

## **Treball final de màster**

**Estudi: Màster en Enginyeria Industrial**

**Títol:**

Estudi i anàlisi de les pèrdues de rendiment en instal·lacions fotovoltaïques

**Document:** Memòria i annexos

**Alumne:** Aleix Andreu Palahí

**Tutor:** Teodor Pulido Sureda

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

**Àrea:** Mecànica de medis continus i teoria de les estructures

**Convocatòria (mes/any) Setembre 2022**

## ÍNDEX

Índex .....	i
Índex de Figures .....	iii
Índex de Taules .....	vi
Índex de Gràfics .....	x
I. MEMÒRIA.....	1
1 INTRODUCCIÓ .....	1
1.1 Antecedents .....	1
1.2 Objecte del projecte .....	1
1.3 Especificacions i abast.....	1
2 INTRODUCCIÓ A L'ENERGIA FOTOVOLTAICA .....	3
2.1 Radiació solar.....	3
2.2 Principi de funcionament de l'energia fotovoltaica .....	8
2.3 Panells fotovoltaics .....	9
2.4 Inversor fotovoltaic .....	11
2.5 Paràmetres fotovoltaics.....	11
3 PÈRDUES D'EFICIÈNCIA DE LA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA .....	15
3.1 Pèrdues per temperatura .....	15
3.2 Pèrdues per pols, contaminació i brutícia.....	31
3.3 Pèrdues òhmiques del cablejat i pèrdua de tensió.....	44
3.4 Pèrdues per degradació.....	46
3.5 Pèrdues per ombres.....	49
3.6 Pèrdues angulars i espectrals.....	53
3.7 Pèrdues d'eficiència del mateix inversor .....	65
3.8 Pèrdues de "mismatch" o acoblament i des ajustament del MPPT .....	71
3.9 Pèrdues de tolerància del mòdul fotovoltaic.....	77
3.10 Pèrdues de no seguiment del MPPT a l'inversor.....	78
3.11 Pèrdues per disponibilitat .....	78

3.12	Pèrdues totals.....	80
4	RENDIMENT DE LES INSTAL·LACIONS FOTOVOLTAIQUES .....	81
5	ESTUDI D'INSTAL·LACIONS REALS .....	85
5.1	Instal·lacions fotovoltaïques.....	85
5.1.1	Instal·lació fotovoltaïca al Pla de l'Estany– Instal·lació 1.....	86
5.1.2	Instal·lació fotovoltaïca a Riudellots de la Selva – Instal·lació 2 .....	87
5.1.3	Instal·lació fotovoltaïca a Osona– Instal·lació 3.....	88
5.1.4	Instal·lació fotovoltaïca a La Selva – Instal·lació 4 .....	90
5.2	Resultats.....	91
5.2.1	Anàlisi del rendiment anual .....	91
5.2.2	Comparativa dels models de càlcul.....	93
5.2.3	Anàlisi de les pèrdues per temperatura .....	98
5.2.4	Anàlisi de les pèrdues per brutícia.....	101
6	RESUM DEL PRESSUPOST.....	109
7	CONCLUSIONS .....	110
8	RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	113
9	BIBLIOGRAFIA.....	115
10	GLOSSARI.....	119
II.	ANNEXOS.....	121
	ANNEX A – DADES METEOROLÒGIQUES DE LES INSTAL·LACIONS.....	121
	A.1. Instal·lació 1.....	121
	A.2. Instal·lació 2.....	130
	A.3. Instal·lació 3.....	137
	A.4. Instal·lació 4.....	144
	ANNEX B – RENDIMENT DE LES INSTAL·LACIONS .....	151
	B.1. Instal·lació 1.....	151
	B.2. Instal·lació 2.....	154
	B.3. Instal·lació 3.....	157
	B.4. Instal·lació 4.....	159

ANNEX C – APLICACIÓ DELS MODELS DE CàLCUL DE LA TEMPERATURA DELS PANELLS.....	162
C.1. Instal·lació 2 .....	162
C.2. Instal·lació 3 .....	178
ANNEX D – CàLCUL DE LA TEMPERATURA DELS PANELLS .....	184
D.1. Instal·lació 1 .....	185
D.2. Instal·lació 3 .....	187
D.3. Instal·lació 4 .....	188
ANNEX E – CàLCUL DE LES PÈRDUES PER TEMPERATURA.....	189
E.1. Instal·lació 1.....	190
E.2. Instal·lació 2.....	191
E.3. Instal·lació 3.....	192
E.4. Instal·lació 4.....	193
ANNEX F – ANÀLISIS DE LES PÈRDUES PER BRUTICIA .....	195
F.1. Instal·lació 1 .....	195
F.2. Instal·lació 2.....	197
F.3. Instal·lació 4.....	199
ANNEX G – FITXES TÈCNIQUES DELS PANELLS I INVERSORS DE LES INSTAL·LACIONS .....	<b>!Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. Espectre electromagnètic que produeix el sol. Font: [1]. .....	3
Figura 2. Tipus de radiació. Font:[1]. .....	4
Figura 3. Irradiació anual al món. Font: [3]......	5
Figura 4. Irradiació anual a Espanya. Font: [3]. .....	6
Figura 5. Valors d'irradiància segons el clima. Font: [1]. .....	7
Figura 6. Composició d'una cèl·lula fotovoltaica. Font: [4]......	8
Figura 7. Funcionament d'una cèl·lula fotovoltaica. Font: [5]. .....	8
Figura 8. Diferència entre cèl·lula i panell fotovoltaic. Font: [6]. .....	9
Figura 9. Paràmetres d'una instal·lació fotovoltaica. Font: [8]......	12
Figura 10. Relació entre la temperatura ambient i la irradiació solar a Anglaterra. Font:[16]	
.....	23

Figura 11. Rendiment promig de les instal·lacions en funció de l'estació. Font:[16] .....	24
Figura 12. Relació entre la temperatura dels panells i el seu rendiment mig. Font:[17].....	25
Figura 13. Relació entre la velocitat del vent, la temperatura ambient i la temeperatura del panell. Font: [18]. .....	26
Figura 14. Relació entre la temperatura del panell i el rendiment d'aquest (esquerra) i relació entre la temperatura ambient i la del panell (dreta). Font:[15]. .....	26
Figura 15. Relació entre la temperatura ambient i el rendiment dels panells (esquerra) i relació entre la temperatura dels panells i la variació de voltatge. Font:[15]. .....	27
Figura 16. Dades de temperatura del panell Tallmax Trina de 450Wp. Font [19].....	28
Figura 17. Dades de temperatura per una instal·lació a Karbala. Font: [22]. .....	29
Figura 18. Densitat de pols al món en mg/m <sup>3</sup> . Font: [25]. .....	31
Figura 19. Pèrdues d'eficiència segons el tipus de brutícia i la massa. Font: [26]. .....	32
Figura 20. Pèrdues de transmitància en funció del contaminant. Font: [27]. .....	33
Figura 21. Pèrdues d'eficiència segons la pols i la densitat. Font: [27]. .....	33
Figura 22. Pèrdues d'eficiència a Xipre durant la primavera. Font: [28]. .....	34
Figura 23. Pèrdues d'eficiència a Xipre durant l'estiu. Font: [28]. .....	35
Figura 24. Diferència de rendiment entre panells secs i molls en condicions extremes. Font: [28]. .....	36
Figura 25. Efecte de les neteges i les pluges sobre una instal·lació fotovoltaica al Marroc. Font: [29].....	36
Figura 26. Efecte de la humitat. Font [29]. .....	37
Figura 27. Efecte del vent sobre la intensitat solar en funció del temps i de la densitat de la pols. Font: [30]. .....	38
Figura 28. Transmitància als panells amb diferents inclinacions i amb o sense sostre. Font: [27].....	39
Figura 29. Estat de les cèl·lules abans i després de netejar-les amb diferents productes. Font: [31].....	40
Figura 30. Eficiència de les cèl·lules abans i després de la neteja amb diferents productes. Font: [31]. .....	41
Figura 31. Estat de les cèl·lules abans i després de la neteja amb diferents materials. Font: [31]. .....	42
Figura 32. Eficiència de les cèl·lules abans i després de la neteja amb diferents materials. Font: [31]. .....	43
Figura 33. Pèrdues d'eficiència per pols en diferents casos. Font: [33]. .....	44
Figura 34. Degradació d'uns panells marca Jinko. Font: [35]. .....	47
Figura 35. Imatges de diferents problemes per degradació dels panells. Font: [10]. .....	48
Figura 36. Defectes trobats als panells al llarg dels anys. Font: [36]. .....	48

Figura 37. Exemples de ombre sobre plaques fotovoltaïques.....	49
Figura 38. Incidència del sol al llarg de l'any. Font: [37]. .....	50
Figura 39. Posició i incidència del sol al llarg de l'any a Girona. Font: [38]. .....	50
Figura 40. Posició del sol sobre un habitatge. Font: [37]. .....	51
Figura 41. Pèrdues angulars per diferent ubicacions, inclinacions i mesos. Font: [39]. .....	55
Figura 42. Pèrdues angulars a 0° i a 90°. Font: [39]. .....	56
Figura 43. Pèrdues angulars en funció de l'angle d'inclinació. Font: [39]. .....	56
Figura 44. Pèrdues angulars en funció de l'angle i de la brutícia dels panells. Font: [39]. ..	57
Figura 45. Resposta espectral SR en funció de la longitud d'ona i del tipus de panell. Font: [41]. .....	59
Figura 46. Respostes espectrals SR en funció del tipus de panell. Font: [41]. .....	60
Figura 47. Irradiació espectral en funció de la longitud d'ona i de l'època. Font: [40]. .....	61
Figura 48. Factor espectral experimental a Madrid. Font: [41]. .....	62
Figura 49. Factor espectral per diferents estacions de l'any. Font: [40]. .....	63
Figura 50. Factor espectral diferents dies de l'any per panells monocristal·lins. Font: [40]. .....	63
Figura 51. Factor espectral per diferents tipus de panells a Madrid i Jaén (experimental i modelat). Font: [41]. .....	64
Figura 52. Dades de producció per a una instal·lació fotovoltaïca de 1 kWp, inclinada 35° a sud a Madrid. Font: [24]. .....	65
Figura 53. Dades d'un inversor SMA. Font: [43]. .....	67
Figura 54. Dades d'un inversor Fronius. Font: [44]. .....	67
Figura 55. Dades d'un inversor SolarEdge. Font: [45]. .....	68
Figura 56. Dades d'un inversor Huawei. Font: [46]. .....	68
Figura 57. Dades d'un inversor Enphase. Font: [47]. .....	68
Figura 58. Rendiments experimentals dels inversors per diferents nivells de càrrega. Font: [48]. .....	69
Figura 59. Rendiments EU i CEC ponderats. Font: [48]. .....	69
Figura 60. Comparativa de rendiment EU i CEC. Font: [49]. .....	70
Figura 61. Comparativa gràfica de rendiment EU i CEC. Font: [49]. .....	70
Figura 62. Esquema de panells en paral·lel i en sèrie. Font: [50]. .....	71
Figura 63. Diferents corbes I-V de diferents panells. Font: [51]. .....	72
Figura 64. Pèrdues per mismatch sèrie i paral·lel. Font: [50]. .....	73
Figura 65. Pèrdues per mismatch pel mètode simplificat estàtic. Font: [51]. .....	74
Figura 66. Pèrdues per mismatch pel mètode I-V estàtic. Font: [51]. .....	74
Figura 67. Pèrdues per mismatch pel mètode simplificat dinàmic. Font: [51]. .....	74
Figura 68. Pèrdues per mismatch pel mètode I-V dinàmic. Font: [51]. .....	75

Figura 69. Pèrdues per mismatch d'ombres parcials. Font: [52].	75
Figura 70. Pèrdues per mismatch per diferents sèries. Font: [53].	76

## ÍNDIX DE TAULES

Taula 1. Models per a calcular la temperatura de la cèl·lula fotovoltaica. Font: Elaboració pròpia.	22
Taula 2. Pèrdues per diferents temperatures del panell. Font: Elaboració pròpia.	28
Taula 3. Valors de ponderació del rendiment europeu. Font: Elaboració pròpia.	66
Taula 4. Valors de ponderació del rendiment californià. Font: Elaboració pròpia.	67
Taula 5. Toleràncies de diversos panells actuals del mercat. Font: Elaboració pròpia.	77
Taula 6. Pèrdues teòriques que pot tenir una instal·lació fotovoltaica. Font: Elaboració pròpia.	80
Taula 7. Dades de la instal·lació fotovoltaica 1. Font: Elaboració pròpia.	86
Taula 8. Dades de la instal·lació fotovoltaica 2. Font: Elaboració pròpia.	88
Taula 9. Dades de la instal·lació fotovoltaica 3. Font: Elaboració pròpia.	89
Taula 10. Dades de la instal·lació fotovoltaica 4. Font: Elaboració pròpia.	90
Taula 11. Resum del rendiment PR durant l'últim any per a cada instal·lació. Font: Elaboració pròpia.	92
Taula 12. Marge d'error respecte la temperatura real dels panells per cada model. Font: Elaboració pròpia.	97
Taula 13. Pèrdues per temperatura. Font: Elaboració pròpia.	100
Taula 14. Radiació mensual per la instal·lació 1. Font: [Elaboració pròpia].	122
Taula 15. Dades meteorològiques del gener i febrer de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.	124
Taula 16. Dades meteorològiques del març i abril de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.	125
Taula 17. Dades meteorològiques del maig i juny de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.	126
Taula 18. Dades meteorològiques del juliol i agost de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.	127
Taula 19. Dades meteorològiques del setembre i octubre de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.	128
Taula 20. Dades meteorològiques del novembre i desembre de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.	129
Taula 21. Radiació mensual per la instal·lació 2. Font: [Elaboració pròpia].	130

Taula 22. Dades meteorològiques del gener i febrer de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.....	131
Taula 23. Dades meteorològiques del març i abril de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.....	132
Taula 24. Dades meteorològiques del maig i juny de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.....	133
Taula 25. Dades meteorològiques del juliol i agost de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.....	134
Taula 26. Dades meteorològiques del setembre i octubre de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia. ....	135
Taula 27. Dades meteorològiques del novembre i desembre de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia. ....	136
Taula 28. Radiació mensual per la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.....	137
Taula 29. Dades meteorològiques del gener i febrer de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.....	138
Taula 30. Dades meteorològiques del març i abril de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.....	139
Taula 31. Dades meteorològiques del maig i juny de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia. ....	140
Taula 32. Dades meteorològiques del juliol i agost de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.....	141
Taula 33. Dades meteorològiques del setembre i octubre de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia. ....	142
Taula 34. Dades meteorològiques del novembre i desembre de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia. ....	143
Taula 35. Radiació mensual per la instal·lació 4. Font: [Elaboració pròpia]. ....	144
Taula 36. Dades meteorològiques del gener i febrer de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.....	145
Taula 37. Dades meteorològiques del març i abril de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.....	146
Taula 38. Dades meteorològiques del maig i juny de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.....	147
Taula 39. Dades meteorològiques del juliol i agost de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.....	148
Taula 40. Dades meteorològiques del setembre i octubre de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia. ....	149



Taula 41. Dades meteorològiques del novembre i desembre de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia. ....	150
Taula 42. Dades dels panells de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.....	151
Taula 43. Eficiència energètica de la instal·lació fotovoltaica 1. Font: Elaboració pròpia. ....	152
Taula 44. Rendiment global de la instal·lació fotovoltaica 1. Font: Elaboració pròpia.....	153
Taula 45. Dades dels panells de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia. ....	154
Taula 46. Eficiència energètica de la instal·lació fotovoltaica 2. Font: Elaboració pròpia. ....	155
Taula 47. Eficiència pic ponderada de la instal·lació fotovoltaica 2. Font: Elaboració pròpia. ....	155
Taula 48. Rendiment global de la instal·lació fotovoltaica 2. Font: Elaboració pròpia. ....	156
Taula 49. Dades dels panells de la instal·lació fotovoltaica 3. Font: Elaboració pròpia. ....	157
Taula 50. Eficiència energètica de la instal·lació fotovoltaica 3. Font: Elaboració pròpia. ....	158
Taula 51. Rendiment global de la instal·lació fotovoltaica 3. Font: Elaboració pròpia. ....	159
Taula 52. Dades dels panells de la instal·lació fotovoltaica 4. Font: Elaboració pròpia. ....	159
Taula 53. Eficiència energètica de la instal·lació fotovoltaica 4. Font: Elaboració pròpia. ....	160
Taula 54. Rendiment global de la instal·lació fotovoltaica 4. Font: Elaboració pròpia. ....	161
Taula 55. Paràmetres constants pel càlcul de la temperatura dels panells de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.....	162
Taula 56. Resum dels models i equacions de càlcul de la temperatura. Font: Elaboració pròpia.....	164
Taula 57. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de gener. Font: Elaboració pròpia.....	165
Taula 58. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de febrer. Font: Elaboració pròpia.....	166
Taula 59. . Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de març. Font: Elaboració pròpia.....	167
Taula 60. . Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes d'abril. Font: Elaboració pròpia.....	168
Taula 61. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de maig. Font: Elaboració pròpia.....	169
Taula 62. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de juny. Font: Elaboració pròpia.....	170
Taula 63. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de juliol. Font: Elaboració pròpia.....	171
Taula 64. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes d'agost. Font: Elaboració pròpia.....	172

Taula 65. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de setembre. Font: Elaboració pròpia.....	173
Taula 66. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes d'octubre. Font: Elaboració pròpia.....	174
Taula 67. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de novembre. Font: Elaboració pròpia. ....	175
Taula 68. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de desembre. Font: Elaboració pròpia. ....	176
Taula 69. Error dels 12 models per cada mes. Font: Elaboració pròpia.....	177
Taula 70. Paràmetres constants pel càlcul de la tempertura del panell amb els 12 models. Font: Elaboració pròpia.....	178
Taula 71. Temperatura dels panells de la instal·lació 3 amb els 12 models el mes de maig. Font: Elaboració pròpia.....	179
Taula 72. Temperatura dels panells de la instal·lació 3 amb els 12 models el mes de juny. Font: Elaboració pròpia.....	180
Taula 73. Temperatura dels panells de la instal·lació 3 amb els 12 models el mes de juliol. Font: Elaboració pròpia.....	181
Taula 74. Temperatura dels panells de la instal·lació 3 amb els 12 models el mes d'agost. Font: Elaboració pròpia.....	182
Taula 75. Marge d'error dels 12 models de càlcul de temperatura del panell. Font: Elaboració pròpia.....	183
Taula 76. Tempertura de les plaques al llarg de l'any a la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.....	185
Taula 77. Tempertura de les plaques pels mesos dels quals no es disposen dades a la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia. ....	187
Taula 78. Tempertura de les plaques a la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia. ....	188
Taula 79. Pèrdues per temperatura promig de cada mes de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.....	190
Taula 80. Pèrdues per temperatura promig de cada mes de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.....	191
Taula 81. Pèrdues per temperatura promig de cada mes de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.....	192
Taula 82. Pèrdues per temperatura promig de cada mes de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.....	193
Taula 83. Energia produïda per la instal·lació 1 abans i després de la neteja. Font: Elaboració pròpia.....	195

Taula 84. Energia produïda abans i després de la neteja de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.....	197
Taula 85. Energia produïda abans i després de la primera neteja de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia. ....	199
Taula 86. Energia produïda abans i després de la segona neteja de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia. ....	200

## ÍNDIX DE GRÀFICS

Gràfic 1. Temperatura real vs models de càlcul el gener de la instal·lació 21. Font: Elaboració pròpia.....	94
Gràfic 2. Temperatura real vs models de càlcul l'abril de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.....	94
Gràfic 3. Temperatura real vs models de càlcul el juliol de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.....	95
Gràfic 4. Temperatura real vs models de càlcul el novembre de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia. ....	95
Gràfic 5. Temperatura real vs models de càlcul el maig de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.....	96
Gràfic 6. Temperatura real vs models de càlcul l'agost de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.....	96
Gràfic 7. Producció vs radiació abans i després de la neteja a la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia. ....	102
Gràfic 8. Producció vs radiació abans i després de la neteja a la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia. ....	103
Gràfic 9. Producció vs radiació abans i després de la primera neteja a la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia. ....	105
Gràfic 10. Producció vs radiació abans i després de la segona neteja a la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia. ....	106

# I. MEMÒRIA

## 1 INTRODUCCIÓ

### 1.1 Antecedents

Des l'entrada en vigor del RD 244/2019 que va donar inici a la compensació econòmica d'excedents per a instal·lacions fotovoltaïques a Espanya, el volum d'instal·lacions fotovoltaïques tant domèstiques com industrials no han parat de créixer. El RD 477/2021 ha provocat que aquest creixement encara hagi embogit més amb l'arribada a Espanya dels fons Next Generation. Aquest creixement en la demanda ha anat acompanyat d'un progrés tecnològic on any rere any la tecnologia fotovoltaïca creix i millora però, són realment eficients els panells fotovoltaïcs? Quins factors poden generar pèrdues en aquesta tecnologia i en quina mesura?

L'interès per a conèixer més en detall el funcionament de les plaques fotovoltaïques i saber si exactament funcionen com haurien de funcionar desperta la idea de dur a terme el treball que es present tot seguit.

### 1.2 Objecte del projecte

L'objectiu del treball és analitzar l'eficiència d'aquesta tecnologia i valorar les pèrdues de rendiment que pateix degut a diversos factors. Es sap que factors com la temperatura, la brutícia, l'angle d'incidència del sol o el tipus d'inversor afecten directament la potència que els panells generen respecte la màxima potència que poden donar.

Un segon objectiu és comparar el que diu la teoria i les referències bibliogràfiques sobre les pèrdues i el que es valori a nivell pràctic in-situ.

Per tant, es presentaran totes les pèrdues d'eficiència que poden arribar a tenir aquest tipus d'instal·lacions i es comprovaran amb instal·lacions reals si són certes i com varien segons diversos factors. S'entrarà més en detall de les pèrdues originades per l'excés de temperatura i per la brutícia en l'ambient.

### 1.3 Especificacions i abast

L'abast del treball contempla una part de cerca bibliogràfica d'articles nacionals i internacionals relatius a l'eficiència dels panells. Amb aquesta part es busca també aplicar la informació extreta per a realitzar els corresponents càlculs teòrics de la pèrdua d'eficiència.

Per altra banda, també es contempla una part pràctica per a comprovar la validesa dels articles llegits. Es realitzaran verificacions analitzant les variacions de rendiment en una instal·lació abans i després de realitzar una neteja de panells (per a valorar l'efecte de la brutícia) i en

una altra instal·lació que disposa de sondes de temperatura per a valorar com hi afecta aquesta al seu rendiment.

Es posaran en pràctica diferents mètodes de càlcul extrets de diversos articles científics per a determinar les pèrdues per temperatura que una instal·lació fotovoltaïca presenta. Això permetrà comprovar si el percentatge real s'ajusta al teòric i si els models elaborats al llarg dels anys realment són aptes i precisos per a casos reals.

## 2 INTRODUCCIÓ A L'ENERGIA FOTOVOLTAICA

La tecnologia solar fotovoltaica consisteix en la conversió directa de la radiació del sol en electricitat. Aquesta conversió es realitza a través de al cèl·lula solar, unitat bàsica en la que es produeix l'efecte fotovoltaic.

### 2.1 Radiació solar

La radiació solar no deixa de ser tota l'energia que rebem a la terra per part del sol, la seva forma són ones electromagnètiques, algunes de les quals les podem veure i d'altres en canvi ens són impossibles de detectar. Aquesta radiació solar no deixa de fer un feix de fotons que el sol allibera.

Aquestes ones electromagnètiques presenten unes longituds d'ona que es troben entre els 0,15  $\mu\text{m}$  i els 4 $\mu\text{m}$  de forma aproximada [1].

Les ones que, dins d'aquest espectre, tenen una longitud d'ona compresa entre 0,40  $\mu\text{m}$  i els 0,78  $\mu\text{m}$  formen el conjunt d'ones visibles pels ulls humans [1]. Aquest espectre és doncs la llum del sol que forma part de les nostres vides i que cada dia veiem amb els nostres propis ulls. La resta d'ones electromagnètiques no les podem detectar o diferenciar a simple vista.

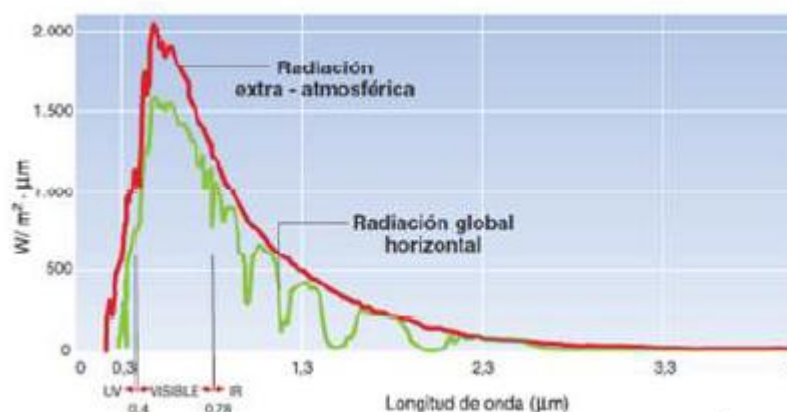


Figura 1. Espectre electromagnètic que produeix el sol. Font: [1].

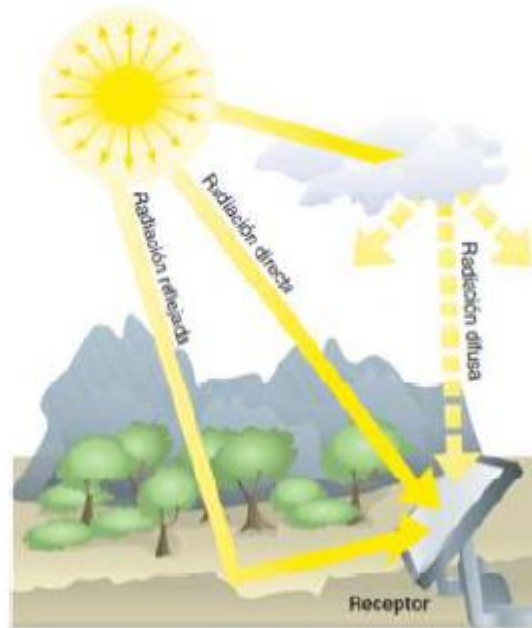
Aquest espectre que no veiem es pot diferenciar entre radiacions ultravioletes (longituds inferiors a 0,4 $\mu\text{m}$ ) i radiacions infraroges (longituds superiors a 0,78  $\mu\text{m}$ ) [1].

La radiació que arriba a la terra ho pot fer de tres maneres diferents, dit d'una altra forma es pot parlar de tres tipus de radiació [2]:

- **Radiació directa:** Arriba a un objecte directament des del sol mateix, sense cap canvi ni obstacle pel mig. És la radiació que provoca totes les ombres que veiem.
- **Radiació difusa:** És un tipus de radiació que va cap a totes les direccions a causa de reflexions i absorcions que pateix a causa de núvols, pols atmosfèrica,

montanyes, arbres, edificis, el terra...Aquesta radiació no produeix ombres a diferència de la directa.

