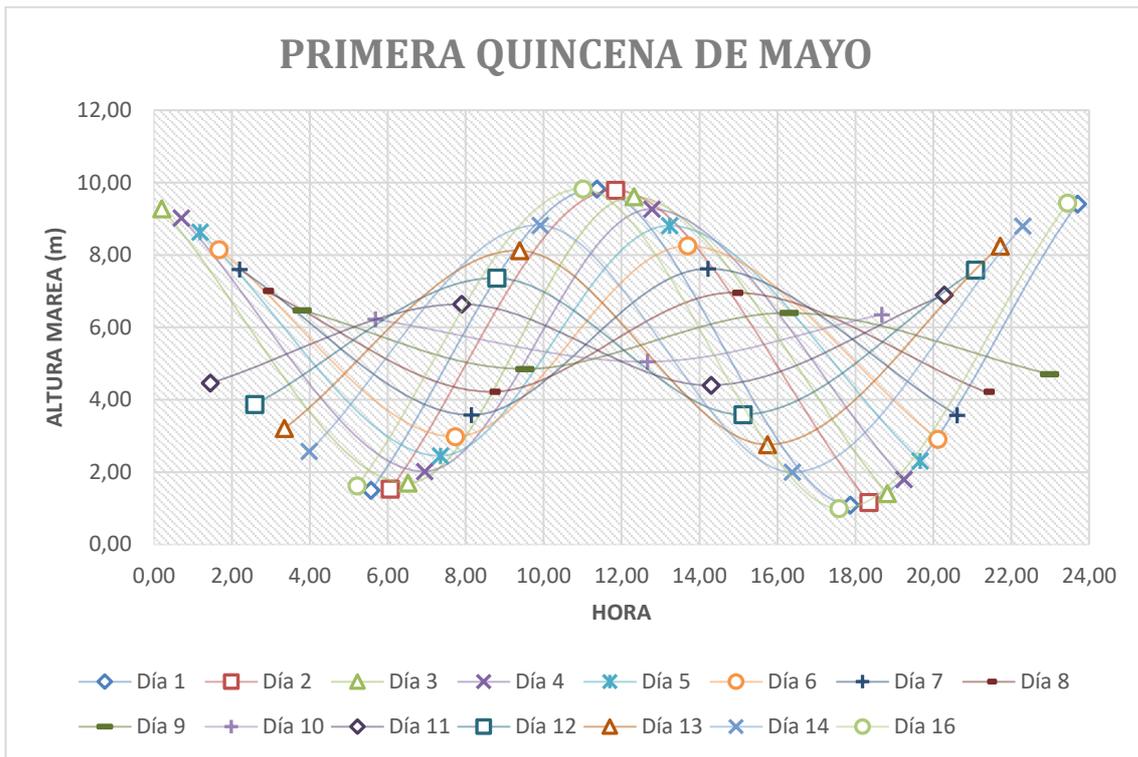


Figura 42. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de mayo.

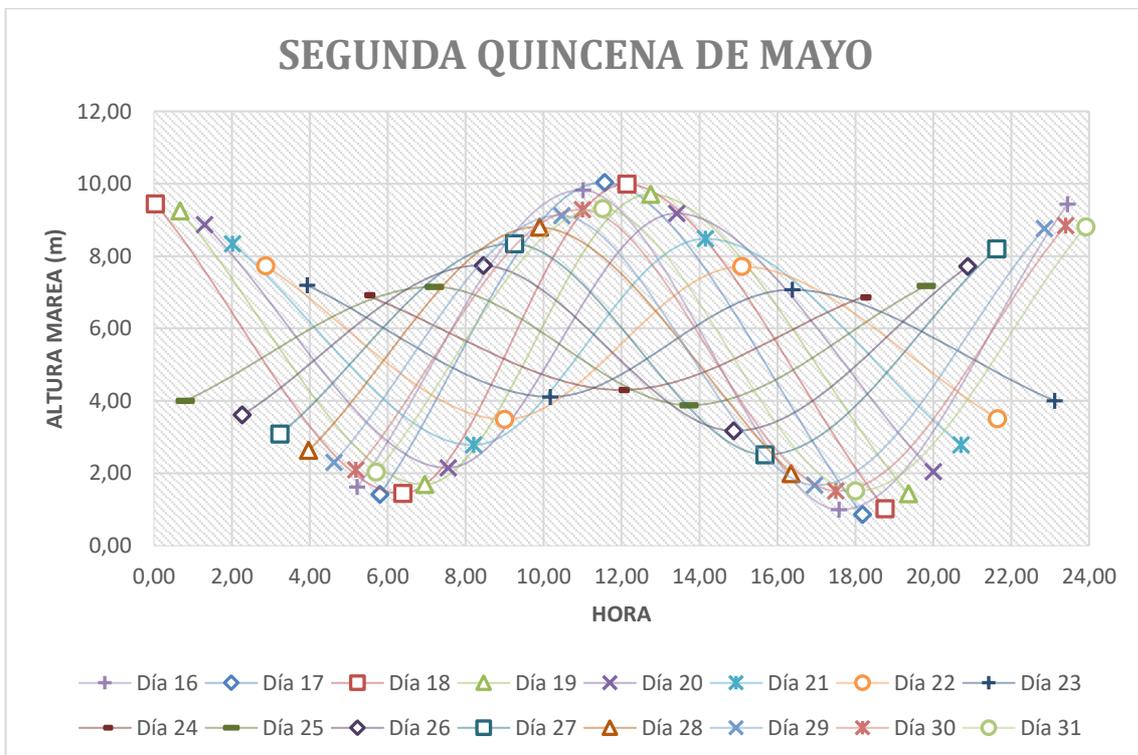


Figura 43. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de mayo.

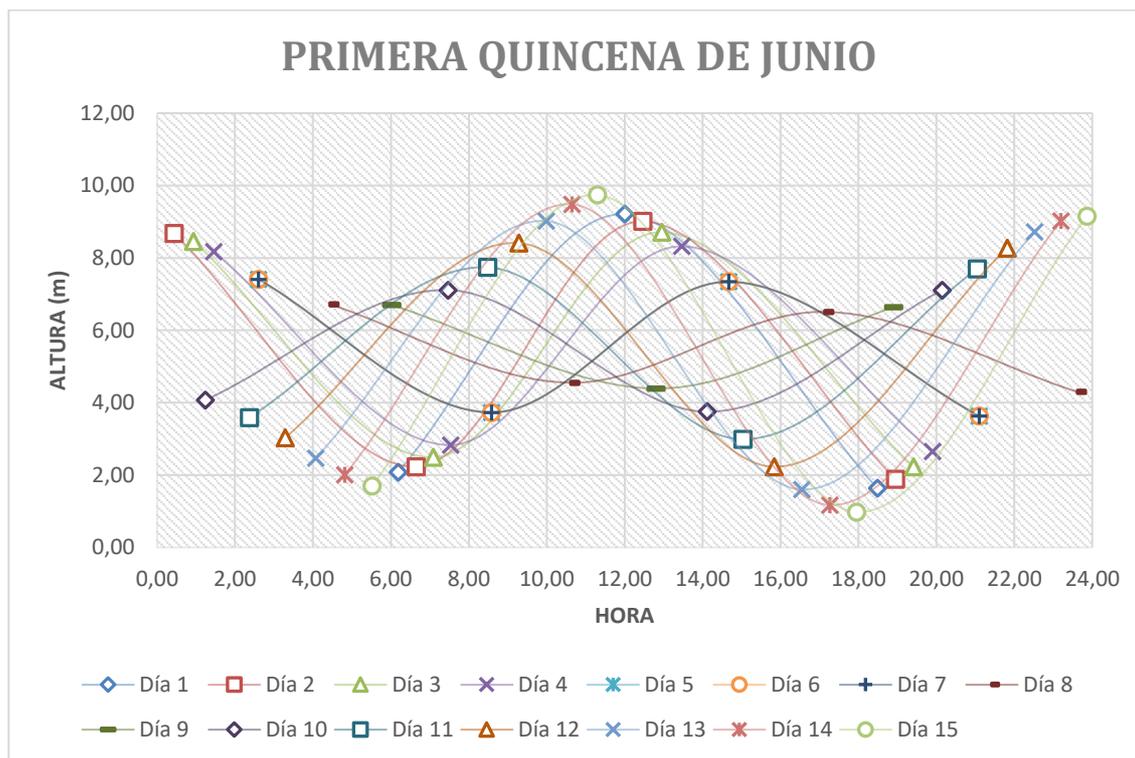


Figura 44. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de junio.

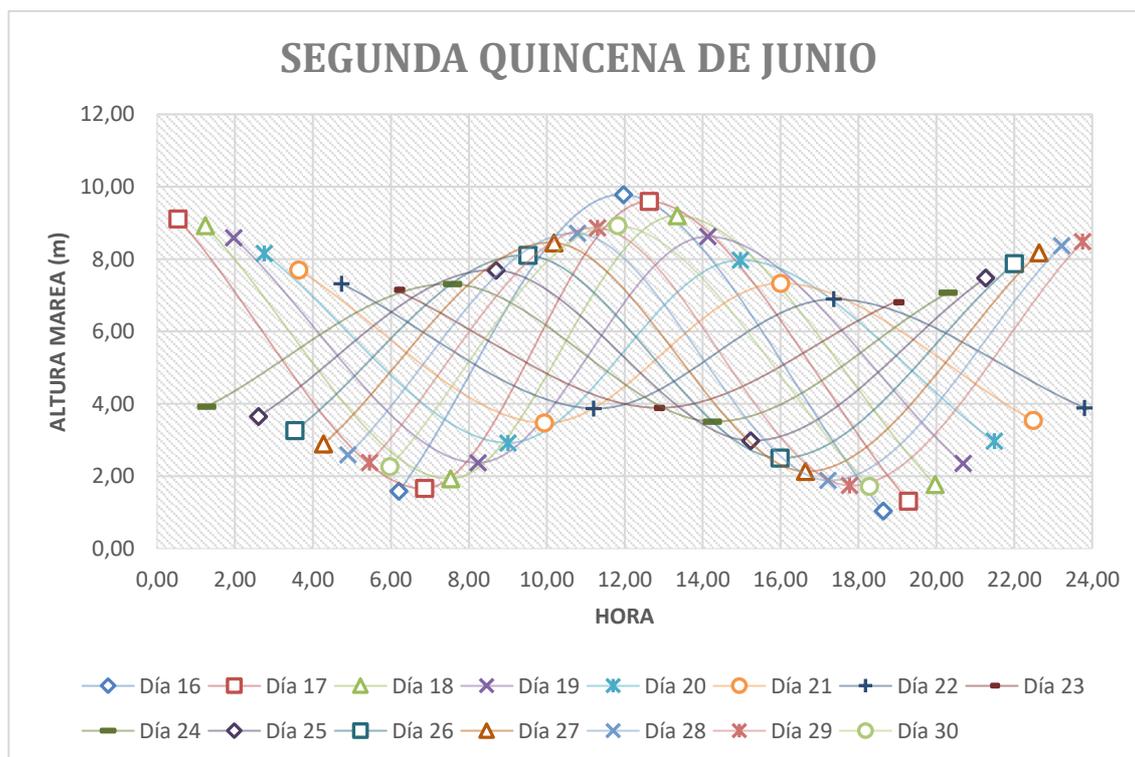


Figura 45. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de junio.

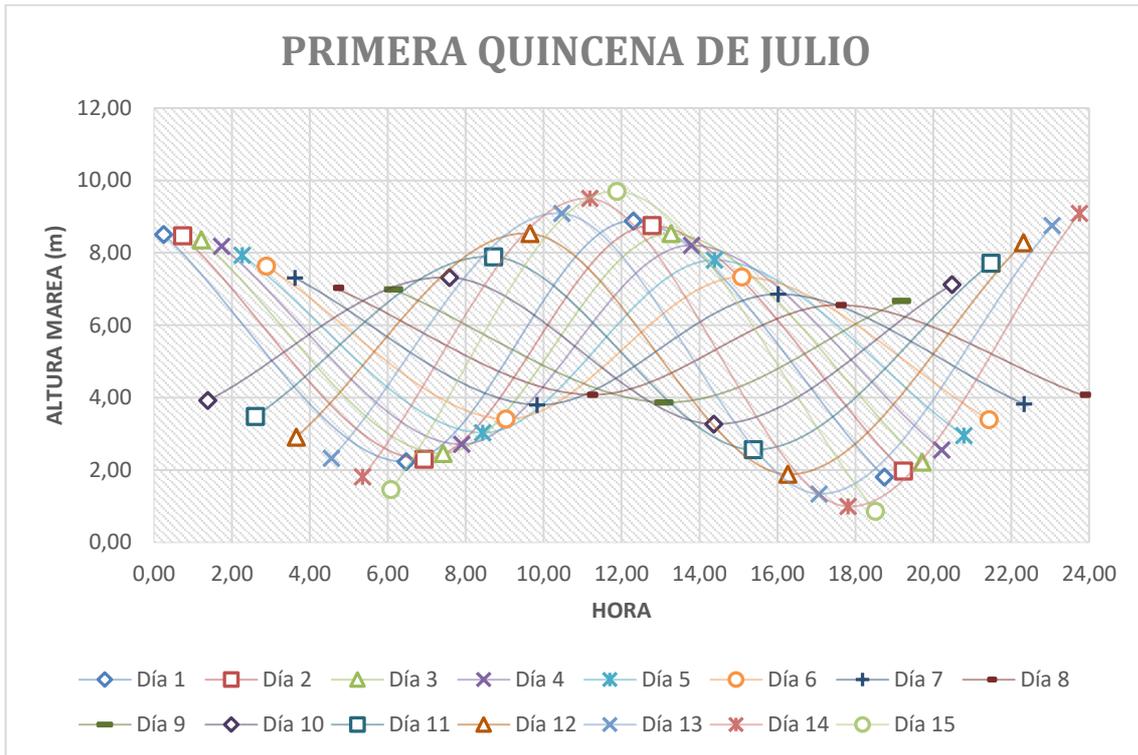


Figura 46. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de julio.

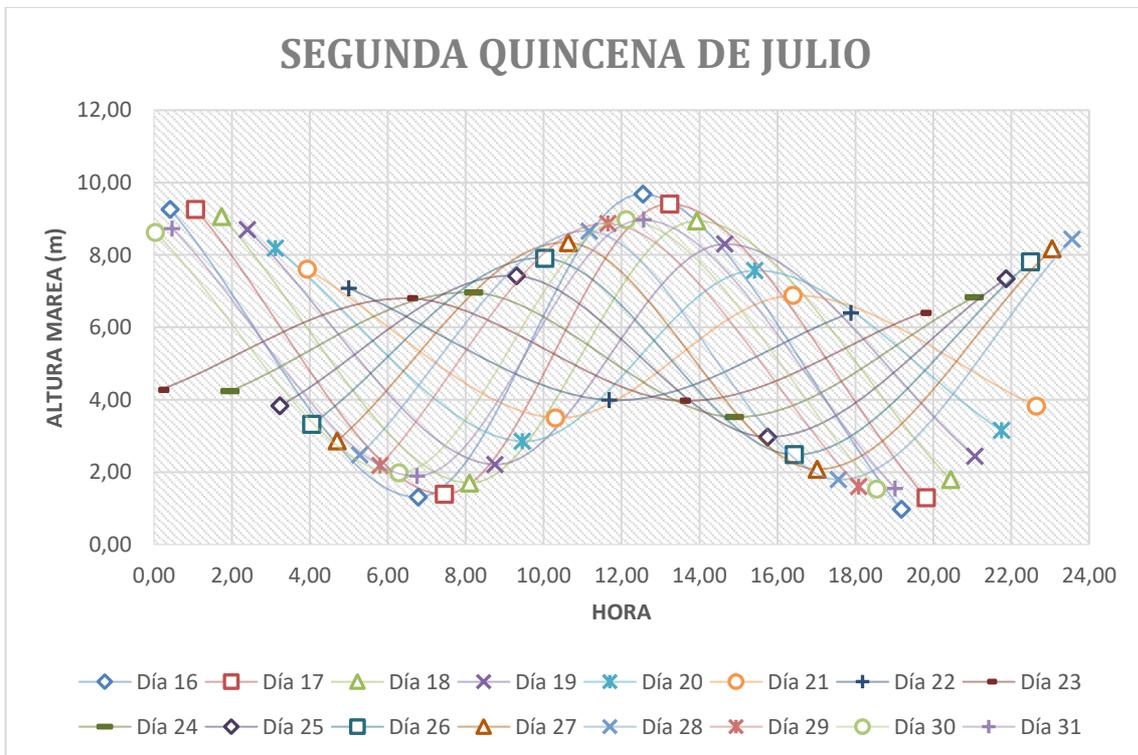


Figura 47. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de julio.

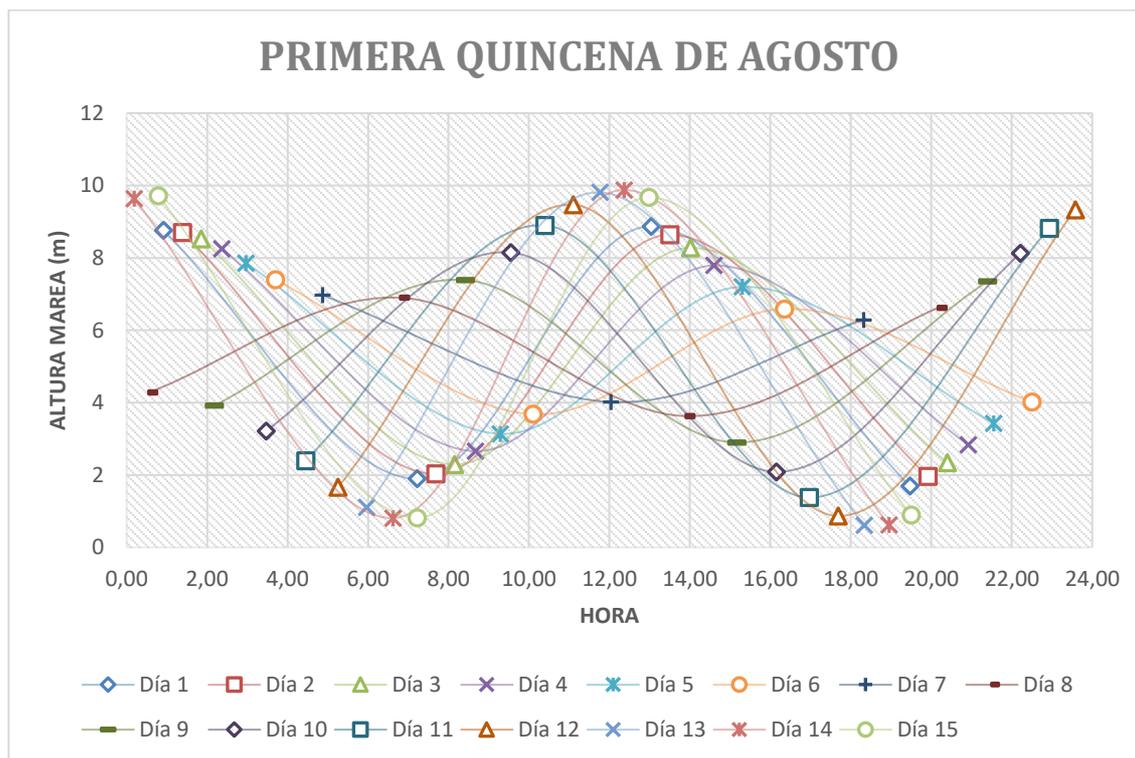


Figura 48. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de agosto.

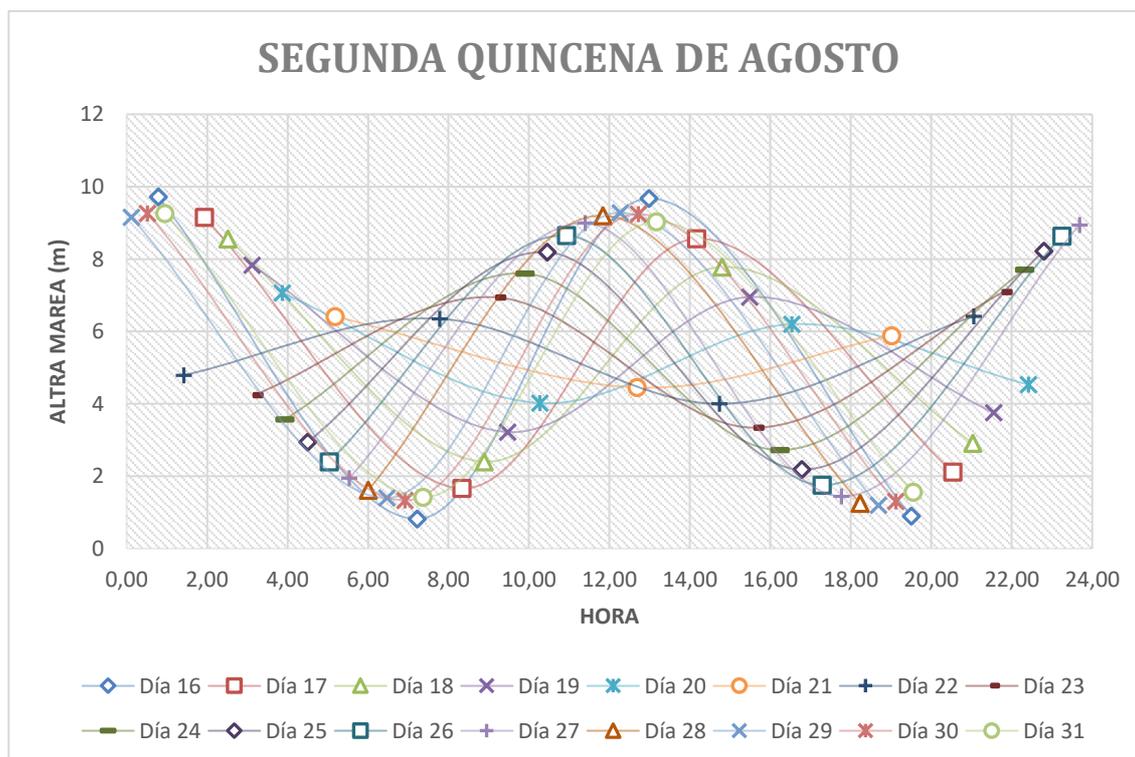


Figura 49. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de agosto.

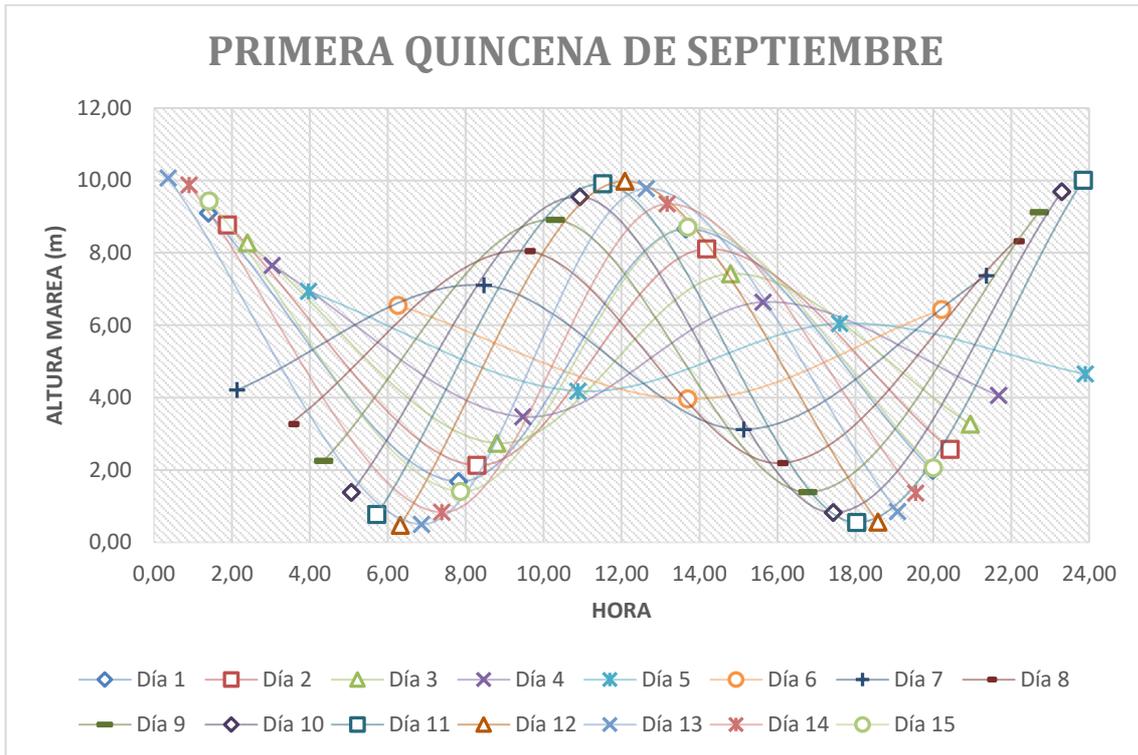


Figura 50. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de septiembre.

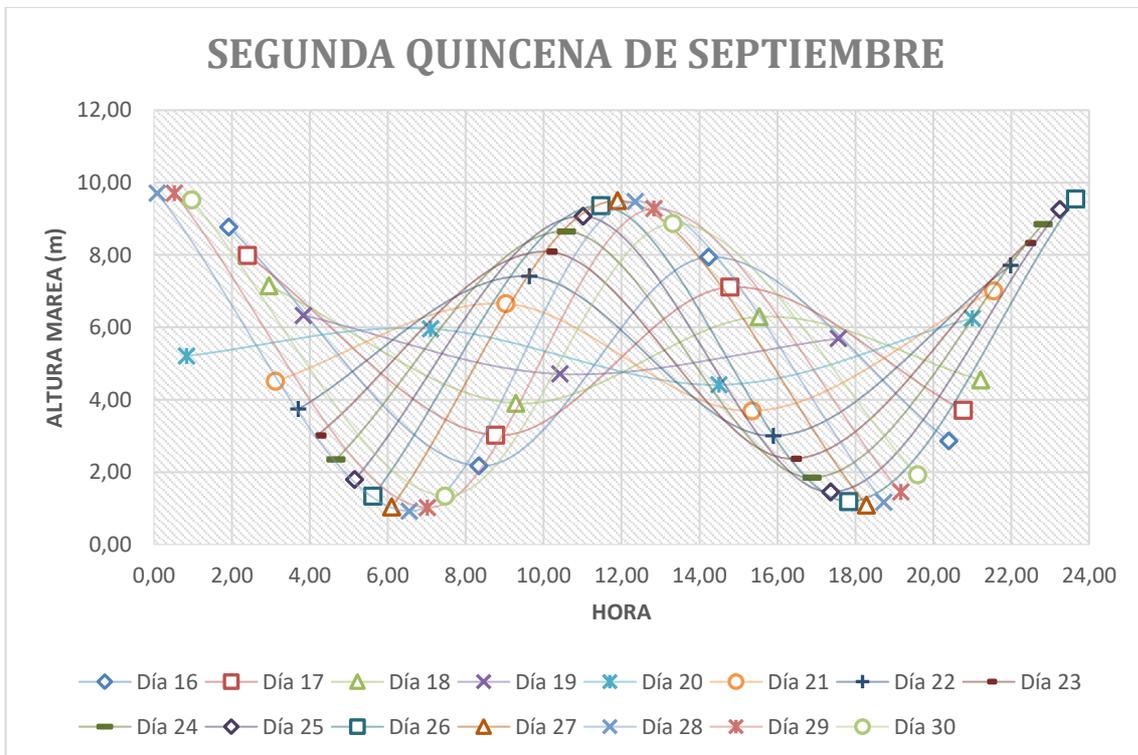


Figura 51. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de septiembre.

