

## Treball final de màster

**Estudi:** Màster en Enginyeria Industrial

**Títol:**

Disseny d'un sistema autònom per la dessalinització  
d'aigua de mar alimentat amb energies renovables

**Document:** 1. Memòria i annexos

**Alumne:** Clàudia Carabellido Noguer

**Tutor:** Dr. Lino Montoro Moreno

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Màquines i motors tèrmics

**Tutor:** Sr. Alexandre Deltell Carbonell

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Mecànica de fluids

**Convocatòria (mes/any):** Setembre 2020

# I. ÍNDEX DE CONTINGUT

I.	Índex de contingut.....	I
II.	Índex de figures.....	VI
III.	Índex de taules.....	IX
1	Introducció.....	1
1.1	Antecedents.....	1
1.1.1	Situació actual de l'aigua mundial.....	2
1.1.2	Història de la dessalinització.....	5
1.1.3	La dessalinització actualment.....	7
1.1.4	La dessalinització i les energies renovables.....	8
1.2	Objecte del projecte.....	9
1.3	Abast i Especificacions.....	9
1.3.1	Abast del projecte.....	9
1.3.2	Especificacions.....	9
2	Marc teòric.....	11
2.1	Propietats de l'aigua.....	11
2.2	Anàlisi de l'aigua del mar.....	13
2.3	Paràmetres.....	15
2.3.1	Total de sòlids dissolts.....	15
2.3.2	Conductivitat elèctrica.....	15
2.3.3	Duresa total.....	16
2.3.4	Alcalinitat total.....	17
2.3.5	pH.....	18
2.3.6	Temperatura.....	19
2.3.7	Altres.....	20
2.4	Purificació de l'aigua.....	20
3	Estat de l'art.....	22
3.1	Concepte de la dessalinització.....	22
3.2	Energia i dessalinització.....	22
3.3	Impactes ambientals de la dessalinització.....	23

3.4	Tecnologies de dessalinització .....	24
3.4.1	Destil·lació per efecte flash (MSF).....	25
3.4.2	Destil·lació per múltiple efecte (MED) .....	25
3.4.3	Destil·lació per compressió de vapor (CV).....	26
3.4.4	Destil·lació solar (DS) .....	27
3.4.5	Destil·lació per Humidificació-Deshumidificació (HDH) .....	29
3.4.6	Congelació (FS) .....	30
3.4.7	Formació d'hidrats.....	31
3.4.8	Destil·lació per membranes (MD).....	31
3.4.9	Osmosi inversa (RO).....	31
3.4.10	Electrodiàlisis (ED).....	32
3.4.11	Intercanvi iònic.....	33
3.5	Avaluació de les diferents tecnologies.....	34
4	Metodologia .....	36
4.1	Fase 1. Disseny conceptual.....	36
4.2	Fase 2. Disseny detallat .....	36
4.3	Fase 3. Construcció.....	37
4.4	Fase 4. Valoració .....	37
5	Anàlisi estratègica.....	38
5.1	Anàlisi del problema .....	38
5.2	Anàlisi de requeriments.....	39
5.2.1	Localització:.....	39
5.2.2	Capacitat de producció diària .....	40
5.2.3	Aigua a tractar .....	40
5.2.4	Complexitat del disseny.....	40
5.2.5	Característiques dels materials de construcció.....	40
5.2.6	Costos de fabricació, operació i manteniment.....	40
5.2.7	Facilitat de transport i instal·lació.....	41
5.2.8	Vida útil .....	41
5.2.9	Seguiment i comunitat .....	41
5.3	Anàlisi del disseny .....	41
5.3.1	Captació .....	42

5.3.2	Procés de dessalinització.....	42
5.3.3	Emmagatzematge final.....	43
5.4	Estudi de mercat.....	43
5.5	Estudi d'alternatives.....	48
5.5.1	Alternativa 1. Destil·lador solar .....	48
5.5.2	Alternativa 2. Destil·lador MED .....	49
5.5.3	Alternativa 3. Olla a pressió .....	50
5.5.4	Alternativa 4. Mixt.....	51
5.6	Decisió final .....	51
6	Procés dessalinització solar.....	53
6.1	Energia solar.....	53
6.1.1	Generalitats .....	53
6.1.2	Mesura radiació solar .....	55
6.1.3	Usos de l'energia solar.....	60
6.2	Càlculs termodinàmics.....	61
6.3	Col·lectors solars.....	65
6.3.1	Col·lectors concentrats.....	66
6.3.2	Col·lectors no concentrats .....	67
6.3.3	Càlculs tèrmics d'un col·lector.....	68
6.4	Dessalinitzadores multietapa.....	71
7	Disseny detallat del prototip.....	72
7.1	Descripció general de la solució.....	72
7.2	Conjunt destil·lador .....	73
7.3	Conjunt per captació solar .....	79
7.4	Connexions i emmagatzematge .....	82
7.5	Estructura.....	84
7.6	Elements de control .....	86
7.7	Electrònica.....	87
7.7.1	Placa controladora .....	89
7.7.2	Circuit sensors de nivell.....	89
7.7.3	Bomba d'aigua.....	92
7.7.4	Conjunt alimentació.....	92

8	Construcció del prototip.....	95
8.1	Introducció a la construcció .....	95
8.2	Fabricació del conjunt dessalinitzador.....	95
8.3	Fabricació del col · lector solar .....	98
8.4	Muntatge del conjunt.....	101
8.5	Proves de funcionament .....	103
8.6	Observacions del disseny del prototip .....	105
8.6.1	Conjunt dessalinitzador.....	105
8.6.2	Col · lector solar .....	106
9	Valoració del prototip .....	107
9.1	Mètode de recopilació de dades.....	107
9.2	Resultats obtinguts.....	108
9.3	Conclusions de l'assaig.....	110
10	Resultat final.....	112
11	Resum del pressupost .....	113
12	Conclusions .....	114
13	Relació de documents.....	116
14	Bibliografia.....	117
	Annex A. Normativa aplicada.....	120
	A.1 Màquines .....	120
	A.2 Aigua.....	120
	Annex B. Justificació dels materials.....	122
	B.1 Material aïllant .....	122
	B.2 Material absorbent.....	123
	B.3 Material per les cobertes .....	124
	B.4 Material pels conductes del col · lector solar.....	125
	B.5 Pintura absorbent .....	126
	B.6 Material pels dipòsits i els conductes d'aigua .....	126
	B.7 Material per l'estructura de l'aparell.....	127
	Annex C. Càlculs del disseny .....	128
	C.1 Paràmetres de disseny i consideracions .....	128
	C.2 Valors de radiació solar.....	128

C.3 Càlculs conjunt dessalinitzador MED.....	129
C.3.1 Angle d'inclinació superfície de condensació.....	129
C.3.2 Angle d'inclinació de la coberta .....	130
C.4 Càlcul col · lector solar .....	131
C.4.1 Àrea del col · lector .....	131
C.4.2 Capacitat de producció .....	132
C.5 Balanç d'energia del sistema .....	133
C.5.1 Balanç d'energia per a cada zona.....	135
C.5.2 Fluxos de calor de la dessalinitzadora .....	136
C.5.3 Càlcul de fluxos .....	142
C.5.4 Avaluació del resultat del balanç d'energia.....	146
Annex D. Codi electrònic.....	147
D.1 Codi electrònic sobre la LCD i els sensors .....	147
D.2 Codi electrònic per la bomba d'aigua.....	149
Annex E. Manual de l'usuari.....	151
E.1 Característiques tècniques .....	151
E.2 Advertències.....	151
E.2 Precaució .....	152
E.3 Fabricació .....	152
E.4 Muntatge .....	153
E.5 Condicions prèvies.....	158
E.6 Ús .....	158
E.7 Manteniment.....	159
E.8 Observacions.....	159
Annex F. Informació tècnica .....	160
F.1 Elements estructurals .....	160
F.2 Elements electrònics .....	169

## II. ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1. Estructura dels recursos hídrics del planeta en percentatges.....	2
Figura 2. Estructura del recurs d'aigua dolça del planeta en percentatge .....	2
Figura 3. Disponibilitat d'aigua potable en m <sup>3</sup> /persona/any (FAO AQUASTAT, 2011) ...	3
Figura 4. Usos de l'aigua en diferents regions, (FAO Aquastat, 2016) .....	4
Figura 5. Proporció de la població serveis d'aigua potable, 2015 (OMS/UNICEF, 2017)..	5
Figura 6. Il·lustració d'Alexandre d'Afrodísies. 200 dC (Soteris A., 2009).....	6
Figura 7. Disponibilitat dessalinitzadores. (Yatesenver, 2013) .....	8
Figura 8. Salinitat mitja anual superficials (National Oceanographic Data Center, 2001).	14
Figura 9. Nivell d'alcalinitat segons volum d'àcid i pH. (Sunassal, 2000).....	17
Figura 10. Formes de carboni inorgànic en diferents nivells de pH (Sunassal, 2000) .....	18
Figura 11. Escala de pH (medidordeph.com, 2020).....	19
Figura 12. Diagrama de flux de la dessalinització. ....	22
Figura 13. Esquema procés MFD (Miller, 2003). ....	25
Figura 14. Esquema procediment MED (Miller, 2003).....	26
Figura 15. Esquema del procés CV (Miller, 2003).....	27
Figura 16. Destil·lador d'una sola vessant (Energizar, 2017).....	28
Figura 17. Destil·lador solar amb dos vessants (IDIC, 2013).....	28
Figura 18. Destil·lador solar en cascada(IDIC, 2013). ....	28
Figura 19. Destil·lador esfèric (Sitiosolar.com, 2020).....	29
Figura 20. Esquema bàsic de HDH CAOW (Perth Ida World congress 2011).....	30
Figura 21. Destil·lador per membranes (condorchem.com, 2020).....	31
Figura 22. Esquema d'osmosi inversa (naukas.com, 2020). ....	32
Figura 23. Esquema d'electrodiàlisi (mailxmail.com, 2020).....	33
Figura 24. Esquema de l'Intercanvi iònic (gwc.com.ar, 2020).....	34
Figura 25. Efecte de la salinitat (Ullah et al. 2019). ....	34
Figura 26. Relació entre energia tèrmica i elèctric (Ullah et al., 2019).....	35
Figura 27. Relatiu a les economies d'escala (Ullah et al.,2019). ....	35
Figura 28. Avaluació del problema amb el diagrama d'Ishikawa.....	38

Figura 29. Mapa de disponibilitat de l'aigua modificat (iAgua, 2007).....	39
Figura 30. Diagrama de flux del procés. ....	41
Figura 31. Eliodomestric.....	43
Figura 32. Solarball.....	44
Figura 33 Desolenator .....	44
Figura 34. Tethys.....	45
Figura 35 Saros.....	45
Figura 36 Aquamate solar.....	46
Figura 37 Newt.....	46
Figura 38 Heliol.....	46
Figura 39 Sunaqua 19.....	47
Figura 40. Principi de funcionament.....	48
Figura 41. Dessalinitzador solar.....	49
Figura 42. Sistema dessalinitzador MED.....	50
Figura 43. Sistema dessalinitzador a pressió.....	50
Figura 44. Sistema dessalinitzador mixt.....	51
Figura 45. Tipus de radiació solar (seslab.org, 2020). ....	53
Figura 46. Màxim valor diari d'índex UV (GMES Intersun, 2006). ....	54
Figura 47. Representació angles significatius (sfe-solar.com, 2020).....	56
Figura 48. Radiància solar mitjana segons localitat (soda-is.com 2020). ....	57
Figura 49. Factors de correcció segons tipus de clima. (Duffie et al. 2006). ....	60
Figura 50. Transferència de calor (Çengel, Y.A. 2011).....	61
Figura 51. Col·lector pla (Sopelia, 2020).....	67
Figura 52. Col·lector tub al buit (Amordad Solar, 2020).....	67
Figura 53. Solució gràfica de la dessalinitzadora.....	72
Figura 54. Components del disseny.....	73
Figura 55. Disseny de la configuració entre els dos dipòsits.....	74
Figura 56. Disseny del conjunt dessalinitzador.. ....	75
Figura 57. Secció de les canals i la seva situació als dipòsits.....	76
Figura 58. Indicació de les sortides i entrades de cada dipòsit. ....	77



Figura 59. Sistema de subjecció dels dos dipòsits.....	77
Figura 60. Resultat final del conjunt dessalinitzador. ....	78
Figura 61. Alternatives i modificacions del disseny proposat. ....	79
Figura 62. Proposta d'etapes intermitjes. ....	79
Figura 63. Proposta de disseny del col · lector solar. ....	80
Figura 64. Opcions d'unió entre l'estructura de l'aparell i el col · lector solar. ....	81
Figura 65. Il · lustració de les connexions entre dipòsits.....	83
Figura 66. Esquema connexió amb el col · lector.....	83
Figura 67. Estructura exterior de l'aparell.....	84
Figura 68. Representació de la cara de darrera l'estructura. ....	85
Figura 69. Funciona de la carretó.....	86
Figura 70. Vàlvula flotador disponible al mercat. ....	87
Figura 71. Secció del conjunt dessalinitzador amb les vàlvules flotador incorporades.....	87
Figura 72. Plantejament de la part electrònica .....	88
Figura 73. Sensors de nivell d'aigua.....	90
Figura 74. Connexió de tots els elements de control. ....	91
Figura 75. Esquema simplificat del circuit d'alimentació. ....	93
Figura 76. Plantejament connexió motor d'aigua.....	94
Figura 77. Il · lustració del procés de fabricació dels dipòsits. ....	96
Figura 78. Dipòsit principal a l'esquerra, i dipòsit secundari a la dreta. ....	97
Figura 79. Complementes del conjunt dessalinitzador .....	97
Figura 80. Conjunt dessalinitzador final .....	98
Figura 81. Carcassa del col · lector de fusta. ....	99
Figura 82. Conjunt de tubs del col · lector.....	99
Figura 83. Resultat del col · lector .....	100
Figura 84. Esquema de la construcció del col · lector .....	100
Figura 85. Esquema de connexions del prototip del conjunt dessalinitzador. ....	102
Figura 86. Connexions del col · lector solar.....	102
Figura 87. Resultat final de la fabricació del prototip.....	103
Figura 88. Gotes de l'evaporació i condensació del prototip.....	104

Figura 89. Posta en marxa del prototip.....	104
Figura 90. Funcionament amb coberta metàl·lica i aïllant de llana de roca.....	105
Figura 91. Termometre de punta usat.....	107
Figura 92. Termometre infraroig usat.....	107
Figura 93. Representació dels resultats del 27.08.2020.....	109
Figura 94. Representació dels resultats del 28.08.2020.....	109
Figura 95. Representació dels resultats del 29.08.2020.....	109
Figura 96. Vista del resultat final del producte.....	112
Figura 97. Inclinació panells segons estació (tutiendaenergetica.es, 2020).....	130
Figura 98. Inclinació panell segons latitud (Eliseo Sebastian, 2020).....	130
Figura 99. Relació entre la producció d'aigua i les àrees del col·lector i les etapes. ....	131
Figura 100. Fluxos de calor del conjunt dessalinitzador.....	134
Figura 101. Resistències tèrmiques del dessalinitzador.....	134
Figura 102. Resultat que s'espera a la pantalla LCD.....	148
Figura 103. Vàlvules de flotador.....	153
Figura 104. Muntatge conjunt destil·lació.....	153
Figura 105. Conjunt col·lector solar.....	154
Figura 106. Muntatge d'estanteries.....	155
Figura 107. Part del muntatge de l'estructura.....	155
Figura 108. Suport del col·lector solar.....	156
Figura 109. Muntatge final.....	156
Figura 110. Muntatge de les connexions.....	157
Figura 111. Informació de la pantalla.....	157

### III. ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Aproximació de les necessitats mínimes d'aigua potable.....	4
Taula 2. Especificacions de l'aparell inicials.....	9
Taula 3. Propietats de l'aigua.....	11

Taula 4. Alguns paràmetres aigua pel consum humà segons el Llibre blanc de l'aigua.....	12
Taula 5. Rangs de salinitat de diferents tipus d'aigua (Medina, 2000).....	14
Taula 6. Composició de les aigües de mar.....	15
Taula 7. Conductivitat de les aigües salades (Apha, 1995). ....	16
Taula 8. Duresa de l'aigua segons tipus.....	16
Taula 9. Alcalinitat segons tipus d'aigua. ....	18
Taula 10. Salinitat respecte la profunditat.....	19
Taula 11. Principals tecnologies de dessalinització.....	24
Taula 12. Avantatges i inconvenient destil·lador solar bàsic.....	49
Taula 13. Avantatges i inconvenients MED.....	49
Taula 14. Avantatges i inconvenients olla a pressió.....	50
Taula 15. Avantatges i inconvenients del sistema Mixt. ....	51
Taula 16. Avaluació d'alternatives.....	52
Taula 17. Distribució espectral de la radiació solar (ikastaroak.birt.eus, 2020).....	54
Taula 18. Resum dels tipus de col·lectors solars.....	65
Taula 19. Col·lectors concentrats (figures: la replica.es, 2020).....	66
Taula 20. Dimensions conjunt dessalinitzador.....	78
Taula 21. Dades col·lector solar comprat.....	80
Taula 22. Característiques de col·lector solar.....	82
Taula 23. Característiques dipòsits aigua.....	82
Taula 24. Característiques de l'estructura.....	85
Taula 25. Característiques del carretó.....	86
Taula 26. Característiques de la placa controladora.....	89
Taula 27. Característiques del sensor d'ultrasons.....	90
Taula 28. Característiques del sensor de temperatura.....	90
Taula 29. Característiques de la pantalla.....	91
Taula 30. Característiques de la bomba d'aigua.....	92
Taula 31. Característiques del panell solar.....	93
Taula 32. Característiques de la bomba d'aigua.....	93
Taula 33. Característiques de la bomba d'aigua.....	94

Taula 34. Materials utilitzats pel conjunt dessalinitzador. ....	96
Taula 35. Materials per la fabricació del col·lector. ....	98
Taula 36. Material pel muntatge del conjunt del prototip .....	101
Taula 37. Dades sobre la temperatura ambient. Unitat en °C. ....	108
Taula 38. Exposició de valors mesurats de la temperatura del prototip. Unitats en °C. .	108
Taula 39. Valors de l'aigua destil·lada obtinguda. ....	110
Taula 40. Avaluació dels resultats respecte objectiu i model matemàtic. ....	110
Taula 41. Especificacions del producte final. ....	112
Taula 42. Resum del pressupost. ....	113
Taula 43. Propietats de materials aïllants. ....	122
Taula 44. Materials conductors tèrmics. ....	123
Taula 45. Propietats entre acer inox i alumini. ....	123
Taula 46. Propietats entre acer inox. ....	124
Taula 47. Propietats materials per la coberta .....	125
Taula 48. Materials pels conductes del col·lector. ....	125
Taula 49. Absorbitat dels diferents materials. ....	126
Taula 50. Paràmetres de disseny .....	128
Taula 51. Radiació solar global diària (MJ/m <sup>2</sup> /dia). Estació Girona. ....	128
Taula 52. Radiació solar global horària (kJ/m <sup>2</sup> ). Estació Girona .....	129
Taula 53. Paràmetres imposats dessalinitzadora. ....	129
Taula 54. Paràmetres imposats col·lector solar .....	131
Taula 55. Valors inicials .....	136
Taula 56. Propietats físiques de l'aire humit (Tiwari G. et al. 2008) .....	137
Taula 57. Valors imposats. ....	142
Taula 58. EPIs per la fabricació. ....	153



# 1 INTRODUCCIÓ

## 1.1 Antecedents

Actualment, moltes zones del planeta estan patint una alta escassetat d'aigua potable que es relaciona directament amb l'augment de la població i als canvis climàtics que s'estan experimentant. Aquesta situació està provocant un desequilibri global, en el que la demanda d'aigua potable supera l'oferta, no només pel consum de la població, sinó també per l'agricultura i la indústria.

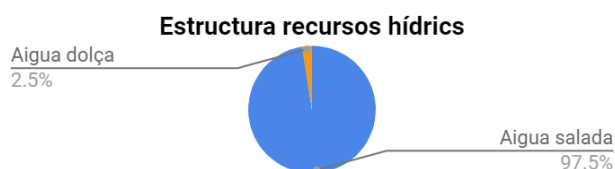
D'acord amb l'Informe de les Nacions Unides sobre els Recursos Hídrics publicat al 2019 (PNUMA), la demanda d'aigua augmenta un 1% anual en tot el món des dels anys 80 degut al creixement de població i també als canvis en els models de consum. Les dades d'avui indiquen que més de 2.000 milions de persones no tenen al seu abast aigua potable, de les quals la majoria es troba en zones en les que abunda l'aigua de mar o salobre i es caracteritzen per presentar alts nivells de radiació solar i altes temperatures, factors que provoquen sequera al territori i deshidratació de la població.

És una problemàtica que pot ser difícil d'entendre ja que la superfície de la Terra està coberta amb un 71% d'aigua. No obstant, d'aquesta el 97,5% és salada formada pels mars i oceans, i per tant, el 2,5% és aigua dolça, de la qual s'estima que només un 0,26% es troba accessible a l'ésser humà, la resta es distribueix a grans trets en glaciars i aigües subterrànies.

Davant d'aquesta situació, s'ha creat un gran interès pel procés de dessalinització, que consisteix en un tractament de l'aigua per tal d'obtenir aigua potable a partir de l'aigua de mar o aigua salabrosa. A dia d'avui existeixen diversos sistemes de diferents complexitats per tal de realitzar aquest procés. De fet, es troben instal·lades moltes plantes dessalinitzadores per tot el món i cada vegada aquesta tecnologia es va expandint més. Tot i això, aquestes són generalment cares i requereixen d'un consum d'energia molt elevat, cosa que fa que siguin sistemes que s'implementin en territoris amb un nivell econòmic mitjà-alt.

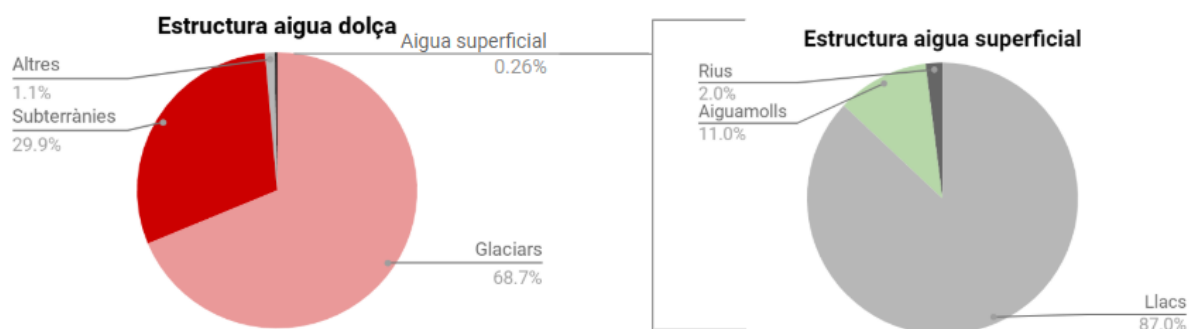
### 1.1.1 Situació actual de l'aigua mundial

L'aigua dolça que es troba a l'abast de les persones és molt petita en comparació amb la total del planeta. S'estima que a la Terra hi ha 1386 milions de kilòmetres cúbics d'aigua de la qual, com s'ha esmentat anteriorment, només un 2,5% és aigua dolça. Aquest percentatge es pot veure gràficament a la *Figura 1*.



*Figura 1. Estructura dels recursos hídrics del planeta en percentatges.*

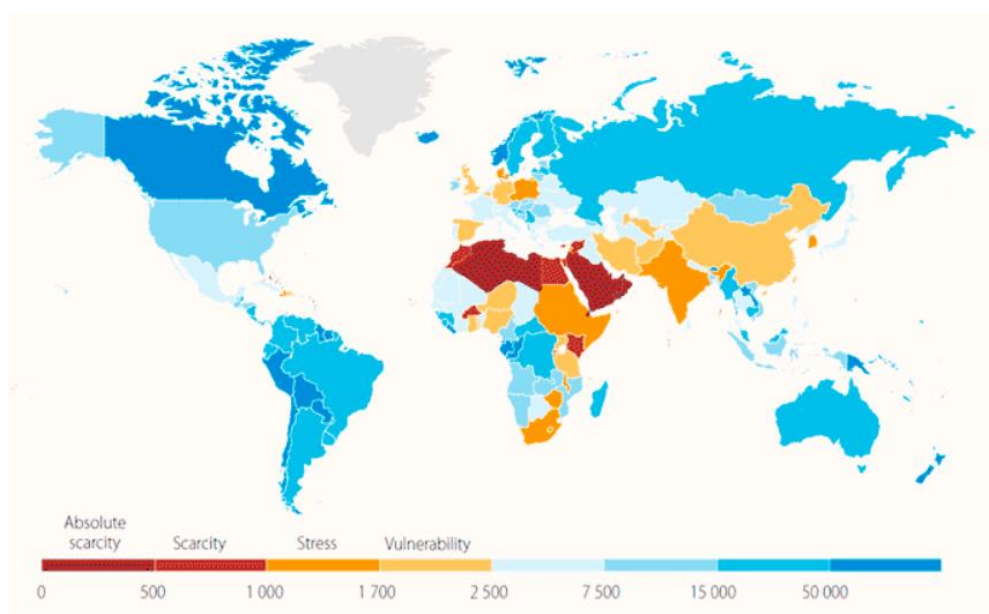
Tal com es mostra a la *Figura 2*, la major part d'aquesta, un 68,7%, es troba en forma de gel en glaciars de l'Àrtic i l'Antàrtic i en neu a regions muntanyoses. Un 29,9% són aigües subterrànies i només, un 0,26% de l'aigua dolça es troba en llacs, embassament i altres sistemes fluvials.



*Figura 2. Estructura del recurs d'aigua dolça del planeta en percentatge*

A més a més, d'acord amb les publicacions de l'ONU, l'augment del consum de l'aigua, degut, entre altres raons, per l'increment demogràfic i la mobilitat geogràfica de la població, l'aparició de noves necessitats i la creixent demanda energètica, juntament amb el calentament global, fa que les reserves d'aigua que hi ha al món disminueixin. Amb aquests arguments, molts estudis preveuen que aquest problema s'agreugi més a mesura que passin els anys i es considera un conflicte que va més enllà que la crisi financera i econòmica global. Fins i tot, alguns parlen de mesurar la riquesa de les civilitzacions amb litres i no diners.

Com s'ha comentat, hi ha un gran percentatge de la població que pateixen escassetat d'aigua potable de qualitat. Segons l'Organització Mundial de la Salut (OMS), una persona hauria de consumir una mitjana de 100 litres d'aigua per dia (36.500 litres anuals), no obstant, aquest consum varia molt segons les reserves d'aigua del territori o del nivell de vida de cada regió. Hi ha zones en que es consumeixen menys de 10 litres/dia i d'altres més de 400 litres/dia. A la *Figura 3*, es mostra un mapa que descriu la disponibilitat d'aigua segons el país on s'aprecia la gran diferència entre països.



*Figura 3. Disponibilitat d'aigua potable en m<sup>3</sup>/persona/any (FAO AQUASTAT, 2011)*

Aquest ens pot donar una idea de la situació mundial, en el qual s'observa que els països que pateixen més escassetat es troben amb contacte directe amb l'aigua dels oceans i mars. Cal tenir en compte que queda representat les mitjanes de consum anual i que en un mateix país es troben moltes diferències segons la situació geogràfica, ciutat o les afores, i també econòmica de cada família. Podem afirmar que l'escassetat de l'aigua és molt més greu del que podríem descriure en aquest mapa.

Si aprofundim en el que hauria de consumir una persona a partir d'un informe emès per l'Organització mundial de la salut (OMS), podem deduir els següents valors analitzant el consum directe. És important tenir en compte que no hi ha comptabilitzat el consum indirecte derivat de l'agricultura dels aliments, els negocis...



Taula 1. Aproximació de les necessitats mínimes d'aigua potable.

Descripció	Quantitat/persona	Necessitats
Quota mínima de supervivència	6 l/dia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Per beure: 3 l/dia</li> <li>• Per cuinar: 2-3 l/dia</li> </ul>
Quota suficient	15 – 20 l/dia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Per beure: 3 l/dia</li> <li>• Per cuinar: 2-3 l/dia</li> <li>• Per higiene personal: 6 -7 l/dia</li> <li>• Per rentat roba: 4-6 l/dia</li> </ul>

Un altre aspecte a tenir en compte és l'ús que se li dona a aquesta aigua i aquesta gestió també depèn de la regió. Segons les dades de l'Aquastat, s'estima, en mitjança, que un 60% de les reserves d'aigua dolça es destina a l'agricultura, que és un sector que necessita grans quantitats d'aigua. El 30%, és utilitzat pel sector industrial i la generació d'energia, així que el 10% restant és el que s'utilitza com ús domèstic, el qual engloba moltes activitats com veure, cuinar, rentar-se entre altres. A la *Figura 4* es presenta la gestió de l'aigua quan en fa cada territori del planeta.

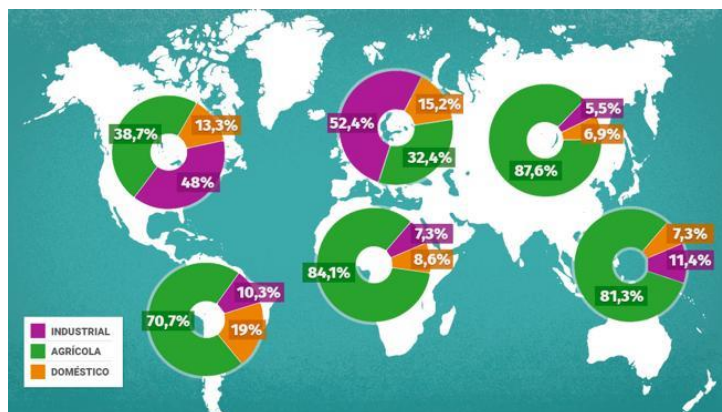
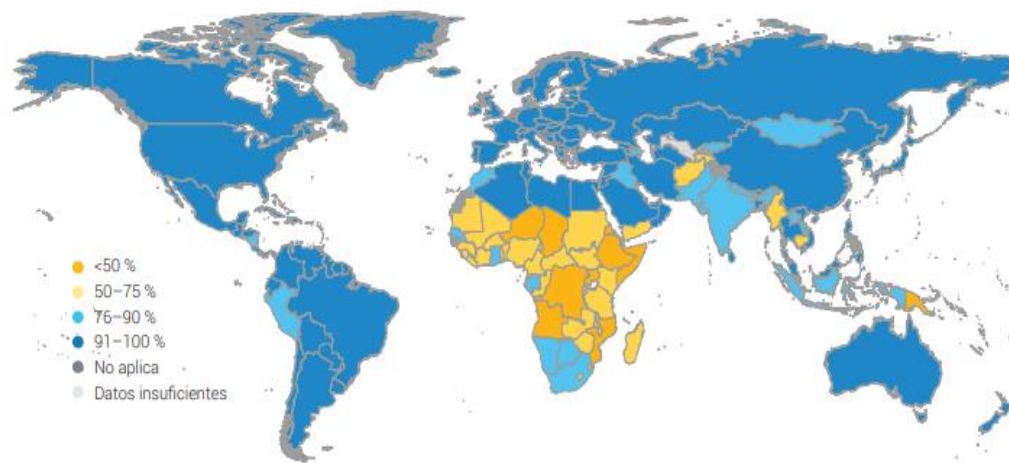


Figura 4. Usos de l'aigua en diferents regions, (FAO Aquastat, 2016)

És important saber l'ús que se'n fa del recurs hídric ja que té una relació amb la qualitat de l'aigua residual del territori. Al principi, la contaminació de l'aigua era provocada per les deixalles orgàniques, les aigües residuals sanitàries de la població i la salinització dels sistemes de reg. Actualment, s'afegeixen altres elements com els metalls pesats, l'increment de nitrats degut a les activitats ramaderes, components àcids i químics... els quals es troben relacionats directament en l'augment de la població i de les zones industrials.

En la següent imatge, a la *Figura 5*, es reflexa quin és el percentatge de la població que pot disposar dels recursos d'aigua de qualitat mínims. Aquest mapa va directament relacionat amb

el tipus de país que és, en el cas dels països en vies de desenvolupament es troben a més de la falta de subministrament d'aigua potable, amb una xarxa de sanejament inadequat que potencia la presència de malalties i enfermetats.



*Figura 5. Proporció de la població que utilitza almenys serveis bàsics d'aigua potable, 2015 (OMS/UNICEF, 2017)*

En aquest, també hi podem deduir que aquells països considerats més rics poden abastir d'aigua la major part de la seva població. Tot i això, si es relaciona amb el mapa anterior i considerant que la demanda d'aigua anirà augmentant, es detecta un greu problema en la disponibilitat d'aigua amb la que compte actualment cada territori.

Així doncs observem que els recursos d'aigua són limitats i que es necessita realitzar una bona gestió d'aquests, evitant pèrdues, potenciar el reciclatge i la reutilització en aquells sectors que es pugui, així com desenvolupar tecnologies per aprofitar l'aigua de mar i altres aigües salobres.

### 1.1.2 Història de la dessalinització

El procés de dessalinitzar per aconseguir aigua dolça no és modern, sinó que segons diferents referències, s'utilitza des de fa molt de temps. La més antiga que es coneix data en l'època de Tales de Milet, segle VI aC, i Demòcrit, el segle IV aC, que suggerien filtrar l'aigua del mar a través de la terra i així obtenir aigua dolça. Més tard, Aristòtil va publicar diferents obres que parlaven sobre el problema de l'aigua de mar i discutia sobre la seva possible dessalinització. Al 200 dC, Alexandre de Afrodísies, va descriure per primer cop el mètode de la destil·lació

mitjançant la il·lustració de la *Figura 6*, en la qual apareixen uns mariners extraient aigua, escalfant-la i bevent-se-la.

Fins aleshores es publicaven molt poques referències sobre aquest sistema, no obstant, va ser a partir del segle XV, quan el comerç i els llargs viatges amb vaixell van augmentar, que aquest tema es va tractar profundament ja que sortia més a compte un sistema de dessalinització que portar grans quantitats d'aigua. Existeixen registres d'alquimistes àrabs sobre la utilització d'atuell de vidre on posaven l'aigua de mar que escalfaven amb miralls que



*Figura 6. Il·lustració d'Alexandre d'Afrodísies. 200 dC (Soteris A., 2009)*

reflectien la radiació solar i així aconseguir l'evaporació més ràpidament. Durant el Renaixement, el científic Giovanni Batista Della Porta (1534-1615), va publicar en un llibre set mètodes de dessalinització, entre els quals hi ha un aparell de destil·lació solar amb recipient fets de fang i també, el que actualment es coneix com a Humidificació-Deshumidificació, utilitzant l'aire.

El pas més important d'aquest sistema a escala més gran, no va ser fins el segle XIX. L'any 1870, Wheeler i Evans van descobrir l'efecte hivernacle, que dos anys més tard va ser utilitzat pel disseny i construcció d'una de les primeres plantes dessalinitzadores solars de 4.757 m<sup>2</sup>, a Xile, per subministrar aigua als treballadors d'una important mina per aconseguir produir 22,7 m<sup>3</sup>/dia. En aquella època també apareix un altre mètode destinat als vaixells, en que s'utilitzava l'energia residual del vapor que sortia de la caldera per tal d'evaporar.

A principis del segle XIX, es coneixen diferents plantes que utilitzen un sistema de tubs submergits per a la destil·lació de l'aigua, una d'elles a Egipte. Aquestes permetien obtenir entre 75 i 150 m<sup>3</sup>/dia, però era un sistema difícil que no permetia una major producció. A partir d'aquí, va començar l'aplicació de la dessalinització a la indústria amb l'evaporació sobtada.

Durant el segle XX, van aparèixer petites plantes dessalinitzadores portàtils dissenyades per subministrar aigua als soldats de la guerra i van aparèixer altres tecnologies. Com el canvi de fase de la congelació, que tot i que s'havia utilitzat des de sempre pels esquimals, no es va investigar fins la dècada dels 50.

La introducció dels sistemes de membranes comencen aparèixer al 1949 gràcies a Juda i Kressman, així com l'aplicació d'intercanvi de ions, que feia possible que les aigües finals no tinguessin més d'1,5 g/L de sals dissoltes. Els anys setanta ja va aparèixer la tecnologia Multi Stage Flash i l'Osmosi inversa, entre altres, que van demostrar aconseguir un qualitat molt aigua de l'aigua.

Així doncs, queda demostrat que la dessalinització parteix de molts anys de ciència i també de mites, però de pocs anys de portar-ho en pràctica.

### 1.1.3 La dessalinització actualment

Actualment les tecnologies de dessalinització s'estan desenvolupant i utilitzant més degut a aquesta situació de falta d'aigua mundial que ens trobem, no només pel consum humà sinó també pel sector industrial i agrari.

Aquestes tecnologies han esdevingut una millora en molts sentits per a moltes societats, alguns països o zones, depenen de la dessalinització per abastir-se d'aigua. Aquestes àrees es troben sobretot a l'Àfrica, a la zona d'Àsia la part del Pacífic i a l'Orient Mitjà, zones on el recurs hídic és molt deficient. Per exemple, Qatar o Kuwait són dos ciutats que utilitzen aigua dessalinitzada pels subministraments domèstics i comercials. No obstant, s'ha de tenir en compte que és una tecnologia que consumeix molta energia, principalment de combustibles fòssils, la qual és difícil de subministrar en algunes zones per situació geogràfica o econòmica.

D'acord amb les dades que presenta l'Associació Internacional de Dessalinització (IDA), el 2015 hi havia aproximadament 18.436 plantes dessaladores en tot el món, que subministraven 92,5 milions de m<sup>3</sup>/dia a més de 300 milions de persones. Un 65% de la capacitat mundial d'aquesta tecnologia es troba a la zona de l'Orient Mig. Per tenir una idea de la distribució mundial de les capacitats de dessalinització que hi havia l'any 2009 es pot observar a la *Figura 7*.

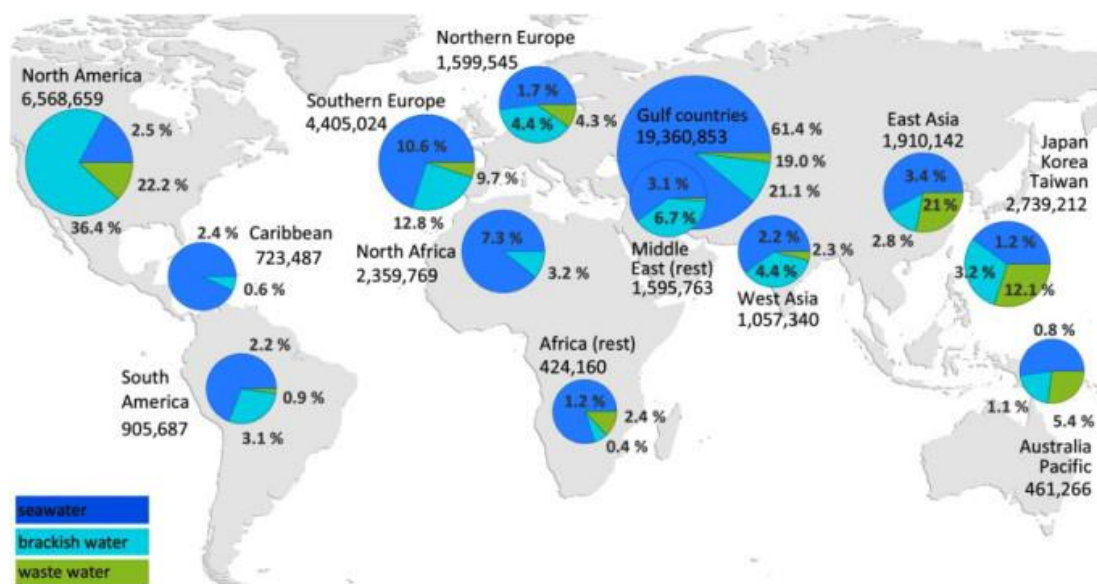


Figura 7. Disponibilitat dessalinitzadores. (Yatesenver, 2013)

I si aprofundim en les tecnologies utilitzades (Virgili, et al, 2016) trobem que el mètode més utilitzat és la osmosis inversa (65%), seguit dels processos flash de múltiples etapes (21%) i la destil·lació de multiefectes (7%),

Tot i que s'ha exposat unes dades, aquestes canvien. El creixement exponencial de la demanda d'aigua exposat en el primer aparat, fa que el mercat de la dessalinització augmenti molt ràpidament, algunes fonts parlen d'un creixement del 55% anual. Part d'aquest creixement és degut al creixement de les indústries i la incorporació d'aquest procés, sobretot en el sector de l'energia, de l'electrònica i del petroli i del gas.

#### 1.1.4 La dessalinització i les energies renovables

La dessalinització és un procés que es caracteritza per consumir molta energia, un factor considerat negatiu ja que moltes de les zones amb escassetat d'aigua potable no disposen. No obstant, a vegades ens n'oblidem de les energies renovables, les quals tenen més avantatges del que coneixem.

En aquest cas, tal com hem vist en els estudis i els mapes exposats, les zones amb més problemàtica d'abastament d'aigua potable es troben en zones amb molt de potencial per energies com la solar i la eòlica. Un exemple de zona amb molt de vent, són les illes del Mediterrani, aquestes porten molts anys lluitant per un abastament d'aigua potable correcte.

Existeixen altres factors que afavoreixen l'ús de les energies renovables per la dessalinització, com és la simultaneïtat estacional entre disponibilitat d'aquestes energies amb la demanda de l'aigua. En el cas de les localitats costaneres, augmenta la seva demanda a l'estiu, quan predomina el sol. És important doncs, tenir en compte la disponibilitat d'energies renovables per poder proporcionar una autonomia al sistema que es vol dissenyar.

## 1.2 Objecte del projecte

L'objecte d'aquest projecte és dissenyar un aparell que pugui abastir d'aigua dolça a comunitats petites i aïllades. Concretament es buscarà una màquina autònoma capaç de dessalinitzar l'aigua de mar o salobre per obtenir aigua dolça amb energies renovables i viable per aquelles zones on els recursos són limitats. Es buscarà una estructura modular i compacte, que es pugui construir amb material econòmic i accessible per poblacions de països en vies de desenvolupament.

## 1.3 Abast i Especificacions

### 1.3.1 Abast del projecte

L'abast del projecte inclourà un estudi de tècniques alternatives per arribar a un disseny efectiu, econòmic i viable per instal·lar en zones de pocs recursos, amb els càlculs corresponents que el justifiquin i la descripció de tots els elements i materials necessaris per construir-lo.

Amb aquesta proposta es realitza una part experimental amb la construcció d'un prototip amb materials reciclats per avaluar-ne l'efectivitat del sistema i del disseny.

Queda fora l'abast analitzar la qualitat de l'aigua obtinguda.

### 1.3.2 Especificacions

Les especificacions que ha de tenir la màquina són les següents:

*Taula 2. Especificacions de l'aparell inicials.*

Característica	Descripció
<b>Funció</b>	Aconseguir aigua dolça a partir de l'extracció de sals de l'aigua de mar per poder proporcionar aigua dolça a zones aïllades.
<b>Aigües a tractar</b>	Aigua salada del mar.

<b>Característica</b>	<b>Descripció</b>
<b>Dimensions</b>	L'aparell ha de tenir unes dimensions de menys de 1,5 m <sup>3</sup> .
<b>Construcció</b>	Materials reciclats i fàcils de disposar.
<b>Pes</b>	Cal que es pugui transportar fàcilment.
<b>Estructura</b>	Estructura compacte.
<b>Capacitat</b>	5-10 l/dia d'aigua dolça.
<b>Energia</b>	És una màquina que s'ha d'alimentar amb energies renovables.
<b>Control</b>	Opció a control del nivell de l'aigua, la temperatura.
<b>Muntatge i desmuntatge</b>	Ha de ser de muntable i desmuntable en cas que hi hagi algun problema. Aquest ha de ser senzill ja que la població ha de poder-ho solucionar fàcilment sense tenir nocions o maquinaria específica.
<b>Seguretat</b>	S'ha de tenir en compte que sigui una estructura estable, que no hi hagi la possibilitat de caure en cas que faci vent, tampoc ha de tenir obstacles que pugui provocar entrebancs, i ha d'assegurar una bona qualitat d'aigua.
<b>Cost</b>	Ha de tenir un cost reduït. En cas d'utilitzar materials nous, el total ha de ser de menys de 800€.
<b>Diferenciació al mercat</b>	S'ha de diferenciar de la resta de prototips que hi ha al mercat oferint seguretat al client amb un disseny agradable i funcional, així com facilitat en el seu us.
<b>Complements</b>	Cal incorporar i oferir: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dipòsit per emmagatzemar l'aigua salada per evitar viatges a buscar al mar.</li> <li>- Facilitat en la càrrega de l'aigua.</li> </ul>

## 2 MARC TEÒRIC

En aquest apartat s'analitzaran les característiques de la matèria prima del procés, que en aquest cas és l'aigua a tractar i tots els paràmetres fisicoquímics d'aquesta.

### 2.1 Propietats de l'aigua

L'aigua és una substància que es caracteritza per ser transparent, inodora, insípida i químicament formada per hidrogen i oxigen. Té una gran capacitat per dissoldre substàncies, això fa que molts cops formi part d'una mescla, és difícil trobar-la com a substància pura. En el seu estat natural es sol trobar barrejada entre sals minerals, gasos i partícules sòlides.

A la *Taula 3* es mostren les propietats més importants,

*Taula 3. Propietats de l'aigua*

Característica	Valor
Fórmula química	H <sub>2</sub> O
Estat físic	Sòlid, líquid i gasós
Pes molecular	18,015 g/mol
Densitat	0,997 g/cm <sup>3</sup> (25°C)
Punt de fusió	0°C (1 atm)
Punt d'ebullició	100 °C (1 atm)
Pressió crítica	217,5 atmb
Temperatura crítica	374°C
Índex de refracció	1,33 (20°C, 226 nm)
Conductivitat tèrmica	0,56 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Constant crioscòpica	1859 °C/1000g
Constant ebulloscòpica	0,51°C/1000g
Entalpia de vaporització	40,65 kJ/mol
Velocitat del so	1497 m/s (25°C)
Viscositat cinemàtica	0,01012 cm <sup>2</sup> /s
Viscositat dinàmica	0,89 mPa · s (25°C, 1 atm)

Amb aquestes propietats l'aigua és la base de la vida de tots els éssers vius, és més les persones l'utilitzem a més de beure, per cuinar, higiene personal, usos domèstics, regar, processos, entre d'altres. Per aquests usos és molt important controlar la seva qualitat, la qual depèn del contingut de diferents substàncies.



Els paràmetres de qualitat que han de mantenir l'aigua pel consum humà venen estipulats pel govern de cada territori per tal d'assegurar una aigua neta, saludable i que no contingui microorganismes o paràsits. Tot i que els criteris de qualitat de l'aigua són molt diferents segons el seu ús, cal que aquests es trobin dins uns valors establerts, a la *Taula 4*, es presenten alguns paràmetres més característics.

*Taula 4. Alguns paràmetres aigua pel consum humà segons el Llibre blanc de l'aigua*

<b>Paràmetres</b>	<b>Valor paramètric</b>
<b>pH</b>	6,5 – 9
<b>DBO5 (màxim diari)</b>	1 - 3 mg/l
<b>Oxigen dissolt</b>	>4 mg/l
<b>Color</b>	<15 UPC
<b>Terbolesa</b>	<2 UNT
<b>Clorurs</b>	<50 mg/l
<b>Fluorurs</b>	<1,2 mg/l
<b>Conductivitat</b>	<1000 $\mu\Omega$ /cm
<b>Clor residual</b>	0,3-2 mg/l
<b>Alcalinitat total</b>	200 (d) mg/l CaCO
<b>Duresa</b>	300 CaCO <sub>3</sub>
<b>Fosfats</b>	0,4-0,5 mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
<b>Nitrats</b>	50 mg/l NO <sub>3</sub>
<b>Amoni</b>	0,5 mg/l

Dins el concepte d'aigua potable o neta hi podem trobar diferents tipus d'aigua, els quals han portat molts debats al llarg del temps:

- Aigua destil·lada: és aquella que mitjançant un procés d'evaporació i condensació se li han eliminat totes les impureses i ions. Degut a la seva alta puresa molts diuen que no té les propietats físiques suficients pel consum humà ja que no conté cap mineral i el seu pH és massa baix. Altres però, desmenteixen aquest fet, defensant que els minerals els obtenim dels aliments. A dia d'avui, no s'ha demostrat que l'aigua destil·lada sigui beneficiosa o perjudicial per la salut.
- Aigua mineral: és aquella aigua que s'han obtingut directament de les aigües subterrànies amb totes les seves propietats i no s'han tractat.

- Aigua regular: és la que està preparada pel consum humà. En la majoria de casos aquesta aigua està desinfectada i tractada químicament per tal de fer-la segura pel consum humà.

A més a més, es poden trobar altres tipus com l'aigua desmineralitzada, o l'aigua amb grau reactiu, els qual no entren dins l'abast d'aquest projecte.

Tot i que el concepte d'aigua és el mateix, aquesta es troba classificada amb diferents tipus segons les condicions ambientals i sanitàries a les quals es troba sotmesa i el procés de tractament.

- Aigua potable: és aquella que compleix amb les condicions suficients pel consum humà i per animals sense cap perill de contraure malalties.
- Aigua salada: és aquella que conté una gran quantitat de sals, es troba en els mars i oceans, quantitats superiors a 10000 mg/l.
- Aigua salobre: és l'aigua que conté sals però en menor quantitat a la del mar, entre 1000 i 10000 mg/l.
- Aigua dolça: és defineix com l'aigua natural la qual conté poques sals. Es sol tractar per fer aigua potable.
- Aigües negres: es refereix a l'aigua que té disponible una comunitat després d'haver estat contaminada per diferents motius (residus domèstics, industrials...).
- Aigües grises: són les aigües domèstiques residuals que provenen del rentat de la cuina, dels sanitaris i safareigs.
- Aigües mortes: aquelles que no circulen i pateixen d'un gran dèficit d'oxigen.
- Aigua bruta: que no ha rebut cap mena de tractament.

Amb aquesta classificació, la qual no pretén ser exhaustiva, s'observa que l'aigua depèn de molts vectors com la seva situació, la seva circulació, el seu origen... En el nostre cas ens centrarem en l'aigua de mar.

## 2.2 Anàlisi de l'aigua del mar

Per tal d'aconseguir l'objectiu del projecte és important saber les propietats de l'aigua a tractar així com les característiques a aconseguir. En aquest ens centrarem en la utilització

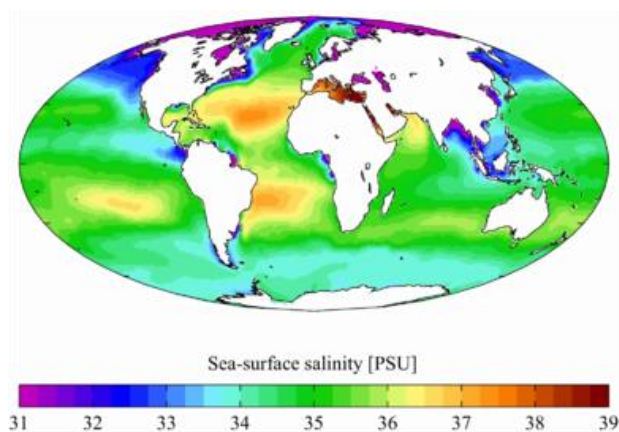
d'aigua de mar, que per poder avaluar s'utilitza el que anomenen salinitat. Aquest es defineix com el conjunt de sals minerals dissoltes en aigua o sòls.

La salinitat doncs, és la propietat que ens classifica l'aigua. A continuació podem trobar una classificació mesurada en funció del total de sòlts dissolts (TDS).