- **Radiació reflexada:** Radiació reflexada per la superfície terrestre. La seva intensitat o quantitat dependrà del tipus de superfície.
- **Radiació global:** Radiació total fruit de la suma de les tres radiacions anteriors.



**Figura 2. Tipus de radiació. Font:[1].**

Aquesta radiació global és la que al final capten els panells fotovoltaïcs i per tant en funció d'aquesta la producció elèctrica serà major o menor (en funció d'aquesta i del captador fotovoltaic).

S'ha explicat que existeix un espectre electromagnètic produït pel sol i que aquest espectre produeix diferents ones de les quals unes quantes són visibles produint per tant una radiació sobre les persones i els objectes de la terra. Ara la pregunta és: com es pot quantificar aquesta radiació?

Per a determinar la potència i la energia que aquesta radiació fotovoltaica s'utilitzen principalment dos conceptes o magnituds [1]:

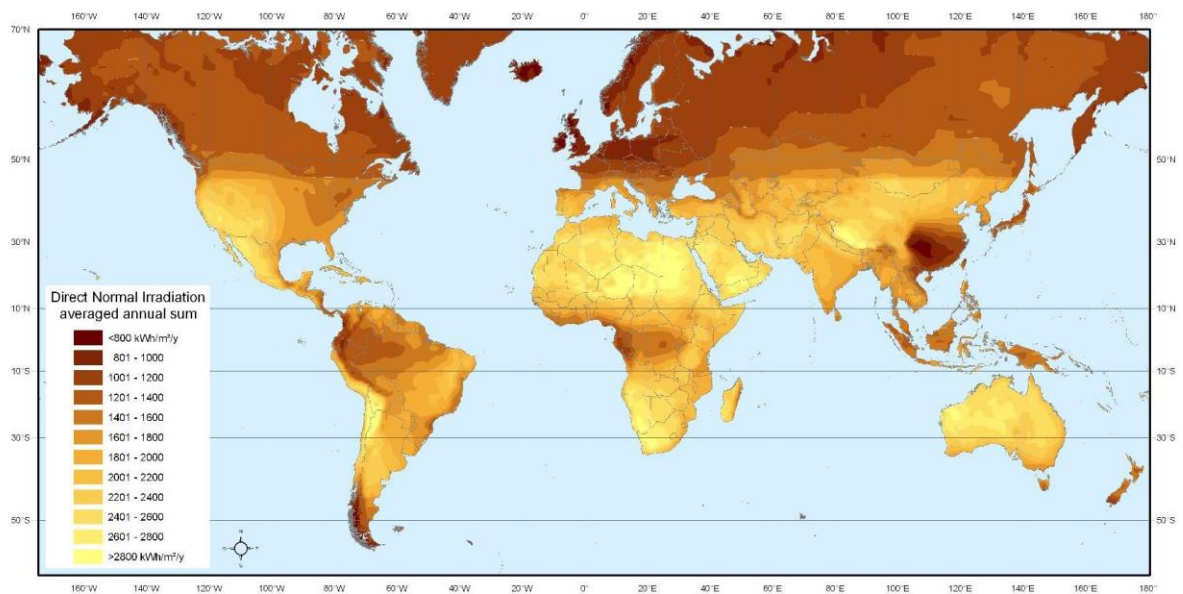
- **Irradiància:** Potència per unitat de superfície, és un indicador de la radiació solar i la seva unitat són els watts per metre quadrat [W/m<sup>2</sup>].
- **Irradiació:** És la suma de les irradiàncies en un període de temps determinat, dit d'una altra manera, la quantitat d'energia solar rebuda durant un temps. La seva unitat és l'energia per metre quadrat, ja sigui en joules o en watts per hora.

Per al càlcul i dimensionament d'instal·lacions fotovoltaïques s'utilitza molt la magnitud de la irradiància, doncs és un valor clau per a poder determinar i calcular el funcionament dels panells fotovoltaïcs.

Aquesta irradiància depèn de varis factors i és diferent a cada ubicació geogràfica [2]:

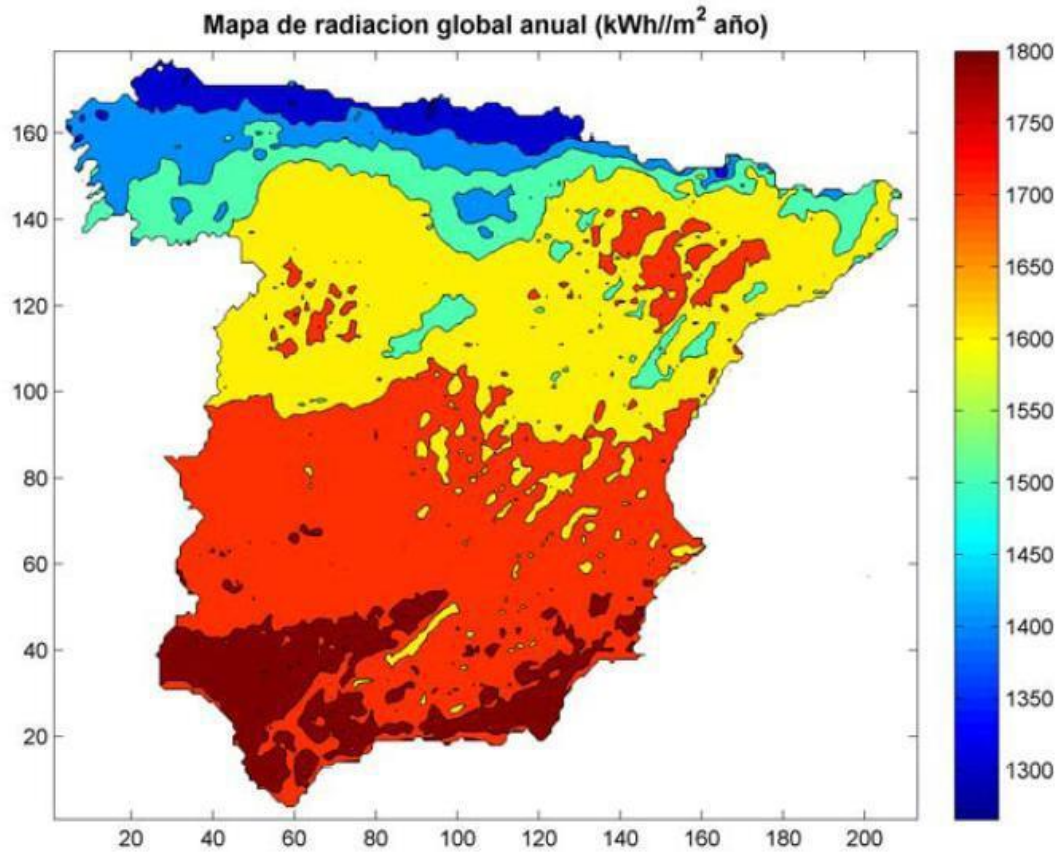
- Forma de la terra
- Moviments de la terra
- Fenòmens atmosfèrics (meteorologia)
- Cicle dia/nit (les hores de llum i de nit varien segons la ubicació).
- Activitat humana (influint a la contaminació del lloc).

És per aquest motiu que països nòrdics tenen molta menys irradiància (cicles dia/nit diferents) o que ciutats amb contaminació ambiental (activitat humana) també tenen menys irradiància. A les següents imatges es pot veure la irradiació solar anual a tot al món i a Espanya per a tenir una idea de com varia la intensitat solar segons on ens trobem [3].



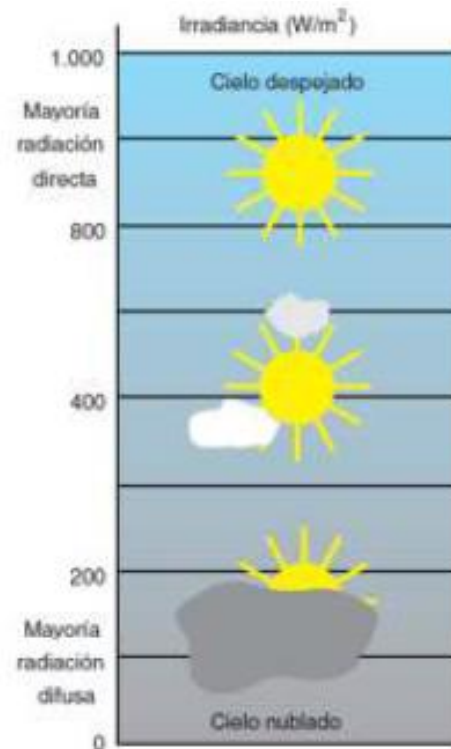
**Figura 3. Irradiació anual al món. Font: [3].**





**Figura 4. Irradiació anual a Espanya. Font: [3].**

En condicions ideals la irradiància a la superfície de la terra és de 1000 W/m<sup>2</sup>. Més endavant s'explicarà i mostrarà com aquest valor d'irradiància és el que utilitzen els fabricants de panells fotovoltaïcs per a determinar les condicions de funcionament. Seria el valor ideal en un clima adequat, a la següent figura es pot veure una petita estimació de la irradiància de l'ambient segons el tipus de clima i segons el tipus de radiació que és més present a l'ambient [1].



**Figura 5. Valors d'irradiància segons el clima. Font: [1].**

Si s'entra més en matèria també existeixen magnituds molts més concretes per a quantificar els diferents tipus de radiació [3] tot i que aquests no és habitual veure'ls en càlculs i dimensionament d'instal·lacions fotovoltaïques. Algunes d'aquestes magnituds són:

- Irradiància espectral: Potència per metre quadrat i per longitud d'ona.
- Irradiància directa
- Irradiància difusa
- Irradiància circumsolar: Part de la radiació difusa que prové de les proximitats del disc solar.
- Radiació extraterrestre: Radiació que arriba a l'exterior de l'atmosfera terrestre (només varia amb la distància entre el sol i la terra).

Com s'ha explicat aquestes magnituds no s'apliquen ni apareixen en la gran majoria d'estudis fotovoltaïcs, doncs el que resulta interessant per a calcular el rendiment d'una instal·lació és saber, per a una ubicació concreta, els watts per metre quadrat d'irradiància (en base a valors històrics). Sabent aquest valor i la superfície en metres quadrats de la instal·lació fotovoltaïca doncs es pot determinar la capacitat total en watts de la instal·lació.

A aquesta capacitat total és a la que després cal sumar-hi totes les pèrdues que centren la part central d'aquest treball.

## 2.2 Principi de funcionament de l'energia fotovoltaica

Per a aconseguir aquest efecte fotovoltaic i transformar la radiació del sol en energia elèctrica fa falta, principalment, la cèl·lula fotovoltaica, la qual és la capaç de transformar la radiació del sol comentada anteriorment en electricitat de corrent continu. A aquest efecte se'l coneix com efecte foto elèctric.

Aquesta cèl·lula fotovoltaica està formada per materials semi-conductors que controlen el flux d'electrons per formar corrents elèctriques. Contenen dos capes d'aquests materials: una de superiors de càrrega negativa i una d'inferior de càrrega positiva [4].

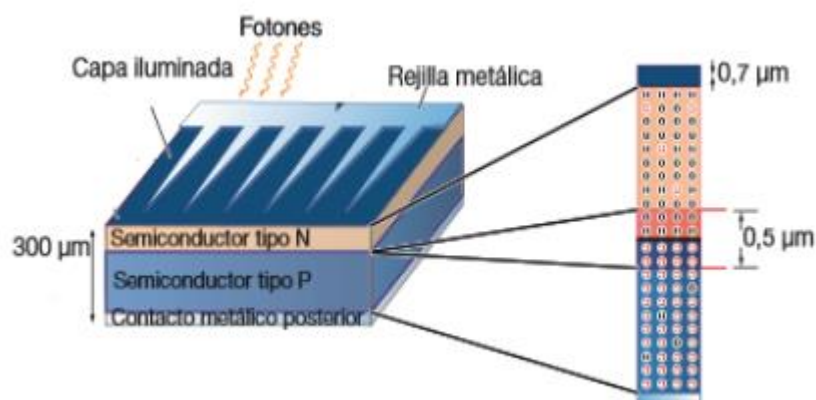


Figura 6. Composició d'una cèl·lula fotovoltaica. Font: [4].

Quan un raig de llum incideix sobre la cèl·lula els electrons de la capa negativa s'alliberen i són atrets per la capa positiva, deixant així un forat que és ocupat per un altre electró negatiu. A mesura que aquest efecte es va produint amb major escala el moviment dels electrons acaba generant la corrent elèctrica [4].

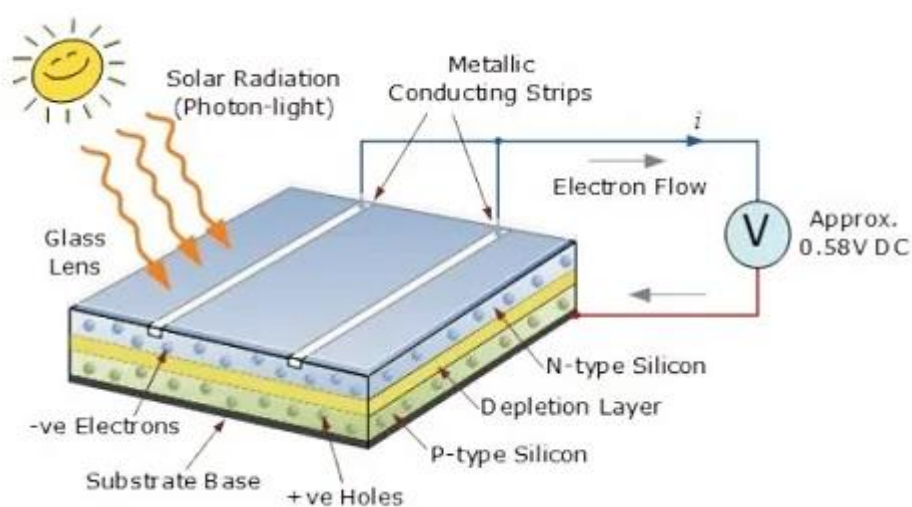
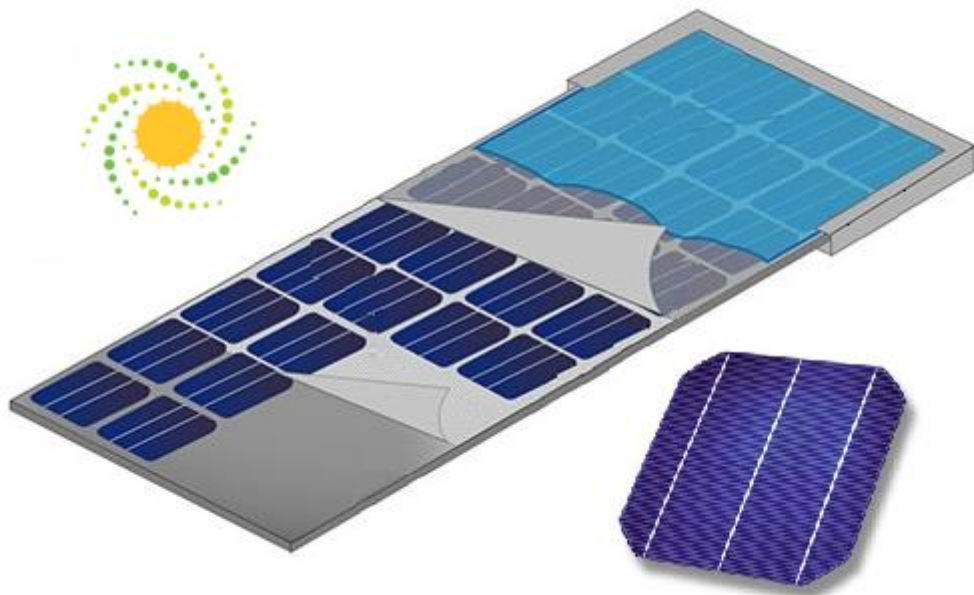


Figura 7. Funcionament d'una cèl·lula fotovoltaica. Font: [5].

Com s'ha comentat, a partir del moviment d'electrons generat per la llum del sol i per la diferència de potencial entre les capes de la cèl·lula, aquests electrons es fan circular estratègicament per la càrrega que es vol alimentar i per tant la càrrega s'aprofita del moviment dels electrons en forma d'electricitat.

Així doncs, si es disposa de radiació solar i d'una cèl·lula fotovoltaica es pot aconseguir energia elèctrica.

Les cèl·lules fotovoltaïques presenten un aspecte senzill, com el que es veu a continuació. Un panel fotovoltaic com els que es veuen a les teulades són un conjunt de moltes cèl·lules fotovoltaïques. Com més gran és un panell més cèl·lules hi caben i per tant més potencia produirà el panel. Al final la producció dependrà de la seva superfície com s'ha vist amb el concepte de la irradiància.



*Figura 8. Diferència entre cèl·lula i panell fotovoltaic. Font: [6].*

## 2.3 Panells fotovoltaics

Les cèl·lules fotovoltaïques que produeixen aquest efecte foto-elèctric es fabriquen amb material semiconductor com s'ha explicat anteriorment. Aquest material és el que converteix la radiació solar en electricitat en corrent continua.

El material semiconductor per excel·lència i que es pot trobar a la gran majoria de panells és el silici. Es tracta d'un material ideal per aquesta finalitat ja que es tracta del segon element més abundant a l'escorça terrestre en forma de quars. La forma en la que s'utilitza més és el silici cristal·lí tot i que també s'utilitza el silici amorf [2]. Les tecnologies més utilitzades pels panells fotovoltaics són [2] i [7]:

- **Panells monocristal·lins:** Formades amb silici molt pur fos amb bor, formant una estructura cristal·lina perfecta. Es tracta dels panells més eficients (entre el 15% i el 18% generalment arribant a valors superiors al 20% en alguns casos), els més cars i també els més utilitzats en la indústria fotovoltaïca.
- **Panells policristal·lins:** Formades també per silici però en aquest cas no creix en forma d'un sol cristall sinó que es treballa per a obtenir un material que forma diferents cristalls de forma imperfecta. D'aquesta manera es redueix l'espessor del panell. Són panells amb un rendiment d'entre el 12% i el 14% que també són més econòmics al pesar menys i ser un procés menys complicat. En certes condicions poden arribar al 17-18%.
- **Panells amorfs:** Es tracta d'una tecnologia i un tipus de panell que presenta una major absorció de la llum solar però que a dia d'avui tenen un rendiment aproximat del 10% tot i que poden arribar al 13%. Són molt fines i això provoca que amb el pas del temps es degradin amb més facilitat que la resta de tecnologies. Es considera una tecnologia prometedora, ja que a dia d'avui no pot competir amb els panells monocristal·lins i policristal·lins.

Existeixen altres tecnologies apart de les comentades tot i que no tenen tanta cabuda dins del mercat actual. La gran majoria d'instal·lacions fotovoltaïques com s'ha comentat es duen a terme amb panells monocristal·lins.

Altres tecnologies són per exemple l'arseniür de gal·li (molt bon rendiment però escassetat del material i per tant encariment) o els panells bifacials on, mitjançant una doble unió positiva, es pot recollir la radiació frontal i la reflexada al terra augmentant el rendiment fins a valors que poden acostar-se al 30%.

Llavors existeixen directament altres tipus de materials que inclús utilitzen el cadmi o el seleni en comptes del silici, però són tecnologies que no són molt habituals i en les quals no s'hi entra en estudi.

Cal remarcar que, quan es parla del rendiment de les cèl·lules fotovoltaïques, es fa referència a la capacitat que tenen aquestes per a transformar l'energia del sol en energia elèctrica. Un rendiment del 20%, valor habitual a dia d'avui en els panells s'instal·len, significa que del 100% de radiació solar els panells són capaços de captar-ne i transformar-ne en electricitat el 20%. Els fabricants ja coneixen i tenen en compte aquest valor i la potència dels panells fotovoltaïcs ja ho contemplen.

Per una banda existeix el rendiment de la cèl·lula per captar i convertir l'energia solar i per altra banda existeix el rendiment de la instal·lació el qual, com es comentarà més endavant, es mou al voltant del 80%. Aquest segon rendiment té en compte les pèrdues que té una

instal·lació respecte el que el fabricant marca a les característiques o la producció suposada ja contemplant el rendiment dels panells respecte la radiació solar.

## 2.4 Inversor fotovoltaic

Els panells fotovoltaics anteriorment descrits aconseguen doncs energia elèctrica en forma de corrent continua. Per a poder utilitzar aquesta energia el següent pas en una instal·lació és convertir aquesta energia de corrent continua a corrent alterna ja que és en aquesta forma com s'utilitza l'energia elèctrica per al seu consum.

Un inversor fotovoltaic és doncs un aparell elèctric que transforma l'energia de les plaques fotovoltaïques en corrent alterna.

Aquests aparells no deixen de ser unes màquines amb un transformador intern que la seva feina és anar convertint tota la energia que reben per part de les plaques. Com tenen una capacitat concreta és important dimensionar correctament les instal·lacions per a que pugui transformar tota l'energia que les plaques serien capaces de generar.

Aquests inversors, s'explicarà més endavant, presenten una sèrie de pèrdues com tot aparell elèctric. En la transformació aquest genera escalfor per pur efecte Joule i per tant converteix part de l'energia de les plaques en escalfor.

Els inversors tenen un petit algoritme electrònic que s'anomena seguiment del punt de màxima potència (MPPT). Aquest algoritme permet als inversors modificar lleugerament els paràmetres de l'energia de les plaques per tant de maximitzar-ne la potència. Dit d'altra manera, ell rep un voltatge i una intensitat i té la capacitat de modificar-ne lleugerament els valors per tant que la potència resultant sigui la màxima possible dins d'una corba concreta, és a dir, no pot variar els valors a la lleugera, pot desplaçar-los per una corba que marca el fabricant i que s'explica tot seguit.

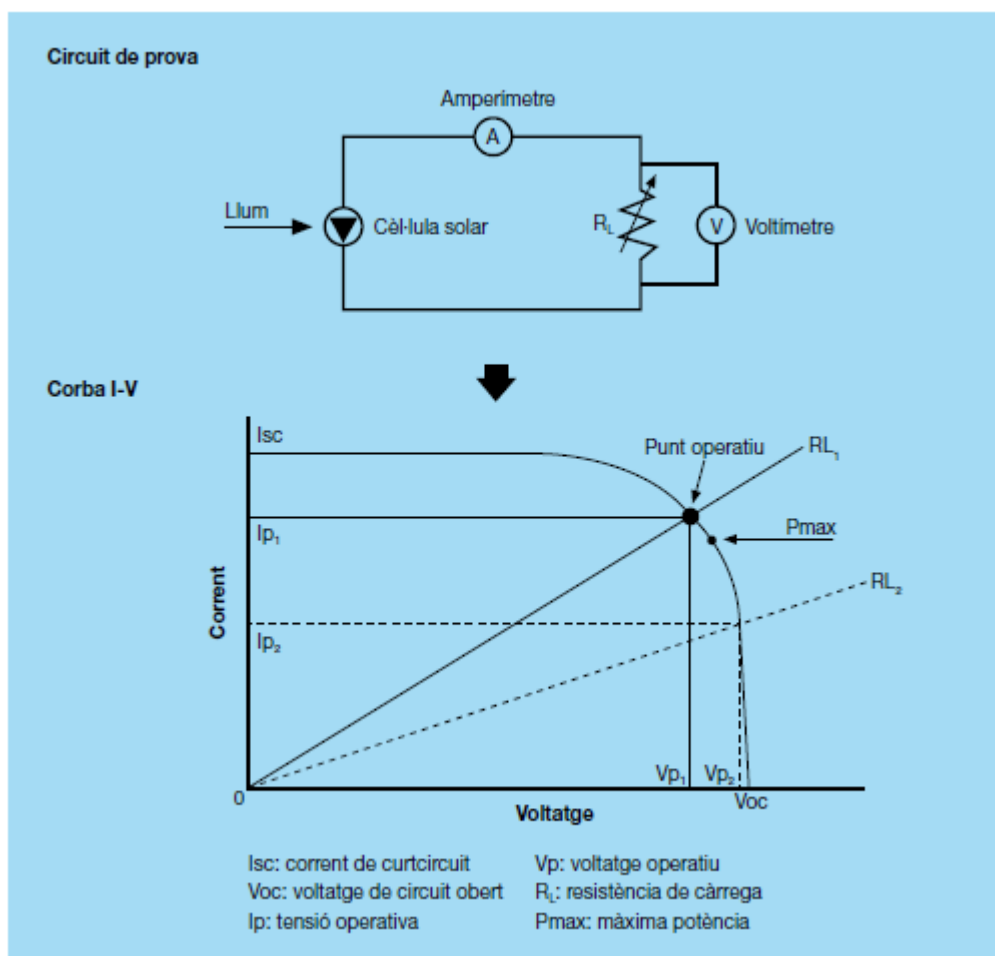
## 2.5 Paràmetres fotovoltaics

Per entendre correctament el funcionament d'una instal·lació fotovoltaïca és important conèixer els seus paràmetres de funcionament just com s'estava explicant.

El més bàsic de tots és la corba I-V, la qual relaciona la intensitat i el voltatge que pot arribar a proporcionar una placa fotovoltaïca.

És molt important entendre que les cèl·lules fotovoltaïques generen corrent (intensitat) a partir de la radiació solar.

Aquesta corba permet relacionar per a múltiples situacions la intensitat que poden arribar a generar les plaques fotovoltaïques en funció del voltatge al qual permeti treballar la càrrega que s'alimenta, és a dir, en funció de la impedància [8].



**Figura 9. Paràmetres d'una instal·lació fotovoltaïca. Font: [8].**

Els paràmetres que cal conèixer de les plaques i que totes elles tenen descrits a les corresponents fitxes tècniques són:

- **Intensitat de curtcircuit ( $I_{cc}$ ):** És la intensitat màxima que poden arribar a produir les plaques fotovoltaïques en una situació de curtcircuit. Quan no hi ha cap càrrega consumint energia la instal·lació es troba en curtcircuit ja que no hi ha cap resistència elèctrica i s'estaria unint el pol positiu del panell directament amb el pol negatiu. En aquest cas la intensitat que produeixen les plaques fotovoltaïques és la màxima que poden produir i s'anomena intensitat de curtcircuit.
- **Voltatge de circuit obert ( $V_{oc}$ ):** És la tensió que el panell ofereix quan es troba desconnectat. És el voltatge que es veuria en el cas que el panell estigui al sol però desconnectat.
- **Intensitat del punt de màxima potència ( $I_{pmp}$ ):** Intensitat que produeix el panell fotovoltaïc en les condicions de màxima producció.
- **Voltatge del punt de màxima potència ( $V_{pmp}$ ):** És el voltatge que ofereix el panell fotovoltaïc en les màximes condicions de funcionament.



- **Potència màxima o pic (Wp):** És la potència màxima que el panell pot arribar a oferir en unes condicions òptimes de funcionament i sense cap tipus de pèrdua.