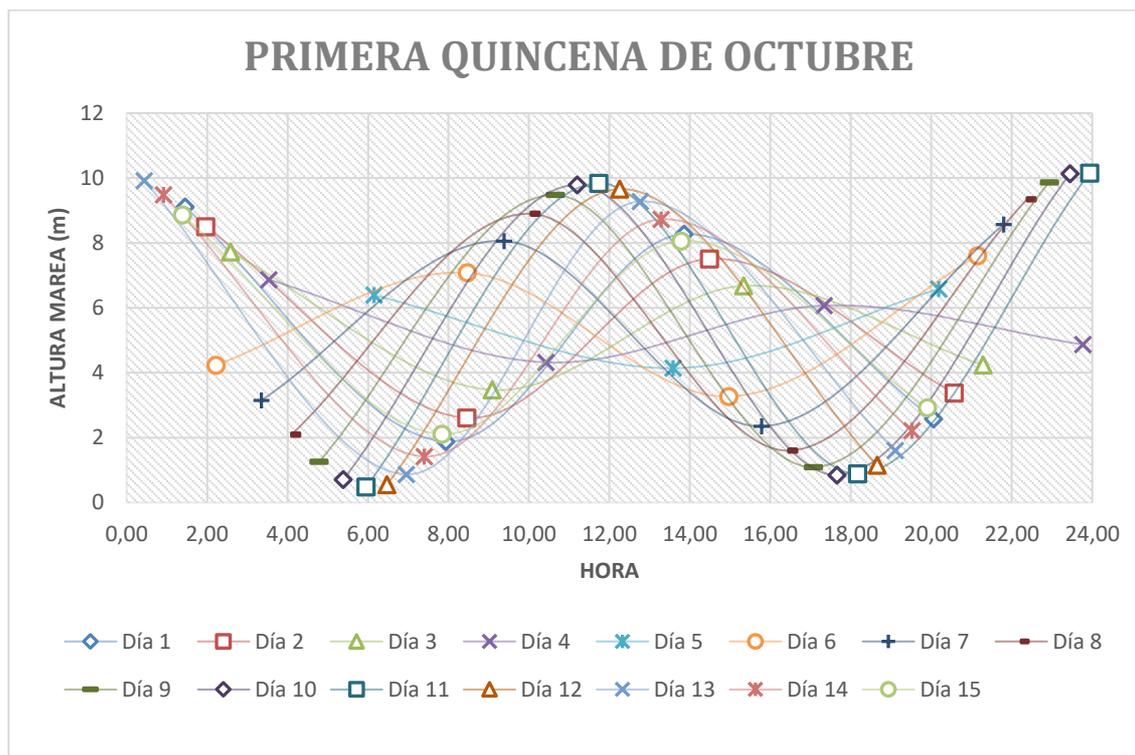


Figura 52. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de octubre.

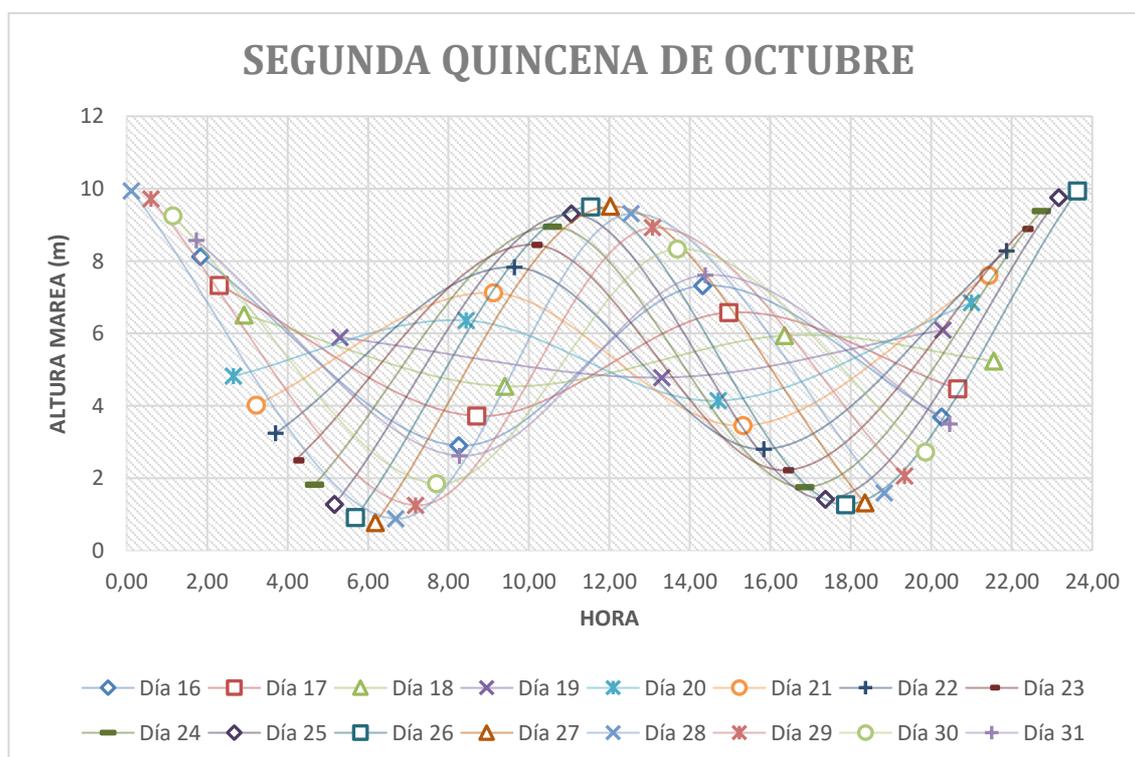


Figura 53. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de octubre.

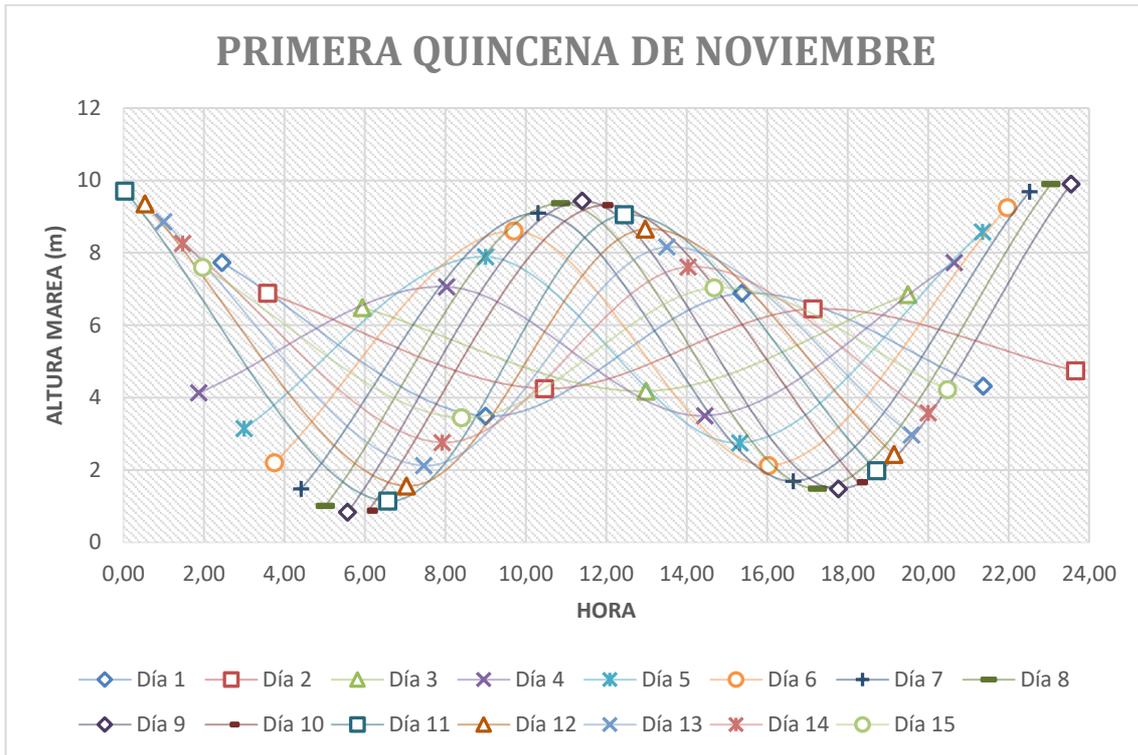


Figura 54. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de noviembre.

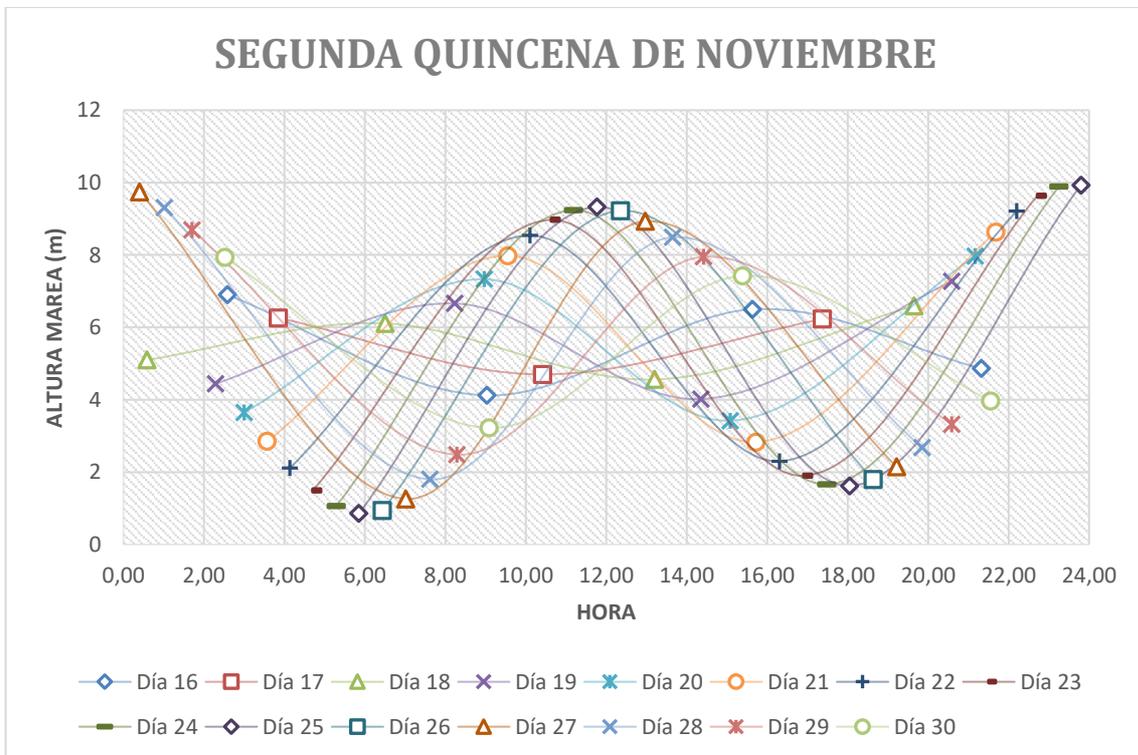


Figura 55. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de noviembre.

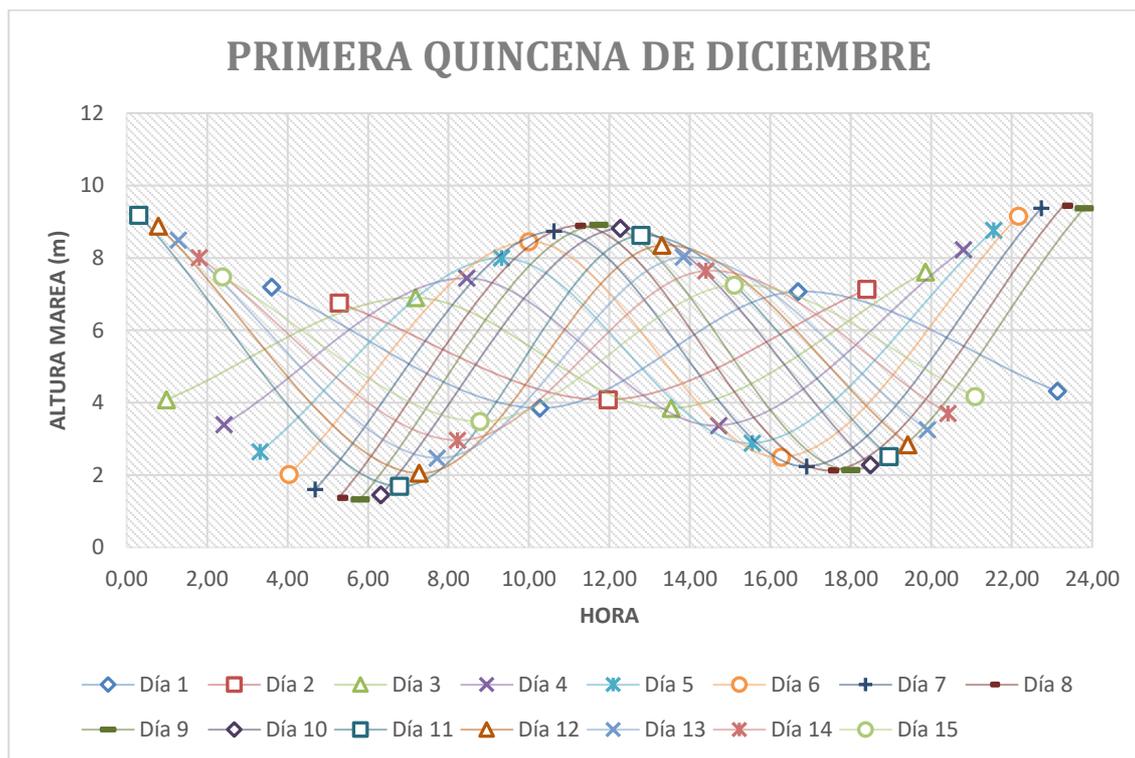


Figura 56. Altura del mar a lo largo de un día en la primera quincena de diciembre.

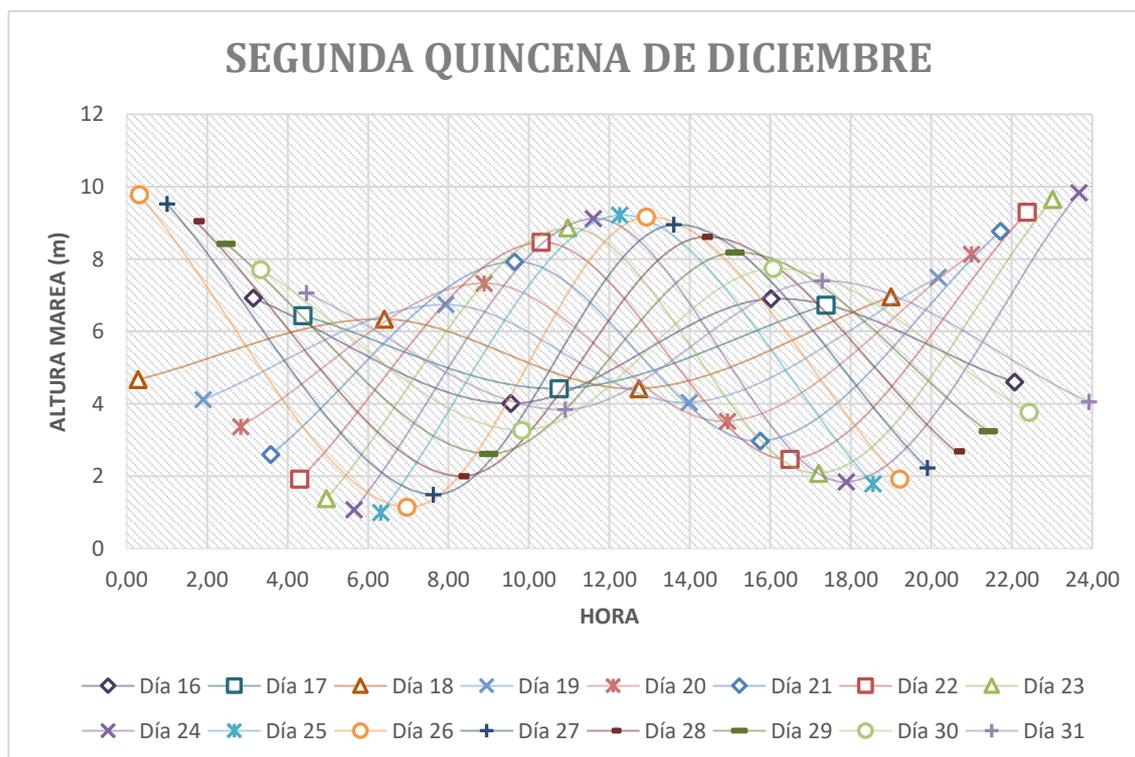


Figura 57. Altura del mar a lo largo de un día en la segunda quincena de diciembre.

ANEXO B: Días modelo de producción

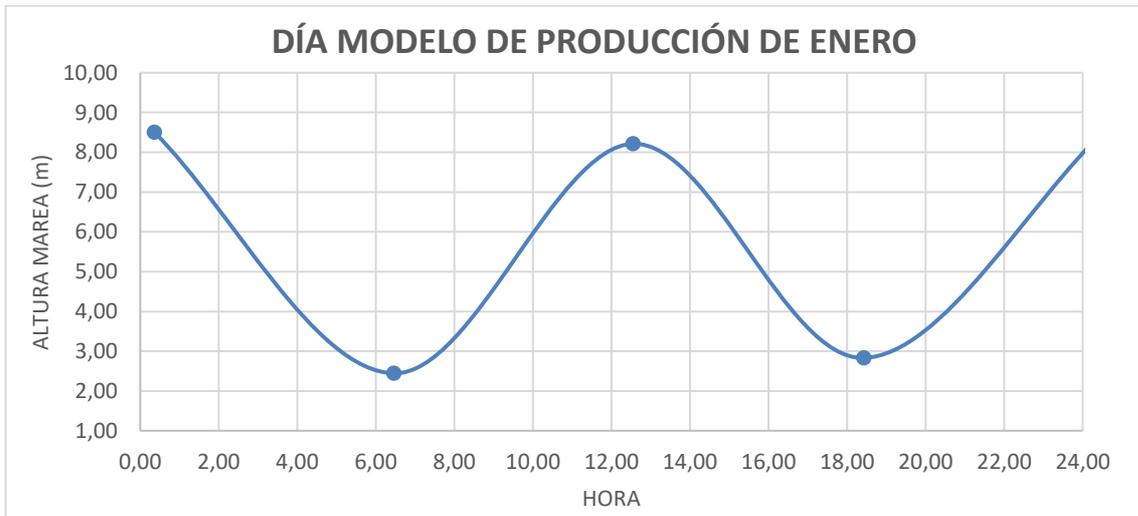


Figura 58. Altura del mar a lo largo del día modelo de enero.

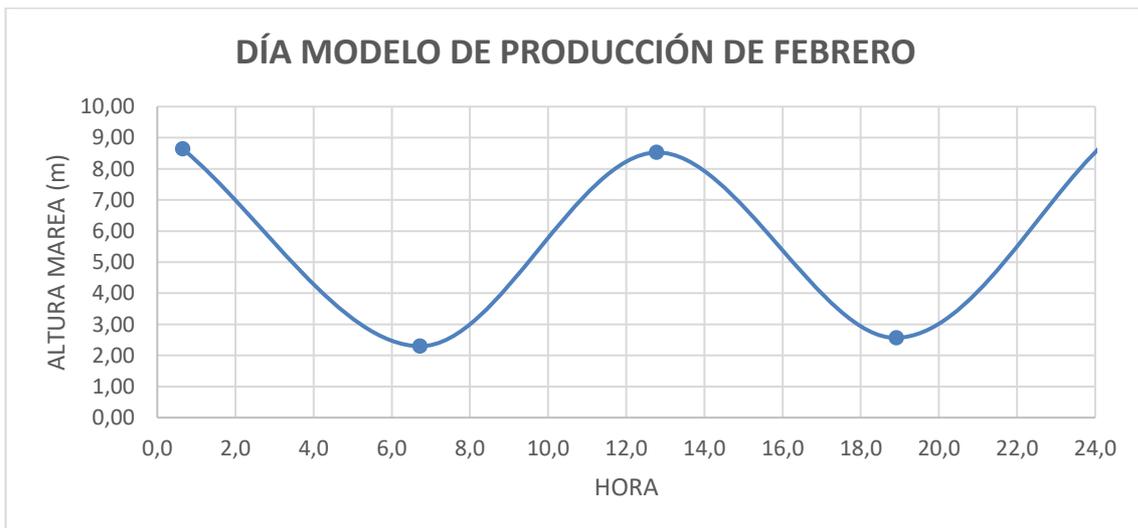


Figura 59. Altura del mar a lo largo del día modelo de febrero.

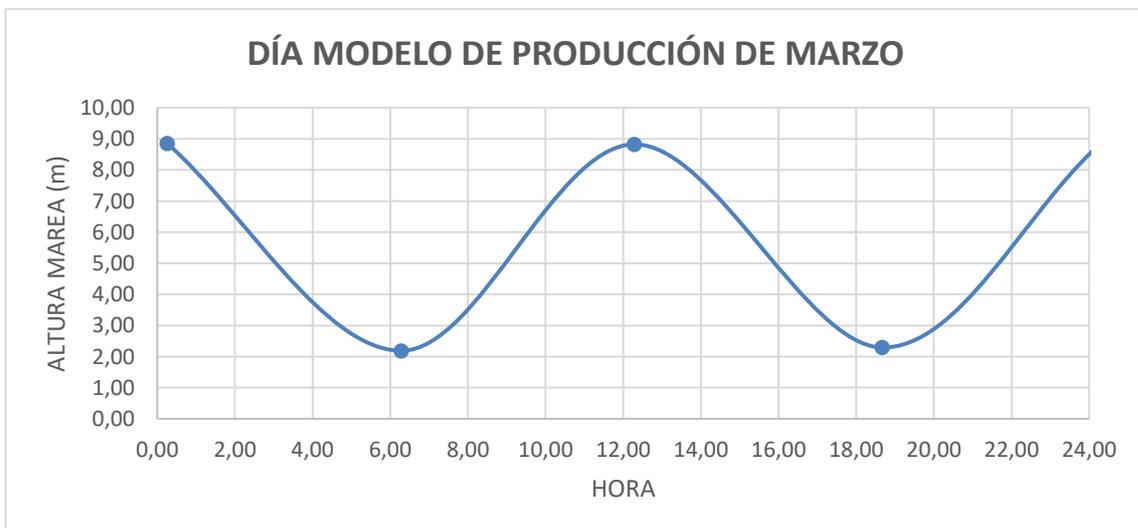


Figura 60. Altura del mar a lo largo del día modelo de marzo.

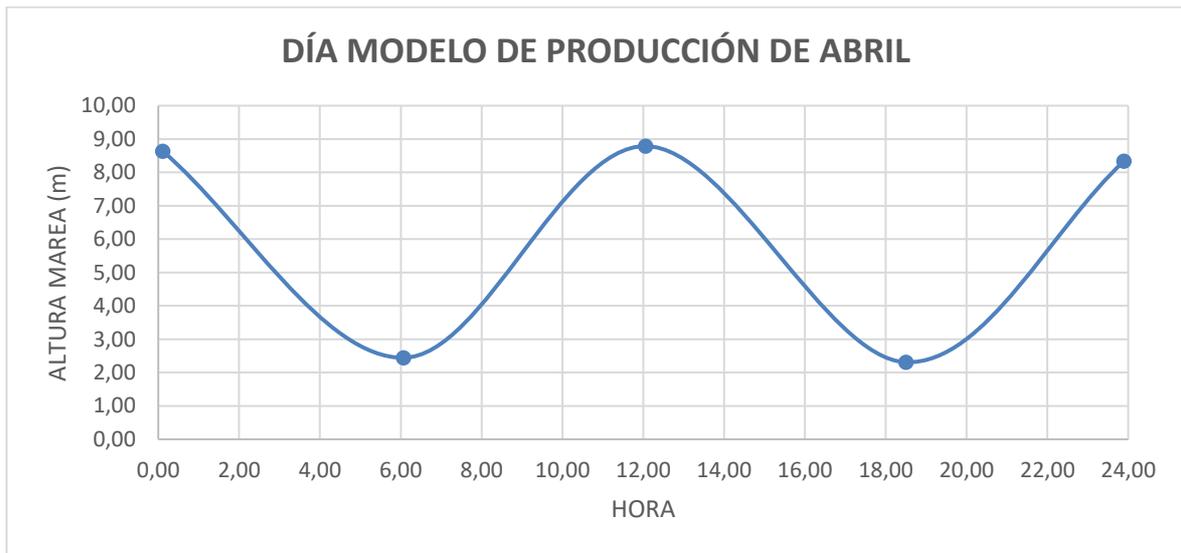


Figura 61. Altura del mar a lo largo del día modelo de abril.