*Taula 5. Rangs de salinitat de diferents tipus d'aigua (Medina, 2000).*

Tipus d'aigua	Salinitat (ppm de TDS)
Ultrapura	0,03
Pura	0,3
Desionitzada	3
Dolça	<1.000
Salobre	1.000 – 10.000
Salina	10.000 – 30.000
Marina	30.0 – 50000
Salmorra	>50.000

En el cas dels mars i oceans, la salinitat que es pot trobar varia segons la intensitat d'evaporació que té el territori o la incidència dels rius. A continuació podem observar la salinitat mitjana anual superficial de les aigües de mar en unitats practiques de salinitats (PSU). En aquesta *Figura 8* s'observa que a les zones considerades més caloroses, on la capacitat d'evaporació és superior, el nivell de salinitat és més elevat que en les zones més fredes com els pols.



*Figura 8. Salinitat mitja anual superficials (National Oceanographic Data Center, 2001).*

Si analitzem la composició d'aquesta aigua a nivell de les sals que conté es troba aproximadament a la *Taula 6*.

Taula 6. Composició de les aigües de mar.

Component	Símbol	g/kg aigua de mar	% pes
Clor	Cl-	19,35	55,07
Sodi	Na+	10,76	30,62
Sulfat	SO4-	2,71	7,72
Magnesi	Mg++	1,29	3,68
Calci	Ca++	0,41	1,17
Potassi	K+	0,39	1,10
Bicarbonat	HCO3-	0,14	0,40
Bromur	Br-	0,067	0,19
Estronci	Sr++	0,008	0,02
Bari	B	0,004	0,01
Fluor	-	0,001	0,01

Un cop conegudes les característiques de l'aigua amb la que partim i el que voleu obtenir es procedeix a estudiar el procés de dessalinització.

## 2.3 Paràmetres

Hi ha molts paràmetres fisicoquímics a destacar per descriure l'aigua amb alt contingut de sals, a continuació, es descriuen els més importants.

### 2.3.1 Total de sòlids dissolts

El total de sòlids dissolts (TSD) correspon a la mesura del contingut de substàncies orgàniques i inorgàniques que són solubles en aigua, de manera que són les que no es poden quedar retingudes a un filtre. Aquests corresponen a la diferència entre els sòlids totals (TS) i el total de sòlids en suspensió (TSS). Aquests últims es defineixen com aquells sòlids de més de 0,45 micròmetres de mida.

Aquest paràmetre es mesura en ppm (part per milió) o en mg/l, com una concentració i és considerat com una mesura indirecta de la salinitat, ja que no classifica el tipus de sal.

### 2.3.2 Conductivitat elèctrica

La conductivitat elèctrica està directament relacionada amb la concentració de TSD i també es considera com a mesura indirecte de la salinitat.

Aquest paràmetre mesura la capacitat de l'aigua per conduir una corrent elèctrica, relacionada directament amb la concentració de ions que provenen de les sals dissoltes. Com major és la concentració d'electròlits, major serà la seva conductivitat. A continuació es mostra alguns exemples:

*Taula 7. Conductivitat de les aigües salades (Apha, 1995).*

Tipus d'aigua	Conductivitat ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Aigua destil·lada	0,5 – 3
Neu	2 – 42
Aigua potable	100 – 2.000
Aigua Salobra	2.000 – 5.000
Aigua marina	5.000 - 45.000
Aigua Salmorra	45.000 – 100.00

### 2.3.3 Duresa total

La duresa de l'aigua es refereix al contingut total de ions alcalinoterris en forma de carbonats o bicarbonats que té la solució. En aquest cas, com que la major part de la concentració d'aquests ions correspon a  $\text{Ca}^{+2}$  i  $\text{Mg}^{+2}$  la duresa es calcula amb una aproximació de la suma de la concentració d'aquests dos cations divalents.

A aquest paràmetre se li atribueixen la formació d'incrustacions en recipients, canonades i altres equips, així com la formació de molta espuma al entrar en contacte amb sabó o detergent amb l'aigua.

Degut a les seves propietats, la duresa es mesura en concentració de carbonat de calci ( $\text{CaCO}_3$ ). Per tal d'evitar el procés de corrosió i incrustació, aquest valor s'ha de trobar entre 100 mg/l i 200mg/l i segons aquest valor es classifica com a la *Taula 8*.

*Taula 8. Duresa de l'aigua segons tipus.*

Tipus d'aigua	Duresa total (mg/l $\text{CaCO}_3$ )
Tova	0 – 75
Moderada	75 - 150
Dura	150 – 300
Molt dura	>300

### 2.3.4 Alcalinitat total

L'alcalinitat de l'aigua es defineix com la mesura de la capacitat que té la solució per neutralitzar els àcids. També es pot descriure com la quantitat d'àcid per litre necessari per disminuir el pH a un valor d'aproximadament 4,3.

En el cas de les aigües naturals, aquest valor ve determinat principalment pel seu sistema carbonat, format per continguts de carbonats i bicarbonats. En aquests trobem  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$  i  $\text{H}^+$ . Això fa que l'alcalinitat es pugui classificar amb els següents factors representats a la imatge posterior:

- Alcalinitat a la Fenolftaleïna o càustica: es defineix com la quantitat d'àcid fort (mols/l), necessària per disminuir el pH de la mostra a  $\text{pH} = \text{CO}_3^{2-}$ .
- Alcalinitat de carbonats: quantitat d'àcid fort (mols/l) per disminuir el pH a  $\text{pH} = \text{HCO}_3^-$ .
- Alcalinitat total: aquella quantitat d'àcid fort (mols/l) necessària per disminuir la mostra a  $\text{pHCO}_2$ .

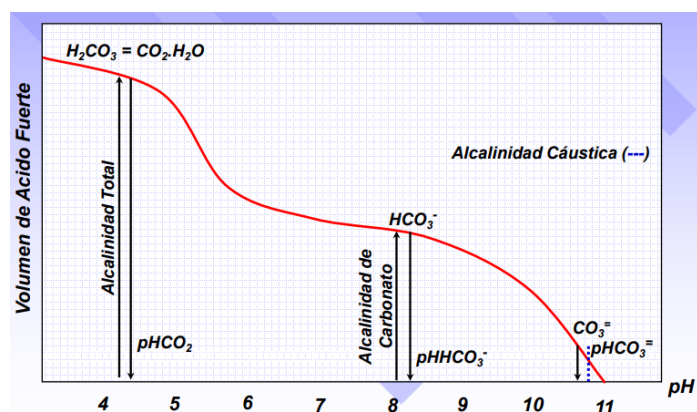


Figura 9. Nivell d'alcalinitat segons volum d'àcid i pH. (Sunassal, 2000)

No obstant, també es poden presentar altres sals d'àcids febles com borats, silicats, nitrats i fosfats, que influeixen a aquesta propietat.

L'alcalinitat es pot presentar en diferents unitats, típicament s'utilitza el número de carbonats totals, normalment el carbonat de calci, és a dir en mg/l de  $\text{CaCO}_3$  o també en ppm.

Com ja s'ha comentat aquest valor té una forta relació amb el pH de l'aigua. Aquesta es pot observar gràficament a la Figura 10.

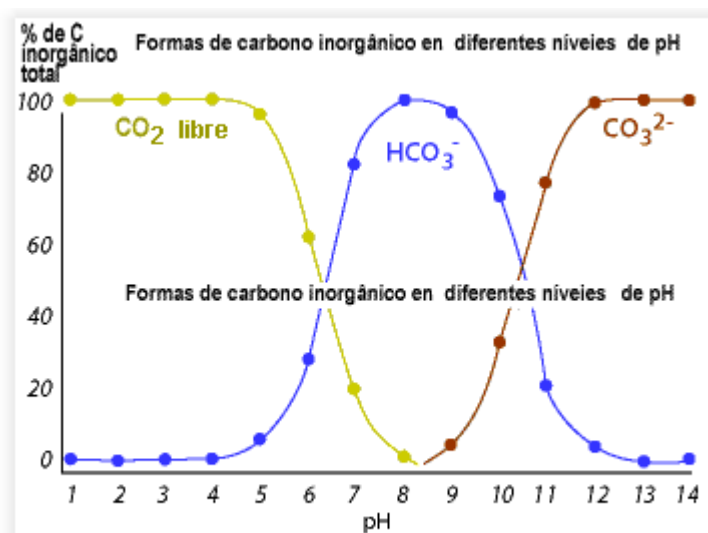


Figura 10. Formes de carboni inorgànic en diferents nivells de pH (Sunassal, 2000)

Com la duresa, aquesta propietat també arriba a classificar el tipus d'aigua segons el seu valor obtingut.

Taula 9. Alcalinitat segons tipus d'aigua.

Tipus d'aigua	Alcalinitat total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )
Baixa	< 75
Mitja	75 - 150
Alta	> 150

### 2.3.5 pH

El pH és una mesura d'àcid o alcalinitat d'una dissolució que indica la concentració de ions d'hidrògens presents. És un concepte definit com a l'oposat del logaritme en base 10 de l'activitat dels ions d'hidrogen, és a dir:

$$pH = -\log_{10} \alpha_{H^+} \quad (\text{Eq. 1})$$

La seva escala va de 0 (àcid clorhídric) a 14 (sosa càustica), tal com es mostra a la següent imatge, el valors baixos indiquen solucions àcides, així com els més grans corresponen a solucions bàsiques o alcalines. El neutre, pel voltant del 7, correspon a una concentració igual de ions hidrons (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) i de hidroxils (OH<sup>-</sup>).

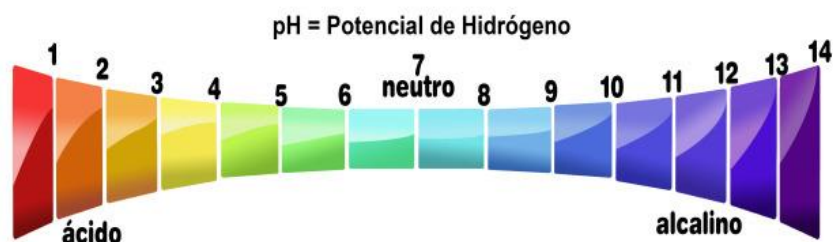


Figura 11. Escala de pH (medidordeph.com, 2020).

Aquest valor és important per saber la qualitat de l'aigua, així com l'efecte corrosiu que poden tenir els sistemes de canalització. Aquest s'ha de trobar entre un 6,5 i un 8, no obstant el pH òptim depèn dels materials i tota la situació en que ens trobem, pot arribar a un 9,5.

### 2.3.6 Temperatura

La temperatura també és una característica important a tenir en compte. Aquesta és la mesura de l'energia cinètica de les molècules expressada en quantitat de calor que té una solució. Es mesura en graus Kelvin (K), Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) o Fahrenheit (F).

Aquesta també té una relació amb la salinitat degut a una proporcionalitat en la solubilitat dels minerals. Es pot observar en la següent taula en que segons la profunditat en metres en el mar, es troba una temperatura diferent i una salinitat:

Taula 10. Salinitat respecte la profunditat.

Profunditat [m]	Temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Salinitat [ppm]
0	26,44	37,45
50	18,21	36,02
100	13,44	35,34
500	9,46	35,11
1.000	6,17	34,90
1.500	5,25	34,05

Un altre factor important en la temperatura és la presència de diferents bacteries. Entre una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  i  $50^{\circ}\text{C}$ , existeix més risc per l'alt contingut de bacteres indesitjades com pot ser la legionel·la, per aquest motiu es recomana que es trobi per sota o sobre d'aquest rang.



### 2.3.7 Altres

Existeixen diferents elements que també contribueixen en l'anàlisi de la qualitat de l'aigua.

A continuació es descriuen alguns dels més importants:

- Sodi: és el metall alcalí amb més concentració a l'aigua salada del mar, amb concentracions pel voltant de 10.000 mg/l. Amb altes concentracions provoca problemes cardiovasculars a la salut de les persones, és important reduir-lo al màxim.
- Sulfats: aquests estan directament relacionats amb la salinitat de l'aigua. El valor màxim que han d'agafar per reglamentació sanitària és de 250 mg/l. En procés de filtratge és important tenir en compte la seva capacitat de formar precipitats de calci i magnesi.
- Nitrats: són aquelles sals derivades del nitrogen. La seva concentració ha de trobar-se per sota del 50 mg/l per evitar problemes de salut. Poden estar relacionats amb els nitrits, aquests s'han de trobar a un valor de 3mg/l.

## 2.4 Purificació de l'aigua

Quan l'aigua no és apte pel consum humà, ja sigui perquè és salada o perquè està contaminada, és tractada mitjançant un procediment de purificació, el qual consisteix en eliminar cada un dels elements indesitjables. A continuació s'exposen els mètodes o processos més importants per aconseguir aquest procediment.

- Sedimentació: consisteix en deixar en repòs l'aigua fent que els materials sòlids quedin emmagatzemats a la zona profunda. En aquest cas, es pot afegir sulfat d'alumini per accelerar el procés fent que la càrrega positiva de l'alumini absorbeixi-hi a la negativa de substàncies com el fang.
- Filtració: es fa passar l'aigua a tractar per un cos o material porós en el qual queden atrapats els sòlids de mida superior a la del filtre.
- Absorció: hi ha materials que absorbeixen les substàncies a través de l'aplicació de forces interracials. Un exemple és el carbó actiu que ajuda a eliminar contaminants orgànics.

- Oxidació biològica: consisteix en incorporar organismes que consumeixen diferents residus orgànics.
- Destil·lació: és el procés d'evaporació i condensació el qual fa que el vapor deixi endarrere les impureses i es recull el destil·lat.
- Desinfecció: aplicació de substàncies químiques per eliminar agents patògens. Un exemple és l'aplicació de clor.

Cada un dels mètodes exposats es pot relacionar amb el cicle natural de l'aigua. En aquest es parteix de l'aigua que es troba en els rius i els mars, s'escalfa amb el sol i s'evapora transformant-se en vapor d'aigua. Aquest vapor passa a l'atmosfera, i es condensa en petites gotes, que cauen a terra. Part de l'aigua que ha caigut es filtre entre les sorres i roques i forma les aigües subterrànies, i la resta es queda als rius i mars. A partir d'aquí torna a iniciar-se el procediment.

## 3 ESTAT DE L'ART

### 3.1 Concepte de la dessalinització

El concepte de dessalinització es refereix a la utilització de diferents mètodes per extreure les sals i altres minerals de l'aigua, d'aquesta manera convertir-la en aigua potable pel consum humà o pel regadiu.



Figura 12. Diagrama de flux de la dessalinització.

### 3.2 Energia i dessalinització

Per tal d'aconseguir el procés de dessalinització és necessària l'aplicació d'energia necessària per separar les sals de l'aigua, això fa que sigui un procés car i moltes poblacions amb recursos limitats no ho poden aconseguir.

Una manera de calcular una aproximació d'aquesta energia necessària és utilitzant una fórmula (El-Sayed y Silver, 1980) que mesura l'energia que desprèn la dissolució de sals en aigua pura, és a dir, es fa un càlcul invers del procés de dessalinització.

$$W_{min} = R \cdot T \cdot \ln \cdot a_w \quad (\text{Eq. 2})$$

On:

$W_{min}$  = energia alliberada en el procés [kWh/m<sup>3</sup>]

$R$  = constant universal dels gasos (0,082 atm · l/K · mol)

$T$  = temperatura absoluta de la solució [K]

$a_w$  = activitats dels electròlits de la solució

Amb aquesta fórmula observem que l'energia necessària és proporcional a la concentració de sals que conté l'aigua. Aquesta relació fa que actualment la majoria de plantes de dessalinització es trobin en zones on la disponibilitat d'energia és fàcil d'aconseguir a baix cost. Segons les estadístiques de la Agència Internacional d'Energies Renovables (IRENA), l'any 2012 només un 1% de l'aigua dessalinitzada s'havia aconseguit mitjançant energia renovable.

Aquesta dependència entre l'energia i l'aigua, no només s'observa pel procés de la dessalinització, sinó també en l'abstracció, la distribució, l'ús final, la recollida d'aigües residuals, el manteniment de les instal·lacions... entre altres. A més a més, existeix una forta necessitat d'aigua per la generació d'energia en diversos sectors com per exemple en l'extracció de material, el processament de combustibles i la refrigeració termoelèctrica. Amb aquests fets es demostra que aquesta relació està potenciada amb la situació econòmica i política de cada territori.

Com a solució per evitar que l'energia sigui un factor negatiu en la producció d'aigua dolça, es considera que el millor és desenvolupar tecnologies que integrin la dessalinització i l'energia renovable. No obstant, cal determinar si aquests sistemes són viables per tal de satisfer tota la demanda d'aigua.

Lligat amb aquest tema, existeixen altres alternatives per la gestió de l'aigua dins un enfoc més sostenible, com per exemple, la reutilització de les aigües residuals o els sistemes de recollida d'aigua de la pluja.

### **3.3 Impactes ambientals de la dessalinització**

Un dels punts importants que es considera en aquest projecte és minimitzar l'impacte ambiental de la instal·lació que es dissenyarà així com la seva viabilitat. Aquest impacte sol ser provocat per diferents factors:

- Extracció d'aigua de mar, escapaments a aquífers o altres envasaments d'aigua dolça poden provocar un dany als éssers vius de l'habitat.
- Generació de residus com la salmorra, productes químics i altres sals, extrets del procés els quals poden provocar greus danys als ecosistemes.
- Emissions de gasos degut a l'alt consum d'energia.
- Instal·lacions de les plantes les quals alliberen partícules petites de metalls pesants que s'acaben barrejant amb les matèries en suspensió de l'aigua. En zones d'intercanvi d'aigua, entrada o sortida, això pot esser un problema pels invertebrats que es nodreixen d'aquestes substàncies.

- Aplicació de substàncies químiques com el clor o diferents coagulants que poden arribar a ser forts contaminants i tòxics per les aigües.

### 3.4 Tecnologies de dessalinització

Existeixen moltes tecnologies per tal de realitzar la dessalinització, a continuació, es descriuen les principals. Aquests processos es poden classificar segons si presenten un canvi de fase, segons l'energia que utilitzen i segons si separen l'aigua de les sals o les sals de l'aigua.

No obstant, de totes les tecnologies que existeixen les més utilitzades són les que utilitzen energia tèrmica i les que utilitzen membranes. Pel que fa a les que utilitzen processos tèrmics, la gran majoria simulen el cicle natural de l'aigua; quan l'aigua de mar s'escalfa, es produeix vapor que es condensa i es recull aigua dolça. Per aquest procés es requereixen una gran quantitat d'energia, no obstant, subministren aigua de molta qualitat sense necessitat d'un tractament extra anterior o posterior. Al contrari passa amb els processos de filtració, aquests no necessiten tanta energia per tractar la mateixa quantitat d'aigua però cal incorporar tractaments i substàncies químiques.

Taula 11. Principals tecnologies de dessalinització.

Separació	Energia	Procés	Canvi fase	Mètode	Ref.
Aigua de les sals	Tèrmica	Evaporació	Sí	Destil·lació multietapa flash	MSF
		Evaporació	Sí	Destil·lació multiefecte	MED
		Evaporació	Sí	Destil·lació per compressió de vapor	CV
		Evaporació	Sí	Destil·lació solar	DS
		Evaporació	Sí	Humidificació - deshumidificació	HDH
		Cristal·lització	Sí	Congelació	FS
		Cristal·lització	Sí	Formació de hidrats	
	Filtració i evaporació	Sí	Destil·lació per membrana	MD	
	Mecànica	Evaporació	Sí	Destil·lació de vapor comprimit	VC
Filtració		No	Osmosis Inversa	RO	
Sals de l'aigua	Elèctrica	Filtració	No	Electrodiàlisis	ED
	Química	Intercanvi	Sí	Intercanvi iònic	

Als apartats que es presenten a continuació s'estudien de manera més detallada cada una de les tecnologies exposades a la Taula 11.

### 3.4.1 Destil·lació per efecte flash (MSF)

Aquesta tecnologia és una de les més utilitzades i conegudes, consta de dos etapes principals. La primera, consisteix en evaporar bruscament l'aigua per separar-la de les sals. Per aquesta fase s'utilitza una càmera flash que permet una evaporació instantània ja que funciona a pressions per sota de l'atmosfèrica. És la fase que consumeix més energia de tot el procés.

Seguidament, el vapor passa per un procés de condensació mitjançant l'aportació d'un fluid refrigerant, com pot ser aigua. En molts casos, s'utilitza la pròpia aigua d'alimentació, que es troba a temperatura ambient, per condensar el vapor. Aquest fet aporta molts avantatges, com la reducció de la quantitat de calor que cal aportar a l'evaporació, ja que l'aigua és precalentada abans d'iniciar el procés.

Per incrementar la producció de vapor, s'incorporen diferents etapes que operen successivament a una pressió menor, tal com es mostra a la *Figura 13*.

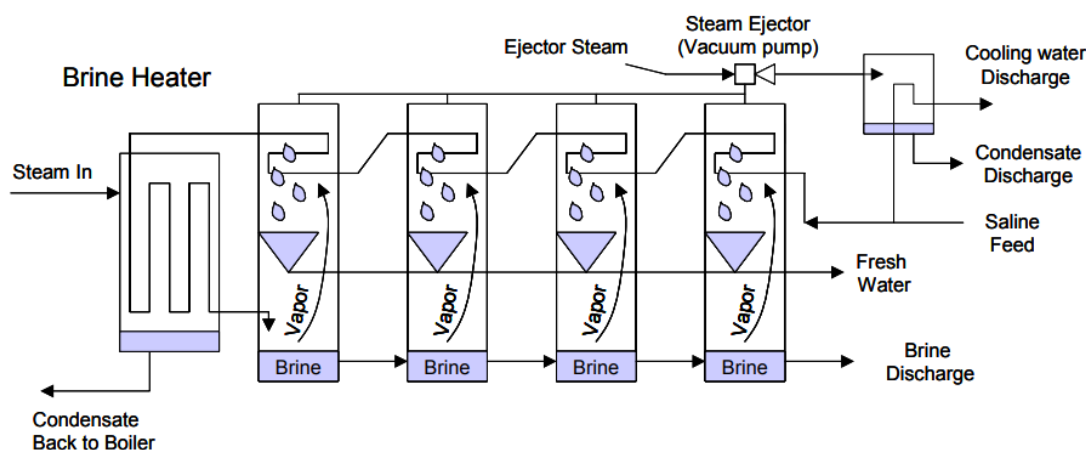


Figura 13. Esquema procés MFD (Miller, 2003).

### 3.4.2 Destil·lació per múltiple efecte (MED)

Aquest sistema es basa en un procés d'evaporació mitjançant tubs de transferència de calor que aconseguen produir vapor amb l'aigua de mar introduïda al procés amb ruixadors, de manera polvoritzada. El procés es va repetint, en diferents etapes consecutives, la primera utilitza un intercanviador de calor que requereix d'energia tèrmica, la resta, en canvi, aprofita la calor del vapor de l'etapa anterior per transmetre-la a l'aigua polvoritzada i així també facilitar la condensació del vapor i produir aigua dolça. D'acord amb les fonts científiques, el rendiment millora proporcionalment al nombre d'efectes que contingui el procés.

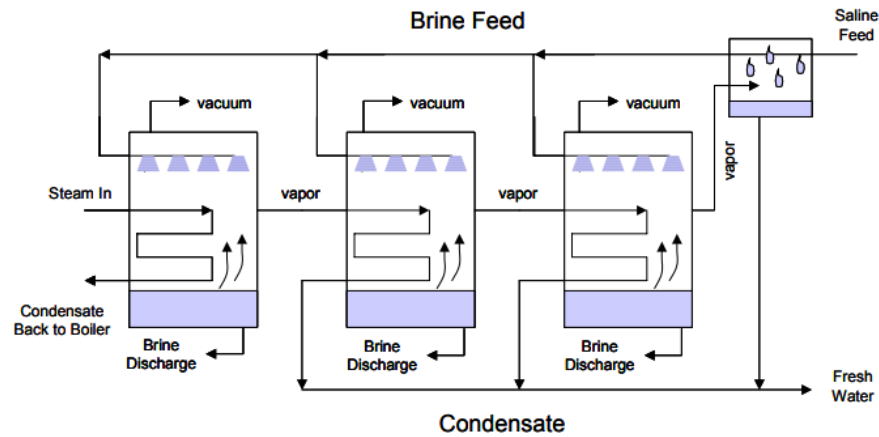


Figura 14. Esquema procediment MED (Miller, 2003).

A la figura 14, es pot veure clarament, que hi ha un procés d'aprofitament d'energia, en el que consisteix utilitzar la producció de vapor per escalfar el següent efecte o etapa, de la mateixa manera, utilitzar l'aigua a tractar per la condensació del vapor. Aquest fet es repeteix successivament fins arribar a l'última etapa.

### 3.4.3 Destil·lació per compressió de vapor (CV)

Aquesta tecnologia utilitza el mateix sistema que les dues anteriors, l'evaporació i condensació. La diferència es troba en la manera d'obtenir l'energia per evaporar l'aigua, aquesta prové de la condensació del vapor comprimit. Aquesta compressió causa un increment de pressió i temperatura, que condensa el vapor i transmet la calor latent per evaporar més aigua. Per tant, el procediment d'aquesta tecnologia consisteix en l'entrada d'aigua de mar polvoritzada, s'evapora, el vapor s'absorbeix i es comprimeix, al mateix temps que es condensa i a través de tubs de transferència de calor, evapora l'aigua a tractar.

Aquesta compressió de vapor es pot realitzar mitjançant dos mètodes. Per una banda, la compressió tèrmica, que consisteix en utilitzar una font de vapor externa per produir la compressió amb l'efecte venturi, aquest requereix de diferents etapes. Per altra banda, existeix la mecànica, que es basa en la utilització d'un compressor mecànic.

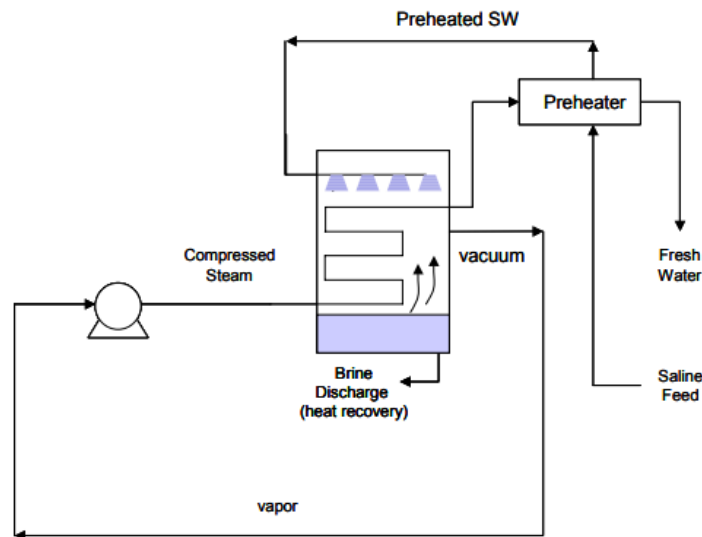


Figura 15. Esquema del procés CV (Miller, 2003).

#### 3.4.4 Destil·lació solar (DS)

Tal com diu el seu nom, es basa en la utilització de l'energia solar per tal de produir la destil·lació de l'aigua. És el procés més lent i necessita unes condicions climàtiques determinades però té un cost energètic nul i la inversió en construcció i materials pot ser molt baixa.

El principi de funcionaments d'aquesta tecnologia és el propi cicle natural de l'aigua. A grans trets, consisteix en un espai tancat amb aigua a la zona inferior. La part superior es troba tancada amb una superfície transparent que permet passar la radiació solar. Aquestes característiques permeten produir l'efecte hivernacle que aconseguix, l'escalfament global de la càmera i afavorir l'evaporació de l'aigua. El vapor ascendeix, fins arribar a la coberta on es condensa, a causa d'una diferència de temperatura amb l'exterior. Les gotes condensades són recollides en un recipient. El seu principal inconvenient és la seva eficiència màxima, segons les diferents fonts, aquesta arriba només a un 50% aproximadament.

Els destil·ladors solar es poden construir de moltes formes, mides, amb diferents materials, per diferents usos, a més a més poden ser fixos o portàtils, o fins i tot permanents o temporals. Actualment s'han designat diferents formes per aquesta tecnologia, a continuació es presenten les més conegudes.



- **Destil·lador solar d'una vessant:** consisteix en un recipient amb dos compartiments a la zona inferior diferenciats (un per l'aigua a evaporar i l'altra per la destil·lada que es troba al costat més baix). Aquesta està coberta per un vidre inclinat.

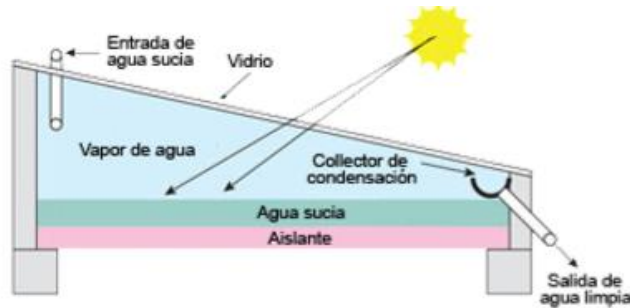


Figura 16. Destil·lador d'una sola vessant (Energizar, 2017).

- **Destil·lador solar de dues vessants (d'hivernacle):** en aquest cas, la zona superior es caracteritza per una teulada dues aigües i la inferior per dues safates, una sobre l'altra. A sota s'hi troba el dipòsit on recollir l'aigua dolça i a sobre, l'aigua salada.

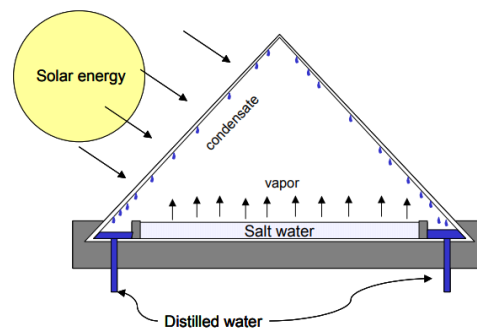


Figura 17. Destil·lador solar amb dos vessants (IDIC, 2013).

- **Destil·lador solar de cascada:** aquest sistema consisteix en tenir una forma d'escala coberta amb una superfície transparent inclinada. Cada esglaó conté aigua bruta menys al final de tot on s'hi troba un dipòsit per recollir l'aigua destil·lada.

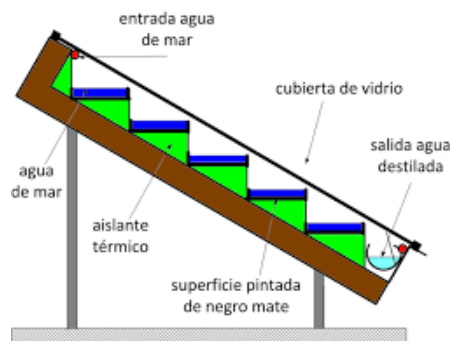


Figura 18. Destil·lador solar en cascada (IDIC, 2013).

- **Destil·lador solar esfèric:** consisteix en una esfera de material transparent que per recollir les gotes d'aigua que s'han destil·lat utilitza un motor elèctric que fa girar un element netejador semblant al que utilitzen el parabrises dels cotxes. Aquest sistema permet una major eficàcia de l'energia solar.

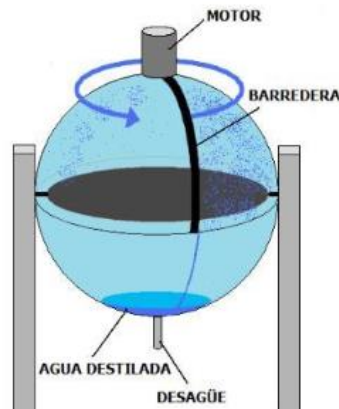


Figura 19. Destil·lador esfèric (Sitiosolar.com, 2020).

- **Destil·lador solar amb evaporador de tela:** en aquest cas el col·lector és un tela de color fosc, la qual es manté humida mitjançant un dipòsit que es troba en els seus extrems, que s'evapora per l'acció de la radiació solar. El vapor format topa amb un vidre inclinat i les gotes condensades es recullen al final.

### 3.4.5 Destil·lació per Humidificació-Deshumidificació (HDH)

El seu funcionament es base en el cicle de l'aigua que es produeix mitjançant tres equips, l'humidificador, el deshumidificador i diferents col·lectors solars. El procés s'inicia amb l'entrada d'aigua a tractar al deshumidificador, aquest funciona com un condensador, on l'aigua és preescalfada, passa als col·lectors solars on és acabada d'escalfar i finalment arriba a l'humidificador on al estar en contacte amb l'aigua augmenta la seva humitat i temperatura provocant l'evaporació d'una part de l'aigua. Aquest vapor és portat al deshumidificador on es refreda i es recull en un dipòsit separat per l'aigua destil·lada obtinguda.

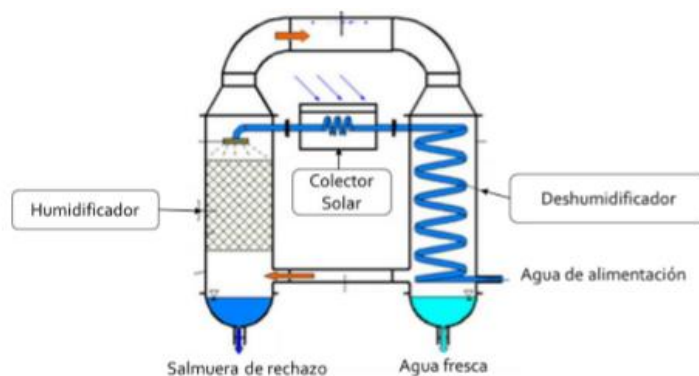


Figura 20. Esquema bàsic de HDH CAOW (Perth Ida World congress 2011).

Seguint aquest sistema, es troben diferents configuracions dels circuits d'aire i aigua. A continuació es presenten els més coneguts:

- Circuit tancat d'aigua i obert d'aire (CWOA): aquest consisteix en una recirculació constant de l'aigua que es tracte i, en canvi, l'aire, un cop utilitzat és expulsat a l'exterior.
- Circuit obert d'aigua i tancat d'aire (CAOW): a diferència de l'altre sistema, l'aire és el fluid que és recirculat, per convecció natural o forçada, i l'aigua circula per un circuit obert.

Aquesta tecnologia presenta avantatges semblants a les últimes estudiades, aprofita la calor latent de la condensació per tal de precalentar l'aigua d'alimentació, la temperatura d'operació és baixa i això fa que es pugui utilitzar l'energia solar de manera fàcil.

### 3.4.6 Congelació (FS)

Aquesta tecnologia consisteix en polvoritzar aigua de mar a una càmera refrigerada, aconseguint que es formin cristalls de gel sobre les sals. Aquests cristalls han de separar-se i fondre's per tal d'obtenir l'aigua de qualitat desitjada.

És un sistema que necessita unes condicions molt específiques, un aïllament tèrmic important per mantenir el fred i uns mecanismes eficaços per la separació dels blocs de gel que contenen l'aigua dolça. Actualment és un sistema que utilitzen els esquimals a petites escales, però a nivell industrial no s'ha portat a terme.

### 3.4.7 Formació d'hidrats

Es basa en el procés de cristallització mitjançant l'addició d'hidrocarburs (sals anhidres higroscòpiques) a l'aigua salada, aquestes tenen la capacitat d'atraure l'aigua del seu voltant. Un cop aquestes sals han absorbit l'aigua, es separen, es renten i es deshidraten amb l'aplicació de calor, d'aquesta manera s'aconsegueix extreure aigua pura i les sals es poden reutilitzar. És un sistema molt complex i poc utilitzat a nivell industrial.

### 3.4.8 Destil·lació per membranes (MD)

Aquesta tecnologia només ha estat desenvolupada a nivell de recerca en un laboratori amb perspectives molt bones per la seva aplicació. Consisteix en evaporar l'aigua a tractar, el vapor es dirigeix a una membrana hidròfoba que separa el vapor d'aigua del vapor d'altres substàncies. És un procés que s'utilitza per tractar les aigües residuals.

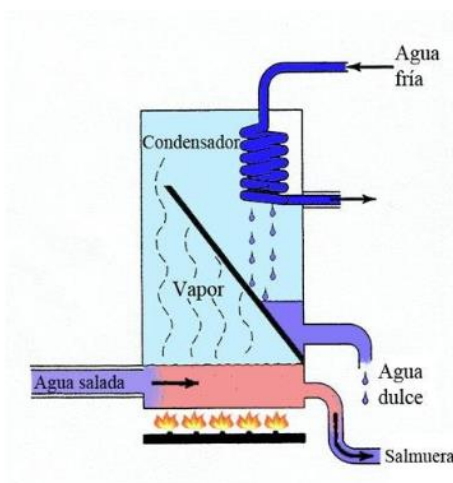


Figura 21. Destil·lador per membranes (condorchem.com, 2020).

### 3.4.9 Osmosi inversa (RO)

Aquesta tecnologia és la més utilitzada actualment a nivell industrial. Es basa en el principi de la osmosis, aquest és un procés que es produeix de manera natural en plantes i animals. Consisteix en tenir dues solucions amb diferents concentracions unides per una membrana semipermeable que permet el pas de l'aigua però no de les sals. Davant d'aquesta situació, de manera natural es produeix la circulació de la solució amb menys concentració cap a la de més, així s'aconsegueix una igualació de concentracions, no de quantitat d'aigua.

L'osmosi inversa, és el mateix procediment al revés. L'objectiu és fer passar per la membrana semipermeable l'aigua amb concentració de sals, per separar-la de l'aigua dolça que es quedarà a la zona de mínima concentració, mitjançant l'aplicació d'una pressió superior a la osmòtica. En aquest cas, s'ha de tenir en compte que la membrana suporti les pressions elevades.

És un procés que no es considera de filtració, ja que no tota l'aigua és filtrada i les sals no s'acumulen al filtre, sinó que queden diluïdes en l'aigua bruta.

És un principi que a priori sembla senzill, existeixen fins i tot dessaladores manuals a petites escales, però si es vol aplicar a escales més grans cal un gran nombre d'equips, com bombes i turbines, a més a més, posteriorment és necessari un tractament perquè l'aigua acabi de ser del tot potable. No obstant, és el procés que més s'utilitza ja que tant el seu consum elèctric com la seva inversió inicial és inferior a altres tecnologies estudiades.

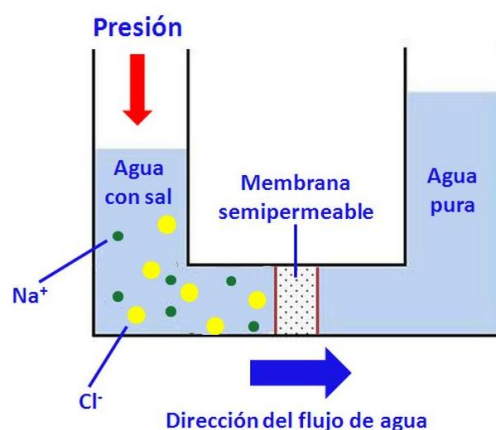


Figura 22. Esquema d'osmosi inversa (naukas.com, 2020).

#### 3.4.10 Electrodialísis (ED)

És una tècnica de separació que es basa en l'aplicació d'una corrent contínua a través d'una solució iònica. Això fa que els ions positius es desplacin cap a l'elèctrode negatiu (càtode) i de la mateix manera els ions negatius cap a l'elèctrode positiu (ànode). En aquest cas, entre els dos pols es col·loquen membranes semi-impermeables que permeten el pas de les sals, concretament  $\text{Na}^+$  i el  $\text{Cl}^-$ , fins que al centre l'aigua es vagi dessalinitzant progressivament. Paral·lelament, queda el residu d'aigua salada amb una concentració més elevada de sals que pot ser fins a un 30% del total de l'aigua tractada.

En alguns casos, es realitza l'electrodiàlisi reversible, en que la polaritat dels elèctrodes és invertida diferents cops per hora per tal de mantenir les membranes més netes.

Aquest sistema és efectiu quan l'aigua es troba ionitzada, per aquest motiu és més eficaç en aigües salobres o residuals. A més a més, de la mateixa manera que en l'osmosi inversa, cal incorporar un altre tractament per tal que l'aigua tingui una qualitat suficient.

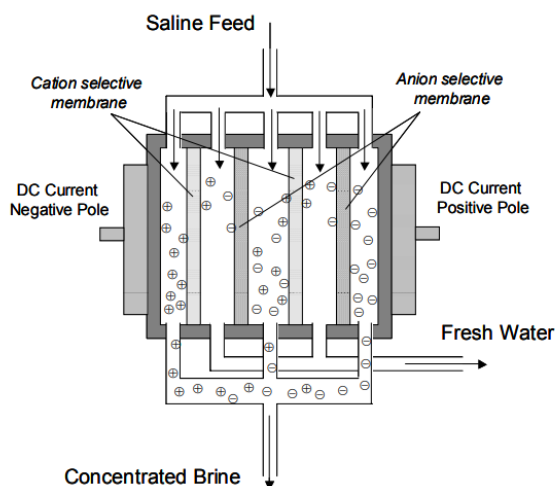


Figura 23. Esquema d'electrodiàlisi (mailxmail.com, 2020)

### 3.4.11 Intercanvi iònic

És un sistema que utilitza resines d'intercanvi iònic que són insolubles i tenen la capacitat d'eliminar selectivament els ions dissolts al entrar en contacte amb una solució aquosa, mantenir-los units temporalment i cedir-los a una altre solució, en altres paraules, intercanvia ions amb la sal.

Existeixen diferents tipus de resines, les anomenades aniòniques que substitueixen anions de l'aigua per ions  $\text{OH}^-$ , i les catòdiques que intercanvien els cations per  $\text{H}^+$ .

És una de les tecnologies que obté una qualitat d'aigua bona i s'utilitza per tractar aigua extreta d'aqüífers o fins i tot de vapors produïts per les calderes o en processos industrials amb l'aplicació d'un tractament extra. No obstant, no s'utilitza pel tractament d'aigua de mar ja que el cost de regenerar la resina és molt elevat.

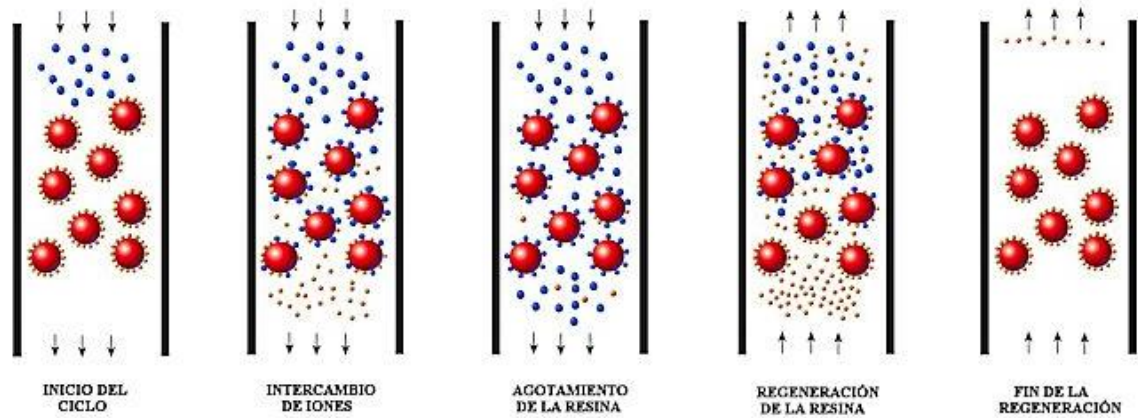


Figura 24. Esquema de l'Intercanvi iònic (gwc.com.ar, 2020).

### 3.5 Avaluació de les diferents tecnologies

Als apartats anteriors s'han exposat les tecnologies de dessalinització més conegudes i utilitzades. Totes elles presenten diferents avantatges i inconvenients. A continuació s'exposen les conclusions extretes de l'Estudi d'Ullah i G.Rasul (Energies, 2019), el qual ajudarà a valorar correctament quina és el millor mètode pel disseny de l'aparell objecte del projecte.

El primer factor a valorar entre les tecnologies, és com efecte la salinitat de l'aigua a la quantitat d'energia que requereix els diferents processos. Observem a la *Figura 25* que les tecnologies basades en processos tèrmics, la seva demanda energètica per  $m^2$  és fixa, en canvi, en els mecànics és proporcional. També s'observa que la Destil·lació Solar (DS) és la tecnologia que requereix de més energia, així com la Destil·lació per Compresió de Vapor (CV), la que menys.

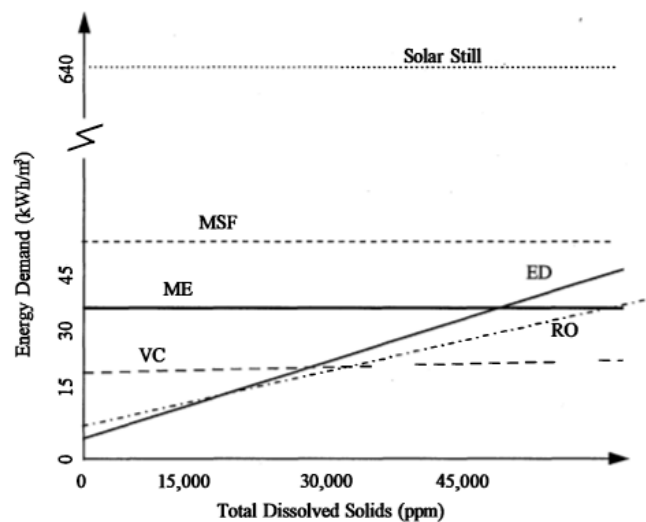


Figura 25. Efecte de la salinitat a la demanda energètica dels processos (Ullah et al. 2019).

Un altre factor interessant en el nostre cas, és saber quin tipus d'energia requereixen aquestes tecnologies, la proporció d'energia tèrmica com l'elèctrica. Es pot veure clarament que la tecnologia que no necessita gens d'electricitat es la DS, a més de la FS dels esquimals. Pel que fa a les MFS i la MED, si que requereixen d'electricitat per fer funcionar tots els aparells més mecànics del sistema.

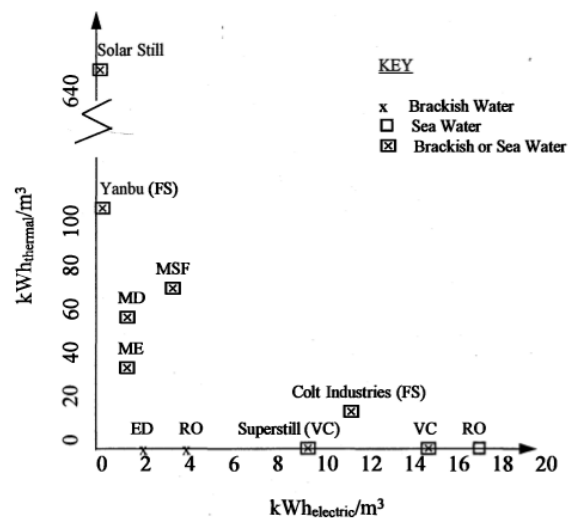


Figura 26. Relació entre energia tèrmica i elèctric de les diferents tecnologies (Ullah et al., 2019).

Finalment, un altre factor important és la inversió de cada equip, respecte la seva capacitat de tractament de l'aigua. Pel que fa a la DS, la inversió va lligada directament amb el material que es necessita per la seva instal·lació, és un procés que requereix de molta superfície proporcional a la capacitat del procés. La tecnologia de MSF, requereix d'una gran inversió inicial degut al seu requisit d'evaporació instantània que necessita maquinaria específica. Al contrari de la MED, el seu cost va lligat a les etapes les quals són proporcionals a la capacitat de tractament. Finalment, es tecnologies mecàniques són es que requereixen de menys inversió i menys costos de manteniment.

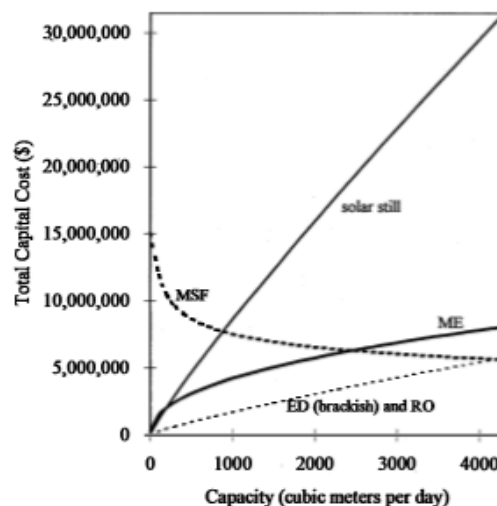


Figura 27. Relatiu a les economies d'escala de les diferents tecnologies (Ullah et al.,2019).



## 4 METODOLOGIA

Aquest projecte es basa en el disseny d'un aparell autònom per la dessalinització d'aigua de mar. Per aquest cal determinar molt bé les condicions de les qual es parteix i quin és l'objectiu principal.

El desenvolupament d'aquest projecte es basa en quatre fases que pretenen donar solució al problema plantejat.

### 4.1 Fase 1. Disseny conceptual

Aquesta fase és la que analitza concretament quin és el problema que s'ha detectat i a partir d'aquest, s'especifiquen els requeriments bàsics que ha de complir l'aparell. També es realitza un anàlisi de les tendències que es troben en el mercat dins l'àmbit acotat.

Amb aquestes premisses i l'estudi teòric anterior es proposaran tres alternatives, les quals s'avaluaran per escollir el sistema més efectiu.

Aquesta fase es basarà doncs en:

- Realitzar una recerca bibliogràfica per entendre exactament el problema de l'escassetat d'aigua potable.
- Establir uns elements claus que ha de complir el sistema.
- Fer un estudi de mercat, amb els aparells que s'estan desenvolupant en aquest sector.

### 4.2 Fase 2. Disseny detallat

El disseny detallat del prototip és on s'estudia tots els elements que formen l'aparell i es dimensionen d'acord amb les especificacions requerides, per tant, és la fase de creació i càlcul que donarà forma a l'aparell.

Aquesta fase es basarà doncs en:

- Dissenyar cada element constructiu.
- Avaluar les condicions exactes de treball mitjançant càlculs teòrics de recursos bibliogràfics.

- Avaluar els materials que han de conformar cada un dels elements dissenyats.
- Dissenyar el prototip i tots els seus elements amb un software de disseny.

### 4.3 Fase 3. Construcció

És la penúltima fase, consisteix en fer la maqueta del projecte a escala inferior mitjançant materials i elements de baix cost que han estat escollits en els apartats anteriors.

Aquesta fase es basarà doncs en:

- Identificar i seleccionar els materials que s'adaptin al sistema.
- Fabricar les parts que requereixin.
- Realitzar el muntatge de totes les peces del prototip.
- Realitzar una simulació de funcionament.
- Identificar el possibles punts forts i dèbils en la fabricació del prototip.

### 4.4 Fase 4. Valoració

Com a fase final, té l'objectiu de valorar el resultat del sistema dissenyat avaluant sobretot la producció d'aigua. A partir d'aquest es realitzarà una proposta de millora del sistema.

Aquesta fase es basarà doncs en:

- Realitzar proves a l'equip, sobre eficiència, temperatures, qualitat d'aigua...
- Identificar possibles millores del disseny.
- Realitzar una conclusió de tot el treball.

## 5 ANÀLISI ESTRATÈGICA

### 5.1 Anàlisi del problema

L'aigua és un recurs essencial per a totes les persones, tant per consum humà, com per l'agricultura i la indústria. S'ha comprovat que encara que el Planeta té grans reserves d'aigua, només una part minúscula és dolça i no compleix amb la qualitat suficient pel consum humà. Aquest problema és més complicat als països amb menys recursos econòmics i amb condicions geogràfiques complicades per aquest tema. Davant d'aquest problema s'han desenvolupat diferents tecnologies per a la dessalinització d'aigua de mar.

Actualment molts països estan invertint en plantes dessalinitzadores, algunes de les quals ja funcionen amb energies renovables per falta de subministrament d'electricitat. No obstant, encara hi ha una gran part de la població mundial que no tenen accés a aquest subministrament d'aigua de qualitat. Els que pateixen més són els que es troben en poblats rurals o cases aïllades, molts dels quals es troben en països subdesenvolupats.