Aquesta potència màxima, com es pot veure a la Figura 9, es produeix en el punt de la corba I-V on el panell assoleix tant la intensitat com el voltatge de màxima potència. Fruit d'aquesta combinació s'obté la potència màxima.

L'algoritme electrònic comentat anteriorment fa petites modificacions a la producció per a intentar sempre estar tant a prop com sigui possible d'aquest punt de màxima potència. Per tant el que fa es moure els valors per sobre d'aquestes corbes.

Aquestes corbes però varien en funció de les condicions de treball de les plaques fotovoltaïques, si les condicions de irradiància i de temperatura no són bones el panell mai podrà treballar sobre la corba teòrica que el fabricant marca.

De fet els mateixos fabricants ja indiquen com varien aquestes corbes davant certes fenòmens i per tant d'alguna manera ja t'avisen que si les condicions no són les estàndards seves de mesura (CEM) doncs el panell no treballarà a màxim rendiment i per tant de cap manera podrà produir la potència pic que indiquen.

A la següent figura es pot veure l'efecte de la irradiància sobre aquesta corba. La situació ideal (es comentarà més endavant) serien els 1000 W/m<sup>2</sup>, però com es pot veure a mesura que aquest valor baixa la capacitat de la placa de generar intensitat elevades i per tant potències elevades baixa. Es veu com la intensitat de curtcircuit (Isc) baixa de forma molt brusca al rebre menys irradiància: el corrent màxim que pot produir una placa quan no hi ha cap càrrega connectada perd capacitat. El mateix passa amb el voltatge de circuit obert però amb menys magnitud. Com la placa perd capacitat tant de corrent com de tensió doncs el resum és que la potència pic també cau.

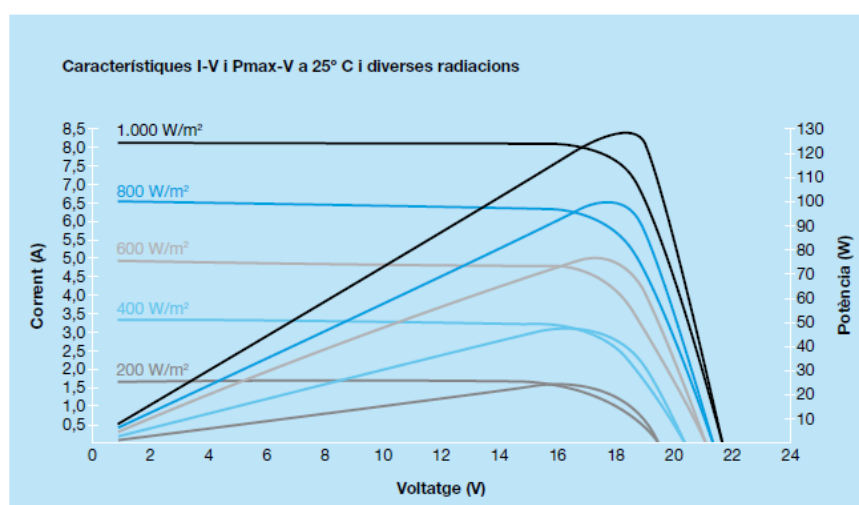
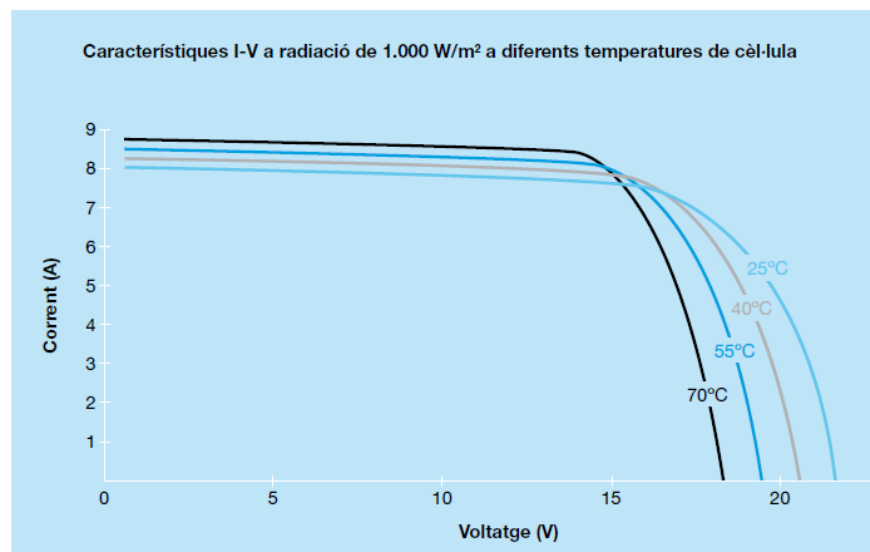


Figura 10. Variació de la corba I-V en funció de la irradiància. Font: [8].



El mateix passa amb al temperatura com es veu a la següent figura. A mesura que augmenta la temperatura la corba es cada vegada més petita de manera que perd capacitat de producció. En aquest cas la intensitat de curtcircuit pateix canvis menys bruscos que els que pateix el voltatge de circuit obert. De fet un augment de temperatura fa que la placa generi una mica més de corrent (a efectes pràctics és una variació que es considera gairebé constant) però en canvi el voltatge si que baixa de forma notòria amb increments de temperatura del mòdul. El resum doncs és que quan hi ha un augment de la temperatura la  $I_{SC}$  es manté constant i el  $V_{oc}$  baixa, per tant a més temperatura la placa genera la mateixa corrent però menys tensió i per tant la producció baixa.



**Figura 11. Variació de la corba I-V en funció de la temperatura. Font: [8].**

Aquests conceptes són també una breu introducció a dos tipus de pèrdues molt habituals en els sistemes fotovoltaïcs i que és important conèixer si es disposa de plaques fotovoltaïques, ja que permeten entendre molt bé el seu funcionament i el perquè de la potència que generen. És habitual no entendre com és possible que a ple juliol, amb un sol imponent, les plaques no estiguin produint ni un 90% de la capacitat que teòricament tenen segons el fabricant.

El que s'acaba d'explicar i el que s'anirà veient ajudaran a entendre aquests conceptes.

### 3 PÈRDUES D'EFICIÈNCIA DE LA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

Ara que s'ha entrat en el tema de les pèrdues d'eficiència, es citaran tots els tipus de pèrdues que poden patir les instal·lacions fotovoltaïques. Tot i que n'hi ha forces i s'explicaran totes elles, s'entrarà amb molt de detall dins les pèrdues provocades per temperatura i per brutícia, doncs són les dues que s'estudiaran i avaluaran a nivell pràctic donada la facilitat d'obtenir-ne dades reals.

Fins ara s'havia fet una introducció a tots els conceptes genèrics i resumits de l'energia fotovoltaica per a tenir una idea i poder entendre millor tots els tipus de pèrdues que poden produir-se i per quin motiu la placa pot produir més o menys.

#### 3.1 Pèrdues per temperatura

La temperatura d'operació de les plaques fotovoltaïques és un factor clau del seu rendiment i funcionament, ja que existeix una dependència molt clara entre l'eficiència (i per tant la potència proporcionada) de les plaques i la temperatura a la que es troben les cèl·lules.

Segons han pogut determinar moltes recerques i estudis científics la temperatura de les cèl·lules fotovoltaïques depèn de factors diferents on tots ells intervenen o hi afecten. Diferents correlacions marquen la seva dependència de variables meteorològiques com la temperatura ambient, la velocitat del vent i la irradiació solar principalment.

La potència que els fabricants donen als panells són aquelles que proporcionen al seu corresponent banc de proves amb unes condicions concretes i favorables, el fet de no treballar com indiquen les dades de laboratori, el rendiment dels panells disminueix i la instal·lació general funciona pitjor del que a priori hauria. Els fabricants solen donar les característiques tècniques en Condicions Estàndar de Medició (CEM) o la majoria de catàlegs tècnics ho indica com a STC per les seves sigles en anglès Standard Test Conditions, aquestes condicions són les següents:

- Irradiància solar: 1000 W/m<sup>2</sup>
- 25°C de temperatura de cèl·lula
- Una distribució espectral de 1,5G AM (Air Mass o massa aire atmosfèrica)

Per tant, els panells fotovoltaics produiran la potència que els fabricants marquen quan es compleixin aquestes tres condicions de funcionament.

Aquesta situació, però, en el dia a dia d'una instal·lació sobre coberta es dona de forma molt poc freqüent. El que és habitual és trobar-nos irradiacions d'uns 800 W/m<sup>2</sup> quan fa sol i molt inferiors quan el dia és ennuvolat. D'altra banda, la temperatura de cèl·lula de 25°C és una condició que, de dia, pràcticament no es dona a casa nostra (llevat de matins i tardes

durant els mesos d'hivern), doncs faria falta una temperatura ambient baixa per a que la cèl·lula fotovoltaïca pogués estar realment a aquesta temperatura a més de que la irradiància també fos suficientment baixa. Cal tenir en compte a més que en instal·lacions coplanars sobre cobertes inclinades l'espai entre la teulada i el panell és tan poca que aquests pràcticament no reben ventilació durant les èpoques més caloroses a no ser que les condicions de vent siguin realment favorables.

El fet de que el panell fotovoltaïc es trobi a una temperatura diferent de la marcada pel fabricant provoca que la potència pic subministrada ja no sigui la mateixa. Per a fer-nos una idea aproximada les pèrdues per variació de la temperatura solen ser en torn a un 4% per cada 10°C de variació respecte la temperatura marcada pel fabricant (25°C).

Aquesta variació de la temperatura òbviament genera una pèrdua de rendiment mesurable, ja que els mateixos fabricants donen la informació suficient per a estimar-ho en base a la temperatura d'operació nominal de la cèl·lula (s'explica més avall el seu significat) i la temperatura ambient.

Segons fabricants i el mateix plec de condicions de l'IDAE [9] la temperatura de la cèl·lula en unes condicions de funcionament conegudes es calcula segons l'equació 1.

$$T_C = T_A + (T_{ONC} - 20) \cdot \frac{G}{800} \quad Eq. 1$$

On:

- $T_C$  és la temperatura de la cèl·lula fotovoltaïca (°C)
- $T_A$  és la temperatura ambient (°C)
- $T_{ONC}$  és la temperatura d'operació de les cèl·lules fotovoltaïques (°C) amb una irradiància de 800 W/m<sup>2</sup> (i no als 1.000 W/m<sup>2</sup> de STC), una distribució espectral AM 1,5 G, una temperatura ambient de 20°C i una velocitat del vent de 1 m/s. Aquesta dada la dona el mateix fabricant a la fitxa tècnica.
- $G$  és la irradiància solar (W/m<sup>2</sup>) en el moment de la mesura.

Amb la temperatura de la cèl·lula, i sabent les pèrdues percentuals per cada °C de diferència respecte els 25°C (dada que proporciona el fabricant), es pot determinar fàcilment quines són aquestes pèrdues que es generen pel fet de treballar a una temperatura i condicions ambientals diferents de les de laboratori. Les pèrdues es podrien calcular segons la següent equació que també es pot trobar al plec de condicions de l'IDAE.

$$Pèrdues (\%) = \beta \left( \frac{\%}{^{\circ}C} \right) \cdot \frac{T_c - 25}{100} \quad Eq. 2$$

On:

- $\beta$  és la variació percentual de rendiment per cada  $^{\circ}C$  de diferència respecte els  $25^{\circ}C$  dels assajos de laboratori (dada proporcionada pel fabricant). Sol ser d'entre  $-0,3\%$  i  $-0,4\%$  per cada  $^{\circ}C$  de diferència respecte els  $25^{\circ}C$ .

Aquesta metodologia permet, d'una forma molt simple i ràpida, determinar doncs quina és la pèrdua de rendiment dels panells fotovoltaïcs un dia qualsevol de l'any. Amb un termòmetre al lloc de la instal·lació i sabent les dades del fabricant es pot determinar qualsevol dia de l'any quines pèrdues està provocant la temperatura ambient sobre una instal·lació fotovoltaïca.

Aquest mètode és l'utilitzat per l'IDAE i molts altres estudis (de fet és la forma més utilitzada i més estesa entre autors científics) però existeixen correlacions i equacions diferents que s'han anat determinant al llarg dels anys per a poder determinar les pèrdues per temperatura amb la màxima precisió possible en funció de diferents paràmetres.

Un estudi realitzat en una instal·lació a Kuwait [11] planteja exactament la mateixa equació 1 per a determinar la temperatura de la cèl·lula fotovoltaïca però en canvi té en compte alguns paràmetres diferents alhora de determinar el rendiment de la placa per exemple.

Per altra banda existeixen molts mètodes diferents, alguns extrets de casos reals d'altres elaborats, que busquen calcular la temperatura de la cèl·lula de diferents maneres però totes elles amb l'objectiu d'acostar-s'hi al màxim.

A continuació es presentaran fins a 12 models coneguts i promoguts per varis articles científics on tots ells intenten determinar de forma precisa la temperatura dels panells a partir de diferents dades per, d'aquesta manera, determinar les pèrdues per temperatura.

Tots els models presenten una sèrie de variables que són les mateixes, es presenten tot seguit per a saber de quines es tracta:

- $T_C$  és la temperatura de la cèl·lules fotovoltaïques ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_a$  és la temperatura ambient ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_{\text{ONC}}$  és la temperatura d'operació nominal segons fabricant ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_{\text{AONC}}$  és la temperatura ambient d'operació segons fabricant ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_{\text{STC}}$  és la temperatura en condicions estàndards de mesura ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $G$  és la irradiància solar que rep la cèl·lula ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- $G_{\text{TONC}}$  és la irradiància en condicions d'operació nominal segons fabricant ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- $V_s$  és la velocitat real del vent ( $\text{m}/\text{s}$ )
- $V_{\text{STC}}$  és la velocitat del vent en condicions estàndards ( $\text{m}/\text{s}$ )
- $U_0$  és la constant de transferència de calor ( $\text{W}/\text{K m}^2$ )
- $U_1$  és la convecció de transferència de calor
- $\tau \cdot \alpha$  és la transmitància de la placa pel coeficient d'absorció de les cèl·lules
- $a$  és el coeficient límit de la temperatura sobre el panell fotovoltaic a un vent baix i a una radiació solar elevada
- $b$  és el coeficient de temperatura per un vent elevat
- $\beta$  és el coeficient de temperatura de màxima potència ( $\%/^{\circ}\text{C}$ )
- $\eta_{\text{STC}}$  és el rendiment segons fabricant en condicions estàndards de mesura ( $\%$ ).
- $h_w$  és el coeficient de convecció del vent
- $h_{\text{wONC}}$  és el coeficient de convecció del vent en condicions d'operació segons fabricant
- $U_{\text{pv}}$  és el coeficient d'intercanvi de calor

Amb la presentació de tots els paràmetres que es veuran durant les pròximes pàgines es fa un breu resum dels models de càlcul que actualment es fan servir.

Un estudi dut a terme a Indonèsia [12] planteja fins a 4 sistemes diferents per aproximar aquesta temperatura tant important alhora de determinar les pèrdues d'una instal·lació fotovoltaica. Els models que valoren i plantegen són els següents (es presenten amb el seu nom conegut).

**Sandia:**

$$T_c = G \cdot \{e^{a+b \cdot V_s}\} + T_a \quad Eq. 3$$

En aquest model es pot veure com, apart dels paràmetres de temperatura ambient, velocitat del vent i irradiància, també hi participen dos coeficients anomenats a i b (descrits anteriorment).

Aquesta paràmetres prenen un valor a partir d'una correlació lineal que depèn principalment del tipus de panell. Per panells com els que a dia d'avui es troben al mercat (capa de vidre, capa de cèl·lula i capa de polímer) aquesta paràmetres prenen els valors de -3,56 (a) i de -0,75 (b) [56].

**Ross and Smokler:**

$$T_c = T_a + 0,035 \cdot G \quad Eq. 4$$

**Schott:**

$$T_c = T_a + 0,028 \cdot G - 1 \quad Eq. 5$$

**Faiman o Koehl:**

$$T_c = T_a \cdot \frac{G}{U_0 + U_1 \cdot V_s} \quad Eq. 6$$

Els dos últims paràmetres, utilitzats al model Faiman o Koehl (s'ha trobat amb diferents nomenclatures segons la font), no són valors coneguts i per tant cal obtenir-los de cerques i fonts bibliogràfiques. En aquest cas són uns valors que depenen del tipus de panell fotovoltaic també, com els paràmetres del model Sandia.

Per la tipologia de panells que s'utilitzen a dia d'avui els valors son 30,02 ( $U_0$ ) i 6,28 ( $U_1$ ) [57].

Un altre sistema és el que planteja un article de la universitat de Wisconsin [13] conegut amb Duffie and Beckman i que va ser elaborat l'any 1991. Aquests sistema s'assembla molt al primer de tots comentat però amb unes petites diferències amb els paràmetres a utilitzar.

**Duffie and Beckman:**

$$T_c = T_a + \frac{G}{G_{NOCT}} \cdot (T_{ONC} - T_a) \cdot \left(1 - \frac{\eta_c}{\tau \cdot \alpha}\right) \quad Eq. 7$$

El producte de la transmitància per el coeficient d'absorció, de forma genèrica i segons expliquen diversos articles, es pot prendre amb el valor de 0,9 [14].

Uns altres sistemes que permeten trobar la temperatura són els que planteja un article d'Itàlia [14], on valoren fins a 4 sistemes apart del tradicional que s'ha comentat el primer de tots.

Aquests es presenten tot seguit i es pot veure com, tot i que tant aquests com els anteriors presenten similituds, realment tots els autors que han creat equacions buscaven la precisió màxima.

**Skoplaki:**

$$T_c = T_a + \frac{G}{G_{NOCT}} \cdot (T_{ONC} - T_{AONC}) \cdot \frac{h_w^{NOCT}}{h_w} \cdot \left[1 - \frac{\eta_{STC}}{\tau \cdot \alpha} \cdot (1 - \beta \cdot T_{STC})\right] \quad Eq. 8$$

$H_w$  i  $H_w^{NOCT}$  són els coeficients de convecció del vent real i de laboratori. En el cas del de laboratori es considera una velocitat del vent equivalent a 1 m/s i la manera de trobar aquest coeficient és aplicant la següent equació quan el vent es considera perpendicular al panell:

$$h_w = 8,3 + 2,2 \cdot V_s \quad Eq. 9$$

I amb la següent equació quan es considera el vent paral·lel:

$$h_w = 6,5 + 3,3 \cdot V_s \quad Eq. 10$$

Per a l'estudi realitzat es considera que el vent és paral·lel el panell i per tant s'utilitza la equació 10.

**Kurtz:**

$$T_c = T_a + G \cdot e^{-3,473 - 0,0594 \cdot V_s} \quad Eq. 11$$

**Mattei:**

$$T_c = \frac{U_{PV} \cdot T_a + G \cdot [\tau \cdot \alpha - \eta_{STC} \cdot (1 - \beta \cdot T_{STC})]}{U_{PV} + \beta \cdot \eta_{STC} \cdot G} \quad Eq. 12$$

$U_{pv}$  ( $v$ ) és el coeficient d'intercanvi de calor per tot el mòdul, el qual es calcula a partir de la velocitat del vent ( $V_s$ ):

$$U_{pv} = 26,6 + 2,3 \cdot V_s \quad Eq. 13$$

Es planteja un sistema que van determinar de forma experimental, a partir de dades reals d'instal·lacions fotovoltaïques a Grècia [15]. Com en altres sistemes plantejats aquest sistema va buscar una correlació real entre la temperatura de les cèl·lules, la temperatura ambient, la radiació solar i la velocitat del vent. Una vegada va haver plantejat tot de dades experimentals reals va extreure una correlació que busqués precisar al màxim la relació entre aquestes 4 variables. El resultat es pot veure a l'equació 16.

$$T_c = 2,08(\pm 0,13) + 1,038(\pm 0,004) \cdot T_a + 0,0182(\pm 0,0001) \cdot G - 1,13(\pm 0,02) \cdot V_s \quad Eq. 14$$

Un altre sistema empíric determinar a partir de dades reals és el que es presenta tot seguit [20] on també es té compte la temperatura ambient, la velocitat del vent i la irradiància.

$$T_c = 0,943 \cdot T_a + 0,028 \cdot G - 1,528 \cdot V_s + 4,3 \quad Eq. 15$$

Seguint amb revisions literàries es poden trobar més sistemes com el que s'expressa tot seguit [21] que el planteja el software PVLab:

$$T_c = T_a + \left( \frac{\alpha \cdot G \cdot (1 - \eta_{STC})}{U_0} \right) \quad Eq. 16$$

Existeixen encara més relacions i sistemes que busquen calcular la temperatura de les cèl·lules fotovoltaïques amb la màxima precisió. Per a dur a terme l'anàlisi present s'utilitzaran els 12 models presentats fins al moment.



En resum els sistemes que es valoraran:

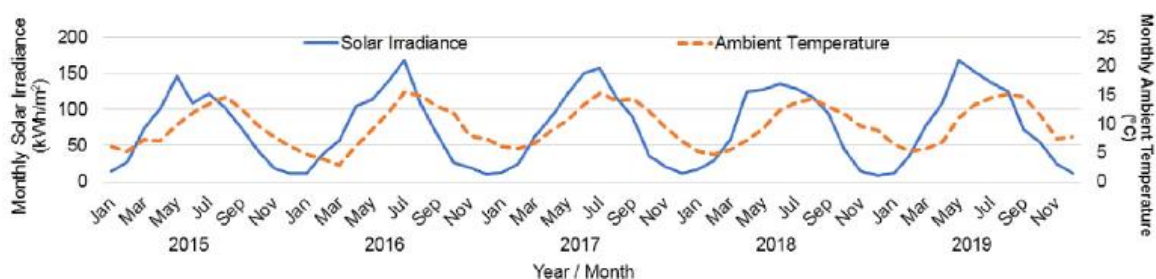
**Taula 1. Models per a calcular la temperatura de la cèl·lula fotovoltaïca. Font: Elaboració pròpia.**

NOM DEL MODEL:	NOMENCLATURA PRÒPIA:	EQUACIÓ:
Model estandard	Model 1	$T_c = T_a + (T_{ONC} - 20) \cdot \frac{G}{800}$
Sandia	Model 2	$T_c = G \cdot \{e^{a+b \cdot WS}\} + T_a$
Ross and Smokler	Model 3	$T_c = T_a + 0,035 \cdot G$
Schott	Model 4	$T_c = T_a + 0,028 \cdot G - 1$
Faiman	Model 5	$T_c = T_a + \frac{G}{U_0 + U \cdot V_s}$
Duffie and Beckman	Model 6	$T_c = T_a + \frac{G}{G_{NOTC}} \cdot (T_{ONC} - T_a) \cdot \left(1 - \frac{\eta_c}{\tau \cdot \alpha}\right)$
Skoplaki	Model 7	$T_c = T_a + \frac{G}{G_{NOCT}} \cdot (T_{ONC} - T_{AONC}) \cdot \frac{h_{w,NOCT}}{h_{w(v)}} \cdot \left[1 - \frac{\eta_{STC}}{\tau \cdot \alpha} \cdot (1 - \beta_{STC} \cdot T_{STC})\right]$
Kurtz	Model 8	$T_c = T_a + G \cdot e^{-3,473 - 0,0594 \cdot V_s}$
Mattei	Model 9	$T_c = \frac{U_{PV}(v) \cdot T_a + G \cdot [\tau \cdot \alpha - \eta_{STC} \cdot (1 - \beta_{STC} \cdot T_{STC})]}{U_{PV}(v) + \beta_{STC} \cdot \eta_{STC} \cdot G}$
Model experimental 1	Model 10	$T_{pv} = 2,08 + 1,038 \cdot T_a + 0,0182 \cdot G - 1,13 \cdot V_s$
Model experimental 2	Model 11	$T_c = 0,943 \cdot T_a + 0,028 \cdot G - 1,528 \cdot V_s + 4,3$
PVLab	Model 12	$T_c = T_a + \left(\frac{\alpha \cdot G \cdot (1 - \eta)}{U_0}\right)$

Determinar correctament la temperatura de les plaques fotovoltaïques és imprescindible per a poder estimar quines pèrdues d'eficiència tindrà la instal·lació, amb aquesta temperatura i sabent la informació del fabricant resulta llavors molt senzill saber el percentatge de pèrdues (equació 2).

Es pot veure doncs com, per molts sistemes que s'han anat plantejant al llarg dels anys, és evident que la temperatura de les plaques fotovoltaïques depèn sobretot de la temperatura ambient i de la irradiància, aquestes són les dues principals claus que fan que augmenti de forma proporcional: molta temperatura ambient i molta irradiància voldran dir altes temperatures a les plaques. Un dia d'estiu amb molta calor ambiental i molta irradiància, tot i que hi haurà moltes hores de sol i per tant de producció, les plaques presentaran una temperatura molt elevada (podent arribar tranquil·lament els 50-70°C) i per tant presentarà unes pèrdues d'eficiència considerables en comparació amb l'hivern. Un dia d'hivern amb poc sol i molta fred les plaques produiran menys (per un tema de irradiància baixa) però en canvi presentarà unes pèrdues per temperatura molt petites en comparació a l'estiu.

A l'hivern directament com hi ha menys irradiància doncs la producció de les plaques és menor, doncs queda més lluny dels 1.000 W/m<sup>2</sup> de les proves. De fet, existeix una relació directa entre la temperatura i la irradiància com es pot veure a la següent figura amb dades del Regne Unit i 8.000 instal·lacions estudiades [16]. A major irradiància major producció però major és la temperatura i per tant majors són les pèrdues per temperatura.

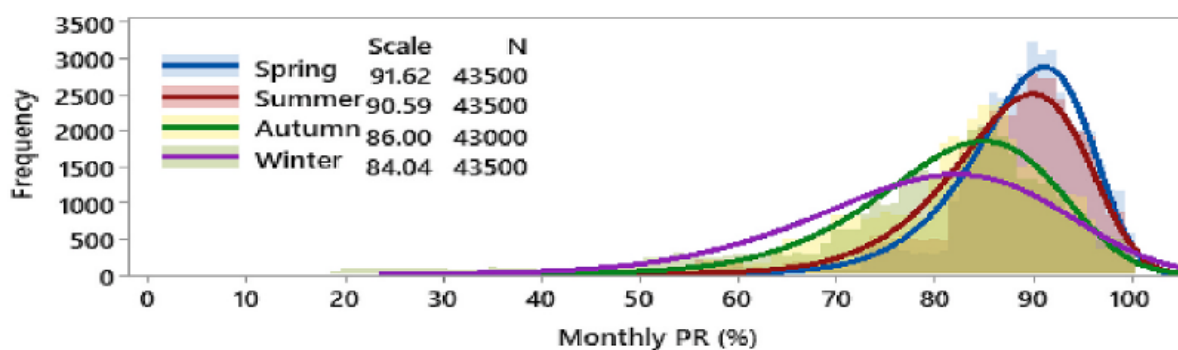


**Figura 12. Relació entre la temperatura ambiental i la irradiació solar a Anglaterra. Font:[16]**

L'autor Mahmoud Dhimish, va publicar un estudi on va analitzar l'impacte tèrmic de 8.000 instal·lacions fotovoltaïques ubicades a Anglaterra. Pretenia veure a la pràctica com afectava la temperatura ambiental al rendiment de totes aquestes instal·lacions. La seva conclusió final va ser que, al llarg de l'any, el rendiment de les instal·lacions era d'entre un 85% i un 90% (depenent de la regió on es troben les instal·lacions). Aquest rendiment global, òbviament, encasella totes les pèrdues de les instal·lacions apart de les provocades per la temperatura. El qual coincideix amb els percentatges que proposen els programes de rendiment fotovoltaic.