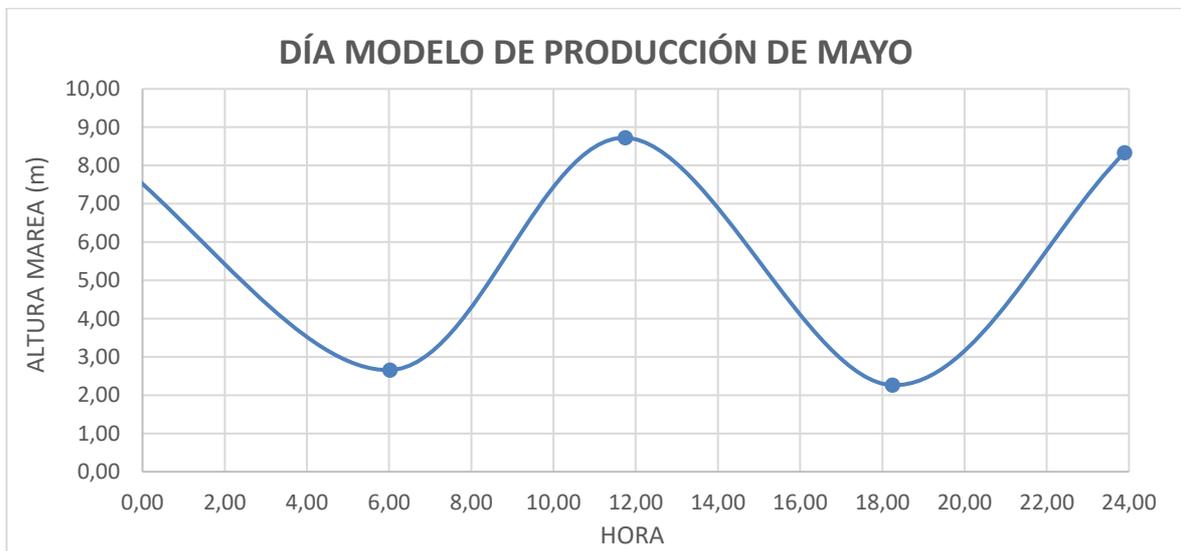


Figura 62. Altura del mar a lo largo del día modelo de mayo.

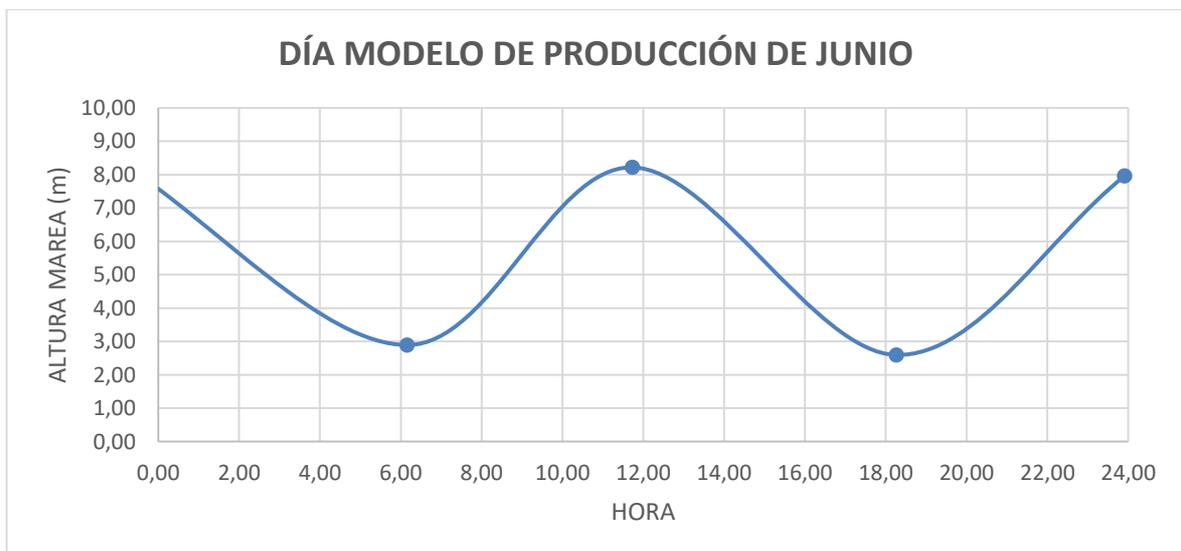


Figura 63. Altura del mar a lo largo del día modelo de junio.

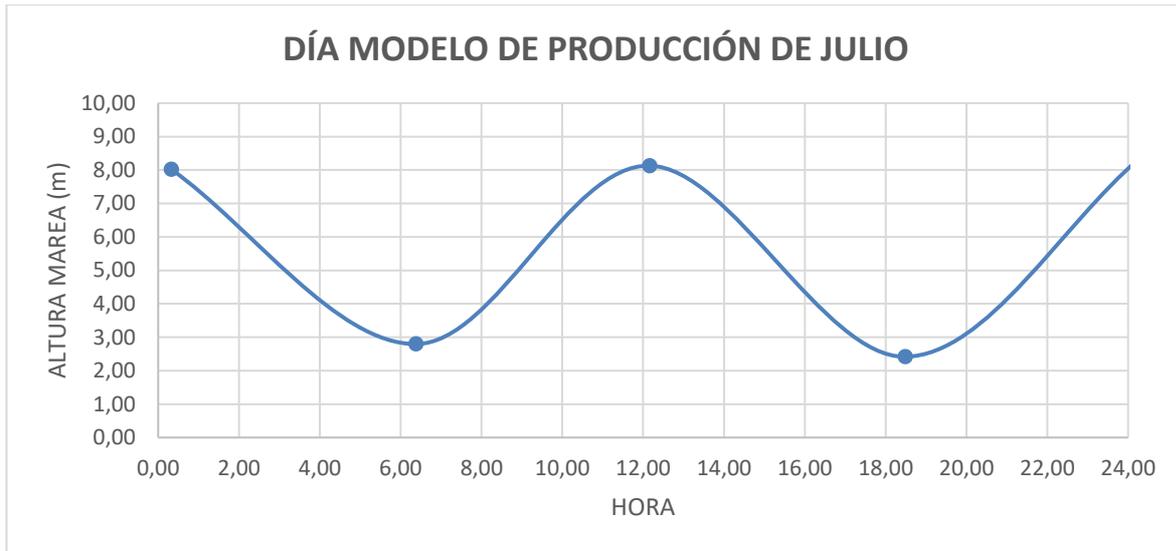


Figura 64. Altura del mar a lo largo del día modelo de julio.

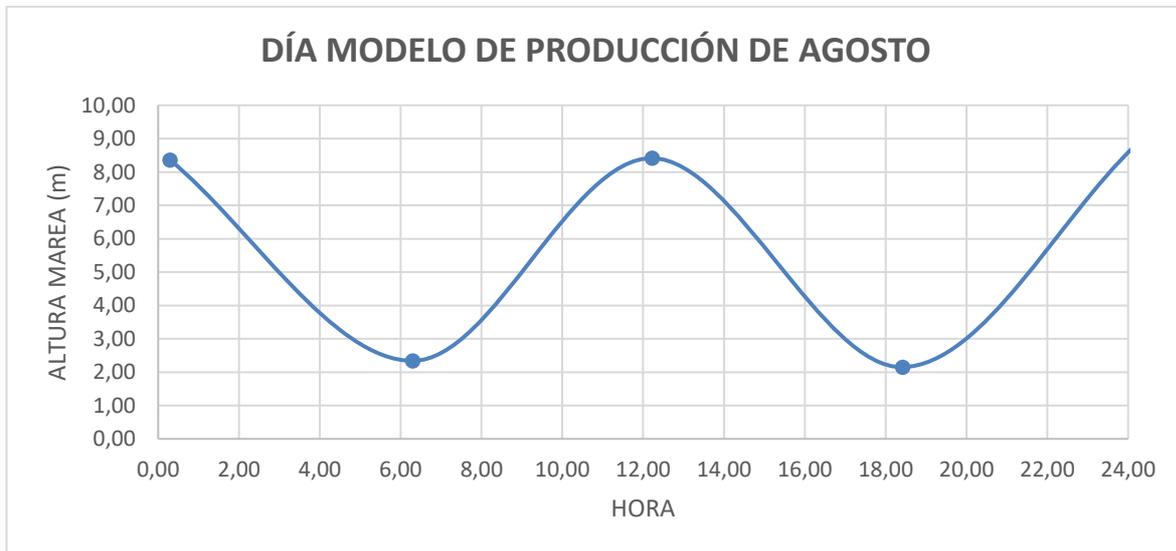


Figura 65. Altura del mar a lo largo del día modelo de agosto.

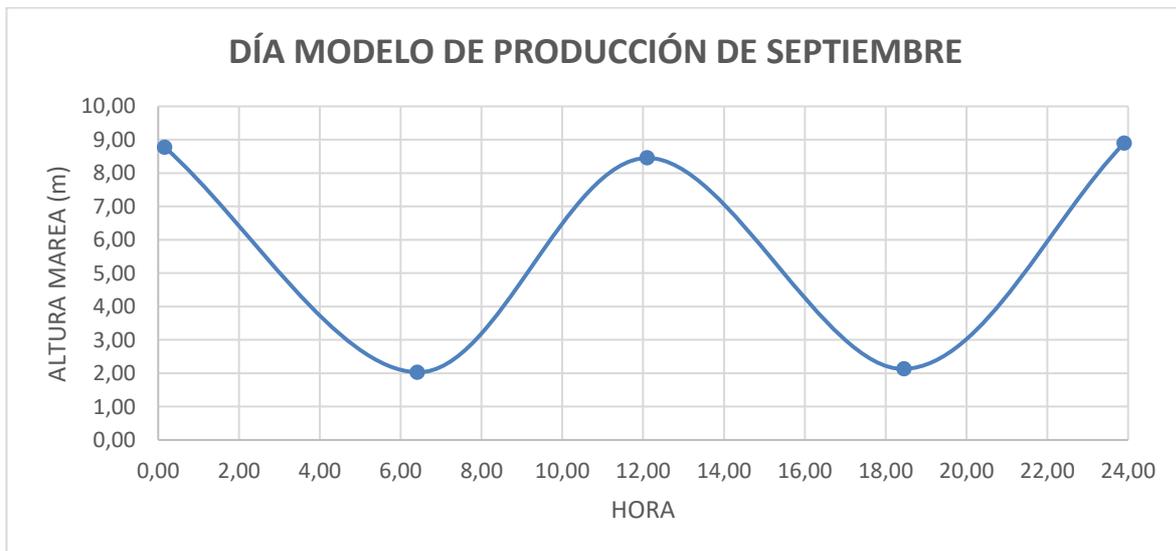


Figura 66. Altura del mar a lo largo del día modelo de septiembre.

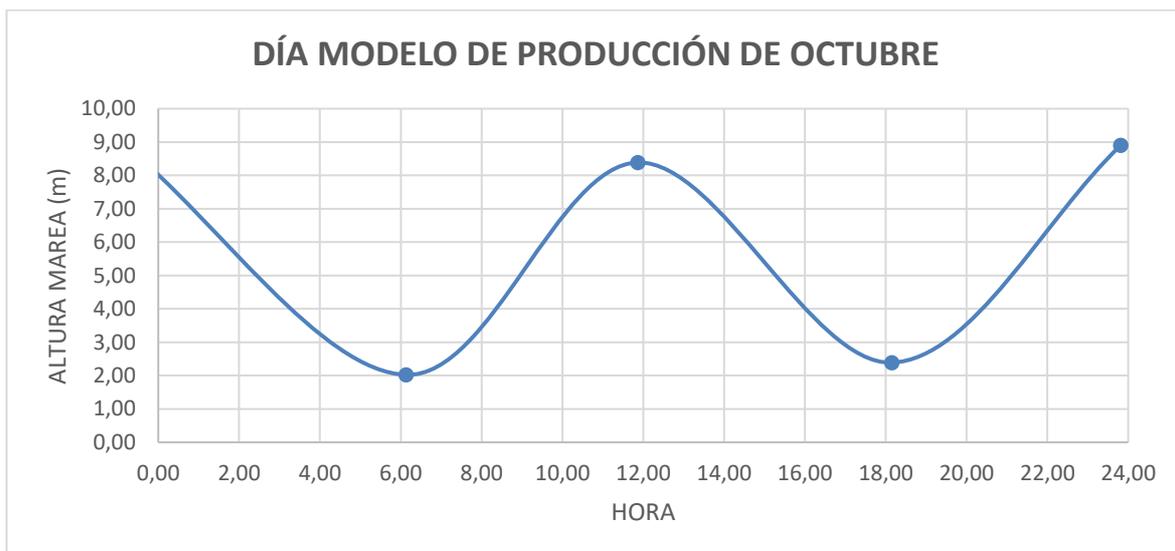


Figura 67. Altura del mar a lo largo del día modelo de octubre.

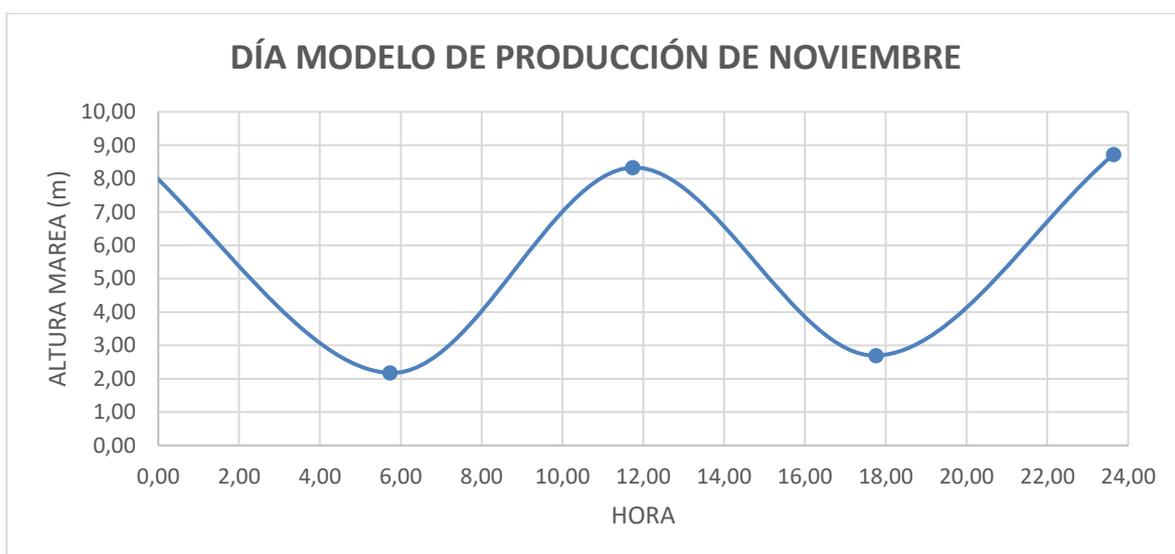


Figura 68. Altura del mar a lo largo del día modelo de noviembre.

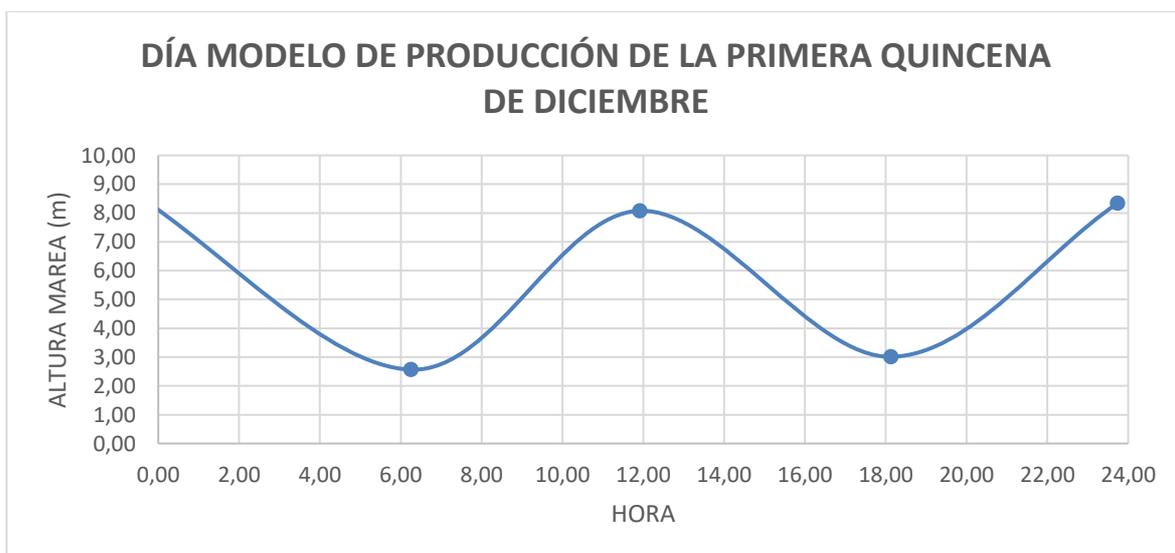


Figura 69. Altura del mar a lo largo del día modelo de la primera quincena de diciembre.

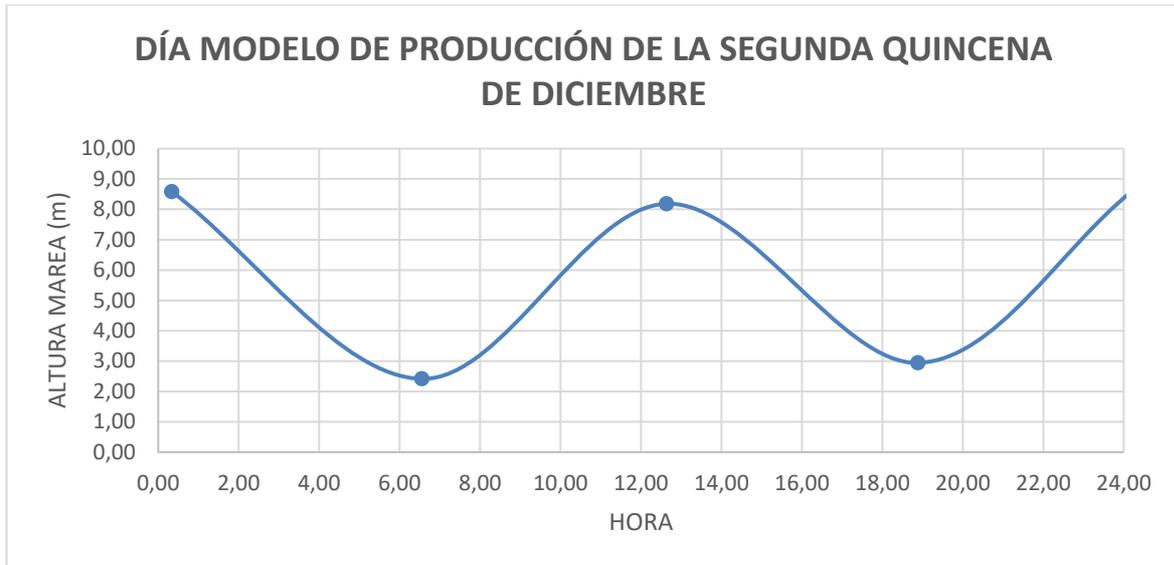


Figura 70. Altura del mar a lo largo del día modelo de la segunda quincena de diciembre.

ANEXO C: Variación del nivel del embalse. Iteraciones**Día modelo de enero**

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,29	Caudal acumulado (hm3)	3,01
Caudal acumulado (m3)	3292139,30	Caudal acumulado (m3)	3011647,67
Nivel embalse inicial (m)	8,58	Nivel embalse inicial (m)	8,25
Área embalse (hm2)	38,37	Área embalse (hm2)	36,50
Área embalse (m2)	383699,22	Área embalse (m2)	365048,20

Tabla 64. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de enero.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m3/s)	Volumen Desalojado-1 (hm3)
1	8,51	8,51	0	0	0	0	0
2	7,25	8,51	1,26	0	0	0	0
3	5,9	8,51	2,61	1	6,79	85,39	0,31
4	4,6	8,51	3,91	1	8,32	104,51	0,38
5	3,5	8,51	5,01	1	9,41	118,30	0,43
6	2,75	8,51	5,76	1	10,09	126,84	0,46
7	2,45	8,51	6,06	1	10,35	130,11	0,47
8	2,9	8,51	5,61	1	9,96	125,18	0,45
9	3,9	8,51	4,61	1	9,03	113,48	0,41
10	5,25	8,51	3,26	1	7,59	95,43	0,34
11	6,6	8,51	1,91	0	0	0	0
12	7,75	8,51	0,76	0	0	0	0
13	8,21	8,21	0	0	0	0	0
14	7,9	8,21	0,31	0	0	0	0
15	6,9	8,21	1,31	0	0	0	0
16	5,5	8,21	2,71	1	6,92	87,01	0,31
17	4,1	8,21	4,11	1	8,53	107,15	0,39
18	3,1	8,21	5,11	1	9,51	119,47	0,43
19	2,83	8,21	5,38	1	9,76	122,59	0,44
20	3,25	8,21	4,96	1	9,37	117,71	0,42
21	4	8,21	4,21	1	8,63	108,44	0,39
22	5	8,21	3,21	1	7,54	94,69	0,34
23	6,25	8,21	1,96	0	0	0	0
24	7,4	8,21	0,81	0	0	0	0

Tabla 65. Primera iteración. Día modelo de producción de enero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm3)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m3/s)	Volumen Desalojado-2 (hm3)
1	8,51	3,63	8,51	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,63	8,51	1,26	0	0	0	0
3	5,9	3,63	8,51	2,61	1	6,79	85,39	0,31
4	4,6	3,32	7,79	3,19	1	7,51	94,37	0,34
5	3,5	2,94	6,91	3,41	1	7,76	97,53	0,35
6	2,75	2,52	5,91	3,16	1	7,47	93,89	0,34
7	2,45	2,06	4,83	2,38	1	6,49	81,60	0,29
8	2,9	1,59	3,73	0,83	0	0	0	0
9	3,9	1,14	2,68	-1,22	0	0	0	0
10	5,25	0,73	1,72	-3,53	0	0	0	0
11	6,6	0,39	0,91	-5,69	0	0	0	0
12	7,75	0,39	0,91	-6,84	0	0	0	0
13	8,21	3,50	8,21	0,00	0	0	0	0
14	7,9	3,50	8,21	0,31	0	0	0	0
15	6,9	3,50	8,21	1,31	0	0	0	0
16	5,5	3,50	8,21	2,71	1	6,92	87,01	0,31
17	4,1	3,18	7,47	3,37	1	7,73	97,09	0,35
18	3,1	2,80	6,57	3,47	1	7,83	98,44	0,35
19	2,83	2,37	5,56	2,73	1	6,95	87,32	0,31
20	3,25	1,93	4,52	1,27	0	0	0	0
21	4	1,50	3,53	-0,47	0	0	0	0
22	5	1,11	2,61	-2,39	0	0	0	0
23	6,25	0,77	1,81	-4,44	0	0	0	0
24	7,4	0,77	1,81	-5,59	0	0	0	0

Tabla 66. Segunda iteración. Día modelo de producción de enero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	8,51	3,63	8,51	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,63	8,51	1,26	0	0	0	0
3	5,9	3,63	8,51	2,61	1	6,79	85,39	0,31
4	4,6	3,32	7,79	3,19	1	7,51	94,37	0,34
5	3,5	2,98	6,99	3,49	1	7,86	98,75	0,36
6	2,75	2,63	6,17	3,42	1	7,77	97,69	0,35
7	2,45	2,29	5,37	2,92	1	7,19	90,37	0,33
8	2,9	2,00	4,68	1,78	0	0	0	0
9	3,9	2,00	4,68	0,78	0	0	0	0
10	5,25	2,00	4,68	-0,57	0	0	0	0
11	6,6	2,00	4,68	-1,92	0	0	0	0
12	7,75	2,00	4,68	-3,07	0	0	0	0
13	8,21	3,50	8,21	0,00	0	0	0	0
14	7,9	3,50	8,21	0,31	0	0	0	0
15	6,9	3,50	8,21	1,31	0	0	0	0
16	5,5	3,50	8,21	2,71	1	6,92	87,01	0,31
17	4,1	3,18	7,47	3,37	1	7,73	97,09	0,35
18	3,1	2,83	6,65	3,55	1	7,93	99,64	0,36
19	2,83	2,48	5,82	2,99	1	7,28	91,43	0,33
20	3,25	2,17	5,08	1,83	0	0	0	0
21	4	2,17	5,08	1,08	0	0	0	0
22	5	2,17	5,08	0,08	0	0	0	0
23	6,25	2,17	5,08	-1,17	0	0	0	0
24	7,4	2,17	5,08	-2,32	0	0	0	0

Tabla 67. Tercera iteración. Día modelo de producción de enero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	8,51	3,63	8,51	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,63	8,51	1,26	0	0	0	0
3	5,9	3,63	8,51	2,61	1	6,79	85,39	0,31
4	4,6	3,32	7,79	3,19	1	7,51	94,37	0,34
5	3,5	2,98	6,99	3,49	1	7,86	98,75	0,36
6	2,75	2,62	6,16	3,41	1	7,76	97,55	0,35
7	2,45	2,27	5,33	2,88	1	7,14	89,71	0,32
8	2,9	1,95	4,57	1,67	0	0	0	0
9	3,9	1,95	4,57	0,67	0	0	0	0
10	5,25	1,95	4,57	-0,68	0	0	0	0
11	6,6	1,95	4,57	-2,03	0	0	0	0
12	7,75	1,95	4,57	-3,18	0	0	0	0
13	8,21	3,50	8,21	0,00	0	0	0	0
14	7,9	3,50	8,21	0,31	0	0	0	0
15	6,9	3,50	8,21	1,31	0	0	0	0
16	5,5	3,50	8,21	2,71	1	6,92	87,01	0,31
17	4,1	3,18	7,47	3,37	1	7,73	97,09	0,35
18	3,1	2,83	6,65	3,55	1	7,93	99,64	0,36
19	2,83	2,48	5,81	2,98	1	7,26	91,27	0,33
20	3,25	2,15	5,04	1,79	0	0	0	0
21	4	2,15	5,04	1,04	0	0	0	0
22	5	2,15	5,04	0,04	0	0	0	0
23	6,25	2,15	5,04	-1,21	0	0	0	0
24	7,4	2,15	5,04	-2,36	0	0	0	0

Tabla 68. Cuarta iteración. Día modelo de producción de enero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	8,51	3,63	8,51	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,63	8,51	1,26	0	0	0	0
3	5,9	3,63	8,51	2,61	1	6,79	85,39	0,31
4	4,6	3,32	7,79	3,19	1	7,51	94,37	0,34
5	3,5	2,98	6,99	3,49	1	7,86	98,75	0,36
6	2,75	2,62	6,16	3,41	1	7,76	97,55	0,35
7	2,45	2,27	5,33	2,88	1	7,14	89,73	0,32
8	2,9	1,95	4,57	1,67	0	0	0	0
9	3,9	1,95	4,57	0,67	0	0	0	0
10	5,25	1,95	4,57	-0,68	0	0	0	0
11	6,6	1,95	4,57	-2,03	0	0	0	0
12	7,75	1,95	4,57	-3,18	0	0	0	0
13	8,21	3,50	8,21	0,00	0	0	0	0
14	7,9	3,50	8,21	0,31	0	0	0	0
15	6,9	3,50	8,21	1,31	0	0	0	0
16	5,5	3,50	8,21	2,71	1	6,92	87,01	0,31
17	4,1	3,18	7,47	3,37	1	7,73	97,09	0,35
18	3,1	2,83	6,65	3,55	1	7,93	99,64	0,36
19	2,83	2,48	5,81	2,98	1	7,26	91,27	0,33
20	3,25	2,15	5,04	1,79	0	0	0	0
21	4	2,15	5,04	1,04	0	0	0	0
22	5	2,15	5,04	0,04	0	0	0	0
23	6,25	2,15	5,04	-1,21	0	0	0	0
24	7,4	2,15	5,04	-2,36	0	0	0	0

Tabla 69. Quinta iteración. Día modelo de producción de enero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	8,51	3,63	8,51	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,63	8,51	1,26	0	0	0	0
3	5,9	3,63	8,51	2,61	1	6,79	85,39	0,31
4	4,6	3,32	7,79	3,19	1	7,51	94,37	0,34
5	3,5	2,98	6,99	3,49	1	7,86	98,75	0,36
6	2,75	2,62	6,16	3,41	1	7,76	97,55	0,35
7	2,45	2,27	5,33	2,88	1	7,14	89,73	0,32
8	2,9	1,95	4,57	1,67	0	0	0	0
9	3,9	1,95	4,57	0,67	0	0	0	0
10	5,25	1,95	4,57	-0,68	0	0	0	0
11	6,6	1,95	4,57	-2,03	0	0	0	0
12	7,75	1,95	4,57	-3,18	0	0	0	0
13	8,21	3,50	8,21	0,00	0	0	0	0
14	7,9	3,50	8,21	0,31	0	0	0	0
15	6,9	3,50	8,21	1,31	0	0	0	0
16	5,5	3,50	8,21	2,71	1	6,92	87,01	0,31
17	4,1	3,18	7,47	3,37	1	7,73	97,09	0,35
18	3,1	2,83	6,65	3,55	1	7,93	99,64	0,36
19	2,83	2,48	5,81	2,98	1	7,26	91,27	0,33
20	3,25	2,15	5,04	1,79	0	0	0	0
21	4	2,15	5,04	1,04	0	0	0	0
22	5	2,15	5,04	0,04	0	0	0	0
23	6,25	2,15	5,04	-1,21	0	0	0	0
24	7,4	2,15	5,04	-2,36	0	0	0	0

Tabla 70. Sexta iteración. Día modelo de producción de enero.