A continuació s'analitza i es recull a través del Diagrama d'Ishikawa el conjunt de causes que expliquen el problema que pateixen aquestes àrees sobre l'escassetat d'aigua potable.

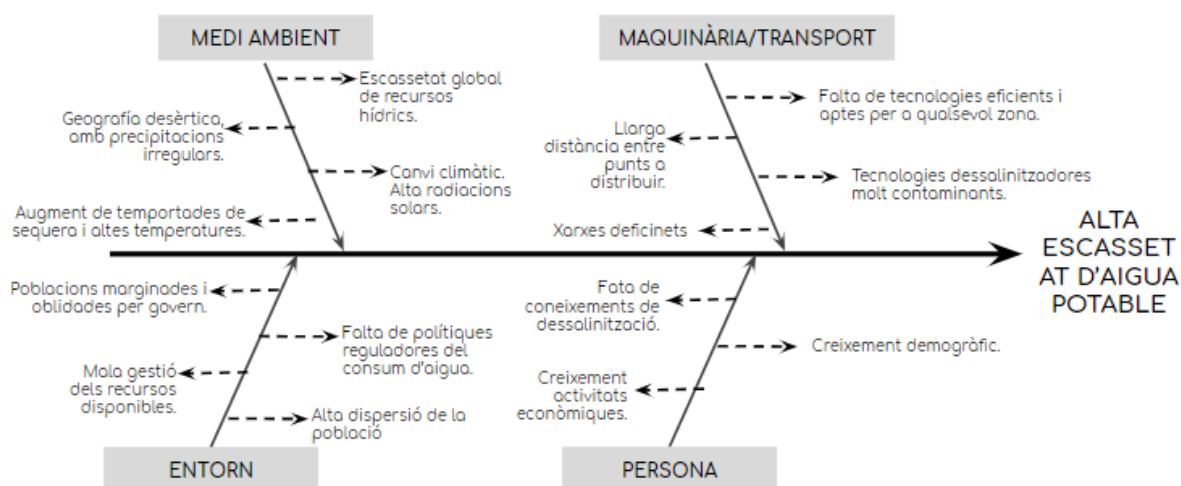


Figura 28. Avaluació del problema amb el diagrama d'Ishikawa.

Així doncs, aquest projecte es basarà en una investigació pel disseny d'un prototip de dessalinització apte per aquestes localitats.

## 5.2 Anàlisi de requeriments

Un cop definit el problema que es vol resoldre, cal establir els requeriments que ha de complir el disseny per tal que compleixi tots els objectius establerts.

### 5.2.1 Localització:

No es pretén fer una instal·lació destinada a una localitat en concret, l'objectiu és fer un aparell que es pugui utilitzar a qualsevol zona del món que tingui problemes amb l'abastament d'aigua potable. Després de l'anàlisi global de la disponibilitat d'aigua potable, s'ha observat un greu problema en la zona del Tròpic de Càncer, tal com s'intenta representar amb l'ombregjat a la següent figura.

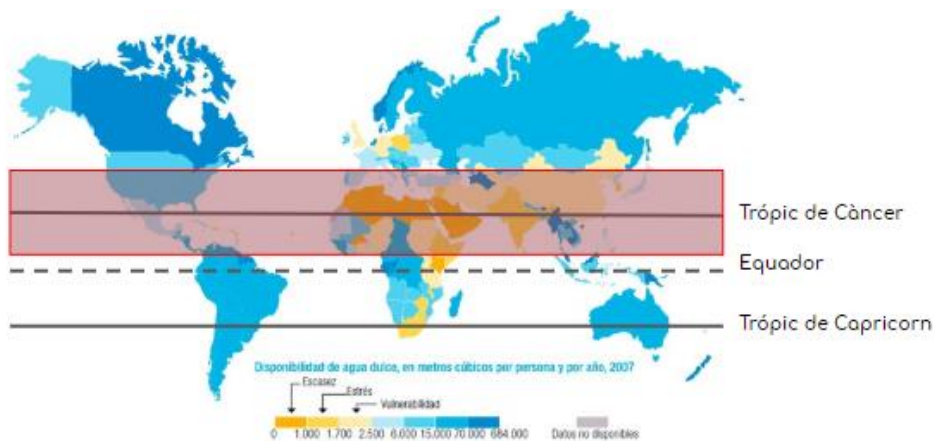


Figura 29. Mapa de disponibilitat de l'aigua modificat (iAigua, 2007)

Aquesta zona es caracteritza per tenir un clima càlid, amb un impacte gran a nivell de radiació solar durant el dia que fa que les temperatures siguin molt altes. Això va directament lligat amb la presència de sequeres i, més concretament amb l'emplaçament dels deserts més importants del món, com el Sàhara de l'Àfrica, el Gobi i l'Aràbic d'Àsia i els d'Amèrica Central, com el Mojave Arizona. Pel que fa als diferents territoris, molts d'ells es troben en contacte amb mars i oceans, cosa que pot facilitar la disponibilitat d'aigua salada.

Si acotem més el projecte, aquest tractarà de subministrar aigua potable a localitats aïllades, en països en vies de desenvolupament amb pocs recursos, sense subministrament fàcil d'electricitat, prop de zones costaneres.

### **5.2.2 Capacitat de producció diària**

S'ha decidit que l'aparell ha de subministrar aigua suficient per una família, un mínim de 10 l/dia. Tot i això, es pretén fer un aparell modular en el que es puguin unir diferents aparells entre si, per tal d'oferir una major producció diària.

### **5.2.3 Aigua a tractar**

L'estudi es basarà en tractar aigua del mar, no obstant, es preveu que també es puguin tractar aigües de rius, llacs, pous...

### **5.2.4 Complexitat del disseny**

El disseny constructiu ha de ser senzill, ja que ha de poder-se instal·lar a qualsevol lloc, sense tenir formacions específiques. És important que si l'aparell té un problema de funcionament, pugui ser reparat fàcilment per a qualsevol persona adulta sense coneixements específics.

A nivell d'operació s'ha de tenir en compte que ha de ser autònom, amb energies renovables ja que es pretén arribar a persones aïllades de la societat.

### **5.2.5 Característiques dels materials de construcció**

Un dels factors a tenir en compte és que pugui ser fabricar amb materials reciclats i disponibles als mercats locals.

### **5.2.6 Costos de fabricació, operació i manteniment**

El disseny s'ha de centrar en oferir un aparell econòmic, de baix cost, en tots els sentits. Tant en la fabricació pels materials de construcció com a nivell de manteniment.

El cost de fabricació ha de ser inferior als 850€.

### 5.2.7 Facilitat de transport i instal·lació

Degut a ser un aparell que funciona amb energies renovables, cal tenir en compte que sigui un aparell mòbil per poder aprofitar al màxim les energies renovables. En el cas que s'utilitzi energia solar, serà important que es pugui encarar correctament.

### 5.2.8 Vida útil

L'aparell a dissenyar ha de tenir una vida útil de mínim 10 anys.

### 5.2.9 Seguiment i comunitat

El projecte vol arribar a un altre objectiu, que és compartir el coneixement obtingut d'aquest. És a dir, es pretén que el disseny ja dissenyat amb els requisits establerts pugui estar disponible per a tothom que ho requereixi de manera totalment lliure i gratuïta. I amb una visió futura, de crear una petita comunitat amb tots aquells que han pogut participar en aquest. A més a més, es vol aconseguir fer el seguiment de l'operació de cada aparell fabricat, per observar la seva producció i buscar millores.

## 5.3 Anàlisi del disseny

Per tal d'adaptar el prototip al màxim a les condicions a les quals partim, cal determinar totes les activitats principals que participen en el procés. Aquest va des de la captació de l'aigua de mar fins al subministrament d'aigua potable pel seu consum o utilització:

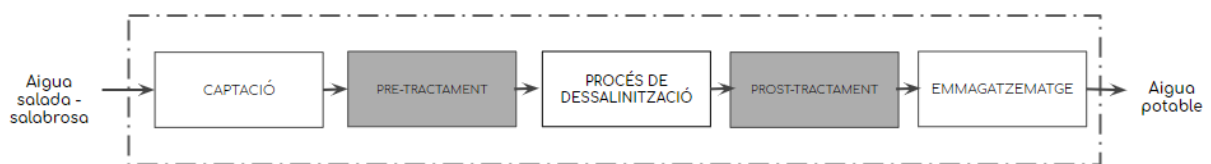


Figura 30. Diagrama de flux del procés.

Cada una de les etapes s'han de tenir en compte en el disseny. No obstant és possible que s'uneixin o que no es considerin prescindibles per les condicions del projecte, i per aquest motiu, s'analitzen a continuació.

### 5.3.1 Captació

El procés de captació de l'aigua es defineix com aquell sistema que obté l'aigua salada per alimentar el dispositiu de dessalinització. Aquest té diferents objectius que ha de complir per garantir un bon funcionament:

- Entrada de cabal suficient d'aigua d'acord amb la quantitat que es vol aconseguir al final del tractament.
- Minimitzar l'impacte ambiental amb un disseny que no pugui tenir cap efecte negatiu cap als organismes marins.

En aquest sistema és important definir quin és l'origen de l'aparell, si té un dispositiu connectat directament al recurs d'obtenció d'aigua (mar, oceà, pou...) o si parteix d'un dipòsit ja prèviament omplert per un altre aparell o per les persones.

Davant d'aquesta alternativa, el prototip incorporarà un element per poder injectar directament aigua de la font que es vulgui.

### 5.3.2 Procés de dessalinització

El més important és la tecnologia que s'utilitzarà per la dessalinització, tal com s'ha estudiat a l'apartat 3.4. Davant de tots els requeriments es vol aconseguir els següents objectius:

- Simplicitat en el procés i en el disseny.
- Capacitat de tractament d'aigua suficient per ús domèstic, una família.
- Aconseguir màxima eficiència i eficàcia energètica mitjançant energies renovables.

Amb aquests objectius, es considera que la millor tecnologia per solucionar el problema plantejat és la destil·lació de l'aigua, mitjançant l'evaporació i condensació d'aquesta. Aquesta ofereix una gran simplicitat, ja que no requereix de molta potència mecànica. Pel que fa al pre-tractament, sí que cal que abans de ser tractada l'aigua es trobi en repòs perquè les substàncies no desitjades es quedin a la part inferior del recinte, simulant la sedimentació o també es pot aplicar un filtre per partícules més grans. Referent al post-tractament, és convenient que hi hagi una part de mineralització per aportar la qualitat suficient a l'aigua resultat.

Pel que fa als residus generats del procés, en aquest procés són mínims i es basen sobretot en la recollida d'aigües amb una concentració de sals del doble del que s'ha partit. Aquest tipus d'aigua pot ser eliminat amb l'abocament cap al mar.

A més a més, aquest procés requereix d'energia tèrmica, energia que proporciona directament el Sol i per tant, es pot utilitzar al màxim.

S'han descartat les tecnologies basades en membranes, com la osmosis inversa, que tot i ser una de les més utilitzades i eficients es considera que és massa complexa per totes les zones on es vol actuar ja que necessita filtres substituïbles molt especials, un manteniment costós i tenen un nivell de vida útil inferior.

### 5.3.3 Emmagatzematge final

Cal tenir un dipòsit o un element per tal d'emmagatzemar l'aigua resultant amb capacitat suficient, 5 l. En aquest cas, es tindrà en compte una situació aïllada de les altes temperatura per facilitar la condensació i que es trobi en condicions correctes pel seu consum.

## 5.4 Estudi de mercat

El projecte de fer una dessalinitzada de baix cost amb energies renovables no és nou, tot i que sí que es segueix innovant per poder proporcionar aigua dolça a moltes comunitats amb pocs recursos. Aquest apartat té la finalitat d'analitzar les solucions que es troben actualment al mercat o alguns projectes que s'estan prototipant i provant.

- **ELIODOMESTRICO:** És un aparell dissenyat per l'italià Gabriele Diamanti i finançat per la Fondation d'Entreprise Hermes que ofereix molta simplicitat al procés. Està format per tres peces de ceràmica i el seu funcionament es basa en el d'una cafetera però al rebés.

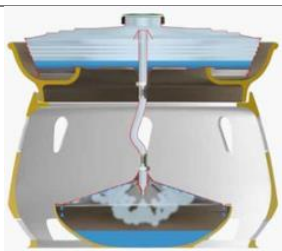


Figura 31. Eliodomestrico

**Tecnologia:** destil·lació

**Capacitat producció:** 5 litres/dia

**Característiques físiques:** uns 50 cm d'alçada i lleuger de pes

**Necessitat d'electricitat:** No

**Preu:** 50\$

**Altres característiques:**

- Mòbil i individual



- **SOLARBALL:** És un dispositiu desenvolupat per Jonathan Liow, un estudiant de la Universitat de Monash. Es caracteritza per tenir un disseny senzill, ecològic, adequat per tot tipus de zones i regions climàtiques. Té una estructura en forma de bola que emmagatzema l'aigua bruta, de la qual es genera aigua neta que acaba flotant a la part superior de l'aparell.



*Figura 32. Solarball*

- Tecnologia:** destil·lació
- Capacitat producció:** 3 litres/dia
- Característiques físiques:** 30-40 cm de diàmetre i molt lleuger
- Necessitat d'electricitat:** No
- Preu:** - \$ (baix)
- Altres característiques:**
- Mòbil
  - Aparell individual

- **DESOLENATOR:** És un aparell dissenyat per una empresa que es dedica a la dessalinització sostenible. Destaca pel seu bon rendiment en un aparell molt compactat i portàtil, a més sostenible i econòmic comparat amb d'altres. Consta d'un col·lector solar que pre-escalfa l'aigua abans d'arribar a l'evaporador que funciona amb una placa fotovoltaica. Els seus dissenyadors el van millorant constantment per obtenir millors rendiments i ha estat guanyador en diferents premis.



*Figura 33 Desolenator*

- Tecnologia:** destil·lació
- Capacitat producció:** 15 litres/dia
- Característiques físiques:** 100x130 cm i lleuger de pes
- Necessitat d'electricitat:** Si per l'evaporació (fotovoltaica)
- Preu:** 1000\$ (actualment encara es troba en projecte)
- Altres característiques:**
- Mòbil (rodes)
  - Aparell individual
  - Placa fotovoltaica per fer més ràpid el procés
  - Pantalla electrònica que avalua constantment el seu rendiment

- **TETHYS:** Tethys és un dispositiu de l'empresa TSD Desalination, que es va fabricar amb l'objectiu de disminuir un 90% els costos en energia de la tecnologia de dessalinització utilitzant només l'energia solar. Es caracteritza per ser un sistema modular, rendible, flexible i ràpid. No només pot funcionar sol, sinó que es pot unir a altres mòduls per tenir una capacitat de producció més elevada.



*Figura 34. Tethys*

**Tecnologia:** destil·lació

**Capacitat producció:** 50 a més de 10.000 litres/dia

**Característiques físiques:** dimensions 150x150x100 cm i amb un pes elevat.

**Necessitat d'electricitat:** No

**Preu:** més de 1000 \$

**Altres característiques:**

- Modular

- **SAROS DESALATION:** És un projecte realitzat per zones amb pocs recursos d'energia i combustibles que funciona per osmosis Inversa. Consisteix en l'aprofitament de l'energia de les onades per tal de bombejar aigua de mar i fer funcionar el tractament d'osmosis inversa.



*Figura 35 Saros*

**Tecnologia:** Osmosis inversa

**Capacitat producció:** +3500 litres/dia

**Característiques físiques:** Dos aparells, un lleuger per l'aigua i un altre dins del port pel tractament.

**Necessitat d'electricitat:** No

**Preu:** -

**Altres característiques:**

- Dos aparells
- Aparell per una comunitat

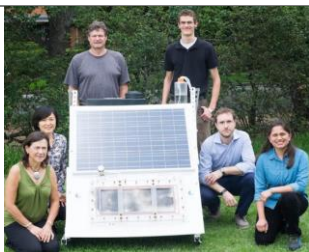
- **AQUAMATE SOLAR:** Aquest és un dispositiu molt senzill, inflable que agafa forma de castanya inversa. Un cop l'aigua és evaporada, i les gotes condensades son recollides a un flotador que envolta el dispositiu.



- Tecnologia:** destil·lació  
**Capacitat producció:** 0,5-2 litres/dia  
**Característiques físiques:** 30 cm de diàmetre, molt lleuger.  
**Necessitat d'electricitat:** No  
**Preu:** 200\$  
**Altres característiques:**  
 - Inflable

*Figura 36 AquaMate solar*

- **NEWT:** És un projecte que ha portat a terme el Centre d'Investigació NEWT i la Universitat de Rive. Cosisteix en un dispositiu que una part funciona mitjançant la destil·lació però utilitzant una membrana porosa feta de nanopartícules que ajuda a calentar l'aigua reduint la necessitat d'energia.



*Figura 37 Newt*

- Tecnologia:** Destil·lació i membrana  
**Capacitat producció:** 15 litres/dia  
**Característiques físiques:** 150x100 cm  
**Necessitat d'electricitat:** Si (fotovoltaica)  
**Preu:** -  
**Altres característiques:**  
 - Membrana innovadora de nanopartícules que escalfa l'aigua

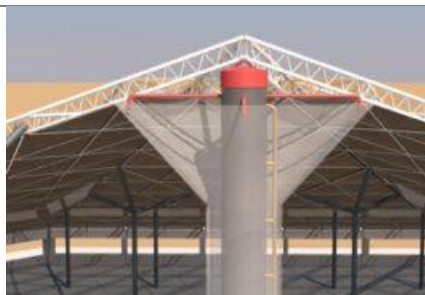
- **HELIO:** Des de l'empresa MarineTech ofereixen aquest dispositiu que funciona a partir d'una esfera de cristall, que amb l'ajuda d'un mirall evapora les molècules d'aigua, es condensen, es remineralitza i s'aconsegueix aigua potable. Com a extra, té una placa fotovoltaica per tal de bombejar l'aigua del mar a un dispositiu de regulació intel·ligent que reomple l'esfera d'aigua de mar perquè segueixi la producció.



*Figura 38 Heliol*

- Tecnologia:** Destil·lació  
**Capacitat producció:** 10 litres/dia  
**Característiques físiques:** 1,8x2,1m i 80 kg  
**Necessitat d'electricitat:** Sí (fotovoltaica) bombeig d'aigua.  
**Preu:** -  
**Altres característiques:**  
 - Aparell regulador  
 - Remineralització de l'aigua

- **SUN AQUA 19:** És un projecte de l'empresa Aqua abib que compte amb el suport de diferents entitats com la UPC. Consisteix en realitzar un sistema per aportar aigua potable a diferents zones amb pocs recursos hídrics. Consisteix en una gran estructura en forma de piràmide amb diferents col·lectors solars que s'uneixen al vèrtex superior. En aquest punt, l'aigua és polvoritzada per facilitar l'evaporació i es recull, un cop condensada, a la base subterrània.



*Figura 39 Sunaqua 19*

**Tecnologia:** destil·lació

**Capacitat producció:** +70000 litres/dia

**Característiques físiques:** 2500 m<sup>2</sup> i 18m alçada.

**Necessitat d'electricitat:** Si

**Preu:** -

**Altres característiques:**

- Estructura molt gran
- Part soterrada per mantenir la temperatura

Amb aquest apartat hem fet una recerca de tots els projectes que entren dins l'abast del projecte, sostenibles i per zones amb pocs recursos, que s'han treballat durant els últims anys. Observem que és una problemàtica molt estudiada, tot i això, també hem vist que la majoria d'aquests són prototips i encara no s'han portat a terme.

S'ha observat que aquells que tenen una font d'energia extra ofereixen una capacitat superior, també que molts dels projectes no parlen dels residus generats.

Pel que fa al disseny, molts dels dispositius tenen un disseny molt ben cuidat, no obstant no estan del tot preparats per fabricar-los amb materials reciclats i alguns tenen una estructura complicada. També les característiques físiques són molt variades, solen ser proporcionals a la seva capacitat de producció.

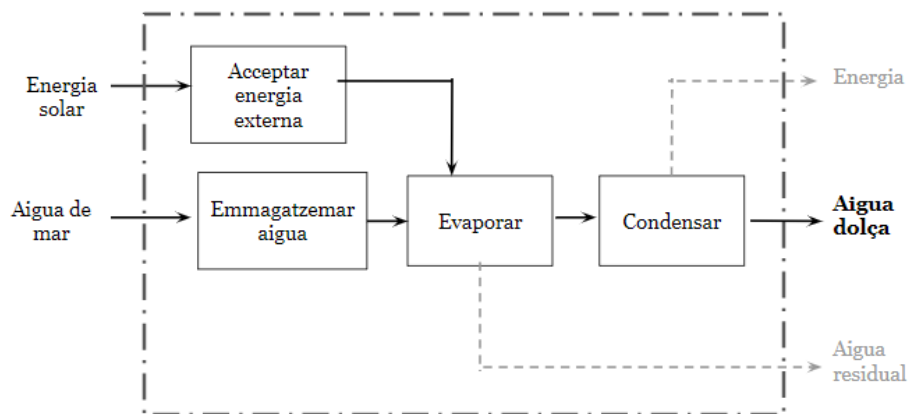
Un altre fet observable és que no hi ha informació dels preus, ja que molts són només projectes i els que es troben al mercat estan relacionats en instal·lacions proporcionades per l'administració i no de manera privada.

## 5.5 Estudi d'alternatives

En aquest apartat, es pretén estudiar diferents propostes realitzades a partir dels anàlisis exposats als apartats anteriors. A partir d'aquests s'escollirà el considerat més adient per solucionar el problema.

Per aquests dissenys el més important que s'ha tingut en compte és la seva eficiència funcionant amb energia solar solament. Es descarta la incorporació d'un sistema fotovoltaic per escalar l'aigua, ja que la potencia requerida per aquesta funció és molt elevada i es considera que no compliria amb la practicitat i simplicitat que s'ha requerit en un primer instant.

Així doncs, després de l'estudi dels requisits i de l'estudi de mercat, s'ha escollit una base pel funcionament, aquest està representat a la *Figura 40*.



*Figura 40. Principi de funcionament*

### 5.5.1 Alternativa 1. Destil·lador solar

La primera alternativa que s'ha avaluat és un disseny típic d'un destil·lador solar. Aquest tindrà un preescalfament amb un col·lector solar i arribarà a una cambra la qual té una coberta de vidre. Això farà que l'evaporació i la condensació es realitzin a un mateix element. Aquesta aigua serà la recollida. Es pot veure l'esquema bàsic a la *Figura 41*.

Taula 12. Avantatges i inconvenient destil·lador solar bàsic

Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pot arribar a ser molt fàcil de construir.</li> <li>- L'evaporació i la condensació es realitzen al mateix cos.</li> <li>- Fàcil d'utilitzar i de mantenir.</li> <li>- Disseny fiable ja que és el típic que s'utilitza en aquests casos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La producció és inferior a altres equips.</li> <li>- La coberta és molt fràgil.</li> <li>- Ocupa molta superfície.</li> </ul>

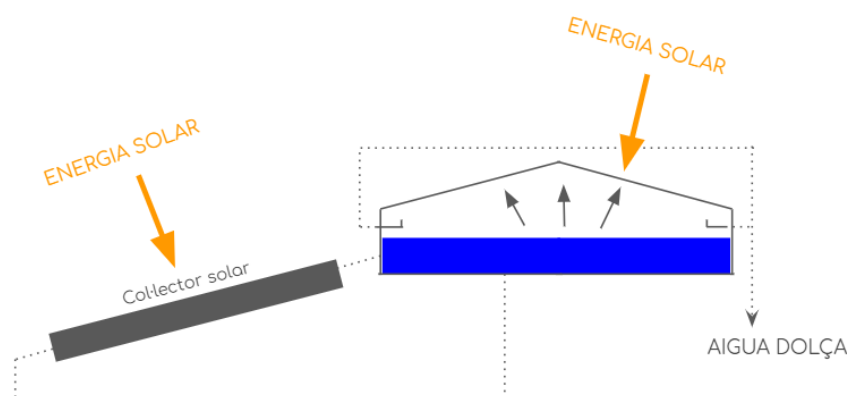


Figura 41. Dessalinitzador solar

### 5.5.2 Alternativa 2. Destil·lador MED

Aquest disseny es basa en la tecnologia de Múltiple Efecte el qual absorbeix energia tèrmica a partir d'un col·lector solar. Aquest escalfa directament el dipòsit d'aigua principal que es troba a la part inferior. A diferència dels altres sistemes, aquest aprofita la calor latent produïda en aquesta primera etapa per escalfar l'aigua de les altres amb el vapor produït. Un dels factors important a tenir en compte és l'aïllament del recipient per tal que la calor formada no es perdi.

Taula 13. Avantatges i inconvenients MED

Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aprofita la calor ja produïda i per tant produeix més aigua.</li> <li>- Ocupa menys espai que un destil·lador solar bàsic.</li> <li>- Pot arribar a ser flexible variant el seu nombre d'etapes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El seu disseny és més complexa que el sistema bàsic.</li> <li>- Pot tenir problemes en la condensació.</li> <li>- Augmenta el cost.</li> </ul>

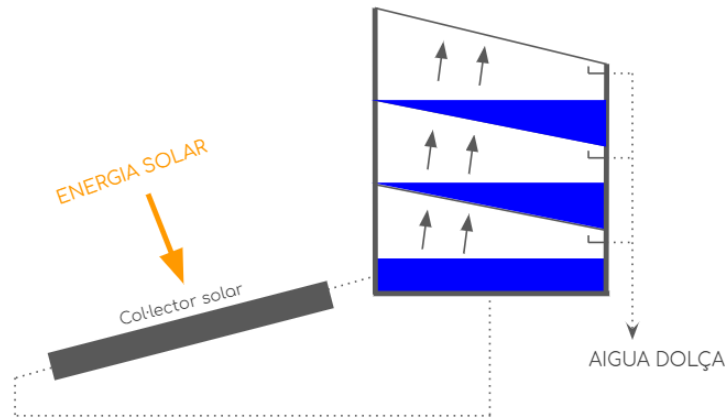


Figura 42. Sistema dessalinitzador MED

### 5.5.3 Alternativa 3. Olla a pressió

La tercera alternativa es basa en el funcionament d'una olla a pressió. Consisteix en tenir un cost estanc que absorbeixi tota la temperatura possible, s'arribi a produir el màxim vapor que serà conduït per un serpenti envoltat d'aigua freda el qual condensa el vapor per obtenir-ne aigua dolça.

Taula 14. Avantatges i inconvenients olla a pressió.

Avantatges	Inconvenients
- Pot arribar a altes temperatura.	- Difícil construcció.
- Producció superior a al sistema bàsic.	- Alt cost pels materials.
	- Evaporació i condensació en dos elements diferents.
	- Falta d'informació sobre el sistema.

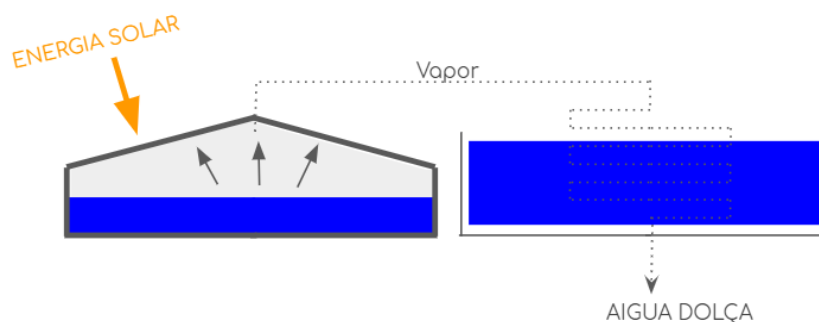


Figura 43. Sistema dessalinitzador a pressió

#### 5.5.4 Alternativa 4. Mixt

Com a última alternativa, debut a les altres, es planteja un sistema basat en un MED però amb una captació de radiació solar a la zona superior degut a una coberta transparent. Els avantatges i inconvenients són molt similars a les tecnologies de referència. En aquesta part però, a més d'aprofitar l'energia que es produeix al col·lector solar per a la segona etapa, també s'aprofita l'absorbida directament per la coberta.

Taula 15. Avantatges i inconvenients del sistema Mixt.

Avantatges	Inconvenients
- Aprofita la calor ja produïda i per tant produeix més aigua.	- El seu disseny és més complex.
- Pot arribar a ser flexible variant el seu número d'etapes.	- Pot tenir problemes en la condensació.
	- Augmenta el cost.
	- La coberta és molt fràgil.

Per entendre el concepte, a la figura 44 es pot veure l'esquema bàsic del sistema.

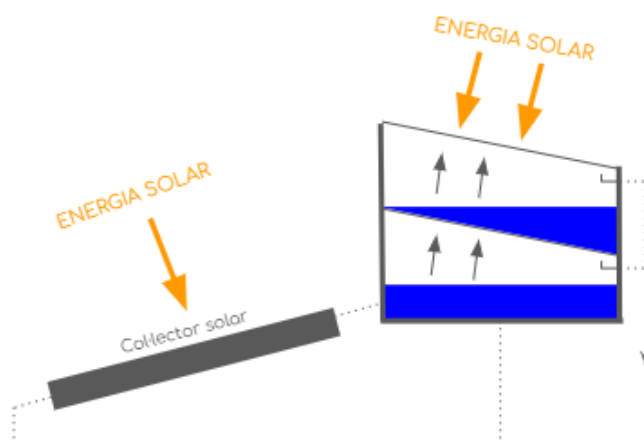


Figura 44. Sistema dessalinitzador mixt

## 5.6 Decisió final

Per tal d'avaluar cada un dels sistemes proposats pel dessalinitzador, s'utilitzarà el mètode de la mitjana ponderada, el qual es basarà en ponderar cada un dels requisits estipulats al principi i s'obindrà una mitjana de cada alternativa. El càlcul que es realitzarà serà el següent.



$$\bar{x} = \frac{\sum w_i \cdot x_i}{\sum w_i} \quad (\text{Eq. 3})$$

On:

$x$  és el valor assignat a cada alternativa de cada paràmetre.

$w$  és el valor del pes total de cada paràmetre.

A la *Taula 16*, queda definida l'avaluació de cada una de les alternatives així com cada factor analitzat i el seu pes.

*Taula 16. Avaluació d'alternatives.*

Valoració		Alternativa			
Paràmetre	Ponderació	Bàsic	MED	Olla	Mixt
Capacitat producció	10	5	7	7	7
Ocupació espacial	5	5	7	7	7
Complexitat disseny	7	9	8	7	8,5
Disponibilitat de materials	9	9	9	7	9
Facilitat d'instal·lació i construcció	7	9	7	8	7
Facilitat d'ús i manteniment	8	9	8	7	8
<b>TOTAL.....</b>		<b>7,70</b>	<b>7,72</b>	<b>7,15</b>	<b>7,79</b>

Amb tot l'anàlisi fet sobre el disseny, s'ha optant per dissenyar una dessalinitzadora que funciona amb energia solar i mitjançant la tecnologia designada com a mixt, amb múltiple etapa i l'última funciona a partir de coberta transparent . Com s'ha comentat anteriorment és un sistema que aprofita molt l'energia produïda i pot arribar a ocupar menys espai que la resta per una mateixa producció.

A continuació es realitzarà un estudi dels components que necessita, així com els càlculs de tots els factors que influeixen i es procedirà a dissenyar detalladament cada element.

## 6 PROCÉS DESSALINITZACIÓ SOLAR

### 6.1 Energia solar

#### 6.1.1 Generalitats

L'energia més important que rep la Terra és la de Sol, s'estima que la quantitat anual que rebem és l'equivalent a  $3 \times 10^{24}$  J, unes 10.000 vegades més que el consum energètic mundial.

L'energia solar ve condicionada per la intensitat de la radiació solar incident en una àrea determinada, aquesta es mesura en  $\text{Wh/m}^2$  o  $\text{J/m}^2$ . No obstant, el valor més significatiu és l'anomenat irradiància solar, aquest es defineix com la potència que proporciona el sol, és a dir, l'energia per unitat de temps i àrea ( $\text{W/m}^2$ ). D'acord amb diferents estudis que s'han realitzat al llarg del temps, s'ha establert un valor a la quantitat mitjana d'energia radiant que arribar a l'atmosfera terrestre per unitat de temps i àrea, a una distància mitja entre el sol i la terra, el qual es defineix com a constant solar i el seu valor és d' $1.353 \text{ W/m}^2$  segons la NASA. Aquesta no és realment constant ja que varia durant la vida de l'estrella seguin el seu cicle d'activitat solar. A més a més, gran part de la radiació arriba de diferents formes a la terra, reflectida, dispersada o absorbida, cosa que fa que el valor final rebut variï entre els 0 i el  $1.046 \text{ W/m}^2$ . Es pot veure a la *Figura 45*, les diferents maneres de rebre l'energia solar.

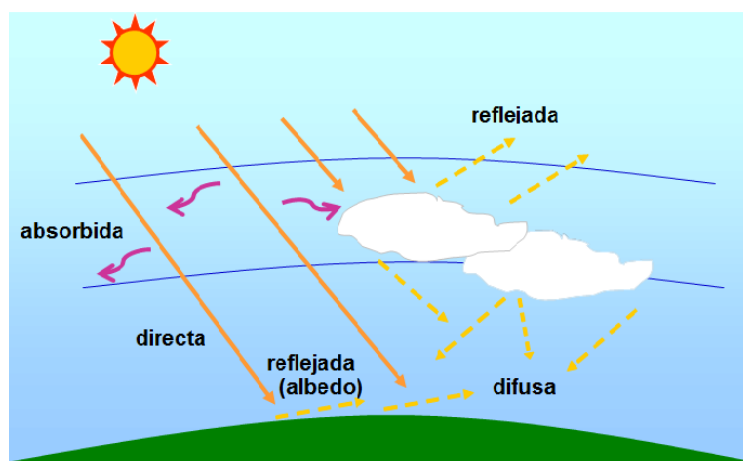


Figura 45. Tipus de radiació solar (seslab.org, 2020).

Un dels fenòmens de l'energia és que és transportada mitjançant ones electromagnètiques de diferents longituds. En aquest cas es parla de la distribució espectral de la radiació solar extraterrestre, aquesta té gran influència en el rendiment de les aplicacions solars fotovoltaïques, ja que la seva interacció amb els medis materials va en funció de la longitud d'ona.

Taula 17. Distribució espectral de la radiació solar (ikastaroak.birt.eus, 2020)

Grup	Longitud d'ona	Energia incident a la terra	Radiació solar extraterrestre respecte la constant solar
Ultravioleta	<0,38 $\mu\text{m}$	7%	95 W/m <sup>2</sup>
Visible	0,38 – 0,78 $\mu\text{m}$	47,5 %	640 W/m <sup>2</sup>
Infraroig	>0,78 $\mu\text{m}$	45,7%	618W/m <sup>2</sup>

En aquest apartat aprofitem en parlar dels rajos ultravioleta, concretament amb la radiació tipus UV-C, aquesta es defineix com la produïda pel sol amb una longitud d'ona més baixa, la qual es filtra gairebé completament per l'atmosfera abans d'arribar a la superfície terrestre i així té un impacte menor en la salut humana. Aquesta, durant molts anys, s'ha produït artificialment per ser utilitzada com a desinfectant per eliminar totes aquelles bacteries, virus i altres patògens. Una de les aplicacions per les quals s'utilitza actualment, i pel qual afecta en aquest treball, és per la desinfecció en estacions de depuració d'aigües residuals.

La seva aplicació a la Terra es mesura amb l'índex UV, la qual informa de la intensitat de la radiació ultravioleta. A la *Figura 46*.

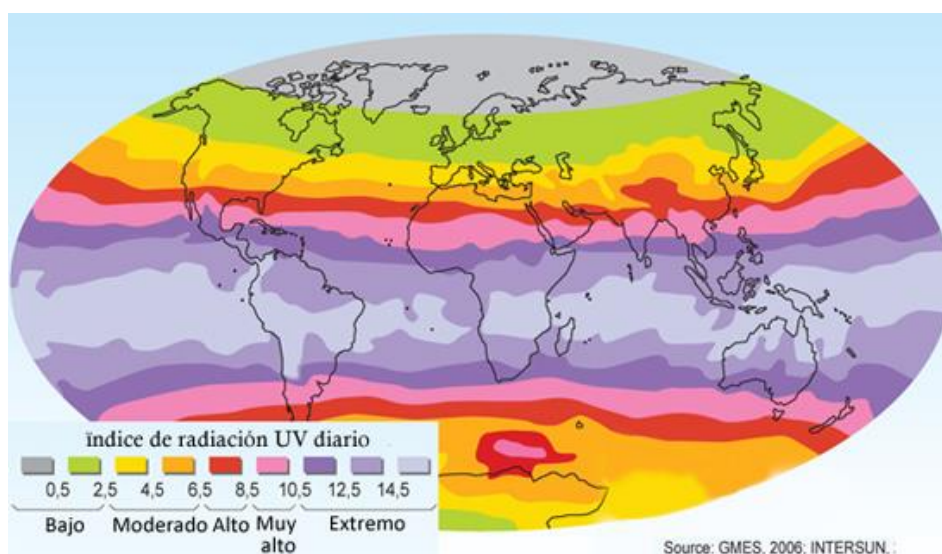


Figura 46. Màxim valor diari d'índex UV (GMES Intersun, 2006).

### 6.1.2 Mesura radiació solar

De la mateixa manera que la Terra, el Sol té determinades diferents coordenades angulars per saber la seva posició. Els més importants són els descrits a continuació:

- Latitud ( $\phi$ ): posició angular d'un punt respecte l'equador;  $[-90, 90^\circ]$ .
- Posició angular ( $\alpha$ ): paràmetre que analitza la proximitat que es troba la terra del sol.

$$\alpha = 2 \cdot \pi \cdot \frac{(1 - n)}{365} \quad (\text{Eq. 4})$$

On:

$n$  és el dia de l'any entre 1 i 365.

- Distància Terra-Sol( $R$ ): el moviment de la Terra al voltant del Sol descriu una òrbita el·líptica, aquesta es pot descriure en coordenades polars mitjançant la següent equació,

$$R = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{(1 + e \cdot \cos \alpha)} \quad (\text{Eq. 5})$$

On:

$R$  és la distància Terra-Sol

$A$  és la unitat astronòmica

$E$  és l'excentricitat de l'òrbita terrestre ( $e=0,01673$ )

La distància a efectes radiomètrics, es pot expressar mitjançant l'equació d'Spenser amb un error màxim de 0,01%, aquesta és,

$$\left(\frac{R_o}{R}\right)^2 = 1,00011 + 0,034221 \cdot \cos a + 0,00128 \cdot \sin a + 0,000719 \cdot \cos^2 a + 0,000077 \cdot \sin^2 a \quad (\text{Eq. 6})$$

On:

$R_o$  és la distància mitjana Terra-Sol ( $1 \text{ UA} = 149,46 \cdot 10^6 \text{ km} =$

- Declinació solar ( $\delta$ ): és l'angle format per la línia entre la Terra i el Sol respecte el pla horitzontal equatorial;  $[-23,5^\circ, 23,5^\circ]$ . Aquest valor es pot trobar amb l'equació següent:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \quad (\text{Eq. 7})$$

- Altura solar ( $h$ ): és la distancia angular entre l'horitzó de l'observador a la Terra i el Sol.

$$h = \arcsin(\sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \alpha) \quad (\text{Eq. 8})$$

- Angle azimut ( $\gamma$ ): és l'angle format per la projecció horitzontal de la línia entre la Terra i el Sol respecte el meridià (direcció sud).
- Inclinació de la superfície ( $\beta$ ): angle entre el pla de la superfície on incideix la radiació i la horitzontal  $[0^\circ, 180^\circ]$ , si és superior a  $90^\circ$ , el pla mira cap a baix.
- Angle d'incidència ( $\theta$ ): és l'angle de la radiació directe sobre la superfície i la normal d'aquesta.
- Angle horari ( $\omega$ ): descriu el desplaçament angular del sol en direcció est i oest respecte el meridià local, degut al moviment de la Terra i s'incrementa a una velocitat de  $15^\circ/\text{h}$ .

$$\omega = 15^\circ \cdot (12 - H) \quad (\text{Eq. 9})$$

On:

*H és l'hora a la que es vol calcular l'angle horari.*

$$\begin{aligned} \omega < 0^\circ & \text{ al matí; } \omega > 0^\circ & \text{ a la tarda} \\ \omega = -90^\circ & \text{ sortida del sol; } \omega = 90^\circ & \text{ posta de sol} \end{aligned}$$

- Angle de l'ocàs ( $\omega_s$ ): angle pel qual el Sol desapareix en un dia.

$$\omega_s = \min[\cos^{-1}(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) ; \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \cdot \tan \delta)] \quad (\text{Eq. 10})$$

- Angle zenital ( $\theta_z$ ): angle format per la radiació directe sobre l'horitzontal, és a dir, entre la vertical i la línia del Sol.
- Angle d'altitud solar ( $\alpha_z$ ): angle entre la direcció del sol i l'horitzontal.
- Angle azimut solar ( $\gamma_s$ ): angle de la projecció de la radiació directe sobre la horitzontal respecte el sud. En direcció a l'oest resulta ser positiu.

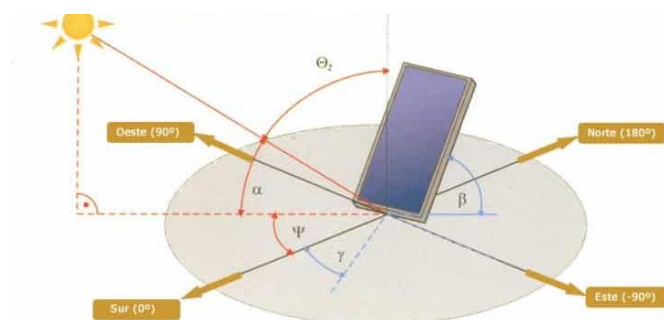


Figura 47. Representació angles significatius (sfe-solar.com, 2020).

Les equacions que relacionen l'angle de la incidència de la radiació directe ( $\theta$ ) amb els altres es defineixen així:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \alpha \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \alpha \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \\ & \cos \omega + \cos \alpha \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned} \quad (\text{Eq. 11})$$

Aquests angles també defineixen el numero d'hores de llum en un dia:

$$N = \frac{2}{15} \cdot \omega_s \quad (\text{Eq. 12})$$

Tots els valors i factors descrits als paràgrafs anteriors expliquen les diferència de la radiància segons la situació a la terra. A la *Figura 48* es pot veure la mitjana de la potència solar de cada zona del món.

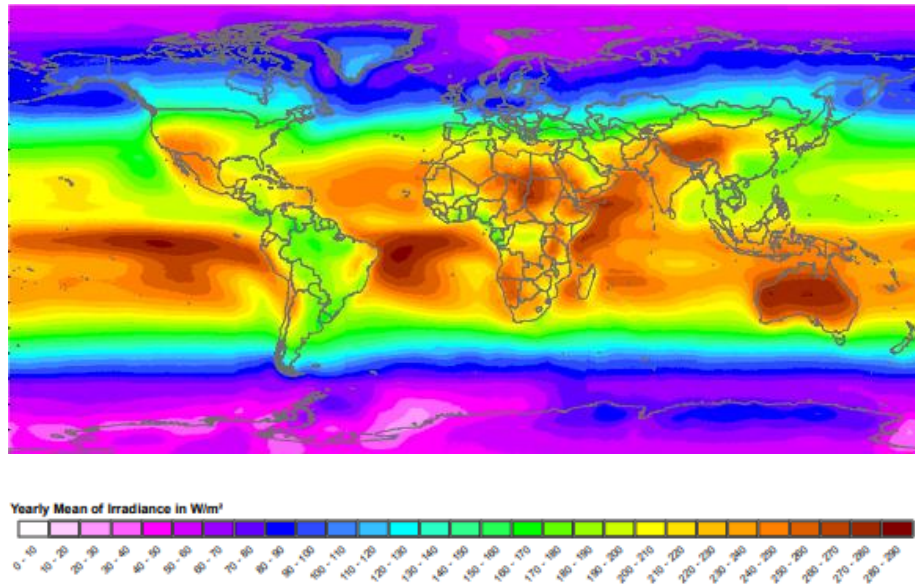


Figura 48. Radiància solar mitjana segons localitat (soda-is.com 2020).

Existeix un factor que mesura la pèrdua de la radiació degut als canvis d'angle d'incidència solar en el transcurs d'un dia, aquesta es defineix a continuació

$$R_b = \frac{[\sin \delta \cdot \sin(\phi - \theta) \cdot (t_2 - t_1)] + \left[\frac{1}{12} \cdot \cos \delta \cdot \cos(\phi - \theta) \cdot [\sin(15 \cdot t_1) - \sin(15 \cdot t_2)]\right]}{[\sin \delta \cdot \sin \phi \cdot (t_2 - t_1)] + \left[\frac{1}{12} \cdot \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot [\sin(15 \cdot t_1) - \sin(15 \cdot t_2)]\right]} \quad (\text{Eq. 13})$$

On:

$t_1$  és el temps inicial mitjà (9 am).

$t_2$  és el temps final mitjà (4 am).

Aquesta mitjana de radiació solar està directament vinculada amb les hores de sol, amb una regressió lineal molt simple

$$K_T = \frac{I}{I_0} = a + b \cdot \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \quad (\text{Eq. 14})$$

On:

$K_T$  és l'índex de claredat horària, és a dir la radiació que deixa passar a l'atmosfera.

$I$  és la radiació terrestre mitja diària sobre una superfície horitzontal.

$I_0$  és la radiació extraterrestre mitja diària sobre una superfície horitzontal.

$n$  és el nombre d'hores amb sol brillant.

$N$  és el numero total d'hores amb llum de dia en un mes.

$a$  i  $b$  són constant empíriques que té cada localitat.

Pel que fa a la radiació que incideix a l'atmosfera terrestre en una superfície horitzontal,

$$I_0 = [G_{sc} \cdot e_0 \cdot \sin \delta \cdot \sin(\phi) \cdot (t_2 - t_1)] + \left[\frac{1}{12} \cdot \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot [\sin(15 \cdot t_1) - \sin(15 \cdot t_2)]\right] \quad (\text{Eq. 15})$$

On:

$e_0$  és la correcció per excentricitat.

$G_{sc}$  és la constant solar (1353 W/m<sup>2</sup>).

En aquestes paràmetres és molt important tenir en compte la radiació difusa, que és la radiació que topa amb diferents obstacles en el moment d'incidir a la terra, com núvols, l'efecte de l'altura... En aquest cas, es pot arribar a una aproximació mitjançant la relació d'Orgil i Hollands especificada a continuació,

$$K_T \leq 0,17 \rightarrow \frac{I_d}{I} = 0,99 \quad (\text{Eq. 16})$$

$$0,17 < K_T < 0,75 \rightarrow \frac{I_d}{I} = 4,648 \cdot K_T^4 - 21,865K_T^3 + 9,47K_T^2 - 2,272K_T + 1,188$$

$$0,75 < K_T < 0,80 \rightarrow \frac{I_d}{I} = -0,54 \cdot K_T + 0,632$$

$$K_T \geq 0,80 \rightarrow \frac{I_d}{I} = 0,2$$

On:

$I_d$  és la radiació solar difusa.

Amb aquests valors es pot trobar quina és la radiació solar directe horària, aproximada

$$I_b = I - I_d \quad (\text{Eq. 17})$$

On:

$I_b$  és la radiació directa horària.

Finalment, la radiació directe que rep una superfície inclinada, tenint en compte tots els factors que hi incideixen que són, la radiació directa, la difusa i la que es reflecteix és de manera simplificada,

$$I_t = (I_b \cdot R_b) + I_d \cdot \left(\frac{1 + \cos \theta}{2}\right) + I \cdot \left(\frac{1 - \cos \theta}{2}\right) \quad (\text{Eq. 18})$$

Seguin els mateixos conceptes, la radiació solar es pot calcular a partir del mètode exposat per Duffie et.al 2006. En el que els càlculs parteixen de la posició del Sol durant el transcurs de l'any fa que la radiació solar extraterrestre mitjana sobre un pla normal sigui definida amb l'equació següent:

$$G_{on} = G_{sc} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right) \quad [W/m^2] \quad (\text{Eq. 19})$$

Els col·lectors i les plaques solars es solen col·locar amb una inclinació concreta per absorbir la major quantitat d'energia, aquesta vindrà donada pels següent paràmetres,

$$G_t = G_{bt} + G_{dt} + G_{gt} \quad [W/m^2] \quad (\text{Eq. 20})$$

On:

$G_{bt}$  és la radiació solar directe.

$G_{dt}$  és la radiació solar difusa.

$G_{gt}$  és la radiació solar del terreny.

Pel que fa a la radiació solar directe sobre una superfície inclinada, és el cas que al cel no hi ha cap núvol, es pot calcular seguint el model de Hottel (1976), el qual té en compte la transmitància atmosfèrica de la següent forma

$$G_{bt} = G_{on} \cdot \tau_b \cdot \cos \theta \quad [W/m^2] \quad (\text{Eq. 21})$$

On:

$G_{on}$  és la radiació solar extraterrestre.

$\tau_b$  és la transmitància atmosfèrica per la radiació directa.

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp(-k / \cos \theta_z) \quad (\text{Eq. 22})$$

On:

$a$  i  $k$  són constants per una atmosfera amb visibilitat de 23 km.

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{r_0}{0,4237 - 0,00821 \cdot (6 - A_t)^2} \\ a_1 &= \frac{r_1}{0,5055 + 0,00595 \cdot (6,5 - A_t)^2} \\ k &= \frac{r_k}{0,2711 - 0,01858 \cdot (2,5 - A_t)^2} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 23})$$



On:

$A_t$  és l'altura del punt d'observació en quilometres.

$r$  és el factor de correcció segons el tipus de clima.

Tipo de clima	$r_0$	$r_1$	$r_k$
Tropical	0.95	0.98	1.02
Latitud media verano	0.97	0.99	1.02
Verano Subártico	0.99	0.99	1.01
Latitud media invierno	1.03	1.01	1.00

Figura 49. Factors de correcció segons tipus de clima. (Duffie et al. 2006).

L'altre paràmetre a trobar és la radiació solar difusa de la següent forma, d'acord amb el que van proposar Liu i Jordan el 1960,

$$G_{dt} = G_{on} \cdot \cos \theta_z \cdot \tau_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad [W/m^2] \quad (\text{Eq. 24})$$

On:

$G_{on}$  és la radiació solar extraterrestre.

$\tau_d$  és la transmitància atmosfèrica per la radiació difusa

$$\tau_d = 0,271 - 0,294 \cdot \tau_b \quad (\text{Eq. 25})$$

On:

$a$  i  $k$  són constants per una atmosfera amb visibilitat de 23 km.

A més, cal tenir en compte que al fet de tenir una superfície al terra, també li arriba part de la radiació directe i difusa que es reflexa en el mateix terreny. Aquesta part es descriu de la següent manera

$$G_{rt} = G_{on} \cdot (1 + \cos \theta_z) \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad [W/m^2] \quad (\text{Eq. 26})$$

On:

$\rho$  és la reflectància difusa del terra del voltant de la superfície a estudiar, normalment és 0,2.

Finalment, amb aquests càlculs es comprèn que l'energia captada per una superfície depèn de molts factors.

### 6.1.3 Usos de l'energia solar

L'energia solar és utilitzada de diferents maneres:

- Directa: l'aplicació directe del sol és la seva llum per il·luminar diferents recintes, en aquest cas, pot ser a través de les finestres si es parla d'il·luminar una habitació.

- Tèrmica: és l'energia solar que s'aprofita a través de l'escalfor d'un medi. En aquest cas, es poden trobar dos tipus de sistema:
  - o Actius: els quals utilitzen un fluid en moviment per transmetre aquesta energia, com pot ser l'aigua que un cop calenta va circulant per escalfar altres medis.
  - o Passiu: elements que no es troben en moviment però que reben l'energia del sol i també la transmeten com són les parets d'un edifici.
- Fotovoltaica: en aquest cas, es realitza mitjançant cèl·lules fotoelèctriques que converteixen la llum del sol en potencial elèctric.