Una conclusió prou interessant que se'n pot extreure d'aquest cas d'estudi real és veure amb dades com la primavera és l'estació de l'any on les instal·lacions assoleixen, en general,

un millor rendiment pic, com es pot veure a la Figura 13. Aquest fet permet veure just el que es comentava, la calor de l'estiu provoca que el rendiment com a tal de les plaques fotovoltaïques no siguin els més alts de l'any. A la primavera, tot i que l'energia total generada serà menor que a l'estiu, es veuran rendiment pic superiors ja que els dies amb més radiació solar de la primavera no venen acompanyats d'altres temperatures com a l'estiu. El rendiment total es pot veure com es mou entre un 84% i un 92% segons l'època. A l'estiu, una època on la irradiància està en màxims juntament amb la temperatura ambient, el rendiment total mig és d'un 90% mentre que a la primavera el rendiment com a tal arriba gairebé al 92%. A l'hivern és més complicat treure conclusions ja que el rendiment baixa de forma general per la baixa irradiància solar i núvols, és obvi que el rendiment és pitjor però degut a altres pèrdues que es comentaran, les pèrdues per la temperatura a l'hivern tenen menys impacte.



**Figura 13. Rendiment promig de les instal·lacions en funció de l'estació. Font:[16]**

A unes conclusions similars van poder arribar uns investigadors de l'institut de ciència de la India [17] analitzant el rendiment d'una instal·lació de 20 kWp sobre la coberta del mateix institut. El més interessant d'aquest article, altra vegada, són les conclusions respecte l'efecte de la temperatura i per tant la diferència entre les diferents èpoques de l'any sobre les plaques fotovoltaïques.

En aquest cas l'estudi es va elaborar entre 2013 i 2015 i van poder plantejar una relació directa entre la temperatura de les plaques i el rendiment d'aquestes.

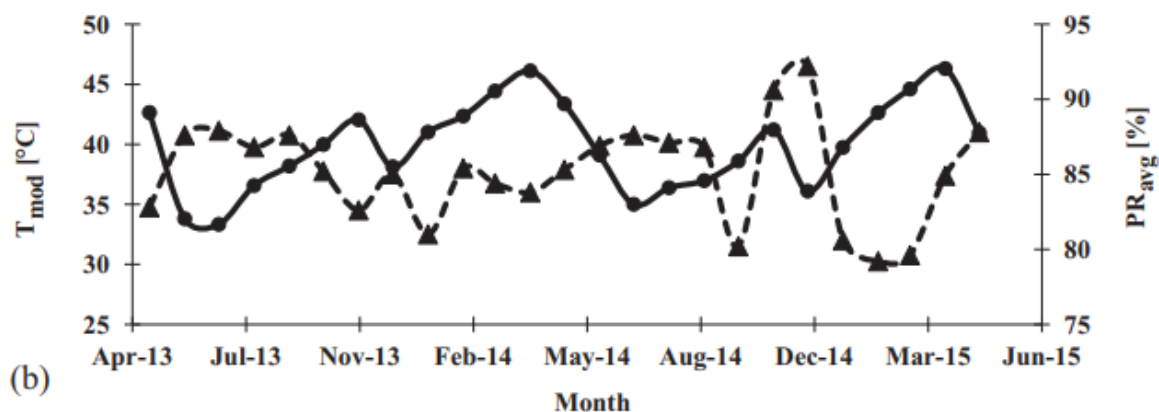


Figura 14. Relació entre la temperatura dels panells i el seu rendiment mig. Font:[17]

Als seus resultats es pot veure de forma molt visual la diferència entre la temperatura de les cèl·lules i el rendiment de la instal·lació respecte la producció que haurien de donar sense pèrdues. Quan major és la temperatura menor és el rendiment i viceversa de forma genèrica, en aquest gràfic la línia contínua ens mostra la temperatura dels mòduls i en discontinua el rendiment. Es confirma el mateix que s'ha anat explicant, que un augment de la temperatura de les plaques tendeix a perjudicar el rendiment.

El rendiment mig es pot veure com es mou entre el 80% i el 90% i que la temperatura de les cèl·lules es mou entre els 35°C i els 45°C, ni s'acosta als 25°C que el fabricant indica.

Aprofitant aquestes mateixes dades es desglossa el rendiment per estacions de l'any, tal i com havia fet Mahmoud a Anglaterra.

Seguint amb altres estudis experimentals, el mateix estudi que acaba plantejant una equació per a determinar la temperatura de les cèl·lules fotovoltaïques [15] arriba a les mateixes conclusions i a més aporten una sèrie de gràfics que permeten veure encara més clar l'efecte de la temperatura. Es va avaluar el rendiment i la producció de la instal·lació mitjançant sensors de temperatura a la superfície de les plaques i amb els corresponents sensors per a poder conèixer amb precisió la irradiància que arribava a les plaques.

El que és interessant del que veuen, com ja s'havia explicat, és que la velocitat del vent té un impacte directe sobre la temperatura tot i que l'efecte, comparat amb la temperatura ambient i la irradiància solar, té un efecte molt i molt suau. En part per això la forma més genèrica de calcular aquesta temperatura no inclou la velocitat del vent, pel seu baix efecte.

Es poden veure dades reals d'una instal·lació estudiada a Turquia [18]. El vent impacta poc sobre la temperatura del panell (columnes blaves), aquesta es regeix més per la temperatura ambient (i directament per la irradiància) que no pas per la velocitat del vent.

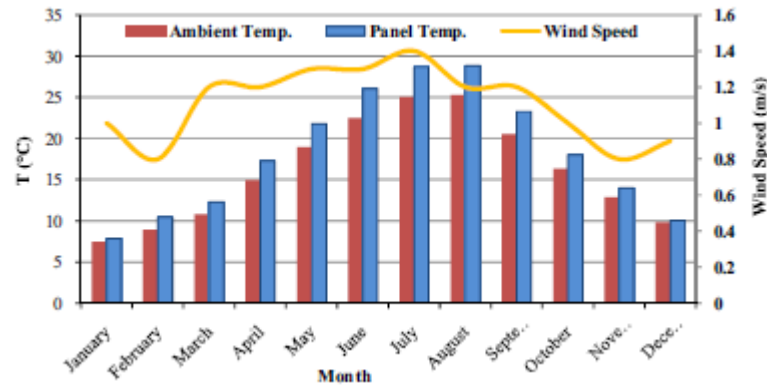


Figura 15. Relació entre la velocitat del vent, la temperatura ambient i la temperatura del panell. Font: [18].

Tornant a l'estudi dut a terme a Grècia, dins el seu recull de dades es pot veure de nou la relació entre els paràmetres d'estudi: temperatura ambient, temperatura de les plaques i rendiment de la instal·lació fotovoltaïca.

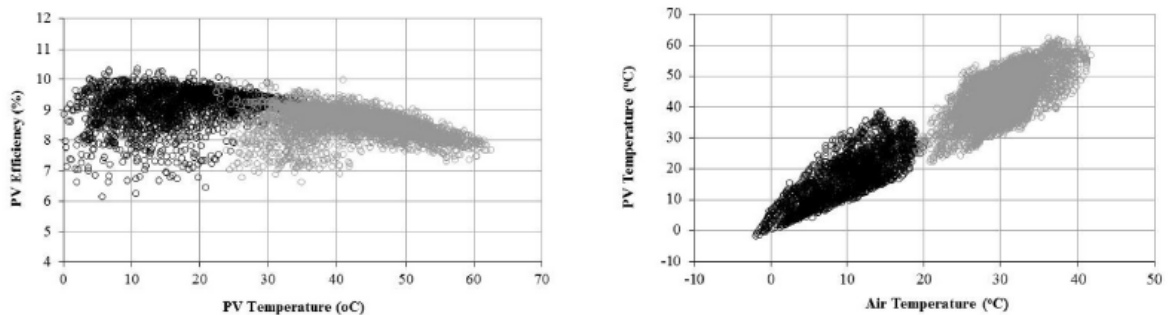
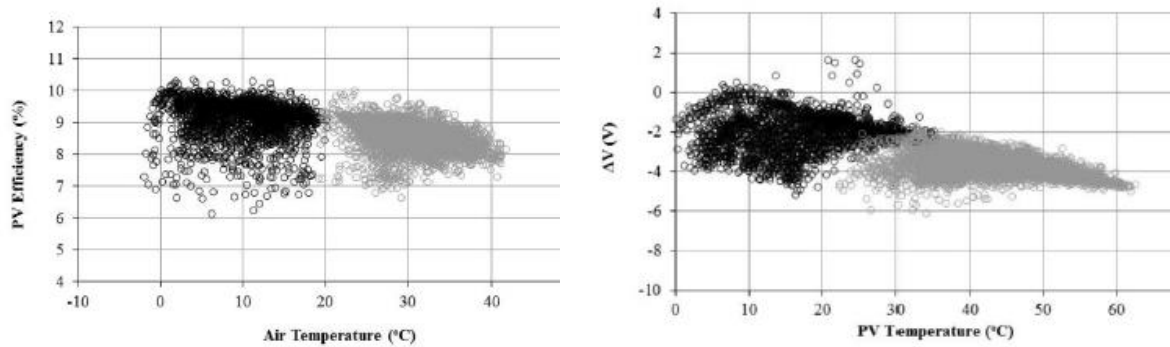


Figura 16. Relació entre la temperatura del panell i el rendiment d'aquest (esquerra) i relació entre la temperatura ambient i la del panell (dreta). Font:[15].

Es pot tornar a veure el mateix que han pogut concloure altres autors de diferents països: a major temperatura ambient major temperatura del panell (relació lineal al gràfic de la dreta) i a major temperatura del panell menor sol ser el rendiment de la placa (gràfic de l'esquerra). Aquest estudi resulta interessant perquè mostra moltes dades i la seva tendència, tot i que hi ha excepcions i punts fora de la tendència aquesta es pot veure molt clarament.

Es pot veure com en algunes instal·lacions la temperatura de les plaques fotovoltaïques arriba fins als 60-70°C en èpoques més caloroses. Al gràfic de la dreta també es pot veure com la diferència entre un panell calent i un panell fred pot ser una diferència d'un 3-4% de rendiment per culpa de la temperatura.



**Figura 17.** Relació entre la temperatura ambient i el rendiment dels panells (esquerra) i relació entre la temperatura dels panells i la variació de voltatge. Font:[15].

Es pot veure també la relació entre la temperatura ambient i el rendiment i la relació entre la temperatura dels panells i la variació de voltatge que poden donar les plaques. Fixant-nos amb les dades més extremes la temperatura pot comportar una diferència de pèrdua de rendiment d'un 4% de forma aproximada, és a dir, la diferència entre les pèrdues de temperatura al millor moment de l'any i al pitjor és, en aquest estudi, d'un 4% aproximadament.

Com a resum es pot veure el mateix, un augment de la temperatura ambient provoca una disminució del rendiment de forma genèrica. En aquest cas també es pot veure bastant bé que és el que provoca la pèrdua de rendiment, doncs el fet que les plaques s'escalfin provoca que les plaques generin menys voltatge i per tant baixi la seva eficiència.

Una manera ràpida, i de collita pròpia, per a quantificar les pèrdues per temperatura és prendre dades de temperatura promig dels panells fotovoltaïcs i a partir de l'equació 2 determinar les pèrdues que impliquen, d'aquesta manera resulta molt més senzill veure exactament l'eficiència perduda que impliquen aquestes temperatures que s'han anat explicant.

Al llarg dels diferents articles científics comentats s'ha pogut veure que les temperatures dels panells fotovoltaïcs, al llarg de l'any, varien aproximadament des dels 10°C fins als 70°C (valors variables ja que depèn molt de la ubicació i per tant del clima on ens trobem).

Es pren, per exemple, un panell fotovoltaïc normalitzat dels que a dia d'avui es troben al mercat, el model Tallmax del fabricant Trina de 450Wp [19], la seva fitxa tècnica a l'apartat de la temperatura indica el que es pot veure a la Figura 18.

**TEMPERATURE RATINGS**

NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41 °C (±3 °C)
Temperature Coefficient of P <sub>MAX</sub>	- 0.36%/ °C
Temperature Coefficient of V <sub>OC</sub>	- 0.26%/ °C
Temperature Coefficient of I <sub>SC</sub>	0.04%/ °C

**Figura 18. Dades de temperatura del panell Tallmax Trina de 450Wp. Font [19].**

Aquesta informació marca que, per aquest panell, la potència del panell es redueix un 0,36% per cada grau de diferència respecte els 25°C de les condicions de laboratori.

Per tant, per a tots els panells de mercat, sabent la temperatura del panell doncs es pot determinar les pèrdues que aquesta implica. A la Taula 1 es pot veure quines pèrdues presentarien aquests panells:

**Taula 2. Pèrdues per diferents temperatures del panell. Font: Elaboració pròpia.**

TEMPERATURA DEL PANELL (°C)	PÈRDUES PER TEMPERATURA (%)
10	5,4 %
15	3,6 %
20	1,8 %
25	0 %
30	-1,8 %
35	-3,6 %
40	-5,4 %
45	-7,2 %
50	-9 %
55	-10,8 %
60	-12,6 %
65	-14,4 %
70	-16,2 %

El resultat és clar, a més temperatura majors pèrdues, quan els panells arriben als 70°C (en ubicacions molt caloroses) les pèrdues per temperatura poden arribar a ser de fins al 16%, i aquestes només serien les pèrdues per culpa de la temperatura.

Per a posar més valor a aquesta idea s'adjunta tot seguit una imatge extreta d'un estudi real a Iraq [22], a la ciutat de Karbala. En aquest estudi van determinar la temperatura dels panells a partir de la temperatura ambient i van calcular explícitament les pèrdues que aquests sobre temperatura implicava. Com es pot veure, durant els mesos d'estiu, la temperatura ambient a Karbala és molt elevada, fet que provoca que els panells durant els mesos d'estiu arribin a temperatures de 65°C de dia. Mirant les pèrdues es veu el que s'ha anat comentant, pèrdues que arriben fins al 16% durant els mesos d'estiu i en canvi del 2-6% durant els mesos freds. En aquest estudi cal tenir en compte la temperatura mitjana dels mesos d'estiu, a casa nostra no s'arriba a mitges tant elevades però pot donar una idea.

Month	Avg. daytime Temp. for Karbala city [15]	Avg. module Temp. (°C)	de-rating factor $T_x$	Percentage of losses (%)
January	7.0	28.8	0.984	1.558
February	12.6	35.52	0.956	4.3
March	20.2	44.64	0.919	8
April	26.3	51.96	0.889	11.05
May	30.2	56.64	0.870	12.9
June	35.1	62.52	0.846	15.3
July	37.0	64.8	0.836	16.4
August	37.9	65.88	0.832	16.7
September	33.8	60.96	0.852	14.7
October	25.9	51.48	0.891	10.8
November	17.7	41.64	0.931	6.8
December	11.5	34.2	0.962	3.7
average	24.6	49.92	0.897	10.18

*Figura 19. Dades de temperatura per una instal·lació a Karbala. Font: [22].*

Per últim, per acabar de quantificar i donar una idea del que suposen les temperatures pels panells fotovoltaïcs, es planteja una situació molt ràpida amb dades reals de Girona de temperatura [23] i irradiància [24] un dia d'hivern i un dia d'estiu en hores solars. Amb el model 1, el més utilitzat, es determina de forma ràpida quines serien les pèrdues d'eficiència.

Es pren la informació dels panells fotovoltaïcs Trina plantejats anteriorment.

#### **Dia d'hivern:**

Temperatura ambient: 10 °C

Irradiància: 650 W/m<sup>2</sup>



**Dia d'estiu:**

Temperatura ambient: 36°C

Irradiància: 840 W/m<sup>2</sup>

Amb aquestes condicions la temperatura que tindrien les plaques fotovoltaïques seria:

$$T_{c hivern} = 10 + (41 - 20) \cdot \frac{650}{800} = 27,06 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{c estiu} = 36 + (41 - 20) \cdot \frac{840}{800} = 58,05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

I les respectives pèrdues serien:

$$Pèrdues hivern = 0,36 \cdot \frac{27,06 - 25}{100} = 0,74 \%$$

$$Pèrdues estiu = 0,36 \cdot \frac{58,05 - 25}{100} = 11,89 \%$$

A Girona, amb dades reals, es veu com a l'hivern podem trobar unes pèrdues del 0,74% i a l'estiu pèrdues de fins a un 11,89%. Lògicament són valors estimatius i aproximats calculats amb un tipus de panell concret i amb valors històrics de temperatura i irradiància, aquestes pèrdues varien constantment i com més càlides són les temperatures majors són.

En aquest tipus d'estudi resulta complicat valorar, únicament, les pèrdues que provoca la temperatura ja que cal tenir en compte que hi ha una sèrie de pèrdues que hi són sempre i que no es poden apartar per dir-ho d'alguna manera. Tot i que es veu molt clara la variació segons la temperatura cal tenir en compte que:

- Durant tot l'any existeixen pèrdues de rendiment de cablejat, inversor, seguiment del punt de màxima potència, "mismatch", brutícia...
- Durant l'hivern existeixen pèrdues per ombres, baixa irradiància solar, pèrdues espectrals...

Totes aquestes pèrdues s'aniran explicant però cal tenir-les en compte als estudis bibliogràfics que es llegeixen.

Tot i així, i amb tota la bibliografia analitzada i la lectura d'estudis reals, es determina que les pèrdues per temperatura són aproximadament d'un 5-6% fent una mitjana entre l'estiu i l'hivern. A la part pràctica d'aquest treball s'avaluaran aquestes pèrdues sabent la temperatura

dels panells i a més es comprovarà la compatibilitat dels models de càlculs comentats anteriorment.

### 3.2 Pèrdues per pols, contaminació i brutícia

Un segon efecte que provoca pèrdues de rendiment és la pols o brutícia que s'acumula sobre els panells fotovoltaïcs. Aquest tipus de pèrdua, tot i que existeixen molts estudis pràctics per avaluar-ne el seu efecte, està menys documentat i és més ambigu que la pèrdua de rendiment degut a les temperatures, doncs no existeix una fórmula o un model que et permeti saber exactament com és la pols de l'ambient, quanta s'ha acumulat sobre la placa i per tant quan deixarà de produir. El que es busca és posar en context forces estudis fets per a intentar donar una magnitud a aquest tipus de pèrdua i explicar-ne les causes o solucions.

La pols perjudica l'eficiència fotovoltaïca bàsicament perquè la radiació solar no pot passar a través d'aquesta brutícia, pols o contaminació, la pols absorbeix o reflexa la irradiància en comptes de deixar-la passar cap a la placa.

Existeixen estudis que estudien diferents tipus de contaminants (tipus de material, grossor de les partícules...), d'altres es fixen en com altres paràmetres afecten la pols (meteorologia, inclinació, material del panell...) i en canvi d'altres es centren en la neteja d'aquesta pols i l'impacte dels diferents tipus de neteja.

La brutícia es troba al nostre dia a dia a l'ambient, tot i que òbviament no es veu. Al final no deixa de ser pols que es va depositant i que acaba formant una capa que cal anar netejant. Al següent mapa es veu la quantitat de pols en mg/m<sup>3</sup> que es pot trobar als diferents països del món [25].

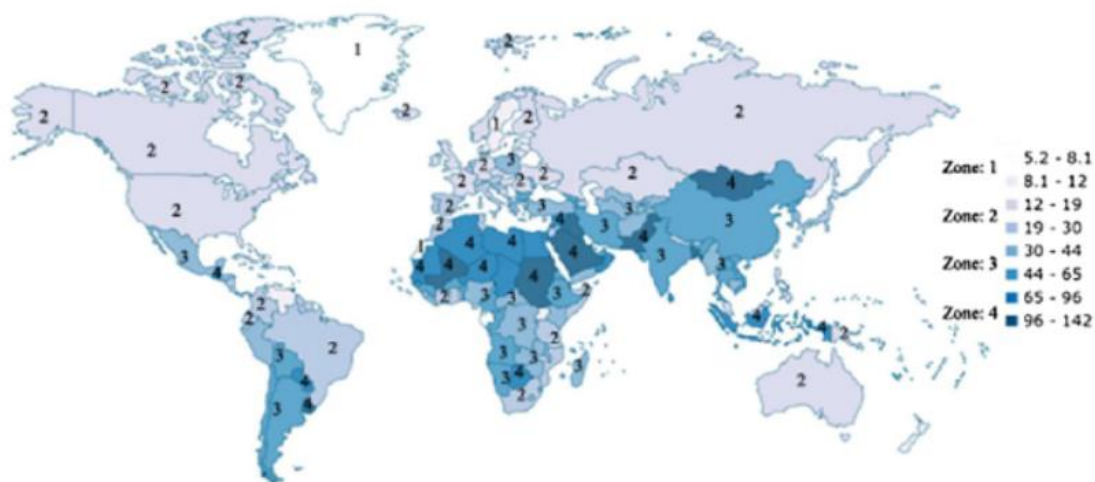


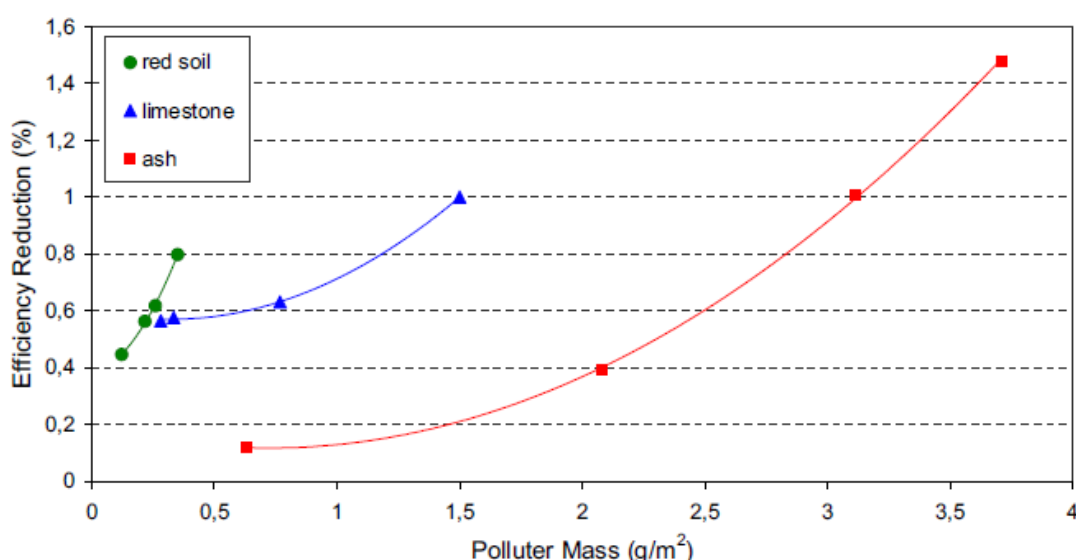
Figura 20. Densitat de pols al món en mg/m<sup>3</sup>. Font: [25].

D'entrada la brutícia ambient pot ser de diferents tipus, el més comú són les partícules de roca calcària, les partícules de ciment, partícules de contaminació, argila, partícules de sorra i inclús cendra. De forma genèrica aquests són el tipus de brutícia més freqüents a l'aire i que d'alguna o altra manera s'acaben dipositant.

Tot i que el percentatge de pèrdues d'eficiència que han conclòs diferents estudis és similar, hi ha diversos factors que hi afecten i tots de formes diferents. A continuació es descriuen breument tots ells i el seu efecte a partir de diversos estudis: el tipus de pols, el tipus de panell, les pluges/humitat, el vent i l'angle d'inclinació dels panells. Tots aquests factors tenen una importància dins les pèrdues que pot tenir una instal·lació per culpa de la brutícia.

Un primer factor que provoca diferents pèrdues de rendiment és el tipus de pols. Existeixen a dia d'avui diferents estudis pràctics que han provat aquestes diferències embrutant panells per a poder comprovar in-situ la variació del rendiment i de la potència proporcionada.

Un estudi dut a terme a Grècia l'any 2011 [26] mostra precisament com rendeix una instal·lació fotovoltaïca abans i després d'embrutar-la amb sorra, roca calcària i amb cendres. Es van realitzar diferents estudis augmentant la quantitat de contaminants i veient a més a més la densitat d'aquestes, lo més habitual és veure que a major densitat de la pols major és la pèrdua d'eficiència. Amb sorra es poden apreciar pèrdues d'entre un 0,4% i un 0,8% mentre que amb cendres les pèrdues poden arribar fins al 1,5% aproximadament. En el cas de les cendres, amb una densitat prou elevada, les pèrdues es disparen ja que es tracta d'un tipus de brutícia més densa. Gaire quantitat podria augmentar les pèrdues fins al 1,6%.



**Figura 21. Pèrdues d'eficiència segons el tipus de brutícia i la massa. Font: [26].**

Un segon estudi analitzat per analitzar aquesta problemàtica és el que es va realitzar a Bèlgica l'any 2013 [27], on es van comparar els efectes de tres tipus de contaminants diferents: ciment

(10 $\mu$ m), argila (68 $\mu$ m) i sorra blanca (250 $\mu$ m). Es va avaluar la pèrdua de transmissió de la radiació solar depositant diferents quantitats per metre quadrat de superfície i es va poder veure el que mostra la següent figura.

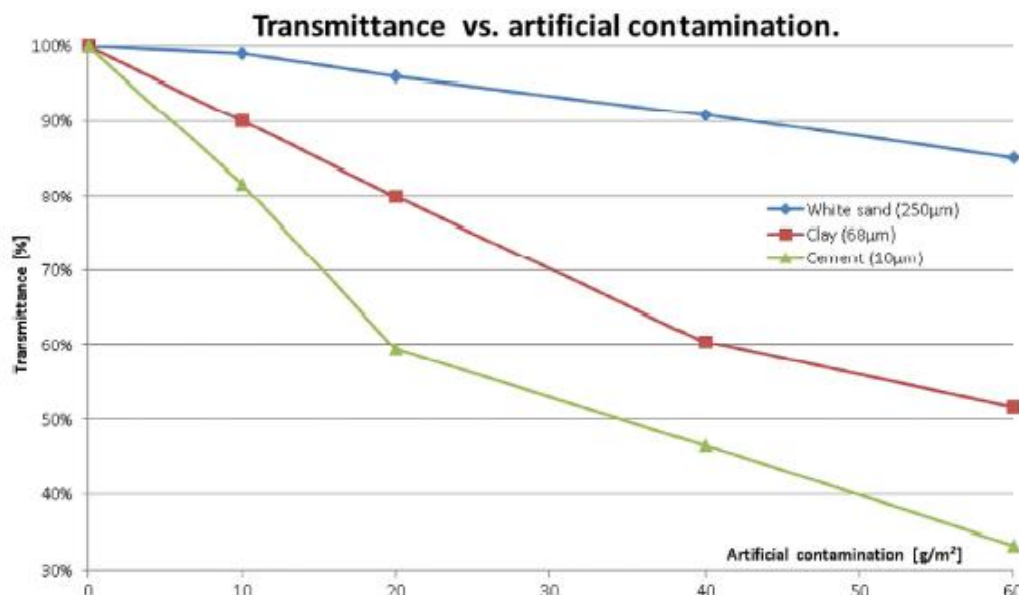


Figura 22. Pèrdues de transmissió en funció del contaminant. Font: [27].