Día modelo de febrero

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,56	Caudal acumulado (hm3)	2,41
Caudal acumulado (m3)	3562916,58	Caudal acumulado (m3)	2412697,22
Nivel embalse inicial (m)	8,64	Nivel embalse inicial (m)	8,53
Área embalse (hm2)	41,24	Área embalse (hm2)	28,28
Área embalse (m2)	412374,60	Área embalse (m2)	282848,44

Tabla 71. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de febrero.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m ³ /s)	Volumen Desalojado-1 (hm ³)
1	8,64	8,64	0,00	0	0	0	0
2	7,75	8,64	0,89	0	0	0	0
3	6,25	8,64	2,39	1	6,50	81,71	0,29
4	5	8,64	3,64	1	8,02	100,84	0,36
5	3,75	8,64	4,89	1	9,30	116,87	0,42
6	2,75	8,64	5,89	1	10,21	128,27	0,46
7	2,3	8,64	6,34	1	10,59	133,08	0,48
8	2,5	8,64	6,14	1	10,42	130,96	0,47
9	3,5	8,64	5,14	1	9,54	119,82	0,43
10	5	8,64	3,64	1	8,02	100,84	0,36
11	6,5	8,64	2,14	1	6,15	77,32	0,28
12	7,75	8,64	0,89	0	0	0	0
13	8,53	8,53	0,00	0	0	0	0
14	8,4	8,53	0,13	0	0	0	0
15	7,75	8,53	0,78	0	0	0	0
16	6,75	8,53	1,78	0	0	0	0
17	5,5	8,53	3,03	1	7,32	92,00	0,33
18	4,25	8,53	4,28	1	8,70	109,34	0,39
19	2,57	8,53	5,96	1	10,27	129,03	0,46
20	3,5	8,53	5,03	1	9,43	118,53	0,43
21	3,5	8,53	5,03	1	9,43	118,53	0,43
22	4,75	8,53	3,78	1	8,18	102,76	0,37
23	6,8	8,53	1,73	0	0	0	0
24	7,9	8,53	0,63	0	0	0	0

Tabla 72. Primera iteración. Día modelo de producción de febrero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm ³)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m ³ /s)	Volumen Desalojado-2 (hm ³)
1	8,64	3,68	8,64	0,00	0	0	0	0
2	7,75	3,68	8,64	0,89	0	0	0	0
3	6,25	3,68	8,64	2,39	1	6,50	81,71	0,29
4	5	3,39	7,95	2,95	1	7,22	90,77	0,33
5	3,75	3,02	7,10	3,35	1	7,69	96,70	0,35
6	2,75	2,60	6,11	3,36	1	7,71	96,88	0,35
7	2,3	2,14	5,03	2,73	1	6,94	87,26	0,31
8	2,5	1,66	3,90	1,40	0	0	0	0
9	3,5	1,19	2,79	-0,71	0	0	0	0
10	5	0,76	1,78	-3,22	0	0	0	0
11	6,5	0,40	0,93	-5,57	0	0	0	0
12	7,75	0,12	0,28	-7,47	0	0	0	0
13	8,53	3,63	8,53	0,00	0	0	0	0
14	8,4	3,63	8,53	0,13	0	0	0	0
15	7,75	3,63	8,53	0,78	0	0	0	0
16	6,75	3,63	8,53	1,78	0	0	0	0
17	5,5	3,63	8,53	3,03	1	7,32	92,00	0,33
18	4,25	3,30	7,75	3,50	1	7,87	98,91	0,36
19	2,57	2,91	6,83	4,26	1	8,68	109,07	0,39
20	3,5	2,44	5,74	2,24	1	6,29	79,07	0,28
21	3,5	2,02	4,74	1,24	0	0	0	0
22	4,75	1,59	3,73	-1,02	0	0	0	0
23	6,8	1,22	2,87	-3,93	0	0	0	0
24	7,9	1,22	2,87	-5,03	0	0	0	0

Tabla 73. Segunda iteración. Día modelo de producción de febrero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	8,64	3,68	8,64	0,00	0	0	0	0
2	7,75	3,68	8,64	0,89	0	0	0	0
3	6,25	3,68	8,64	2,39	1	6,50	81,71	0,29
4	5	3,39	7,95	2,95	1	7,22	90,77	0,33
5	3,75	3,06	7,18	3,43	1	7,79	97,92	0,35
6	2,75	2,71	6,37	3,62	1	8,00	100,49	0,36
7	2,3	2,36	5,55	3,25	1	7,58	95,23	0,34
8	2,5	2,05	4,81	2,31	1	6,39	80,32	0,29
9	3,5	2,05	4,81	1,31	0	0	0	0
10	5	2,05	4,81	-0,19	0	0	0	0
11	6,5	2,05	4,81	-1,69	0	0	0	0
12	7,75	2,05	4,81	-2,94	0	0	0	0
13	8,53	3,63	8,53	0,00	0	0	0	0
14	8,4	3,63	8,53	0,13	0	0	0	0
15	7,75	3,63	8,53	0,78	0	0	0	0
16	6,75	3,63	8,53	1,78	0	0	0	0
17	5,5	3,63	8,53	3,03	1	7,32	92,00	0,33
18	4,25	3,30	7,75	3,50	1	7,87	98,91	0,36
19	2,57	2,95	6,92	4,35	1	8,77	110,19	0,40
20	3,5	2,55	6,00	2,50	1	6,64	83,48	0,30
21	3,5	2,27	5,33	1,83	0	0	0	0
22	4,75	2,27	5,33	0,58	0	0	0	0
23	6,8	2,27	5,33	-1,47	0	0	0	0
24	7,9	2,27	5,33	-2,57	0	0	0	0

Tabla 74. Tercera iteración. Día modelo de producción de febrero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	8,64	3,68	8,64	0,00	0	0	0	0
2	7,75	3,68	8,64	0,89	0	0	0	0
3	6,25	3,68	8,64	2,39	1	6,50	81,71	0,29
4	5	3,39	7,95	2,95	1	7,22	90,77	0,33
5	3,75	3,06	7,18	3,43	1	7,79	97,92	0,35
6	2,75	2,71	6,36	3,61	1	7,99	100,35	0,36
7	2,3	2,35	5,51	3,21	1	7,53	94,63	0,34
8	2,5	2,00	4,70	2,20	1	6,24	78,41	0,28
9	3,5	1,71	4,02	0,52	0	0	0	0
10	5	1,71	4,02	-0,98	0	0	0	0
11	6,5	1,71	4,02	-2,48	0	0	0	0
12	7,75	1,71	4,02	-3,73	0	0	0	0
13	8,53	3,63	8,53	0,00	0	0	0	0
14	8,4	3,63	8,53	0,13	0	0	0	0
15	7,75	3,63	8,53	0,78	0	0	0	0
16	6,75	3,63	8,53	1,78	0	0	0	0
17	5,5	3,63	8,53	3,03	1	7,32	92,00	0,33
18	4,25	3,30	7,75	3,50	1	7,87	98,91	0,36
19	2,57	2,95	6,92	4,35	1	8,77	110,19	0,40
20	3,5	2,55	5,99	2,49	1	6,63	83,32	0,30
21	3,5	2,25	5,28	1,78	0	0	0	0
22	4,75	2,25	5,28	0,53	0	0	0	0
23	6,8	2,25	5,28	-1,52	0	0	0	0
24	7,9	2,25	5,28	-2,62	0	0	0	0

Tabla 75. Cuarta iteración. Día modelo de producción de febrero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	8,64	3,68	8,64	0,00	0	0	0	0
2	7,75	3,68	8,64	0,89	0	0	0	0
3	6,25	3,68	8,64	2,39	1	6,50	81,71	0,29
4	5	3,39	7,95	2,95	1	7,22	90,77	0,33
5	3,75	3,06	7,18	3,43	1	7,79	97,92	0,35
6	2,75	2,71	6,36	3,61	1	7,99	100,35	0,36
7	2,3	2,35	5,51	3,21	1	7,53	94,65	0,34
8	2,5	2,01	4,71	2,21	1	6,25	78,52	0,28
9	3,5	1,72	4,04	0,54	0	0	0	0
10	5	1,72	4,04	-0,96	0	0	0	0
11	6,5	1,72	4,04	-2,46	0	0	0	0
12	7,75	1,72	4,04	-3,71	0	0	0	0
13	8,53	3,63	8,53	0,00	0	0	0	0
14	8,4	3,63	8,53	0,13	0	0	0	0
15	7,75	3,63	8,53	0,78	0	0	0	0
16	6,75	3,63	8,53	1,78	0	0	0	0
17	5,5	3,63	8,53	3,03	1	7,32	92,00	0,33
18	4,25	3,30	7,75	3,50	1	7,87	98,91	0,36
19	2,57	2,95	6,92	4,35	1	8,77	110,19	0,40
20	3,5	2,55	5,99	2,49	1	6,63	83,32	0,30
21	3,5	2,25	5,28	1,78	0	0	0	0
22	4,75	2,25	5,28	0,53	0	0	0	0
23	6,8	2,25	5,28	-1,52	0	0	0	0
24	7,9	2,25	5,28	-2,62	0	0	0	0

Tabla 76. Quinta iteración. Día modelo de producción de febrero.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	8,64	3,68	8,64	0,00	0	0	0	0
2	7,75	3,68	8,64	0,89	0	0	0	0
3	6,25	3,68	8,64	2,39	1	6,50	81,71	0,29
4	5	3,39	7,95	2,95	1	7,22	90,77	0,33
5	3,75	3,06	7,18	3,43	1	7,79	97,92	0,35
6	2,75	2,71	6,36	3,61	1	7,99	100,35	0,36
7	2,3	2,35	5,51	3,21	1	7,53	94,65	0,34
8	2,5	2,01	4,71	2,21	1	6,25	78,52	0,28
9	3,5	1,72	4,04	0,54	0	0	0	0
10	5	1,72	4,04	-0,96	0	0	0	0
11	6,5	1,72	4,04	-2,46	0	0	0	0
12	7,75	1,72	4,04	-3,71	0	0	0	0
13	8,53	3,63	8,53	0,00	0	0	0	0
14	8,4	3,63	8,53	0,13	0	0	0	0
15	7,75	3,63	8,53	0,78	0	0	0	0
16	6,75	3,63	8,53	1,78	0	0	0	0
17	5,5	3,63	8,53	3,03	1	7,32	92,00	0,33
18	4,25	3,30	7,75	3,50	1	7,87	98,91	0,36
19	2,57	2,95	6,92	4,35	1	8,77	110,19	0,40
20	3,5	2,55	5,99	2,49	1	6,63	83,32	0,30
21	3,5	2,25	5,28	1,78	0	0	0	0
22	4,75	2,25	5,28	0,53	0	0	0	0
23	6,8	2,25	5,28	-1,52	0	0	0	0
24	7,9	2,25	5,28	-2,62	0	0	0	0

Tabla 77. Sexta iteración. Día modelo de producción de febrero.

Día modelo de marzo

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,36	Caudal acumulado (hm3)	3,30
Caudal acumulado (m3)	3359848,83	Caudal acumulado (m3)	3302960,70
Nivel embalse inicial (m)	8,85	Nivel embalse inicial (m)	8,83
Área embalse (hm2)	37,96	Área embalse (hm2)	37,41
Área embalse (m2)	379643,94	Área embalse (m2)	374061,23

Tabla 78. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de marzo.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m3/s)	Volumen Desalojado-1 (hm3)
1	8,85	8,85	0,00	0	0	0	0
2	7,25	8,85	1,6	0	0	0	0
3	5,75	8,85	3,1	1	7,41	93,06	0,34
4	4,4	8,85	4,45	1	8,87	111,49	0,40
5	3,25	8,85	5,6	1	9,95	125,07	0,45
6	2,4	8,85	6,45	1	10,68	134,23	0,48
7	2,19	8,85	6,66	1	10,85	136,40	0,49
8	2,9	8,85	5,95	1	10,26	128,92	0,46
9	4,25	8,85	4,6	1	9,02	113,35	0,41
10	5,9	8,85	2,95	1	7,22	90,78	0,33
11	7,5	8,85	1,35	0	0	0	0
12	8,5	8,85	0,35	0	0	0	0
13	8,83	8,83	0,00	0	0	0	0
14	8,25	8,83	0,58	0	0	0	0
15	7	8,83	1,83	0	0	0	0
16	5,5	8,83	3,33	1	7,67	96,45	0,35
17	4,1	8,83	4,73	1	9,15	114,95	0,41
18	3,4	8,83	5,43	1	9,80	123,16	0,44
19	2,29	8,83	6,54	1	10,76	135,16	0,49
20	2,5	8,83	6,33	1	10,58	132,97	0,48
21	3,4	8,83	5,43	1	9,80	123,16	0,44
22	4,75	8,83	4,08	1	8,50	106,76	0,38
23	6,25	8,83	2,58	1	6,76	84,89	0,31
24	7,9	8,83	0,93	0	0	0	0

Tabla 79. Primera iteración. Día modelo de producción de marzo.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm3)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m3/s)	Volumen Desalojado-2 (hm3)
1	8,85	3,77	8,85	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,77	8,85	1,60	0	0	0	0
3	5,75	3,77	8,85	3,10	1	7,41	93,06	0,34
4	4,4	3,44	8,06	3,66	1	8,05	101,16	0,36
5	3,25	3,03	7,12	3,87	1	8,28	103,99	0,37
6	2,4	2,58	6,06	3,66	1	8,05	101,18	0,36
7	2,19	2,10	4,93	2,74	1	6,96	87,49	0,31
8	2,9	1,61	3,78	0,88	0	0	0	0
9	4,25	1,15	2,69	-1,56	0	0	0	0
10	5,9	0,74	1,73	-4,17	0	0	0	0
11	7,5	0,41	0,96	-6,54	0	0	0	0
12	8,5	0,41	0,96	-7,54	0	0	0	0
13	8,83	3,76	8,83	0,00	0	0	0	0
14	8,25	3,76	8,83	0,58	0	0	0	0
15	7	3,76	8,83	1,83	0	0	0	0
16	5,5	3,76	8,83	3,33	1	7,67	96,45	0,35
17	4,1	3,41	8,01	3,91	1	8,32	104,57	0,38
18	3,4	3,00	7,04	3,64	1	8,03	100,89	0,36
19	2,29	2,56	6,00	3,71	1	8,10	101,84	0,37
20	2,5	2,07	4,86	2,36	1	6,46	81,21	0,29
21	3,4	1,59	3,74	0,34	0	0	0	0
22	4,75	1,15	2,70	-2,05	0	0	0	0
23	6,25	0,76	1,79	-4,46	0	0	0	0
24	7,9	0,46	1,08	-6,82	0	0	0	0

Tabla 80. Segunda iteración. Día modelo de producción de marzo.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	8,85	3,77	8,85	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,77	8,85	1,60	0	0	0	0
3	5,75	3,77	8,85	3,10	1	7,41	93,06	0,34
4	4,4	3,44	8,06	3,66	1	8,05	101,16	0,36
5	3,25	3,07	7,21	3,96	1	8,37	105,16	0,38
6	2,4	2,70	6,33	3,93	1	8,34	104,78	0,38
7	2,19	2,33	5,48	3,29	1	7,62	95,79	0,34
8	2,9	2,02	4,74	1,84	0	0	0	0
9	4,25	2,02	4,74	0,49	0	0	0	0
10	5,9	2,02	4,74	-1,16	0	0	0	0
11	7,5	2,02	4,74	-2,76	0	0	0	0
12	8,5	2,02	4,74	-3,76	0	0	0	0
13	8,83	3,76	8,83	0,00	0	0	0	0
14	8,25	3,76	8,83	0,58	0	0	0	0
15	7	3,76	8,83	1,83	0	0	0	0
16	5,5	3,76	8,83	3,33	1	7,67	96,45	0,35
17	4,1	3,41	8,01	3,91	1	8,32	104,57	0,38
18	3,4	3,04	7,13	3,73	1	8,12	102,09	0,37
19	2,29	2,67	6,28	3,99	1	8,40	105,56	0,38
20	2,5	2,31	5,42	2,92	1	7,18	90,29	0,33
21	3,4	2,02	4,73	1,33	0	0	0	0
22	4,75	2,02	4,73	-0,02	0	0	0	0
23	6,25	2,02	4,73	-1,52	0	0	0	0
24	7,9	2,02	4,73	-3,17	0	0	0	0

Tabla 81. Tercera iteración. Día modelo de producción de marzo.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	8,85	3,77	8,85	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,77	8,85	1,60	0	0	0	0
3	5,75	3,77	8,85	3,10	1	7,41	93,06	0,34
4	4,4	3,44	8,06	3,66	1	8,05	101,16	0,36
5	3,25	3,07	7,21	3,96	1	8,37	105,16	0,38
6	2,4	2,69	6,32	3,92	1	8,33	104,64	0,38
7	2,19	2,32	5,43	3,24	1	7,58	95,20	0,34
8	2,9	1,97	4,63	1,73	0	0	0	0
9	4,25	1,97	4,63	0,38	0	0	0	0
10	5,9	1,97	4,63	-1,27	0	0	0	0
11	7,5	1,97	4,63	-2,87	0	0	0	0
12	8,5	1,97	4,63	-3,87	0	0	0	0
13	8,83	3,76	8,83	0,00	0	0	0	0
14	8,25	3,76	8,83	0,58	0	0	0	0
15	7	3,76	8,83	1,83	0	0	0	0
16	5,5	3,76	8,83	3,33	1	7,67	96,45	0,35
17	4,1	3,41	8,01	3,91	1	8,32	104,57	0,38
18	3,4	3,04	7,13	3,73	1	8,12	102,09	0,37
19	2,29	2,67	6,27	3,98	1	8,39	105,42	0,38
20	2,5	2,29	5,38	2,88	1	7,13	89,64	0,32
21	3,4	1,97	4,61	1,21	0	0	0	0
22	4,75	1,97	4,61	-0,14	0	0	0	0
23	6,25	1,97	4,61	-1,64	0	0	0	0
24	7,9	1,97	4,61	-3,29	0	0	0	0

Tabla 82. Cuarta iteración. Día modelo de producción de marzo.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	8,85	3,77	8,85	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,77	8,85	1,60	0	0	0	0
3	5,75	3,77	8,85	3,10	1	7,41	93,06	0,34
4	4,4	3,44	8,06	3,66	1	8,05	101,16	0,36
5	3,25	3,07	7,21	3,96	1	8,37	105,16	0,38
6	2,4	2,69	6,32	3,92	1	8,33	104,64	0,38
7	2,19	2,32	5,44	3,25	1	7,58	95,22	0,34
8	2,9	1,97	4,63	1,73	0	0	0	0
9	4,25	1,97	4,63	0,38	0	0	0	0
10	5,9	1,97	4,63	-1,27	0	0	0	0
11	7,5	1,97	4,63	-2,87	0	0	0	0
12	8,5	1,97	4,63	-3,87	0	0	0	0
13	8,83	3,76	8,83	0,00	0	0	0	0
14	8,25	3,76	8,83	0,58	0	0	0	0
15	7	3,76	8,83	1,83	0	0	0	0
16	5,5	3,76	8,83	3,33	1	7,67	96,45	0,35
17	4,1	3,41	8,01	3,91	1	8,32	104,57	0,38
18	3,4	3,04	7,13	3,73	1	8,12	102,09	0,37
19	2,29	2,67	6,27	3,98	1	8,39	105,42	0,38
20	2,5	2,29	5,38	2,88	1	7,13	89,66	0,32
21	3,4	1,97	4,62	1,22	0	0	0	0
22	4,75	1,97	4,62	-0,13	0	0	0	0
23	6,25	1,97	4,62	-1,63	0	0	0	0
24	7,9	1,97	4,62	-3,28	0	0	0	0

Tabla 83. Quinta iteración. Día modelo de producción de marzo.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalado-6 (hm3)
1	8,85	3,77	8,85	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,77	8,85	1,60	0	0	0	0
3	5,75	3,77	8,85	3,10	1	7,41	93,06	0,34
4	4,4	3,44	8,06	3,66	1	8,05	101,16	0,36
5	3,25	3,07	7,21	3,96	1	8,37	105,16	0,38
6	2,4	2,69	6,32	3,92	1	8,33	104,64	0,38
7	2,19	2,32	5,44	3,25	1	7,58	95,22	0,34
8	2,9	1,97	4,63	1,73	0	0	0	0
9	4,25	1,97	4,63	0,38	0	0	0	0
10	5,9	1,97	4,63	-1,27	0	0	0	0
11	7,5	1,97	4,63	-2,87	0	0	0	0
12	8,5	1,97	4,63	-3,87	0	0	0	0
13	8,83	3,76	8,83	0,00	0	0	0	0
14	8,25	3,76	8,83	0,58	0	0	0	0
15	7	3,76	8,83	1,83	0	0	0	0
16	5,5	3,76	8,83	3,33	1	7,67	96,45	0,35
17	4,1	3,41	8,01	3,91	1	8,32	104,57	0,38
18	3,4	3,04	7,13	3,73	1	8,12	102,09	0,37
19	2,29	2,67	6,27	3,98	1	8,39	105,42	0,38
20	2,5	2,29	5,38	2,88	1	7,13	89,66	0,32
21	3,4	1,97	4,62	1,22	0	0	0	0
22	4,75	1,97	4,62	-0,13	0	0	0	0
23	6,25	1,97	4,62	-1,63	0	0	0	0
24	7,9	1,97	4,62	-3,28	0	0	0	0

Tabla 84. Sexta iteración. Día modelo de producción de marzo.