## 6.2 Càlculs termodinàmics

Per dissenyar el destil·lador solar hi ha una sèrie de factors involucrats que no depenen de la forma o sistema que utilitzin, els més rellevants són la conducció, la radiació i la convecció.

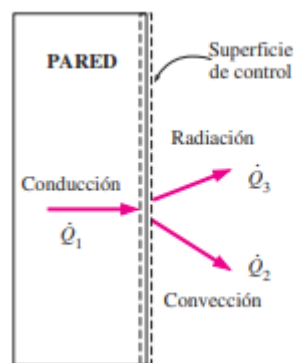


Figura 50. Transferència de calor (Çengel, Y.A. 2011).

Aquests es defineixen a continuació.

- **Calor perduda per conducció ( $q_{cd}$ ):** la conducció és la transferència d'energia de les partícules quan dos cossos es troben en contacte directe.

$$q_{cd} = k \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \quad [W] \quad (\text{Eq. 27})$$

On:

$k$  és la constant de conducció o conductivitat tèrmica del material ( $W/m^{\circ}C$ )

$A$  és l'àrea de treball ( $m^2$ ).

$L$  és el gruix del medi a travessar ( $m$ ).

- **Calor perduda per convecció ( $q_c$ ):** la convecció és el la transferència d'energia entre una superfície sòlida i el líquid o gas adjacents que estan en moviment.

$$q_c = h_t \cdot A \cdot (T_{superfície} - T_{fluid}) \quad [W] \quad (\text{Eq. 28})$$

On:

$h$  és el coeficient de transferència de calor per convecció ( $W/m^2C$ )

$A$  és l'àrea superficial on té lloc la transferència de calor.

El coeficient de convecció es pot aproximar en aquest cas amb la següent equació,

$$h_t = h_c + \frac{3}{4} \cdot h_r$$

Dunkle (1961) avaluant les diferents propietats de l'aire humit, va trobar una relació per tal de calcular el coeficient de transferència de calor per convecció a partir de les pressions i temperatures de l'aigua i la coberta del dipòsit.

$$h_c = 0,884 \cdot \left[ T_s - T_c + \frac{(P_s - P_c) \cdot (T_s + 273)}{268,9 \cdot 10^3 - P_s} \right]^{1/3} \quad (\text{Eq. 29})$$

On:

$P_f$  és la pressió del fluid.

$P_c$  és la pressió de la coberta dels dipòsits.

$T$  són les respectives temperatures.

I l'altre factor té en compte les característiques de material,

$$h_r = \frac{\varepsilon_s \cdot \sigma \cdot ((T_b + 273)^4 - (T_s + 273)^4)}{(T_b + 273) - (T_s + 273)} \quad (\text{Eq. 30})$$

Les pressions es calculen amb les següents expressions,

$$P_i = e^{\left[ 25,317 - \frac{5144}{T_i + 273} \right]} \quad (\text{Eq. 31})$$

En el cas de la convecció entre una coberta transparent i medi ambient, s'utilitzarà el model plantejat per Duffie et al. 2006, amb la següent fórmula

$$h_{c,c-a} = 2,8 + 3 \cdot v_z \quad (\text{Eq. 32})$$

On:

$v_z$  és la velocitat del vent a una altura  $z$  (m/s).

$$v_z = v_r \cdot \left( \frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad \text{on} \quad \alpha = \frac{0,37 - 0,088 \cdot \ln(v_r)}{1 - 0,088 \cdot \ln(z_r/10)} \quad (\text{Eq. 33})$$

On:

$v_r$  és la velocitat de referència del vent a una altura  $z_r$  (m/s).

- **Calor perduda per convecció natural:** és la calor perduda per la convecció provocada per fenòmens naturals a causa d'espais ocupats per aire. En aquest cas, el coeficient de transferència depèn del número de Nusselt.

$$Nu = \frac{h_c \cdot x}{k} = C(Gr \cdot Pr)^n = C \cdot Ra_L^n \quad (\text{Eq. 34})$$

On:

$Gr$  és el número de Grashof.

$Pr$  és el número de Prandtl.

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \cos \varphi \cdot \beta(T_s - T_f) \cdot x^3}{\nu^2} \cdot Pr \quad (\text{Eq. 35})$$

On:

$g$  és l'acceleració gravitacional (m/s<sup>2</sup>).

$L$  és la longitud característica de la configuració geomètrica.

$\nu$  és la viscositat cinemàtica del fluids (m<sup>2</sup>/s).

$\beta$  és el coeficient d'expansió volumètrica (1/T pels gasos ideals)

$\varphi$  és l'angle de la configuració geomètrica, respecte la vertical.

En el cas d'una placa inclinada el número de Nusselt aproximat correspon a

$$Nu = \left( 0,825 + \frac{0,387 \cdot R_L^{\frac{1}{6}}}{\left( 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{6}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2 \quad (\text{Eq. 36})$$

- **Calor perduda per radiació ( $q_r$ ):** la radiació és l'energia emesa per matèria en forma d'ones electromagnètiques com a resultat de canvis en configuracions electròniques d'àtoms o molècules. En aquest cas, la radiació tèrmica és un fenomen superficial pels sòlids, en els que la superfície escalfada és la que emet energia cap a l'exterior.

$$q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_s^4 \quad [W] \quad (\text{Eq. 37})$$

On:

$\varepsilon$  és l'emissivitat de la superfície, depèn del material.

$\sigma$  és la constant Stefan-Boltzmann ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ ).

A més de l'emissió d'energia per radiació solar, hi ha l'absorbitat, aquesta està relacionada amb el valor  $\alpha$ , aquest funciona igual que el valor d'emissió. En el cas d'algunes superfícies opaques, la part no absorbida de l'energia incident, és reflectida a l'exterior.

D'acord amb la llei de Kirchhoff aquests dos valors, amb les mateixes condicions de temperatura i de longitud d'ona de la radiació, són iguals. Per exemple un cos de color negre, emet i absorbeix tota la radiació que rep, de manera que compleix  $\varepsilon = 1$  i  $\alpha = 1$ .

- **Calor necessària per escalfar aigua ( $q_a$ ):** la radiació és

$$q_a = m \cdot C_p \cdot (T_{final} - T_{inicial}) \quad [W] \quad (\text{Eq. 38})$$

On:

$m$  és la massa (kg).

$C_p$  és el calor específic del fluid (en el cas de l'aigua 4,18 kJ/kg<sup>o</sup>).

- **Calor necessària per canviar de fase ( $q_e$ ):** en l'evaporació o condensació de l'aigua existeix un canvi de fase, per arribar a aquest punt es requereix d'una energia extra

$$q_e = \dot{m} \cdot h_{fg} \quad [W] \quad (\text{Eq. 39})$$

On:

$\dot{m}$  és la rapidesa del canvi de fase, evaporació o condensació.

$h_{fg}$  és l'entalpia de vaporització a temperatura o pressió especificades.

L'entalpia de vaporització es pot arribar a calcular amb la següent formula,

$$h_{fg} = 2,4935 \cdot 10^6 \cdot (1 - 9,4779 \cdot 10^{-4} \cdot T + 1,3132 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 - 4,7974 \cdot 10^9 \cdot T^3) \quad (\text{Eq. 40})$$

On:

$T$  és la temperatura mitjana de l'aigua.

La calor per evaporació es pot calcular també a partir de la diferencia de pressions de vapor entre la superfície de l'aigua i la superfície superior.

$$q_e = h_e \cdot (P_{s,aigua} - P_{c,coberta}) \quad [W] \quad (\text{Eq. 41})$$

On:

$h_e$  és el coeficient de transferència de calor per vaporització basat en la diferencia de pressions.

Per simplificar els càlculs, es parteix de les aproximacions de Dunkle (1961), qui estableix una relació entre l'entalpia i el coeficient de transferència de calor per vaporització,

$$\frac{h_e}{h_{c,a-c}} = \frac{M_s' \cdot P_0 \cdot h_{fg}}{M_a \cdot C_{pa} \cdot (P_0 - P_s) \cdot (P_0 - P_c)} \rightarrow h_e = 0,016273 \cdot h_{c,s-c} \quad (\text{Eq. 42})$$

Unint les equacions anteriors es pot trobar la massa d'aigua destil·lada,

$$m_e = \frac{1,60878 \cdot 10^9 \cdot A_s \cdot h_c \cdot (P_s - P_c)}{h_{fg}} \text{ [kg/s]} \quad (\text{Eq. 43})$$

### 6.3 Col·lectors solars

Si es treballa amb energia solar tèrmica, l'element més important és aquell que absorbeix al màxim aquesta energia. A més del cos de la dessalinitzadora, existeixen els col·lectors solar, els qual funcionen com intercanviador de calor que absorbeixen l'energia radiant del sol i la transfereixen a un fluid (aire, aigua, oli... tot depèn de l'objectiu de la seva instal·lació). Aquests elements es solen classificar en dos grups diferents, per un costat els col·lectors concentrats, els quals depenen d'una àrea que ajuden a concentrar tota l'energia a una superfície més petita. Per altra costat, hi ha els col·lectors no concentrats que són els utilitzen la mateixa zona per interceptar i absorbir tota la radiació del sol.

Per tenir una idea general del que suposa els col·lectors a la *Taula 18* es mostra una llista dels tipus més importants i les respectives temperatures d'operació. També s'especifica el factor de concentració, el qual només efecte de forma significativa als col·lectors concentrats. Aquest es calcula de la següent forma,

$$f_c = A_r/A_a \quad (\text{Eq. 44})$$

On:

*A<sub>r</sub>* és l'àrea de l'element que reflecteix la radiació.

*A<sub>a</sub>* és l'àrea de la superfície receptora.

*Taula 18. Resum dels tipus de col·lectors solars (Kalogirou, 2009 i Goswami et al. 2000)*

Grup	Tipus	Factor de concentració	Temperatures d'operació [°C]
Col·lectors no concentrats	Pla	1	<70
	Pla d'alta eficiència	1	60-120
	Tubs de buit	1	50-200
Col·lectors concentrats	Parabòlic compost	1-5	60-240
	Cilindre parabòlic	10-50	150-350
	Reflector lineal Fresnel	10-40	60-250
	Reflector plat parabòlic	200-500	250-700
	Receptor central	500-3000	500-1000

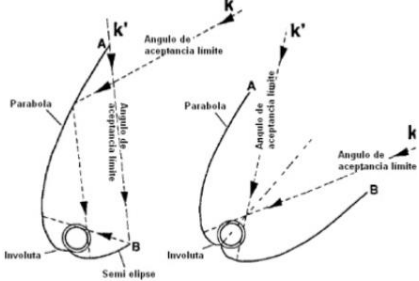
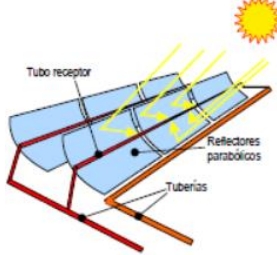
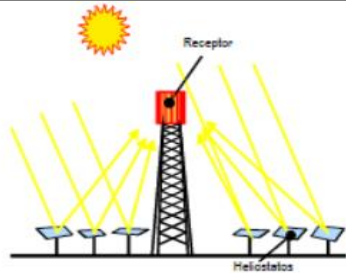
Als apartat que segueixen es detalla cada un dels tipus exposats a la taula.

### 6.3.1 Col·lectors concentrats

La base dels col·lectors solars concentrats és la interposició d'un element òptic entre el Sol i la superfície a escalfar, d'aquesta manera s'aconsegueix reflectir una gran quantitat de radiació i concentrar-la a un element amb una superfície relativament inferior.

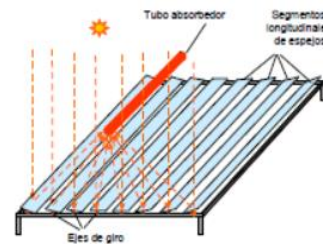
Els principals avantatges d'aquest tipus de col·lectors és que arriben a temperatures d'operació respecte la seva àrea de captació superior als altres, al tenir una àrea més petita té menys pèrdues de calor i són relativament econòmics. No obstant, també tenen inconvenients, és un sistema que capta molt bé la radiació directe, però no la difusa, a més a més, cal posicionar-los constantment ja que necessiten el Sol directe i és possible que les superfícies reflectores tinguin un vida útil molt inferior ja que es desgasten fàcilment. Els tipus més coneguts dins aquest grup són,

Taula 19. Col·lectors concentrats (figures: la replica.es, 2020)

Tipus de col·lector	Esquema
<p>Concentrador parabòlic compost:</p> <p>Són uns col·lectors especials ja que no s'han de posicionar d'acord amb el Sol, a més no tenen l'objectiu de focalitzar la seva imatge al receptor. Concentren tota la radiació solar a un punt dins seu. El principal avantatge és que poden aprofitar part de l'energia difusa.</p>	
<p>Col·lector cilindre parabòlic:</p> <p>Es basa en una superfície orientada cap al sol que concentra la imatge del Sol en una línia focal, la qual, amb tots els angles d'incidència, manté la mateixa distància.</p>	
<p>Reflector central:</p> <p>La principal característica és que l'element receptor es troba a dalt de tot d'una torre, i la radiació solar se li transmet a partir d'uns miralls posicionats al voltant d'aquesta.</p>	

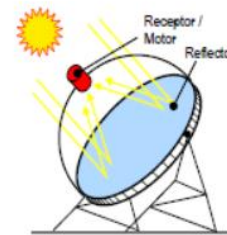
**Reflector lineal Fresnel:**

Està format per un conjunt de miralls plans alineats entre si que tenen l'objectiu de concentrar l'energia en un receptor lineal muntat a una altura considerable. El seu principal avantatge és que utilitza miralls plans i estan fixes, això economitza molt el sistema.



**Reflector de plat parabòlic:**

L'objectiu és concentrar la radiació solar a un cos que es troba al punt focal d'un plat. En aquest cas, cal que el sistema es trobi sempre posicionat correctament cap al Sol. És un dels més eficients i té un alt factor de concentració.



**6.3.2 Col·lectors no concentrats**

Com s'ha descrit, a diferència dels explicats anteriorment, aquests no contenen cap element que reflecteixi la radiació solar, si no que tenen la capacitat de captar tota la radiació, tant directe com difusa per ells mateixos.

**Tipus de col·lector**

**Esquema**

Pla:

Estan compostos per una coberta transparent i una placa amb alta capacitat d'absorció, a la qual es situen uns tubs per on circula el fluid. Funciona de manera que la radiació quan entra a la coberta, aquesta és absorbida pel col·lector. Per evitar pèrdues, s'instal·len aïllants al voltant, a més a més, cal mantenir tot el recinte ven tancat perquè no s'escapi l'aire calent.

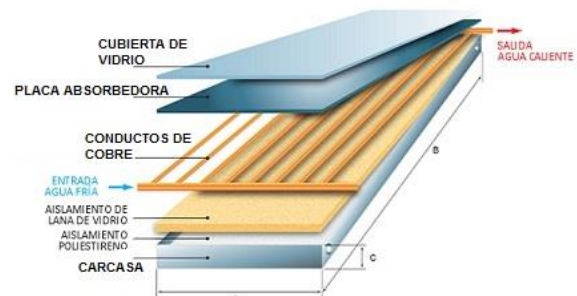


Figura 51. Col·lector pla (Sopelia, 2020)

Tub de buit:

Consisteix en un conjunt de tubs cilíndrics de vidre els qual estan formats per una capa absorbidora de radiació situada sobre un assentament reflector. Entre aquests elements s'aconsegueix fer el buit per així evitar les pèrdues termodinàmiques per conducció i convecció. Aquest sistema aconsegueix unes temperatures superiors a les del col·lector pla, gracies a les seva superfície selectiva i a l'eliminació de les pèrdues per convecció.

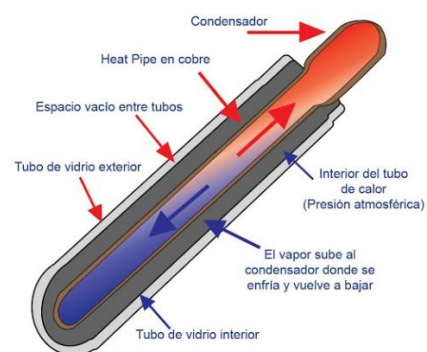


Figura 52. Col·lector tub al buit (Amordad Solar, 2020)



### 6.3.3 Càlculs tèrmics d'un col·lector

És important, si s'utilitza un col·lector solar, saber l'energia que aporta. Aquest depèn de molts factors a més de la radiació solar que rep, també del disseny, dels materials, de la superfície d'absorció, entre altres. En aquest apartat s'analitzarà com es pot fer el càlcul agafant de model un col·lector no concentrat pla.

El primer a tenir en compte és l'energia que aporta el col·lector solar, aquesta es pot trobar mitjançant les següents formules,

$$Q_u = A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_{pm} - T_a)] \quad (\text{Eq. 45})$$

On:

$A_c$  és l'àrea del col·lector solar ( $m^2$ ).

$S$  és la radiació total absorbida ( $W/m^2$ ).

$U_L$  és el coeficient de pèrdues del col·lector ( $W/m^2\text{°C}$ )

$T_{pm}$  és la temperatura mitja de la placa d'absorció ( $\text{°C}$ )

$T_a$  és la temperatura ambient ( $\text{°C}$ )

O també es calcula,

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [S - U_L \cdot (T_e - T_a)] \quad (\text{Eq. 46})$$

On:

$F_R$  és el factor de remoció de calor del col·lector.

$T_e$  és la temperatura del fluid a l'entrada del col·lector. ( $\text{°C}$ )

En aquestes equacions apareixen diferents conceptes els quals es defineixen més endavant. En primer lloc avaluarem la radiació solar absorbida pel col·lector. Aquest paràmetre es determina

$$S = G_c \cdot (\tau\alpha_p)_e \quad (\text{Eq. 47})$$

On:

$G_c$  és la radiació total incident sobre el col·lector ( $W/m^2$ )

$(\tau\alpha_p)_e$  és el resultat de multiplicar la transmissivitat i l'absorvitat del col·lector amb un factor de correcció entre 1,01 i 1,02.

En segon lloc el coeficient de pèrdues totals, el qual és un dels factors que més afecta a nivell de càlcul,

$$U_L = U_{sup} + U_f + U_e \quad (\text{Eq. 48})$$

On:

$U_{sup}$  és el coeficient de pèrdues per la superfície de la coberta.

$U_f$  és el coeficient de pèrdues per la part inferior

$U_e$  és el coeficient de pèrdues laterals

Les pèrdues per la superfície de la coberta són aquelles directe, i es calculen

$$U_{sup} = \left( \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \cdot \left( \frac{T_{pm} - T_a}{N + f} \right)^e + \frac{1}{h_{vc}}} \right)^{-1} \quad (\text{Eq. 49})$$

$$+ \frac{\sigma \cdot (T_{pm} + T_a) \cdot (T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0,00591 \cdot N \cdot h_{vc})^{-1} + \frac{2 \cdot N + f - 1 + 0,133 \cdot \varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N}$$

On:

$\varepsilon_g$  és l'emissivitat del material de la coberta

$\varepsilon_p$  és l'emissivitat del material de la plata d'absorció.

$h$  és el coeficient de transferència de calor degut al vent ( $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

$\sigma$  és la constant de Stefan-Boltzman.

$N$  és el nombre de cobertes transparents

A més d'aquests conceptes, dins l'equació cal estipular els següents,

$$f = (1 + 0,089 \cdot h_{vc} - 0,116 \cdot h_{vc} \cdot \varepsilon_p) \cdot (1 + 0,07866 \cdot N) \quad (\text{Eq. 50})$$

$$C = 520 \cdot (1 - 0,000051 \cdot \beta^2) \text{ quan } 0^\circ < \beta < 70^\circ$$

$$e = 0,43 \cdot \left( 1 - \frac{100}{T_{pm}} \right)$$

Referent a les pèrdues per la part inferior i els laterals del col·lector, es considera que venen degudes a la convecció per l'aïllant, per tant,

$$U_f = \frac{K_f \cdot A_f}{L_f \cdot A_c} \quad i \quad U_e = \frac{K_e \cdot A_e}{L_e \cdot A_c} \quad (\text{Eq. 51})$$

On:

$K_i$  és la conductivitat tèrmica de l'aïllament

$L_i$  és el gruix en m del mateix.

$A_i$  és l'àrea que ocupa.

Un cop tenim les pèrdues calculades, procedim al càlcul del factor de remoció de calor del col·lector, aquest s'expressa d'acord amb la següent equació

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{A_c \cdot U_L} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{A_c \cdot U_L \cdot F'}{\dot{m} \cdot C_p}} \right) \quad (\text{Eq. 52})$$

On:

$\dot{m}$  és el flux del fluid que passa pel col·lector ( $\text{kg/s}$ )

$C_p$  és la calor específica del fluid ( $\text{J/kg } ^\circ\text{C}$ )

$F'$  és el factor d'eficiència del col·lector.

En aquest càlcul falta definir el factor d'eficiència del col·lector, aquest representa la relació entre l'energia que s'aconsegueix teòricament amb l'energia que s'aconseguiria si s'aconseguís la temperatura del fluid. Aquest, depèn molt del disseny del dispositiu,

$$F' = \frac{1/U_L}{W \cdot \left[ \frac{1}{U_L \cdot (D + F \cdot (W - D))} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_{fi}} \right]} \quad (\text{Eq. 53})$$

On:

$h_{fi}$  és el coeficient de transferència de calor entre el fluid i el calor (pot fluctuar entre 100 i 1000 W/m<sup>2</sup>°C segons el fluid).

$C_b$  és la conductàcia tèrmica de la unió entre la placa i el tub (per tenir un bon rendiment ha de ser superior a 30 W/m<sup>2</sup>°C).

$W$  és la distància entre tubs.

$D$  i  $D_i$  són els diàmetres exterior i interior respectivament dels tubs.

$F$  és l'eficiència estàndard de la placa en contacte amb els tubs.

El símbol  $F$  fa referència a l'eficiència de la zona de la placa que es troba en contacte amb cada un dels tubs, aquesta es defineix

$$F = \frac{\tan(h_{fi}) \cdot (m \cdot (W - D)/2)}{m \cdot (W - D)/2} \quad (\text{Eq. 54})$$

On,

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}} \quad (\text{Eq. 55})$$

On:

$\delta$  correspon a l'espessor de la placa.

$k$  és la conductivitat tèrmica de la placa d'absorció

Referent a la conductància tèrmica entre la placa i el tub, aquest valor es pot trobar a partir de la següent fórmula,

$$C_b = \frac{k_b \cdot b}{\gamma} \quad (\text{Eq. 56})$$

On:

$k_b$  correspon a la conductivitat tèrmica de la unió.

$b$  és l'amplada de la unió.

$\gamma$  és el gruix de la unió.

## 6.4 Dessalinitzadores multietapa

Per avaluar el funcionament d'una dessalinitzadora és importat fer el càlcul de diferents coeficients de rendiment. En el cas de la tecnologia multietapa K.Schwarzer et al (2011) van definir dos valors importants.

- Coeficient de Rendiment (COP): aquest es defineix com la relació entre la massa d'aigua obtinguda de totes les etapes respecta la de la primera etapa del dessalinitzador. Aquest paràmetre s'utilitza per definir l'efectivitat de la recuperació de calor en les etapes de la destil·lació i d'aquesta manera entendre i poder millor el funcionament i disseny de cada una d'elles.

$$COP = \frac{me_{total}}{me_1} \quad (\text{Eq. 57})$$

- Relació de Guany de Sortida (GOR): la relació entre l'energia que necessita l'aigua que s'ha obtingut respecte l'energia aportada pel col·lector solar. Amb aquest valor es pot analitzar la importància del col·lector solar.

$$GOR = \frac{me_{total} \cdot h_{fg}}{Q_u} \quad (\text{Eq. 58})$$

On:

$h_{fg}$  és l'entalpia promitja de vaporització de l'aigua (J/kg).

$Q_u$  és l'energia subministrada pel col·lector solar (J).

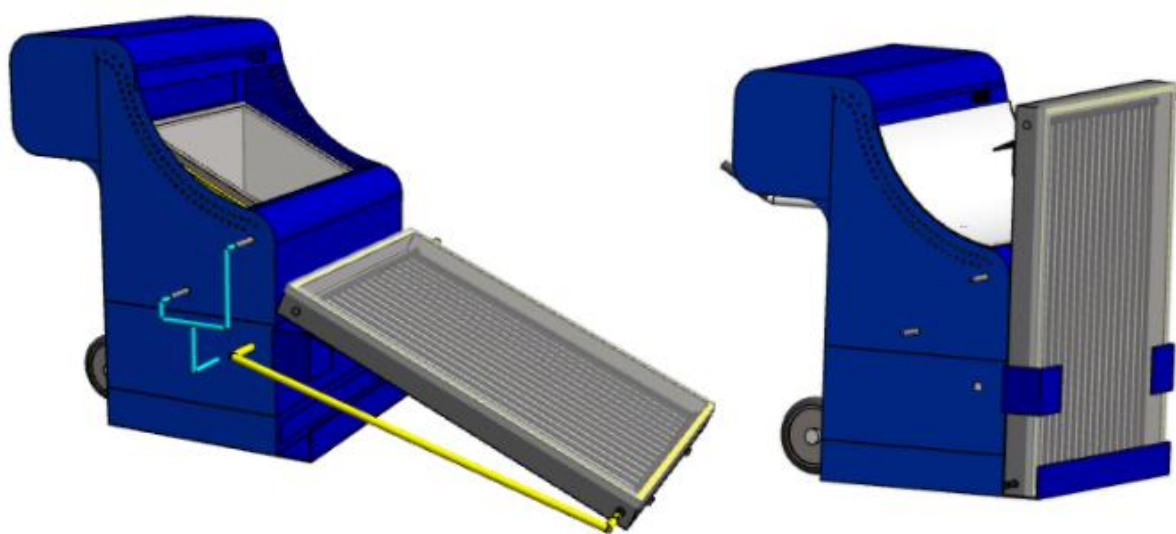
## 7 DISSENY DETALLAT DEL PROTOTIP

### 7.1 Descripció general de la solució

L'aparell projectat es basa en el disseny d'un dessalinitzador solar que funciona mitjançant la tecnologia de múltiple etapa. Com s'ha explicat en els apartats anteriors, aquest sistema parteix de l'evaporació de l'aigua salada i una condensació posterior, de la qual se n'aprofita la l'energia després per escalfar la següent etapa. A partir d'aquí, es recull l'aigua tractada la qual s'ha separat ja dels possible contaminants.

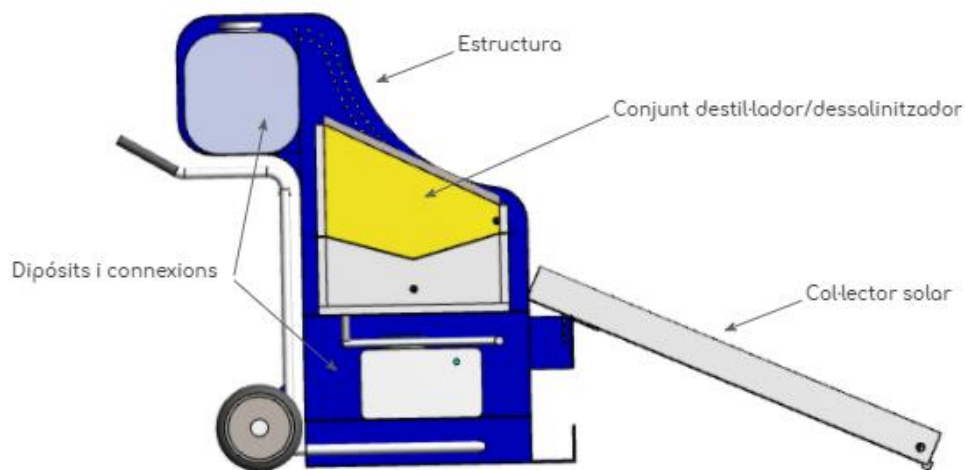
El resultat final es pot observar a la *Figura 53*. Cada component de l'aparell ha estat dissenyat de manera que es pugui fabricar amb materials reciclats i pugui ser adaptat a qualsevol situació, oferint una forta simplicitat en el funcionament. També s'ha tingut en compte que el principal objectiu és absorbir el màxim d'energia solar possible, per tal d'escalfar l'aigua més ràpidament.

Tot i que el projecte s'ha centrat en la part més mecànica i funcional del disseny, també s'ha tingut en compte aconseguir un disseny unificat, atractiu i de fàcil manegar, format per una estructura i diferents complements que permeten que l'aparell es pugui recollir i transportar.



*Figura 53. Solució gràfica de la dessalinitzadora. A l'esquerra s'observa l'aparell en funcionament i a la dreta, un cop plegat i recollit.*

Cada un dels elements de la màquina es poden agrupar en diferents conjunts. En primer lloc, el conjunt destil·lador on es produeix el canvi de fase, l'evaporació i la condensació, aquest és el punt més estudiat del projecte. En segon lloc, el col·lector solar, el qual absorbeix al màxim la radiació solar. Seguidament, el conjunt per les connexions i emmagatzematge de l'aigua, tant de la l'aigua salada com de la recollida de l'aigua tractada final. Un altre conjunt, és l'estructura de l'aparell que ofereix una unificació en cada un dels elements per considerar-ho tot un únic aparell, que es pugui transportar amb facilitat. I finalment un apartat de complements i electrònica, elements destinats a l'usuari, com una carretó per transportar l'aparell però també per transportar els dipòsits d'aigua o un detector de nivell d'aigua que informa de la quantitat d'aigua dels dos dipòsits. A la *figura 54* observem part d'aquests conjunts els quals són descrits als apartats següents.



*Figura 54. Components del disseny.*

## 7.2 Conjunt destil·lador

El conjunt destil·lador és la part més important del sistema. El seu objectiu és absorbir la calor i conservar-la per evaporar l'aigua que es troba a l'interior.

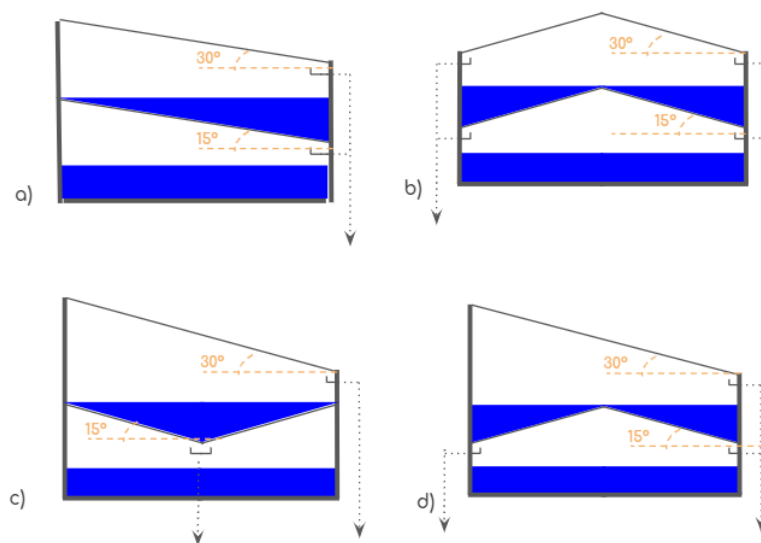
El primer factor que s'ha escollit és el nombre d'etapes, d'acord amb les fonts bibliogràfiques com més etapes tingui el destil·lador multietapa més efectiu és, no obstant, s'ha valorat que això també implica un complexitat afegida. A més a més, s'han observat els valor obtinguts de les etapes més llunyanes de la font de calor tenen un rendiment molt i molt petit. Per aquest

motiu, s'ha optat per dues etapes, tot i que no es descarta l'opció d'afegir-ne altres en cas que es consideri que el sistema obté suficient energia tèrmica.

Un cop s'ha decidit que el conjunt el formaran dues etapes cal definir la configuració geomètrica. En aquest cas s'han considerat tres factors importants:

- Que el gruix d'aigua no sigui molt abundant, és a dir, com menys aigua hi ha més ràpid s'escalfarà.
- Que un cop l'aigua arriba al sostre, és a dir, al fons de l'etapa superior, i es condensa en forma de gotes, es pugui recollir tota sense que caiguin altre cop a la base, abans d'arribar al recol·lector. Aquest punt serà controlat amb l'angle. D'acord amb l'estudi d'Urresta (2013), perquè totes les gotes rellisquin fins arribar al recol·lector, cal que l'angle sigui de mínim  $15^\circ$ .
- Que es pugui omplir l'aigua de manera senzilla.

Amb tots aquests factors s'han avaluat els quatre dissenys de la *figura 55*.



*Figura 55. Disseny de la configuració entre els dos dipòsits.*

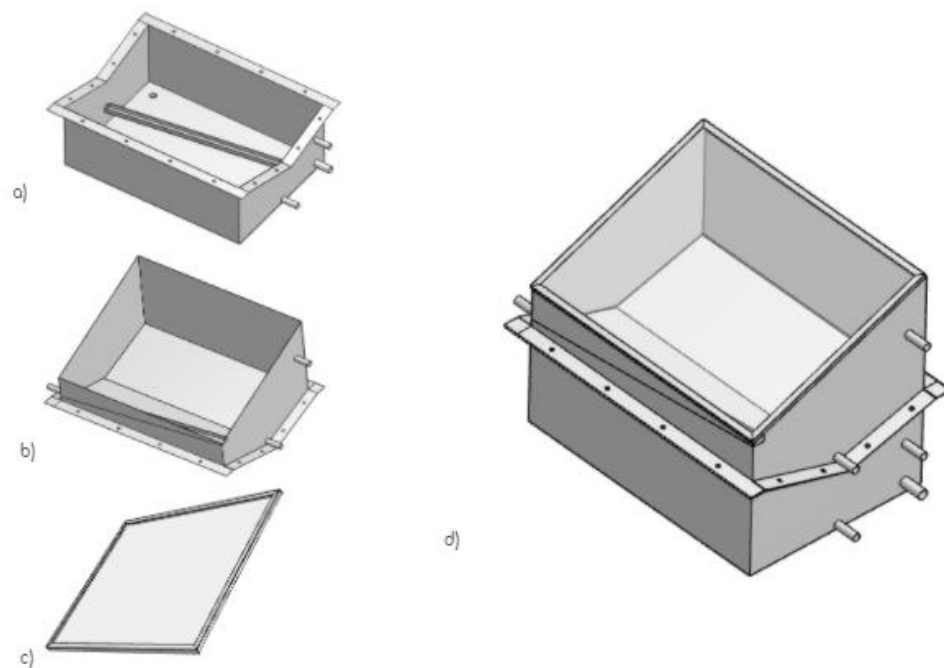
En aquests, s'ha descartat la *figura 55.a* ja que es considera que amb un angle de  $15^\circ$  s'aconsegueix un pendent massa gran que provoca una gran acumulació d'aigua. En les *figures 55.b i 55.d*, es detecta un problema en el moment d'omplir la base d'aigua ja que es divideix en dos i caldrien dues entrades. Per aquests motius, descartant els dissenys esmentats, es decideix optar pel disseny de la *figura 55.c*.

Finalment la coberta s'ha plantejat que sigui de dos materials diferents:

- Transparent, de vidre o policarbonat, de manera que podríem aconseguir un efecte hivernacle, amb l'aportació extra de radiació solar i es facilitaria la condensació de l'aigua. En aquest cas, la coberta hauria de tenir un antre de  $30^\circ$  per tal d'absorbir la radiació solar al màxim.
- Planxa d'acer, en aquest cas, la seva funció seria evitar la pèrdua de calor mitjançant una bona estanqueïtat.

Per escollir el material de la coberta s'ha fet un petit assaig descrit a l'apartat de construcció, en el que s'agafava el prototip, un dia es posava al tapa de vidre i un altre es tapava amb una tapa d'acer. Al cap de dues hores al sol, la que contenia més signes d'haver evaporat i condensat era coberta de vidre, per tant, s'ha escollit dissenyar-ho amb aquest. No obstant, l'assaig no complia tots els requisits per poder-ne treure unes conclusions concretes, ja que les condicions atmosfèriques no eren les mateixes, hi va haver algun problema amb el col·lector solar, entre altres. Es deixa per una acció futura avaluar correctament aquest sistema.

A la *Figura 56* es pot veure el conjunt dessalinitzador amb les tres parts més importants.



*Figura 56. Disseny del conjunt dessalinitzador. a) disseny del dipòsit inferior, b) segon dipòsit, c) coberta transparent i d) conjunt complet.*



A continuació ens centrem en cada un dels dipòsits. Un dels elements importants d'aquests és la recollida d'aigua destil·lada. Aquesta, gracies a la inclinació del sostre de cada dipòsit es concentra en gotes petites en un punt, en el dipòsit inferior és al centre i en el superior a una cantonada, tal com es mostra al plànols. Un cop allà cau sobre un canal, la qual també té una inclinació, d'aproximadament  $10^\circ$  la qual es pot veure al tall transversal de la figura de sota. Aquests canals connecten amb una sortida unida a un recipient.

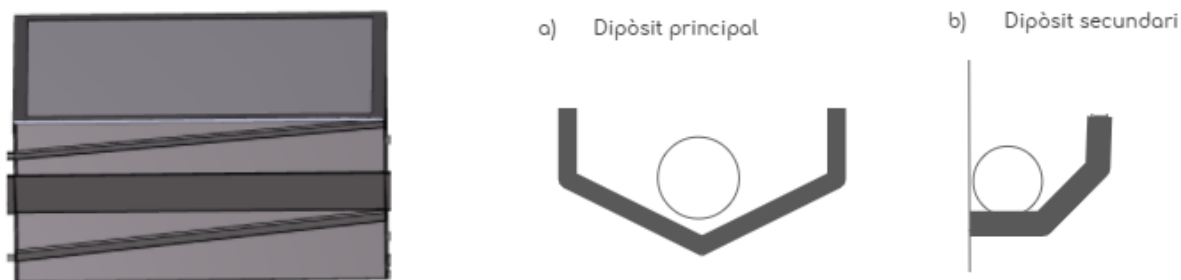


Figura 57. Secció de les canals i la seva situació als dipòsits.

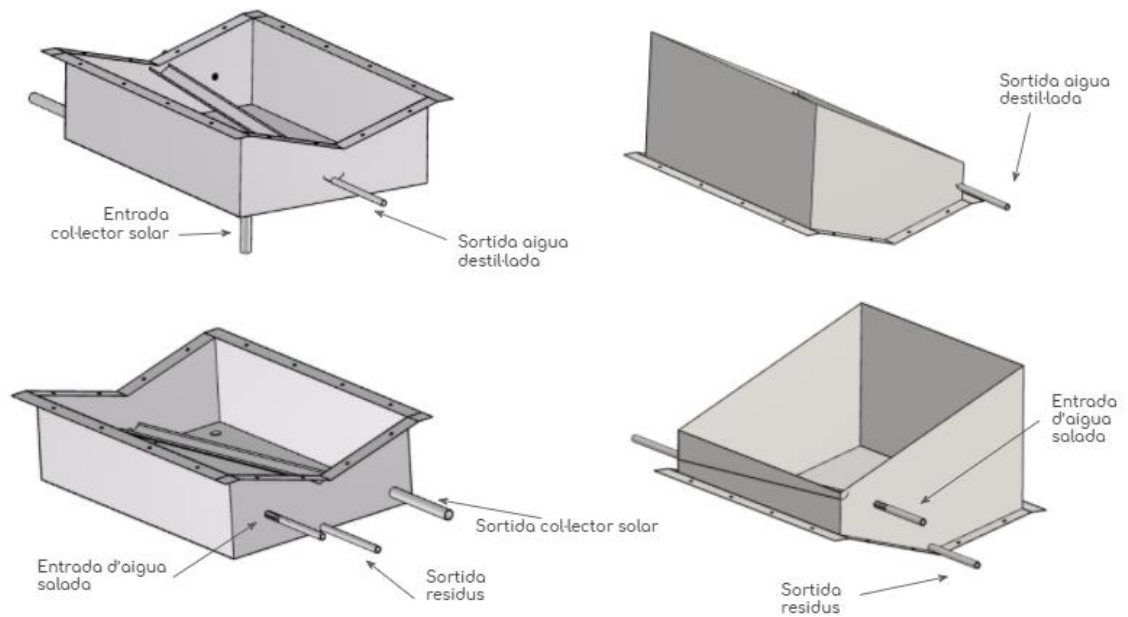
Els dipòsits també estan equipats amb tubs soldats per tal de guiar l'aigua on calgui. Aquestes entrades i sortides són:

- Entrada d'aigua salada a través d'un dipòsit que es troba a sobre per així aprofitar la força de la gravetat per deixar anar aigua.
- Sortida d'aigua destil·lada, aquesta està connectada als canals descrites anteriorment.
- Sortida de residus. S'ha equipat els dos dipòsits amb una sortida a sota de tot per tal d'eliminar l'aigua residual que queda un cop s'ha evaporat la majoria. Aquesta es caracteritza per tenir una gran concentració de sals, no és perillosa i es pot abocar al mar altre cop.

El dipòsit principal està equipat d'una sortida i entrada més que la resta ja que és el que està connectat amb el col·lector solar. Aquestes estan situades de manera que s'aconsegueix-hi un circuit tancat d'aigua, comporta:

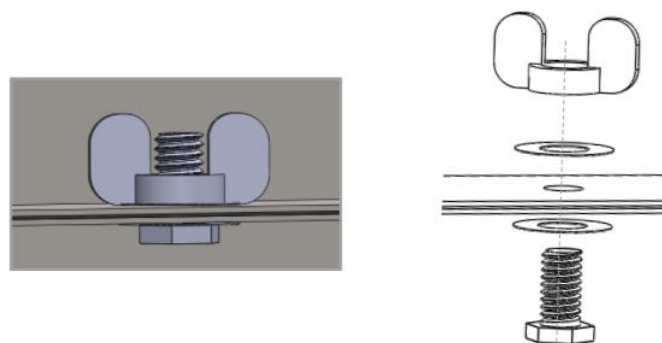
- Entrada d'aigua al col·lector, el qual es troba a la base del dipòsit, és on entra l'aigua més freda.
- Sortida d'aigua del col·lector, es troba situada a la part lateral del dipòsit, i és on suposadament entrarà l'aigua més calenta del dipòsit.

A la *figura 58* s'indiquen gràficament totes les entrades i sortides definides.



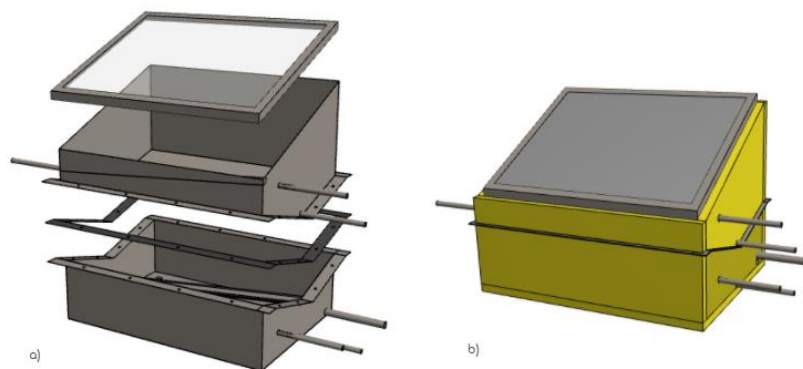
*Figura 58. Indicació de les sortides i entrades de cada dipòsit.*

Per aquest conjunt és important aconseguir una bona estanqueïtat entre els dos dipòsits, per aconseguir-ho de manera viable s'ha optat per incorporar una goma entre els dos elements i ajustar-ho amb un conjunt de cargols amb palometes. Aquest sistema permetrà, de manera fàcil, desmuntar els dipòsits per realitzar un manteniment regular. A la *Figura 59* es pot veure en què consisteix la unió.



*Figura 59. Sistema de subjecció dels dos dipòsits.*

Per últim i no menys important, el conjunt va recobert d'aïllant als laterals i a la base, per tal d'evitar que la calor absorbida pugui sortir amb facilitat. Això té grans afectes en l'efectivitat del sistema. Així doncs, el resultat d'aquest conjunt es mostra a la *Figura 60*.



*Figura 60. Resultat final del conjunt dessalinitzador. a) composició on es pot observar la junta entre dipòsits i b) amb el recobriment de l'aïllant.*

Amb aquest anàlisi, juntament amb els càlculs de l'Annex C, el resultat d'aquest conjunt és definit a la *Taula 20*. Els materials han estat escollits d'acord amb l'Annex B, de justificació de materials.

*Taula 20. Dimensions conjunt dessalinitzador*

<b>Dimensions del conjunt</b>	700x500x550 mm
<b>Pes del conjunt</b>	20 kg
<b>Dimensions dipòsit principal</b>	700x500x250 mm
<b>Dimensions dipòsit secundari</b>	700x500x360 mm
<b>Material dipòsits</b>	Acer INOX
<b>Material aïllant</b>	Poliestirè expandit
<b>Material coberta</b>	Policarbonat

Tot i que no s'ha implementat en aquest sistema, s'han avaluat diferents alternatives i modificacions en aquest disseny. Per una banda, la incorporació d'altres etapes, pel qual s'ha dissenyat un dipòsit tipus i es poden afegir tantes com es vulguin, i per altra banda, la coberta amb acer i no transparent. Aquestes alternatives es troben a la *figura 61*.

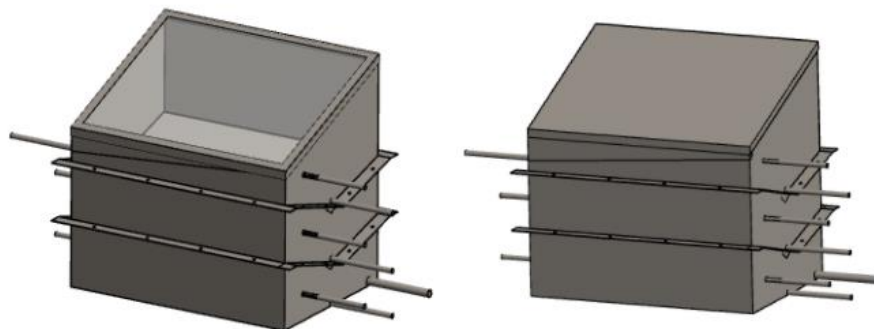


Figura 61. Alternatives i modificacions del disseny proposat.

Pel que fa al dipòsit tipus de les etapes del centre seria com la imatge inferior.

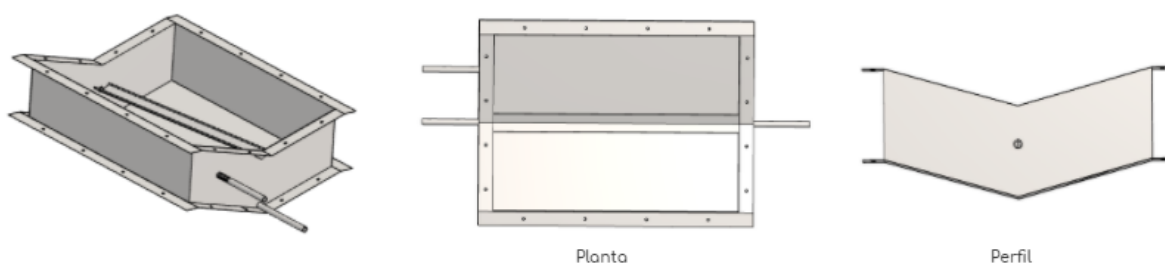


Figura 62. Proposta d'etapes intermitjes.

Tot i que en aquest treball no s'avalua el seu disseny detallat ni la seva efectivitat o funcionament, es té en compte per una acció futura.

### 7.3 Conjunt per captació solar

A l'apartat 6 s'han mencionat les característiques principals d'un col·lector solar, les quals són analitzades pel seu disseny. En el nostre cas, s'utilitza un col·lector solar pla, en que el fluid per l'absorció de la calor, serà l'aigua salada, és el més comú i davant de les situacions on ens trobem, també és el més adequat.

El sistema de funcionament serà per convecció natural, de manera que la diferència de pressió i temperatura serà la que farà moure el fluid del circuit. Aquest es troba connectat amb el dipòsit inferior formant un circuit tancat d'aigua. L'objectiu és que sempre estigui ple i no entri aire.

Pel seu disseny s'han tingut en compte diferents estudis de convecció natural, com el de Han et. al (2002), el qual demostra que la inclinació òptima del col·lector s'ha de trobar entre

20° i 30°. Per aquest factor el que més influeix és l'estructura final la qual comporta un suport on recolzar-lo.

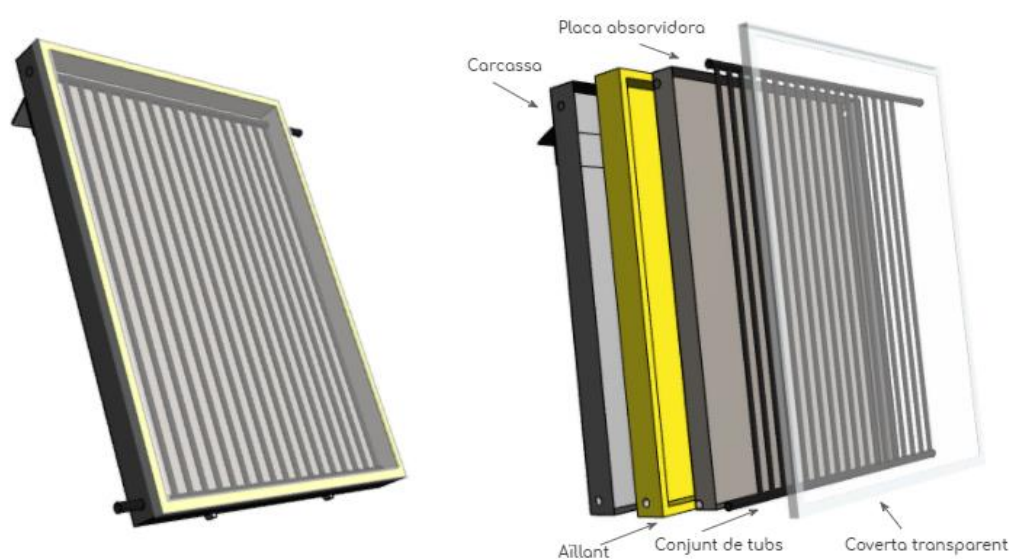
Les dimensions del col·lector han estat avaluades a partir dels càlculs de l'Annex C, en que s'ha determinat una superfície total de 1,2 m<sup>2</sup>. S'han plantejat diferents opcions i mides, també s'ha plantejat la construcció de dos col·lectors units paral·lelament, finalment s'ha optat per un col·lector més llarg que ample amb les dimensions descrites a la *Taula 22*.

Aquest conjunt es pot comprar fàcilment, existeixen molts tipus i diferents preus al mercat, un model amb característiques similars és el que es mostra a la *Taula 21*.

*Taula 21. Dades col·lector solar comprat*

<b>Col·lector solar del mercat</b>	
<b>Tipus</b>	<b>Pla per convecció natural</b>
<b>Pes</b>	30 kg
<b>Dimensions</b>	1,9 m <sup>2</sup>
<b>Preu</b>	500 €
<b>Empresa</b>	JUNKERS

Tot i això, en aquest treball es proposa fer-ne un amb materials reciclats. Aquest com es pot observar a la *Figura 63* està compost per cinc elements principals els quals són definits a continuació.



*Figura 63. Proposta de disseny del col·lector solar.*

L'element estructural és la carcassa, aquesta té la funció d'unir els altres components. Per tal que no pesi molt es recomana que sigui d'un material lleuger com alumini, no obstant, al ser reciclat pot ser perfectament de fusta. Un altre funció que té la carcassa del col·lector és subjectar-lo, amb la inclinació corresponent, a l'estructura de l'aparell. Per fer-ho es van estudiar dues possibilitats, les qual es mostren de manera gràfica a la figura següent. Per una banda, un sistema de dues guies, una a cada costat del col·lector amb un únic eix que permet la rotació, aquest sistema però complicava el disseny final. La opció escollida és la incorporació d'un perfil semblant a L, a la part de darrera el qual es recolzarà a un altre perfil de l'estructura.