El contaminant que resulta més perjudicial és el ciment, doncs amb una densitat no gaire elevada pot provocar que el panell absorbeixi menys de la meitat de la irradiància que hauria d'absorbir. Per altra banda es pot veure com la sorra blanca no genera unes pèrdues molt altes, és un material més volàtil i que d'alguna manera tapa menys. Les situacions més desfavorables cal tenir en compte que són plantejades amb unes densitat de pols molt elevades en comparació amb les dades de l'estudi [26]. Una densitat de 50g/m<sup>2</sup> o 60g/m<sup>2</sup> són situacions que es donarien un en casos molt extrems.

A nivell numèric aquestes proves van comportar les pèrdues d'eficiència que es veuen a la següent figura:

(g/m <sup>2</sup> )	White sand (250 $\mu$ m)			Clay (68 $\mu$ m)			Cement (10 $\mu$ m)		
	T (%)	P <sub>max</sub> (%)		T (%)	P <sub>max</sub> (%)		T (%)	P <sub>max</sub> (%)	
		S	E		S	E		S	E
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	98.95	98.22	99.92	90.03	91.84	90.30	81.59	79.08	80.94
20	95.98	95.16	94.54	79.97	80.62	79.64	59.39	59.35	60.22
40	90.82	90.23	90.90	60.44	61.14	62.88	46.52	48.76	47.56
60	84.97	85.26	86.24	51.58	51.23	52.79	33.34	35.84	34.32

Figura 23. Pèrdues d'eficiència segons la pols i la densitat. Font: [27].

L'estudi es va realitzar amb dos tipus de panells que anomenen S i E, a partir d'aquí es va veure el rendiment en qüestió. Es pot veure que per concentracions de pols d'entre 10g/m<sup>2</sup> les pèrdues són aproximadament d'un 1-2% amb sorra blanca, 10% amb argila i 20% amb

ciment. Cal tenir en compte que una concentració de 10g/m<sup>2</sup> és una concentració molt elevada i que materials com argila o ciment no és un tipus de pols que estigui amb tanta concentració a l'ambient.

Un estudi realitzat a Xipre amb tres tipus de panells (monocristal·lins, policristal·lins i amorfs) va estudiar diferents aspectes de la pols, com l'acumulació de pols natural, l'efecte de tempestes i també l'efecte de pluges fortes [28].

Van deixar durant la primavera i durant l'estiu els panells a la intempèrie a Xipre sense cap neteja, per a poder valorar l'efecte de la pols ambient existent a l'atmosfera.

El resultat va ser que arribava un punt en què la disminució de rendiment tendia a estabilitzar-se, l'augment de temps exposat a la pols no era proporcional a la pèrdua de rendiment, tot i que sí que és cert que, si els panells no es van netejant, la pèrdua de rendiment va creixent. Les pèrdues pels panells monocristal·lins i policristal·lins (els més habituals) s'estabilitzaven aproximadament al voltant del 4% aproximadament al cap de 4 setmanes exposats durant la primavera. En el cas dels panells amorfs les pèrdues de rendiment es va veure que són lleugerament menors, això és degut al material de la seva superfície que resulta lleugerament menys adherent que els altres dos tipus. En el cas de l'estiu la contaminació era major i la pèrdua de potència era superior, arribant fins a valors pròxims al 14%.

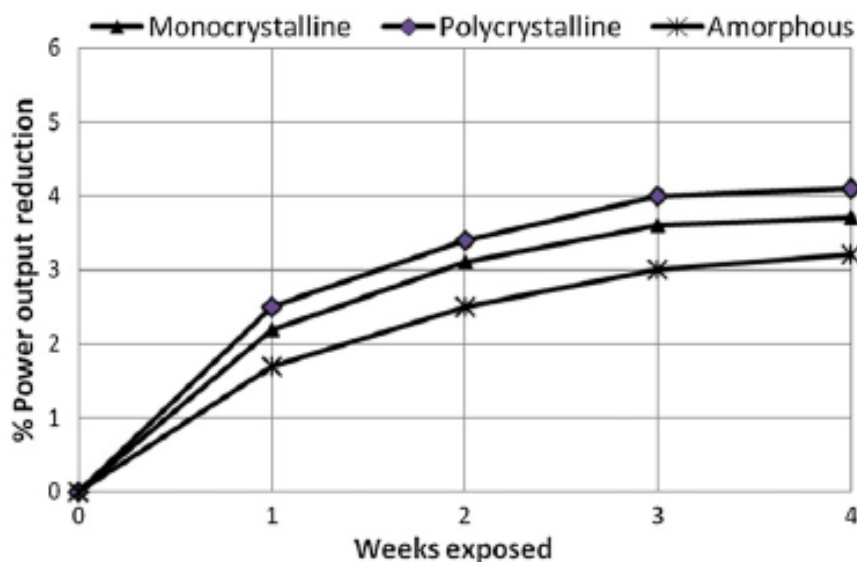
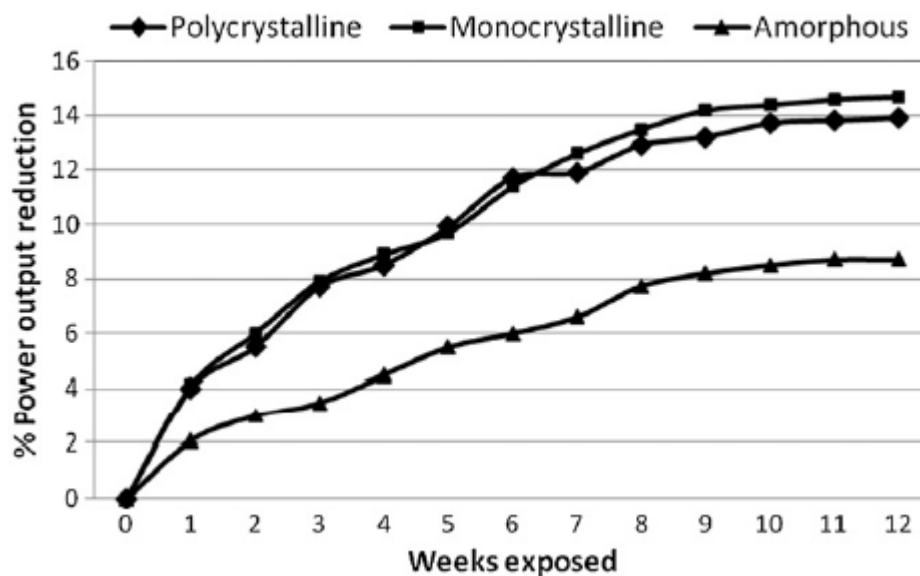


Figura 24. Pèrdues d'eficiència a Xipre durant la primavera. Font: [28].



*Figura 25. Pèrdues d'eficiència a Xipre durant l'estiu. Font: [28].*

Aquest estudi realitzat a Xipre, però, va avaluar els efectes de la brutícia durant tot l'any i va poder veure com durant els mesos d'hivern, per exemple, aquests fenòmens no es donaven. Les seves conclusions són que durant els mesos d'hivern, i durant episodis de pluja al llarg de l'any, realment no cal netejar les plaques ja que la mateixa pluja les manté netes. En canvi durant la primavera i estiu, al ser una illa prop de l'Àfrica (continent amb major pols ambiental) si no plou és necessari fer neteges rutinàries ja que les pèrdues poden créixer com s'ha vist.

A l'estiu els autors deixen molt clar que ja s'entra en una fase d'avaluar si és rentable el cost de la neteja o les pèrdues de rendiment, pel bé de la instal·lació unes 2-3 setmanes seria lo ideal. Com s'havia vist en l'última figura deixar passar gaires setmanes poden perjudicar de forma molt notòria el rendiment.

Una altra conclusió interessant que plantegen és la necessitat de netejar les plaques després de les tempestes de pols ja que si plou després d'una tempesta de sorra o pols el que passa és que es facilita l'adhesió de la pols al panell. Les pluges són bones per netejar els panells però si aquestes es donen després d'episodis de pols el que fa és afavorir la brutícia.

Tot i que les pluges ajudaven a la neteja de les plaques, és que les pluges més fortes acabaven perjudicant: al deixar la superfície dels panells molla s'afavoreix l'adhesió de la pols. En el cas dels panells monocristal·lins per exemple, quan es mullaven per pluja i estaven bruts la seva potència baixava de 122W a 96W.

Power output reduction under extreme cases.

PV type	Wet surface			Dry surface		
	Clean (W)	Dirty (W)	Difference (%)	Clean (W)	Dirty (W)	Difference (%)
Monocrystalline	172	96	44	143	122	14
Polycrystalline	150	77	49	133	113	15
Amorphous	17	14	20	13.1	13.8	1

Figura 26. Diferència de rendiment entre panells secs i molls en condicions extremes. Font: [28].

La diferència de rendiment amb el panell sec, entre tenir-lo net o brut, és d'un 14% mentre que amb el panell moll aquesta diferència va arribar a ser del 44%. En el cas dels panells policristal·lins al diferència de rendiment entre brut-net amb humitat era de pràcticament el 50%. Cal remarcar que aquestes dades són en condicions extremes, tal i com comenten en l'estudi.

En la següent figura, extreta d'un manual d'un sensor de mesura de pols [29], es pot veure de forma molt gràfica i explicativa l'efecte de les neteges i les pluges sobre una instal·lació fotovoltaïca al llarg dels dies. En aquest cas són dades d'una instal·lació ubicada al Marroc i s'analitza el radi de disposició de brutícia al llarg de 3-4 mesos entre el 2017 i el 2018.

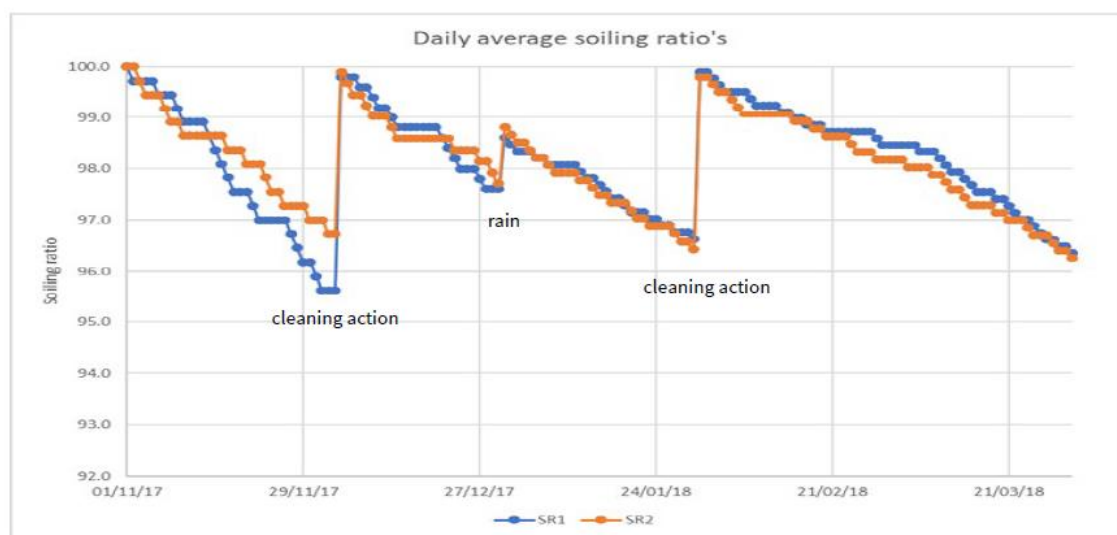
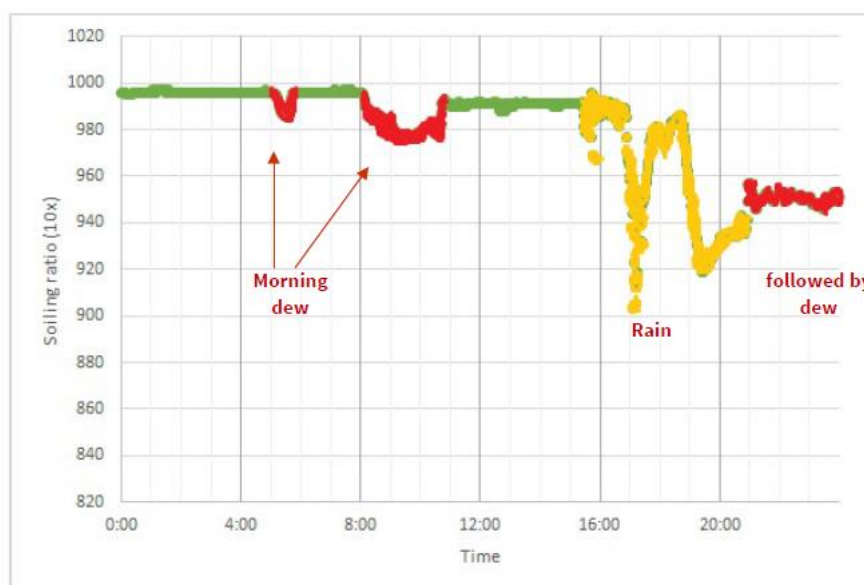


Figura 27. Efecte de les neteges i les pluges sobre una instal·lació fotovoltaïca al Marroc. Font: [29].

Es pot veure com, al cap d'un mes (aproximadament unes 4 setmanes), de no netejar els panells durant el mes de novembre el percentatge de brutícia puja dins a un rati del 3-5% . Just llavors es netegen i el rendiment torna a pujar i just torna a baixar de nou. A finals de desembre es pot veure com una pluja provoca una petita neteja que fa que el rendiment es recuperi entre un 1% i un 2%. És una imatge que permet veure l'efecte de pluges i netejades.

Per aquest motiu són moltes les empreses que parlen de tecnologia que no li cal pràcticament manteniment, ja que si plou la neteja es va mantenint. El que cal controlar són les llargues èpoques sense pluja i, sobretot, les pluges de sorra i fang. L'estudi de Xipre mostrava que pot passar en un país amb pols i sense pluges durant varies setmanes.

Com s'ha explicat però, la pluja i la humitat provoquen que en cas de que hi hagi pols i el panell estigui brut doncs el rendiment també baixi. La humitat és un altre dels factors que pot afectar aquest tipus de pèrdua d'eficiència: augmenta l'adherència dels panells i per tant augmenta la quantitat de pols que s'hi enganxa. Es pot veure tot seguit l'efecte de la pols sobre una instal·lació fotovoltaïca enfront episodis matinals d'humitat, de pluja i la humitat posterior a la pluja. Es pot veure doncs l'efecte de la humitat de forma molt clara: el rendiment posterior és lleugerament inferior i després de la pluja s'aprecia l'efecte de la humitat i de l'augment de l'adherència. En aquest cas, on la figura mostra dades d'un dia concret, cal veure que són variacions de rendiment molt i molt baixes, però ajuda a veure realment l'efecte.



**Figura 28. Efecte de la humitat. Font [29].**

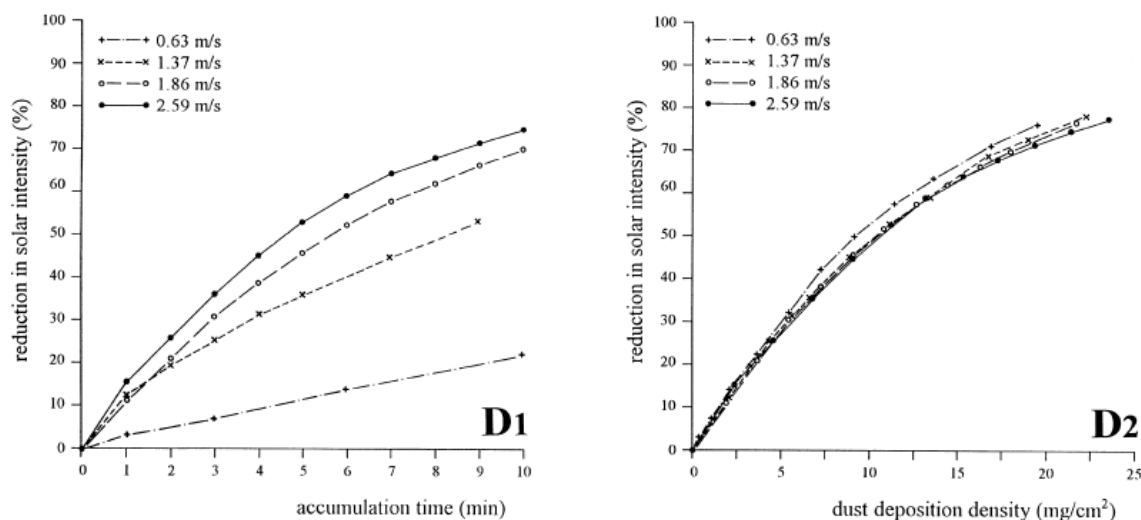
Apart de la humitat i la pluja un factor que afecta el fenomen de la pols, i aquest de forma més òbvia, és la velocitat del vent. La velocitat del vent pot afectar de diverses maneres, es pot pensar que a més vent menys s'acumula la pols sobre els panells però al mateix temps aquest vent pot generar núvols de pols que perjudica el rendiment.

Un estudi dut a terme a la "Katholieke Universiteit Leuven" de Bèlgica [30] va experimentar situant una placa fotovoltaïca dins un túnel de vent per a veure el comportament dels valors



de potència obtinguts. La pols utilitzada era en un 95% llim i un 5% argila i es van fer proves amb velocitats del vent entre 0,63 m/s i 2,59 m/s.

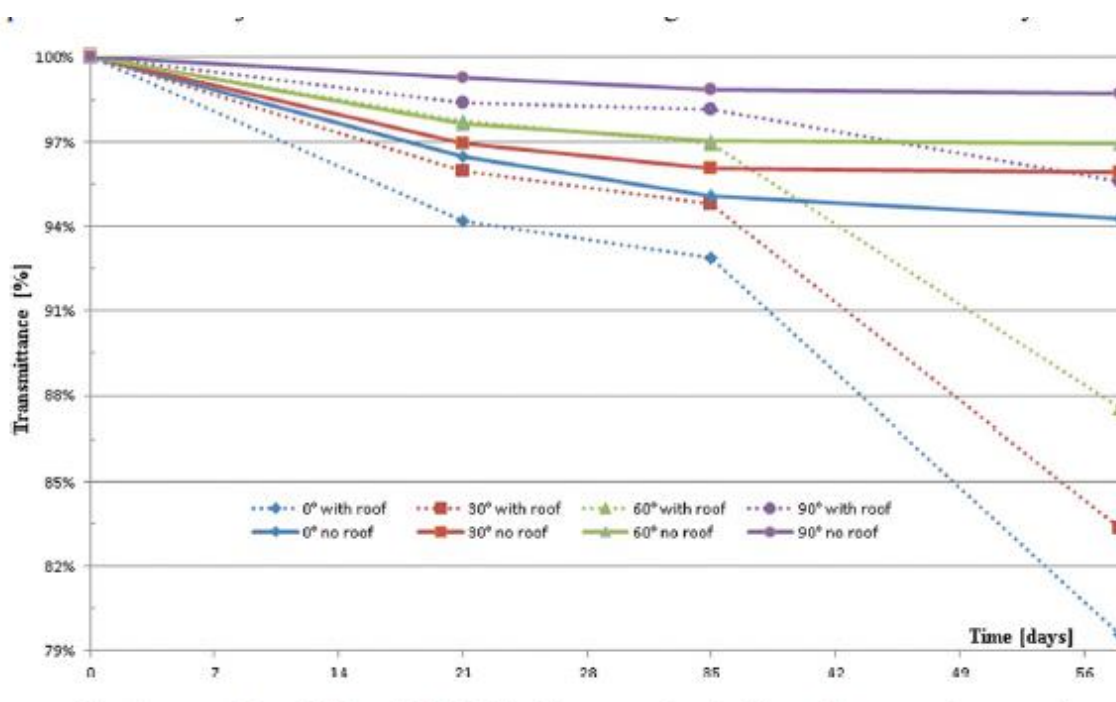
Aquest estudi treu moltes conclusions i resultats a partir de les diferents velocitats del vent. La conclusió relacionada amb la pèrdua de rendiment es pot veure tot seguit.



**Figura 29. Efecte del vent sobre la intensitat solar en funció del temps i de la densitat de la pols. Font: [30].**

En aquest cas, a més vent, major són les pèrdues en la intensitat solar que els panells reben i per tant en el seu rendiment. Un augment del vent en general provoca majors núvols de pols en l'ambient que acaben actuant de obstacles. Per altra banda es pot veure que, el vent no té poca influència en el rendiment en front d'una mateixa densitat de pols. Faci més o menys vent una mateixa densitat de pols provocarà la mateixa pèrdua de intensitat solar.

Un últim factor molt important la inclinació dels panells fotovoltaïcs, doncs a major inclinació més complicada és l'acumulació de pols. Es pot veure tot seguit, un petit resultat que es va extreure de l'estudi de la transmissió solar en uns panells amb pols però amb diferents inclinacions [27].



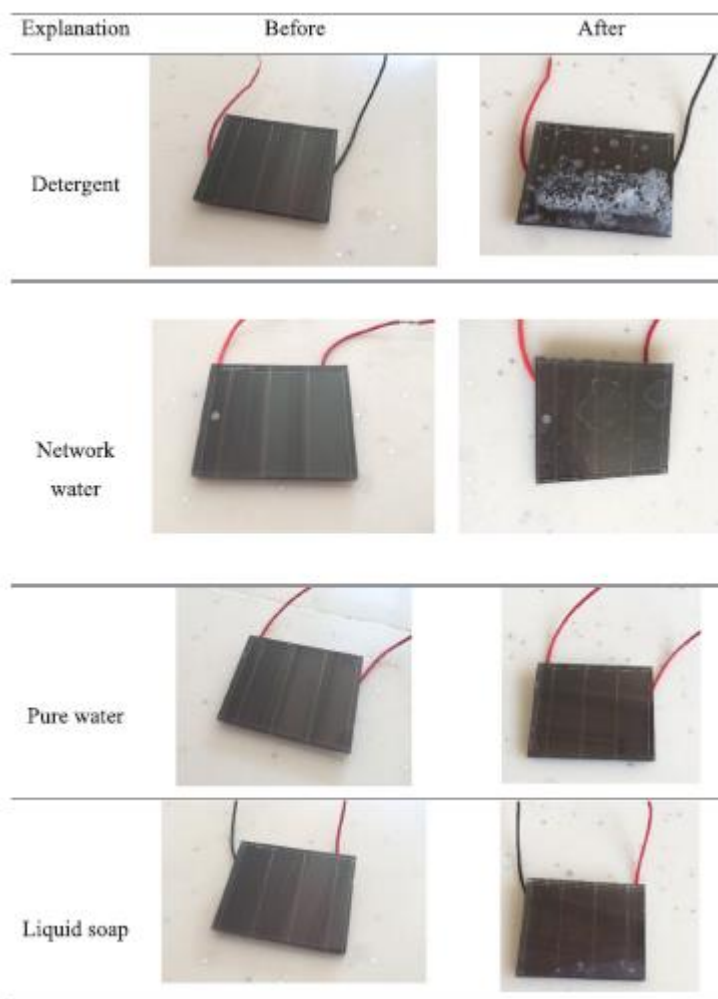
**Figura 30. Transmittància als panells amb diferents inclinacions i amb o sense sostre. Font: [27].**

El resultat obtingut en aquest sentit va ser molt clar: a més inclinació menys pèrdua de transmittància principalment perquè és més complicat que la pols s'hi enganxi. Per tant caldrà molta més neteja en una instal·lació coplanar a uns  $8\text{-}10^\circ$  que a una inclinació inclinada  $30\text{-}40^\circ$ .

Per últim dins d'aquest apartat, i que també val la pena tenir en compte, és el mètode de neteja que s'utilitza per a netejar els panells. Alguns estudis han comparat el rendiment d'algunes instal·lacions després d'utilitzar diferents mètodes o productes de neteja.

Un estudi molt interessant en aquest aspecte és un dut a terme pel departament de sistemes d'enginyeria de l'energia de Turquia [31]. Es tracta d'un estudi molt complet on comparen no només el producte (sabó, detergent, aigua de xarxa i aigua pura) sinó que també comparen el tipus de fregador o raspall (esponja,

El que resulta més interessant, sobretot, és que fan la prova sense que el panell estigui brut només per veure si els productes de neteja poden malmetre el rendiment i l'estat del panell, i comproven perfectament com això pot passar, tot seguit se'n veuen els seus resultats i conclusions. Només quan es renten els panells amb aigua pura aquesta segueixen en el mateix estat de funcionament abans i després de la neteja. En la resta de casos, tot i que la diferència és poca, es veu clarament com s'empitjora l'estat de les cèl·lules.



**Figura 31. Estat de les cèl·lules abans i després de netejar-les amb diferents productes. Font: [31].**

Per una banda, visualment, ja es veu com queden uns residus derivats de la neteja sobre les cèl·lules. El rendiment es pot veure tot seguit. En tots els casos disminueix menys en l'ús d'aigua pura. En cas però, a la realitat, s'utilitzen productes molt específics promoguts per empreses especialitzades en neteges fotovoltaïques, doncs només amb aigua resulta molt complicat eliminar la totalitat de residus.