Día modelo de abril

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,25	Caudal acumulado (hm3)	3,56
Caudal acumulado (m3)	3247688,32	Caudal acumulado (m3)	3563603,75
Nivel embalse inicial (m)	8,64	Nivel embalse inicial (m)	8,79
Área embalse (hm2)	37,59	Área embalse (hm2)	40,54
Área embalse (m2)	375889,85	Área embalse (m2)	405415,67

Tabla 85. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de abril.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m3/s)	Volumen Desalojado-1 (hm3)
1	8,64	8,64	0	0	0	0	0
2	7	8,64	1,64	0	0	0	0
3	5,5	8,64	3,14	1	7,45	93,65	0,34
4	4,25	8,64	4,39	1	8,81	110,74	0,40
5	2,5	8,64	6,14	1	10,42	130,96	0,47
6	2,5	8,64	6,14	1	10,42	130,96	0,47
7	2,45	8,64	6,19	1	10,46	131,49	0,47
8	3,4	8,64	5,24	1	9,63	120,98	0,44
9	4,75	8,64	3,89	1	8,30	104,24	0,38
10	6,4	8,64	2,24	1	6,29	79,10	0,28
11	7,75	8,64	0,89	0	0	0	0
12	8,7	8,64	-0,06	0	0	0	0
13	8,79	8,79	0	0	0	0	0
14	8	8,79	0,79	0	0	0	0
15	6,75	8,79	2,04	1	6,01	75,49	0,27
16	5,25	8,79	3,54	1	7,91	99,44	0,36
17	4	8,79	4,79	1	9,20	115,67	0,42
18	2,75	8,79	6,04	1	10,34	129,89	0,47
19	2,31	8,79	6,48	1	10,71	134,54	0,48
20	2,7	8,79	6,09	1	10,38	130,43	0,47
21	3,5	8,79	5,29	1	9,67	121,56	0,44
22	5	8,79	3,79	1	8,19	102,89	0,37
23	6,5	8,79	2,29	1	6,36	79,98	0,29
24	7,9	8,79	0,89	0	0	0	0

Tabla 86. Primera iteración. Día modelo de producción de abril.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm3)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m3/s)	Volumen Desalojado-2 (hm3)
1	8,64	3,68	8,64	0,00	0	0	0	0
2	7	3,68	8,64	1,64	0	0	0	0
3	5,5	3,68	8,64	3,14	1	7,45	93,65	0,34
4	4,25	3,34	7,85	3,60	1	7,98	100,26	0,36
5	2,5	2,94	6,91	4,41	1	8,84	111,02	0,40
6	2,5	2,47	5,81	3,31	1	7,65	96,10	0,35
7	2,45	2,00	4,70	2,25	1	6,31	79,27	0,29
8	3,4	1,53	3,59	0,19	0	0	0	0
9	4,75	1,09	2,57	-2,18	0	0	0	0
10	6,4	0,72	1,69	-4,71	0	0	0	0
11	7,75	0,43	1,02	-6,73	0	0	0	0
12	8,7	0,43	1,02	-7,68	0	0	0	0
13	8,79	3,74	8,79	0,00	0	0	0	0
14	8	3,74	8,79	0,79	0	0	0	0
15	6,75	3,74	8,79	2,04	1	6,01	75,49	0,27
16	5,25	3,47	8,15	2,90	1	7,16	90,04	0,32
17	4	3,11	7,31	3,31	1	7,65	96,18	0,35
18	2,75	2,70	6,33	3,58	1	7,96	100,06	0,36
19	2,31	2,23	5,24	2,93	1	7,20	90,42	0,33
20	2,7	1,75	4,10	1,40	0	0	0	0
21	3,5	1,28	3,00	-0,50	0	0	0	0
22	5	0,84	1,97	-3,03	0	0	0	0
23	6,5	0,47	1,10	-5,40	0	0	0	0
24	7,9	0,18	0,43	-7,47	0	0	0	0

Tabla 87. Segunda iteración. Día modelo de producción de abril.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	8,64	3,68	8,64	0,00	0	0	0	0
2	7	3,68	8,64	1,64	0	0	0	0
3	5,5	3,68	8,64	3,14	1	7,45	93,65	0,34
4	4,25	3,34	7,85	3,60	1	7,98	100,26	0,36
5	2,5	2,98	7,00	4,50	1	8,92	112,13	0,40
6	2,5	2,58	6,06	3,56	1	7,94	99,77	0,36
7	2,45	2,24	5,25	2,80	1	7,04	88,46	0,32
8	3,4	1,95	4,58	1,18	0	0	0	0
9	4,75	1,95	4,58	-0,17	0	0	0	0
10	6,4	1,95	4,58	-1,82	0	0	0	0
11	7,75	1,95	4,58	-3,17	0	0	0	0
12	8,7	1,95	4,58	-4,12	0	0	0	0
13	8,79	3,74	8,79	0,00	0	0	0	0
14	8	3,74	8,79	0,79	0	0	0	0
15	6,75	3,74	8,79	2,04	1	6,01	75,49	0,27
16	5,25	3,47	8,15	2,90	1	7,16	90,04	0,32
17	4	3,15	7,39	3,39	1	7,75	97,33	0,35
18	2,75	2,80	6,58	3,83	1	8,23	103,41	0,37
19	2,31	2,44	5,73	3,42	1	7,78	97,78	0,35
20	2,7	2,12	4,97	2,27	1	6,34	79,61	0,29
21	3,5	2,12	4,97	1,47	0	0	0	0
22	5	2,12	4,97	-0,03	0	0	0	0
23	6,5	2,12	4,97	-1,53	0	0	0	0
24	7,9	2,12	4,97	-2,93	0	0	0	0

Tabla 88. Tercera iteración. Día modelo de producción de abril.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	8,64	3,68	8,64	0,00	0	0	0	0
2	7	3,68	8,64	1,64	0	0	0	0
3	5,5	3,68	8,64	3,14	1	7,45	93,65	0,34
4	4,25	3,34	7,85	3,60	1	7,98	100,26	0,36
5	2,5	2,98	7,00	4,50	1	8,92	112,13	0,40
6	2,5	2,58	6,05	3,55	1	7,93	99,63	0,36
7	2,45	2,22	5,21	2,76	1	6,99	87,82	0,32
8	3,4	1,90	4,46	1,06	0	0	0	0
9	4,75	1,90	4,46	-0,29	0	0	0	0
10	6,4	1,90	4,46	-1,94	0	0	0	0
11	7,75	1,90	4,46	-3,29	0	0	0	0
12	8,7	1,90	4,46	-4,24	0	0	0	0
13	8,79	3,74	8,79	0,00	0	0	0	0
14	8	3,74	8,79	0,79	0	0	0	0
15	6,75	3,74	8,79	2,04	1	6,01	75,49	0,27
16	5,25	3,47	8,15	2,90	1	7,16	90,04	0,32
17	4	3,15	7,39	3,39	1	7,75	97,33	0,35
18	2,75	2,80	6,57	3,82	1	8,22	103,28	0,37
19	2,31	2,43	5,69	3,38	1	7,74	97,24	0,35
20	2,7	2,07	4,87	2,17	1	6,19	77,83	0,28
21	3,5	1,79	4,20	0,70	0	0	0	0
22	5	1,79	4,20	-0,80	0	0	0	0
23	6,5	1,79	4,20	-2,30	0	0	0	0
24	7,9	1,79	4,20	-3,70	0	0	0	0

Tabla 89. Cuarta iteración. Día modelo de producción de abril.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	8,64	3,68	8,64	0,00	0	0	0	0
2	7	3,68	8,64	1,64	0	0	0	0
3	5,5	3,68	8,64	3,14	1	7,45	93,65	0,34
4	4,25	3,34	7,85	3,60	1	7,98	100,26	0,36
5	2,5	2,98	7,00	4,50	1	8,92	112,13	0,40
6	2,5	2,58	6,05	3,55	1	7,93	99,63	0,36
7	2,45	2,22	5,21	2,76	1	6,99	87,83	0,32
8	3,4	1,90	4,47	1,07	0	0	0	0
9	4,75	1,90	4,47	-0,28	0	0	0	0
10	6,4	1,90	4,47	-1,93	0	0	0	0
11	7,75	1,90	4,47	-3,28	0	0	0	0
12	8,7	1,90	4,47	-4,23	0	0	0	0
13	8,79	3,74	8,79	0,00	0	0	0	0
14	8	3,74	8,79	0,79	0	0	0	0
15	6,75	3,74	8,79	2,04	1	6,01	75,49	0,27
16	5,25	3,47	8,15	2,90	1	7,16	90,04	0,32
17	4	3,15	7,39	3,39	1	7,75	97,33	0,35
18	2,75	2,80	6,57	3,82	1	8,22	103,28	0,37
19	2,31	2,43	5,70	3,39	1	7,74	97,25	0,35
20	2,7	2,08	4,87	2,17	1	6,20	77,93	0,28
21	3,5	1,80	4,22	0,72	0	0	0	0
22	5	1,80	4,22	-0,78	0	0	0	0
23	6,5	1,80	4,22	-2,28	0	0	0	0
24	7,9	1,80	4,22	-3,68	0	0	0	0

Tabla 90. Quinta iteración. Día modelo de producción de abril.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	8,64	3,68	8,64	0,00	0	0	0	0
2	7	3,68	8,64	1,64	0	0	0	0
3	5,5	3,68	8,64	3,14	1	7,45	93,65	0,34
4	4,25	3,34	7,85	3,60	1	7,98	100,26	0,36
5	2,5	2,98	7,00	4,50	1	8,92	112,13	0,40
6	2,5	2,58	6,05	3,55	1	7,93	99,63	0,36
7	2,45	2,22	5,21	2,76	1	6,99	87,83	0,32
8	3,4	1,90	4,47	1,07	0	0	0	0
9	4,75	1,90	4,47	-0,28	0	0	0	0
10	6,4	1,90	4,47	-1,93	0	0	0	0
11	7,75	1,90	4,47	-3,28	0	0	0	0
12	8,7	1,90	4,47	-4,23	0	0	0	0
13	8,79	3,74	8,79	0,00	0	0	0	0
14	8	3,74	8,79	0,79	0	0	0	0
15	6,75	3,74	8,79	2,04	1	6,01	75,49	0,27
16	5,25	3,47	8,15	2,90	1	7,16	90,04	0,32
17	4	3,15	7,39	3,39	1	7,75	97,33	0,35
18	2,75	2,80	6,57	3,82	1	8,22	103,28	0,37
19	2,31	2,43	5,70	3,39	1	7,74	97,25	0,35
20	2,7	2,08	4,87	2,17	1	6,20	77,93	0,28
21	3,5	1,80	4,22	0,72	0	0	0	0
22	5	1,80	4,22	-0,78	0	0	0	0
23	6,5	1,80	4,22	-2,28	0	0	0	0
24	7,9	1,80	4,22	-3,68	0	0	0	0

Tabla 91. Sexta iteración. Día modelo de producción de abril.

Día modelo de mayo

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,13	Caudal acumulado (hm3)	3,61
Caudal acumulado (m3)	3131089,75	Caudal acumulado (m3)	3610490,41
Nivel embalse inicial (m)	8,33	Nivel embalse inicial (m)	8,72
Área embalse (hm2)	37,59	Área embalse (hm2)	41,40

Tabla 92. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de mayo.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m3/s)	Volumen Desalojado-1 (hm3)
1	7	8,33	1,33	0	0	0	0
2	6	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
3	4,9	8,33	3,43	1	7,79	97,88	0,35
4	4	8,33	4,33	1	8,75	109,98	0,40
5	3,25	8,33	5,08	1	9,48	119,12	0,43
6	2,75	8,33	5,58	1	9,94	124,85	0,45
7	2,66	8,33	5,67	1	10,01	125,85	0,45
8	3,6	8,33	4,73	1	9,15	114,95	0,41
9	5	8,33	3,33	1	7,67	96,45	0,35
10	6,75	8,33	1,58	0	0	0	0
11	8	8,33	0,33	0	0	0	0
12	8,72	8,72	0	0	0	0	0
13	8,5	8,72	0,22	0	0	0	0
14	7,5	8,72	1,22	0	0	0	0
15	6,25	8,72	2,47	1	6,61	83,06	0,30
16	4,75	8,72	3,97	1	8,38	105,31	0,38
17	3,5	8,72	5,22	1	9,61	120,75	0,43
18	2,5	8,72	6,22	1	10,49	131,81	0,47
19	2,26	8,72	6,46	1	10,69	134,33	0,48
20	2,75	8,72	5,97	1	10,28	129,14	0,46
21	3,75	8,72	4,97	1	9,38	117,83	0,42
22	5	8,72	3,72	1	8,11	101,94	0,37
23	6,5	8,72	2,22	1	6,27	78,75	0,28
24	8,33	8,33	0	0	0	0	0

Tabla 93. Primera iteración. Día modelo de producción de mayo.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm3)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m3/s)	Volumen Desalojado-2 (hm3)
1	7	3,55	8,33	1,33	0	0	0	0
2	6	3,55	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
3	4,9	3,26	7,65	2,75	1	6,97	87,62	0,32
4	4	2,91	6,82	2,82	1	7,06	88,77	0,32
5	3,25	2,51	5,89	2,64	1	6,84	85,90	0,31
6	2,75	2,08	4,89	2,14	1	6,15	77,23	0,28
7	2,66	1,63	3,83	1,17	0	0	0	0
8	3,6	1,18	2,77	-0,83	0	0	0	0
9	5	0,76	1,80	-3,20	0	0	0	0
10	6,75	0,42	0,98	-5,77	0	0	0	0
11	8	0,42	0,98	-7,02	0	0	0	0
12	8,72	3,71	8,72	0,00	0	0	0	0
13	8,5	3,71	8,72	0,22	0	0	0	0
14	7,5	3,71	8,72	1,22	0	0	0	0
15	6,25	3,71	8,72	2,47	1	6,61	83,06	0,30
16	4,75	3,42	8,02	3,27	1	7,60	95,55	0,34
17	3,5	3,04	7,13	3,63	1	8,01	100,67	0,36
18	2,5	2,60	6,11	3,61	1	7,99	100,39	0,36
19	2,26	2,13	4,99	2,73	1	6,95	87,39	0,31
20	2,75	1,64	3,86	1,11	0	0	0	0
21	3,75	1,18	2,77	-0,98	0	0	0	0
22	5	0,75	1,77	-3,23	0	0	0	0
23	6,5	0,39	0,91	-5,59	0	0	0	0
24	8,33	3,55	8,33	0,00	0	0	0	0

Tabla 94. Segunda iteración. Día modelo de producción de mayo.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	7	3,55	8,33	1,33	0	0	0	0
2	6	3,55	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
3	4,9	3,26	7,65	2,75	1	6,97	87,62	0,32
4	4	2,94	6,91	2,91	1	7,17	90,13	0,32
5	3,25	2,62	6,16	2,91	1	7,17	90,12	0,32
6	2,75	2,31	5,43	2,68	1	6,89	86,55	0,31
7	2,66	2,04	4,78	2,12	1	6,12	76,94	0,28
8	3,6	2,04	4,78	1,18	0	0	0	0
9	5	2,04	4,78	-0,22	0	0	0	0
10	6,75	2,04	4,78	-1,97	0	0	0	0
11	8	2,04	4,78	-3,22	0	0	0	0
12	8,72	3,71	8,72	0,00	0	0	0	0
13	8,5	3,71	8,72	0,22	0	0	0	0
14	7,5	3,71	8,72	1,22	0	0	0	0
15	6,25	3,71	8,72	2,47	1	6,61	83,06	0,30
16	4,75	3,42	8,02	3,27	1	7,60	95,55	0,34
17	3,5	3,07	7,21	3,71	1	8,10	101,81	0,37
18	2,5	2,71	6,36	3,86	1	8,26	103,84	0,37
19	2,26	2,35	5,51	3,25	1	7,58	95,30	0,34
20	2,75	2,03	4,77	2,02	1	5,98	75,18	0,27
21	3,75	2,03	4,77	1,02	0	0	0	0
22	5	2,03	4,77	-0,23	0	0	0	0
23	6,5	2,03	4,77	-1,73	0	0	0	0
24	8,33	3,55	8,33	0,00	0	0	0	0

Tabla 95. Tercera iteración. Día modelo de producción de mayo.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	7	3,55	8,33	1,33	0	0	0	0
2	6	3,55	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
3	4,9	3,26	7,65	2,75	1	6,97	87,62	0,32
4	4	2,94	6,91	2,91	1	7,17	90,13	0,32
5	3,25	2,62	6,15	2,90	1	7,16	89,95	0,32
6	2,75	2,29	5,38	2,63	1	6,83	85,79	0,31
7	2,66	1,98	4,65	1,99	0	0	0	0
8	3,6	1,71	4,00	0,40	0	0	0	0
9	5	1,71	4,00	-1,00	0	0	0	0
10	6,75	1,71	4,00	-2,75	0	0	0	0
11	8	1,71	4,00	-4,00	0	0	0	0
12	8,72	3,71	8,72	0,00	0	0	0	0
13	8,5	3,71	8,72	0,22	0	0	0	0
14	7,5	3,71	8,72	1,22	0	0	0	0
15	6,25	3,71	8,72	2,47	1	6,61	83,06	0,30
16	4,75	3,42	8,02	3,27	1	7,60	95,55	0,34
17	3,5	3,07	7,21	3,71	1	8,10	101,81	0,37
18	2,5	2,71	6,35	3,85	1	8,25	103,71	0,37
19	2,26	2,33	5,47	3,21	1	7,54	94,73	0,34
20	2,75	1,99	4,67	1,92	0	0	0	0
21	3,75	1,72	4,03	0,28	0	0	0	0
22	5	1,72	4,03	-0,97	0	0	0	0
23	6,5	1,72	4,03	-2,47	0	0	0	0
24	8,33	3,55	8,33	0,00	0	0	0	0

Tabla 96. Cuarta iteración. Día modelo de producción de mayo.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	7	3,55	8,33	1,33	0	0	0	0
2	6	3,55	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
3	4,9	3,26	7,65	2,75	1	6,97	87,62	0,32
4	4	2,94	6,91	2,91	1	7,17	90,13	0,32
5	3,25	2,62	6,15	2,90	1	7,16	89,95	0,32
6	2,75	2,29	5,39	2,64	1	6,83	85,81	0,31
7	2,66	1,99	4,66	2,00	1	5,95	74,77	0,27
8	3,6	1,99	4,66	1,06	0	0	0	0
9	5	1,99	4,66	-0,34	0	0	0	0
10	6,75	1,99	4,66	-2,09	0	0	0	0
11	8	1,99	4,66	-3,34	0	0	0	0
12	8,72	3,71	8,72	0,00	0	0	0	0
13	8,5	3,71	8,72	0,22	0	0	0	0
14	7,5	3,71	8,72	1,22	0	0	0	0
15	6,25	3,71	8,72	2,47	1	6,61	83,06	0,30
16	4,75	3,42	8,02	3,27	1	7,60	95,55	0,34
17	3,5	3,07	7,21	3,71	1	8,10	101,81	0,37
18	2,5	2,71	6,35	3,85	1	8,25	103,71	0,37
19	2,26	2,33	5,47	3,21	1	7,54	94,75	0,34
20	2,75	1,99	4,67	1,92	0	0	0	0
21	3,75	1,99	4,67	0,92	0	0	0	0
22	5	1,99	4,67	-0,33	0	0	0	0
23	6,5	1,99	4,67	-1,83	0	0	0	0
24	8,33	3,55	8,33	0,00	0	0	0	0

Tabla 97. Quinta iteración. Día modelo de producción de mayo.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	7	3,55	8,33	1,33	0	0	0	0
2	6	3,55	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
3	4,9	3,26	7,65	2,75	1	6,97	87,62	0,32
4	4	2,94	6,91	2,91	1	7,17	90,13	0,32
5	3,25	2,62	6,15	2,90	1	7,16	89,95	0,32
6	2,75	2,29	5,39	2,64	1	6,83	85,81	0,31
7	2,66	1,99	4,66	2,00	1	5,95	74,76	0,27
8	3,6	1,72	4,03	0,43	0	0	0	0
9	5	1,72	4,03	-0,97	0	0	0	0
10	6,75	1,72	4,03	-2,72	0	0	0	0
11	8	1,72	4,03	-3,97	0	0	0	0
12	8,72	3,71	8,72	0,00	0	0	0	0
13	8,5	3,71	8,72	0,22	0	0	0	0
14	7,5	3,71	8,72	1,22	0	0	0	0
15	6,25	3,71	8,72	2,47	1	6,61	83,06	0,30
16	4,75	3,42	8,02	3,27	1	7,60	95,55	0,34
17	3,5	3,07	7,21	3,71	1	8,10	101,81	0,37
18	2,5	2,71	6,35	3,85	1	8,25	103,71	0,37
19	2,26	2,33	5,47	3,21	1	7,54	94,75	0,34
20	2,75	1,99	4,67	1,92	0	0	0	0
21	3,75	1,99	4,67	0,92	0	0	0	0
22	5	1,99	4,67	-0,33	0	0	0	0
23	6,5	1,99	4,67	-1,83	0	0	0	0
24	8,33	3,55	8,33	0,00	0	0	0	0

Tabla 98. Sexta iteración. Día modelo de producción de mayo.

Día modelo de junio

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,07	Caudal acumulado (hm3)	3,17
Caudal acumulado (m3)	3069748,86	Caudal acumulado (m3)	3172633,80
Nivel embalse inicial (m)	8,33	Nivel embalse inicial (m)	8,22
Área embalse (hm2)	36,85	Área embalse (hm2)	38,60
Área embalse (m2)	368517,27	Área embalse (m2)	385965,18

Tabla 99. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de junio.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m ³ /s)	Volumen Desalojado-1 (hm ³)
1	7,1	8,33	1,23	0	0	0	0
2	6,1	8,33	2,23	1	6,28	78,92	0,28
3	5,25	8,33	3,08	1	7,38	92,75	0,33
4	4,25	8,33	4,08	1	8,50	106,76	0,38
5	3,5	8,33	4,83	1	9,24	116,15	0,42
6	3	8,33	5,33	1	9,71	122,02	0,44
7	2,89	8,33	5,44	1	9,81	123,27	0,44
8	3,6	8,33	4,73	1	9,15	114,95	0,41
9	4,9	8,33	3,43	1	7,79	97,88	0,35
10	6,4	8,33	1,93	0	0	0	0
11	7,6	8,33	0,73	0	0	0	0
12	8,22	8,22	0	0	0	0	0
13	8	8,22	0,22	0	0	0	0
14	7,1	8,22	1,12	0	0	0	0
15	4,75	8,22	3,47	1	7,83	98,45	0,35
16	4,75	8,22	3,47	1	7,83	98,45	0,35
17	3,75	8,22	4,47	1	8,89	111,74	0,40
18	2,9	8,22	5,32	1	9,70	121,90	0,44
19	2,6	8,22	5,62	1	9,97	125,29	0,45
20	3	8,22	5,22	1	9,61	120,75	0,43
21	3,9	8,22	4,32	1	8,74	109,85	0,40
22	5	8,22	3,22	1	7,55	94,84	0,34
23	6,4	8,22	1,82	0	0	0	0
24	7,96	7,96	0	0	0	0	0

Tabla 100. Primera iteración. Día modelo de producción de junio.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm ³)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m ³ /s)	Volumen Desalojado-2 (hm ³)
1	7,1	3,55	8,33	1,23	0	0	0	0
2	6,1	3,55	8,33	2,23	1	6,28	78,92	0,28
3	5,25	3,26	7,66	2,41	1	6,53	82,10	0,30
4	4,25	2,93	6,88	2,63	1	6,82	85,70	0,31
5	3,5	2,55	5,98	2,48	1	6,62	83,18	0,30
6	3	2,13	5,00	2,00	0	0	0	0
7	2,89	1,69	3,96	1,07	0	0	0	0
8	3,6	1,25	2,92	-0,68	0	0	0	0
9	4,9	0,83	1,95	-2,95	0	0	0	0
10	6,4	0,48	1,12	-5,28	0	0	0	0
11	7,6	0,48	1,12	-6,48	0	0	0	0
12	8,22	3,50	8,22	0,00	0	0	0	0
13	8	3,50	8,22	0,22	0	0	0	0
14	7,1	3,50	8,22	1,12	0	0	0	0
15	4,75	3,50	8,22	3,47	1	7,83	98,45	0,35
16	4,75	3,15	7,39	2,64	1	6,83	85,84	0,31
17	3,75	2,79	6,56	2,81	1	7,05	88,53	0,32
18	2,9	2,39	5,61	2,71	1	6,93	87,03	0,31
19	2,6	1,95	4,58	1,98	0	0	0	0
20	3	1,50	3,52	0,52	0	0	0	0
21	3,9	1,07	2,50	-1,40	0	0	0	0
22	5	0,67	1,57	-3,43	0	0	0	0
23	6,4	0,33	0,77	-5,63	0	0	0	0
24	7,96	3,39	7,96	0,00	0	0	0	0

Tabla 101. Segunda iteración. Día modelo de producción de junio.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	7,1	3,55	8,33	1,23	0	0	0	0
2	6,1	3,55	8,33	2,23	1	6,28	78,92	0,28
3	5,25	3,26	7,66	2,41	1	6,53	82,10	0,30
4	4,25	2,97	6,97	2,72	1	6,94	87,15	0,31
5	3,5	2,66	6,25	2,75	1	6,97	87,57	0,32
6	3	2,36	5,54	2,54	1	6,71	84,27	0,30
7	2,89	2,36	5,54	2,65	1	6,85	86,07	0,31
8	3,6	2,36	5,54	1,94	0	0	0	0
9	4,9	2,36	5,54	0,64	0	0	0	0
10	6,4	2,36	5,54	-0,86	0	0	0	0
11	7,6	2,36	5,54	-2,06	0	0	0	0
12	8,22	3,50	8,22	0,00	0	0	0	0
13	8	3,50	8,22	0,22	0	0	0	0
14	7,1	3,50	8,22	1,12	0	0	0	0
15	4,75	3,50	8,22	3,47	1	7,83	98,45	0,35
16	4,75	3,15	7,39	2,64	1	6,83	85,84	0,31
17	3,75	2,84	6,66	2,91	1	7,18	90,20	0,32
18	2,9	2,52	5,91	3,01	1	7,30	91,76	0,33
19	2,6	2,21	5,18	2,58	1	6,75	84,88	0,31
20	3	2,21	5,18	2,18	1	6,21	78,02	0,28
21	3,9	2,21	5,18	1,28	0	0	0	0
22	5	2,21	5,18	0,18	0	0	0	0
23	6,4	2,21	5,18	-1,22	0	0	0	0
24	7,96	3,39	7,96	0,00	0	0	0	0

Tabla 102. Tercera iteración. Día modelo de producción de junio.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	7,1	3,55	8,33	1,23	0	0	0	0
2	6,1	3,55	8,33	2,23	1	6,28	78,92	0,28
3	5,25	3,26	7,66	2,41	1	6,53	82,10	0,30
4	4,25	2,97	6,97	2,72	1	6,94	87,15	0,31
5	3,5	2,66	6,23	2,73	1	6,95	87,37	0,31
6	3	2,34	5,49	2,49	1	6,64	83,45	0,30
7	2,89	2,04	4,78	1,89	0	0	0	0
8	3,6	1,73	4,05	0,45	0	0	0	0
9	4,9	1,73	4,05	-0,85	0	0	0	0
10	6,4	1,73	4,05	-2,35	0	0	0	0
11	7,6	1,73	4,05	-3,55	0	0	0	0
12	8,22	3,50	8,22	0,00	0	0	0	0
13	8	3,50	8,22	0,22	0	0	0	0
14	7,1	3,50	8,22	1,12	0	0	0	0
15	4,75	3,50	8,22	3,47	1	7,83	98,45	0,35
16	4,75	3,15	7,39	2,64	1	6,83	85,84	0,31
17	3,75	2,84	6,66	2,91	1	7,18	90,20	0,32
18	2,9	2,51	5,90	3,00	1	7,29	91,55	0,33
19	2,6	2,18	5,12	2,52	1	6,68	83,98	0,30
20	3	1,88	4,41	1,41	0	0	0	0
21	3,9	1,60	3,75	-0,15	0	0	0	0
22	5	1,60	3,75	-1,25	0	0	0	0
23	6,4	1,60	3,75	-2,65	0	0	0	0
24	7,96	3,39	7,96	0,00	0	0	0	0

Tabla 103. Cuarta iteración. Día modelo de producción de junio.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	7,1	3,55	8,33	1,23	0	0	0	0
2	6,1	3,55	8,33	2,23	1	6,28	78,92	0,28
3	5,25	3,26	7,66	2,41	1	6,53	82,10	0,30
4	4,25	2,97	6,97	2,72	1	6,94	87,15	0,31
5	3,5	2,66	6,23	2,73	1	6,95	87,37	0,31
6	3	2,34	5,49	2,49	1	6,64	83,47	0,30
7	2,89	2,04	4,79	1,90	0	0	0	0
8	3,6	2,04	4,79	1,19	0	0	0	0
9	4,9	2,04	4,79	-0,11	0	0	0	0
10	6,4	2,04	4,79	-1,61	0	0	0	0
11	7,6	2,04	4,79	-2,81	0	0	0	0
12	8,22	3,50	8,22	0,00	0	0	0	0
13	8	3,50	8,22	0,22	0	0	0	0
14	7,1	3,50	8,22	1,12	0	0	0	0
15	4,75	3,50	8,22	3,47	1	7,83	98,45	0,35
16	4,75	3,15	7,39	2,64	1	6,83	85,84	0,31
17	3,75	2,84	6,66	2,91	1	7,18	90,20	0,32
18	2,9	2,51	5,90	3,00	1	7,29	91,55	0,33
19	2,6	2,18	5,13	2,53	1	6,69	84,01	0,30
20	3	1,88	4,42	1,42	0	0	0	0
21	3,9	1,88	4,42	0,52	0	0	0	0
22	5	1,88	4,42	-0,58	0	0	0	0
23	6,4	1,88	4,42	-1,98	0	0	0	0
24	7,96	3,39	7,96	0,00	0	0	0	0

Tabla 104. Quinta iteración. Día modelo de producción de junio.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	7,1	3,55	8,33	1,23	0	0	0	0
2	6,1	3,55	8,33	2,23	1	6,28	78,92	0,28
3	5,25	3,26	7,66	2,41	1	6,53	82,10	0,30
4	4,25	2,97	6,97	2,72	1	6,94	87,15	0,31
5	3,5	2,66	6,23	2,73	1	6,95	87,37	0,31
6	3	2,34	5,49	2,49	1	6,64	83,47	0,30
7	2,89	2,04	4,79	1,90	0	0	0	0
8	3,6	2,04	4,79	1,19	0	0	0	0
9	4,9	2,04	4,79	-0,11	0	0	0	0
10	6,4	2,04	4,79	-1,61	0	0	0	0
11	7,6	2,04	4,79	-2,81	0	0	0	0
12	8,22	3,50	8,22	0,00	0	0	0	0
13	8	3,50	8,22	0,22	0	0	0	0
14	7,1	3,50	8,22	1,12	0	0	0	0
15	4,75	3,50	8,22	3,47	1	7,83	98,45	0,35
16	4,75	3,15	7,39	2,64	1	6,83	85,84	0,31
17	3,75	2,84	6,66	2,91	1	7,18	90,20	0,32
18	2,9	2,51	5,90	3,00	1	7,29	91,55	0,33
19	2,6	2,18	5,13	2,53	1	6,69	84,01	0,30
20	3	1,88	4,42	1,42	0	0	0	0
21	3,9	1,88	4,42	0,52	0	0	0	0
22	5	1,88	4,42	-0,58	0	0	0	0
23	6,4	1,88	4,42	-1,98	0	0	0	0
24	7,96	3,39	7,96	0,00	0	0	0	0

Tabla 105. Sexta iteración. Día modelo de producción de junio.