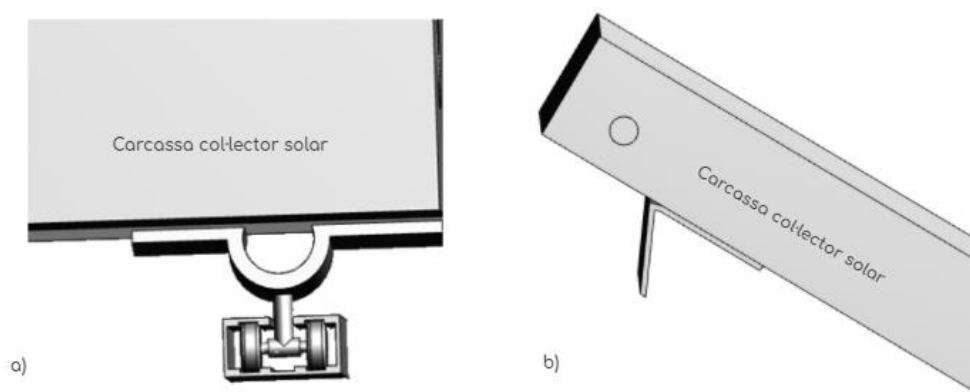


Figura 64. Opcions d'unió entre l'estructura de l'aparell i el col·lector solar.

Aquesta carcassa es troba recoberta per dins amb una aïllant el qual evita pèrdues de calor, seguit d'una placa metàl·lica que absorbeix la calor que transfereix als tubs negres. El conjunt de tubs s'ha optat per un de senzill i eficient, consisteix en diferents tubs transversals que es troben connectats a dues canonades, una que alimenta d'aigua freda i l'altre que connecta amb el dipòsit per evacuar l'aigua calenta. És recomanable que els tubs també siguin metàl·lics, no obstant poden ser de plàstic. Finalment es troba la coberta transparent, la qual deixa passar la radiació del sol. Com s'ha especificat a l'Annex B, aquesta es recomana que sigui de policarbonat així és més lleugera i redueix possibilitats de trencar-se.


Taula 22. Característiques de col·lector solar.

<b>Dimensions del conjunt</b>	1250x950x110 mm
<b>Pes del conjunt</b>	45 kg
<b>Material carcassa</b>	Alumini (gruix 1 mm)
<b>Material aïllant</b>	Poliestirè expandit (gruix 25 mm)
<b>Material placa col·lectora</b>	Alumini (gruix 1 mm)
<b>Material tubs</b>	Alumini
<b>Material coberta</b>	Policarbonat

#### 7.4 Connexions i emmagatzematge

L'emmagatzematge el formen dos dipòsits, per una banda el d'aigua salada que es troba a la part superior del conjunt global, i per altra, el dipòsit d'aigua destil·lada que es troba a la part inferior. Els dos funcionen a partir de la força de la gravetat. Aquests poden ser dipòsits de plàstic, fins hi tot poden ser ampolles de 6 o 8L unides. L'estructura està preparada per poder emmagatzemar dipòsits de fins a 50L, per aquest motiu es proposa el dipòsit exposat a la Taula 23 disponible al mercat.

Taula 23. Característiques dipòsits aigua.

	<b>Dipòsit d'aigua del mercat</b>	
	<b>Capacitat</b>	45 L
	<b>Dimensions</b>	300x590 mm
	<b>Altura</b>	340mm
	<b>Material</b>	Plàstic
	<b>Preu</b>	65 €
	<b>Empresa</b>	DORE HOME

Pel que fa a les connexions n'hi ha tres:

- Recollida d'aigua destil·lada: aquesta surt dels dos canals i arriba al dipòsit que es troba a sota de tot. S'incorporarà una vàlvula per aturar el flux en cas que es vulgui desmuntar.
- Entrada d'aigua salada: en aquest cas, el dipòsit de dalt està connectat al dos dipòsits, l'entrada d'aigua es realitza mitjançant la força de la gravetat, i està complet amb dues vàlvules manuals.
- Connexió amb el col·lector solar: aquest forma un circuit tancat.

Pel que fa a l'entrada d'aigua als dipòsits i a la sortida es pot veure un gràfic a la següent imatge.

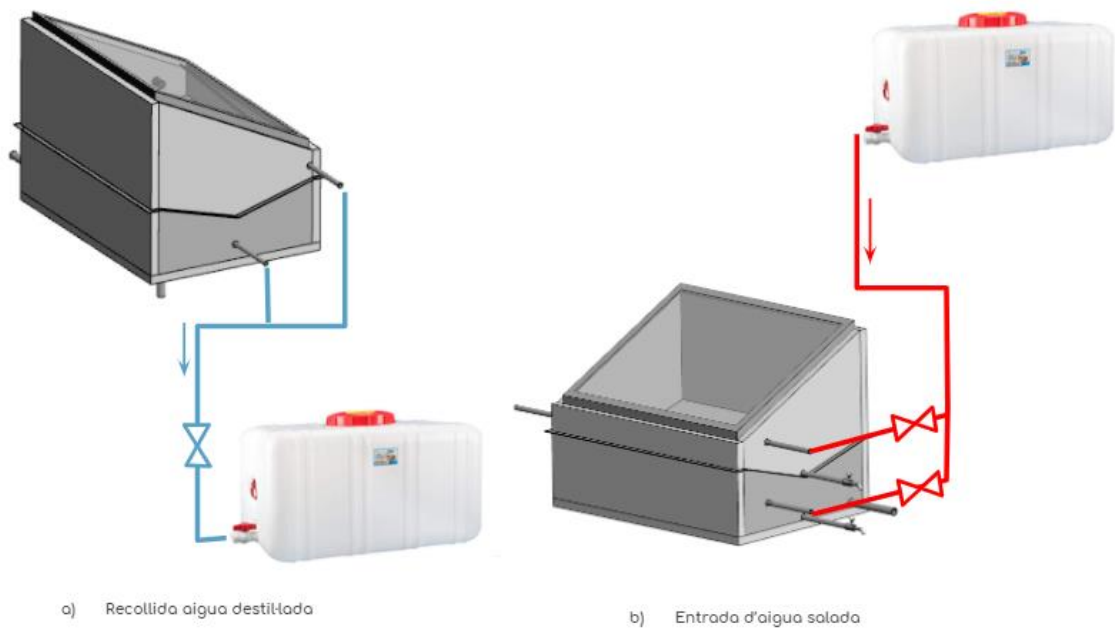


Figura 65. Il·lustració de les connexions entre dipòsits.

Referent a la connexió del col·lector es representaria amb la Figura 66. Es pot observar com s'ha incorporat una vàlvula al final de col·lector per tal de buidar l'aigua de tot el sistema col·lector.

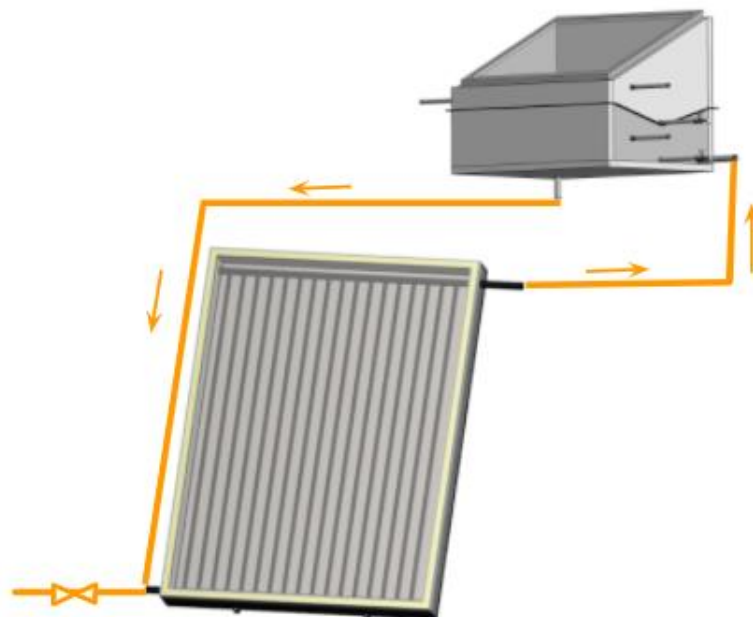


Figura 66. Esquema connexió amb el col·lector.



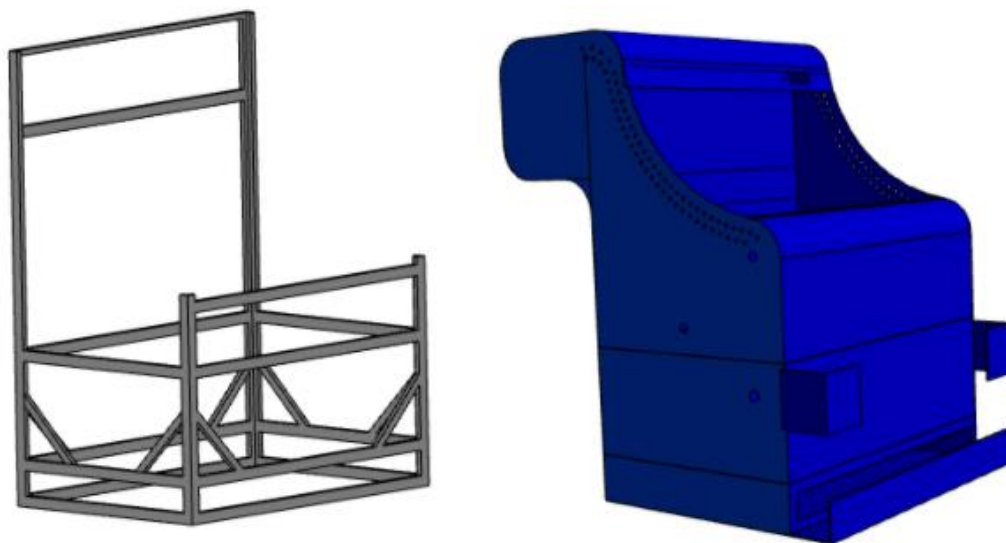
A més d'aquestes connexions, cada dipòsit porta incorporada una aixeta a un tub de buidatge. Aquest s'utilitzarà per treure els residus del sistema.

Per aquestes connexions s'han escollit dos tipus de mànegues molt usuals en el món de l'agricultura ja que es facilitarà la seva disponibilitat així com dels elements de connexió i vàlvules, aquestes són de plàstic amb les dimensions següents:

- Mànega d'entrada i sortida: diàmetre 16 mm.
- Mànega de connexions amb el col·lector solar: diàmetre 25 mm.

## 7.5 Estructura

L'estructura és l'element que recobreix els elements descrits anteriorment, ofereix unificació i també seguretat. Per aquesta s'ha proposat un xassís de ferro per tal que suporti els esforços de tots els elements i una part de xapa metàl·lica que és la que donarà estètica al disseny.

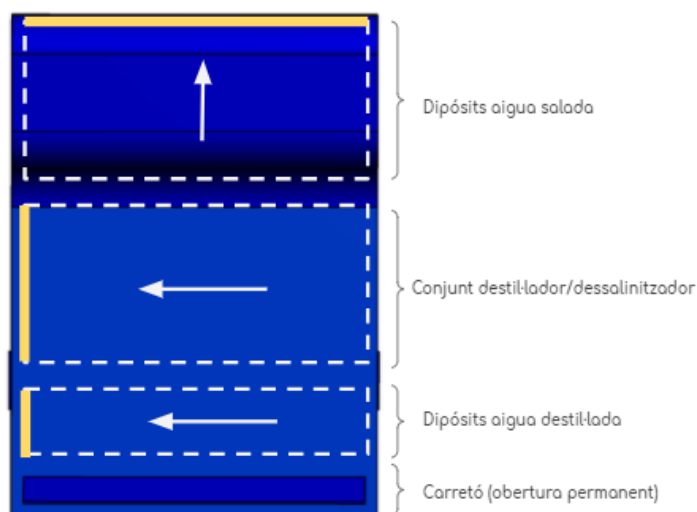


*Figura 67. Estructura exterior de l'aparell.*

Com podem veure a la *figura 67*, aquesta té forma de cadira dividida en diferents compartiments. A la part inferior, hi ha un espai per poder encaixar-hi una carretó i transportar l'aparell. A sobre d'aquest hi ha la zona on s'hi situa el dipòsit del fluid destil·lat, i posteriorment el dessalinitzador. A dalt de tot, hi ha un espai pel dipòsit d'aigua salada.

Per poder instal·lar cada un dels elements, l'estructura conté diferents obertures, amb xarneres per a cada un dels compartiments. Amb excepció de l'obertura per la incorporació del

carretó que es troba sempre oberta. Es poden veure indicades a la *figura 68*, juntament amb el sentit d'obertura de cada una d'elles.



*Figura 68.* Representació de la cara de darrere l'estructura amb totes les obertures indicades juntament amb la seva direcció i amb taronja es marca l'eix de rotació de la "porta".

Com s'ha pogut veure a la *figura 68*, pel seu disseny s'ha tingut en compte el plegament dels diferents elements, com és el cas del col·lector solar. Per tal d'unir-ho, s'han dissenyat tres sortides a la part frontal inferior, per tal d'encaixar-hi aquest element.

Un altre factor a tenir en compte és la pluja, en cas que ploqui cal evitar que pugui acumular-se aigua a la part interior, per aquest motiu es proposa una tapa a la zona corba, tal com es pot veure a la *figura 53*, a la imatge de la dreta.

Les característiques principals de l'estructura són definides a la *Taula 24*.

*Taula 24.* Característiques de l'estructura

<b>Dimensions del conjunt</b>	1300x1000x950 mm
<b>Pes del xassís</b>	60 kg
<b>Material xassís</b>	Barres d'acer
<b>Pes de l'estructura metàl·lica</b>	80 kg
<b>Material estructura metàl·lica</b>	Acer (gruix 1 mm)

El càlcul estructural surt de l'abast del projecte, no obstant, l'estructura amb el xassís es considera suficient per suportar cada un dels elements.

Un complement que s'ha afegit a l'estructura és una carretó. Aquesta té la funció de poder transportar l'aparell amb més facilitat ja que és de grans dimensions i amb un pes elevat. S'ha decidit fer-ho independent de l'estructura general, descartant la opció d'afegir rodes en aquesta, ja que així es podrà utilitzar aquesta per anar a recollir aigua de mar amb el dipòsit gran o transportar el dipòsit d'aigua destil·lada un cop es reculli la suficient.



Figura 69. Funciona de la carretó.

Les característiques principals d'aquest element són,

Taula 25. Característiques del carretó.

<b>Dimensions</b>	850x550x550 mm
<b>Pes</b>	25 kg
<b>Material carretó (majoritari)</b>	Acer

En aquest cas, no es pretén fabricar un carretó, no obstant, s'han observat les opcions que hi ha disponibles al mercat el quals no compleixen amb l'alçada. La solució que es proposa per simplificar el procés de fabricació del conjunt, és la compra d'un carretó i la modificació de les nanses.

## 7.6 Elements de control

El nivell de l'aigua és un paràmetre important a tenir en compte ja que si entra més aigua que la que toca, la salada pot passar pels tubs destinats a l'aigua destil·lada. Per solucionar i impedir aquest problema, es proposa incorporar dos vàlvules de flotador mecàniques que controls entrada d'aigua salada segons el nivell màxim que es programa.

Per aquesta funció s'ha buscat una opció en el mercat que sigui viable pel disseny final del sistema i econòmic. Complint aquestes especificacions s'ha trobat una vàlvula de plàstic de la marca Broco, aquesta a més de tenir unes dimensions petites de 4 cm pel flotador, també incorpora un braç el qual permet que l'entrada d'aigua es trobi a 8 cm del control de nivell.



Figura 70. Vàlvula flotador disponible al mercat.

A continuació es veu on es troben incorporades aquestes vàlvules flotador.

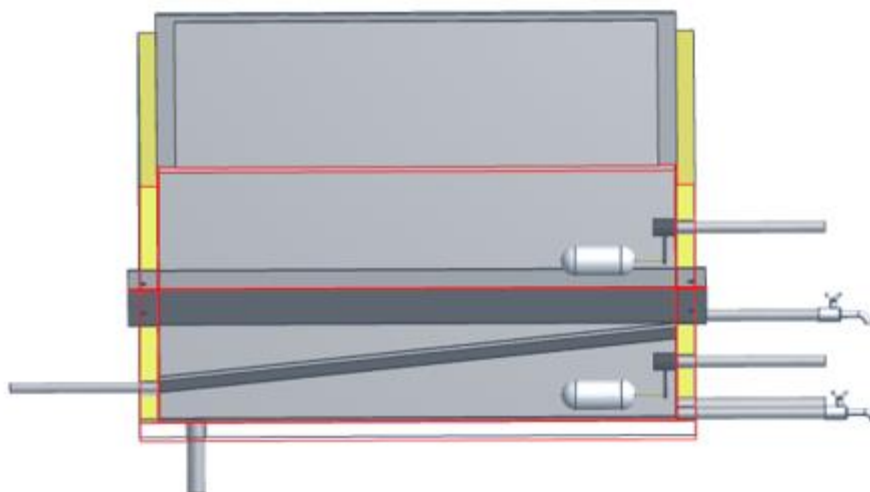


Figura 71. Secció del conjunt dessalinitzador amb les vàlvules flotador incorporades.

## 7.7 Electrónica

Per complementar el disseny s'ha incorporat una part electrònica la qual té com a objectiu facilitar informació a l'usuari. Està dissenyada per no ser prescindible pel funcionament del sistema, sinó com a part extra. S'ha optat per proposar un sistema senzill, econòmic i que no ocupi molt d'espai, basat amb un Arduino. Aquesta part, estarà alimentada per energia solar per fotovoltaica.

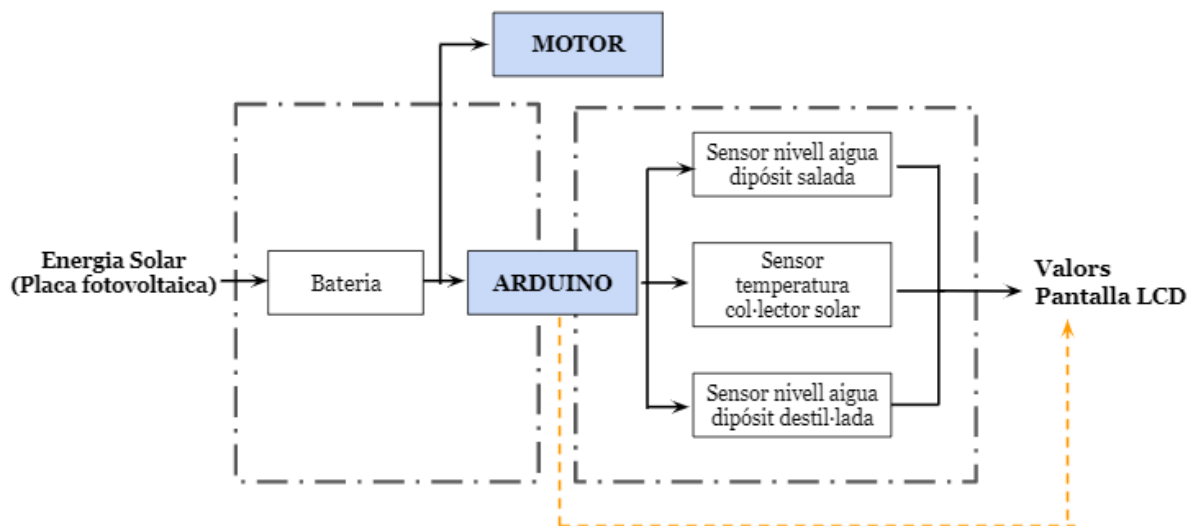
Les funcions que pretén tenir aquesta part són:

- Informar de la quantitat d'aigua destil·lada que hi ha al dipòsit. Aquest es troba a la part inferior del sistema i pot resultar una feina extra controlar quan es troba ple o no.
- Indicar el nivell d'aigua salada que conté el recipient d'alimentació.
- Informar de la temperatura que agafa el col·lector solar per tal de poder controlar el seu funcionament i les propietats.
- Un interruptor d'engegar i parar el sistema electrònic en cas que es vulgui aturar la lectura de les dades exposades.

S'ha descartat el control d'entrada i sortida d'aigua salada amb una electrovàlvula per simplificar aquesta part i fer-la més econòmica amb l'aplicació d'una vàlvula flotador mitjançant energia mecànica. No obstant, no es descarta la seva possible incorporació a l'aparell.

A més de la part de control del sistema, s'avalua la possibilitat d'incorporar un sistema per omplir d'aigua el dipòsit que es troba a la part superior de l'aparell per tal de no haver de treure'l i baixar-lo.

Per entendre bé el sistema que es vol implementar es pot observar de forma esquemàtica a la *Figura 72*.



*Figura 72. Plantejament de la part electrònica*

### 7.7.1 Placa controladora

La part principal de la part electrònica és la placa controladora, la qual conté diferents entrades i sortides per captar la informació i transmetre-la mitjançant un programa que les tracta. Per tal d'assolir les diferents opcions exposades anteriorment s'ha escollit una placa microcontroladora de la marca Arduino, el model UNO.

Aquest sistema ens permet obtenir un circuit econòmic a nivell de components electrònics, pel que fa al programari no cal disposar de cap llicència per utilitzar el hardware i software. Per utilitzar-ho es pot connectar directament a un ordinador o també unir-lo a un adaptador de CA a CC o en una bateria. Les seves característiques s'observen a la *Taula 26*.

*Taula 26. Característiques de la placa controladora.*



<b>Microcontrolador</b>	ATmega 328P
<b>Voltatge treball</b>	5V
<b>Tensió entrada</b>	7-12 V
<b>Pins I/O digitals</b>	14
<b>Pins d'entrada analògics</b>	6
<b>Corrent continu per E/S</b>	50 mA
<b>Dimensions</b>	68,6x53x4 mm
<b>Pes</b>	25 g


### 7.7.2 Circuit sensors de nivell

Com s'ha comentat anteriorment, aquest circuit consisteix en informar a través d'una pantalla LCD, del nivell de l'aigua que hi ha en el dipòsit d'aigua salada i al d'aigua destil·lada, així com de la temperatura del col·lector solar.

En primer lloc, estudiem els sensors de nivell d'aigua. Per una banda tenim els sensors que funcionen a partir d'una entrada analògica ja que l'aigua toca el sensor. Aquest correspon a la imatge de l'esquerra de la *figura 73*, sensor EK1195. S'ha descartat la utilització d'aquest sensor ja que es vol evitar incorporar el circuit electrònic tocant l'aigua. Per altra banda, el sensor que finalment s'utilitzarà per calcular el nivell serà un sensor d'ultrasons HC-SR04. Aquest funciona amb dos pins connectat a la placa controladora, un de sortida que emet l'ultrasons (pin trigger) i un altre d'entrada, el qual la recull (pin echo). També cal alimentar aquest sensor amb 5V. Les característiques es troben a la *Taula 27*.



Taula 29. Característiques de la pantalla.

	<b>Pantalla</b>	LCD 2x16
	<b>Tensió de funcionament</b>	5V
	<b>Controlador</b>	LCD Hitachi HD44780
	<b>Resolució</b>	2 línies x 16 caràcters
	<b>Resolució caràcters</b>	5 x 8 píxels
	<b>Dimensions mòdul</b>	80x36x12 mm

Un dels inconvenients de la pantalla és que utilitza molts pins de l'Arduino, tant per l'entrada de senyals, com per fer funcionar la llum, entre altres. A més a més, en la seva connexió s'afegeixen dos elements, un potenciòmetre per regular la seva il·luminació i una resistència de 220  $\Omega$ .

L'esquema de connexió d'aquest circuit es pot veure a la següent imatge, aquest ha estat realitzat amb el programa Fritzing.

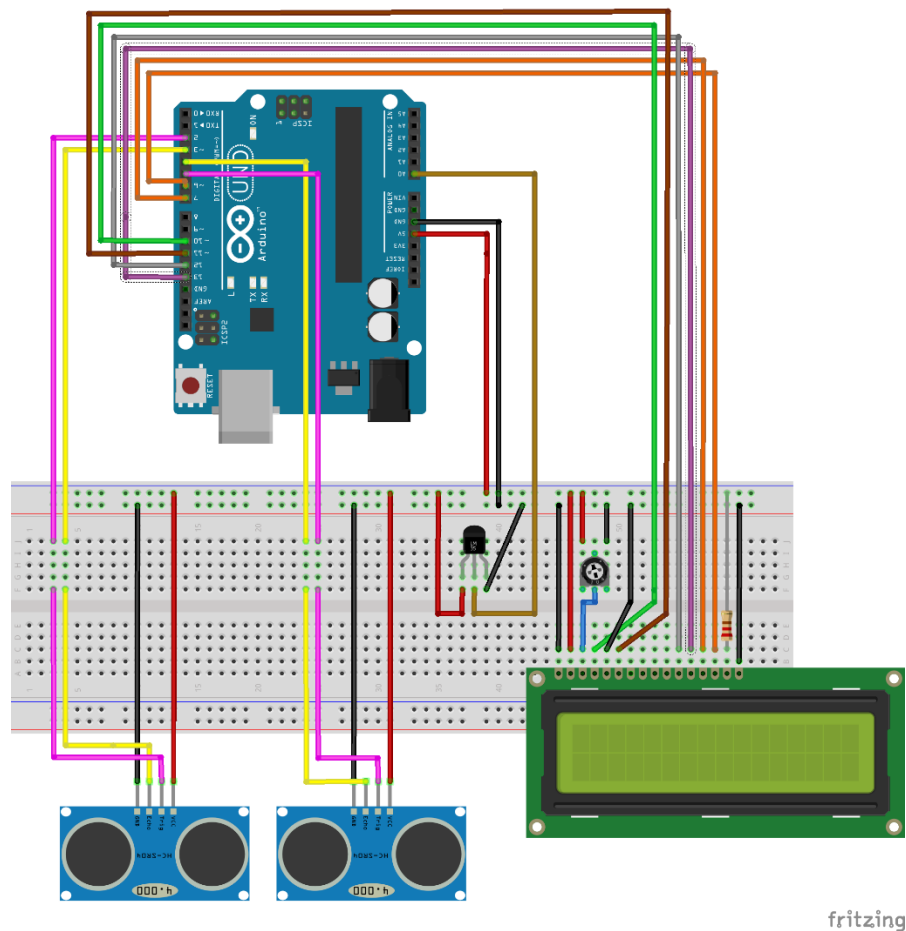


Figura 74. Connexió de tots els elements de control.




Aquest circuit està complementat amb un el codi que es troba a l'Annex D.

### 7.7.3 Bomba d'aigua

El disseny proposat conté un dipòsit d'uns 45 litres d'aigua a una alçada d'aproximadament 1 metre d'altura, per tal de facilitar a l'usuari el procés d'omplir-lo es proposa d'utilització d'una bomba d'aigua amb energia suficient per poder transportar l'aigua fins aquesta altura. Aquest element serà el que definirà l'apartat següent sobre l'alimentació d'energia del circuit d'Arduino també.

El motor proposat per utilitzar és el que es mostra a la taula següent.

*Taula 30. Característiques de la bomba d'aigua.*

	<b>Bomba d'aigua</b>	Submergible
	<b>Tensió de funcionament</b>	12V
	<b>Potència</b>	4,8 W
	<b>Altura màxima</b>	3 m
	<b>Dimensions</b>	84x80x38 mm
	<b>Pes</b>	97g
	<b>Marca</b>	Anself

S'ha considerat utilitzar un motor amb potència inferior, no obstant, no s'assegura que pugui subministrar suficient pressió per les necessitats que tenim nosaltres.

### 7.7.4 Conjunt alimentació

Aquesta part depèn de les altres, cal que es subministri una tensió de 12 V amb una potència mínima de 4,8W. Estarà alimentat amb un panell solar i una bateria per assegurar el funcionament del sistema en cas que no hi hagi prou sol per omplir el dipòsit.

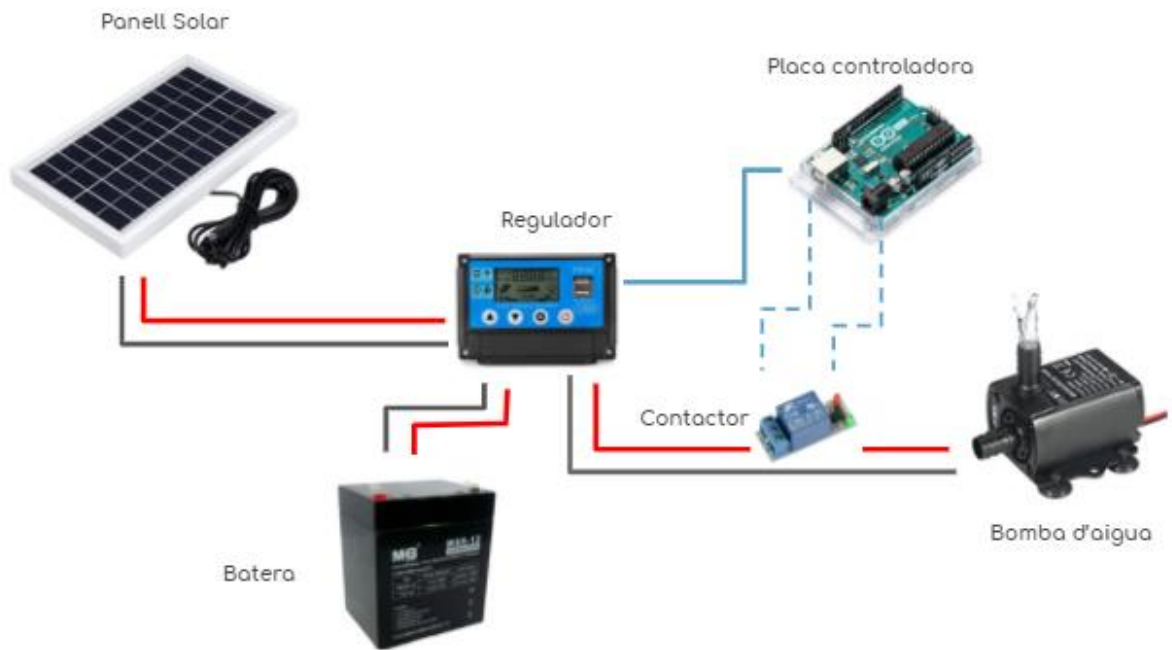


Figura 75. Esquema simplificat del circuit d'alimentació.

Pel que fa a les característiques dels aparells es troben mostrats a les següents taules.

Taula 31. Característiques del panell solar


	<b>Panell solar</b>	Polisilici classe A
	<b>Tensió de funcionament</b>	12V
	<b>Tensió circuit obert</b>	13,5V
	<b>Corrent de treball</b>	0-250mA
	<b>Potència</b>	5 W
	<b>Dimensions</b>	210x125x17 mm
	<b>Importador</b>	Banggood

Taula 32. Característiques de la bomba d'aigua.

	<b>Bateria</b>	Plom
	<b>Voltatge</b>	12V
	<b>Capacitat</b>	5 A
	<b>Dimensions</b>	90x70x101 mm
	<b>Pes</b>	1,5 kg
	<b>Importador</b>	Bateries online

Per tal d'assegurar una bona càrrega de la bateria, s'instal·larà un regulador automàtic, aquest alimentarà directament la bomba d'aigua, així com l'arduino el qual es connectarà mitjançant l'USB.

Taula 33. Característiques de la bomba d'aigua.

	<b>Regulador automàtic bateria amb càrrega solar</b>	
	<b>Tensió de funcionament</b>	12V/24V
	<b>Entrada solar màxima</b>	50 A
	<b>Sortida USB</b>	5V/2A màxim
	<b>Dimensions</b>	125x85x30 mm
	<b>Pes</b>	174 g

Un altre element a incorporar és un contactor per tal de controlar el motor d'aigua amb l'Arduino, aquest ha de complir amb les especificacions aportades a l'Annex de Documentació tècnica. Sobre aquesta connexió s'ha realitzat un esquema de connexió simplificat que es mostra a continuació, a més a més, es planteja el codi a l'apartat de l'annex corresponent. Aquest s'ha plantejat de manera que mitjançant un polsador connectat a l'arduino es pugui engegar o no el motor d'aigua.

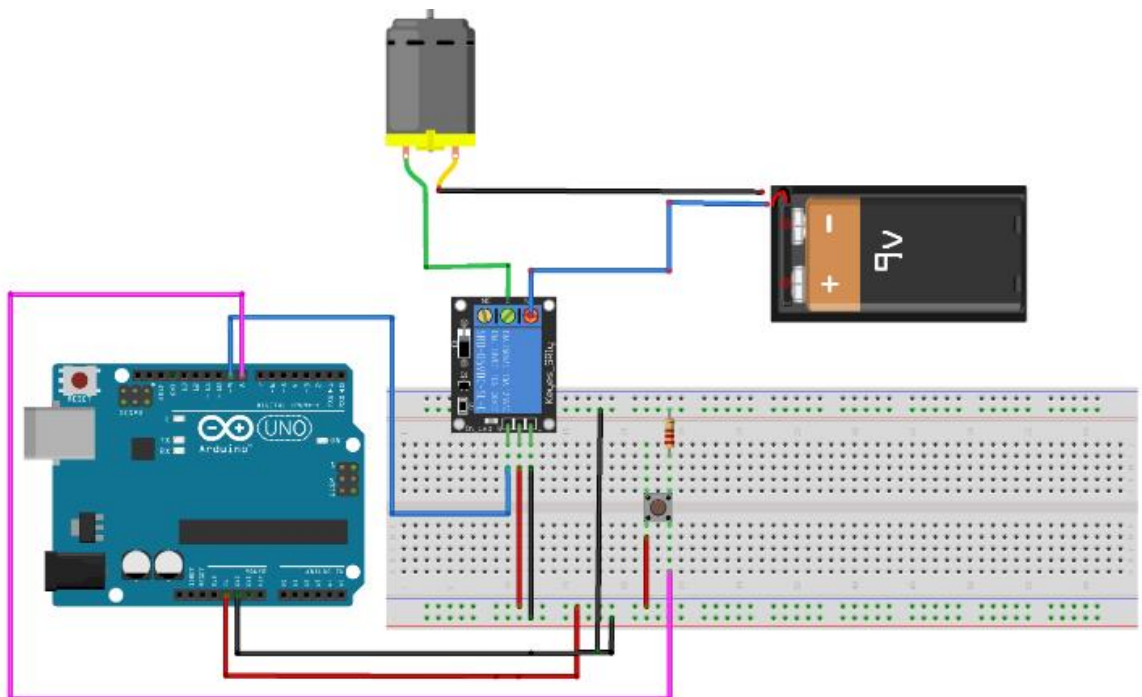


Figura 76. Plantejament connexió motor d'aigua.

S'exposa el codi informàtic a l'Annex corresponent, juntament amb el control dels sensors.

## 8 CONSTRUCCIÓ DEL PROTOTIP

### 8.1 Introducció a la construcció

El principal objectiu de la construcció és trobar els punts dèbils del disseny i aportar millores per una major efectivitat. No s'ha construït un prototip a escala real sinó que s'han reduït les mides a la meitat. A més a més s'ha simplificat el disseny per tal de trobar les observacions més evidents, no s'ha fabricat l'estructura, ni s'han incorporat elements de control o electrònics.

Degut a la situació actual, la construcció del prototip s'ha realitzat a una casa privada i s'han utilitzat tots els materials reciclats que s'ha tingut a l'abast, la resta s'han comprat sobretot elements de fixació, com coles i silicones o la soldadura. El resultat ha estat molt casolà, però s'ha complert l'objectiu de l'apartat.

Les eines utilitzades per aquesta construcció han estat:

- Trepant
- Serra de calar
- Soldador elèctric i soldador a gas
- Radial
- Estisores
- Silicona
- Paper de vidre i llimes
- Serra manual
- Cargol de banc i serjants

A continuació es descriu el procediment que s'ha seguit.

### 8.2 Fabricació del conjunt dessalinitzador

El prototip consistia en la fabricació de dos dipòsits i una coberta de vidre. Els materials utilitzats han estat els definits a la *Taula 34*. A més de les dimensions s'exposa el que s'ha utilitzat per aquesta funció.

Taula 34. Materials utilitzats pel conjunt dessalinitzador.

Material	Dimensions (mm)	Observacions
Placa d'acer inoxidable	1200 x 1000 (1mm de gruix)	S'ha utilitzat part d'una carcassa d'un extractor.
Vidre	300 x 250 mm	S'ha agafat un vidre de marc de fotos.
Perfil L de plàstic	Perfil de 300 (llargada 1200 mm)	S'ha utilitzat un marc de finestra de plàstic.
Perfil U metàl·lic	200 x 200 (llargada 80 mm)	S'ha utilitzat un perfil d'una cortina.
Tub foradat metàl·lic 1	Diàmetre 16 x llargada 500	Retalls del taller.
Tub foradat metàl·lic 2	Diàmetre 25 x llargada 200	Retalls del taller.

Per a la fabricació dels dos dipòsits s'ha partit d'una xapa la qual ha estat tallada amb la serra de calar. Per evitar el màxim de soldadures possibles i facilitar el procés de fabricació, s'ha fet un muntatge, tallant amb la serra de calar la placa d'acer amb les formes que queden il·lustrades a la figura 77. En aquesta es pot observar el contorn de les figures i unes línies de punts per on s'ha doblegat.

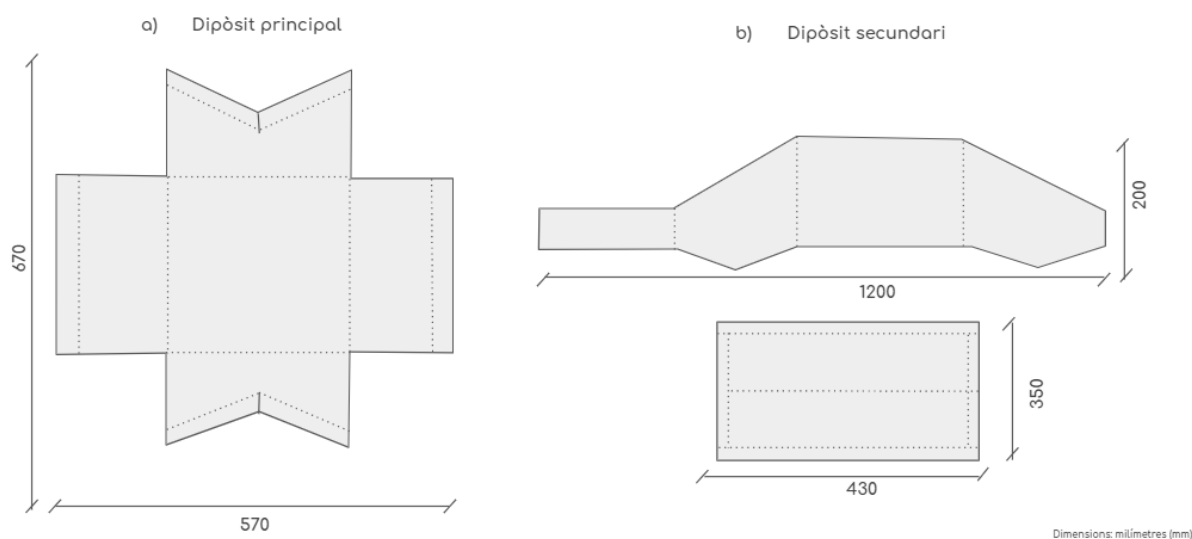
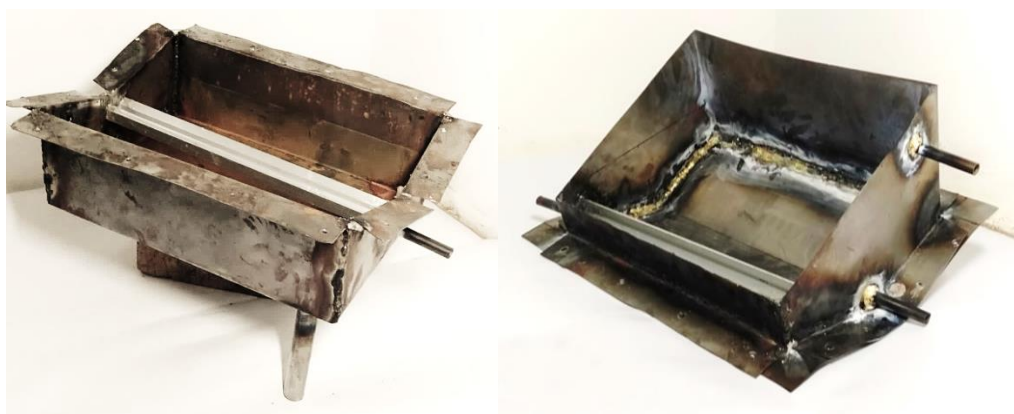


Figura 77. Il·lustració del procés de fabricació dels dipòsits.

Pel plegament de la xapa no es tenia cap plegadora, per aquest motiu s'ha utilitzat un muntatge amb el cargol de mà, diferents serjant i un passamà, d'aquesta manera, a força bruta i amb l'ajuda d'un martell, s'han realitzat els plecs. El punt més complicat ha estat l'angle de la base del segon dipòsit ja que com que el plegament no es podia realitzar de manera exacte ha estat difícil concordar els centres.

Per soldar les cantonades i les arestes inferiors, s'ha utilitzat un soldador elèctric controlant la potència aplicada ja que al ser una planxa d'1 mm de gruix era fàcil de maltractar el material.

Un cop muntada les dues caixes, s'ha procedit a fer els forats dels tubs de les entrades i sortides d'aigua, amb el trepant. Concèntric a aquest forat s'ha soldat un tub de 6 cm per a cada un. Finalment s'ha enganxat amb silicona que aguanta altes temperatures el perfil en forma U, amb la inclinació corresponent per a cada un dels dipòsits. El resultat dels dos dipòsits per separat ha estat el de la *Figura 78*.



*Figura 78. Dipòsit principal a l'esquerra, i dipòsit secundari a la dreta.*

El següent pas a realitzar, és la coberta, aquesta s'ha basat en un vidre d'un marc de fotos que s'ha trobat a casa. El procediment ha estat tallar el perfil L de plàstic amb la serra manual i s'ha fet un marc pel vidre per tal que es pugui encaixar per pressió al dipòsit superior. Aquest s'ha unit mitjançant cola instantània i silicona que suporta altes temperatures, a més a més s'ha recobert amb una cinta autoadhesiva especial per segellar finestres i portes com la de la *Figura 79.c*. Es pot observar el resultat de la coberta a la *figura 80* juntament amb tot el conjunt.

Finalment, cal assegurar l'estanqueïtat entre els dos dipòsits. Per fer-ho s'ha posat una goma i un conjunt de cargol-volandra-palometeta, així tancar-ho amb pressió.



*Figura 79. Complementes del conjunt dessalinitzador: a) goma, b) conjunt palometeta, c) cinta autoadhesiva.*

Abans de validar la construcció s'ha comprovat que tots els dipòsits estiguessin ben segellats omplint-los d'aigua. Algun punt de la soldadura ha quedat obert i s'ha hagut de refer. També s'ha vigilat que no quedessin obertures grans entre els dos dipòsits ni a la coberta.

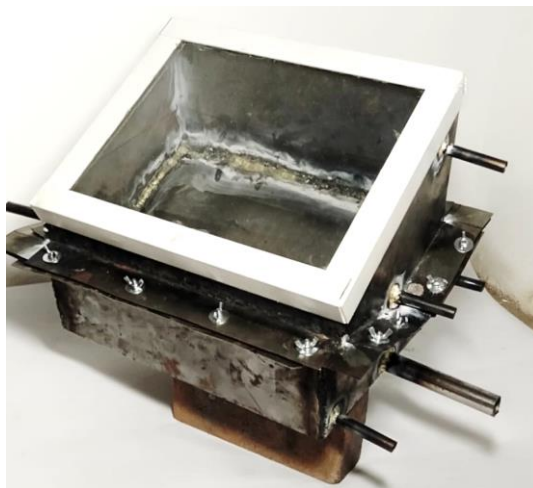


Figura 80. Conjunt dessalinitzador final

### 8.3 Fabricació del col·lector solar

El col·lector solar ha estat una peça que s'ha considerat comprar ja que hi ha molta oferta en el mercat, no obstant s'ha descartat aquesta opció per seguir amb l'objectiu de fabricació amb materials reciclats. Es poden veure les característiques i el preu d'un col·lector solar amb característiques semblants a la *Taula 21*, de l'apartat anterior.

Per la fabricació d'aquest component s'han utilitzat els elements i materials descrits a la *Taula 35*. Cal tenir en compte que aquest procés s'ha adequat a les dimensions del vidre reciclat utilitzat ja que és l'element que ha costat més de trobar.

*Taula 35. Materials per la fabricació del col·lector.*

Material	Dimensions (mm)	Observacions
Fusta	1000x600x15	Retalls que van sobrar.
Planxa d'acer	1000x550x1	Comprat dues planxes a bon preu.
Planxa de poliestirè extruït	100x600x30	Comprat en una oferta.
Vidre	820x520x5	Finestra vella.
Perfil L de plàstic	Perfil de 300 (llargada 2500 mm)	Material que va sobrar.
Mànega negra 1	Diàmetre 16, llargada 5000	Material d'una antiga plantació de pomeres.
Mànega negra 2	Diàmetre 25, llargada 2000	Idem

Material	Dimensions (mm)	Observacions
Connector de mànega	Diàmetre 16. 14 unitats	Idem
Cinta adhesiva de segellar	-	-
Cinta adhesiva d'alumini		

En primer lloc, s'ha construït la caixa de fusta la qual serveix d'estructura del conjunt. Amb una serra de calar s'han tallat la base i els cantons amb les dimensions suficient per tal que el vidre es pugui suportar a sobre. Un cop s'han tingut les peces s'han encolat amb cola blanca i per assegurar el muntatge s'han clavat claus a les unions amb la base. Per acabar la carcassa s'ha realitzat dos forats de diàmetre 30mm per connectar els tubs que van a l'interior amb l'exterior. Finalment s'ha obtingut la base de fusta, tal com es mostra a la *Figura 81*.



*Figura 81. Carcassa del col·lector de fusta.*

Els següents passos han estat la incorporació de l'aïllant de 30mm de gruix a la base i el plegament de les planxes d'acer per tal d'adequar-les a sobre aquest.

El punt de més elaboració ha estat el muntatge dels tubs. Aquest ha consistit en diferents tubs transversals connectats a dos canonades amb un diàmetre superior. Aquestes connexions s'ha fet a partir d'unions a pressió, com en una xarxa de reg. El resultat es pot veure a la *Figura 82*. El més complicat ha estat igualar els tubs transversals, aquests portaven molts anys enrollats.



*Figura 82. Conjunt de tubs del col·lector.*



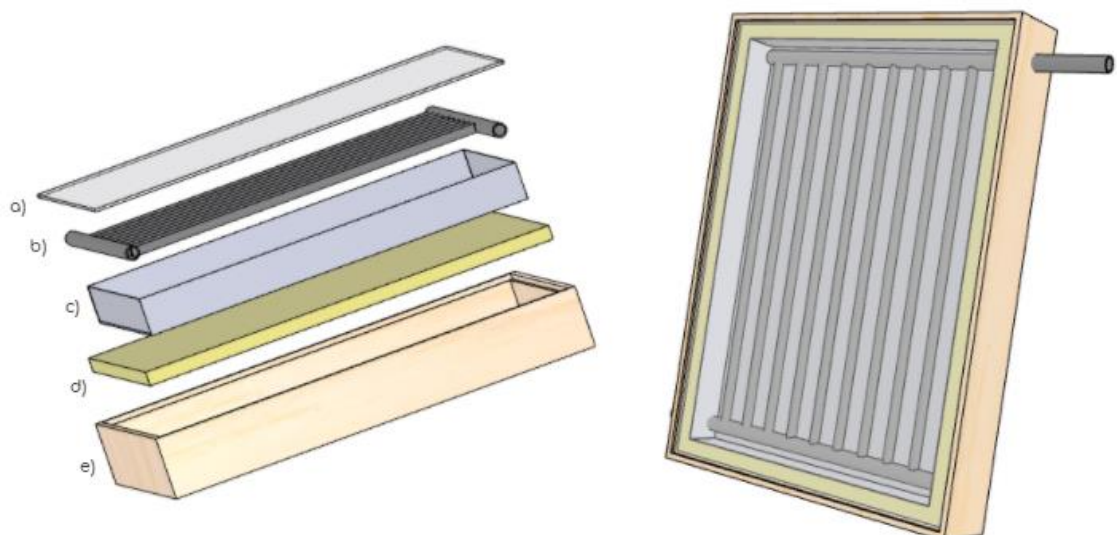
Per últim s'ha muntat el vidre en un marc de perfil L, com en el conjunt dessalinitzador, amb les mides correctes per tal que encaixi a la carcassa de fusta. Aquest s'ha enganxat amb silicona que suporta altes temperatures. A més a més, s'ha incorporat una cinta adhesiva de goma, en aquest cas s'ha utilitzat un rolo per a finestres i portes, per tal de millorar l'estanqueïtat del conjunt.

Finalment, el col·lector solar ha quedat com la *figura 83* ho demostra.



*Figura 83. Resultat del col·lector: a) mostrant la part interior i b) amb tot el conjunt.*

Per entendre cada etapa construïda s'ha fet l'esquema de la *figura 84*.



*Figura 84. Esquema de la construcció del col·lector: a) coberta de vidre, b) conjunt de tubs, c) xapa metàl·lica, d) poliestirè extruït com a aïllant i e) carcassa de fusta.*

## 8.4 Muntatge del conjunt

En aquest subapartat es descriu com s'han fet les connexions i el muntatge dels diferents conjunts. Cal tenir en compte que el prototip només ha estat de la part més funcional del sistema, amb el conjunt dessalinitzador i el col·lector solar, que és la part més important del sistema. A partir d'aquest es preveuen, al final del projecte, diferents millores i accions futures.

Per aquest muntatge del conjunt s'han utilitzat els materials descrits a la taula que es troba a continuació.

*Taula 36. Material pel muntatge del conjunt del prototip*

<b>Material</b>	<b>Dimensions/unitats</b>	<b>Observacions</b>
<b>Mànegues de rec 1</b>	Diàmetre 16 mm Llargada 1 m	Retalls vells
<b>Mànegues de rec 2</b>	Diàmetre 25 mm Llargada 4 m	Retalls vells
<b>Colzes 25 mm</b>	5 unitats	Unions d'una antiga xarxa de reg.
<b>Colzes 16 mm</b>	2 unitats	Idem
<b>Aixetes 16 mm</b>	4 unitats	Idem
<b>Connexions T 16mm</b>	2 unitats	Idem
<b>Abraçadores</b>	De 15 mm a 25 mm 8 unitats	Comprades
<b>Ampolles de 6 L</b>	2 unitats	Reciclada

El primer pas del muntatge són les connexions de les tuberes del conjunt dessalinitzador. Aquest es pot observar a la *Figura 85*. Per fer-ho s'ha escalfat aigua i s'han incorporat 3 minuts retalls de mànega dins, d'aquesta manera ha estat més fàcil fer entrar els tubs de plàstic als d'acer que es troben soldats als dipòsits. Aquests han estat assegurats amb diferents abraçadores, així s'eviten que les dilatacions puguin afectar a les pèrdues. Seguidament s'han connectat els colzes i les T tal com es mostra a la figura. Les aixetes s'han posat en els llocs més convenients.

Un detall a tenir en compte és el dipòsit d'aigua salada, en aquest s'ha incorporat un tub a la part inferior unit amb silicona calenta.