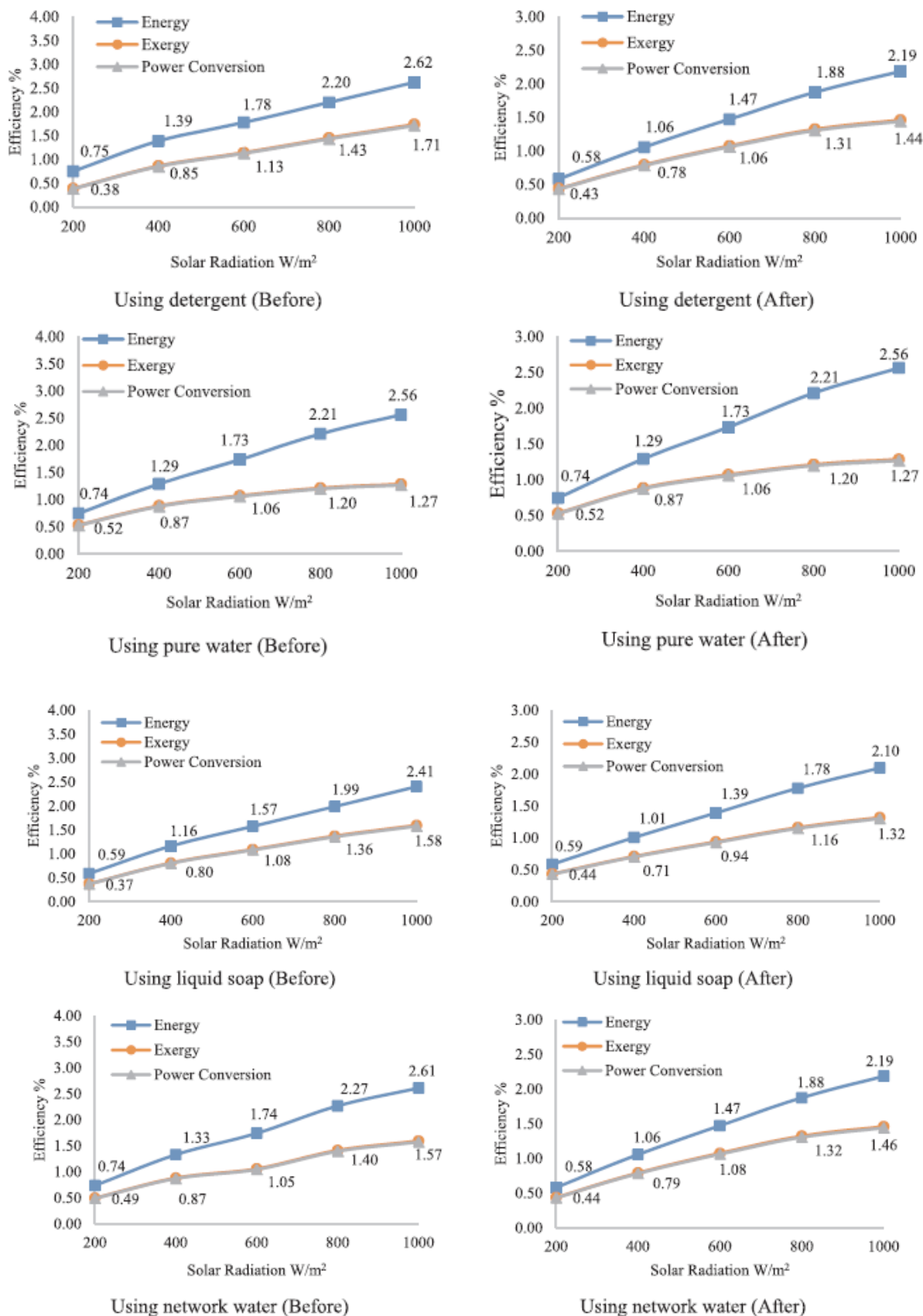


Figura 32. Eficiència de les cèl·lules abans i després de la neteja amb diferents productes. Font: [31].

Tant en la neteja amb detergent com amb la neteja amb sabó es pot veure com, el percentatge d'energia que el panell deixa de produir, és de prop d'un 0,5%. Així doncs quan els panells són bruts mai s'haurien de netejar amb aquest tipus de productes químics, el millor és amb aigua que, sí és pura, encara és millor.

El mateix estudi va més enllà i analitza si pot anar bé l'ús de diferents fregadors per a treure la brutícia, compara l'ús d'una navalla de vidre, d'una escombria de goma, d'un drap de cuir, d'un fregall de vellut i d'una esponja.

El que es veu en aquest cas, d'entre aquestes opcions, és que el millor és netejar les plaques amb raspalls de goma o amb esponja, els altres són materials que rasquen en excés i acaben malmetent massa la cèl·lula fotovoltaïca i per tant aquesta perd rendiment.

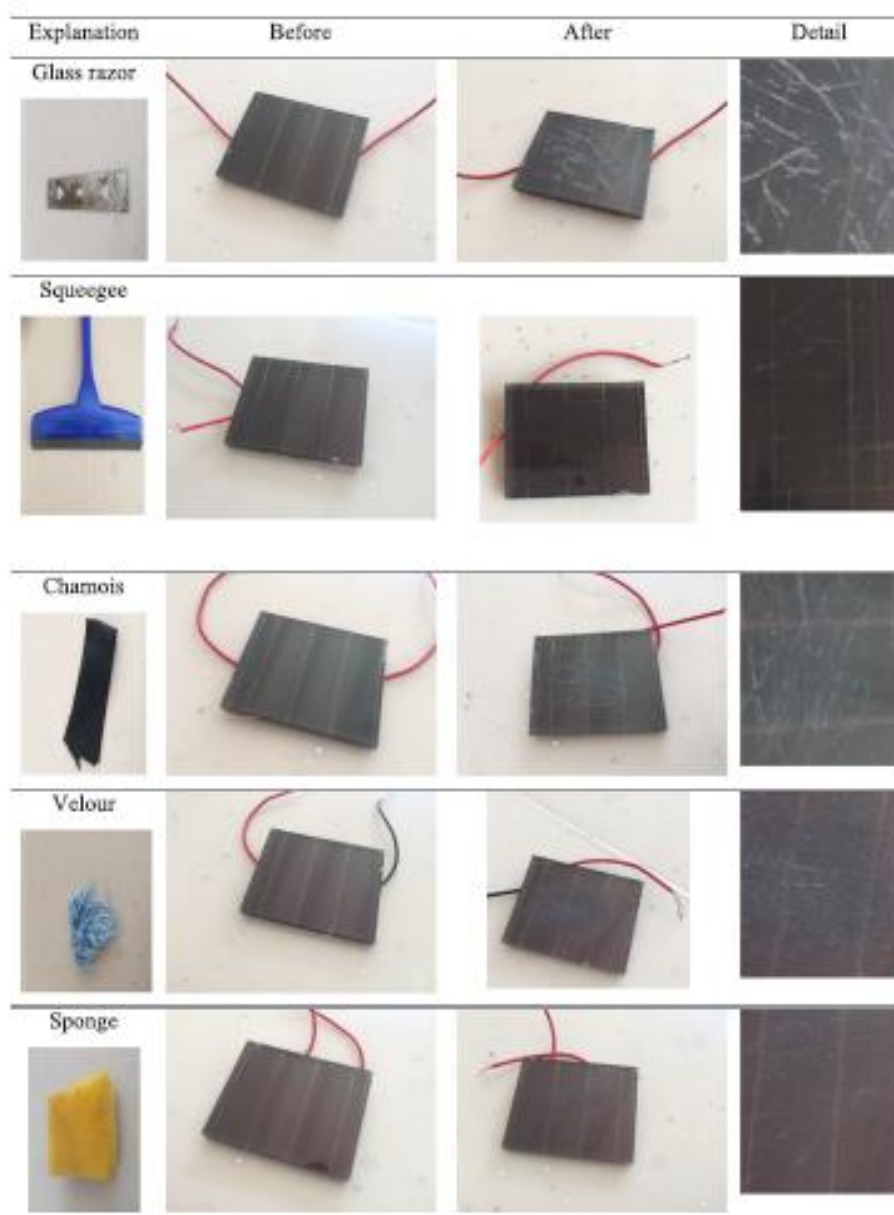
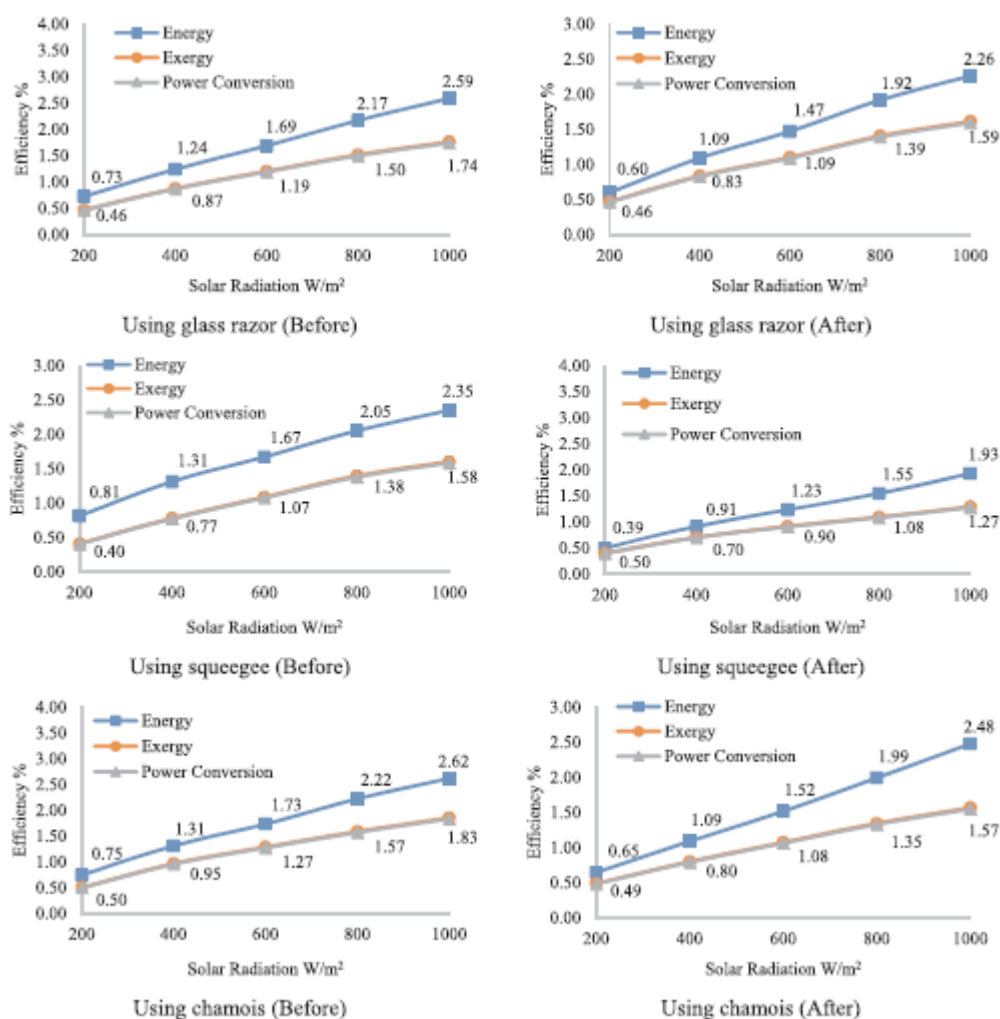


Figura 33. Estat de les cèl·lules abans i després de la neteja amb diferents materials. Font: [31].



**Figura 34. Eficiència de les cèl·lules abans i després de la neteja amb diferents materials. Font: [31].**

Després d'haver vist les pèrdues que implica la pols es pot concloure que les pèrdues, per a una instal·lació que més o menys es manté i es troba en un territori amb pluges periòdiques com el nostre, són aproximadament d'un 4-5%. Cal tenir en compte que forces resultats dels que s'han presentat són en condicions extremes amb tempestes de pols o llargues temporades sense pluja. En alguns dels estudis s'ha vist que durant els mesos d'hivern els panells es mantenen amb rendiments bons sense necessitat de neteges per pluges i que amb un manteniment bo al llarg de la resta de mesos les pèrdues (tenint en compte la densitat de pols d'Espanya) no hauria de superar aquests percentatges. Llavors és obvi que davant episodis de molta pols, excrements d'ocells, pluges de fang...Ens trobarem amb pèrdues molt i molt elevades com s'ha vist. Quan la densitat de la pols o brutícia és gaire elevada s'ha vist que les pèrdues poden ser molt i molt elevades perjudicant molt la instal·lació i la producció.

Un estudi realitzat sobre una instal·lació de Màlaga [32] precisament va poder concloure que les pèrdues per brutícia mitjanes eren del 4,4% en condicions habituals. Realitzen diverses comprovacions i anàlisis i acaben veient que, durant els mesos fora de l'estiu, les pèrdues per

pols són inclús inferior al 2% degut a les pluges. Però en canvi comproven que a l'estiu, amb períodes llargs sense pluja quant es va realitzar l'estudi, les pèrdues podien superar el 15% i per tant calia fer neteges més freqüents.

Es comprova que les pèrdues per brutícia doncs són una mitjana anual també, durant uns mesos poden ser molt elevades i en canvi en altres poden ser gairebé nul·les.

Per últim, s'han comprovat els resultats d'una empresa espanyola anomenada "Cambio Energético" que va fer precisament un breu estudi pràctic sobre algunes plaques que van embrutar de forma voluntària [33] per veure, precisament, aquestes pèrdues. Van comprar unes plaques amb brutícia extrema de pols i fang, unes amb excrements d'ocells i unes netes que es van anar embrutant amb la pols atmosfèrica. El resultat es presenta a la següent figura.

TIPO DE SUCIEDAD	POLICRISTALINO	CÉLULA PARTIDA
Suciedad atmosférica (6 meses sin limpiar)	- 6 %	- 5 %
Excremento de pájaro	- 44 %	- 32 %
Suciedad extrema	- 46 %	- 37 %

*Figura 35. Pèrdues d'eficiència per pols en diferents casos. Font: [33].*

Cal dir que aquests resultats són extrets d'una empresa del sector i que per tant poden estar influenciats, ajuden a entendre la magnitud de la problemàtica però el més fiable són els articles científics.

Així doncs, de forma resumida després d'haver avaluat tots els factors relacionat amb la brutícia en base a diferents estudis i font bibliogràfiques, es pot veure com la brutícia de forma general tendeix a provocar pèrdues de rendiment que es mouen en torn al 4 % tot i que com s'ha vist aquest percentatge pot presentar diferències en funció de molts factors i paràmetres. Aquest percentatge és el que s'ha vist en diferents estudis després de varies setmanes d'exposició sense cap neteja ni pluges.

### 3.3 Pèrdues òhmiques del cablejat i pèrdua de tensió

Un tercer tipus de pèrdua d'eficiència que pateixen totes les instal·lacions fotovoltaïques són les caigudes de tensió al seu cablejat, tant en la part continua que uneix les plaques amb l'inversor com en la part alterna que uneix l'inversor amb la instal·lació existent.

Aquest tipus de pèrdua es pot determinar de forma exacta amb simples càlculs de caiguda de tensió sabent la secció del cablejat, la longitud i la conductivitat del material conductor (de forma genèrica serà sempre coure). Per tant cada instal·lació implicarà una pèrdua de tensió diferent en funció de la distància total entre els panells i el punt d'injecció de l'energia.



Aquestes pèrdues en grans instal·lacions són molt petites, els casos on realment es poden arribar a notar o cal tenir en compte són en instal·lacions petites amb grans distàncies de cablejat.

Tot i així, a Espanya, aquestes pèrdues tenen un valor màxim que és d'un 1,5%, així ho marca el reglament elèctric de baixa tensió en el seu apartat ITC-BT-40 sobre instal·lacions generadores [34]. Seguint el reglament, cada tram de continua (o cada "string") pot tenir una pèrdua màxima de 1,5% i el tram d'alterna sencer una altra d'un 1,5%.

Com s'havia comentat, la forma exacta de determinar aquestes pèrdues és l'aplicació de l'equació de caiguda de tensió habitual. Aquesta canvia segons es tracta de corrent continua o corrent alterna.

Pels trams de corrent continua el càlcul és el següent:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot P \cdot L}{c \cdot S \cdot V} \cdot \frac{100}{V} \quad Eq. 17$$

$$P = I \cdot V \quad Eq. 18$$

On:

- $\Delta V(\%)$  és la caiguda de tensió percentual.
- $I$  és la intensitat dels panells fotovoltaïcs, en ampers (dada proporcionada pel fabricant).
- $V$  és el voltatge dels panells fotovoltaïcs en volts (dada proporcionada pel fabricant).
- $P$  és la potència nominal dels panells en watts, calculada a partir de la intensitat i el voltatge d'aquests.
- $L$  és la longitud del tram de cablejat en metres.
- $S$  és la secció en  $\text{mm}^2$  del cablejat.
- $c$  és la conductivitat del material del conductor. De forma genèrica els conductors per aquest tipus d'instal·lacions són de coure. Per aquest material la conductivitat depèn de la temperatura mitjançant la següent relació:

$$c = -(0,0006 \cdot T^2) - (0,1086 \cdot T) + 58,4 \frac{m}{(\Omega \cdot \text{mm}^2)} \quad Eq. 19$$

Per tant, a temperatura ambient (20°C) la conductivitat del coure serà de 56  $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$  mentre que a una temperatura molt més elevada, com podrien ser 70°C, aquesta tindria un valor de 48  $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$ .



El càlcul pels trams de corrent alterna s'utilitza la següent equació segons es tracti d'una instal·lació monofàsica o trifàsica.

Per a una instal·lació monofàsica resultaria:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos\varphi} \quad \text{Eq. 20}$$

$$e = \frac{2 \cdot P \cdot L}{c \cdot U \cdot S} \quad \text{Eq. 21}$$

En canvi per a una instal·lació trifàsica resultaria:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} \quad \text{Eq. 22}$$

$$e = \frac{P \cdot L}{c \cdot U \cdot S} \quad \text{Eq. 23}$$

On:

- P és la potència nominal de l'inversor (W)
- e és la caiguda de tensió (V)
- U és la tensió nominal de la xarxa (230V en monofàsic i 400V en trifàsic)

Aquestes pèrdues no tenen més misteri, tots els cablejats elèctrics presenten unes pèrdues conegudes sabent paràmetres com la longitud, la conductivitat, la intensitat... Llavors per a les instal·lacions fotovoltaïques les pèrdues seran com a màxim del 1,5%, valor que es pren com a cas extrem per a quantificar aquestes pèrdues d'eficiència.

### 3.4 Pèrdues per degradació

Un altre aspecte que genera pèrdua de potència dels panells fotovoltaïcs és la mateixa degradació que pateixen aquests amb el pas del temps. Aquesta és un tipus de pèrdua que es va provocant any a any i amb la qual no s'hi pot combatre des d'un punt de vista de manteniment, en el sentit que no es soluciona netejant els panells o orientant-los correctament.

De forma genèrica els fabricants de panells fotovoltaïcs tendeixen a donar una pèrdua de potència màxima que el panells haurà patit al cap d'uns anys, ja que sotmeten els panells a certes proves per a poder estimar quanta potència hauran perdut al cap d'un temps.

A dia d'avui la majoria d'aquests fabricants estimen que al cap de 25 anys de funcionament els panells funcionen al voltant del 85% d'eficiència respecte el primer dia, pel que s'estima que les pèrdues per degradació són d'un 15% al cap de 25 anys (sempre de forma aproximada). Per a donar una idea més fiable s'adjunta tot seguit una captura de la fitxa tècnica d'uns panells fotovoltaïcs estàndards dels que avui en dia es col·loquen a molts habitatges i empreses d'Espanya [35].



**Figura 36. Degradació d'uns panells marca Jinko. Font: [35].**

En aquest cas es tracta d'un panell de la marca Jinko on tenen dos models anomenats P-Type i N-Type (diferents tecnologies). A la mateixa fitxa tècnica ells certifiquen que el model P-Type presentarà una eficiència del 83,1% al cap de 25 anys i que el model N-Type presentarà encara una eficiència del 87,4% al cap de 30 anys. De forma resumida amb el segon model ja indiquen que són uns panells amb una degradació anual aproximada del 0,4%. En el cas del primer model estariem parlant d'una degradació anual del 0,68% aproximadament.

Aquesta degradació, és la que pateixen els panells amb el pas del temps, i els efectes són els que es mostren tot seguit [10].

- Pèrdua d'adhesió entre capes de silici degut a la humitat i a les altes temperatures.
- Esquerdes o ruptures al vidre per possibles impactes.
- Acumulació de brutícia que a la llarga acaba perjudicant de forma irreversible les franges de les cèl·lules.
- Formació de curtcircuits a les cèl·lules i elements de connexió.
- Creació de punts calents per polarització inversa.
- Errors en els díodes de pas degut a sobreescalfaments.



**Figura 37. Imatges de diferents problemes per degradació dels panells. Font: [10].**

Deixant apart els valors dels fabricants, existeixen alguns estudis que han estudiat de primera mà la pèrdua de rendiment d'alguns panells i instal·lacions fotovoltaïques per degradació, és a dir, valorant any rere any amb les mateixes condicions ambientals i de neteja com canviava el rendiment i per tant la potència de les plaques.

Un estudi de la universitat de Málaga [36] va avaluar fa uns anys com es degradaven i per tant com reduïa el rendiment d'una instal·lació fotovoltaïca de 2 kWp durant 12 anys. Per una banda es va anar avaluant de forma visual quins defectes anaven apareixent dels comentats anteriorment i per altra banda se'n comprovava el rendiment.

Type of defect (%)	Modules affected (%)	Cells affected (%)
Glass soiling	100	33
Milky pattern	93	13
Front grid oxidation	100	100
AR coating oxidation	100	100
Cell cracks	60	2.5
Hot spots	7	0.2
Backsheet delamination	7	NA
Frame defects	5	NA
Junction box defects	100	NA
Defective by-pass diodes	0	NA
Busbar corrosion	0	NA
Major bubbles	0	NA
EVA browning	0	NA

**Figura 38. Defectes trobats als panells al llarg dels anys. Font: [36].**

Els resultats que van obtenir van ser que durant aquests 12 anys la potència pic de la instal·lació va baixar en total un 11,5%, el que significa que es tracta d'un degradació aproximada d'un 0,96%.

El que cal tenir en compte però, i que no s'ha explicat, és que durant els primers anys, sobretot les primeres hores de funcionament, existeix una degradació de l'ordre del 3% que en alguns casos pot arribar al 5%. Això és degut principalment a que al principi de funcionar el panell s'exposa per primera vegada a les noves condicions i durant els primers mesos/anys es degrada més ràpidament, llavors la degradació s'estabilitza en valors similars als que s'han vist al principi.

Tenint en compte per exemple una degradació del 3% al començament doncs l'estudi de Màlaga implicaria una degradació anual del 0,7%, valor que quadra amb el que s'ha vist per part del fabricant Jinko.

Es pot concloure doncs que aproximadament els panells perden de forma anual un 0,7% de la seva potència pic.

### 3.5 Pèrdues per ombres

Les ombres que reben les plaques fotovoltaïques poden ser claus per al seu bon funcionament, una ombra en un mal lloc no només pot provocar importants pèrdues d'eficiència sinó que també poden facilitar l'aparició de punts calents que a la llarga poden facilitar la degradació dels panells.

A priori pot semblar que és una pèrdua fàcil d'evitar: es posen els panells a una coberta o espai on no hi hagi ombres i ja no existiran aquestes pèrdues. A la llarga no és tant senzill ja que és molt habitual que existeixen ombres properes a la instal·lació (cablejats elèctrics, vegetació, faroles, murs propers, les mateixes plaques solars entre elles...).



*Figura 39. Exemples de ombre sobre plaques fotovoltaïques.*

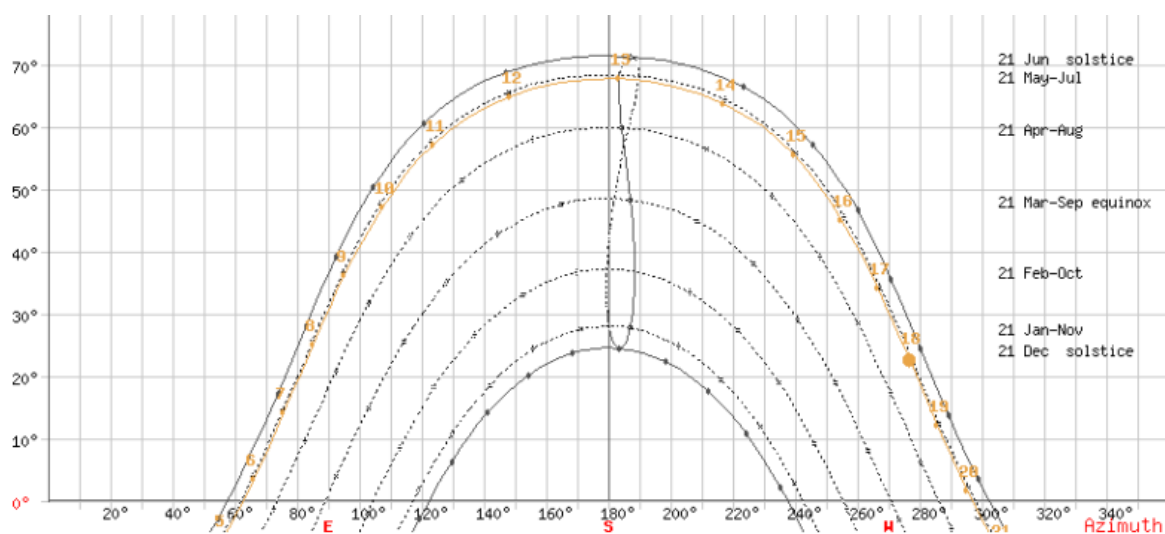
Aquestes ombres durant els mesos d'hivern són molt més pronunciades donada l'alçada a la que el sol es troba. Un mateix obstacle pot generar molta ombra a l'hivern i en canvi no produir-ne suficient durant els mesos d'estiu.

Això s'explica bàsicament per la posició del sol, a l'hivern ens trobem que el sol és present menys hores i que a més arriba menys amunt, el que implica que l'angle d'incidència és menor. A l'estiu en canvi és el contrari, més hores de sol i aquest va més amunt, el que significa que l'angle d'incidència és major. A l'hivern interessarà tenir les plaques més inclinades i a l'estiu en canvi interessarà tenir les plaques menys inclinades ja que el punt màxim de producció serà aquell on la irradiància entre a la placa de forma perpendicular. A la següent figura es pot veure, en un mateixa moment del dia, com a l'hivern el sol es trobarà a una inclinació propera als 23° i en canvi a l'estiu es trobarà a una inclinació propera als 70°.



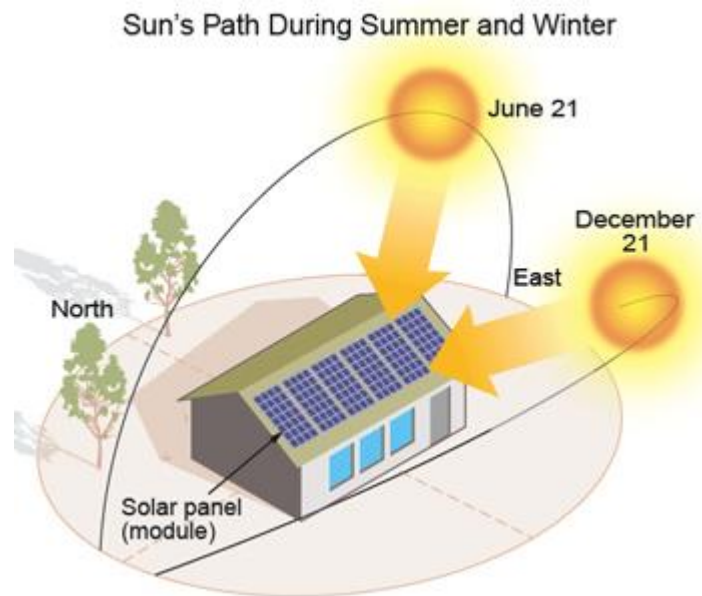
**Figura 40. Incidència del sol al llarg de l'any. Font: [37].**

Aquest fet és el culpable que un mateix obstacle a l'hivern generi molta més ombra que a l'estiu (basant-nos en la mateixa hora del dia). Tot seguit es pot veure la trajectòria del sol respecte al sud i la alçada que arriba a assolir al llarg de l'any: mentre el 21 de desembre assoleix una alçada màxima amb un angle d'incidència de uns  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$  el 21 de juny aquesta és de  $70^{\circ}$  tal i com s'havia vist. Aquestes dades en concret són exactament de la ciutat de Girona, extretes a través del portal "Sun Earth Tools" que permet saber a qualsevol lloc del món a qualsevol moment del dia en quina orientació es troba el sol i amb quin angle incideix a la terra [38].