Día modelo de julio

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	2,94	Caudal acumulado (hm3)	3,12
Caudal acumulado (m3)	2942526,56	Caudal acumulado (m3)	3115118,26
Nivel embalse inicial (m)	8,02	Nivel embalse inicial (m)	8,13
Área embalse (hm2)	36,69	Área embalse (hm2)	38,32
Área embalse (m2)	366898,57	Área embalse (m2)	383163,38

Tabla 106. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de julio.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m3/s)	Volumen Desalojado-1 (hm3)
1	8,02	8,02	0	0	0	0	0
2	6,9	8,02	1,12	0	0	0	0
3	5,75	8,02	2,27	1	6,34	79,63	0,29
4	4,6	8,02	3,42	1	7,78	97,74	0,35
5	3,6	8,02	4,42	1	8,84	111,11	0,40
6	3	8,02	5,02	1	9,42	118,42	0,43
7	2,8	8,02	5,22	1	9,61	120,75	0,43
8	3,4	8,02	4,62	1	9,04	113,60	0,41
9	4,5	8,02	3,52	1	7,89	99,16	0,36
10	5,9	8,02	2,12	1	6,12	76,95	0,28
11	7,1	8,02	0,92	0	0	0	0
12	8	8,02	0,02	0	0	0	0
13	8,13	8,13	0	0	0	0	0
14	6,9	8,13	1,23	0	0	0	0
15	6,25	8,13	1,88	0	0	0	0
16	5	8,13	3,13	1	7,44	93,50	0,34
17	3,75	8,13	4,38	1	8,80	110,61	0,40
18	2,75	8,13	5,38	1	9,76	122,59	0,44
19	2,42	8,13	5,71	1	10,05	126,29	0,45
20	2,75	8,13	5,38	1	9,76	122,59	0,44
21	3,5	8,13	4,63	1	9,05	113,72	0,41
22	4,5	8,13	3,63	1	8,01	100,70	0,36
23	6,1	8,13	2,03	1	5,99	75,30	0,27
24	7,5	8,13	0,63	0	0	0	0

Tabla 107. Primera iteración. Día modelo de producción de julio.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm3)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m3/s)	Volumen Desalojado-2 (hm3)
1	8,02	3,42	8,02	0,00	0	0	0	0
2	6,9	3,42	8,02	1,12	0	0	0	0
3	5,75	3,42	8,02	2,27	1	6,34	79,63	0,29
4	4,6	3,13	7,35	2,75	1	6,97	87,60	0,32
5	3,6	2,78	6,52	2,92	1	7,19	90,33	0,33
6	3	2,38	5,58	2,58	1	6,76	84,93	0,31
7	2,8	1,95	4,58	1,78	0	0	0	0
8	3,4	1,52	3,56	0,16	0	0	0	0
9	4,5	1,11	2,60	-1,90	0	0	0	0
10	5,9	0,75	1,76	-4,14	0	0	0	0
11	7,1	0,47	1,11	-5,99	0	0	0	0
12	8	0,47	1,11	-6,89	0	0	0	0
13	8,13	3,46	8,13	0,00	0	0	0	0
14	6,9	3,46	8,13	1,23	0	0	0	0
15	6,25	3,46	8,13	1,88	0	0	0	0
16	5	3,46	8,13	3,13	1	7,44	93,50	0,34
17	3,75	3,13	7,34	3,59	1	7,97	100,14	0,36
18	2,75	2,73	6,41	3,66	1	8,04	101,04	0,36
19	2,42	2,29	5,37	2,95	1	7,22	90,76	0,33
20	2,75	1,83	4,30	1,55	0	0	0	0
21	3,5	1,39	3,27	-0,23	0	0	0	0
22	4,5	0,98	2,31	-2,19	0	0	0	0
23	6,1	0,62	1,45	-4,65	0	0	0	0
24	7,5	0,35	0,82	-6,68	0	0	0	0

Tabla 108. Segunda iteración. Día modelo de producción de julio.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	8,02	3,42	8,02	0,00	0	0	0	0
2	6,9	3,42	8,02	1,12	0	0	0	0
3	5,75	3,42	8,02	2,27	1	6,34	79,63	0,29
4	4,6	3,13	7,35	2,75	1	6,97	87,60	0,32
5	3,6	2,81	6,61	3,01	1	7,29	91,65	0,33
6	3	2,49	5,84	2,84	1	7,09	89,12	0,32
7	2,8	2,18	5,13	2,33	1	6,41	80,60	0,29
8	3,4	2,18	5,13	1,73	0	0	0	0
9	4,5	2,18	5,13	0,63	0	0	0	0
10	5,9	2,18	5,13	-0,77	0	0	0	0
11	7,1	2,18	5,13	-1,97	0	0	0	0
12	8	2,18	5,13	-2,87	0	0	0	0
13	8,13	3,46	8,13	0,00	0	0	0	0
14	6,9	3,46	8,13	1,23	0	0	0	0
15	6,25	3,46	8,13	1,88	0	0	0	0
16	5	3,46	8,13	3,13	1	7,44	93,50	0,34
17	3,75	3,13	7,34	3,59	1	7,97	100,14	0,36
18	2,75	2,77	6,49	3,74	1	8,14	102,26	0,37
19	2,42	2,40	5,64	3,22	1	7,55	94,84	0,34
20	2,75	2,08	4,87	2,12	1	6,13	77,00	0,28
21	3,5	2,08	4,87	1,37	0	0	0	0
22	4,5	2,08	4,87	0,37	0	0	0	0
23	6,1	2,08	4,87	-1,23	0	0	0	0
24	7,5	2,08	4,87	-2,63	0	0	0	0

Tabla 109. Tercera iteración. Día modelo de producción de julio.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	8,02	3,42	8,02	0,00	0	0	0	0
2	6,9	3,42	8,02	1,12	0	0	0	0
3	5,75	3,42	8,02	2,27	1	6,34	79,63	0,29
4	4,6	3,13	7,35	2,75	1	6,97	87,60	0,32
5	3,6	2,81	6,61	3,01	1	7,29	91,65	0,33
6	3	2,48	5,83	2,83	1	7,08	88,95	0,32
7	2,8	2,16	5,08	2,28	1	6,35	79,79	0,29
8	3,4	1,87	4,40	1,00	0	0	0	0
9	4,5	1,87	4,40	-0,10	0	0	0	0
10	5,9	1,87	4,40	-1,50	0	0	0	0
11	7,1	1,87	4,40	-2,70	0	0	0	0
12	8	1,87	4,40	-3,60	0	0	0	0
13	8,13	3,46	8,13	0,00	0	0	0	0
14	6,9	3,46	8,13	1,23	0	0	0	0
15	6,25	3,46	8,13	1,88	0	0	0	0
16	5	3,46	8,13	3,13	1	7,44	93,50	0,34
17	3,75	3,13	7,34	3,59	1	7,97	100,14	0,36
18	2,75	2,77	6,49	3,74	1	8,14	102,26	0,37
19	2,42	2,40	5,63	3,21	1	7,53	94,68	0,34
20	2,75	2,06	4,83	2,08	1	6,06	76,19	0,27
21	3,5	1,78	4,18	0,68	0	0	0	0
22	4,5	1,78	4,18	-0,32	0	0	0	0
23	6,1	1,78	4,18	-1,92	0	0	0	0
24	7,5	1,78	4,18	-3,32	0	0	0	0

Tabla 110. Cuarta iteración. Día modelo de producción de julio.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	8,02	3,42	8,02	0,00	0	0	0	0
2	6,9	3,42	8,02	1,12	0	0	0	0
3	5,75	3,42	8,02	2,27	1	6,34	79,63	0,29
4	4,6	3,13	7,35	2,75	1	6,97	87,60	0,32
5	3,6	2,81	6,61	3,01	1	7,29	91,65	0,33
6	3	2,48	5,83	2,83	1	7,08	88,95	0,32
7	2,8	2,16	5,08	2,28	1	6,35	79,82	0,29
8	3,4	1,88	4,41	1,01	0	0	0	0
9	4,5	1,88	4,41	-0,09	0	0	0	0
10	5,9	1,88	4,41	-1,49	0	0	0	0
11	7,1	1,88	4,41	-2,69	0	0	0	0
12	8	1,88	4,41	-3,59	0	0	0	0
13	8,13	3,46	8,13	0,00	0	0	0	0
14	6,9	3,46	8,13	1,23	0	0	0	0
15	6,25	3,46	8,13	1,88	0	0	0	0
16	5	3,46	8,13	3,13	1	7,44	93,50	0,34
17	3,75	3,13	7,34	3,59	1	7,97	100,14	0,36
18	2,75	2,77	6,49	3,74	1	8,14	102,26	0,37
19	2,42	2,40	5,63	3,21	1	7,53	94,68	0,34
20	2,75	2,06	4,83	2,08	1	6,06	76,21	0,27
21	3,5	1,78	4,19	0,69	0	0	0	0
22	4,5	1,78	4,19	-0,31	0	0	0	0
23	6,1	1,78	4,19	-1,91	0	0	0	0
24	7,5	1,78	4,19	-3,31	0	0	0	0

Tabla 111. Quinta iteración. Día modelo de producción de julio.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	8,02	3,42	8,02	0,00	0	0	0	0
2	6,9	3,42	8,02	1,12	0	0	0	0
3	5,75	3,42	8,02	2,27	1	6,34	79,63	0,29
4	4,6	3,13	7,35	2,75	1	6,97	87,60	0,32
5	3,6	2,81	6,61	3,01	1	7,29	91,65	0,33
6	3	2,48	5,83	2,83	1	7,08	88,95	0,32
7	2,8	2,16	5,08	2,28	1	6,35	79,82	0,29
8	3,4	1,88	4,41	1,01	0	0	0	0
9	4,5	1,88	4,41	-0,09	0	0	0	0
10	5,9	1,88	4,41	-1,49	0	0	0	0
11	7,1	1,88	4,41	-2,69	0	0	0	0
12	8	1,88	4,41	-3,59	0	0	0	0
13	8,13	3,46	8,13	0,00	0	0	0	0
14	6,9	3,46	8,13	1,23	0	0	0	0
15	6,25	3,46	8,13	1,88	0	0	0	0
16	5	3,46	8,13	3,13	1	7,44	93,50	0,34
17	3,75	3,13	7,34	3,59	1	7,97	100,14	0,36
18	2,75	2,77	6,49	3,74	1	8,14	102,26	0,37
19	2,42	2,40	5,63	3,21	1	7,53	94,68	0,34
20	2,75	2,06	4,83	2,08	1	6,06	76,21	0,27
21	3,5	1,78	4,19	0,69	0	0	0	0
22	4,5	1,78	4,19	-0,31	0	0	0	0
23	6,1	1,78	4,19	-1,91	0	0	0	0
24	7,5	1,78	4,19	-3,31	0	0	0	0

Tabla 112. Sexta iteración. Día modelo de producción de julio.

Día modelo de agosto

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,19	Caudal acumulado (hm3)	2,95
Caudal acumulado (m3)	3185867,56	Caudal acumulado (m3)	2947056,53
Nivel embalse inicial (m)	8,36	Nivel embalse inicial (m)	8,41
Área embalse (hm2)	38,11	Área embalse (hm2)	35,04
Área embalse (m2)	381084,64	Área embalse (m2)	350422,89

Tabla 113. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de agosto.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m3/s)	Volumen Desalojado-1 (hm3)
1	8,36	8,36	0,00	0	0	0	0
2	7	8,36	1,36	0	0	0	0
3	5,6	8,36	2,76	1	6,99	87,80	0,32
4	4,4	8,36	3,96	1	8,37	105,17	0,38
5	3,25	8,36	5,11	1	9,51	119,47	0,43
6	2,5	8,36	5,86	1	10,18	127,94	0,46
7	2,34	8,36	6,02	1	10,32	129,68	0,47
8	3	8,36	5,36	1	9,74	122,36	0,44
9	4,25	8,36	4,11	1	8,53	107,15	0,39
10	5,75	8,36	2,61	1	6,79	85,39	0,31
11	7,25	8,36	1,11	0	0	0	0
12	8,25	8,36	0,11	0	0	0	0
13	8,41	8,41	0,00	0	0	0	0
14	7,75	8,41	0,66	0	0	0	0
15	6,5	8,41	1,91	0	0	0	0
16	5	8,41	3,41	1	7,77	97,60	0,35
17	3,5	8,41	4,91	1	9,32	117,11	0,42
18	2,5	8,41	5,91	1	10,22	128,49	0,46
19	2,15	8,41	6,26	1	10,52	132,24	0,48
20	2,5	8,41	5,91	1	10,22	128,49	0,46
21	3,5	8,41	4,91	1	9,32	117,11	0,42
22	5	8,41	3,41	1	7,77	97,60	0,35
23	6,5	8,41	1,91	0	0	0	0
24	8	8,41	0,41	0	0	0	0

Tabla 114. Primera iteración. Día modelo de producción de agosto.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm3)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m3/s)	Volumen Desalojado-2 (hm3)
1	8,36	3,56	8,36	0,00	0	0	0	0
2	7	3,56	8,36	1,36	0	0	0	0
3	5,6	3,56	8,36	2,76	1	6,99	87,80	0,32
4	4,4	3,25	7,62	3,22	1	7,54	94,81	0,34
5	3,25	2,87	6,73	3,48	1	7,85	98,58	0,35
6	2,5	2,44	5,72	3,22	1	7,55	94,83	0,34
7	2,34	1,98	4,64	2,30	1	6,38	80,13	0,29
8	3	1,51	3,54	0,54	0	0	0	0
9	4,25	1,07	2,51	-1,74	0	0	0	0
10	5,75	0,68	1,60	-4,15	0	0	0	0
11	7,25	0,38	0,88	-6,37	0	0	0	0
12	8,25	0,38	0,88	-7,37	0	0	0	0
13	8,41	3,58	8,41	0,00	0	0	0	0
14	7,75	3,58	8,41	0,66	0	0	0	0
15	6,5	3,58	8,41	1,91	0	0	0	0
16	5	3,58	8,41	3,41	1	7,77	97,60	0,35
17	3,5	3,23	7,59	4,09	1	8,50	106,82	0,38
18	2,5	2,81	6,60	4,10	1	8,51	106,96	0,39
19	2,15	2,35	5,51	3,36	1	7,71	96,88	0,35
20	2,5	1,87	4,39	1,89	0	0	0	0
21	3,5	1,41	3,31	-0,19	0	0	0	0
22	5	0,99	2,32	-2,68	0	0	0	0
23	6,5	0,64	1,49	-5,01	0	0	0	0
24	8	0,64	1,49	-6,51	0	0	0	0

Tabla 115. Segunda iteración. Día modelo de producción de agosto.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	8,36	3,6	8,36	0,00	0	0	0	0
2	7	3,6	8,36	1,36	0	0	0	0
3	5,6	3,6	8,36	2,76	1	6,99	87,80	0,32
4	4,4	3,2	7,62	3,22	1	7,54	94,81	0,34
5	3,25	2,9	6,82	3,57	1	7,94	99,82	0,36
6	2,5	2,5	5,98	3,48	1	7,85	98,65	0,36
7	2,34	2,2	5,18	2,84	1	7,09	89,11	0,32
8	3	1,9	4,51	1,51	0	0	0	0
9	4,25	1,9	4,51	0,26	0	0	0	0
10	5,75	1,9	4,51	-1,24	0	0	0	0
11	7,25	1,9	4,51	-2,74	0	0	0	0
12	8,25	1,9	4,51	-3,74	0	0	0	0
13	8,41	3,6	8,41	0,00	0	0	0	0
14	7,75	3,6	8,41	0,66	0	0	0	0
15	6,5	3,6	8,41	1,91	0	0	0	0
16	5	3,6	8,41	3,41	1	7,77	97,60	0,35
17	3,5	3,2	7,59	4,09	1	8,50	106,82	0,38
18	2,5	2,8	6,68	4,18	1	8,60	108,09	0,39
19	2,15	2,5	5,78	3,63	1	8,01	100,68	0,36
20	2,5	2,1	4,96	2,46	1	6,60	82,90	0,30
21	3,5	2,1	4,96	1,46	0	0	0	0
22	5	2,1	4,96	-0,04	0	0	0	0
23	6,5	2,1	4,96	-1,54	0	0	0	0
24	8	2,1	4,96	-3,04	0	0	0	0

Tabla 116. Tercera iteración. Día modelo de producción de agosto.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	8,36	3,6	8,36	0,00	0	0	0	0
2	7	3,6	8,36	1,36	0	0	0	0
3	5,6	3,6	8,36	2,76	1	6,99	87,80	0,32
4	4,4	3,2	7,62	3,22	1	7,54	94,81	0,34
5	3,25	2,9	6,82	3,57	1	7,94	99,82	0,36
6	2,5	2,5	5,97	3,47	1	7,84	98,50	0,35
7	2,34	2,2	5,14	2,80	1	7,04	88,43	0,32
8	3	1,9	4,39	1,39	0	0	0	0
9	4,25	1,9	4,39	0,14	0	0	0	0
10	5,75	1,9	4,39	-1,36	0	0	0	0
11	7,25	1,9	4,39	-2,86	0	0	0	0
12	8,25	1,9	4,39	-3,86	0	0	0	0
13	8,41	3,6	8,41	0,00	0	0	0	0
14	7,75	3,6	8,41	0,66	0	0	0	0
15	6,5	3,6	8,41	1,91	0	0	0	0
16	5	3,6	8,41	3,41	1	7,77	97,60	0,35
17	3,5	3,2	7,59	4,09	1	8,50	106,82	0,38
18	2,5	2,8	6,68	4,18	1	8,60	108,09	0,39
19	2,15	2,5	5,77	3,62	1	8,00	100,55	0,36
20	2,5	2,1	4,92	2,42	1	6,54	82,19	0,30
21	3,5	1,8	4,22	0,72	0	0	0	0
22	5	1,8	4,22	-0,78	0	0	0	0
23	6,5	1,8	4,22	-2,28	0	0	0	0
24	8	1,8	4,22	-3,78	0	0	0	0

Tabla 117. Cuarta iteración. Día modelo de producción de agosto.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	8,36	3,56	8,36	0,00	0	0	0	0
2	7	3,56	8,36	1,36	0	0	0	0
3	5,6	3,56	8,36	2,76	1	6,99	87,80	0,32
4	4,4	3,25	7,62	3,22	1	7,54	94,81	0,34
5	3,25	2,90	6,82	3,57	1	7,94	99,82	0,36
6	2,5	2,54	5,97	3,47	1	7,84	98,50	0,35
7	2,34	2,19	5,14	2,80	1	7,04	88,45	0,32
8	3	1,87	4,39	1,39	0	0	0	0
9	4,25	1,87	4,39	0,14	0	0	0	0
10	5,75	1,87	4,39	-1,36	0	0	0	0
11	7,25	1,87	4,39	-2,86	0	0	0	0
12	8,25	1,87	4,39	-3,86	0	0	0	0
13	8,41	3,58	8,41	0,00	0	0	0	0
14	7,75	3,58	8,41	0,66	0	0	0	0
15	6,5	3,58	8,41	1,91	0	0	0	0
16	5	3,58	8,41	3,41	1	7,77	97,60	0,35
17	3,5	3,23	7,59	4,09	1	8,50	106,82	0,38
18	2,5	2,85	6,68	4,18	1	8,60	108,09	0,39
19	2,15	2,46	5,77	3,62	1	8,00	100,55	0,36
20	2,5	2,10	4,92	2,42	1	6,54	82,21	0,30
21	3,5	1,80	4,22	0,72	0	0	0	0
22	5	1,80	4,22	-0,78	0	0	0	0
23	6,5	1,80	4,22	-2,28	0	0	0	0
24	8	1,80	4,22	-3,78	0	0	0	0

Tabla 118. Quinta iteración. Día modelo de producción de agosto.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	8,36	3,56	8,36	0,00	0	0	0	0
2	7	3,56	8,36	1,36	0	0	0	0
3	5,6	3,56	8,36	2,76	1	6,99	87,80	0,32
4	4,4	3,25	7,62	3,22	1	7,54	94,81	0,34
5	3,25	2,90	6,82	3,57	1	7,94	99,82	0,36
6	2,5	2,54	5,97	3,47	1	7,84	98,50	0,35
7	2,34	2,19	5,14	2,80	1	7,04	88,45	0,32
8	3	1,87	4,39	1,39	0	0	0	0
9	4,25	1,87	4,39	0,14	0	0	0	0
10	5,75	1,87	4,39	-1,36	0	0	0	0
11	7,25	1,87	4,39	-2,86	0	0	0	0
12	8,25	1,87	4,39	-3,86	0	0	0	0
13	8,41	3,58	8,41	0,00	0	0	0	0
14	7,75	3,58	8,41	0,66	0	0	0	0
15	6,5	3,58	8,41	1,91	0	0	0	0
16	5	3,58	8,41	3,41	1	7,77	97,60	0,35
17	3,5	3,23	7,59	4,09	1	8,50	106,82	0,38
18	2,5	2,85	6,68	4,18	1	8,60	108,09	0,39
19	2,15	2,46	5,77	3,62	1	8,00	100,55	0,36
20	2,5	2,10	4,92	2,42	1	6,54	82,21	0,30
21	3,5	1,80	4,22	0,72	0	0	0	0
22	5	1,80	4,22	-0,78	0	0	0	0
23	6,5	1,80	4,22	-2,28	0	0	0	0
24	8	1,80	4,22	-3,78	0	0	0	0

Tabla 119. Sexta iteración. Día modelo de producción de agosto.