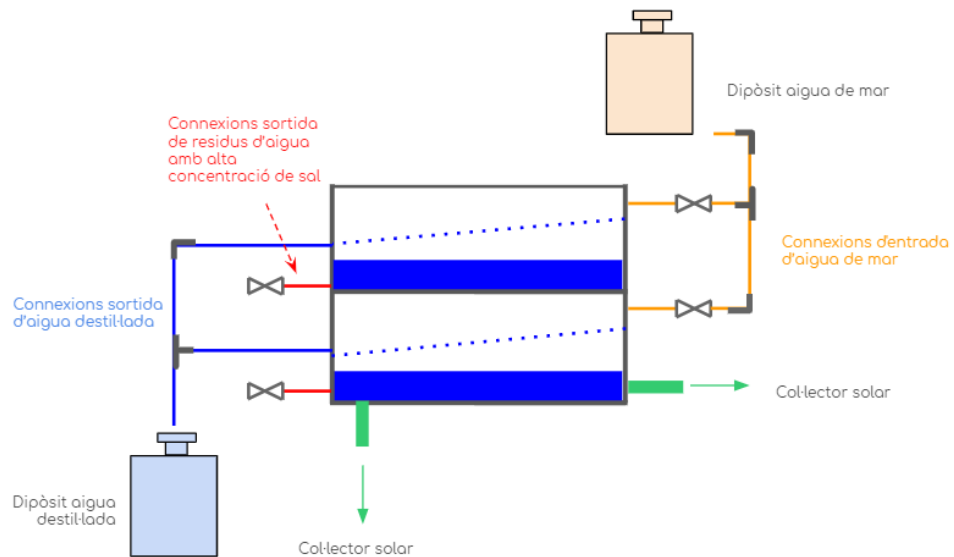


Figura 85. Esquema de connexions del prototip del conjunt dessalinitzador.

Un cop s'han fet les unions al conjunt del dessalinitzador es procedeix a fer les del col·lector solar. Es mostra l'esquema de tots els elements a la imatge de continuació.

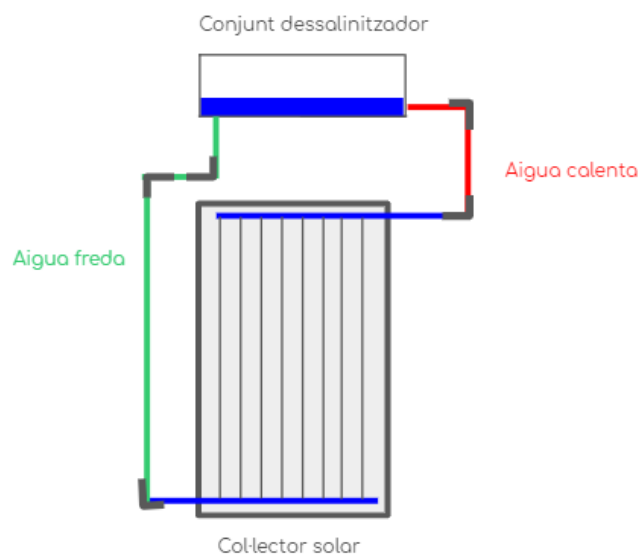


Figura 86. Connexions del col·lector solar.

Per acabar el muntatge s'han buscat opcions diferents per suportar els components de l'aparell. Finalment s'ha decidit utilitzar una cadira, una més alta que l'altre. Es pot observar el resultat final a la figura 87.



*Figura 87. Resultat final de la fabricació del prototip.*

## 8.5 Proves de funcionament

Les proves del funcionament del prototip s'han realitzat durant una setmana del mes d'agost a Fornells de la Selva. El prototip ha estat encarat cap al sud, la inclinació del col·lector solar, ha estat de 30°.

El procediment que s'ha seguit per l'avaluació del funcionament ha estat el següent: s'ha omplert d'aigua de pou el sistema, al no haver-hi control automàtic d'aigua s'ha hagut de fer aproximadament amb la regulació de les vàlvules d'obertura del conjunt. Amb l'ajuda d'una regadora s'ha anat omplint l'ampolla superior, primer el dipòsit superior el qual es pot veure a ull la quantitat d'aigua aportada, i en segon lloc s'ha fer el dipòsit de sota, el principal. En aquest s'ha d'omplir tot el col·lector solar que ho fa per la força de la gravetat i un cop ple, s'omple el de sobre. El control de l'aigua en aquest dipòsit ha estat complicat, s'ha fet a partir de la sortida d'aigua destil·lada.

Al no tenir el control del nivell, cada dues hores s'ha anat a comprovar el nivell dels dipòsits per omplir-los una mica més.

Un cop la temperatura ambient és suficient alta i el prototip ha començat a rebre els primers rajos del sol, es pot observar a la coberta del segon dipòsit i als tubs transparents de la sortida d'aigua tractada, petites gotes d'aigua generades pel procés d'evaporació i condensació provocada per entrar en contacte amb una superfície de temperatura inferior. Es pot veure a la *figura 88* com les petites gotes es van unint entre si i rellisquen fins arribar al canal de recollida .



*Figura 88. Gotes de l'evaporació i condensació del prototip.*

Un cop han arribat aquí, baixen pels tubs fins arribar a l'ampolla.



*Figura 89. Posta en marxa del prototip.*

En aquest apartat cal comentar que durant un dia es va fer la prova amb una coberta de xapa, no de vidre transparent i tot recobert amb llana de roca. El resultat com es pot veure a l'apartat corresponent no van ser satisfactoris ja que durant els controls no es detectava cap senyal de condensació de l'aigua del dipòsit superior. Pot ser degut a les condicions ambientals, o a un problema amb la connexió amb el col·lector solar, no obstant, es va descartar aquesta opció per aquest moment del projecte, no es descarta per una futura prova i accions posteriors per millorar el disseny.



*Figura 90. Funcionament amb coberta metàl·lica i aïllant de llana de roca.*

## 8.6 Observacions del disseny del prototip

En aquest apartat s'exposen les observacions que s'han obtingut durant les proves de funcionament i propostes de millora que no s'han pogut executar i es deixen com a acció futura.

### 8.6.1 Conjunt dessalinitzador

- Aplicar l'aïllant correctament a sota i als costats de l'aparell per mantenir la calor de l'interior evitant pèrdues.
- Netejar correctament la coberta transparent perquè les gotes d'aigua puguin relliscar millor.
- S'hauria d'inclinar més el canal de recollida d'aigua condensada per facilitar la recollida a l'ampolla final.

- Cal que el marc del vidre sigui més petit i si pot ser metàl·lic ja que fa de barrera per l'entrada de radiació.
- El vidre ha de complir amb unes característiques millors ja que el que s'ha instal·lat és molt prim i impedeix fer efecte lupa.
- No es recull tot el condensat que es produeix, cal un canal de recollir més gran i una inclinació més exagerada al sostre del dipòsit inferior.

#### 8.6.2 Col·lector solar

- Els tubs haurien de ser de metall ja que el col·lector arriba a altes temperatures i el plàstic no ho suporta correctament.
- Cal jugar amb la inclinació de l'entrada i la sortida d'aigua i assegurar unes bones connexions pel control de l'aigua que hi ha a l'aparell.
- S'han hagut de reforçar amb silicona totes les unions.

## 9 VALORACIÓ DEL PROTOTIP

Amb el prototip s'ha realitzat algunes proves, no obstant, no s'ha pogut modificar el disseny amb les millores que s'han proposat per aquest motiu es considera una primera valoració, amb l'objectiu de seguir-ne fent.

Els factors que es valoren són la temperatura i l'aigua destil·lada obtinguda, com s'ha exposat a la introducció surt de l'abast la qualitat de l'aigua obtinguda.

### 9.1 Mètode de recopilació de dades

S'han realitzat tres assajos diferents, durant els dies 27, 28 i 29 d'agost, aquests han estat muntats des de les 8 del matí fins l'endemà. En aquests s'han recollit les dades de la temperatura mitjançant un termòmetre d'infraroig cada dos dies. També s'han recollit les quantitats del destil·lat obtingut de cada dia.

Les característiques dels termòmetres usats són les següents:

- Termòmetre de punta:
  - o Rang de mesura de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $250^{\circ}\text{C}$ .
  - o Precisió de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .
  - o Marca del producte LASERLINE



Figura 91. Termometre de punta usat

- Termòmetre infraroig:
  - o Rang de mesura de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$ .
  - o Precisió de  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ .
  - o Marca del producte NIVEAO



Figura 92. Termometre infraroig usat

Cal esmentar que el dia 30/08/2020 es fa realitzar un assaig al prototip amb la coberta d'acer i no inoxidable. Es consideren nuls aquests resultats ja que les condicions atmosfèriques



no eren adequades i no hi va haver cap resultat satisfactori. Es podia veure com en el dipòsit superior no hi figurava cap símptoma que l'aigua procedís a evaporar-se i condensar-se.

## 9.2 Resultats obtinguts

A la *Taula 37* es mostren els resultats obtinguts de l'assaig realitzat. En aquesta es descriu cada paràmetre, la T significa temperatura i la V volum. No obstant primer s'exposen els valors de la temperatura ambient, en que observem que el tercer dia van baixar molt les temperatures.

*Taula 37. Dades sobre la temperatura ambient. Unitat en °C.*

	27-08-2020	28-08-2020	29-08-2020
<b>T. ambient mínim</b>	21	22	18
<b>T. ambient màxima</b>	33	35	24
<b>T. ambient mitjana</b>	27	29	21

Pel que a la taula següent, s'especifica la temperatura de tres zones del conjunt, Tc simbolitza la temperatura del col·lector, Ts1, és la temperatura aproximada de l'aigua al dipòsit inferior i Ts2 el de la superior. Algun d'aquests valors ha estat difícil de mesurar per les condicions del prototip, en el cas del dipòsit inferior s'ha mesurat la temperatura que agafava la sortida de l'aigua i el dipòsit superior s'ha mesurat des de dins però aquesta prova implicava l'obertura de la coberta i pèrdues de calor. Ja s'avança que aquests valors serveixen per un primer anàlisi, però no per treure'n conclusions exactes del sistema.

*Taula 38. Exposició de valors mesurats de la temperatura del prototip. Unitats en °C.*

Mostra	Hora (h)	27/8/2020			28/8/2020			29/8/2020		
		Tc	Ts1	Ts2	Tc	Ts1	Ts2	Tc	Ts1	Ts2
1	10:00	35,6	30,2	29,1	38,4	28,1	32,4	28,2	19,1	20,1
2	12:00	49,0	36,2	34,2	51,2	40,8	35,4	45,0	33,4	27,9
3	14:00	77,6	43,5	40,9	81,5	45,6	41,4	56,2	36,0	31,2
4	16:00	53,6	37,3	30,7	58,3	39,1	36,8	38,0	31,8	29,0
5	18:00	38,8	27,2	23,7	41,7	28,8	26,4	34,5	21,0	19,2
	<b>Mitjana</b>	<b>50,9</b>	<b>34,9</b>	<b>31,7</b>	<b>54,2</b>	<b>36,5</b>	<b>33,9</b>	<b>40,4</b>	<b>28,3</b>	<b>25,5</b>

Per poder veure la tendència dels resultats obtinguts s'han graficat a les figures que es troben a continuació.

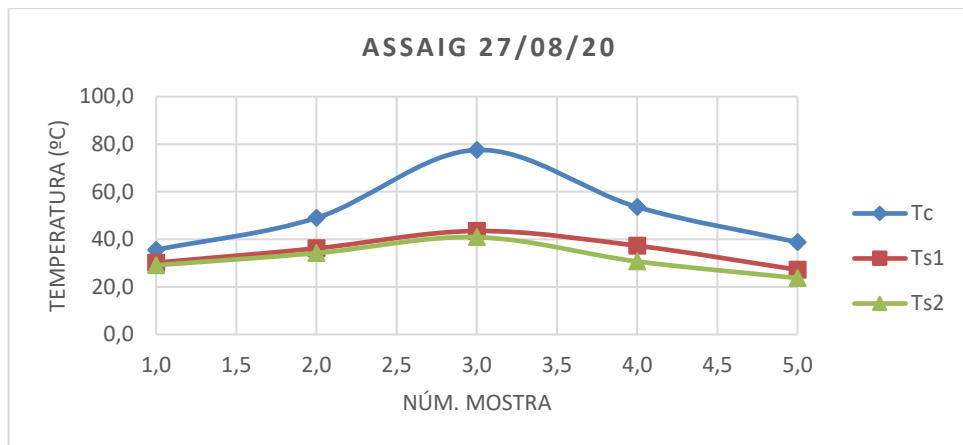


Figura 93. Representació dels resultats del 27.08.2020

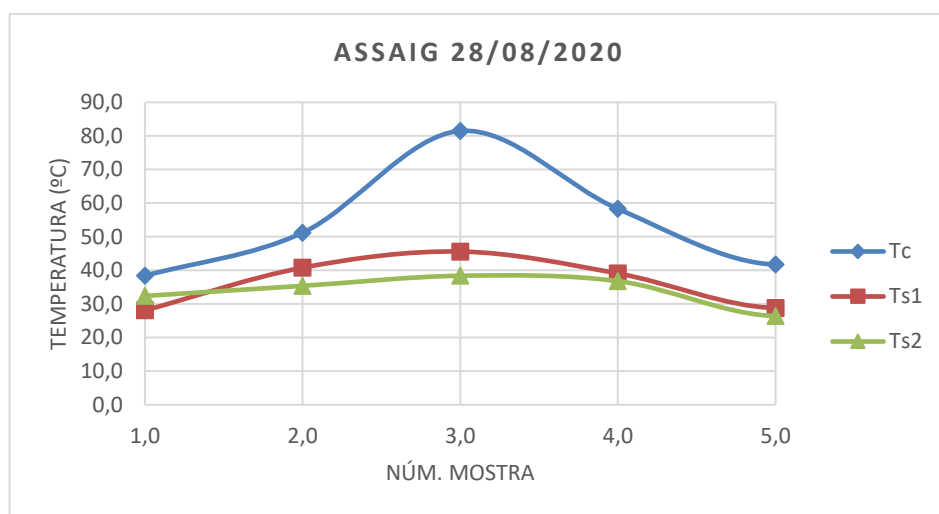


Figura 94. Representació dels resultats del 28.08.2020

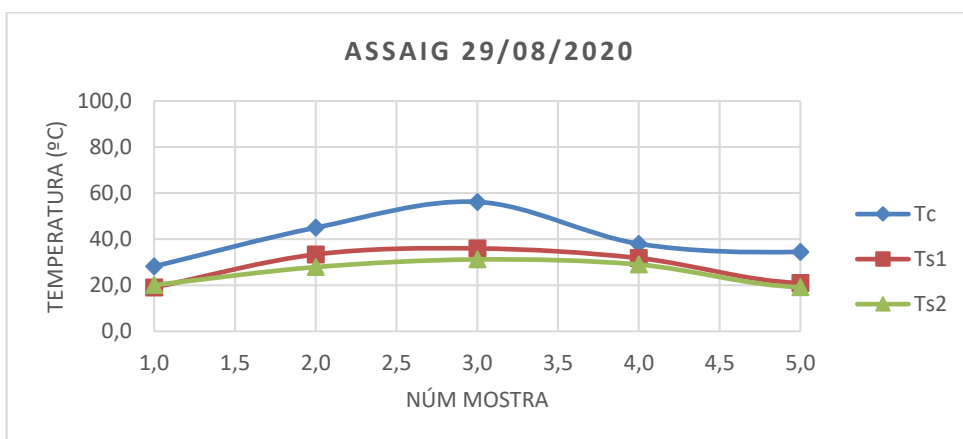


Figura 95. Representació dels resultats del 29.08.2020

Observem amb aquests gràfics que el col·lector solar és l'element que absorbeix més temperatura, el qual té un pic molt potent a les 14:00h, al migdia. Pel que fa als dos dipòsits

no es veu massa diferència entre ells, això és degut a que a més d'alimentar-se de l'energia de col·lector, el dipòsit superior conté una coberta transparent. En aquest cas si estigues tapada amb acer, i l'aïllant corresponent, aquest agafaria menys temperatura al principi però a mesura que anés passant al temps, s'equilibrarien.

Si ens fixem amb el volum d'aigua obtingut, aquest ha estat mesurat amb una bàscula directament i s'ha valorat el conjunt total obtingut, ja que és el requisit de sistema. Observem els valors aproximats a la següent taula. En aquesta es mostra el valor de l'aigua obtinguda i el valor aproximat que s'obtindria en cas de reproduir-lo a escala real, és a dir, al doble de gran.

*Taula 39. Valors de l'aigua destil·lada obtinguda.*

	27-08-2020	28-08-2020	29-08-2020
Aigua destil·lada	1,15 l	1,35 l	0,45 l
Escala real (x2)	2,3 l	2,8 l	0,9 l

Per avaluar el rendiment del prototip s'ha comparat el volum de destil·lat obtingut en cas que aquest fos a escala real, amb el volum mínim definit com a objectiu i amb el volum obtingut del model matemàtic. La *taula 40*, mostra els resultats de la diferència en percentatges.

*Taula 40. Avaluació dels resultats respecte objectiu i model matemàtic.*

	27-08-2020	28-08-2020	29-08-2020
Error respecte objectiu mínim (5 l)	46%	56%	18%
Error respecte model matemàtic (7,3l)	32%	38%	12%

### 9.3 Conclusions de l'assaig

Els resultats exposats a l'apartat anterior demostren un comportament correcte del prototip, amb un augment de la temperatura progressiu. No obstant, els dos dipòsits assoleixen temperatures molt similars, i el sistema s'ha dissenyat perquè el col·lector solar sigui la major font d'energia i per tant, el dipòsit inferior és el que hauria de tenir més temperatura. Aquest problema és degut als materials del col·lector que són de plàstic i amb la calor hi ha hagut problemes de pèrdues de líquid i deformacions. També hi ha hagut problemes amb l'ompliment de l'aigua del col·lector i assegurar que es produís un circuit tancat d'aigua. Aquests es

pretenen solucionar amb la incorporació de l'entrada automàtica d'aigua així el sistema equilibrarà els nivells d'aigua per si sol.

No obstant, es considera que els valors obtinguts d'un 50% per un primer prototip el qual s'han d'aplicar millores i provant diferents sistemes és suficient. Tenint en compte les pèrdues pel material i els problemes de la fabricació.

Amb aquest assaig, la conclusió més important ha estat que s'han de fer proves per avaluar un sistema de dessalinització i per anar millorant el disseny, així s'assegura el seu funcionament.

## 10 RESULTAT FINAL

El prototip dissenyat compleix amb gran part dels requisits exposats a l'inici del projecte. En aquest apartat descriurem les especificacions més importants.

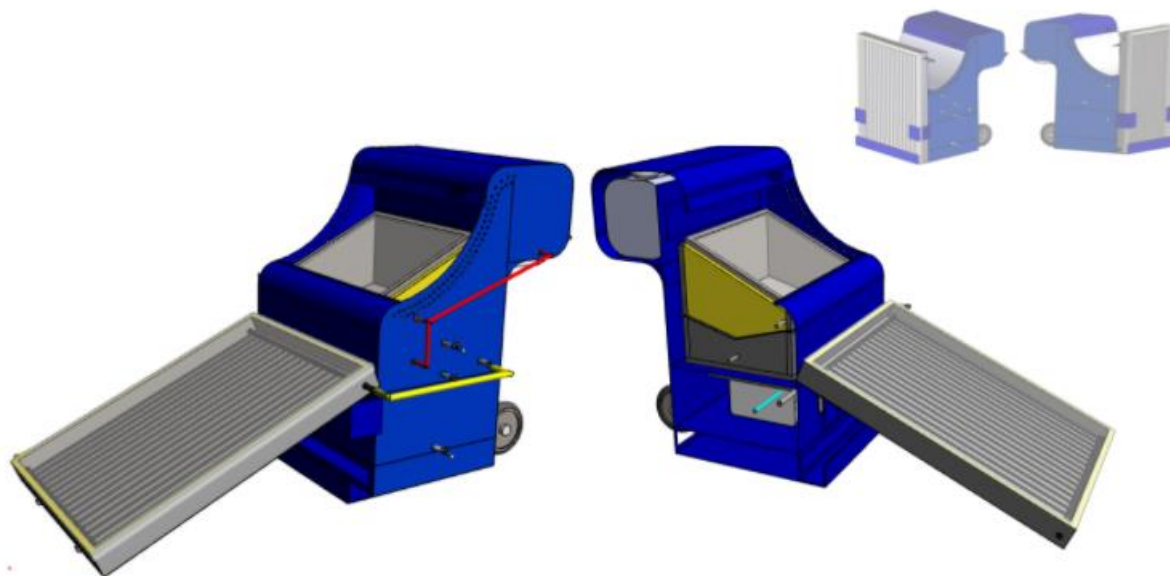


Figura 96. Vista del resultat final del producte.

A la Taula 41, s'observen les característiques més importants del disseny final.

Taula 41. Especificacions del producte final.

<b>Capacitat</b>	Entre 5 i 10 L/dia.
<b>Dimensions</b>	Conjunt estructural: 1300x1000x950 mm Col·lector solar: 1000x950x100 mm Pes total: 205 kg
<b>Construcció</b>	Possible utilitzar materials reciclats i fàcils de disposar.
<b>Transport</b>	Incorporació d'un carretó i un sistema de recollida per moure l'estructura.
<b>Estructura</b>	Estructura compacte.
<b>Capacitat</b>	5-10 l/dia.
<b>Energia</b>	Energia solar tèrmica i energia solar fotovoltaica (12 V).
<b>Control</b>	Informació del nivell d'aigua dels dipòsits, de la temperatura del col·lector solar i possible utilització d'una bomba d'aigua.
<b>Cost</b>	Entre 660 i 800€.

## 11 RESUM DEL PRESSUPOST

La valoració econòmica total per la construcció de l'aparell dessalinitzador amb el preu dels materials que es troba a dia d'avui i comprats de primera mà, es troba resumida a la següent taula.

Taula 42. Resum del pressupost.

P	Conjunt	Descripció	Q	u	P/u	u	P(€)
1	Conjunt destil · lador	Subconjunt	1	u	129,4	€/h	119,7
2	Conjunt col · lector solar	Subconjunt	1	u	181,6	€/h	164,23
3	Conjunt connexions i emmagatzematge	Subconjunt	1	u	74,96	€/h	61,95
4	Estructura	Subconjunt	1	u	215,5	€/h	199,58
-	Electrònica	Subconjunt	1	u	50,10	€/h	41,41
-	Altres	Altres	1	u	16,63	€/h	13,74
-	Muntatge		1	u	63,75	€/h	63,75
<b>TOTAL (sense IVA)</b>							<b>664,35</b>
IVA (21%)							<b>139,51</b>
<b>TOTAL (amb IVA)</b>							<b>803,86</b>

Per tant, el cost total de la fabricació de la màquina dessalinitzadora és de **vuit-cents tres euros amb vuitanta-sis cèntims**.

Cal tenir en compte que aquest pressupost és considerant cada peça nova i amb el preu de fabricació i manipulació d'aquí. Tal com s'especifica al Document 1. Memòria i annexos, el disseny és apte per fer-ho amb materials reciclats, aquest es pot reduir fins a la meitat.

Els honoraris totals per l'elaboració del present projecte juntament amb tota la documentació ascendeixen a **set mil tres-cents euros amb vuitanta-tres**.

## 12 CONCLUSIONS

En aquest apartat es presenten les conclusions del present projecte amb l'avaluació del compliment dels objectius, així com les accions futures que es preveuen per una millora considerable del disseny proposat.

El disseny proposat per a la màquina dessalinitzadora per abastir d'aigua dolça zones que es troben aïllades i amb pocs recursos utilitzant l'aigua de mar, es basa en un destil·lador que combina la tecnologia bàsica del destil·lador solar amb el sistema de multietapa (MED) i és alimentat només amb energia solar tèrmica.

El conjunt dessalinitzador està format per dues cambres on s'hi ubica l'aigua salada alimentada per un dipòsit que es troba a més altura i és on es produeix la seva evaporació i condensació. L'energia solar tèrmica, és absorbida a partir d'un col·lector solar de 1,25 m<sup>2</sup> el qual es troba directament en contacte amb l'aigua salada que conté el dipòsit inferior, i també de la coberta transparent del dipòsit superior. A més a més, s'aprofita la calor que desprèn l'aigua durant la seva condensació al tocar amb el sostre per escalfar l'aigua del pis superior.

El resultat ha estat un aparell per produir entre 5 i 10 l/dia amb una estructura compacte que no ocupa molt d'espai, fàcil d'utilitzar, de fabricar i que no requereix necessàriament d'energia elèctrica. Les dimensions són de 1.300 x 1.000 x 950 mm i un pes de 205 kg, i pot ser alimentada amb un dipòsit de fins a 60l d'aigua. L'estructura està dissenyada per poder-se plegar i transportar fàcilment amb l'ajuda d'un carretó. Aquest és independent a la carcassa de l'aparell així l'usuari el pot usar per anar a recollir l'aigua salada amb el dipòsit corresponent en cas que aquest recurs es trobi lluny.

Pel que fa al seu funcionament, el sistema regula el nivell de l'aigua de cada dipòsit destil·lador mitjançant una vàlvula flotador mecànica oferint autonomia en l'operació i també més eficiència. Seguint amb la línia de facilitar a l'usuari l'operació, s'ha incorporat un sistema electrònic alimentat per una placa fotovoltaica per tal de controlar els nivells d'aigua dels dipòsits amb una pantalla exterior així com per alimentar una petita bomba d'aigua per evitar pujar a força bruta el dipòsit d'alimentació ple d'entre 40 i 60l a dalt de l'estructura.

Amb aquest disseny de dessalinitzadora s'ofereix un aparell per produir aigua dolça a partir d'aigua de mar, i utilitzar-la en accions quotidianes com netejar o cuinar, que només funciona amb energia solar, que ocupa un espai reduït comparat amb altres sistemes i amb un disseny agradable. D'acord amb els càlculs termodinàmics del disseny i establint unes condicions mitjanes d'operació, la seva capacitat de producció d'aigua destil·lada és de 7,3 l/dia. S'estima que considerant l'entrada continua d'aigua i la variació de les condicions ambientals pot anar del 0 als 10 l/dia.

El pressupost per l'elaboració de tot el conjunt ascendeix fins els 803,86€, no obstant això, es considera que amb la incorporació de materials reciclats i reduint el preu de la fabricació, aquest es pot reduir a més de la meitat.

La realització de la part experimental ha consistit en la construcció d'un prototip mitjançant materials reciclats i en l'avaluació del seu funcionament amb un assaig de tres dies. Amb la fabricació s'han pogut detectar aquells punts dèbils del disseny a nivell constructiu els quals han estat incorporats al projecte. Pel que fa a les proves de funcionament, els resultats han estat inferiors als esperats, el volum obtingut no ha arribat al 50% del desitjat degut a pèrdues tèrmiques i problemes de fabricació. No obstant això, s'ha obtingut el model de comportament de les temperatures de cada element. En aquest sentit, es considera que la finalitat de la part experimental s'ha complert correctament.

Pel que fa a les línies futures d'actuació, a més de fer diferents prototips per avaluar-ne les millores, queda pendent l'anàlisi de la qualitat de l'aigua obtinguda. Aquest ha estat un tema que no entrava a l'abast del projecte, no obstant, es vol aconseguir proporcionar aigua potable mitjançant el destil·lador. Per fer-ho s'espera un procés de recerca i desenvolupament per incorporar al disseny d'un sistema de mineralització de l'aigua, així com d'un ultravioleta, entre altres opcions. Un cop dissenyat l'aparell òptim, es pretén estudiar la possibilitat de llençar-lo al món per tal d'oferir a aquelles persones que no disposen de recursos d'aigua potable suficients, la possibilitat de produir-ne a partir de l'energia del Sol de manera senzilla.

Comptat i debatut, amb la solució proposada i definida en aquest projecte es considera que s'ha assolit de forma satisfactòria l'objectiu principal complint amb cada una de les especificacions imposades a l'inici.



## 13 RELACIÓ DE DOCUMENTS

El present projecte es compon dels següents documents:

- Document 1: Memòria i annexos
- Document 2: Plànols
- Document 3: Plec de condicions
- Document 4: Estat d'amidaments
- Document 5: Pressupost

## 14 BIBLIOGRAFIA

Al-Karaghoul, A.; Kazmerski, L.L. *Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. Renew. Sustain. Energy Rev.*, 24, 343–356. 2013.

APHA. *Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater*. USA: American Public Health Association, Washington, DC 20005, 19th Edition. 1995.

Çengel, Y.A. (2011). *Tranferencia de calor y masa. Un enfoque practico*. 3ed. Mc. Graw Hill

Dunkle R.V. *Solar Water Distillation: The roof type still and a múltiple effect difusions still. International Developments in heat transfer; ASME; Uneversity of Colorado*, pag 895-897. 1961.

Duffie John A., Beckman William A.; *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons, Edició 3, EEUU. 2009.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. Aquastat. *FAO'S Global Information System of Water*. Disponible a: <http://www.fao.org/aquastat/en/> (Consultat abril-juliol 2020).

Han, Kyu-ll. Et al. *A Study on the Improvement of Heat Transfer Performance in Low Temperature Close Thermosyphon*. KSME International Journal, Vol 16.No.9. 2002.

Ihsan Ullah and Mohamad G.Rasul. *Recent developments in Solar Thermal Desalinations Technologies: A Review*. Queensland, 2018.

Incropera Frank P., DeWitt David P.; *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Prentice Hell. Edició 4. Mèxic. 1999.

James E. Miller. *Review of Water Resourcers and Desalination Technoligies*. Sandia National Laboratories, New Mexico, 2003.

Kalogirou Soteris A. *Seawater desalination using renewable energy sources*. Progress in energy an combustion Science 31. Pag 253-254. 2005.

Kalogirou Soteris A. *Solar energy engineering: processes and systems*. Academic press, EEUU. 2009.

Lenntech. *Tecnologia de la desalación*. Disponible a: <https://www.lenntech.es/desalacion/desalacion.htm#ixzz6luTSSpOR> (Consultat maig 2020).

M. Grätel. *Photovoltaic and photoelectrochemical conversion of solar energy*. Phil. Trans. R. Soc. A, 365:933-1005, 2007.

Monsalvo, R; Romero, Ma; Miranda, G; Muñoz, G. *Balance de materia y energia*. Procesos Industriales. 2014.

National Oceanographic Data Center. *World Ocean Atlas*. Disponible a: <https://web.archive.org/web/20070302215521/http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA01/> (Consultat maig 2020)

O. Levenspiel. Flujo de fluidos. *Intercambio de calor*. New York, 1993.

P. Vishwanath Kimar, Ajay Kumar, Om Prakash i K.S. Reddy. *Optimization of design and operating parameters on the year round performance of a multi-stage evacuated solar desalinations System using transient mathematical analysis*. International Journal of Energy an Enviroment. Vol 3, pag. 409-434. 2012.

R. S. Adhikari and Ashivini Kumar. *Transient simulations studies on a multi-stage stacked tray solar still*. Disponible a: <http://103.27.10.17/bitstream/handle/2074/2448/adhikaritra93.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consultat juliol 2020).

San José, E. *Historia de la desalinización*. Disponible a: <https://sites.google.com/site/desaladoras1b/historia-de-la-desalinizacion> (Consultat juny 2020).

Sayigh A.A.M. *Solar Energy Engineering*. Academic Press; New York. 1977.

Shatat, M.; Worall, M.; Riffat, S. *Opportunities for solar water desalination worldwide: Review*. Sustain. Cities Soc., 9, 67–80. 2013.

Schwarzer K, Vieria da Silva E., Schwarzer T i Hoffschmidt B. *Field results in Namibia and Brazil from new solar desalination System*". Desalination& Water Reuse. Vol 20/4.

Ses Lab; TEC. *La radiación solar.* Disponible a:  
[http://seslab.org/fotovoltaico/2\\_la\\_radiacin\\_solar.html](http://seslab.org/fotovoltaico/2_la_radiacin_solar.html) (Consultat juliol 2020).

Soteris A. Kalogirou. *Solar energy engineering: processes and systems.* 1ra edició, 2009.

Tiwari G. i Tiwari A. *Solar Distillation Practice for Water desalination Systems.* 2008.

Virgili, F.T.P.; Gasson, J. IDA *Desalination.* Yearbook 2015–2016; Media Analytics Ltd.: Oxford, UK. 2016.

Yatesenvser. *Desalination Market Outlook.* Disponible a:  
<https://yatesenvironmentalservices.wordpress.com/2013/02/26/desalination-market-outlook/>  
(Consultat abril 2020).

# ANNEX A. NORMATIVA APLICADA

L'Annex A té com a objectiu definir cada una de les normes i reglaments que ha de complir l'aparell per tal d'assegurar un bon funcionament i la seguretat per a les persones. En aquest cas, entren diferents conceptes, per una banda la legislació referent a les màquines i per altre, les condicions de l'aigua produïda.

## A.1 Màquines

Com a aparell de funcionament que arriba a altes temperatures i que té un petit circuit elèctric ha de complir amb la normativa següent, aquesta llista no pretén ser exhaustiva:

- Directiva 2006/42/CE, del 17 de maig, relativa a les màquines i per la que es modifica la Directiva 95/16/CE.
- Reial decret 1644/2008, pel que s'estableixen les normes per la comercialització i la posta en servei de les màquines.
- Directiva 2014/30/CE en matèria de compatibilitat electromagnètica.
- Reial Decret 186/2016 de compatibilitat electromagnètica.
- Directiva 2014/68 relativa a equips a pressió.
- ISO 3894 de simbologia de perillositat.

## A.2 Aigua

L'objectiu principal del projecte és dissenyar un equip dessalinitzador per poder subministrar aigua dolça en zones aïllades. Un altre component important són les característiques de l'aigua obtinguda pel seu ús. La normativa de referència sobre aquestes depèn molt del país i el territori on es trobi l'usuari. En el territori on ens trobem, s'hi aplica:

- Reial Decret 140/2003 pel que s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua del consum humà.

Un tema concret en aquest apartat és el de la legionel·losi, aquesta és una malaltia provocada per un bacteri ambiental que es troba habitualment en les aigües superficials de llacs i rius, anomenat *Legionella*. Es coneix perquè pot arribar a colonitzar diferents sistemes

d'abastament d'aigua dels nuclis urbans i, a través de la xarxa de distribució de l'aigua, es pot presentar en sistemes d'ús habitual. Es considera que en el present projecte no entra a l'abast aquest tema, no obstant, abans de posar en funcionament es consultaran totes les legislacions i normatives a seguir del territori. En el cas de Catalunya, per exemple, l'APSCAT és l'encarregat de portar a terme diferents actuacions de prevenció de la legionel·losi i del control sanitari oficial en instal·lacions considerades de risc.

Al document número 3 Plec de Condicions, s'hi troben exposades altres condicions i normes a complir.

## ANNEX B. JUSTIFICACIÓ DELS MATERIALS

En aquest projecte, l'elecció dels materials és molt important, aquests influeixen al màxim en l'eficiència per la captació de l'energia solar i també a nivell econòmic. Aquest apartat doncs, té com a objectiu la anàlisi dels materials per a cada component per tal de trobar el que millor compleixi les condicions establertes.

### B.1 Material aïllant

Com s'ha vist a l'apartat de disseny, es dona molta importància al material que aïlla i redueix les pèrdues de calor. A la *Taula 43* s'avaluen materials aïllants juntament amb la seva conductivitat tèrmica, aquesta, com més baixa sigui, més aïllant serà.

*Taula 43. Propietats de materials aïllants*

Material	Conductivitat tèrmica [W/mK]	Calor específic [J/kg K]	Densitat [kg/m <sup>3</sup> ]
Cautxú cel·lular	0,06	1500	130
Cautxú de silicona	0,24	1300-1500	1100
Cautxú natural	0,13	1100	910
Suro	0,036 - 0,042	1880	120
Fibra de vidre	0,04	795	220
Fibra de llana/llana de roca	0,06	1300	200
Fusta (roure, pi)	0,17	2390	100-800
Metacrilat	0,18	1500	1180
Poliestirè d'espuma	0,029	1674	40
Vidre	0,81 - 1	833	2700
Rajol comú	0,38-0,52	840	1800

Dins dels materials més aïllants i econòmics, es consideren els més adequats, els marcats en gris, el suro, la fibra de vidre, fibra de llana i el poliestirè d'espuma. Aquests destaquen a més de la conductivitat tèrmica baixa, per la seva densitat així com a nivell econòmic, són molt accessibles.

Tant per la seva disponibilitat com la seva forma física per ser incorporat a l'aparell s'ha decidit que l'aïllant que s'utilitzarà serà poliestirè d'espuma o llana de roca sobretot pel tema econòmic.

## B.2 Material absorbent

Pel que fa als materials més conductors, aquests tenen el propòsit d'absorbir la calor i transmetre-la a l'aigua. Aquests són els usats com a placa absorbidora del col·lector solar i pel conjunt dessalinitzador. A la *Taula 44* es mostren les característiques per avaluar l'adequat per aquesta qüestió.

*Taula 44. Materials conductors tèrmics.*

Material	Conductivitat tèrmica [W/mK]	Calor específic [J/kg K]	Densitat [kg/m <sup>3</sup> ]
Acer	50	450	7500
Acer inoxidable	17	460	7900
Alumini	237	909	2700
Bronze	116-186	360	8700
Carboni	129	710	2267
Coure	380	389	8900
Ferro	80	473	7870
Llautó	120	394	8400
Plata	429	232	10490

En aquest cas el cost del material juga un paper molt negatiu, observem que els millors conductors tèrmics són el coure i la plata, tots ells destaquen per tenir un alt cost i per tant, s'han descartat directament i s'ha decidit treballar amb acer inoxidable i alumini.

Un altre factor a tenir en compte és les seves propietats davant de la corrosió ja que és un sistema que funciona amb aigua salada. Tot i que l'alumini té una capa passiva natural el qual li permet tenir una resistència superior a l'oxidació i a la corrosió, al estar en contacte amb aigua salada i altes temperatures es pot corroure fins arribar a presentar diferents deformacions i pèrdua de material. A la *Taula 45* es poden comparar algunes propietats.

*Taula 45. Propietats entre acer inox i alumini*

Propietat	Acer inoxidable	Alumini
Resistència a tracció	370-620 MPa	250 - 300 MPa
Mòdul d'Elasticitat	200.000 MPa	65.000 MPa
Densitat	7,85 g/cm <sup>3</sup>	2,70 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura de fusió	1.535 °C	658 °C
Coeficient de dilatació tèrmic	11 · 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	23 · 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>



Per tal de treure el màxim profit dels materials, s'ha decidit que l'alumini pot ser un bon absorbidor pel col·lector ja que aquest no ha d'estar en contacte directe amb l'aigua. No obstant, pel conjunt dessalinitzador, per poder evitar malgastaments al sistema, es considera més adient utilitzar un acer inoxidable.

Sobre aquest últim material, existeixen molts tipus i mescles segons la seva combinació de metalls. Segons la disponibilitat del mercat, els més usats són AISI 303 i 316. L'acer inoxidable de tipus AISI 303 destaca per la seva facilitat en la manipulació, en canvi, el 316 per la seva alta resistència a la corrosió i també per la seva facilitat per soldar. A la *Taula 46* es poden observar les característiques principals dels dos tipus d'inoxidables.

*Taula 46. Propietats entre acer inox*

Propietat	AISI 316	AISI 303
Resistència a tracció	540 MPa	350 MPa
Mòdul d'Elasticitat	205 MPa	250 MPa
Densitat	7,95 g/cm <sup>3</sup>	7,85 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura de fusió	1.370°C	1.455°C
Coefficient de dilatació tèrmic	17,8 · 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	17,3 · 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Coefficient de transferència de calor per convecció	58 W/m <sup>2</sup>	58 W/m <sup>2</sup>
Coefficient de conductivitat tèrmica	16,3 W/m · K <sup>-1</sup>	21 W/m · K <sup>-1</sup>

Pel nostre projecte, es proposa utilitzar el tipus 316 ja que el disseny comporta moltes soldadures, no obstant, hi ha part en que es requereix de més conductivitat, com les bases dels dipòsits dels destil·ladors, en que és recomanable utilitzar l'AISI 303. Amb tot això, no es descarta la possibilitat d'utilitzar qualsevol altre material que es trobi a l'abast amb característiques similars.

### B.3 Material per les cobertes

Tant el conjunt destil·lador com el col·lector solar contenen una placa transparent que permet l'entrada de la radiació solar i al mateix temps impedeix que s'escapi la calor, produint així un efecte hivernacle. Les propietats que han de tenir a nivell tèrmic és antireflexants per permetre el pas de la màxima radiació possible, impedir la radiació infraroja de la placa absorbidora i tenir un coeficient de conductivitat tèrmica baix per evitar pèrdues. Mecànicament també han de complir amb alguns requisits, ja que estan sotmesos a la pressió

del vent i a altres elements sòlids que poden topar amb ells degut a tempestes o a qualsevol situació. Existeixen diferents materials per aquesta funció, els considerats més aptes es mostren a la següent taula. Una possibilitat és utilitzar un plàstic però s'ha descartat ja que és molt mal conductor tèrmic.

Taula 47. Propietats materials per la coberta

Propietat	Vidre	Policarbonat
Resistència a tracció	30 - 70 MPa	55-75 MPa
Mòdul d'Elasticitat	72000 MPa	65 MPa
Densitat	2,5 g/cm <sup>3</sup>	1,2 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura de fusió	760 °C	150 °C
Coefficient de dilatació tèrmic	$9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$70 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Coefficient de conductivitat tèrmica	1,05 W/m · K <sup>-1</sup>	0,22 W/m · K <sup>-1</sup>

Els dos materials són aptes per l'ús que se'n vol fer. El vidre és un material que es pot trencar fàcilment i encara que sigui car, es pot trobar fàcilment reciclat. El policarbonat ofereix molta lleugeresa i resistència als cops, a més a més, aïlla més de l'exterior, fet que redueix al màxim les pèrdues. Amb aquests arguments, es decideix utilitzar policarbonat, no obstant, no es descarta el vidre com a material apte per la funció.

#### B.4 Material pels conductes del col·lector solar

Tal com s'ha especificat al l'apartat del disseny, el col·lector solar està compost per uns tubs els quals hi circularà aigua. Per aquests, s'han analitzat tres tipus de material, per una banda, l'alumini que és lleuger i ofereix una bona conductivitat tèrmica, per altre el coure però és molt car, i finalment una mànega de plàstic. Les propietats de cada material es poden veure a la Taula 48.

Taula 48. Materials pels conductes del col·lector.

Propietat	Alumini	Coure	Politereftalat d'etilé
Resistència a tracció	250 - 300 MPa	370-620 MPa	190 - 260 MPa
Mòdul d'Elasticitat	65.000 MPa	200.000 MPa	2420 MPa
Densitat	2,70 g/cm <sup>3</sup>	7,85 g/cm <sup>3</sup>	1,3 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura de fusió	658 °C	1.535 °C	260 °C
Coefficient de dilatació tèrmic	$23 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$20 - 80 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Coefficient de conductivitat tèrmica	209 W/m · K <sup>-1</sup>	372 W/m · K <sup>-1</sup>	0,15-0,4 W/m · K <sup>-1</sup>

Com s'esperava, s'aconsegueix un millor rendiment utilitzant un material metàl·lic, no obstant, la plàstic és un materials de fàcil disposar i de treballar. Tot i això, es prioritza l'ús d'un material més eficient, l'alumini és una bona opció, ja que el coure, com s'ha comentat anteriorment, és un material car i no interessa en aquest projecte.

## B.5 Pintura absorbent

Per tal de tenir un rendiment superior a l'esperat, s'ha plantejat l'opció d'aplicar pintura per tal d'absorbir més radiació solar. A la *Taula 49* es presenten diferents materials amb els respectius poders absorbents i emissivitats per avaluar si cal o no l'aplicació d'aquesta i quina. Cal tenir en compte que aquesta varia segons el tipus de superfície i la temperatura a la que es troben, per aquest motiu existeixen dos conceptes, el poder d'absorció de la radiació solar (a temperatura  $\approx 5000$  °C) a una temperatura ambient i per la radiació mateixa a temperatura ambient.

*Taula 49. Absorbitat dels diferents materials.*

Material	Radiació solar a una superfície a temperatura ambient	Radiació a temperatura ambient
Placa d'alumini	0,1-0,3	0,04-0,09
Plata d'acer inoxidable	0,37	0,16
Pintura blanca, brillant	0,18	0,92-0,96
Pintura negra, mate	0,97	0,96-0,98
Pintura d'alumini	0,55	0,51-0,67
Aigua	-	0,96

S'observa que és una bona opció aplicar pintura negra mate en aquelles zones en contacte directe amb la radiació solar per potenciar el seu treball. És important que aquesta pintura sigui anticalòrica per assegurar que pot suportar altes temperatures, fins a 60°C.

## B.6 Material pels dipòsits i els conductes d'aigua

Per les conduccions de l'aigua i el seu emmagatzematge, d'acord amb el disseny, es partirà de components ja fets, reciclats o comprats, que compleixin les especificacions descrites anteriorment. Es presenten opcions a l'apartat de documentació tècnica.

Aquests components seran de plàstic, no és important les seves característiques. En el cas dels dipòsits es poden utilitzar ampolles de PET reciclades.

## **B.7 Material per l'estructura de l'aparell**

L'estructura de l'aparell té la funció d'unir els diferents elements del sistema i crear un sol aparell. Un dels seus usos és suportar cada un dels components del sistema, aquest no són molt lleugers, a més a més, els dipòsit d'aigua tractada i a tractar. També s'ha de tenir en compte que ha de presentar un bon acabat, ha de ser lleugera, dins les possibilitats, i fàcil de manipular. Per aquesta funció s'han estudiat dos materials tradicionals, per una banda la fusta i per altra, un acer fàcil de soldar i unir.

Una de les característiques d'aquest component és que suporta gran esforços deguts al pes dels diferents elements, per solucionar aquest problema, s'ha optat per dissenyar un xassís fet amb perfils tubulars d'acer de 30x15mm i l'estructura exterior serà de xapa metàl·lica d'acer galvanitzat o inoxidable.

## ANNEX C. CÀLCULS DEL DISSENY

### C.1 Paràmetres de disseny i consideracions

En aquest apartat es presenten els paràmetres fixats per realitzar els càlculs de disseny, aquests es troben definits a la *Taula 50*.

*Taula 50. Paràmetres de disseny*

<b>Volum d'aigua produïda</b>	5 -10 l
<b>Volum d'aigua a tractar</b>	20 l (10l/dipòsit)
<b>Localitat de referència</b>	Catalunya - Girona

### C.2 Valors de radiació solar

El projecte no contempla un territori únic pel prototip, de manera que per estudiar el balanç d'energia i el seu rendiment s'utilitza com a referència la radiació solar a Girona. D'acord amb l'Atlas de radiació solar a Catalunya (Edició 2000) les dades de la radiació solar a Girona són les presentades a les taules següent. En aquestes es mostren els valors relacionats amb les inclinacions més importants pel projecte, d'entre 15° i 40°.

La radiació solar global diària (MJ/m<sup>2</sup>/dia) sobre superfícies inclinades a Girona són:

*Taula 51. Radiació solar global diària sobre superfícies inclinades (MJ/m<sup>2</sup>/dia). Estació Girona*

Angle	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Any
15°	9,46	12,09	15,7	19,26	21,71	22,79	22,26	20,16	16,91	1.,09	9,96	8,58	16,02
20°	10,24	12,8	16,26	19,52	21,64	22,56	22,11	20,32	17,36	13,73	10,71	9,36	16,4
25°	10,96	13,44	16,71	19,69	21,5	22,2	21,85	20,36	17,7	14,29	11,39	10,08	16,7
30°	11,61	14,0	17,07	19,73	21,24	21,79	21,51	20,28	17,94	14,76	11,99	10,74	16,9
35°	12,19	14,46	17,32	19,66	20,86	21,25	21,05	20,08	18,06	15,14	12,52	11,33	17,0
40°	12,68	14,84	17,47	19,46	20,35	20,59	20,46	19,76	18,08	15,43	12,97	11,84	17,0

La documentació de referència també conté la radiació solar global horària sobre les superfícies inclinades (kJ/m<sup>2</sup>) de l'estació de Girona. En aquest cas, estudiem la radiació en les inclinacions de 30°, el qual és un dels més efectius.

Taula 52. Radiació solar global horària sobre superfícies inclinades (kJ/m<sup>2</sup>). Estació Girona

Inclinació: 30°. Orientació: 0°																	
Mes	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	Total
Gen	0	0	0	222	752	1257	1671	1904	1904	1671	1257	752	222	0	0	0	11612
Feb	0	0	0	437	967	1498	1928	2168	2168	1928	1498	967	437	0	0	0	13995
Mar	0	0	173	668	1233	1782	2219	2461	2461	2219	1782	1233	668	173	0	0	17072
Abr	0	16	358	888	1468	2015	2443	2679	2679	2443	2015	1468	888	358	16	0	19735
Mai	0	102	492	1029	1597	2122	2528	2750	2750	2528	2122	1597	1029	492	102	0	21242
Jun	0	138	552	1087	1645	2156	2548	2769	2769	2548	2156	1645	1087	552	138	0	21791
Jul	0	121	523	1059	1621	2137	2535	2761	2761	2535	2137	1621	1059	523	121	0	21514
Agò	0	54	413	944	1516	2051	2468	2696	2696	2468	2051	1516	944	413	54	0	20284
Set	0	0	246	748	1314	1856	2285	2521	2521	2285	1856	1314	748	246	0	0	17939
Oct	0	0	0	512	1048	1578	2003	2240	2240	2003	1578	1048	512	0	0	0	14762
Nov	0	0	0	284	792	1292	1700	1929	1929	1700	1292	792	284	0	0	0	11992
Des	0	0	0	154	677	1168	1572	1800	1800	1572	1168	677	154	0	0	0	10739

D'acord amb les dades exposades, pels càlculs s'utilitzarà el valor de la radiació solar mitjana per a un superfície amb una inclinació de 30°:

$$I_t = 16,9 \frac{MJ}{m^2} \cdot \frac{1MJ}{1 W \cdot s} \cdot \frac{1h}{3600 s} = 4700 \frac{Wh}{m^2} / dia \quad (\text{Eq. 59})$$

### C.3 Càlculs conjunt dessalinitzador MED

En aquest sistema s'han establert diferents condicions, les quals es troben descrites a la següent taula.

Taula 53. Paràmetres imposats dessalinitzadora

Àrea	0,35 m <sup>2</sup>
Dimensions	0,7 x 0,5 m
Etapas	2
Material coberta	Policarbonat
Material estructura	Acer inoxidable

#### C.3.1 Angle d'inclinació superfície de condensació

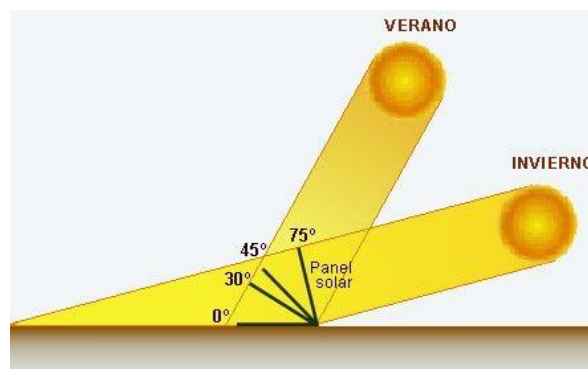
S'ha observat que un dels problemes de les dessalinitzadores és la recollida de l'aigua condensada. Degut a la tensió superficial de les gotes i a la força de gravetat alguns destil·ladors solars tenen problemes en agafar tota les gotes d'aigua, molts cops aquestes cauen abans d'arribar al recol·lector, per aquest motiu s'ha considerat molt important respectar aquest angle d'inclinació. D'acord amb Urresta (2013) la inclinació ha de ser de mínim 15°.

Aquesta ens determinarà una mica el disseny de les etapes del destil·lador.

### C.3.2 Angle d'inclinació de la coberta

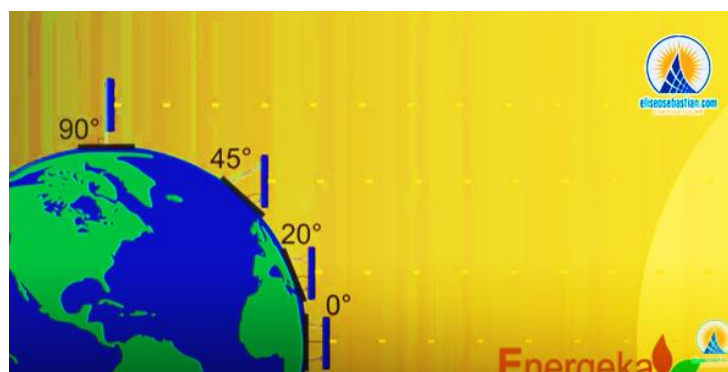
La coberta de la torre de destil·lació és una superfície per la qual interessa absorbir la màxima radiació solar possible, per aquest motiu és important dissenyar-la amb un angle d'inclinació ben estudiat. S'ha avaluat la possibilitat de fer una estructura per modificar aquest angle, però suposaria molt de treball i pèrdues pel sistema que no val la pena assumir, per aquest motiu, es proposa dissenyar la coberta amb un angle mitjà.