**Figura 41. Posició i incidència del sol al llarg de l'any a Girona. Font: [38].**

A la següent imatge aquest recorregut del sol es pot veure encara molt més clar:



**Figura 42. Posició del sol sobre un habitatge. Font: [37].**

En aquest sentit existeixen unes pèrdues angulars que s'explicaran més endavant degut precisament a aquest angle d'incidència que és diferent segons l'època de l'any i que a més, segons el pendent de les plaques, pot ser que no arribi a ser òptim cap moment de l'any. Se'n parlarà més endavant.

Prenent els valors vistos a la Figura 40, la incidència al migdia del sol el 21 de juny és d'uns  $70^\circ$  i en canvi a la mateixa hora el 21 de desembre és de  $23^\circ$ . Això significa que per a determinar l'ombra que projecte un obstacle és tan senzill com realitzar un petit càlcul trigonomètric a partir de l'angle d'incidència i l'alçada de l'obstacle.

Si per exemple una teulada té una xemeneia que mesura 1 metre d'alçada, significa que la projecció que farà aquesta ombra serà exactament la tangent de l'angle d'incidència. La forma senzilla de calcular-ho és aplicant la següent equació:

$$L = \frac{h}{\operatorname{tg}(\alpha)} \quad \text{Eq. 24}$$

On:

- L és la longitud de l'ombra que projecta l'obstacle (m)
- h és l'alçada de l'obstacle (m)
- $\alpha$  és l'angle d'incidència ( $^\circ$ )

Per tant, un obstacle de 1 metre d'alçada projectarà:

$$L_{hivern} = \frac{1}{\text{tg}(23)} = 2,36 \text{ metres}$$

$$L_{estiu} = \frac{1}{\text{tg}(70)} = 0,36 \text{ metres}$$

Quan es dimensiona una instal·lació es busca allunyar-la de l'obstacle com a mínim l'ombra que aquest farà a l'hivern (la més llarga de l'any), d'aquesta manera t'assegures que en cap moment de l'any rebrà ombra. En cas que no es pugui complir aquesta separació per falta d'espai és quan cal tenir en compte i quantificar unes pèrdues d'eficiència per culpa de l'ombra.

Precisar o estimar les pèrdues percentuals de potència que pot tenir una instal·lació fotovoltaïca degut a les ombres és molt incert. Mentre que moltes instal·lacions s'ubiquen de manera que no tingui cap ombra cap època de l'any existeixen moltes instal·lacions que sí que pateixen ombres de diferents obstacles en diferents èpoques i moments del dia.

Existeix molta informació al respecte i els fabricants disposen d'elements i components electrònics per a mitigar al màxim aquests efectes ja que en molts casos i en molts habitatges evitar les ombres és missió impossible i per tant el que es busca és que aquestes afectin el menys possible. Existeixen uns aparells anomenats optimitzadors d'ombres que precisament serveixen per fer que les ombres dels panells afectin el menys possible al conjunt de la instal·lació i només afectin al panell en qüestió. Com els panells es connecten en sèrie una ombra en una part de la sèrie afectaria la sèrie sencera (s'explicarà amb les pèrdues de mismatch). A dia d'avui també es fan panells amb divisions de manera que si una ombra afecta una part del panell doncs la resta del panell no es vegi afectada. En general és un aspecte del mercat que es treballa molt i que els fabricants en busquen solucions.

Per a realitzar una estimació es considera que les instal·lacions fotovoltaïques solen presentar al voltant d'un 1% de pèrdua d'eficiència per culpa de les ombres, tot i que com s'ha explicat i ensenyat aquesta dependran completament de la ubicació. Aquest 1% es considera per les possibles ombres que totes les instal·lacions acaben patint durant les primeres hores del matí o durant les últimes hores de la tarda (ombres inevitables moltes vegades). Quan el sol va molt baix (perquè està sortint o perquè s'està ponent) les ombres que projecta poden ser molt i molt elevades (degut a que l'angle d'incidència és molt baix). Aquestes ombres però no es consideren crítiques o rellevants ja que són inevitables i es provoquen en unes hores on la irradiància solar de per sí és molt baixa i per tant es deixa de produir molt poca potència.

Si la instal·lació es dimensiona a una zona boscosa perquè no hi ha alternativa s'haurà d'assumir que les pèrdues seran més elevades. D'entrada, alhora de considerar les pèrdues



genèriques però s'assumeix aquest 1%. Això sí, si es dimensiona una instal·lació amb clars efectes d'ombra llavors cal tenir en compte que mai es podran comptar unes pèrdues només del 14%, caldrà sempre anar més enllà ja que no s'estaria calculant amb certesa la producció energètica. Caldria estudiar durant quants mesos o quants dies l'any l'ombra tancarà les plaques i analitzar el percentatge de hores de sol que aquesta ombra tancarà les plaques per a estimar les pèrdues oportunes.

### 3.6 Pèrdues angulars i espectrals

Aquestes pèrdues són les que s'han introduït anteriorment, doncs l'angle d'incidència del sol no és perfecte durant la major part de l'any i per tant existeixen unes pèrdues ja que si la incidència no és perpendicular doncs la producció no arriba al seu màxim.

Segons la ubicació geogràfica on es troba una instal·lació fotovoltaïca sempre hi haurà una inclinació òptima que serà aquella on la producció fotovoltaïca serà màxima. A casa nostra aquesta inclinació és de l'ordre dels 30°-40°, el que significa que en instal·lacions sobre coberta (domèstiques, industrials...) sempre hi haurà pèrdues angulars ja que rarament es troben teulades amb una inclinació tant pronunciada (en trobaríem en entorns de muntanya). De forma genèrica moltes indústries presenten teulades de xapa grecada amb inclinacions de l'ordre dels 10° i inclús menys. En canvi els habitatges domèstics, les cobertes de teules habituals, solen tenir un pendent que es mou entre el 15° i els 20° de forma genèrica. Això significa que si bé durant algunes èpoques la incidència serà bona durant els mesos d'hivern sobretot es veurà com el sol anirà massa baix.

Hi han estudis científics que han investigat i experimentat amb instal·lacions fotovoltaïques per a intentar esbrinar i quantificar aquestes pèrdues en funció de l'angle d'inclinació de les plaques fotovoltaïques. La realitat és que s'han obtingut equacions que permeten precisament aquest càlcul i que han determinat les pèrdues angulars aproximades en funció de la ubicació i en funció de la inclinació dels panells.



La funció que alguns autors han utilitzat per a determinar aquestes pèrdues és la següent:

$$AL(\alpha) = 1 - \left[ \frac{1 - \exp\left[-\frac{\cos\alpha}{a_r}\right]}{1 - \exp\left(-\frac{1}{a_r}\right)} \right] \quad Eq. 25$$

On:

- $AL(\alpha)$  són les pèrdues angulars en funció de l'angle d'inclinació dels panells (%).
- $\alpha$  és l'angle d'inclinació de les plaques fotovoltaïques ( $^{\circ}$ ).
- $a_r$  és el coeficient de pèrdues angulars. Aquest coeficient depèn del material del panell fotovoltaic i del seu estat, pot canviar el seu valor segons el panell estigui net o brut per exemple. Per panells monocristal·lins de silici el seu valor sol ser de 0,17, tot i que si el panell està brut pot prendre valors de 0,20 o inclús de 0,27 per una quantitat de brutícia molt elevada. Aquest valor també depèn de la ubicació de la instal·lació, doncs és un coeficient que també es veu afectat per la latitud geogràfica.

Amb aquest model deduït per autors científics i sabent el valor de la inclinació i del coeficient de pèrdues angulars es pot determinar doncs el valor d'aquestes pèrdues com es pot veure a la següent figura extreta d'un article científic de l'institut d'energia solar de Madrid [39].

En aquesta figura es poden veure les pèrdues angulars en unes condicions molt concretes, doncs tracta unes inclinacions de les plaques molt elevades o gens inclinades (inclinacions de  $0^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$ ,  $80^{\circ}$  i  $90^{\circ}$ ). Com s'havia comentat en les pèrdues per ombra és lògic que un angle de  $0^{\circ}$  serà molt bo pels mesos d'estiu on el sol incideix amb un angle molt elevat i en canvi una inclinació de  $90^{\circ}$  serà bona a l'hivern quan el sol incideix amb un angle tant baix. Cal dir que una inclinació de  $90^{\circ}$  significa que el panell estaria vertical, com enganxat a una paret i no col·locat a una teulada o a un terreny inclinat. També es pot veure com les pèrdues depenen en part de la ubicació de la instal·lació, al canviar les coordenades doncs la relació entre la inclinació del panell i la ubicació del sol varia lleugerament.

Site name	Monthly angular losses					
	Minimum			Maximum		
	Value (%)	Month	Tilt angle (deg)	Value (%)	Month	Tilt angle (deg)
Betdagan (32.0N)	1.8	Dec	70	14.7	Jul	90
Sevilla (37.4N)	1.4	Dec	70	13.5	Jul	90
Murcia (37.8N)	1.4	Dec	70	13.3	Jun	90
Athens (38.0N)	1.5	Jan	70	14.8	Jun	90
Madrid (40.5N)	1.7	Jan	70	12.6	Jun	90
Logroño (42.5N)	1.6	Jan	70	11.0	Jun	90
Nice (43.7N)	1.3	Dec	70	11.1	Jul	90
Paris-Trappes (48.8N)	1.5	Dec	80	10.5	Dec	0
Ucle (50.8N)	2.0	Dec	80	9.4	Dec	0
De Bilt (52.1N)	1.9	Dec	80	10.8	Dec	0

**Figura 43. Pèrdues angulars per diferent ubicacions, inclinacions i mesos. Font: [39].**

D'entrada es pot prendre una idea de quin valor o magnitud poden agafar aquestes pèrdues. A Madrid per exemple les pèrdues tenen un valor mínim amb un angle de 70° el gener (1,7%) i un valor màxim al juny amb un angle de 90° (12,6%). Això serien casos extrems però permet veure que, a diferència de les pèrdues per brutícia per exemple que podia prendre valors desmesurats, aquestes pèrdues tenen un cert límit.

Aquest mateix estudi mostra un gràfic comparatiu on es pot veure, a Madrid, com són aquestes pèrdues en els casos extrems: inclinacions de 0° i de 90°. Es pot veure clarament com a una inclinació de 0° a l'hivern es tenen pèrdues superiors al 10% però a l'estiu del 4%. El mateix amb 90°, a l'hivern pèrdues del 2% i a l'estiu del 12,6% com s'havia comentat de la figura anterior.

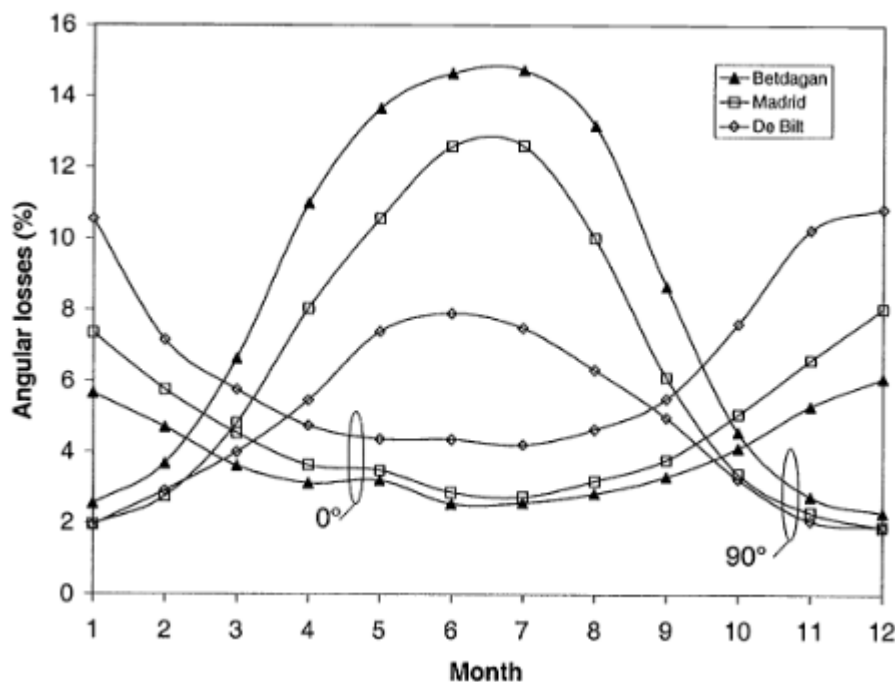


Figura 44. Pèrdues angulars a 0° i a 90°. Font: [39].

Seguint amb el mateix estudi s'extreu el gràfic que es pot veure tot seguit on es pot veure amb molta claredat com varien les pèrdues angulars mitjanes anuals en funció de la inclinació i de la ubicació. Com l'estudi aporta aquesta informació de diverses ciutats espanyoles doncs permet obtenir informació fiable (Sevilla, Múrcia, Madrid i Logronyo).

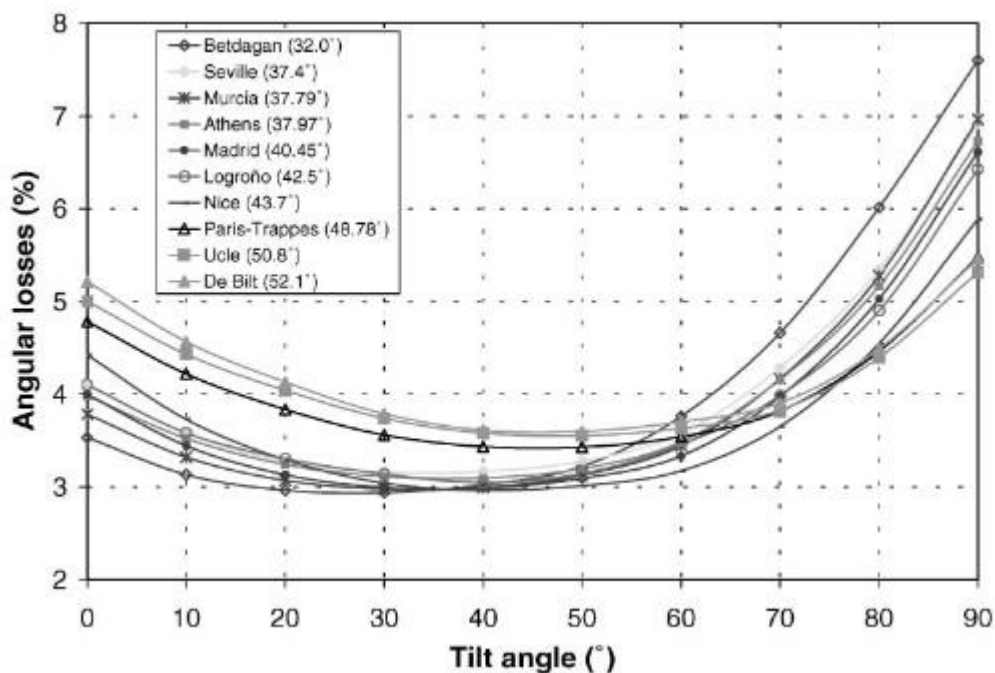


Figura 45. Pèrdues angulars en funció de l'angle d'inclinació. Font: [39].

A dia d'avui moltes instal·lacions fotovoltaïques es fan sobre teulada amb unes inclinacions aproximades d'entre 10° i 20°, pel que es pot veure com les pèrdues en aquests casos i per les ubicacions espanyoles són d'entre un 3% i un 4%. Es pot veure també com la inclinació òptima són els 30°-40° que s'havien explicat, doncs és la posició on les pèrdues angulars són menors.

Per últim, relacionat amb l'article en qüestió, es presenta també una petita comparació on s'analitzen les pèrdues sumades a la pols. Tot i que aquest tipus de pèrdues ja s'han comentat aquest gràfic reforça la hipòtesis que la brutícia pot augmentar les pèrdues aproximadament un 4%, valor que s'havia conclòs anteriorment.

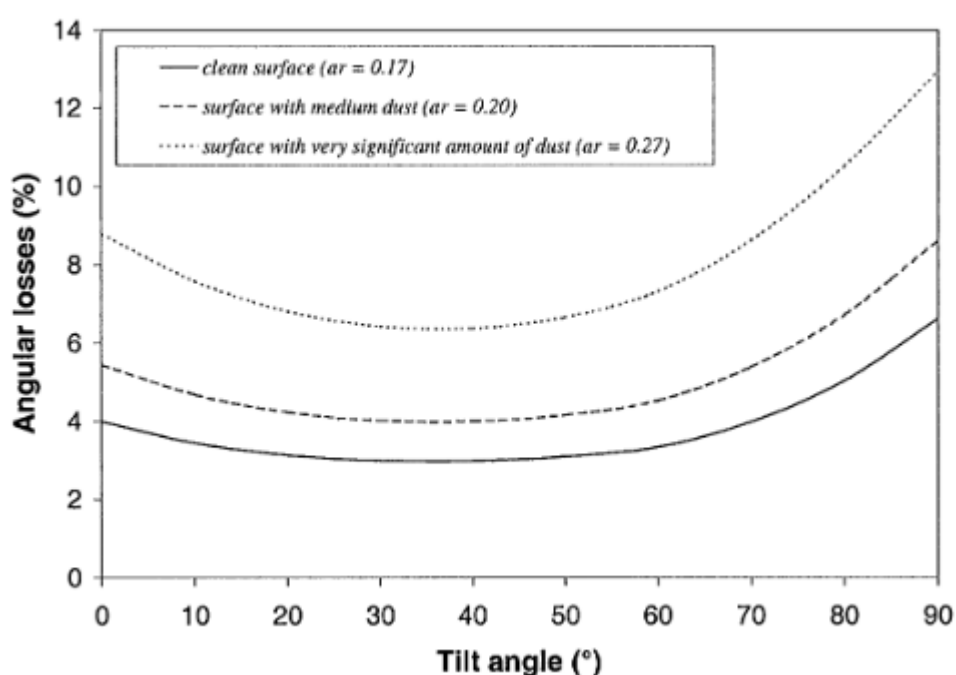


Figura 46. Pèrdues angulars en funció de l'angle i de la brutícia dels panells. Font: [39].

Per altra banda hi ha les pèrdues espectrals, aquestes bàsicament fan referència a les diferències ambientals que existeixen entre les condicions de laboratori de les plaques i les presents a la realitat. Unes pèrdues semblants a la de temperatura, en el sentit que les plaques rarament treballen en les condicions exactes de laboratori on les plaques es proven a les indústries on es fabriquen.

La influència espectral a les plaques fotovoltaïques convencionals, en molts estudis i recerques bibliogràfiques, s'ha estimat a través del factor espectral (SF). Aquest factor quantifica la diferència de rendiment degut a les diferències entre la incidència espectral.

Aquest factor es defineix com [40]:

$$SF = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda)SR(\lambda)d\lambda \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} E^*(\lambda)SR_{ref}(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E^*(\lambda)SR(\lambda)d\lambda \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} E(\lambda)SR_{ref}(\lambda)d\lambda} \quad Eq. 26$$

On:

- $E^*(\lambda)$  és la irradiació espectral en unes condicions de laboratori AM 1,5G ( $W m^{-2} nm^{-1}$ ).
- $E(\lambda)$  és la irradiació espectral en condicions reals de funcionament ( $W m^{-2} nm^{-1}$ ).
- $SR_{ref}(\lambda)$  és la resposta espectral relativa de referència que pren les mesures.
- $SR(\lambda)$  és la resposta espectral de la placa fotovoltaïca.
- Els valors  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  són els límits inferior i superior que el panell pot absorbir de longitud d'ona (nm).
- Els valors  $\lambda_3$  i  $\lambda_4$  són els límits inferior i superior on el panell és espectralment sensible de longitud d'ona (nm).

Aquesta equació de forma genèrica (considerant que les dades d'irradiació es prenen amb un piranòmetre) es pot resumir com:

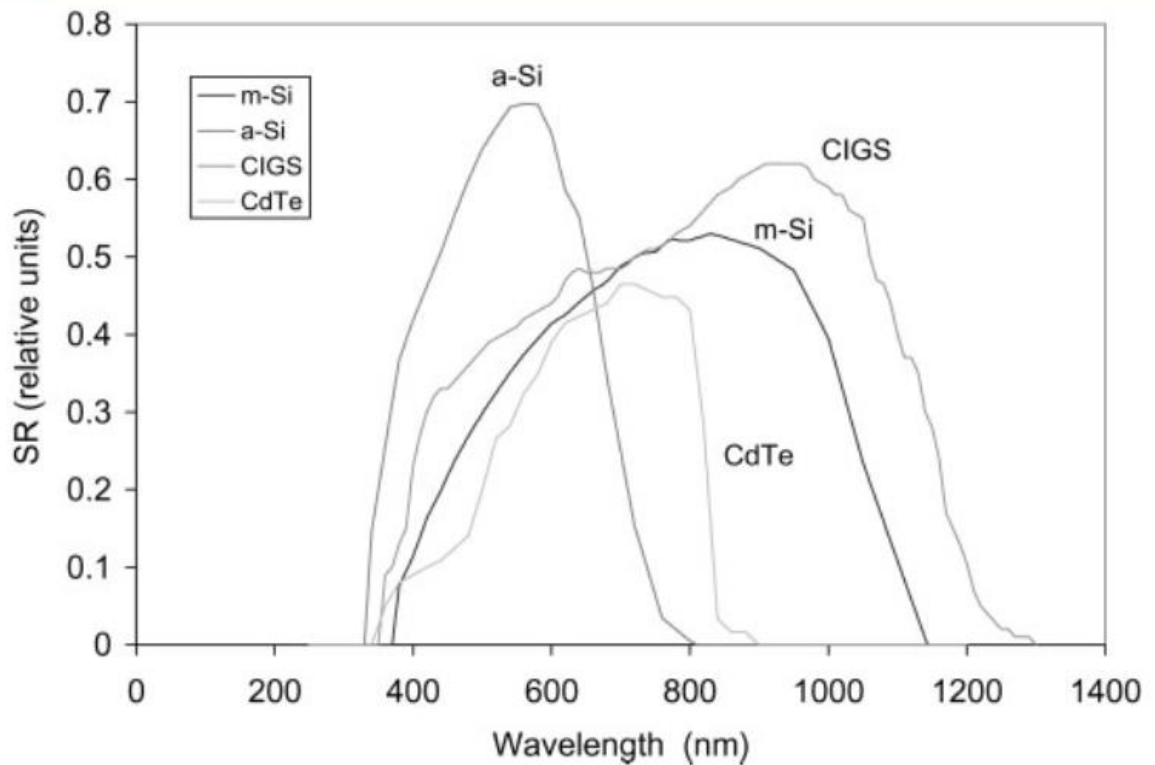
$$SF = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda)d\lambda \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} E^*(\lambda)SR(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E^*(\lambda)d\lambda \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} E(\lambda)SR(\lambda)d\lambda} \quad Eq. 27$$

De manera que per a determinar el factor espectral cal determinar la resposta espectral dels panells (SR) en funció de la longitud d'ona.

Per a valorar les pèrdues espectrals cal tenir en compte i considerar dins de quins rangs espectrals de longitud d'ona donen resposta els panells, és a dir, quines longituds d'ona poden captar i quines no. Llavors cal valorar per cada longitud d'ona i irradiació quin rendiment espectral ofereixen. Aquest valor són les respostes espectrals SR, el qual dona valors sobre la resposta o no dels panells a un espectre concret.

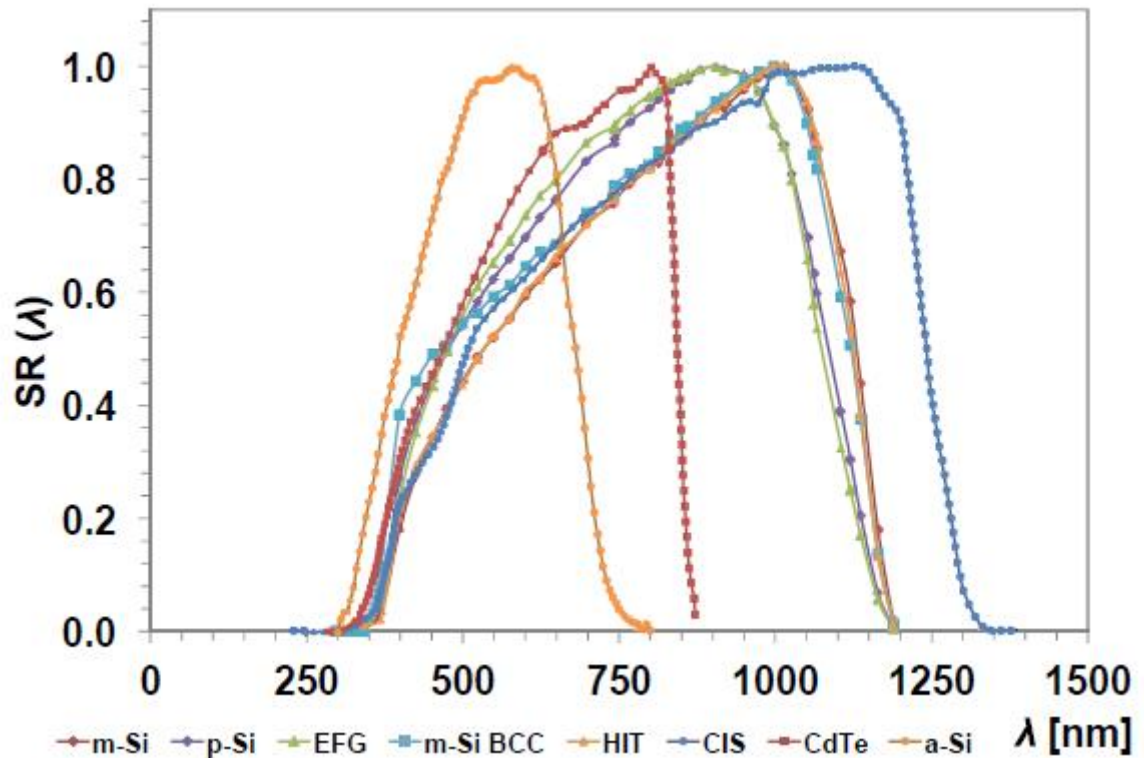
Un factor espectral per sobre de 1 significa que el panell tindrà un guany i produirà o respondrà amb una intensitat major que respecte les condicions de laboratori, en canvi un factor espectral per sota de 1 significa que el panell produirà menys o treballarà per sota de les condicions de laboratori i per tant tindrà menys rendiment. En aquest sentit les pèrdues espectrals, en algunes ubicacions geogràfiques poden significar guanys i no pèrdues.