Día modelo de septiembre

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,39	Caudal acumulado (hm3)	2,95
Caudal acumulado (m3)	3393613,92	Caudal acumulado (m3)	2951399,39
Nivel embalse inicial (m)	8,78	Nivel embalse inicial (m)	8,45
Área embalse (hm2)	38,65	Área embalse (hm2)	34,93
Área embalse (m2)	386516,39	Área embalse (m2)	349278,03

Tabla 120. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de septiembre.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m3/s)	Volumen Desalojado-1 (hm3)
1	8,78	8,78	0,00	0	0	0	0
2	7	8,78	1,78	0	0	0	0
3	5,75	8,78	3,03	1	7,32	92,00	0,33
4	4,4	8,78	4,38	1	8,80	110,61	0,40
5	3,1	8,78	5,68	1	10,02	125,96	0,45
6	2,3	8,78	6,48	1	10,71	134,54	0,48
7	2,03	8,78	6,75	1	10,93	137,31	0,49
8	2,5	8,78	6,28	1	10,54	132,45	0,48
9	4	8,78	4,78	1	9,20	115,55	0,42
10	5,6	8,78	3,18	1	7,50	94,25	0,34
11	7,25	8,78	1,53	0	0	0	0
12	8,25	8,78	0,53	0	0	0	0
13	8,45	8,45	0,0	0	0	0	0
14	7,6	8,45	0,85	0	0	0	0
15	6,5	8,45	1,95	0	0	0	0
16	5	8,45	3,45	1	7,81	98,17	0,35
17	3,6	8,45	4,85	1	9,26	116,39	0,42
18	2,5	8,45	5,95	1	10,26	128,92	0,46
19	2,13	8,45	6,32	1	10,57	132,87	0,48
20	2,5	8,45	5,95	1	10,26	128,92	0,46
21	3,6	8,45	4,85	1	9,26	116,39	0,42
22	5	8,45	3,45	1	7,81	98,17	0,35
23	6,75	8,45	1,7	0	0	0	0
24	8,4	8,45	0,05	0	0	0	0

Tabla 121. Primera iteración. Día modelo de producción de septiembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm3)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m3/s)	Volumen Desalojado-2 (hm3)
1	8,78	3,7	8,78	0,00	0	0	0	0
2	7	3,7	8,78	1,78	0	0	0	0
3	5,75	3,7	8,78	3,03	1	7,32	92,00	0,33
4	4,4	3,4	8,00	3,60	1	7,98	100,32	0,36
5	3,1	3,0	7,07	3,97	1	8,38	105,28	0,38
6	2,3	2,6	6,00	3,70	1	8,09	101,71	0,37
7	2,03	2,1	4,87	2,84	1	7,08	89,01	0,32
8	2,5	1,6	3,71	1,21	0	0	0	0
9	4	1,1	2,59	-1,41	0	0	0	0
10	5,6	0,7	1,61	-3,99	0	0	0	0
11	7,25	0,3	0,81	-6,44	0	0	0	0
12	8,25	0,3	0,81	-7,44	0	0	0	0
13	8,45	3,6	8,45	0,00	0	0	0	0
14	7,6	3,6	8,45	0,85	0	0	0	0
15	6,5	3,6	8,45	1,95	0	0	0	0
16	5	3,6	8,45	3,45	1	7,81	98,17	0,35
17	3,6	3,2	7,62	4,02	1	8,43	105,97	0,38
18	2,5	2,8	6,64	4,14	1	8,55	107,50	0,39
19	2,13	2,4	5,55	3,42	1	7,78	97,70	0,35
20	2,5	1,9	4,42	1,92	0	0	0	0
21	3,6	1,4	3,34	-0,26	0	0	0	0
22	5	1,0	2,35	-2,65	0	0	0	0
23	6,75	0,6	1,52	-5,23	0	0	0	0
24	8,4	0,6	1,52	-6,88	0	0	0	0

Tabla 122. Segunda iteración. Día modelo de producción de septiembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	8,78	3,56	8,36	0,00	0	0	0	0
2	7	3,56	8,36	1,36	0	0	0	0
3	5,75	3,56	8,36	2,76	1	6,99	87,80	0,32
4	4,4	3,25	7,62	3,22	1	7,54	94,81	0,34
5	3,1	2,90	6,82	3,57	1	7,94	99,82	0,36
6	2,3	2,55	5,98	3,48	1	7,85	98,65	0,36
7	2,03	2,21	5,18	2,84	1	7,09	89,11	0,32
8	2,5	1,92	4,51	1,51	0	0	0	0
9	4	1,92	4,51	0,26	0	0	0	0
10	5,6	1,92	4,51	-1,24	0	0	0	0
11	7,25	1,92	4,51	-2,74	0	0	0	0
12	8,25	1,92	4,51	-3,74	0	0	0	0
13	8,45	3,58	8,41	0,00	0	0	0	0
14	7,6	3,58	8,41	0,66	0	0	0	0
15	6,5	3,58	8,41	1,91	0	0	0	0
16	5	3,58	8,41	3,41	1	7,77	97,60	0,35
17	3,6	3,23	7,59	4,09	1	8,50	106,82	0,38
18	2,5	2,85	6,68	4,18	1	8,60	108,09	0,39
19	2,13	2,46	5,78	3,63	1	8,01	100,68	0,36
20	2,5	2,11	4,96	2,46	1	6,60	82,90	0,30
21	3,6	2,11	4,96	1,46	0	0	0	0
22	5	2,11	4,96	-0,04	0	0	0	0
23	6,75	2,11	4,96	-1,54	0	0	0	0
24	8,4	2,11	4,96	-3,04	0	0	0	0

Tabla 123. Tercera iteración. Día modelo de producción de septiembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	8,36	3,7	8,78	0,00	0	0	0	0
2	7	3,7	8,78	1,78	0	0	0	0
3	5,6	3,7	8,78	3,03	1	7,32	92,00	0,33
4	4,4	3,4	8,00	3,60	1	7,98	100,32	0,36
5	3,25	3,0	7,15	4,05	1	8,47	106,43	0,38
6	2,5	2,7	6,26	3,96	1	8,36	105,11	0,38
7	2,34	2,3	5,37	3,34	1	7,68	96,54	0,35
8	3	1,9	4,55	2,05	1	6,02	75,59	0,27
9	4,25	1,7	3,89	-0,11	0	0	0	0
10	5,75	1,7	3,89	-1,71	0	0	0	0
11	7,25	1,7	3,89	-3,36	0	0	0	0
12	8,25	1,7	3,89	-4,36	0	0	0	0
13	8,41	3,6	8,45	0,00	0	0	0	0
14	7,75	3,6	8,45	0,85	0	0	0	0
15	6,5	3,6	8,45	1,95	0	0	0	0
16	5	3,6	8,45	3,45	1	7,81	98,17	0,35
17	3,5	3,2	7,62	4,02	1	8,43	105,97	0,38
18	2,5	2,9	6,72	4,22	1	8,64	108,64	0,39
19	2,15	2,5	5,81	3,68	1	8,06	101,35	0,36
20	2,5	2,1	4,95	2,45	1	6,58	82,72	0,30
21	3,5	1,8	4,24	0,64	0	0	0	0
22	5	1,8	4,24	-0,76	0	0	0	0
23	6,5	1,8	4,24	-2,51	0	0	0	0
24	8	1,8	4,24	-4,16	0	0	0	0

Tabla 124. Cuarta iteración. Día modelo de producción de septiembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	8,78	3,74	8,78	0,00	0	0	0	0
2	7	3,74	8,78	1,78	0	0	0	0
3	5,75	3,74	8,78	3,03	1	7,32	92,00	0,33
4	4,4	3,41	8,00	3,60	1	7,98	100,32	0,36
5	3,1	3,05	7,15	4,05	1	8,47	106,43	0,38
6	2,3	2,66	6,26	3,96	1	8,36	105,11	0,38
7	2,03	2,29	5,37	3,34	1	7,68	96,55	0,35
8	2,5	1,94	4,55	2,05	1	6,02	75,70	0,27
9	4	1,67	3,91	-0,09	0	0	0	0
10	5,6	1,67	3,91	-1,69	0	0	0	0
11	7,25	1,67	3,91	-3,34	0	0	0	0
12	8,25	1,67	3,91	-4,34	0	0	0	0
13	8,45	3,60	8,45	0,00	0	0	0	0
14	7,6	3,60	8,45	0,85	0	0	0	0
15	6,5	3,60	8,45	1,95	0	0	0	0
16	5	3,60	8,45	3,45	1	7,81	98,17	0,35
17	3,6	3,25	7,62	4,02	1	8,43	105,97	0,38
18	2,5	2,86	6,72	4,22	1	8,64	108,64	0,39
19	2,13	2,47	5,81	3,68	1	8,06	101,35	0,36
20	2,5	2,11	4,95	2,45	1	6,58	82,74	0,30
21	3,6	1,81	4,25	0,65	0	0	0	0
22	5	1,81	4,25	-0,75	0	0	0	0
23	6,75	1,81	4,25	-2,50	0	0	0	0
24	8,4	1,81	4,25	-4,15	0	0	0	0

Tabla 125. Quinta iteración. Día modelo de producción de septiembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	8,78	3,74	8,78	0,00	0	0	0	0
2	7	3,74	8,78	1,78	0	0	0	0
3	5,75	3,74	8,78	3,03	1	7,32	92,00	0,33
4	4,4	3,41	8,00	3,60	1	7,98	100,32	0,36
5	3,1	3,05	7,15	4,05	1	8,47	106,43	0,38
6	2,3	2,66	6,26	3,96	1	8,36	105,11	0,38
7	2,03	2,29	5,37	3,34	1	7,68	96,55	0,35
8	2,5	1,94	4,55	2,05	1	6,02	75,70	0,27
9	4	1,67	3,91	-0,09	0	0	0	0
10	5,6	1,67	3,91	-1,69	0	0	0	0
11	7,25	1,67	3,91	-3,34	0	0	0	0
12	8,25	1,67	3,91	-4,34	0	0	0	0
13	8,45	3,60	8,45	0,00	0	0	0	0
14	7,6	3,60	8,45	0,85	0	0	0	0
15	6,5	3,60	8,45	1,95	0	0	0	0
16	5	3,60	8,45	3,45	1	7,81	98,17	0,35
17	3,6	3,25	7,62	4,02	1	8,43	105,97	0,38
18	2,5	2,86	6,72	4,22	1	8,64	108,64	0,39
19	2,13	2,47	5,81	3,68	1	8,06	101,35	0,36
20	2,5	2,11	4,95	2,45	1	6,58	82,74	0,30
21	3,6	1,81	4,25	0,65	0	0	0	0
22	5	1,81	4,25	-0,75	0	0	0	0
23	6,75	1,81	4,25	-2,50	0	0	0	0
24	8,4	1,81	4,25	-4,15	0	0	0	0

Tabla 126. Sexta iteración. Día modelo de producción de septiembre.

Día modelo de octubre

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,79	Caudal acumulado (hm3)	3,17
Caudal acumulado (m3)	3791547,91	Caudal acumulado (m3)	3172397,90
Nivel embalse inicial (m)	8,9	Nivel embalse inicial (m)	8,39
Área embalse (hm2)	42,60	Área embalse (hm2)	37,81
Área embalse (m2)	426016,62	Área embalse (m2)	378116,56

Tabla 127. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de octubre.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m ³ /s)	Volumen Desalojado-1 (hm ³)
1	7,5	8,9	1,4	0	0	0	0
2	6,25	8,9	2,65	1	6,85	86,04	0,31
3	5	8,9	3,9	1	8,31	104,37	0,38
4	3,75	8,9	5,15	1	9,54	119,94	0,43
5	2,75	8,9	6,15	1	10,43	131,07	0,47
6	2,25	8,9	6,65	1	10,85	136,29	0,49
7	2,02	8,9	6,88	1	11,03	138,63	0,50
8	2,75	8,9	6,15	1	10,43	131,07	0,47
9	4,1	8,9	4,8	1	9,21	115,79	0,42
10	6	8,9	2,9	1	7,16	90,00	0,32
11	7,5	8,9	1,4	0	0	0	0
12	8,39	8,39	0,00	0	0	0	0
13	8,25	8,39	0,14	0	0	0	0
14	7,4	8,39	0,99	0	0	0	0
15	6	8,39	2,39	1	6,50	81,71	0,29
16	4,6	8,39	3,79	1	8,19	102,89	0,37
17	3,5	8,39	4,89	1	9,30	116,87	0,42
18	2,5	8,39	5,89	1	10,21	128,27	0,46
19	2,39	8,39	6	1	10,30	129,46	0,47
20	3	8,39	5,39	1	9,76	122,70	0,44
21	4,1	8,39	4,29	1	8,71	109,47	0,39
22	5,5	8,39	2,89	1	7,15	89,85	0,32
23	7	8,39	1,39	0	0	0	0
24	8,9	8,9	0,00	0	0	0	0

Tabla 128. Primera iteración. Día modelo de producción de octubre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm ³)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m ³ /s)	Volumen Desalojado-2 (hm ³)
1	7,5	3,79	8,90	1,40	0	0	0	0
2	6,25	3,79	8,90	2,65	1	6,85	86,04	0,31
3	5	3,48	8,17	3,17	1	7,49	94,14	0,34
4	3,75	3,11	7,29	3,54	1	7,91	99,45	0,36
5	2,75	2,67	6,28	3,53	1	7,90	99,26	0,36
6	2,25	2,20	5,17	2,92	1	7,19	90,31	0,33
7	2,02	1,71	4,02	2,00	0	0	0	0
8	2,75	1,21	2,85	0,10	0	0	0	0
9	4,1	0,74	1,74	-2,36	0	0	0	0
10	6	0,32	0,76	-5,24	0	0	0	0
11	7,5	0,00	0,00	-7,50	0	0	0	0
12	8,39	3,57	8,39	0,00	0	0	0	0
13	8,25	3,57	8,39	0,14	0	0	0	0
14	7,4	3,57	8,39	0,99	0	0	0	0
15	6	3,57	8,39	2,39	1	6,50	81,71	0,29
16	4,6	3,28	7,70	3,10	1	7,40	93,05	0,33
17	3,5	2,91	6,83	3,33	1	7,67	96,45	0,35
18	2,5	2,49	5,84	3,34	1	7,69	96,63	0,35
19	2,39	2,03	4,76	2,37	1	6,47	81,34	0,29
20	3	1,56	3,66	0,66	0	0	0	0
21	4,1	1,12	2,63	-1,47	0	0	0	0
22	5,5	0,73	1,70	-3,80	0	0	0	0
23	7	0,40	0,94	-6,06	0	0	0	0
24	8,9	3,79	8,90	0,00	0	0	0	0

Tabla 129. Segunda iteración. Día modelo de producción de octubre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	7,5	3,79	8,90	1,40	0	0	0	0
2	6,25	3,79	8,90	2,65	1	6,85	86,04	0,31
3	5	3,48	8,17	3,17	1	7,49	94,14	0,34
4	3,75	3,14	7,38	3,63	1	8,01	100,66	0,36
5	2,75	2,78	6,54	3,79	1	8,18	102,85	0,37
6	2,25	2,43	5,70	3,45	1	7,81	98,14	0,35
7	2,02	2,10	4,94	2,92	1	7,18	90,24	0,32
8	2,75	2,10	4,94	2,19	1	6,22	78,12	0,28
9	4,1	2,10	4,94	0,84	0	0	0	0
10	6	2,10	4,94	-1,06	0	0	0	0
11	7,5	2,10	4,94	-2,56	0	0	0	0
12	8,39	3,57	8,39	0,00	0	0	0	0
13	8,25	3,57	8,39	0,14	0	0	0	0
14	7,4	3,57	8,39	0,99	0	0	0	0
15	6	3,57	8,39	2,39	1	6,50	81,71	0,29
16	4,6	3,28	7,70	3,10	1	7,40	93,05	0,33
17	3,5	2,95	6,91	3,41	1	7,77	97,64	0,35
18	2,5	2,60	6,10	3,60	1	7,98	100,26	0,36
19	2,39	2,25	5,28	2,89	1	7,15	89,87	0,32
20	3	1,96	4,59	1,59	0	0	0	0
21	4,1	1,96	4,59	0,49	0	0	0	0
22	5,5	1,96	4,59	-0,91	0	0	0	0
23	7	1,96	4,59	-2,41	0	0	0	0
24	8,9	3,79	8,90	0,00	0	0	0	0

Tabla 130. Tercera iteración. Día modelo de producción de octubre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	7,5	3,79	8,90	1,40	0	0	0	0
2	6,25	3,79	8,90	2,65	1	6,85	86,04	0,31
3	5	3,48	8,17	3,17	1	7,49	94,14	0,34
4	3,75	3,14	7,38	3,63	1	8,01	100,66	0,36
5	2,75	2,78	6,53	3,78	1	8,17	102,71	0,37
6	2,25	2,41	5,66	3,41	1	7,76	97,56	0,35
7	2,02	2,06	4,83	2,81	1	7,05	88,57	0,32
8	2,75	1,73	4,07	1,32	0	0	0	0
9	4,1	1,45	3,41	-0,69	0	0	0	0
10	6	1,45	3,41	-2,59	0	0	0	0
11	7,5	1,45	3,41	-4,09	0	0	0	0
12	8,39	3,57	8,39	0,00	0	0	0	0
13	8,25	3,57	8,39	0,14	0	0	0	0
14	7,4	3,57	8,39	0,99	0	0	0	0
15	6	3,57	8,39	2,39	1	6,50	81,71	0,29
16	4,6	3,28	7,70	3,10	1	7,40	93,05	0,33
17	3,5	2,95	6,91	3,41	1	7,77	97,64	0,35
18	2,5	2,59	6,09	3,59	1	7,97	100,11	0,36
19	2,39	2,23	5,24	2,85	1	7,10	89,24	0,32
20	3	1,91	4,48	1,48	0	0	0	0
21	4,1	1,91	4,48	0,38	0	0	0	0
22	5,5	1,91	4,48	-1,02	0	0	0	0
23	7	1,91	4,48	-2,52	0	0	0	0
24	8,9	3,79	8,90	0,00	0	0	0	0

Tabla 131. Cuarta iteración. Día modelo de producción de octubre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	7,5	3,79	8,90	1,40	0	0	0	0
2	6,25	3,79	8,90	2,65	1	6,85	86,04	0,31
3	5	3,48	8,17	3,17	1	7,49	94,14	0,34
4	3,75	3,14	7,38	3,63	1	8,01	100,66	0,36
5	2,75	2,78	6,53	3,78	1	8,17	102,71	0,37
6	2,25	2,41	5,66	3,41	1	7,77	97,58	0,35
7	2,02	2,06	4,83	2,81	1	7,06	88,67	0,32
8	2,75	1,74	4,09	1,34	0	0	0	0
9	4,1	1,74	4,09	-0,01	0	0	0	0
10	6	1,74	4,09	-1,91	0	0	0	0
11	7,5	1,74	4,09	-3,41	0	0	0	0
12	8,39	3,57	8,39	0,00	0	0	0	0
13	8,25	3,57	8,39	0,14	0	0	0	0
14	7,4	3,57	8,39	0,99	0	0	0	0
15	6	3,57	8,39	2,39	1	6,50	81,71	0,29
16	4,6	3,28	7,70	3,10	1	7,40	93,05	0,33
17	3,5	2,95	6,91	3,41	1	7,77	97,64	0,35
18	2,5	2,59	6,09	3,59	1	7,97	100,11	0,36
19	2,39	2,23	5,24	2,85	1	7,10	89,26	0,32
20	3	1,91	4,49	1,49	0	0	0	0
21	4,1	1,91	4,49	0,39	0	0	0	0
22	5,5	1,91	4,49	-1,01	0	0	0	0
23	7	1,91	4,49	-2,51	0	0	0	0
24	8,9	3,79	8,90	0,00	0	0	0	0

Tabla 132. Quinta iteración. Día modelo de producción de octubre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	7,5	3,79	8,90	1,40	0	0	0	0
2	6,25	3,79	8,90	2,65	1	6,85	86,04	0,31
3	5	3,48	8,17	3,17	1	7,49	94,14	0,34
4	3,75	3,14	7,38	3,63	1	8,01	100,66	0,36
5	2,75	2,78	6,53	3,78	1	8,17	102,71	0,37
6	2,25	2,41	5,66	3,41	1	7,77	97,58	0,35
7	2,02	2,06	4,83	2,81	1	7,06	88,66	0,32
8	2,75	1,74	4,08	1,33	0	0	0	0
9	4,1	1,74	4,08	-0,02	0	0	0	0
10	6	1,74	4,08	-1,92	0	0	0	0
11	7,5	1,74	4,08	-3,42	0	0	0	0
12	8,39	3,57	8,39	0,00	0	0	0	0
13	8,25	3,57	8,39	0,14	0	0	0	0
14	7,4	3,57	8,39	0,99	0	0	0	0
15	6	3,57	8,39	2,39	1	6,50	81,71	0,29
16	4,6	3,28	7,70	3,10	1	7,40	93,05	0,33
17	3,5	2,95	6,91	3,41	1	7,77	97,64	0,35
18	2,5	2,59	6,09	3,59	1	7,97	100,11	0,36
19	2,39	2,23	5,24	2,85	1	7,10	89,26	0,32
20	3	1,91	4,49	1,49	0	0	0	0
21	4,1	1,91	4,49	0,39	0	0	0	0
22	5,5	1,91	4,49	-1,01	0	0	0	0
23	7	1,91	4,49	-2,51	0	0	0	0
24	8,9	3,79	8,90	0,00	0	0	0	0

Tabla 133. Sexta iteración. Día modelo de producción de octubre.

Día modelo de noviembre

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,75	Caudal acumulado (hm3)	3,04
Caudal acumulado (m3)	3747842,47	Caudal acumulado (m3)	3035516,60
Nivel embalse inicial (m)	8,9	Nivel embalse inicial (m)	8,33
Área embalse (hm2)	42,11	Área embalse (hm2)	36,44
Área embalse (m2)	421105,90	Área embalse (m2)	364407,76

Tabla 134. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de noviembre.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m3/s)	Volumen Desalojado-1 (hm3)
1	7,4	8,9	1,5	0	0	0	0
2	6	8,9	2,9	1	7,16	90,00	0,32
3	4,75	8,9	4,15	1	8,57	107,67	0,39
4	3,5	8,9	5,4	1	9,77	122,82	0,44
5	2,75	8,9	6,15	1	10,43	131,07	0,47
6	2,17	8,9	6,73	1	10,91	137,11	0,49
7	2,4	8,9	6,5	1	10,72	134,75	0,49
8	3,4	8,9	5,5	1	9,86	123,95	0,45
9	4,75	8,9	4,15	1	8,57	107,67	0,39
10	6,25	8,9	2,65	1	6,85	86,04	0,31
11	7,6	8,9	1,3	0	0	0	0
12	8,33	8,33	0	0	0	0	0
13	8,1	8,33	0,23	0	0	0	0
14	7,4	8,33	0,93	0	0	0	0
15	6	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
16	4,6	8,33	3,73	1	8,12	102,07	0,37
17	3,5	8,33	4,83	1	9,24	116,15	0,42
18	2,69	8,33	5,64	1	9,99	125,52	0,45
19	2,9	8,33	5,43	1	9,80	123,16	0,44
20	3,6	8,33	4,73	1	9,15	114,95	0,41
21	4,75	8,33	3,58	1	7,96	100,00	0,36
22	6	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
23	7,4	8,33	0,93	0	0	0	0
24	8,72	8,72	0	0	0	0	0

Tabla 135. Primera iteración. Día modelo de producción de noviembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm3)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m3/s)	Volumen Desalojado-2 (hm3)
1	7,4	3,79	8,90	1,50	0	0	0	0
2	6	3,79	8,90	2,90	1	7,16	90,00	0,32
3	4,75	3,47	8,14	3,39	1	7,74	97,30	0,35
4	3,5	3,08	7,23	3,73	1	8,12	102,07	0,37
5	2,75	2,64	6,19	3,44	1	7,80	98,05	0,35
6	2,17	2,17	5,08	2,91	1	7,18	90,22	0,32
7	2,4	1,67	3,93	1,53	0	0	0	0
8	3,4	1,19	2,79	-0,61	0	0	0	0
9	4,75	0,74	1,74	-3,01	0	0	0	0
10	6,25	0,35	0,83	-5,42	0	0	0	0
11	7,6	0,04	0,10	-7,50	0	0	0	0
12	8,33	3,55	8,33	0,00	0	0	0	0
13	8,1	3,55	8,33	0,23	0	0	0	0
14	7,4	3,55	8,33	0,93	0	0	0	0
15	6	3,55	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
16	4,6	3,26	7,65	3,05	1	7,34	92,28	0,33
17	3,5	2,89	6,79	3,29	1	7,62	95,80	0,34
18	2,69	2,47	5,80	3,11	1	7,42	93,27	0,34
19	2,9	2,02	4,74	1,84	0	0	0	0
20	3,6	1,58	3,70	0,10	0	0	0	0
21	4,75	1,16	2,73	-2,02	0	0	0	0
22	6	0,80	1,89	-4,11	0	0	0	0
23	7,4	0,51	1,20	-6,20	0	0	0	0
24	8,72	3,71	8,72	0,00	0	0	0	0

Tabla 136. Segunda iteración. Día modelo de producción de noviembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	7,4	3,79	8,90	1,50	0	0	0	0
2	6	3,79	8,90	2,90	1	7,16	90,00	0,32
3	4,75	3,47	8,14	3,39	1	7,74	97,30	0,35
4	3,5	3,12	7,32	3,82	1	8,22	103,26	0,37
5	2,75	2,75	6,45	3,70	1	8,10	101,73	0,37
6	2,17	2,40	5,63	3,46	1	7,82	98,26	0,35
7	2,4	2,07	4,86	2,46	1	6,60	82,96	0,30
8	3,4	2,07	4,86	1,46	0	0	0	0
9	4,75	2,07	4,86	0,11	0	0	0	0
10	6,25	2,07	4,86	-1,39	0	0	0	0
11	7,6	2,07	4,86	-2,74	0	0	0	0
12	8,33	3,55	8,33	0,00	0	0	0	0
13	8,1	3,55	8,33	0,23	0	0	0	0
14	7,4	3,55	8,33	0,93	0	0	0	0
15	6	3,55	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
16	4,6	3,26	7,65	3,05	1	7,34	92,28	0,33
17	3,5	2,93	6,87	3,37	1	7,72	97,00	0,35
18	2,69	2,58	6,06	3,37	1	7,72	97,01	0,35
19	2,9	2,25	5,27	2,37	1	6,48	81,38	0,29
20	3,6	2,25	5,27	1,67	0	0	0	0
21	4,75	2,25	5,27	0,52	0	0	0	0
22	6	2,25	5,27	-0,73	0	0	0	0
23	7,4	2,25	5,27	-2,13	0	0	0	0
24	8,72	3,71	8,72	0,00	0	0	0	0

Tabla 137. Tercera iteración. Día modelo de producción de noviembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	7,4	3,79	8,90	1,50	0	0	0	0
2	6	3,79	8,90	2,90	1	7,16	90,00	0,32
3	4,75	3,47	8,14	3,39	1	7,74	97,30	0,35
4	3,5	3,12	7,32	3,82	1	8,22	103,26	0,37
5	2,75	2,75	6,44	3,69	1	8,08	101,59	0,37
6	2,17	2,38	5,58	3,41	1	7,77	97,67	0,35
7	2,4	2,03	4,75	2,35	1	6,45	81,10	0,29
8	3,4	1,73	4,05	0,65	0	0	0	0
9	4,75	1,73	4,05	-0,70	0	0	0	0
10	6,25	1,73	4,05	-2,20	0	0	0	0
11	7,6	1,73	4,05	-3,55	0	0	0	0
12	8,33	3,55	8,33	0,00	0	0	0	0
13	8,1	3,55	8,33	0,23	0	0	0	0
14	7,4	3,55	8,33	0,93	0	0	0	0
15	6	3,55	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
16	4,6	3,26	7,65	3,05	1	7,34	92,28	0,33
17	3,5	2,93	6,87	3,37	1	7,72	97,00	0,35
18	2,69	2,58	6,05	3,36	1	7,71	96,86	0,35
19	2,9	2,23	5,23	2,33	1	6,42	80,66	0,29
20	3,6	1,93	4,54	0,94	0	0	0	0
21	4,75	1,93	4,54	-0,21	0	0	0	0
22	6	1,93	4,54	-1,46	0	0	0	0
23	7,4	1,93	4,54	-2,86	0	0	0	0
24	8,72	3,71	8,72	0,00	0	0	0	0