Entre els factors que influeixen en l'angle d'inclinació hi ha les estacions de l'any. Entre l'òrbita del sol durant l'estiu i la que hi ha a l'hivern hi ha molta diferència. Aquesta es pot observar fàcilment a la *Figura 97*.



*Figura 97. Inclinació panells segons estació (tutiendaenergetica.es, 2020)*

No obstant, existeixen altres factors, un d'ells és la zona on ens trobem, és a dir, segons la latitud on ens trobem. A la *Figura 98* es pot observar aquest fenomen fàcilment,



*Figura 98. Inclinació panell segons latitud (Eliseo Sebastian, 2020)*

D'acord amb aquestes dades, s'opta per un angle d'entre 25 i 30°.

#### C.4 Càlcul col·lector solar

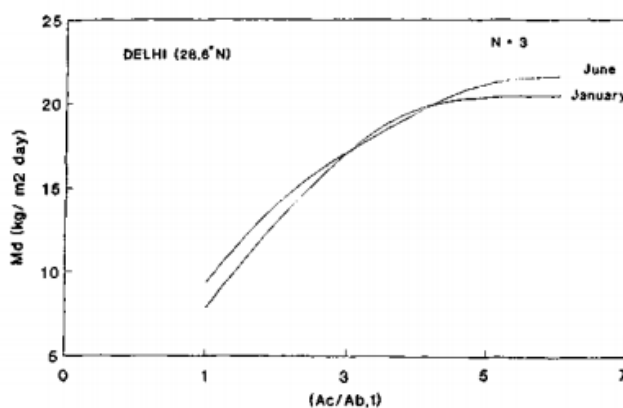
El col·lector solar és un element clau en el sistema, és el que absorbirà la major part de la calor. Aquest ha estat dissenyat d'acord amb les condicions que exposa Pilatowsky al seu estudi sobre dissenys d'instal·lacions solars. En aquest sistema s'han establert diferents condicions, les quals es troben descrites a la *Taula 54*.

*Taula 54. Paràmetres imposats col·lector solar*

<b>Volum d'aigua a tractar</b>	5 litres
<b>Angle amb la superfície</b>	20-25° respecte la horitzontal
<b>Dimensions</b>	1,25 m <sup>2</sup>
<b>Material coberta</b>	Policarbonat
<b>Material absorbidor</b>	Alumini

##### C.4.1 Àrea del col·lector

L'àrea del col·lector solar es calcularà imposant les condicions analitzades per Adhikari R.C. i Kumar Ashivini (1993). D'acord amb el seu estudi, existeix una relació entre l'àrea del col·lector solar i l'àrea de les etapes de la torre. Aquesta relació permet optimitzar la producció, com més petita és l'àrea de les etapes, la producció d'aigua destil·lada incrementa, fins a un punt que la relació es torna constant. Es pot observar a la *Figura 99*. Aquest estudi està realitzat per una torre de 3 etapes, tot i això, considerem que és una bona aproximació pel model.



*Figura 99. Relació entre la producció d'aigua i les àrees del col·lector i les etapes. (Adhikari et al. 1993).*



Amb la *Figura 99* s'ha decidit que per optimitzar el sistema la relació  $A_c/A_b$  serà de 3,5, per tant, com que s'ha imposat l'àrea de les etapes a 0,35 m<sup>2</sup>, la del col·lector serà,

$$\frac{A_c}{A_b} = 3,5 \rightarrow A_c = 3,5 \cdot 0,35 = 1,2 \text{ m}^2 \quad (\text{Eq. 60})$$

#### C.4.2 Capacitat de producció

Aquest apartat té l'objectiu de calcular de manera teòrica la capacitat d'aigua que pot arribar a escalfar el col·lector solar. Per fer-ho es resoldrà l'equació 61.

$$m_e = 0,80 \cdot \frac{Q_u \cdot \eta \cdot COP}{h_{fg}} \quad (\text{Eq. 61})$$

On:

$h$  és l'entalpia de la primera etapa de la dessalinitzadora, per l'aigua és 2390 kJ).

$COP$  és el Coeficient de Rendiment del conjunt. Segons Sayigh AAM,  $COP=0,8 \cdot \text{núm d'etapes}$ .

$Q$  és l'energia subministrada pel col·lector durant un dia d'operació [J].

$\eta$  és l'eficiència de la primera etapa del dessalinitzador.

A l'equació hi figura un 0,8 el qual es correspon al factor de correcció proposat per Schwarzer et al. degut al tractament d'aigua de mar en compte de dolça, això fa que es redueixi la producció un 20%. A continuació es procedeix a calcular els altres valors.

En primer lloc, es calcularà l'energia que subministra el col·lector solar,

$$Q_u = \eta_c \cdot I_t \cdot A_c \quad (\text{Eq. 62})$$

On:

$A_c$  és l'àrea assignada pel col·lector solar.

$G_c$  és la radiació solar horària.

$\eta_c$  és el rendiment del col·lector.

Per calcular el rendiment de la primera etapa del destil·lador, aquest es calcularà a partir del rendiment del col·lector solar, el qual, d'acord amb l'estudi realitzat per Kalogirou Soteris A. Segueix una corba de rendiment que segueix la següent regressió,

$$\eta_c = 0,792 - 6,65 \cdot \frac{(T_e - T_a)}{G_c} - 0,06 \cdot \frac{(T_e - T_a)^2}{G_c} \quad (\text{Eq. 63})$$

On:

$T_e$  és la temperatura de l'aigua d'entrada al col·lector i del dipòsit del dessalinitzador.

$T_a$  és la temperatura ambient.

$G_c$  és la radiació solar horària en W/m<sup>2</sup>.

Per utilitzar l'equació de Kalogirou cal establir diferents paràmetres. El valor de la radiació solar horària s'extreu de les dades de l'apartat C.2. En aquestes s'ha establert una mitjana de radiació solar de 4.700 Wh/m<sup>2</sup> per dia i s'observa una mitjana de 6 hores/dia de llum solar per subministra energia, amb tot això,

$$I_{t\_hora} = \frac{4700 \frac{Wh}{m^2}}{dia} \cdot \frac{1 dia}{6h} = 785 \frac{W}{m^2} \quad (\text{Eq. 64})$$

Referent a la temperatura, com a temperatura ambient, es preveu una mitjana de 25°C i la temperatura del dipòsit principal dessalinitzador, aquesta s'agafa la mitjana entre la temperatura que s'espera tenir al principi del procés i al final, d'acord amb les fonts bibliogràfiques, això seria entre 40°C i 70°C, és a dir, 55°C. Amb aquests valors, el rendiment teòric és,

$$\eta_c = \eta = 0,792 - 6,65 \cdot \frac{(55 - 25)}{785} - 0,06 \cdot \frac{(55 - 25)^2}{785} = 0,7 \quad (\text{Eq. 65})$$

Per tant, l'energia és,

$$Q_u = 0,7 \cdot \frac{785W}{h m^2} \cdot 1,25m^2 \cdot \frac{3600s}{1 h} \cdot \frac{6h}{dia} = 14.836,5 kJ \quad (\text{Eq. 66})$$

Per últim cal establir un valor per l'eficiència de la primera etapa de la dessalinitzadora, aquest és un valor complex de calcular, per aquest motiu es basa en fonts bibliogràfiques, i es considera del 60%.

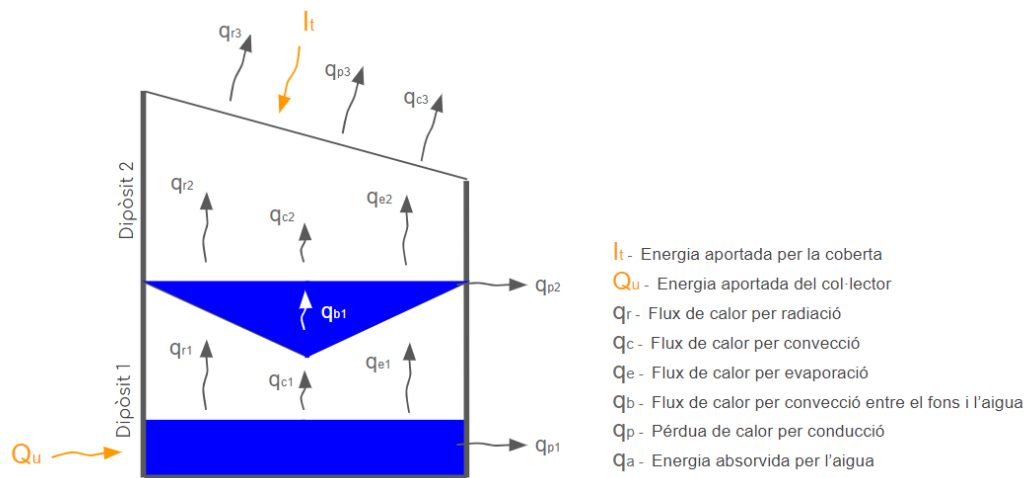
$$m_e = 0,8 \cdot \frac{14.836,5 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 1,6}{2390 \cdot 10^3} = 4,75 kg \quad (\text{Eq. 67})$$

L'objectiu definit és de 5 l d'aigua, de manera que aquest col·lector hauria de ser superior, per tant, per tenir una millor eficiència es proposar augmentar les dimensions del col·lector fins a 1,5m<sup>2</sup>. No obstant, en aquest projecte es considera suficient.

## C.5 Balanç d'energia del sistema

El sistema es basa en la transferència de calor, tant per convecció, radiació i evaporació entre fluids i materials. En el cas de la tecnologia MED són la convecció i la radiació els mitjans

d'aportació de calor, així com la conducció és la responsable de les pèrdues. A la *Figura 100* queda representat un esquema dels fluxos de calor presents.

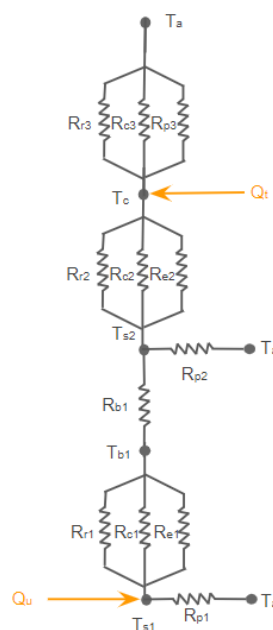


*Figura 100. Fluxos de calor del conjunt dessalinitzador.*

Aquest apartat pretén avaluar els balanços d'energia de cada etapa. Per tal de simplificar el sistema s'han aplicat diferents condicions:

- La temperatura de l'aigua condensada que surt del sistema és la mateixa.
- La massa d'aigua és constant.
- No es considera l'increment de temperatura per unitat de temps.

Amb tot això, el circuit tèrmic es pot simplificar segons la *figura 101*.



*Figura 101. Resistències tèrmiques del dessalinitzador.*

### C.5.1 Balanç d'energia per a cada zona

#### 1. Balanç d'energia de l'aigua del dipòsit 1

En el primer dipòsit el balanç es defineix,

$$m_{s1} \cdot C_{ps} \cdot \frac{dT_{s1}}{dt} = Q_u - q_{r1} - q_{c1} - q_{e1} - q_{p1} - m_{d1} \cdot h_{fg1} \quad (\text{Eq. 68})$$

On:

$m_s$  és la massa d'aigua salina.

$M_d$  és la massa d'aigua destil·lada.

$C_p$  és el calor específic de l'aigua ( $J/kg^\circ C$ ).

$T_{s1}$  és la temperatura de l'aigua del dipòsit 1.

#### 2. Balanç d'energia de la superfície entre el dipòsit 1 i 2

El fons del segon dipòsit és la superfície que té com a objectiu transmetre la calor produïda en el primer dipòsit al segon.

$$m_{b1} \cdot C_{pb} \cdot \frac{dT_b}{dt} = q_{r1} + q_{c1} + q_{e1} - q_{b1} \quad (\text{Eq. 69})$$

On:

$m_b$  és la massa del fons del dipòsit.

$C_{pb}$  és el calor específic del material del dipòsit ( $J/kg^\circ C$ ).

$T_b$  és la temperatura del material del dipòsit 1.

#### 3. Balanç d'energia de l'aigua del dipòsit 2

De la mateixa manera que s'ha realitzat amb el primer dipòsit, es planteja el segon,

$$m_{s2} \cdot C_{ps} \cdot \frac{dT_{s2}}{dt} = q_{b1} + Q_t \cdot \alpha_Q - q_{r2} - q_{c2} - q_{e2} - q_{p2} - m_{d2} \cdot h_{fg2} \quad (\text{Eq. 70})$$

On:

$T_{s2}$  és la temperatura de l'aigua del dipòsit 2.

#### 4. Balanç d'energia de la coberta

En el primer dipòsit el balanç es defineix,

$$m_c \cdot C_{pc} \cdot \frac{dT_c}{dt} = q_{r2} + q_{c2} + q_{e2} + Q_t - q_{r3} - q_{c3} \quad (\text{Eq. 71})$$

On:

$m_c$  és la massa de la coberta.

$C_{pc}$  és el calor específic del material de la coberta.

$Q_t$  és l'energia que prové de la radiació solar.

$T_c$  és la temperatura de la coberta

### C.5.2 Fluxos de calor de la dessalinitzadora

Per tal de fer una simulació del rendiment del sistema s'han establert diferents paràmetres físics i segons el disseny. Tots aquests valors es troben definits a la *Taula 55*.

*Taula 55. Valors inicials*

Paràmetre	Símbol	Valor
Constant Stefan-Boltzmann	$\sigma$	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
Absortivitat de la coberta	$\alpha_t$	0,9
Absortivitat de l'aigua	$\alpha_s$	0,96
Transmissivitat solar de la coberta	$\tau_t$	0,8
Emissivitat de l'aigua	$\varepsilon_s$	0,96
Emissivitat de l'acer inoxidable	$\varepsilon_b$	0,35
Emissivitat de la coberta	$\varepsilon_c$	0,92
Acceleració de la gravetat	g	$9,8 \text{ m/s}^2$
Densitat de l'aigua	$\rho_a$	$1000 \text{ kg/m}^3$
Densitat de l'acer inoxidable	$\rho_{inox}$	$7950 \text{ kg/m}^3$
Densitat del policarbonat	$\rho_c$	$1200 \text{ kg/m}^3$
Calor específic de l'aigua	$C_{ps}$	$4186 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
Calor específic de l'acer inoxidable	$C_{pb}$	$4179 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
Calor específic de la coberta	$C_{pc}$	$1200 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
Conductivitat tèrmica de l'aïllant	$k_{af}$	$0,03 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
Conductivitat tèrmica de policarbonat	$k_{af}$	$0,2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
Gruix aïllant	$L_a$	0,025 m
Constant universal dels gasos	R	8,31447 kJ/kmol · K
Constants del coeficient de transferència de calor per convecció entre l'aigua i els dipòsits	C n	0,07 0,33
Número Prandtl de l'aire	Pr	0,703 (T=50°C)
Pes molecular de l'aigua	Ms	18,02
Pes molecular de l'aire	Ma	28,97
Pressió total o atmosfèrica	P	$101325 \text{ N/m}^2$
Massa d'aigua del dipòsit 1	$m_{s1}$	5 kg
Massa del fons del dipòsit 2	$m_{b1}$	1,4 kg
Massa de l'aigua del dipòsit 2	$m_{s2}$	5 kg
Massa de la coberta	$m_c$	0,9 kg
Distància entre la superfície de l'aigua del dipòsit 1 al fons del dipòsit 2	x1	0,15 m
Distància entre la superfície de l'aigua del dipòsit 2 a la coberta	x2	0,25 m
Àrea parets dipòsit 1	$A_{p1}$	$0,56 \text{ m}^2$
Àrea parets dipòsit 2	$A_{p2}$	$0,51 \text{ m}^2$
Àrea fons dipòsit 2	$A_{b1}$	$0,36 \text{ m}^2$
Àrea base aigua del dipòsit 1	$A_{s1}$	$0,35 \text{ m}^2$

Paràmetre	Símbol	Valor
Àrea base aigua del dipòsit 2	$A_{s2}$	$0,35 \text{ m}^2$
Àrea de la coberta	$A_c$	$0,38 \text{ m}^2$
Altura de la coberta al terra	$z_t$	$0,75 \text{ m}$

Per un model més exacte s'aplicaran les propietats físiques de l'aire humit segons la temperatura mitjana de l'aire (T),

Taula 56. Propietats físiques de l'aire humit (Tiwari G. et al. 2008)

Propietat	Símbol	Valor
Calor específic	$C_p$	$999,2 + 0,1434 \cdot T + 1,101 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 6,7581 \cdot 10^{-8} \cdot T^3$
Densitat	$\rho$	$353,44 / (T + 273,15)$
Conductivitat tèrmica	$k$	$0,0244 + 0,7673 \cdot 10^{-4} \cdot T$
Viscositat dinàmica	$\mu$	$1,718 \cdot 10^{-5} + 4,62 \cdot 10^{-8} \cdot T$
Coefficient d'expansió tèrmica volumètrica	$\beta$	$1 / (T + 273,15)$

Amb tots aquests valors inicials procedim a plantejar els fluxos de massa i energia de cada part del conjunt i així avaluar el sistema.

a. Flux de calor per radiació del dipòsit 1

Seguint les indicacions de l'apartat 6.2 de la memòria, aquest flux es defineix,

$$q_{r1} = \frac{A_{s1} \cdot \sigma \cdot [(T_{s1} + 273)^4 - (T_{b1} + 273)^4]}{\frac{1}{\varepsilon_s} + \frac{1}{\varepsilon_b} - 1} \quad [W] \quad (\text{Eq. 72})$$

b. Flux de calor per convecció de l'aigua del dipòsit 1

En aquest flux s'estableix amb la següent equació,

$$q_{c1} = A_{s1} \cdot h_{c1} \cdot (T_{s1} - T_{b1}) [W] \quad (\text{Eq. 73})$$

En aquest és important definir  $h_c$  que és el coeficient de transferència per convecció. D'acord amb l'apartat corresponent de la memòria, aquest es troba mitjançant la formula,

$$h_c = \frac{C \cdot (Gr \cdot Pr)^n \cdot k_1}{x_1} \quad [W/m^2K] \quad (\text{Eq. 74})$$

On:

$Gr$  és el número de Grashof. Aquest defineix aproximadament els valors de  $C$  i  $n$ .

$Pr$  és el número de Prandtl de l'aire humit ( $Pr=0,703$ ).

$k$  és la conductivitat tèrmica de l'aire humit.

$x$  és la distància entre la superfície de l'aigua i el fons del diposit de sobre.

En primer lloc, definim el paràmetre  $k$  que varia segons la temperatura,

$$k_1 = 0,0244 + 3,8356 \cdot 10^{-5} \cdot (T_{s1} + T_{b1}) \quad (\text{Eq. 75})$$

D'acord amb els valors aportats per McAdams (1954), hi ha una gran relació entre les constants  $C$  i  $n$  amb el número de Grashof,

$$\begin{aligned} Gr < 10^4 &\rightarrow C = 1, n = 0 \\ 10^4 < Gr < 3,2 \cdot 10^5 &\rightarrow C = 0,021 \text{ i } n = 0,25 \\ 3,2 \cdot 10^5 < Gr < 10^7 &\rightarrow C = 0,075 \text{ i } n = 0,33 \end{aligned} \quad (\text{Eq. 76})$$

El número de Grasoft és el que té més paràmetres a calcular,

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot x_1^3 \cdot \rho_1^2}{\mu_1^2} \quad (\text{Eq. 77})$$

On:

$$\mu_1 = 1,1718 \cdot 10^{-5} + 2,31 \cdot 10^{-8} \cdot (T_{s1} + T_{b1})$$

$$\rho_1 = \frac{501.18}{T_{s1} + T_{b1} + 546}$$

Pel que fa al factor  $\beta \cdot \Delta T$ , per tenir en compte la variació de la humitat de l'aire durant el seu procés de dessalinització, es calcula

$$\begin{aligned} \beta \cdot \Delta T' &= \left[ \frac{T_{s1} - T_{b1}}{T_{b1} + 273} + \frac{P_{s1} - P_{b1}}{\frac{M_a}{M_a - M_s} \cdot P_0 - P_{s1}} \cdot \frac{T_{s1} + 273}{T_{b1} + 273} \right] \\ \beta \cdot \Delta T' &= \left[ \frac{T_{s1} - T_{b1}}{T_{b1} + 273} + \frac{e^{\left[25,317 - \frac{5144}{T_{s1} + 273}\right]} - e^{\left[25,317 - \frac{5144}{T_{b1} + 273}\right]}}{\frac{M_a}{M_a - M_s} \cdot P_0 - e^{\left[25,317 - \frac{5144}{T_{s1} + 273}\right]}} \cdot \frac{T_{s1} + 273}{T_{b1} + 273} \right] \end{aligned} \quad (\text{Eq. 78})$$

Unint les equacions i tenint en compte el que s'ha explicat a l'apartat de la memòria,

$$\begin{aligned} Gr \cdot Pr &= Ra \\ Ra_1 &= \frac{\left[ \frac{T_{s1} - T_{b1}}{T_{b1} + 273} + \frac{e^{\left[25,317 - \frac{5144}{T_{s1} + 273}\right]} - e^{\left[25,317 - \frac{5144}{T_{b1} + 273}\right]}}{\frac{M_a}{M_a - M_s} \cdot P_0 - e^{\left[25,317 - \frac{5144}{T_{s1} + 273}\right]}} \cdot \frac{T_{s1} + 273}{T_{b1} + 273} \right] \cdot \left[ \frac{706,88}{T_{s1} + T_{b1} + 546} \right]^2 \cdot 0,023}{(1,1718 \cdot 10^{-5} + 2,31 \cdot 10^{-8} \cdot (T_{s1} + T_{b1}))^2} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 79})$$

Substituint a la  $h_c$  i considerant que  $C=0,75$  i  $n=1/3$ ,

$$h_{c1} = \frac{C \cdot Ra_1^n \cdot (0,0244 + 3,8356 \cdot 10^{-5} \cdot (T_{s1} + T_{b1}))}{x_1} \quad [W/m^2K] \quad (\text{Eq. 80})$$

Per tant,

$$q_{c1} = 0,5 \cdot h_{c1} \cdot (T_{s1} - T_{b1}) \quad [W]$$

**c. Flux de calor per evaporació del dipòsit 1**

D'acord amb l'apartat 6.2 de càlculs termodinàmics, aquest flux és,

$$q_{e1} = 0,013 \cdot A_{s1} \cdot h_{c1} \cdot (P_{s1} - P_{b1}) \quad [W] \quad (\text{Eq. 81})$$

En aquest cas, el coeficient per convenció serà el mateix trobat anteriorment.

**d. Flux de calor perdut per conducció del material del dipòsit 1**

Aquesta pèrdua ve provocada pel material del dipòsit tant les parets com la base, en aquest punt importaran totes les capes d'aïllant que conté i de material,

$$q_{p1} = \frac{k_a \cdot A_t \cdot (T_{s1} - T_a)}{L_a} \quad [W] \quad (\text{Eq. 82})$$

**e. Massa d'aigua destil·lada produïda pel dipòsit 1**

Amb totes les dades calculades anteriorment, la massa d'aigua resulta,

$$m_{d1} = \frac{1,60 \cdot 10^9 \cdot A_{s1} \cdot h_{c1} \cdot (P_{s1} - P_{b1})}{h_{fg}} \quad [kg] \quad (\text{Eq. 83})$$

On l'entalpia d'evaporació es pot aproximar:

$$h_{fg} = -1,4952 \cdot 10^{-3} \cdot (T_{s1} + T_{b1})^3 + 0,0818 \cdot (T_{s1} + T_{b1})^2 - 1181,644 \cdot (T_{s1} + T_{b1}) + 2,4935 \cdot 10^6 \quad \left[\frac{J}{kg}\right]$$

Un cop plantejades les equacions pel primer dipòsit, procedim a fer-ho pel segon, tenint en compte que aquest es troba directament en contacte amb la coberta transparent.

**a. Flux de calor per convecció entre el fons i l'aigua del dipòsit 2**

En primer lloc cal trobar l'energia que es transmet del primer dipòsit al segon, aquesta es realitza a través de la següent equació,



$$q_{b1} = A_{b1} \cdot h_{b1} \cdot (T_{b1} - T_{s2}) \quad [W] \quad (\text{Eq. 84})$$

Pel càlcul del coeficient de convecció s'estableix,

$$h_{b1} = 0,15 \cdot k_{s2}^{2/3} \cdot \left[ \frac{g \cdot \beta_{s2} \cdot (T_{b1} - T_{s2}) \cdot \rho_{s2}^2 \cdot C_{pb}}{\mu_{s1}} \right]^{1/3} \quad \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (\text{Eq. 85})$$

On, d'acord amb les taules de Incropera et al. 1999:

$$k_{s2} = -1,85 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{s2} + T_{b1})^2 + 9,2265 \cdot 10^{-4} \cdot (T_{s2} + T_{b1}) + 0,56939$$

$$\beta_{s2} = 7,5 \cdot 10^{-11} \cdot (T_{s2} + T_{b1})^3 - 3,26 \cdot 10^{-8} \cdot (T_{s2} + T_{b1})^2 + 7,5855 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{s2} + T_{b1}) - 4,9548 \cdot 10^{-5}$$

$$\mu_{s2} = 2,394 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{\left( \frac{496,74}{T_{s2} + T_{b1} + 266,3} \right)}$$

$$\rho_2 = \frac{501,18}{T_{s2} + T_{b1} + 546}$$

Per tant,

$$q_{b1} = 0,0525 \cdot k_{s2}^{2/3} \cdot \left[ \frac{\beta_{s2} \cdot (T_{b1} - T_{s2}) \cdot \rho_{s2}^2 \cdot 460}{\mu_{s1}} \right]^{1/3} \cdot (T_{b1} - T_{s2}) \quad [W] \quad (\text{Eq. 86})$$

#### b. Flux de calor per radiació del dipòsit 2

Procedim a calcular el flux per radiació amb la coberta de la mateixa manera que s'ha fet en el dipòsit 1,

$$q_{r2} = \frac{A_{s2} \cdot \sigma \cdot [(T_{s2} + 273)^4 - (T_c + 273)^4]}{\frac{1}{\varepsilon_s} - \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (\text{Eq. 87})$$

#### c. Flux de calor per convecció de l'aigua del dipòsit 2

El flux de calor per convecció del segon dipòsit es calcula de la següent manera,

$$q_{c2} = A_{s2} \cdot h_{c2} \cdot (T_{s2} - T_c) \quad (\text{Eq. 88})$$

Seguint el procediment anterior, cal trobar Ra<sub>2</sub>,

$$Ra_2 = \frac{\left[ \frac{T_{s2} - T_c}{T_c + 273} + \frac{e^{\left[ \frac{25,317 - 5144}{T_{s2} + 273} \right]} - e^{\left[ \frac{25,317 - 5144}{T_c + 273} \right]}}{\frac{M_a}{M_a - M_s} \cdot P_0 - e^{\left[ \frac{25,317 - 5144}{T_{s2} + 273} \right]}} \cdot \frac{T_{s2} + 273}{T_{b1} + 273} \right] \cdot \left[ \frac{706,88}{T_{s2} + T_c + 546} \right]^2 \cdot 0,11}{(1,1718 \cdot 10^{-5} + 2,31 \cdot 10^{-8} \cdot (T_{s1} + T_{b1}))^2} \quad (\text{Eq. 89})$$

Així  $h_{c2}$  resulta,

$$h_{c2} = \frac{C \cdot Ra_2^n \cdot (0,0244 + 3,8356 \cdot 10^{-5} \cdot (T_{s2} + T_c))}{x_2} \quad (\text{Eq. 90})$$

Substituint tots els valors que tenim inicialment, el flux de calor per convecció és,

$$q_{c2} = 0,3 \cdot Ra_2^{1/3} \cdot (0,0244 + 3,8356 \cdot 10^{-5} \cdot (T_{s2} + T_c)) \cdot (T_{s2} - T_c) \quad [W]$$

d. **Flux de calor per evaporació del dipòsit 2**

La calor d'evaporació es planteja igual,

$$q_{e2} = 0,013 \cdot A_{s1} \cdot h_{c2} \cdot (P_{s2} - P_c) \quad [W] \quad (\text{Eq. 91})$$

e. **Flux de calor perdut per conducció del material del dipòsit 2**

En aquest cas, les pèrdues per conducció només venen provocades per les parets del dipòsit, la coberta es calcula més endavant,

$$q_{p2} = \frac{k_a \cdot A_{t2} \cdot (T_{s2} - T_a)}{L_a} \quad [W] \quad (\text{Eq. 92})$$

f. **Energia que absorbeix el dipòsit 2 de la coberta**

En aquest punt, a més d'obtenir energia del dipòsit inferior, també en rep de la coberta, per aquest motiu s'ha decidit deixar-la transparent. Aquesta depèn de la transmissivitat solar de la coberta i de l'absorbitat de l'aigua.

$$q_{t2} = I_t \cdot \alpha_s \cdot \tau_c \cdot A_{s2} \quad [W] \quad (\text{Eq. 93})$$

Tal com queda mostrat a l'esquema de fluxos, a la coberta s'hi produeix una entrada de radiació solar, així com pèrdues per radiació i convecció. Aquestes queden reflectides a continuació,

a. **Flux de calor per radiació entre coberta i ambient**

Pel càlcul de la radiació és important tenir en compte el material de la coberta, en aquest cas és policarbonat.

$$(\text{Eq. 94})$$

**b. Flux de calor per convecció entre coberta i ambient**

En aquest cas, es calcula el flux de calor per convecció a partir de la fórmula,

$$q_{c3} = A_c \cdot h_{c3} \cdot (T_c - T_a) \quad [W] \quad (\text{Eq. 95})$$

Tal com s'ha explicat a la memòria, el coeficient de transferència de calor per convecció es calcula a partir de la velocitat del vent.

$$h_{c3} = 2,6 + 3 \cdot v_t \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (\text{Eq. 96})$$

**c. Energia rebuda per radiació solar incident**

Per últim, l'energia que es rep des de la coberta, s'aproxima de la següent manera,

$$Q_t = I_t \cdot \alpha_c \cdot A_c \quad [W] \quad (\text{Eq. 97})$$

On:

$I_t$  és la radiació solar incident sobre la coberta ( $W/m^2$ )

$\alpha_c$  és l'absorbat solar de la coberta.

**C.5.3 Càlcul de fluxos**

Per tal de simplificar el sistema anterior i avaluar el rendiment del disseny proposat s'ha establert diferents valors a les temperatures i els respectius valors de pressió i entalpia segons les taules de vapor. Aquests valors han estat obtinguts a partir de l'assaig experimentat descrit a la memòria i d'altres d'aproximacions.

Taula 57. Valors imposats.

Paràmetre	Temp. [°C]	Pressió de vapor [Pa]	Entalpia vaporització [kJ/kg]
T <sub>b0</sub> Temperatura base dipòsit 1	27	3.567	-
T <sub>s1</sub> Temperatura aigua dipòsit 1	55	15.764	2370,55
T <sub>b1</sub> Temperatura base dipòsit 2	30	4.245	-
T <sub>s2</sub> Temperatura aigua dipòsit 2	45	9.589	2392,80
T <sub>c</sub> Temperatura coberta	35	5.626	-
T <sub>a</sub> Temperatura ambient	25	-	-

El plantejament d'aquests càlculs ha estat un balanç d'energia de tot el conjunt, avaluant l'energia absorbida per a cada part i l'energia requerida per escalfar-ho, d'aquesta manera, es trobarà l'energia residual del sistema destinada a l'evaporació de l'aigua.

$$Q_{total. absorbida} - Q_{total. requerida} = Q_{evaporació. aigua} \quad (\text{Eq. 98})$$

Per tal d'avaluar aquesta energia, cal calcular cada un dels fluxos definits als apartats anteriors.

En primer lloc calculem les pèrdues per conducció de les parets de cada dipòsit considerant la conducció tèrmica de l'Aïllant i la coberta, del policarbonat, d'acord amb l'equació 27.

$$q_{p1} = \frac{k_a \cdot (T_{s1} - T_a)}{L_a} = \frac{0,03 \cdot ((273 + 55) - (273 + 25))}{0,025} = \frac{36W}{m^2}$$

$$q_{p2} = \frac{k_a \cdot (T_{s2} - T_a)}{L_a} = \frac{0,03 \cdot ((273 + 45) - (273 + 25))}{0,025} = 24W/m^2$$

$$q_{pc} = \frac{k_a \cdot (T_c - T_a)}{L_a} = \frac{0,2 \cdot ((273 + 35) - (273 + 25))}{0,005} = 400W/m^2$$

Procedim a calcular els fluxos de radiació d'acord amb l'equació 37.

$$q_{r1} = \frac{\sigma \cdot [(T_{s1} + 273)^4 - (T_{b1} + 273)^4]}{\frac{1}{\varepsilon_s} + \frac{1}{\varepsilon_b} - 1} = \frac{\sigma \cdot [(55 + 273)^4 - (30 + 273)^4]}{\frac{1}{0,96} + \frac{1}{0,35} - 1} = 60,5 W/m^2$$

$$q_{r2} = \frac{\sigma \cdot [(T_{s2} + 273)^4 - (T_c + 273)^4]}{\frac{1}{\varepsilon_s} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} = \frac{\sigma \cdot [(45 + 273)^4 - (35 + 273)^4]}{\frac{1}{0,96} + \frac{1}{0,92} - 1} = 61,6 W/m^2$$

Per la coberta cal calcular la temperatura del cel a partir del càlcul de la temperatura de rosada considerant una humitat relativa (H) de 21,4%.

$$T_{rd} = \sqrt[8]{\frac{H}{100} \cdot (110 + T_a) - 100} = \sqrt[8]{\frac{21,4}{100} \cdot (110 + 25) - 100} = 1,07^\circ C$$

Aleshores,

$$T_{cel} = (T_a + 273) \cdot \left[ 0,8 + \frac{(T_{dr} + 273) - 273}{250} \right]^{0,25} = 298 \cdot \left[ 0,8 + \frac{1,07}{250} \right]^{0,25} = 282,2 K$$

$$q_{r3} = \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot [(T_c + 273)^4 - (T_{cel} + 273)^4] = 0,92 \cdot \sigma \cdot [(35 + 273)^4 - (282,2)^4] = 138,6 W/m^2$$

Pels càlculs de convecció, segons la zona es calcula l'entalpia corresponent. Per la coberta,

$$h_{c3} = 2,8 + 3 \cdot v = 2,8 + 3 \cdot 2,5 = 10,3 W/m^2 K$$

$$q_{c3} = h_{c3} \cdot ((T_c + 273) - (T_a + 273)) = 10,3 \cdot ((35 + 273) - (25 + 273)) = 103,3W/m^2$$

L'entalpia per la convecció del fons es calcula mitjançant l'equació 85.

$$k_{s2} = 0,72 ;$$

$$\beta_{s2} = 0,01 ;$$

$$\mu_{s2} = 8,6 \cdot 10^{-5} ;$$

$$\rho_2 = 0,4 ;$$

$$\begin{aligned}
h_{b1} &= 0,15 \cdot k_{s2}^{2/3} \cdot \left[ \frac{g \cdot \beta_{s2} \cdot (T_{b1} - T_{s2}) \cdot \rho_{s2}^2 \cdot C_{pb}}{\mu_{s1}} \right]^{1/3} \\
&= 0,15 \cdot 0,42^{2/3} \cdot \left[ \frac{g \cdot 0,01 \cdot ((30 + 273) - (45 + 273)) \cdot 0,4^2 \cdot C_{pb}}{8,6 \cdot 10^{-5}} \right]^{1/3} \\
&= -1,23 \text{ W/m}^2\text{K}
\end{aligned}$$

Per tant,

$$q_{b1} = h_{b1} \cdot (T_{b1} - T_{s2}) = -1,23 \cdot ((30 + 273) - (45 + 273)) = 18,54 \text{ W/m}^2$$

I la convecció de la xapa entre els dos dipòsits es calcula substituint el valors exposats a les equacions 28, 29 i 30.

$$\begin{aligned}
h_{r1} &= 2,4; \quad h_{c1} = 2,5; \quad h_{t1} = 4,1 \text{ W/m}^2\text{K} \\
q_{c1} &= h_t \cdot (T_{s1} - T_b) = 4,1 \cdot ((55 + 273) - (35 + 273)) = 82 \text{ W/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
h_{r2} &= 2,3; \quad h_{c2} = 2,26; \quad h_{t2} = 4,03 \text{ W/m}^2\text{K} \\
q_{c2} &= h_t \cdot (T_{s2} - T_{b1}) = 4,03 \cdot ((45 + 273) - (30 + 273)) = 60 \text{ W/m}^2
\end{aligned}$$

De la mateixa manera es realitza el càlcul dels flux provocats per l'evaporació,

$$\begin{aligned}
q_{e1} &= 0,013 \cdot h_{c1} \cdot (P_{s1} - P_{b1}) = 0,013 \cdot 2,5 \cdot (15764 - 9.589) = 200,68 \text{ W/m}^2 \\
q_{e2} &= 0,013 \cdot h_{c2} \cdot (P_{s2} - P_c) = 0,013 \cdot 2,26 \cdot (9589 - 5626) = 116,43 \text{ W/m}^2
\end{aligned}$$

Un cop obtinguts els valors de cada flux d'energia procedim a realitzar els càlculs sobre la calor absorbida pel sistema durant un dia:

- Coberta:

$$\begin{aligned}
q_{c,t} &= (q_{r2} + q_{c2} + q_{e2} + \alpha q \cdot I_t - q_{c2} - q_{r3}) \cdot A_c \\
&= (61,6 + 60 + 116,4 + 0,02 \cdot 4700 - 103,3 - 138,6) \cdot \text{W/m}^2 \cdot 0,38 \text{ m}^2 \\
&= 34,35 \text{ W}
\end{aligned}$$

- Aigua dipòsit 1:

$$\begin{aligned}
q_{s1,t} &= (I_t \cdot \eta_c \cdot A_{col\cdot lector}) - (q_{r1} + q_{c1} + q_{e1}) \cdot A_{s1} - q_{p1} \cdot (A_{b0} + A_{p1}) \\
&= \left( 4.700 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,7 \cdot 1,25 \text{ m}^2 \right) - \frac{(200,68 + 82 + 60,5) \text{ W}}{\text{m}^2} \cdot 0,35 \text{ m}^2 + 36 \text{ W/m}^2 \\
&\quad \cdot (0,56 + 0,35) \text{ m}^2 = 4.059,37 \text{ W}
\end{aligned}$$

- Fons entre dipòsit 1 i 2:

$$q_{b1_t} = (q_{r1} + q_{c1} + q_{e1} - q_{b1}) \cdot A_{b1} = \frac{(60,5 + 82 + 200,68 - 18,54)W}{m^2} \cdot 0,36m^2$$

$$= 116,87 W$$

- Aigua dipòsit 2:

$$q_{s2_t} = (q_{b1} - q_{r2} - q_{c2} - q_{e2}) \cdot A_{s2} - q_{p1} \cdot A_{p2} + I_t \cdot \alpha_s \cdot \tau_c \cdot A_c$$

$$= (18,54 - (116,4 + 60,5 + 61,6)) W/m^2 \cdot 0,36m^2 - 24W/m^2 \cdot 0,51m^2$$

$$+ 4.700 \cdot 0,8 \cdot 0,96 \cdot 0,38m^2 = 1.280,22 W$$

A continuació estudiem la calor que requereix el sistema per escalfar cada element i evaporar l'aigua,

- Escalfar coberta:

$$Q_c = m_c \cdot C_{pc} \cdot (T_c - T_a) = 0,9kg \cdot \frac{1200 J/kg \cdot K}{3600s} \cdot (35 - 25)K = 3 W$$

- Escalfar aigua dipòsit 1:

$$Q_{s1} = m_{s1} \cdot C_{ps} \cdot (T_{s1} - T_a) = 10kg \cdot \frac{4189 J/kg \cdot K}{3600s} \cdot (55 - 25)K = 349 W$$

- Escalfar fons entre dipòsit 1 i 2:

$$Q_{b1} = m_{b1} \cdot C_{pb} \cdot (T_{b1} - T_a) = 1,4kg \cdot \frac{4179 J/kg \cdot K}{3600s} \cdot (30 - 25)K = 8,12W$$

- Escalfar aigua dipòsit 2:

$$Q_{s2} = m_{s2} \cdot C_{ps} \cdot (T_{s2} - T_a) = 10kg \cdot \frac{4189 J/kg \cdot K}{3600s} \cdot (45 - 25)K = 232,55W$$

Un cop avaluada l'energia que absorbeix el sistema amb l'energia que requereix pel seu funcionament, comprovem quina és l'energia que queda per tal d'evaporar l'aigua:

$$Q_{total. absorbida} - Q_{total. requerida} = Q_{evaporació}$$

$$(q_c + q_{s1} + q_{b1} + q_{s2}) - (Q_c + Q_{s1} + Q_{b1} + Q_{s2}) = m_{dt} \cdot \lambda$$

Pel valor de l'entalpia d'evaporació, com que s'ha considerat els dos dipòsits junts i es troben amb dos temperatures diferents, s'ha utilitzat la mitjana d'aquestes d'acord amb les taules de vapor.

$$(34,35 + 4059,37 + 116,87 + 1069,28) - (3 + 349 + 8,12 + 232,55) \\ = m_{dt} \cdot 2380 \cdot \frac{10^3 J}{kg} \cdot \frac{1h}{3600s}$$

$$4.687,126 = m_{dt} \cdot 2380 \cdot \frac{10^3 J}{kg} \cdot \frac{1h}{3600s}$$

$$m_{dt} = 7,3 \text{ kg} = 7,3 \text{ l d'aigua destil} \cdot \text{lada}$$

#### C.5.4 Avaluació del resultat del balanç d'energia

Un cop fet l'anàlisi matemàtic del model, resulta que aquest, alimentat durant tot el dia amb un total de 20 l, és capaç de produir 7,3 l d'aigua destil · lada aproximadament. Aquest és un valor que es troba dins el rang de la capacitat que s'ha marcat com a objectiu, per aquest motiu el disseny es considera adequat al projecte a nivell de rendiment.

## ANNEX D. CODI ELECTRÒNIC

En aquest apartat s'exposa el codi electrònic relacionat amb el circuit exposat a l'apartat d'electrònica.

### D.1 Codi electrònic sobre la LCD i els sensors

El seu objectiu és transmetre els valors del nivell d'aigua dels dos dipòsits i la temperatura a una LCD. Abans de realitzar el codi cal establir i tenir en compte el següent criteris:

- Càlcul temperatura: aquest depèn de l'entrada de voltatge del sensor el qual s'ha de convertir. Això és degut a que s'alimenta amb 5 V amb l'Arduino i el valor de l'entrada analògica pot tenir un rang entre 0 i 1023, a més a més, cal tenir en compte que l'element, d'acord amb les especificacions, emet un voltatge de sortida de 10 mV/°C. Per aquest motiu es realitza la següent regla de 3.

$$Temperatura = \frac{entrada \cdot 5000 \text{ mV}}{1023} \cdot \frac{1^\circ\text{C}}{10 \text{ mV}} \quad (\text{Eq. 99})$$

- Càlcul distància: en aquest cas, el sensor que es troba a la part del tap del dipòsit calcularà la distància d'aquest fins al nivell de l'aigua, per tant la part buida. Per calcular aquesta distància a través d'un sensor d'ultrasons es fa amb el factor del temps que tarda el pols en arribar al límit de l'aigua i tornar. Així doncs, aquest depèn de la velocitat del sol.

$$Distancia = \frac{velocitat \text{ so (cm)} \cdot temps (\mu\text{s})}{2} = \frac{0,0343 \cdot temps}{2} \quad (\text{Eq. 100})$$

Un cop es té el valor de l'espai buit del dipòsit, es tracta de manera que la pantalla informi del percentatge que està omplert a temps real.

Finalment, un altre pas a tenir en compte abans d'iniciar la programació és la distribució dels valor a la pantalla.



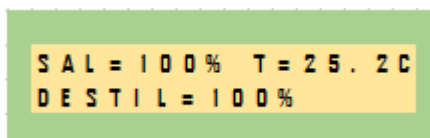


Figura 102. Resultat que s'espera a la pantalla LCD.

Es procedeix a realitzar el programa,

```

# include <LiquidCrystal.h> // Per connectar la LCD cal incloure la llibreria //
LiquidCrystal lcd(10, 11, 12, 13, 7, 6) // Pins RS, E, D4, D5, D6, D7 de la LCD

// Descripció de variables per emmagatzemar
// valor entrada analògica A0
// valor per la temperatura amb decimals
// valor pin TRIG ultrasònic 1
// valor pin ECHO ultrasònic 1
// valor pin TRIG ultrasònic 2
// valor pin ECHO ultrasònic 2
// variable de la duració de sensor 1
// variable de la distància de sensor 1
// variable de % de dipòsit 1
// profunditat dipòsit 1
// variable de la duració de sensor 2
// variable de la distància de sensor 2
// variable de % de dipòsit 2
// profunditat dipòsit 2

int SENSOR;
float TEMPERATURA;
int TRIG1 = 2;
int ECHO1 = 3;
int TRIG2 = 5;
int ECHO2 = 4;
int TEMPS1;
int DIST1;
int PERC1;
int DIP1;
int TEMPS2;
int DIST2;
int PERC2;
int DIP2;

void setup() {

  lcd.begin(16,2); // iniciar funcionament LCD

  pinMode (TRIG1, OUTPUT); // configuració d'entrades i sortides.
  pinMode (ECHO1, INPUT);
  pinMode (TRIG2, OUTPUT);
  pinMode (ECHO2, INPUT);

}

Void loop() {
  Lcd.clear(); //Borrar la pantalla LCD per nous valors

  SENSOR = analogRead(A0); //definir sensor a l'entrada A0
  TEMPERATURA = //càlcul de la temperatura en °C.
  ((SENSOR*5000.0/1023)/10;

  digitalWrite(TRIG1,LOW); //assegurar que el pin TRIG s'inicia en 0
  delayMicroseconds(5); // retard
  digitalWrite(TRIG1,HIGH); // transmetre pols alt
  delayMicroseconds(10); // retard mínim per iniciar el pin trigger
  digitalWrite(TRIG1,LOW); // pols baix per acabar el pols d'inici
  TEMPS1=pulseIn(ECHO1,HIGH); // mesura del temps del pols generat
  DIST1=TEMPS1*0.0343/2; // càlcul de la distància a partir del temps
  DIP1= X; // definició de la profunditat del dipòsit

```

```

PERC1=(1-(DIST1/DIP1))*100; // càlcul del percentatge omplert del dipòsit

digitalWrite(TRIG2,LOW); // igual a l'anterior
delayMicroseconds(5);
digitalWrite(TRIG2,HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(TRIG2,LOW);
TEMPS2=pulseIn(ECHO2,HIGH);
DIST2=TEMPS2*0.0343/2;
DIP2= X;
PERC2=(1-(DIST2/DIP2))*100;

lcd.setCursor(0,0): //Imprimir resultats del dipòsit d'aigua salada
lcd.print ("SAL=");
lcd.setCursor(0,4):
lcd.print(PER1,0);
lcd.setCursor(0,8):
lcd.print("%")

lcd.setCursor(0,10): //Imprimir resultats de temperatura
lcd.print ("T=");
lcd.setCursor(0,12):
lcd.print(TEMPERATURA,1);
lcd.setCursor(0,16):
lcd.print("C")

lcd.setCursor(1,0): //Imprimir resultats del dipòsit d'aigua destil·lada
lcd.print ("DESTIL=");
lcd.setCursor(0,8):
lcd.print(PER2,0);
lcd.setCursor(0,11):
lcd.print("%")

delay(5000); //Actualitzar dades cada 5 segons.

}

```

## D.2 Codi electrònic per la bomba d'aigua

La funció d'aquest apartat és descriure el codi electrònic per activar i desactivar la bomba d'aigua mitjançant un polsador de l'arduino. Aquest circuit està format per la placa controladora/Arduino, un polsador, un relé i la bomba d'aigua connectada a la font d'alimentació de 12V.

```
int PULSADOR = 8; //definició dels pins a l'arduino
int RELE = 9;

int MOTOR = 0; //definició variable i estat del motor (0=apagat)

int ESTAT = 0; //definició variables i estat de polsador (0=desactivat,
int ANTERIOR = 0; 1=activat)

void setup() {

  pinMode (RELE, OUTPUT);
  pinMode (PULSADOR, INPUT); //definició d'entrades i sortides d'acord amb pins
}

void loop() {

  ESTAT = digitalRead(PULSADOR); //lectura de l'estat actual del polsador

  if (ESTAT==1 && ANTERIOR == 0) //si el polsador segueix parat
  {
    MOTOR=1-MOTOR;
    delay(20); //evitar grans polsos
  }

  ANTERIOR = ESTAT;
}
```

## ANNEX E. MANUAL DE L'USUARI

En aquest apartat es presenta un manual d'instruccions de l'aparell. El seu objectiu és explicar el muntatge i el funcionament de l'aparell pel futur usuari així com deixar constància de tots els riscos i advertències a tenir en compte.

### E.1 Característiques tècniques

<b>Dessalinitzadora</b>	<b>Dades tècniques</b>	
	<b>Tipus</b>	<b>Dessalinitzadora solar MED</b>
Aparell la funció de tractar aigua de mar per produir aigua de qualitat utilitzant un 100% d'energies renovables.	<b>Pes</b>	205 kg
	<b>Dimensions</b>	1300 x 1000 x 950 mm
	<b>Capacitat</b>	5-10 l/dia
	<b>Voltatge de treball</b>	5-12 V
	<b>Temperatura treb.</b>	20 - 85 °C

### E.2 Advertències

El projectista no assumeix cap responsabilitat en cas d'haver-hi un problema, lesió o dany durant la fabricació, el muntatge, la manipulació i l'ús del disseny proposat. Cal haver llegit aquest manual per entendre el funcionament i les operacions de l'aparell. En cas de realitzar una modificació en el disseny, cal estudiar-ne abans els canvis que pot provocar en les instruccions. Les advertències més importants a tenir en comptes són:

- Per a la fabricació cal tenir precaució amb la maquinaria utilitzada. Aquest procés no queda descrit en el present manual, cal complir amb els requisits de seguretat.
- Durant el muntatge, s'ha de vigilar del pes del components, cal mantenir una postura correcta.
- Cal que el procés d'assemblatge el realitzin dues persones adultes com a mínim per evitar danys.
- La part electrònica s'ha d'instal·lar a la zona designada, ja que si es troba en contacte amb l'aigua pot provocar greus danys.
- No realitzi cap modificació al connexionat electrònic si no es té experiència o suport d'un especialista.

- No pot veure de l'aigua obtinguda en el procés si no se li ha realitzat un anàlisi de qualitat abans.
- L'aparell s'ha d'instal·lar en un lloc sense entrebancs, allunyat dels infants i les mascotes.
- Assegurar que la màquina s'instal·la orientada correctament en direcció sud, en un lloc que no li toqui cap ombra.
- Per una major producció d'aigua, deixa el sistema muntat durant la nit, ja que la temperatura ajuda a condensar tota la humitat que s'ha produït durant el dia.

## E.2 Precaució

En cada operació del procés de fabricació, muntatge i funcionament, és important utilitzar el sentit comú, algunes activitats poden causar greus problemes:

- No es pot tocar directament cap element del sistema si fa un dia de Sol i hi ha una Temperatura de 30°C, pot causar cremades greus.
- Un cop es posa en marxa la màquina no es pot moure sinó es tanquen totes les vàlvules d'aigua correctament. Pot haver-hi fugues d'aigua salada al circuit d'aigua destil·lada o al contrari.
- Cal evitar cops i trompades a l'aparell, es poden trencar els components o pot afectar a l'estanqueïtat del sistema, provocant pèrdues tèrmiques.