Tabla 138. Cuarta iteración. Día modelo de producción de noviembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	7,4	3,79	8,90	1,50	0	0	0	0
2	6	3,79	8,90	2,90	1	7,16	90,00	0,32
3	4,75	3,47	8,14	3,39	1	7,74	97,30	0,35
4	3,5	3,12	7,32	3,82	1	8,22	103,26	0,37
5	2,75	2,75	6,44	3,69	1	8,08	101,59	0,37
6	2,17	2,38	5,59	3,42	1	7,77	97,69	0,35
7	2,4	2,03	4,76	2,36	1	6,46	81,21	0,29
8	3,4	1,74	4,08	0,68	0	0	0	0
9	4,75	1,74	4,08	-0,67	0	0	0	0
10	6,25	1,74	4,08	-2,17	0	0	0	0
11	7,6	1,74	4,08	-3,52	0	0	0	0
12	8,33	3,55	8,33	0,00	0	0	0	0
13	8,1	3,55	8,33	0,23	0	0	0	0
14	7,4	3,55	8,33	0,93	0	0	0	0
15	6	3,55	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
16	4,6	3,26	7,65	3,05	1	7,34	92,28	0,33
17	3,5	2,93	6,87	3,37	1	7,72	97,00	0,35
18	2,69	2,58	6,05	3,36	1	7,71	96,86	0,35
19	2,9	2,23	5,23	2,33	1	6,42	80,68	0,29
20	3,6	1,94	4,55	0,95	0	0	0	0
21	4,75	1,94	4,55	-0,20	0	0	0	0
22	6	1,94	4,55	-1,45	0	0	0	0
23	7,4	1,94	4,55	-2,85	0	0	0	0
24	8,72	3,71	8,72	0,00	0	0	0	0

Tabla 139. Quinta iteración. Día modelo de producción de noviembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	7,4	3,79	8,90	1,50	0	0	0	0
2	6	3,79	8,90	2,90	1	7,16	90,00	0,32
3	4,75	3,47	8,14	3,39	1	7,74	97,30	0,35
4	3,5	3,12	7,32	3,82	1	8,22	103,26	0,37
5	2,75	2,75	6,44	3,69	1	8,08	101,59	0,37
6	2,17	2,38	5,59	3,42	1	7,77	97,69	0,35
7	2,4	2,03	4,76	2,36	1	6,46	81,20	0,29
8	3,4	1,74	4,07	0,67	0	0	0	0
9	4,75	1,74	4,07	-0,68	0	0	0	0
10	6,25	1,74	4,07	-2,18	0	0	0	0
11	7,6	1,74	4,07	-3,53	0	0	0	0
12	8,33	3,55	8,33	0,00	0	0	0	0
13	8,1	3,55	8,33	0,23	0	0	0	0
14	7,4	3,55	8,33	0,93	0	0	0	0
15	6	3,55	8,33	2,33	1	6,42	80,68	0,29
16	4,6	3,26	7,65	3,05	1	7,34	92,28	0,33
17	3,5	2,93	6,87	3,37	1	7,72	97,00	0,35
18	2,69	2,58	6,05	3,36	1	7,71	96,86	0,35
19	2,9	2,23	5,23	2,33	1	6,42	80,68	0,29
20	3,6	1,94	4,55	0,95	0	0	0	0
21	4,75	1,94	4,55	-0,20	0	0	0	0
22	6	1,94	4,55	-1,45	0	0	0	0
23	7,4	1,94	4,55	-2,85	0	0	0	0
24	8,72	3,71	8,72	0,00	0	0	0	0

Tabla 140. Sexta iteración. Día modelo de producción de noviembre.

Día modelo de la primera quincena de diciembre

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,59	Caudal acumulado (hm3)	2,64
Caudal acumulado (m3)	3589649,45	Caudal acumulado (m3)	2636318,77
Nivel embalse inicial (m)	8,72	Nivel embalse inicial (m)	8,08
Área embalse (hm2)	41,17	Área embalse (hm2)	32,63
Área embalse (m2)	411657,05	Área embalse (m2)	326277,07

Tabla 141. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m3/s)	Volumen Desalojado-1 (hm3)
1	7,6	8,72	1,12	0	0	0	0
2	6,5	8,72	2,22	1	6,27	78,75	0,28
3	5,4	8,72	3,32	1	7,66	96,30	0,35
4	4,25	8,72	4,47	1	8,89	111,74	0,40
5	3,4	8,72	5,32	1	9,70	121,90	0,44
6	2,75	8,72	5,97	1	10,28	129,14	0,46
7	2,56	8,72	6,16	1	10,44	131,18	0,47
8	3,1	8,72	5,62	1	9,97	125,29	0,45
9	4,25	8,72	4,47	1	8,89	111,74	0,40
10	5,75	8,72	2,97	1	7,25	91,08	0,33
11	7,25	8,72	1,47	0	0	0	0
12	8,08	8,08	0	0	0	0	0
13	8	8,08	0,08	0	0	0	0
14	7,25	8,08	0,83	0	0	0	0
15	6,25	8,08	1,83	0	0	0	0
16	5	8,08	3,08	1	7,38	92,75	0,33
17	3,9	8,08	4,18	1	8,60	108,06	0,39
18	3,25	8,08	4,83	1	9,24	116,15	0,42
19	3,01	8,08	5,07	1	9,47	119,01	0,43
20	3,5	8,08	4,58	1	9,00	113,11	0,41
21	4,5	8,08	3,58	1	7,96	100,00	0,36
22	5,6	8,08	2,48	1	6,62	83,23	0,30
23	7	8,08	1,08	0	0	0	0
24	8,34	8,34	0	0	0	0	0

Tabla 142. Primera iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm3)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m3/s)	Volumen Desalojado-2 (hm3)
1	7,6	3,71	8,72	1,12	0	0	0	0
2	6,5	3,71	8,72	2,22	1	6,27	78,75	0,28
3	5,4	3,43	8,05	2,65	1	6,85	86,11	0,31
4	4,25	3,08	7,24	2,99	1	7,27	91,40	0,33
5	3,4	2,68	6,30	2,90	1	7,16	89,95	0,32
6	2,75	2,24	5,27	2,52	1	6,67	83,84	0,30
7	2,56	1,78	4,18	1,62	0	0	0	0
8	3,1	1,31	3,07	-0,03	0	0	0	0
9	4,25	0,86	2,01	-2,24	0	0	0	0
10	5,75	0,45	1,06	-4,69	0	0	0	0
11	7,25	0,13	0,29	-6,96	0	0	0	0
12	8,08	3,44	8,08	0,00	0	0	0	0
13	8	3,44	8,08	0,08	0	0	0	0
14	7,25	3,44	8,08	0,83	0	0	0	0
15	6,25	3,44	8,08	1,83	0	0	0	0
16	5	3,44	8,08	3,08	1	7,38	92,75	0,33
17	3,9	3,11	7,30	3,40	1	7,75	97,40	0,35
18	3,25	2,72	6,38	3,13	1	7,44	93,55	0,34
19	3,01	2,30	5,40	2,39	1	6,50	81,73	0,29
20	3,5	1,87	4,40	0,90	0	0,00	0,00	0,00
21	4,5	1,47	3,44	-1,06	0	0	0	0
22	5,6	1,11	2,60	-3,00	0	0	0	0
23	7	0,81	1,89	-5,11	0	0	0	0
24	8,34	3,55	8,34	0,00	0	0	0	0

Tabla 143. Segunda iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	7,6	3,71	8,72	1,12	0	0	0	0
2	6,5	3,71	8,72	2,22	1	6,27	78,75	0,28
3	5,4	3,43	8,05	2,65	1	6,85	86,11	0,31
4	4,25	3,12	7,33	3,08	1	7,38	92,71	0,33
5	3,4	2,79	6,55	3,15	1	7,47	93,87	0,34
6	2,75	2,47	5,79	3,04	1	7,34	92,22	0,33
7	2,56	2,17	5,09	2,53	1	6,68	84,00	0,30
8	3,1	2,17	5,09	1,99	0	0	0	0
9	4,25	2,17	5,09	0,84	0	0	0	0
10	5,75	2,17	5,09	-0,66	0	0	0	0
11	7,25	2,17	5,09	-2,16	0	0	0	0
12	8,08	3,44	8,08	0,00	0	0	0	0
13	8	3,44	8,08	0,08	0	0	0	0
14	7,25	3,44	8,08	0,83	0	0	0	0
15	6,25	3,44	8,08	1,83	0	0	0	0
16	5	3,44	8,08	3,08	1	7,38	92,75	0,33
17	3,9	3,11	7,30	3,40	1	7,75	97,40	0,35
18	3,25	2,76	6,47	3,22	1	7,55	94,89	0,34
19	3,01	2,42	5,68	2,67	1	6,88	86,40	0,31
20	3,5	2,13	4,99	1,49	0	0	0	0
21	4,5	2,13	4,99	0,49	0	0	0	0
22	5,6	2,13	4,99	-0,61	0	0	0	0
23	7	2,13	4,99	-2,01	0	0	0	0
24	8,34	3,55	8,34	0,00	0	0	0	0

Tabla 144. Tercera iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	7,6	3,71	8,72	1,12	0	0	0	0
2	6,5	3,71	8,72	2,22	1	6,27	78,75	0,28
3	5,4	3,43	8,05	2,65	1	6,85	86,11	0,31
4	4,25	3,12	7,33	3,08	1	7,38	92,71	0,33
5	3,4	2,79	6,54	3,14	1	7,46	93,71	0,34
6	2,75	2,45	5,75	3,00	1	7,28	91,55	0,33
7	2,56	2,12	4,97	2,41	1	6,53	82,06	0,30
8	3,1	1,82	4,26	1,16	0	0	0	0
9	4,25	1,82	4,26	0,01	0	0	0	0
10	5,75	1,82	4,26	-1,49	0	0	0	0
11	7,25	1,82	4,26	-2,99	0	0	0	0
12	8,08	3,44	8,08	0,00	0	0	0	0
13	8	3,44	8,08	0,08	0	0	0	0
14	7,25	3,44	8,08	0,83	0	0	0	0
15	6,25	3,44	8,08	1,83	0	0	0	0
16	5	3,44	8,08	3,08	1	7,38	92,75	0,33
17	3,9	3,11	7,30	3,40	1	7,75	97,40	0,35
18	3,25	2,76	6,47	3,22	1	7,55	94,89	0,34
19	3,01	2,42	5,67	2,66	1	6,86	86,22	0,31
20	3,5	2,11	4,94	1,44	0	0	0	0
21	4,5	2,11	4,94	0,44	0	0	0	0
22	5,6	2,11	4,94	-0,66	0	0	0	0
23	7	2,11	4,94	-2,06	0	0	0	0
24	8,34	3,55	8,34	0,00	0	0	0	0

Tabla 145. Cuarta iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	7,6	3,71	8,72	1,12	0	0	0	0
2	6,5	3,71	8,72	2,22	1	6,27	78,75	0,28
3	5,4	3,43	8,05	2,65	1	6,85	86,11	0,31
4	4,25	3,12	7,33	3,08	1	7,38	92,71	0,33
5	3,4	2,79	6,54	3,14	1	7,46	93,71	0,34
6	2,75	2,45	5,75	3,00	1	7,29	91,57	0,33
7	2,56	2,12	4,98	2,42	1	6,54	82,18	0,30
8	3,1	1,83	4,28	1,18	0	0	0	0
9	4,25	1,83	4,28	0,03	0	0	0	0
10	5,75	1,83	4,28	-1,47	0	0	0	0
11	7,25	1,83	4,28	-2,97	0	0	0	0
12	8,08	3,44	8,08	0,00	0	0	0	0
13	8	3,44	8,08	0,08	0	0	0	0
14	7,25	3,44	8,08	0,83	0	0	0	0
15	6,25	3,44	8,08	1,83	0	0	0	0
16	5	3,44	8,08	3,08	1	7	93	0
17	3,9	3,11	7,30	3,40	1	7,75	97,40	0,35
18	3,25	2,76	6,47	3,22	1	7,55	94,89	0,34
19	3,01	2,42	5,67	2,66	1	6,86	86,22	0,31
20	3,5	2,11	4,94	1,44	0	0	0	0
21	4,5	2,11	4,94	0,44	0	0	0	0
22	5,6	2,11	4,94	-0,66	0	0	0	0
23	7	2,11	4,94	-2,06	0	0	0	0
24	8,34	3,55	8,34	0,00	0	0	0	0

Tabla 146. Quinta iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	7,6	3,71	8,72	1,12	0	0	0	0
2	6,5	3,71	8,72	2,22	1	6,27	78,75	0,28
3	5,4	3,43	8,05	2,65	1	6,85	86,11	0,31
4	4,25	3,12	7,33	3,08	1	7,38	92,71	0,33
5	3,4	2,79	6,54	3,14	1	7,46	93,71	0,34
6	2,75	2,45	5,75	3,00	1	7,29	91,57	0,33
7	2,56	2,12	4,98	2,42	1	6,54	82,18	0,30
8	3,1	1,82	4,28	1,18	0	0	0	0
9	4,25	1,82	4,28	0,03	0	0	0	0
10	5,75	1,82	4,28	-1,47	0	0	0	0
11	7,25	1,82	4,28	-2,97	0	0	0	0
12	8,08	3,44	8,08	0,00	0	0	0	0
13	8	3,44	8,08	0,08	0	0	0	0
14	7,25	3,44	8,08	0,83	0	0	0	0
15	6,25	3,44	8,08	1,83	0	0	0	0
16	5	3,44	8,08	3,08	1	7,38	92,75	0,33
17	3,9	3,11	7,30	3,40	1	7,75	97,40	0,35
18	3,25	2,76	6,47	3,22	1	7,55	94,89	0,34
19	3,01	2,42	5,67	2,66	1	6,86	86,22	0,31
20	3,5	2,11	4,94	1,44	0	0	0	0
21	4,5	2,11	4,94	0,44	0	0	0	0
22	5,6	2,11	4,94	-0,66	0	0	0	0
23	7	2,11	4,94	-2,06	0	0	0	0
24	8,34	3,55	8,34	0,00	0	0	0	0

Tabla 147. Sexta iteración. Día modelo de producción de la primera quincena de diciembre.

Día modelo de la segunda quincena de diciembre

Estimación del área del embalse			
Primera descarga		Segunda descarga	
Caudal acumulado (hm3)	3,55	Caudal acumulado (hm3)	2,65
Caudal acumulado (m3)	3549634,39	Caudal acumulado (m3)	2648062,43
Nivel embalse inicial (m)	8,59	Nivel embalse inicial (m)	8,19
Área embalse (hm2)	41,32	Área embalse (hm2)	32,33
Área embalse (m2)	413228,68	Área embalse (m2)	323328,75

Tabla 148. Estimación del área del embalse. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.

Intervalo hora	Altura mar (m)	Nivel embalse-1 (m)	Salto-1 (m)	Condición-1	Velocidad-1 (m/s)	Caudal-1 (m3/s)	Volumen Desalojado-1 (hm3)
1	8,59	8,59	0,00	0	0	0	0
2	7,25	8,59	1,34	0	0	0	0
3	6	8,59	2,59	1	6,77	85,06	0,31
4	4,75	8,59	3,84	1	8,24	103,57	0,37
5	3,5	8,59	5,09	1	9,49	119,24	0,43
6	2,75	8,59	5,84	1	10,16	127,72	0,46
7	2,42	8,59	6,17	1	10,45	131,28	0,47
8	2,75	8,59	5,84	1	10,16	127,72	0,46
9	3,75	8,59	4,84	1	9,25	116,27	0,42
10	5,1	8,59	3,49	1	7,86	98,74	0,36
11	6,5	8,59	2,09	1	6,08	76,41	0,28
12	7,6	8,59	0,99	0	0	0	0
13	8,19	8,19	0,00	0	0	0	0
14	7,9	8,19	0,29	0	0	0	0
15	7	8,19	1,19	0	0	0	0
16	6	8,19	2,19	1	6,22	78,21	0,28
17	4,75	8,19	3,44	1	7,80	98,03	0,35
18	3,6	8,19	4,59	1	9,01	113,23	0,41
19	2,94	8,19	5,25	1	9,64	121,10	0,44
20	3,1	8,19	5,09	1	9,49	119,24	0,43
21	3,75	8,19	4,44	1	8,86	111,37	0,40
22	5	8,19	3,19	1	7,51	94,40	0,34
23	6,4	8,19	1,79	0	0	0	0
24	7,75	8,19	0,44	0	0	0	0

Tabla 149. Primera iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-2 (hm3)	Nivel embalse-2 (m)	Salto-2 (m)	Condición-2	Velocidad-2 (m/s)	Caudal-2 (m3/s)	Volumen Desalojado-2 (hm3)
1	8,59	3,66	8,59	0	0	0	0	0
2	7,25	3,66	8,59	1,34	0	0	0	0
3	6	3,66	8,59	2,59	1	6,77	85,06	0,31
4	4,75	3,35	7,87	3,12	1	7,43	93,37	0,34
5	3,5	2,98	7,00	3,50	1	7,86	98,82	0,36
6	2,75	2,55	5,99	3,24	1	7,57	95,11	0,34
7	2,42	2,09	4,91	2,49	1	6,64	83,38	0,30
8	2,75	1,62	3,80	1,05	0	0	0	0
9	3,75	1,16	2,72	-1,03	0	0	0	0
10	5,1	0,74	1,74	-3,36	0	0	0	0
11	6,5	0,38	0,90	-5,60	0	0	0	0
12	7,6	0,11	0,26	-7,34	0	0	0	0
13	8,19	3,49	8,19	0,00	0	0	0	0
14	7,9	3,49	8,19	0,29	0	0	0	0
15	7	3,49	8,19	1,19	0	0	0	0
16	6	3,49	8,19	2,19	1	6,22	78,21	0,28
17	4,75	3,21	7,53	2,78	1	7,01	88,11	0,32
18	3,6	2,85	6,70	3,10	1	7,41	93,07	0,34
19	2,94	2,45	5,74	2,80	1	7,04	88,50	0,32
20	3,1	2,01	4,72	1,62	0	0	0	0
21	3,75	1,58	3,71	-0,04	0	0	0	0
22	5	1,18	2,77	-2,23	0	0	0	0
23	6,4	0,84	1,97	-4,43	0	0	0	0
24	7,75	0,84	1,97	-5,78	0	0	0	0

Tabla 150. Segunda iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-3 (hm3)	Nivel embalse-3 (m)	Salto-3 (m)	Condición-3	Velocidad-3 (m/s)	Caudal-3 (m3/s)	Volumen Desalojado-3 (hm3)
1	7,1	3,66	8,59	0,00	0	0	0	0
2	6,1	3,66	8,59	1,34	0	0	0	0
3	5,25	3,66	8,59	2,59	1	6,77	85,06	0,31
4	4,25	3,35	7,87	3,12	1	7,43	93,37	0,34
5	3,5	3,02	7,08	3,58	1	7,96	100,03	0,36
6	3	2,66	6,25	3,50	1	7,87	98,84	0,36
7	2,89	2,32	5,44	3,02	1	7,31	91,90	0,33
8	3,6	2,02	4,74	1,99	0	0	0	0
9	4,9	2,02	4,74	0,99	0	0	0	0
10	6,4	2,02	4,74	-0,36	0	0	0	0
11	7,6	2,02	4,74	-1,76	0	0	0	0
12	8,22	2,02	4,74	-2,86	0	0	0	0
13	8	3,49	8,19	0,00	0	0	0	0
14	7,1	3,49	8,19	0,29	0	0	0	0
15	4,75	3,49	8,19	1,19	0	0	0	0
16	4,75	3,49	8,19	2,19	1	6,22	78,21	0,28
17	3,75	3,21	7,53	2,78	1	7,01	88,11	0,32
18	2,9	2,89	6,78	3,18	1	7,51	94,32	0,34
19	2,6	2,56	6,00	3,06	1	7,35	92,42	0,33
20	3	2,24	5,25	2,15	1	6,17	77,50	0,28
21	3,9	2,24	5,25	1,50	0	0	0	0
22	5	2,24	5,25	0,25	0	0	0	0
23	6,4	2,24	5,25	-1,15	0	0	0	0
24	7,96	2,24	5,25	-2,50	0	0	0	0

Tabla 151. Tercera iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-4 (hm3)	Nivel embalse-4 (m)	Salto-4 (m)	Condición-4	Velocidad-4 (m/s)	Caudal-4 (m3/s)	Volumen Desalojado-4 (hm3)
1	8,59	3,7	8,59	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,7	8,59	1,34	0	0	0	0
3	6	3,7	8,59	2,59	1	6,77	85,06	0,31
4	4,75	3,4	7,87	3,12	1	7,43	93,37	0,34
5	3,5	3,0	7,08	3,58	1	7,96	100,03	0,36
6	2,75	2,7	6,24	3,49	1	7,85	98,69	0,36
7	2,42	2,3	5,40	2,98	1	7,26	91,26	0,33
8	2,75	2,0	4,63	1,88	0	0,00	0	0
9	3,75	2,0	4,63	0,88	0	0,00	0	0
10	5,1	2,0	4,63	-0,47	0	0,00	0	0
11	6,5	2,0	4,63	-1,87	0	0,00	0	0
12	7,6	2,0	4,63	-2,97	0	0,00	0	0
13	8,19	3,5	8,19	0,00	0	0,00	0	0
14	7,9	3,5	8,19	0,29	0	0,00	0	0
15	7	3,5	8,19	1,19	0	0,00	0	0
16	6	3,5	8,19	2,19	1	6,22	78,21	0,28
17	4,75	3,2	7,53	2,78	1	7,01	88,11	0,32
18	3,6	2,9	6,78	3,18	1	7,51	94,32	0,34
19	2,94	2,6	5,99	3,05	1	7,34	92,26	0,33
20	3,1	2,2	5,21	2,11	1	6,10	76,71	0,28
21	3,75	1,9	4,55	0,80	0	0	0	0
22	5	1,9	4,55	-0,45	0	0	0	0
23	6,4	1,9	4,55	-1,85	0	0	0	0
24	7,75	1,9	4,55	-3,20	0	0	0	0

Tabla 152. Cuarta iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-5 (hm3)	Nivel embalse-5 (m)	Salto-5 (m)	Condición-5	Velocidad-5 (m/s)	Caudal-5 (m3/s)	Volumen Desalojado-5 (hm3)
1	8,59	3,66	8,59	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,66	8,59	1,34	0	0	0	0
3	6	3,66	8,59	2,59	1	6,77	85,06	0,31
4	4,75	3,35	7,87	3,12	1	7,43	93,37	0,34
5	3,5	3,02	7,08	3,58	1	7,96	100,03	0,36
6	2,75	2,66	6,24	3,49	1	7,85	98,69	0,36
7	2,42	2,30	5,40	2,98	1	7,26	91,28	0,33
8	2,75	1,97	4,63	1,88	0	0,00	0	0
9	3,75	1,97	4,63	0,88	0	0,00	0	0
10	5,1	1,97	4,63	-0,47	0	0,00	0	0
11	6,5	1,97	4,63	-1,87	0	0,00	0	0
12	7,6	1,97	4,63	-2,97	0	0,00	0	0
13	8,19	3,49	8,19	0,00	0	0,00	0	0
14	7,9	3,49	8,19	0,29	0	0,00	0	0
15	7	3,49	8,19	1,19	0	0,00	0	0
16	6	3,49	8,19	2,19	1	6,22	78,21	0,28
17	4,75	3,21	7,53	2,78	1	7,01	88,11	0,32
18	3,6	2,89	6,78	3,18	1	7,51	94,32	0,34
19	2,94	2,55	5,99	3,05	1	7,34	92,26	0,33
20	3,1	2,22	5,21	2,11	1	6,11	76,73	0,28
21	3,75	1,94	4,56	0,81	0	0,00	0	0
22	5	1,94	4,56	-0,44	0	0,00	0	0
23	6,4	1,94	4,56	-1,84	0	0,00	0	0
24	7,75	1,94	4,56	-3,19	0	0,00	0	0

Tabla 153. Quinta iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.

Intervalos hora	Altura mar (m)	Volumen embalse-6 (hm3)	Nivel embalse-6 (m)	Salto-6 (m)	Condición-6	Velocidad-6 (m/s)	Caudal-6 (m3/s)	Volumen Desalojado-6 (hm3)
1	8,59	3,7	8,59	0,00	0	0	0	0
2	7,25	3,7	8,59	1,34	0	0	0	0
3	6	3,7	8,59	2,59	1	6,77	85,06	0,31
4	4,75	3,4	7,87	3,12	1	7,43	93,37	0,34
5	3,5	3,0	7,08	3,58	1	7,96	100,03	0,36
6	2,75	2,7	6,24	3,49	1	7,85	98,69	0,36
7	2,42	2,3	5,40	2,98	1	7,26	91,28	0,33
8	2,75	2,0	4,63	1,88	0	0	0	0
9	3,75	2,0	4,63	0,88	0	0	0	0
10	5,1	2,0	4,63	-0,47	0	0	0	0
11	6,5	2,0	4,63	-1,87	0	0	0	0
12	7,6	2,0	4,63	-2,97	0	0	0	0
13	8,19	3,5	8,19	0,00	0	0	0	0
14	7,9	3,5	8,19	0,29	0	0	0	0
15	7	3,5	8,19	1,19	0	0	0	0
16	6	3,5	8,19	2,19	1	6,22	78,21	0,28
17	4,75	3,2	7,53	2,78	1	7,01	88,11	0,32
18	3,6	2,9	6,78	3,18	1	7,51	94,32	0,34
19	2,94	2,6	5,99	3,05	1	7,34	92,26	0,33
20	3,1	2,2	5,21	2,11	1	6,11	76,73	0,28
21	3,75	1,9	4,56	0,81	0	0	0	0
22	5	1,9	4,56	-0,44	0	0	0	0
23	6,4	1,9	4,56	-1,84	0	0	0	0
24	7,75	1,9	4,56	-3,19	0	0	0	0

Tabla 154. Sexta iteración. Día modelo de producción de la segunda quincena de diciembre.