S'ha de controlar regularment el funcionament de l'aparell, el circuit d'aigua del col·lector així com el nivell d'aigua de les ampolles de manera electrònica o visual.

## E.3 Fabricació

El manual de l'usuari no incorpora les instruccions per a la fabricació de l'aparell. No obstant, si que recomana que aquesta sigui feta a un taller especialitzat o en cas que sigui realitzada a una casa privada que es compleixin amb els requisits mínims de seguretat.

D'acord amb les operacions que s'han de fer es recomana que s'utilitzin els Equips de Protecció (EPIs) adequats. A la *Taula XX* es mostren els més importants.

Taula 58. EPIs per la fabricació.

<b>Protecció de la vista:</b> s'utilitzarà en cas que hi hagi risc de projecció de partícules als ulls, com en operacions amb radials...		<b>Protecció dels peus:</b> és necessari utilitzar un calçat adequat per evitar riscos per la caiguda d'objectes pesats.	
<b>Protecció de l'oïda:</b> aquest element s'ha d'utilitzar en cas que el treball superi els 85 dB(A).		<b>Protecció de les mans:</b> sempre que es realitzin operacions que pugui comportar danys a les mans.	

## E.4 Muntatge

Aquest aparell conté moltes peces i conjunts, s'han de tractar correctament sinó és possible que afecte a l'eficiència del conjunt negativament. El muntatge consisteix en fer l'assemblatge dels cinc conjunts definits a la memòria.

En primer lloc, cal instal·lar les vàlvules de flotador pel control de nivell de l'aigua.

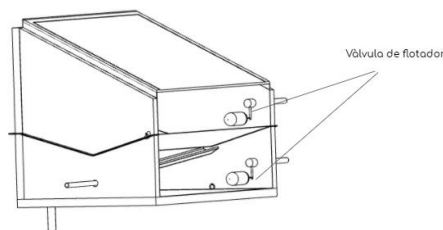


Figura 103. Vàlvules de flotador.

Seguidament, cal unir les peces del conjunt destil·lador, tal com es mostra a l'esquema de continuació. En aquest pas, s'ha de controlar que les dues càmeres s'uneixin correctament, així com la coberta, i que les juntes entre elles estiguin ben col·locades.

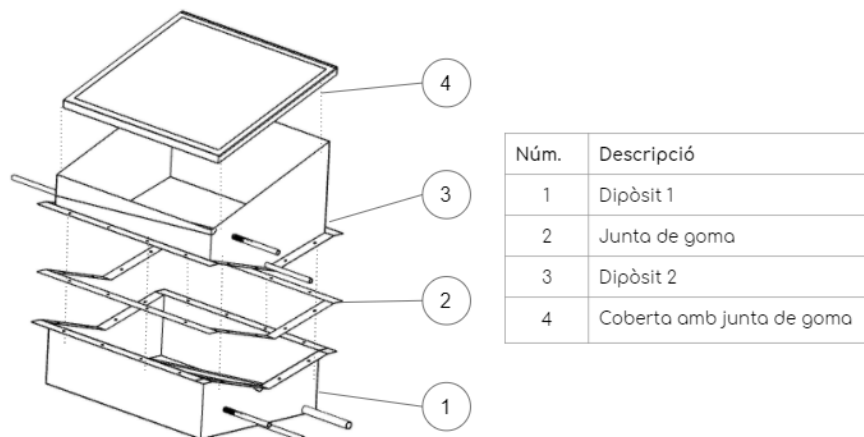


Figura 104. Muntatge conjunt destil·lació.

Per tal d'assegurar la connexió entre els dos dipòsits i la seva estanqueïtat per evitar pèrdues de calor, s'assegura amb un conjunt palometa en cada forat de les ales.



Per finalitzar amb aquest muntatge, cal incorporar aïllant a cada lateral del conjunt i a la base. És recomanable realitzar plafons que encaixin en cada cara del conjunt i així serà més fàcil per muntar i desmuntar.

El següent conjunt a muntar és el col·lector solar. Aquest és de grans dimensions i cal vigilar al manipular cada element.

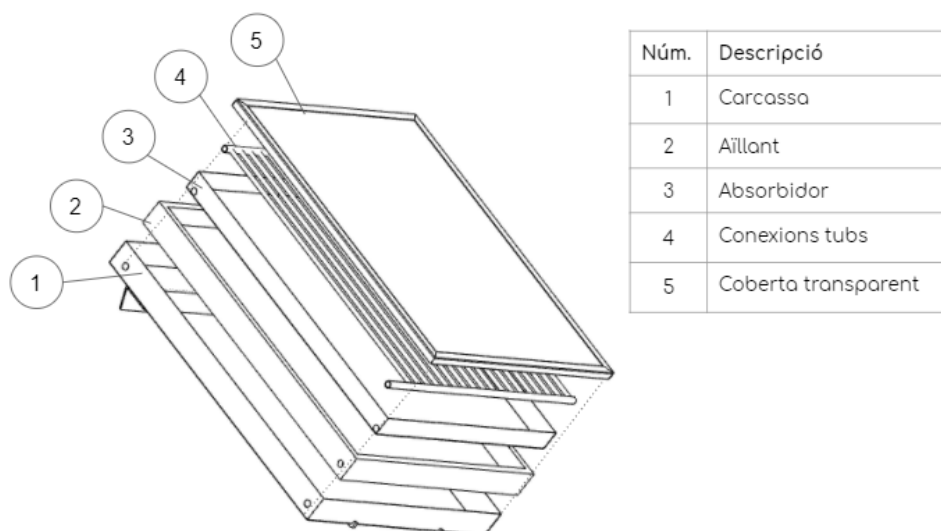


Figura 105. Conjunt col·lector solar.

En aquest cas, l'usuari haurà de tenir en compte la llargada dels tubs que connecten amb el conjunt dessalinitzador per poder adaptar-ho correctament a la seva fabricació. També és important, que la cobert transparent, s'uneixi mitjançant una junta de goma o silicona, així assegurar que la calor no s'escapa.

Un cop muntats els dos conjunts principals preparar l'estructura. El primer que es fa és incorporar la base i les dues estanteries de l'interior del xassís.

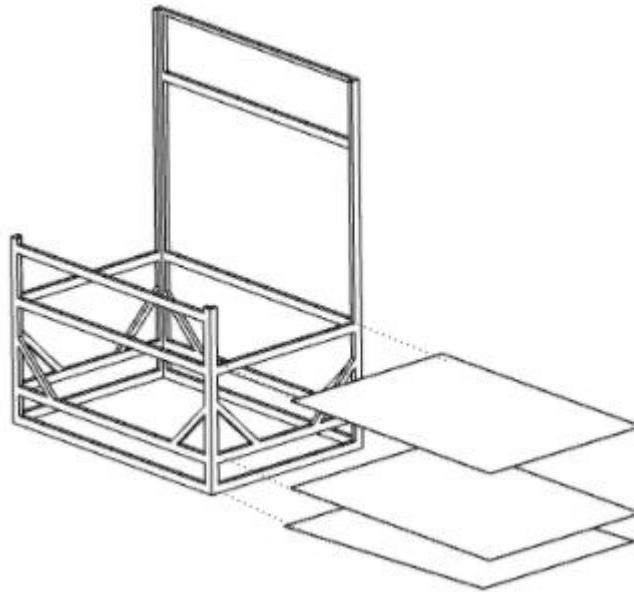


Figura 106. Muntatge d'estanteries.

A continuació cal instal·lar les xapes metàl·liques mitjançant reblons, cargols o amb soldadura, si es prefereix.

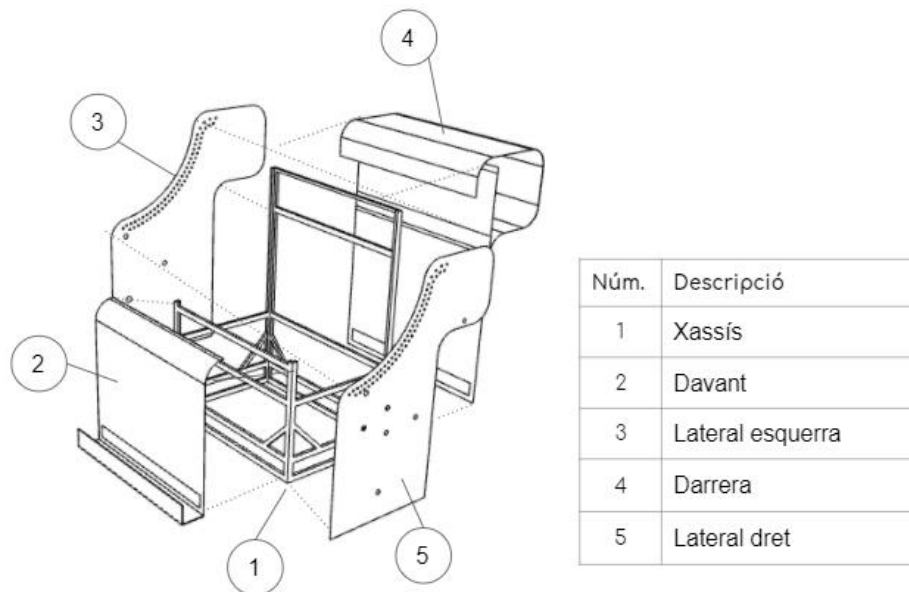


Figura 107. Part del muntatge de l'estructura.

Un cop hi ha la base muntada, cal incorporar de les tapes de la part de darrera, amb dues xarneres. Totes estan dissenyades per obrir-se cap a la dreta, amb excepció de la de dalt, pensada per obrir-se cap amunt.



Per finalitzar el muntatge, cal connectar els dos suports pel col·lector solar. Aquests estaran suportats amb un cargol llarg al xassís i es podran muntar i desmuntar.

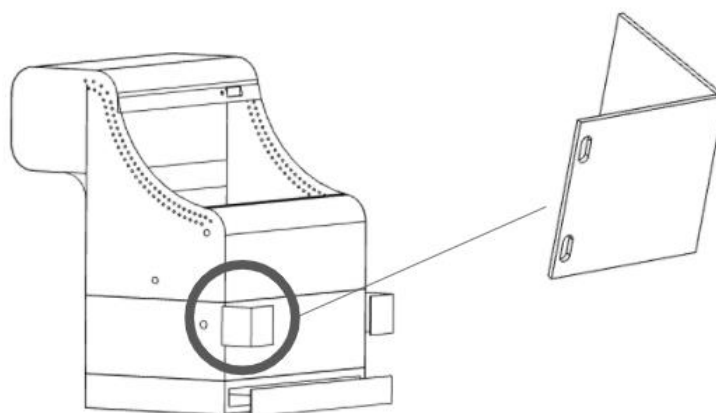


Figura 108. Suport del col·lector solar.

Un cop tots els conjunts muntats, cal situar cada element al seu lloc, de la següent manera.

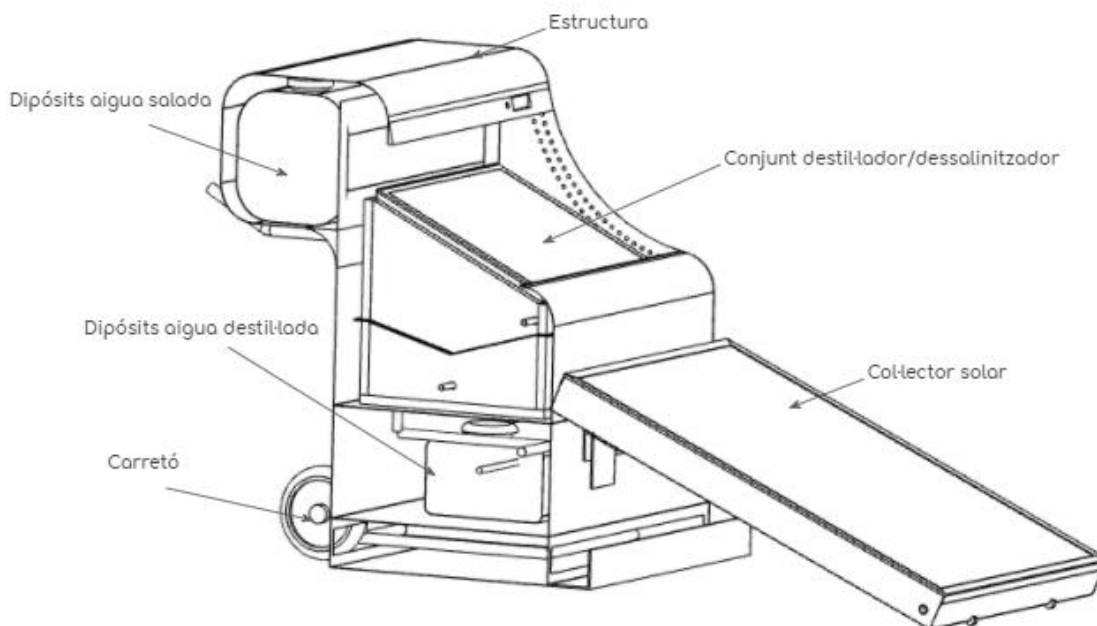


Figura 109. Muntatge final.

Ara ja es pot procedir amb les connexions. És molt important respectar cada tub. Es mostra un esquema d'aquestes. Cal que en cada canvi de sentit se li instal·li un colze o una T per evitar que les canonades es malgastis i el flux del fluid es vegi interromput. També és important, instal·lar una abraçadera a cada connexió, i així assegurar que no hi ha cap pèrdua d'aigua.

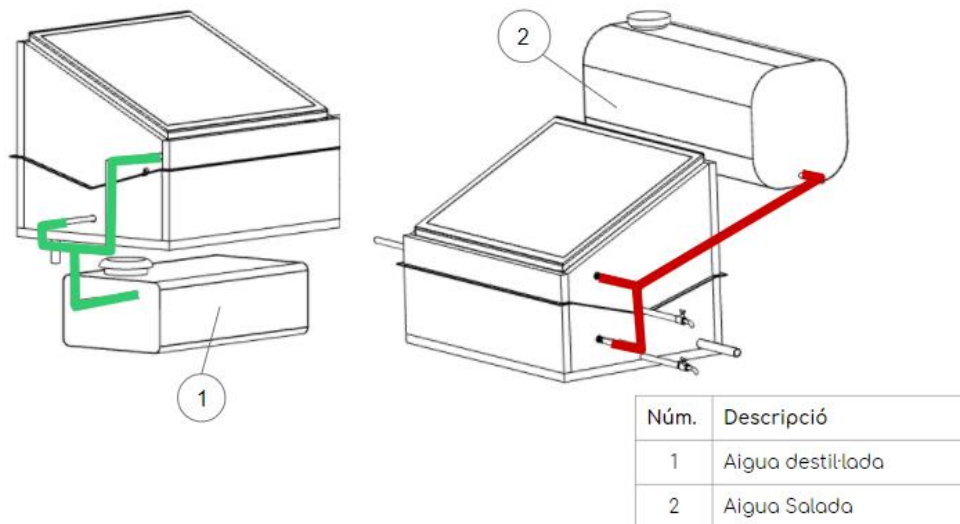


Figura 110. Muntatge de les connexions.

El col·lector és l'últim element a connectar-se. El tub de la base del dessalinitzador ha d'anar connectat a la part inferior del col·lector. De la mateixa manera, el tub superior del col·lector es connecta amb la sortida del lateral dret de destil·lador.

Finalment, només falta l'electrònica, aquesta es troba especificada amb esquemes corresponents a la memòria. Queda fora de l'abast definir cada un dels llocs de les connexions, cal tenir en compte que tots els elements electrònics han d'estar protegits i col·locats en llocs que no interrompin el funcionament. El resultat de la informació de la pantalla és el de la figura 111.

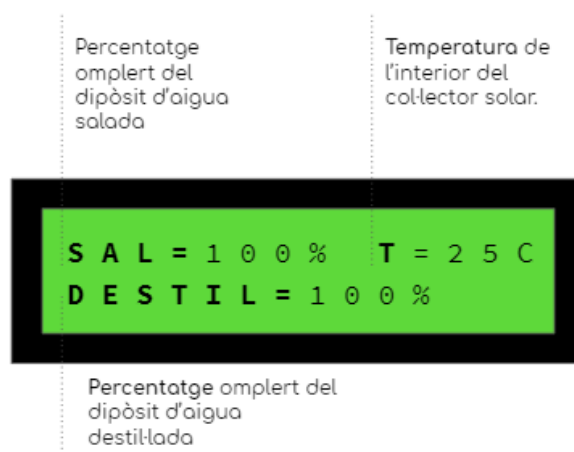


Figura 111. Informació de la pantalla.

## E.5 Condicions prèvies

Abans d'iniciar el procediment cal tenir en compte les següents consideracions:

- Situar l'aparell en una superfície horitzontal, lliure de qualsevol arbre a prop o element que pugui arribar a fer ombra en algun moment determinat del dia.
- El col·lector ha d'encarar-se cap al sud.
- Cal comprovar que totes les connexions estan ben fetes i no poden haver-hi fuges.
- Cal comprovar que les connexions elèctriques estan correctes.
- Cal comprovar el nivell d'aigua salada que conté el dipòsit superior. Com a mínim ha de contenir 50l.
- Comprovar que les vàlvules de flotadors estan correctament graduades.

## E.6 Ús

Pel funcionament correcte de l'aparell cal seguir diferents instruccions:

1. Obrir la vàlvula d'entrada d'aigua, durant 10 minuts cal comprovar que no hi hagi cap problema en el sistema. També s'ha d'obrir la vàlvula de sortida d'aigua destil·lada.
2. Comprovar que el col·lector d'aigua compleix amb el nivell, obrint l'aixeta de residus del dipòsit inferior. En cas que no surti aigua d'aquesta, significarà que hi ha un problema en l'entrada d'aigua, sinó, es pot procedir amb el funcionament.
3. Cada dos o tres hores cal comprovar el seu funcionament així com la quantitat dels dos dipòsits.
4. Un cop s'ha acabat la jornada de llum, es tancarà la vàlvula d'entrada però la vàlvula de sortida d'aigua es recomana que es mantingui oberta ja que durant la nit el vapor que queda es condensa fàcilment.
5. Si es vol moure l'aparell, cal desconnectar les canonades del col·lector solar i plegar-lo amb els suports de l'estructura. No es pot moure si no està recollit, pot provocar danys al sistema.
6. Abans d'utilitzar l'aigua destil·lada cal avaluar-ne el seu color i la seva olor.
7. En cas que s'hagi produït més de 10l/dia cal buidar l'aigua salada residual.

## **E.7 Manteniment**

L'aparell necessita un control dels nivells d'aigua cada dia, així com el buidat de l'aigua residual també ha de ser regular. No obstant, la neteja del sistema es pot fer tres cops a l'any si està fabricat amb els materials adequats.

## **E.8 Observacions**


Aquest manual no està complert, és un plantejament per la part estudiada. Cal explicar les connexions electròniques, entre altres detalls.

# ANNEX F. INFORMACIÓ TÈCNICA

L'Annex E conté les fitxes tècniques dels materials i elements proposats per la fabricació de l'aparell descrit en el present document. Aquests no han de ser definitius, es poden utilitzar elements amb característiques similars o de qualitat superior per a la seva funció.

## F.1 Elements estructurals

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300 -						
		Acero al Cromo Níquel						
DESIGNACIÓN	TIPO ASTM (AISI)	301	302	303	304	304 L	321	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 6,008,00	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 8,0010,00	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 8,0010,00 S% 0,15 Min.	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 Ni% 8,0010,50	C% 0,030 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 Ni% 8,0012,00	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 9,0012,00 Ti% >5xC%0,07
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO (g/cm <sup>3</sup> )	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm <sup>2</sup> )	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500	500	500	500	500	
	CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA (W/m K)	a 100 C a 150 C	16 21	16 21	16 21	16 21	16 21	16 21,5
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO MEDIO (x 10 <sup>-6</sup> C <sup>-1</sup> )	0100 C	16,92	17,28	17,3	17,30	17,30	16,74
		0300 C	17,10	17,82	17,8	17,80	17,80	17,10
		0500 C	18,18	18,36	18,4	18,40	18,40	18,54
		0700 C	18,72	18,72	18,7	18,80	18,80	19,26
	INTERVALO DE FUSIÓN (C)	13981420	13981420	13981420	13981454	13981454	13981427	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD TÉRMICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1,02	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20º	DUREZA BRINELL RECOCIDO HB CON DEFORMACIÓN EN FRÍO HB	135185	135185	130180	130150	125145	130185	
		210330	180330	180330	180330	-	-	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB CON DEFORMACIÓN EN FRÍO HRC	7592	7090	7090	7088	7085	7088	
		2541	1035	-	1035	-	-	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm(N/mm <sup>2</sup> )	590750	560720	530700	500700	500680	520700	
		8701200	6801180	-	7001180	-	-	
	ELASTICIDAD CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (0,2)(N/mm <sup>2</sup> )	215340	205340	205340	195340	175300	205340	
		500900	340900	350900	340900	-	-	
	RECOCIDO Rp(1) (N/mm <sup>2</sup> ) MÍNIMO		225	245	255	235	215	245
	ALARGAMIENTO 50mm. A(%)	6555	6050	6050	6550	6550	6040	
258		5010	-	5010	-	-		
1/4 DURO-DURO								
ESTRICCIÓN	RECOCIDO Z (%)	7060	7555	Min. 50	7560	7560	6550	
RESILENCIA	KCUL (J/cm <sup>2</sup> )	130	160	Min. 100	160	160	120	
	KVL (J/cm <sup>2</sup> )	140	180	-	180	180	130	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD DIFERENTES TEMPERATURAS	Rp(0,2) (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	125	115	150
		a 400 C	-	-	-	97	98	135
		a 500 C	-	-	-	93	88	120
	Rp(1) (N/mm <sup>2</sup> )	a 300 C	-	-	-	147	137	186
		a 400 C	-	-	-	127	117	161
		a 500 C	-	-	-	107	108	152
LÍMITE DE FLUENCIA	a 500 C	-	-	-	68	58,5	102	
	a 600 C	-	-	-	42	36	64	
	a 700 C	-	-	-	14,5	10,5	16,5	
	σ1 / 100.000/t (N/mm <sup>2</sup> ) a 800 C	-	-	-	4,9	3,9	5,8	
TRATAMIENTOS TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	
	RECOCIDO INDUSTRIAL	(OC) 10081120	(I) 10081120	10081120	10081120	10081120	9531120	
	TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	
	INTERVALO DE FORJA	TEMPER. INICIAL	1200	1200	1200	1200	1200	1175
		TEMPER. FINAL	925	925	925	925	925	925
TEMPERATURA FORMACIÓN CASCARILLA	SERVICIO CONTINUO	900	900	-	925	925	900	
	SERVICIO INTERMITENTE	810	810	815	840	840	810	



**FICHA TÉCNICA**

Aluminios, Plásticos Técnicos, Bronces, Cobres, Latones, Estratificados, Caequijos Autolubricados

# Aluminio AW6061

### Composición química

ELEMENTOS	Mg	Mn	Fe	Si	Si + Fe	Cu	Zn	Cr	Mn + Cr	Ti	Bi	Ni	Pb	Sn	Zr
Máximo	0,8-1,2	≤0,15	≤0,7	0,2-0,8	-	0,15-0,40	≤0,25	0,04-0,35	-	≤0,15	-	-	-	-	-

### Propiedades técnicas

NORMA E.N.		AW6061
Norma U.N.E.		
Densidad	g/cm3	2,70
Estado del tratamiento		
T-5		
PROPIEDADES GENERALES		
Carga de rotura	N/mm2	220
Límite elástico	N/mm2	185
Módulo elástico	N/mm2	69500
Alargamiento a 5,65%		13
Dureza	Brinell	75
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de fusión	°C	610-655
Conductividad térmica	W/(K·m)	209
Coeffic. dilatación termal lineal	m/(m·K)	23,4
Conductividad eléctrica	%IACS	54
CAPACIDAD TECNOLÓGICA		
Ambiente industrial		MB
Ambiente Rural		MB
Ambiente marino		B
En agua de mar		B
MECANIZACIÓN		
Fragmentación viruta		R
Brillo superficial		MB
SOLDADURA		
A la llama		B
Al arco bajo gas argón		B
Por resistencia eléctrica		MB
Braseado		MB
ANODIZADO		
De protección		MB
Decorativo		MB
Duro		MB

#### Características principales

Aleación desarrollada para cubrir en características entre la 6063 y las aleaciones al grupo AlCu y AlZn. Buena actitud a la soldadura.

#### Uso habitual

Aplicaciones aeroespaciales, moldes, maquinaria, ultraligeros, industria naval, piezas bicicleta, usos militares, estructura camiones, etc.

#### Legenda:

- MB Muy Bueno
- B Bueno
- C Correcto
- R Regular
- M Malo
- (T) Valores típicos

#### CODIFICACION INTERNACIONAL DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

1xxx Aluminios cuya riqueza es > 99%  
 2xxx Aleaciones al cobre.  
 3xxx Aleaciones al manganeso.  
 4xxx Aleaciones al silicio.  
 5xxx Aleaciones al magnesio.  
 6xxx Aleaciones al magnesio-silicio.  
 7xxx Aleaciones al zinc.  
 8xxx Otras aleaciones.

La primera cifra indica el componente principal de adición y el grupo al que pertenece la aleación.

**Nota:** Aunque nos hemos esforzado por asegurar la exactitud de los datos provistos, Valenciana de Aluminios, Cobres y Plásticos S.A., no garantiza ni acepta ninguna responsabilidad por la exactitud de los mismos.

VALENCIANA DE ALUMINIOS, COBRES Y PLÁSTICOS, S.A.

Tel.: +34 96 140 05 56



PRODUCTOS TRANSPARENTES – HOJAS DE POLICARBONATO

## MAKROCLEAR™

Propiedades	Valor	Unidad	Unidad
<b>Propiedades físicas</b>			
Densidad	1,2	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Índice de refracción (20 °C)	1,586		ISO 489
Absorción de humedad a las 24 horas, 23 °C, 50 % de HR	0,15	%	ISO 62
<b>Propiedades mecánicas</b>			
Resistencia a la tracción en el límite elástico (en la rotura)	60 (70)	N/mm <sup>2</sup>	ISO 527
Alargamiento en el límite elástico (en la rotura)	6 (110)	%	ISO 527
Módulo elástico	>2300	N/mm <sup>2</sup>	ISO 527
Módulo de flexión	>2300	N/mm <sup>2</sup>	ISO 178
Resistencia al impacto sin entalla Charpy -40 °C	NB	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Resistencia al impacto con entalla Charpy -30 °C	11	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Resistencia al impacto con entalla Izod +23 °C	65	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
Resistencia al impacto con entalla Izod -30 °C	10	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
<b>Propiedades térmicas</b>			
Coefficiente lineal de la expansión térmica (20-70 °C)	65x10 <sup>-6</sup>	K <sup>-1</sup>	ISO 11359-2
Temperatura de deformación, HDT A (1,80 N/mm <sup>2</sup> )	132	°C	ISO 75
Temperatura de deformación por el calor, HDT B (0,45 N/mm <sup>2</sup> )	142	°C	ISO 75
Temperatura Vicat VST/B 120	149	°C	ISO 306
Temperatura Vicat VST/B 50	148	°C	ISO 306
Conductividad térmica	0,20	W/m.K	DIN 8302
<b>Propiedades eléctricas</b>			
Resistencia del volumen, en seco	>10 <sup>14</sup>	Ω . m	IEC 60093
Resistencia de la superficie, en seco	10 <sup>16</sup>	Ω	IEC 60093
Fuerza dieléctrica, en seco	30	kV/mm	IEC 60243
Constante dieléctrica, en seco 50 Hz	3		IEC 60250
Constante dieléctrica, en seco 1 MHz	2,9		IEC 60250
Factor de disipación (tan δ), en seco 50 Hz	0,001		IEC 60250
Factor de disipación (tan δ), en seco 1 MHz	0,01		IEC 60250

NEOPRENO CR	Bandas	Cordón	Barra	Perfil	Plancha	Manguitos	Descargas
-------------	--------	--------	-------	--------	---------	-----------	-----------



**CARACTERÍSTICAS GENERALES PLANCHAS DE GOMA NEOPRENO**

Neopreno es el nombre comercial con el que se conocen los polímeros compuestos de cloropreno. Las características físicas generales del neopreno lo sitúan como un caucho de uso de amplio espectro. Sus excelentes características de envejecimiento frente al ozono y los agentes atmosféricos a la vez que su buena resistencia a la abrasión y a la flexión, le otorgan la categoría de caucho de uso general. El neopreno es resistente a los ácidos y álcalis, retardante a la llama y adecuado para su uso con aceites con base de petróleo. Las grasas animales y vegetales también proporcionan un entorno muy estable para este polímero. Se caracteriza por una buena resistencia a la flexión, excelente resistencia a la fatiga y amplia resistencia a la intemperie y el ozono. Su excelente adherencia a los metales lo hace ideal para el moldeo con insertos metálicos. El Neopreno no es eficaz en contacto con disolventes aromáticos y oxigenados.

**TEMPERATURA NEOPRENO**  
-30 + 120 °C

**DENSIDAD NEOPRENO**  
1,55 gr/cm<sup>3</sup>

**DUREZA NEOPRENO**  
70 SH

**PROPIEDADES PLANCHAS DE GOMA NEOPRENO**

- Buena resistencia a la Fatiga
- Buena resistencia a la flexión y a la abrasión
- Buena resistencia a la intemperie
- Adecuado para su uso en contacto con aceites y grasas.

**APLICACIONES PLANCHAS DE GOMA NEOPRENO**

- Amortiguadores expuestos a la acción de envejecimiento.
- Tubería para descarga de productos con desgaste simultáneo de abrasión y temperatura.
- Juntas de dilatación para construcción.
- Perfilaría sometida a intemperie.
- Forrado de cables eléctricos.
- Manguitos y todo tipo de juntas en la industria del automóvil.
- Recubrimiento de tanques para almacenamiento de determinados ácidos.
- Recubrimiento de cubas para decapado y baños electrolíticos y también para instalaciones potabilizadoras de tratamiento de aguas residuales
- Cierres de estanqueidad para compuertas y cierres térmicos
- Topes, silemblocks, goma-metal, y accesorios



## FICHA TÉCNICA LANA DE ROCA – ROCKWOOL

Certificado	ACERMI 01/D/15/665
Toxicidad	Material no tóxico, emisión nivel M1 según normativa francesa, biodisoluble y exonerado de sospecha de ser cancerígeno.  El catálogo Europeo de Residuos como 17 06 04 lo clasifica como "Material de aislamiento que no contiene amianto ni sustancias peligrosas"  No aditivos de descomposición peligrosa  No contaminación sobre el medio ambiente para el material instalado  RECICLABLE
Conductividad Térmica	Lambda = <b>0,040-0,042</b> W/m*K
Protección incendios	Material incombustible(A1, M0)
Peso del saco	25 kg
Tamaño del saco	720mm x 480mm x 360mm
Densidad a granel	50 kg/m <sup>3</sup>
Densidad insuflado	70 +/-20 kg/m <sup>3</sup>
Densidad kg/m <sup>3</sup>	20-180 kg/m <sup>3</sup>
APLICACIÓN	Solo por empresas homologadas por el fabricante, de acuerdo con la homologación AVIS TECHNIQUE 20_04_38
ESTADO FISICO	Sólido
Color	Tostado
Diámetro de las fibras	3 a 5 micras
Temperatura de desvitrificación	Alrededor de los 1400°
PH (a 1000g/l H <sub>2</sub> O, 25°C)	7 a 8 (DIN 54275)
Solubilidad en el agua	Nula
Estabilidad	Estabilidad de sus características iniciales hasta 750°





**PRODUCTOS MANUFACTURADOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

### FICHA TÉCNICA

<b>NOMBRE PRODUCTO</b>	<b>KNAUF EPS 60 SE</b>
<b>FABRICANTE</b>	KNAUF MIRET, S.L.
<b>USO DEL PRODUCTO</b>	PIEZAS MECANIZADAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) PARA DIFERENTES APLICACIONES. EMBALAJE O PIEZA TÉCNICA DESTINADAS A INDUSTRIA, COMERCIO Y OBRA CIVIL (RECUBRIDO LIGERO DE TERRENOS, FORMACIÓN DE TERRAPLENES, COLINAS ARTIFICIALES, BLOQUES Y CILINDROS A MEDIDA, ELEMENTOS PARA ALIGERAMIENTO DE GRANDES ESTRUCTURAS, ETC.).





### CARACTERÍSTICAS

<b>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	0,037 W/m·K	EN 13163-2012+A1-2015
<b>LONGITUD PLANCHA</b>	Min: 1000 mm Max: 3000 mm	
<b>ANCHURA PLANCHA</b>	Min: 500 mm Max: 1000 mm	
<b>ESPESOR PLANCHA</b>	Min: 10 mm Max: 400 mm	
<b>BLOQUES</b>	Max: 6200x1250x1420 mm	
<b>CILINDROS</b>	Max largo: 3000 mm Max diámetro: 1200 mm <small>(aplicable mediante ensamblaje)</small>	
<b>ESTABILIDAD DIMENSIONAL</b>	DS(N) 5	
<b>RESISTENCIA FLEXIÓN</b>	≥ 150 kPa	
<b>RESISTENCIA COMPRESIÓN</b>	≥ 60 kPa	
<b>RESISTENCIA TRACCIÓN</b>	≥ 150 kPa	
<b>CLASIFICACIÓN COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO</b>	Determinación de la reacción al fuego: EUROCLASE E	EN 13501-1-2007+A1-2010
<b>PRESENTACIÓN</b>	EN PAQUETES FILMADOS, CAJAS CARTÓN, OTROS	
<b>COLOR DEL MATERIAL</b>	BLANCO	




Producto 100% reciclable  
No contiene CFCs, HCFCs ni HFCs

Mini Válvula de acuario flotante válvula del flotador del tanque de agua Control de nivel de tanque Multi dirección instalación bola Gallo



Condición 100% a estrenar

Nombre del producto: Mini válvula de flotador de bola

Material de la bola flotante: plástico PP

Color: blanco

El paquete incluye: 1 unidad \* bola flotante

Aviso:

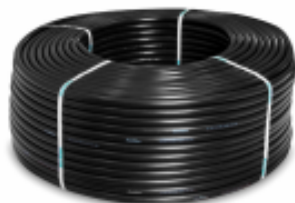
Permita un error de 1-3cm debido a la medición manual y asegúrese de que no le importe antes de realizar el pedido.

Ten en cuenta que los colores pueden existir diferencias cromáticas en cuanto a la ubicación de las imágenes.



## Especificación Técnica

### Manguera de Riego por Goteo con Compensación de Presión de la Serie A5 PC™ para la Agricultura



Los Ingenieros de Rain Bird® aplicaron más de 80 años de experiencia práctica en irrigación para desarrollar una línea de riego por goteo agrícola vanguardista que iguala o supera el desempeño de cualquier línea de riego por goteo agrícola del mercado. Con un emisor plano-compacto de perfil bajo, el A5 PC línea Agrícola de goteo ofrece lo último en la distribución uniforme de agua.

#### Características

- Con un emisor con mayor resistencia al taponamiento y tolerancia a las arenillas garantiza el flujo de agua a los cultivos, no importa si se extrae de un pozo, estanque, depósito o del canal.
- Con compensación de presión para maximizar la uniformidad y entregar agua y nutrientes con precisión a cada planta
- Material de resina resistente a los productos químicos agrícolas estándar, a la radiación UV y al daño que puede ser causado por maquinaria agrícola
- Opción de Clip de bajo perfil pre-instalado para la vid para reducir drásticamente el tiempo de instalación y los costos de mano de obra
- La Política de Satisfacción del Cliente de Rain Bird proporciona 5 años de protección sobre la fabricación del producto y 7 años de protección contra el agrietamiento por estrés ambiental como los rayos UV.

#### Aplicaciones

- Para las aplicaciones tradicionales de riego por goteo superficial
- Para usos Agrícolas en campo abierto, en invernaderos y en viveros
- El más adecuado para los cultivos perennes, huertos y aplicaciones en viñedos incluidas las uvas, húpulo, frutas de hueso, almendras, nueces de castilla, pistachos, arándanos, nueces pecaneras, y aguacate.
- Ideal para el riego de alta frecuencia en terreno plano, inclinado u ondulado
- Para aguas de mala calidad o con condiciones desafiantes

#### Especificaciones

- Rango de Operación:**
- Presión de Compensación: 0.48 a 4.14 bares (7 a 60 psi)
  - Temperatura: Agua: hasta 43.3°C (110°F) Ambiente: hasta 65.6°C (150°F)

#### Filtración:

- Requerimiento: 125 micrones (120 mesh)

#### Caudales Nominales:

- 1.2 l/h, 1.6 l/h, 2.0 l/h, 2.3 l/h, 4.0 l/h (0.31 gph, 0.42 gph, 0.53 gph, 0.61 gph, 1.06 gph)

#### Espacio Estándar entre Goteros:

- 20cm, 40cm, 45cm, 50cm, 55cm, 60cm, 70cm, 75cm, 100cm
- 18", 24", 30", 36", 42", 48", 60"

- Espaciamientos especiales disponibles a partir de 20 cm

#### Dimensiones de las mangueras:

- 16mm, 35mil (OD 15.5 mm, ID 13.7mm, espesor 0.9mm)
- 16mm, 45mil (OD 16mm, ID 13.7mm, espesor 1.14 mm)
- 18mm, 45mil (OD 18mm, ID 15.72mm, espesor 1.14mm)
- 20mm, 48mil (OD 19.96mm, ID 17.52mm, espesor 1.22m)

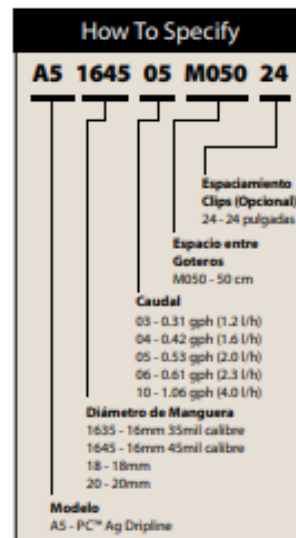
#### Datos del empaque y del rollo:

- Longitud del rollo estándar: 305 mt. (1,000')
- Cantidad de rollos por palet estándar: Para 16 mm con 28 ó 16 rollos (preguntar). Para 18mm y 20mm con clips: 12 rollos



#### Clips para la Vid

- Los clips instalados en fábrica durante la extrusión reducen la mano de obra y el tiempo de instalación en el campo
- Mejor control de la colocación de agua y fácilmente ajusta las gotas sobre la planta
- Construido con polímeros de plástico "grado de ingeniería" que ofrecen una fuerza sin precedentes en el alambre
- Compacto de bajo perfil para la cosecha mecánica



## Carretilla rígida con ruedas hinchables y 200 kg de carga máxima



### Ficha técnica

Tipo de producto	<b>Carretilla rígida</b>	Tipo de rueda	<b>Hinchables</b>
Carga garantizada (en kg)	<b>200</b>	Material principal	<b>Acero</b>
Anchura del guardabarros (en cm)	<b>31</b>	Ajustable en altura	<b>No</b>
Asa con protección	<b>Sí</b>	Material de las ruedas	<b>Caucho</b>
Material del guardabarros	<b>Acero</b>	Acabado del producto	<b>Epoxi</b>
Diámetro de las ruedas (en mm)	<b>254</b>	Familia de color	<b>Gris / plata</b>
Frecuencia de uso	<b>Regular</b>	Guardabarros replegable	<b>No</b>

## F.2 Elements electrònics



### Arduino Uno SMD Rev3

The Arduino Uno SMD R3 is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip.

Additional features coming with the R3 version are:

- ATmega16U2 instead 8U2 as USB-to-Serial converter.
- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins for TWI communication placed near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board and the second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- stronger RESET circuit.

"Uno" means "One" in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

#### Technical Specifications

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Supply Voltage (recommended)	7-12V
Maximum supply voltage (not recommended)	20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

If you want to give a closer look to this board we advice you to visit the official [Arduino UNO page](#) in the Hardware Section.

## LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

### 1 Features

- Calibrated Directly in Celsius (Centigrade)
- Linear + 10-mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at 25°C)
- Rated for Full -55°C to 150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low-Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates From 4 V to 30 V
- Less Than 60-µA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Non-Linearity Only ±¼°C Typical
- Low-Impedance Output, 0.1 Ω for 1-mA Load

### 2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

### 3 Description

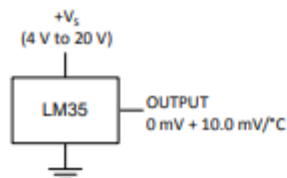
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature devices with an output voltage linearly-proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full -55°C to 150°C temperature range. Lower cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low-output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 device draws only 60 µA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 device is rated to operate over a -55°C to 150°C temperature range, while the LM35C device is rated for a -40°C to 110°C range (-10° with improved accuracy). The LM35-series devices are available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D devices are available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D device is available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

#### Device Information<sup>(1)</sup>

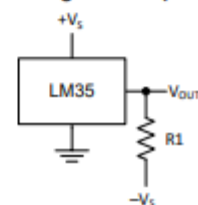
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM35	TO-CAN (3)	4.699 mm × 4.699 mm
	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	TO-220 (3)	14.986 mm × 10.16 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

#### Basic Centigrade Temperature Sensor (2°C to 150°C)



#### Full-Range Centigrade Temperature Sensor



## Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

### Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The module includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

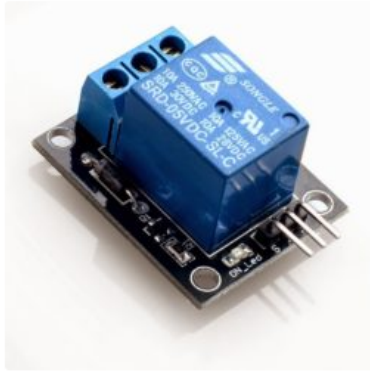
### Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

### Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm





## Módulo Relé KY-019

2,00€

2€ Módulo relé DC y AC KY-019

😊 4 disponibles

### Descripción

El módulo de relé 5V permite controlar una carga con corriente continua DC o corriente alterna AC desde Arduino. Desde un punto de vista de control, actúa como un interruptor controlable.

### Especificaciones:

Señal de control: entre 5V y 12V TTL

Máxima carga en AC: 10A 250VAC

Máxima carga en DC: 10A 30VDC

### Pines:

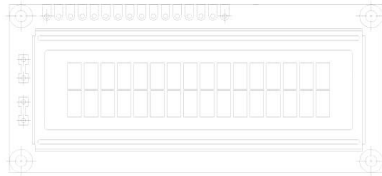
- + 5V (Alimentación)
- - 0V (Masa)
- S: Señal de control
- NC: Contacto normalmente cerrado
- NO: Contacto normalmente abierto
- COMMON: Contacto común



**LCD-016M002B**

Vishay

**16 x 2 Character LCD**



**FEATURES**

- 5 x 8 dots with cursor
- Built-in controller (KS 0066 or Equivalent)
- + 5V power supply (Also available for + 3V)
- 1/16 duty cycle
- B/L to be driven by pin 1, pin 2 or pin 15, pin 16 or A.K (LED)
- N.V. optional for + 3V power supply

MECHANICAL DATA		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	80.0 x 36.0	mm
Viewing Area	66.0 x 16.0	mm
Dot Size	0.56 x 0.66	mm
Character Size	2.96 x 5.56	mm

ABSOLUTE MAXIMUM RATING					
ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	VDD-VSS	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	VI	- 0.3	-	VDD	V

NOTE: VSS = 0 Volt, VDD = 5.0 Volt

ELECTRICAL SPECIFICATIONS							
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT	
			MIN.	TYP.	MAX.		
Input Voltage	VDD	VDD = + 5V	4.7	5.0	5.3	V	
		VDD = + 3V	2.7	3.0	5.3	V	
Supply Current	IDD	VDD = 5V	-	1.2	3.0	mA	
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp. Version Module	VDD - V0	- 20 °C	-	-	-	V	
		0°C	4.2	4.8	5.1		
		25°C	3.8	4.2	4.6		
		50°C	3.6	4.0	4.4		
LED Forward Voltage	VF	25°C	-	4.2	4.6	V	
LED Forward Current	IF	25°C	Array	-	130	260	mA
			Edge	-	20	40	
EL. Power Supply Current	IEL	Vel = 110VAC:400Hz	-	-	5.0	mA	

DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE:																
Display Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01														0F
DD RAM Address	40	41														4F

**Descripción:****Mini 12V CC Bomba de Agua Sumergible con Motor Silencioso sin Escobillas 3M Micro****Característica:**

Sin escobillas, rotor magnético permanente, libre de mantenimiento.  
Estator y placa de circuito sellados con resina epoxi.  
El eje está cerrado con sellado estático, lo que puede evitar problemas de fugas  
Adopte el eje de acero inoxidable de alto rendimiento.  
Diseño anfibio, capaz de trabajar en tierra o en agua.  
Súper larga vida útil (más de 30,000 horas).  
Tamaño pequeño, alta eficiencia, bajo consumo, bajo nivel de ruido (menos de 35db).

**Especificación:**

Material de la bomba: ABS  
Estado de uso: En curso  
Líquido: Solución de agua, aceite, gasolina, ácido y álcali, etc.  
Temperatura de funcionamiento: menos de 60 grados centígrados

Consumo de energía: 5W  
Tensión nominal: 12V DC  
Corriente nominal máxima: 400 mA  
Caudal estático: 240L / H  
Elevador estático: 3M  
Ruido: Menos de 35dB  
Diámetro exterior de la entrada / salida: 8.6mm / 0.34 pulgadas  
Diámetro interior de entrada / salida: 5.4mm / 0.21 pulgadas  
Clase a prueba de agua: IP68  
Vida útil: Más de 30,000 horas  
Tamaño del producto: 5.2 \* 4.6 \* 5.5 cm / 2 \* 1.8 \* 2.2 pulgadas

**Paquete:**

1 x DC12V bomba de agua sin escobillas  
1 x Placa de adaptador

**Cuadros de los detalles:**

## 10/20/30/40/50A 12V 24V Panel Solar Automático Bateria del Controlador de Carga Solar Adaptador de Carga LCD USB - 50A

### Especificaciones:

1. Tensión nominal: Auto adaptación de 12V/24V
2. Corriente nominal: 10A / 20A / 30A / 40A / 50A
3. Máx. voltaje PV: 50V
4. Máx. potencia de entrada PV:  
12V: 130W / 260W / 390W / 500W / 650W  
24 V: 260 W / 520 W / 780 W / 1000 W / 1200 W
5. Corriente de carga: 10A / 20A / 30A / 40A / 50A
6. Corriente de descarga: 10A / 20A / 30A / 40A / 50A
7. Entrada solar máx: <50A
8. Autoconsumo: <10mA
9. Salida de USB: 5V/2A máximo
10. Temperatura de funcionamiento: -35~60°C
11. Talla: 125\*85\*30mm
12. Peso: 174g

### Características:

1. Microprocesador industrial incorporado.
2. Gran pantalla LCD, parámetro ajustable.
3. Carga de la batería PWM.
4. Protección contra cortocircuitos incorporada, protección de circuito abierto, protección inversa, protección contra sobrecarga
5. Protección de corriente inversa MOS doble, baja producción de calor.
6. Parámetro de control ajustable del sistema.

### Paquete incluido:

1x Controlador de solar

### Más detalles:



## 5W 12V Solar Panel Polysilicon Solar Power Panel Ahorro de energía con 3m DC Cabel

### **Solicitud**

Adecuado para todo tipo de aparatos de bajo consumo, luces de emergencia, luces publicitarias, semáforos, luces domésticas, Ventiladores eléctricos, como bombas de agua solares, farolas solares, sistemas solares pequeños.

### **Características**

- 1) alta tasa de conversión, salida de alta eficiencia
- 2) Excelente efecto de luz baja
- 3) Alta transmitancia y vidrio templado de alta calidad.
- 4) El proceso único hace que los componentes sean hermosos y fuertes, resistentes al viento y la nieve, fáciles de instalar
- 5) Tecnología única para evitar la congelación y deformación del agua en el marco.

### **Especificación**

Panel solar: 5W

Material: polisilicio clase A

Corriente: 0-250mA

Voltaje: 12V

Tamaño: 210 \* 125 \* 17 mm

Salida: salida DC

Longitud de línea: 3M

### **El paquete incluye:**

1 x Solar panel



## Batería 12 Voltios, 5Ah (5 Amperios)

Batería recargable de 12V 5Ah de ácido de plomo tipo AGM.

### Características de la 12V 5Ah

- Voltaje: 12 Voltios
- Capacidad: 5 Amperios
- Medidas: 90 x 70 x 101 mm
- Peso: 1.50kg

### Descripción de la batería 12V 5Ah

La batería 12V 5Ah aporta fiabilidad y seguridad. Está fabricada con la última tecnología en baterías AGM, dando un óptimo rendimiento y eficacia.

Destacamos los siguientes beneficios:

- Alta densidad de energía
- Construcción sellada a prueba de fugas
- Excelente rendimiento en cualquier aplicación
- Libre de mantenimiento
- Batería recargable.
- Larga vida útil

### Aplicaciones de la batería 12V 5Ah

Baterías idóneas para distintas aplicaciones, de las que destacan:

- Sistemas de alarma de seguridad
- CCTV
- Sistemas de SAI/UPS
- Sistemas de iluminación de emergencia
- Equipos eléctricos OEM





**CABLES Y MANGUERAS**

**Mtr cable 1,5 mm. Libre de Halogeno**

★★★★★ 4,8/5

0,33€ **0,26 €**

\*Precio con IVA incluido

Color cable

Negro v

---

Cantidad: 1 ^ v

[Añadir al carro](#)

**Entrega 24/48 horas**







PAGO CONTRA REEMBOLSO    Verified by VISA    MasterCard SecureCode    TRANSFERENCIA BANCARIA

---

[Añadir a mi lista](#)

### Descripción ^

#### **Mtr Cable 1,5 mm<sup>2</sup>. Libre de Halógeno.**

Si estás buscando un **cable flexible por metros** con el que trabajar en tus **instalaciones domésticas**, este cable libre de halógeno es tu solución. ¡Manejo y flexibilidad nunca han estado tan unidos!

**El cable eléctrico de 1,5 mm unipolar** está compuesto por un conductor de cobre flexible clase 5 con un aislamiento de polietileno reticulado y cubierto con polifina termoplástica libre de halógenos, indicado para soportar altas temperaturas y evitar la emisión de humos ante incendios. Además, cumple con la normativa CPR.

Ideal para **instalaciones en viviendas** (línea general de alimentación y derivaciones individuales).

Este modelo se presenta con un formato de 1,5 mm cuadrados (mm<sup>2</sup>), preparado para que solo **elijas los metros necesarios** y en un plazo de 24/48 horas lo tengas disponible para que puedas realizar tus trabajos de electricidad.

En **todoelectrico.es** encontrarás todo el material eléctrico y suministros eléctricos necesarios online, ¡con el mejor precio del mercado!

## Interrupor táctil tipo Émbolo, Gris, contactos Monopolar de una vía (SPST) 5mm



Atributo	Valor
Configuración del Contacto	Monopolar de una vía (SPST)
Tipo de Terminal	Orificio Pasante
Funcionamiento del Interruptor	Momentánea
Longitud del Actuador	0.7mm
Color del Actuador	Gris
Tipo de Actuador	Émbolo
Dimensiones	6 x 6 x 5mm
Valor Nominal del Contacto	50 mA a 24 V dc
Fuerza de Funcionamiento	1,47 N
Rango de Temperatura de Funcionamiento	-25 → +70°C
Altura	5mm
Material del Contacto	Chapado en oro
Temperatura Mínima de Funcionamiento	-25°C
Temperatura Máxima de Funcionamiento	+70°C
Vida Útil Mecánica	300000Operations



Girona, 3 de setembre de 2020  
Clàudia Carabellido Noguera