Estudis com [40] i [41] ho han dut a terme en les seves recerques amb diferents tecnologies i els resultats es poden veure més avall.



**Figura 47.** Resposta espectral SR en funció de la longitud d'ona i del tipus de panell. Font: [41].

Cal fixar-se sobretot amb els panells monocristal·lins de silici (m-Si) els quals són els més utilitzats avui en dia. Es pot veure com aquests responen espectralment a longituds d'ona compreses entre els 400 nm i els 1200 nm aproximadament. Tots dos estudis mostren respostes espectrals similars per als diferents tipus de panell, com es pot veure a la següent figura.



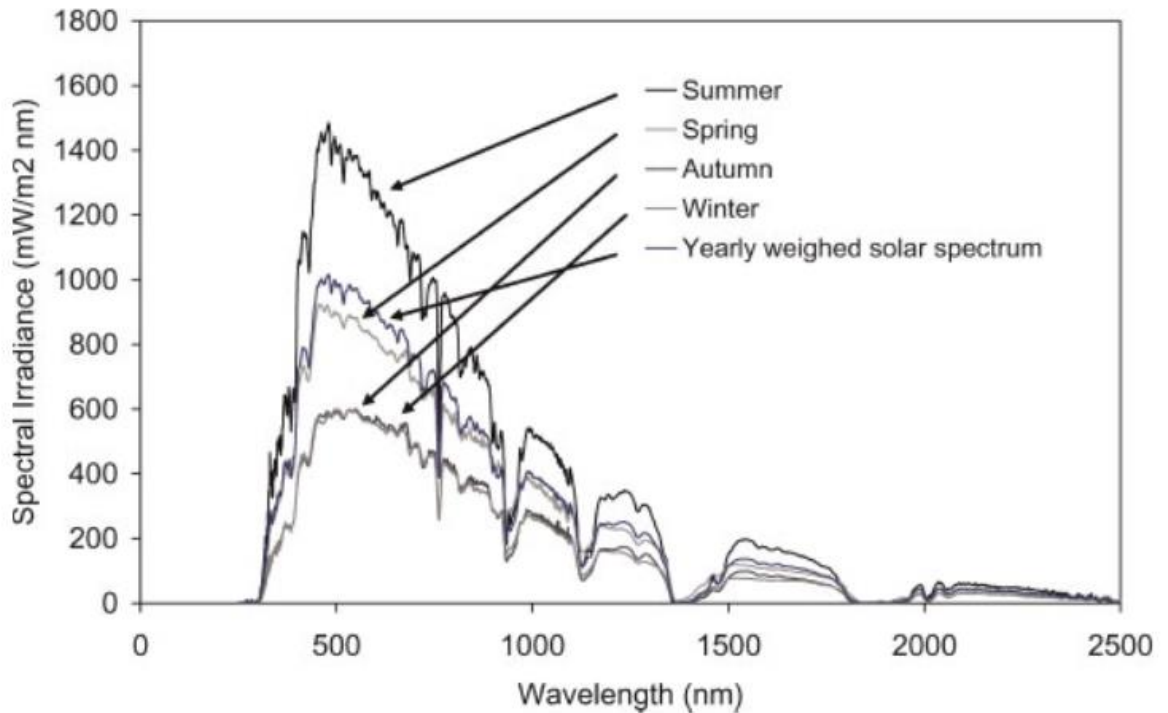
**Figura 48. Respostes espectrals SR en funció del tipus de panell. Font: [41].**

Aquesta resposta espectral es pot determinar de forma experimental o es pot calcular amb models de càlcul i programes que científics han desenvolupat. En aquests casos s'ha determinat mitjançant un programa anomenat SEDES2 i de forma experimental.

Aquesta resposta espectral és la que permet determinar llavors, a partir de la irradiació espectral, el factor espectral de les plaques fotovoltaïques.

La irradiació espectral dependrà completament de la ubicació (latitud i longitud) on es trobi una instal·lació fotovoltaïca i llavors d'altres paràmetres com la inclinació o l'orientació de la instal·lació.

Al següent gràfic es pot veure aquesta irradiació espectral per diferents longituds d'ona i per diferents èpoques de l'any trobades de forma experimental.



**Figura 49.** Irradiació espectral en funció de la longitud d'ona i de l'època. Font: [40].

Amb aquesta informació els dos articles científics calculen el factor espectral i el determinen de forma experimental en diferents ubicacions per a comprovar si implica pèrdues o guanys a l'eficiència fotovoltaica.

Per un costat es poden veure els resultats experimentals a la ciutat de Madrid per diferents tipus de panells, cal fixar-se en els que són monocristal·lins (m-Si BCC).



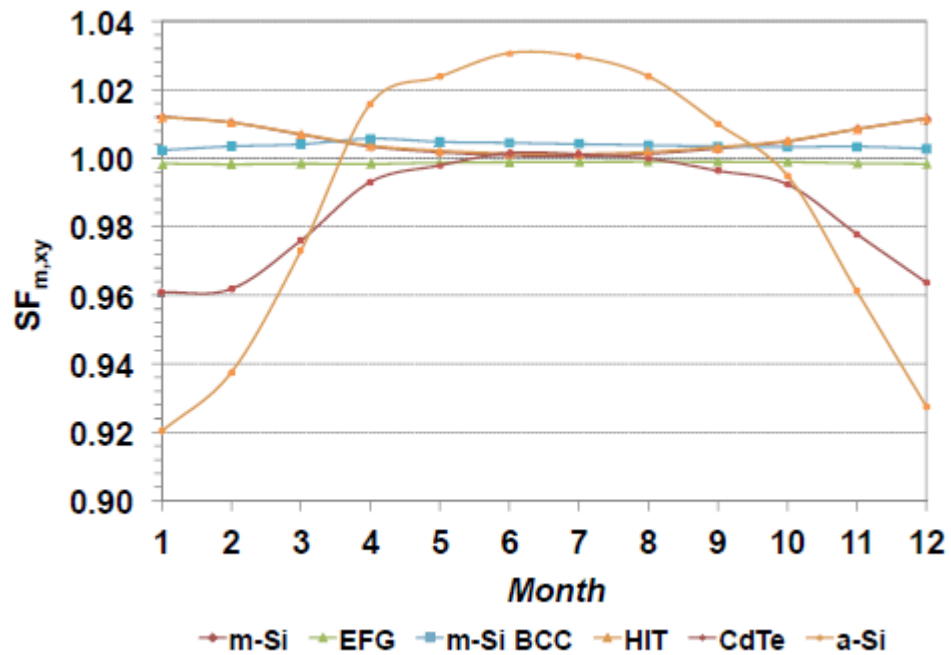


Figura 50. Factor espectral experimental a Madrid. Font: [41].

En aquesta ubicació, es pot veure com al llarg de l'any no existeixen pèrdues espectrals, doncs el factor és sempre superior a 1. En aquest sentit els panells que més alterables són a les irradiacions espectrals són els amorfs, que els mesos d'estiu són capaços de millorar el seu rendiment i en canvi a l'hivern en perden.

Els mateixos resultats es poden valorar per l'altre estudi i es pot veure més o menys quelcom similar: un factor espectral aproximat de 1 en el còmput anual amb molt poques variacions respecte les diferents estacions de l'any.

Es pot veure tant per les estacions (Figura 51) com per determinats dies de l'any (Figura 52). En tots els casos es pot observar el mateix resultat i és que a Madrid al llarg de l'any el factor espectral varia tan poc que gairebé es podria concloure que no hi ha ni pèrdues ni guanys espectrals.

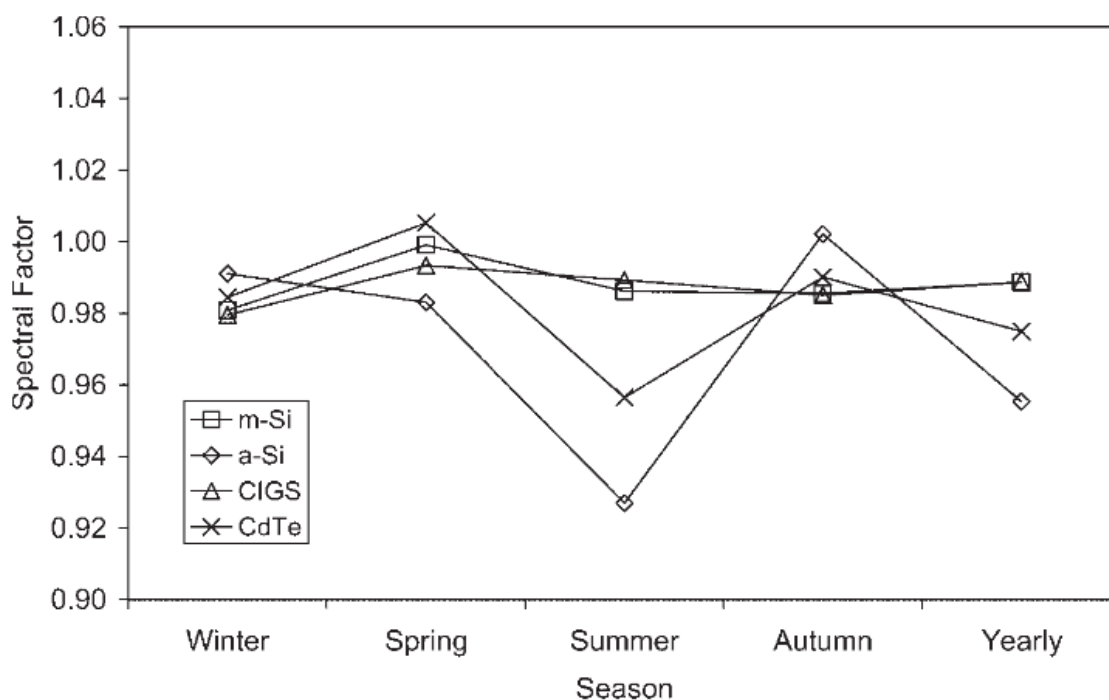


Figura 51. Factor espectral per diferents estacions de l'any. Font: [40].

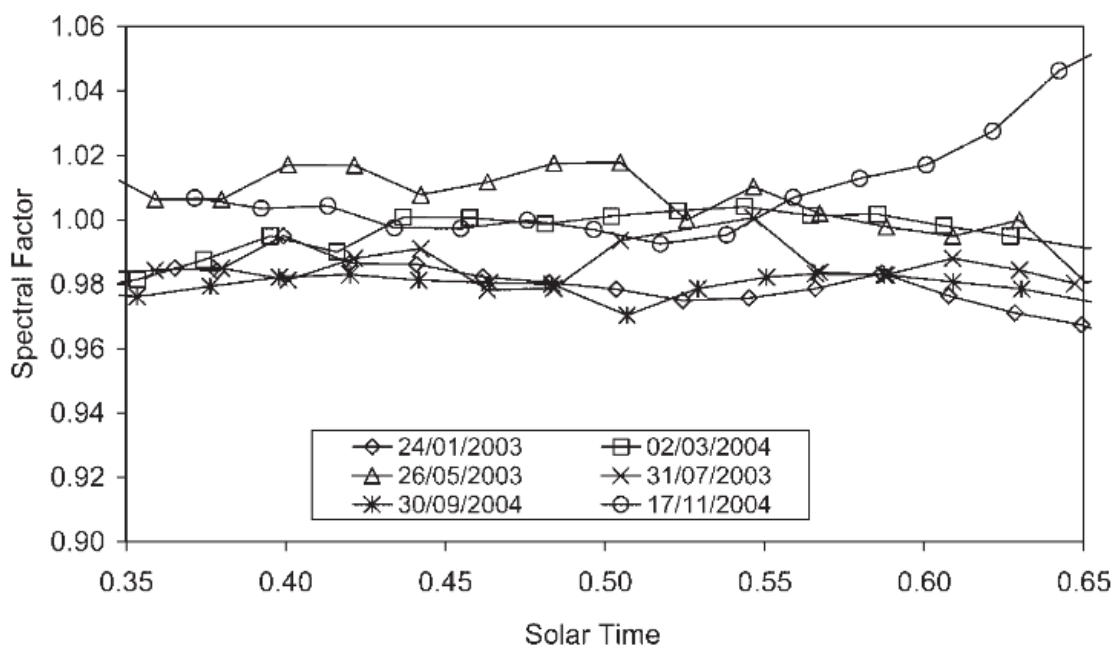
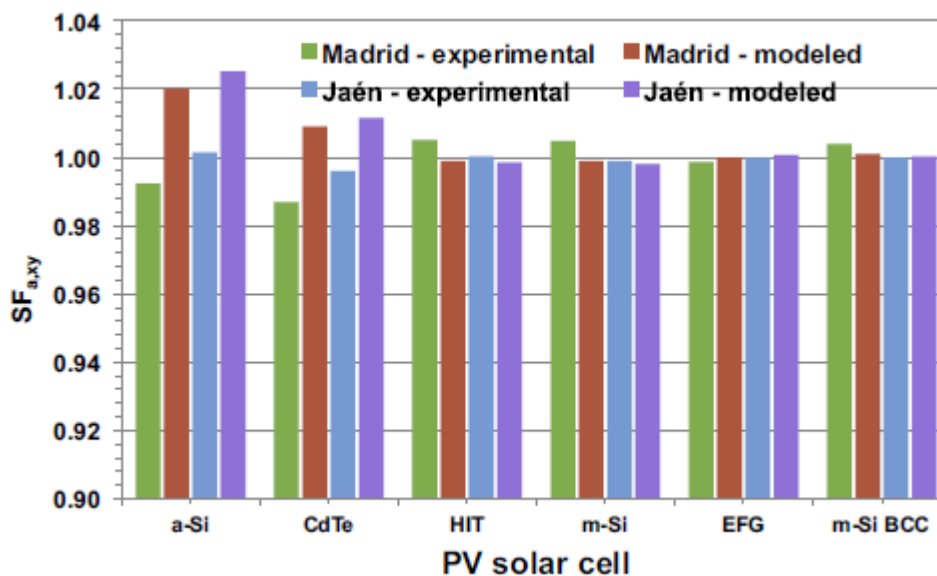


Figura 52. Factor espectral diferents dies de l'any per panells monocristal·lins. Font: [40].

Per últim es pot comprovar la diferència entre les dades reals experimentals i els resultats teòrics tant de Madrid com de Jaén també. Es torna a ser allà mateix ja que es pot veure que, apart que els valors modelats són fiables, que el factor espectral pels panells monocristal·lins es pràcticament igual a la unitat.



**Figura 53. Factor espectral per diferents tipus de panells a Madrid i Jaén (experimental i modelat).  
Font: [41].**

Com conclouen les recerques avaluades, en latituds com les de Madrid o Jaen i amb panells monocristal·lins de Silici, al llarg de l'any es poden observar guanys en comptes de pèrdues, mentre a Jaen els resultats mostren un factor espectral amb un valor aproximat a 1 a Madrid es pot veure un factor mig superior a 1. Si fa o no fa la conclusió després d'avaluar els articles científics és que a Espanya pràcticament no tenim pèrdues espectrals tot i que tampoc tenim guanys.

El programa més utilitzat per a determinar la producció fotovoltaica [24] que pot produir una instal·lació amb unes condicions determinades ofereix el càlcul directe d'aquestes pèrdues precisament en base a la ubicació i a la orientació azimuth de les plaques fotovoltaïques.

Per a comprovar la precisió dels articles analitzats i del mateix programa PVGIS s'imprimeix el resultat de producció anual d'una instal·lació fotovoltaica a la ciutat de Madrid de 1 kWp (per donar un valor). El resultat es mostra tot seguit.

**PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:**

<b>Provided inputs:</b>		<b>Simulation outputs</b>	
Latitude/Longitude:	40.424,-3.697	Slope angle:	35 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	0 °
Database used:	PVGIS-SARAH2	Yearly PV energy production:	1625.17 kWh
PV technology:	Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	2098.84 kWh/m <sup>2</sup>
PV installed:	1 kWp	Year-to-year variability:	51.88 kWh
System loss:	14 %	Changes in output due to:	
		Angle of incidence:	-2.59 %
		Spectral effects:	0.49 %
		Temperature and low irradiance:	-8.02 %
		Total loss:	-22.57 %

**Figura 54. Dades de producció per a una instal·lació fotovoltaïca de 1 kWp, inclinada 35° a sud a Madrid. Font: [24].**

En aquesta imatge es poden veure diversos valors que són interessants per l'estudi que s'està realitzant. Aquest programa, el PVGIS, ja s'ha comentat que és el programa per excel·lència per a determinar les dades d'una hipotètica instal·lació fotovoltaïca, fins al punt que també calcula les pèrdues (explicat tot a l'apartat del rendiment). Es pot veure com a Madrid, determina unes pèrdues espectrals de 0,49% positives (el que significa que hi ha un petit guany), fet que quadra a la perfecció amb l'anàlisi de [40] i [41].

A més a més es poden veure les pèrdues per angle d'incidència, que són de -2,59%. Si es va a buscar la informació de les pèrdues angulars més amunt, per un angle d'inclinació de 35°, és un valor que s'acosta molt als que s'havien pogut veure de diferents articles científics.

Per últim, es pot veure unes pèrdues per temperatura de -8,02%, valor que també encaixa amb tot el que s'ha explicat i consultat en l'apartat de la temperatura ja que com s'ha vist un dia d'estiu les pèrdues podien ser del 11-12% (a Girona) i a l'hivern del 1-2%, per tant un 8% encaixa dins el que seria la mitjana anual perfectament.

En resum, havent analitzat les diferents bibliografies, es pot determinar que les instal·lacions fotovoltaïques presenten aproximadament unes pèrdues angulars i espectrals aproximades d'un 3% a Espanya per inclinacions habituals.

### **3.7 Pèrdues d'eficiència del mateix inversor**

Com s'ha explicat, tota instal·lació disposa d'un element anomenat inversor que és l'encarregat de transformar l'energia fotovoltaïca de corrent continu a corrent alterna.

L'inversor doncs, com qualsevol altra màquina elèctrica, té un rendiment i per tant unes pèrdues d'eficiència que acaben derivant en la potència en corrent alterna que rep l'usuari de

la instal·lació. Aquestes pèrdues d'eficiència es poden entendre senzillament com la calor que genera l'inversor. Rep una energia elèctrica de les plaques i la transforma al mateix temps que s'escalfa i emet calor, per tant no està convertint el 100% de l'energia ja que un petit percentatge s'està transformant en calor i no en electricitat en corrent alterna.

Aquesta pèrdua depèn doncs única i exclusivament del tipus d'inversor, del fabricant, de la qualitat, de la potència nominal, la qualitat del sistema de seguiment del punt de màxima potència d'aquest...Són pèrdues contra les quals no es pot lluitar, hi són sempre per molt ben dimensionada que es trobi la instal·lació.

El rendiment de l'inversor bàsicament consisteix en la relació entre la potència en corrent continua que rep i la potència en corrent alterna que subministra, aquesta mai serà del 100%, l'inversor no pot convertir els mateixos watts en corrent continua en corrent alterna com s'havia dit.

Aquesta eficiència la proporciona el mateix fabricant, normalment ofereixen el seu rendiment màxim i un rendiment, europeu o californià, que consisteix en una mitjana ponderada sobre diferents valors de potència de treball de l'inversor. Segona la zona climàtica on s'ubica la instal·lació el rendiment es donarà ponderat amb valors europeus o amb valors californians.

El fabricant el que busca donar és el seu rendiment de laboratori màxim calculat (per a diferents nivells de potència respecte la seva nominal) i llavors dona el ponderat que és el que realment acaba essent segons el clima on es troba. A casa nostra, on tenim clima mediterrani, realment es podria comparar amb el rendiment californià més que no pas amb l'europeu però els fabricants aquí sempre plantegen la comparativa amb el rendiment europeu.

Els valors de ponderació del rendiment europeu són els que es veuen tot seguit davant de cada rendiment de l'inversor [42]. El fabricant ha de prendre el rendiment que ofereix l'inversor quan funciona a diferents nivells de potència i els ha de ponderar degudament.

**Taula 3. Valors de ponderació del rendiment europeu. Font: Elaboració pròpia.**

<b>P / Pnom</b>	5 %	10 %	20 %	30 %	50 %	100 %
<b>Ponderació</b>	3 %	6 %	13 %	10 %	48 %	20%

Per altra banda els valors de ponderació del rendiment californià són els següents:

**Taula 4. Valors de ponderació del rendiment californià. Font: Elaboració pròpia.**

P / Pnom	10 %	20 %	30 %	50 %	75 %	100 %
Ponderació	4 %	5 %	12 %	21 %	53 %	5 %

El rendiment europeu o californià aplicat en funció del rendiment d'un inversor concret es calcularia doncs de la següent manera:

$$\eta_{EU} = 0,03 \cdot \eta_{5\%} + 0,06 \cdot \eta_{10\%} + 0,13 \cdot \eta_{20\%} + 0,1 \cdot \eta_{30\%} + 0,48 \cdot \eta_{50\%} + 0,2 \cdot \eta_{100\%} \quad Eq.28$$

$$\eta_{CEC} = 0,04 \cdot \eta_{10\%} + 0,05 \cdot \eta_{20\%} + 0,12 \cdot \eta_{30\%} + 0,21 \cdot \eta_{50\%} + 0,53 \cdot \eta_{75\%} + 0,05 \cdot \eta_{100\%} \quad Eq.29$$

El fabricant fa diverses proves de potència amb els inversors, comprova el seu rendiment a diferents nivells de potència respecte la potència nominal, i quan té els 6 valors corresponents doncs utilitza les equacions 30 o 31 per obtenir el rendiment oficial (per dir-ne d'alguna manera) que és el que consta a la fitxa tècnica.

Es mostren tot seguit captures de pantalla de les fitxes tècniques de diferents inversors de marques conegudes a casa nostra, un inversor SMA, un de Fronius, un de SolarEdge i un de Huawei.

Factor de potencia a potencia asignada	1				
Factor de desfase ajustable	0,8 inductivo a 0,8 capacitivo				
Fases de inyección/conexión	1/1				
<b>Rendimiento</b>					
Rendimiento máx./europeo Rendimiento	97,0 %/96,4 %	97,0 %/96,5 %	97,0 %/96,5 %	97,0 %/96,5 %	97,0 %/96,6 %
<b>Dispositivos de protección</b>					
Punto de desconexión en el lado de entrada	●				
Monitorización de toma a tierra/de red	● / ●				
Protección contra polarización inversa de CC/Resistencia al cortocircuito de CA/con separación galvánica	● / ● / -				
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible	●				

**Figura 55. Dades d'un inversor SMA. Font: [43].**

RENDIMIENTO	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Máximo rendimiento	98,0 %	98,0 %	98,0 %	98,1 %	98,1 %
Rendimiento europeo (ηEU)	96,1 %	96,8 %	96,8 %	97,0 %	97,0 %
Rendimiento de adaptación MPP	> 99,9 %				
EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1

**Figura 56. Dades d'un inversor Fronius. Font: [44].**

Proteccion contra polaridad inversa	SI								
Detección de aislamiento de fallo de toma de tierra	Sensibilidad de 700 kΩ								
Rendimiento máximo del inversor	98								%
Rendimiento europeo ponderado	96,7	97,3	97,3	97,3	97,4	97,6	97,5	97,6	%
Consumo de energía durante la noche	< 2,5								W
<b>CARACTERÍSTICAS ADICIONALES</b>									
Interfaces de comunicación compatibles <sup>(5)</sup>	RS485, Ethernet, ZigBee (opcional), wifi (opcional), GSM integrado (opcional)								

Figura 57. Dades d'un inversor SolarEdge. Font: [45].

Technical Specification	SUN2000-20KTL-M3
<b>Efficiency</b>	
Max. Efficiency	97.6%
European Efficiency	97.2%
<b>Input</b>	
Recommended Max. PV Power	30,000 Wp
Max. Input Voltage <sup>1</sup>	750 V

Figura 58. Dades d'un inversor Huawei. Font: [46].

Com s'ha comentat pràcticament tots els fabricants a casa nostra proporcionen les dades amb rendiment europeu, en totes les imatges hi figures els rendiments europeus de fins a 19 inversors (diferents potències i marques), on el rendiment més inferior és del 96,1% i el rendiment més elevat és del 97,6%. Es pot estimar doncs que el rendiment a Europa d'un inversor és aproximadament d'un 97% i que per tant les pèrdues són del 3-4%.

Per a fer una prova amb el rendiment californià (CEC), es mostra una captura d'un inversor de la marca Enphase, és un valor més complicat de trobar ja que s'utilitza molt el rendiment europeu.

EFFICIENCY @ 240 V	
Peak efficiency	96.5 %
CEC weighted efficiency	96.5 %
Static MPPT efficiency (weighted, reference EN50530)	99.4 %

Figura 59. Dades d'un inversor Enphase. Font: [47].

En resum, com ens trobem a Europa, es considera doncs que les pèrdues degut al rendiment de l'inversor són del 3%.

S'han realitzat diferents estudis on s'ha comprovat la validesa dels rendiments europeu i californià. Un estudi realitzat amb diversos inversors l'any 2013 [48] va comparar els dos

rendiments comprovant el rendiment real d'alguns inversors (primer es determina el rendiment real i llavors s'apliquen els coeficients de ponderació) i com es veu a la següent figura si fa o no fa els dos rendiments presenten moltes similituds tot i que de forma genèrica el rendiment californià tendeix a ser un punt superior. D'aquest estudi cal tenir en compte que és fet l'any 2013 i per tant els rendiments amb gairebé 10 anys han millorat molt.

Model	5%	10%	20%	30%	50%	75%	100%
SB 700U	70.8	81.3	87.4	89.4	90.5	90.4	89.7
SB 1100E	73.1	82.2	87.4	89.0	89.8	89.6	89.0
SB 2100	75.7	84.5	89.4	90.9	91.6	91.4	90.9
SB 2500	89.2	92.5	93.7	93.8	93.2	92.0	90.8
SB 3800U	70.7	81.4	87.7	89.9	91.2	91.3	90.9
IG 15	66.3	77.0	83.9	86.5	88.8	90.1	90.9
IG 20	56.9	71.0	80.9	84.7	87.8	89.2	89.7
IG 30	68.6	79.7	86.5	88.7	90.1	90.3	89.9
QS 2000	71.5	80.9	86.5	88.4	89.8	90.3	90.4
QS 3200	68.2	79.0	85.5	87.8	89.3	89.6	89.5

**Figura 60. Rendiments experimentals dels inversors per diferents nivells de càrrega. Font: [48].**

Technology	Model	$\eta_{EU}$	$\eta_{CAL}$
SMA	SB 700U	88.7	89.2
SMA	SB 1100E	88.3	88.3
SMA	SB 2100	90.2	90.4
SMA	SB 2500	92.7	92.0
SMA	SB 3800U	89.3	90.0
Fronius	IG 15	86.9	87.4
Fronius	IG 20	85.1	86.5
Fronius	IG 30	88.2	88.8
Mastervolt	QS 2000	88.3	88.5
Mastervolt	QS 3200	87.4	87.9

**Figura 61. Rendiments EU i CEC ponderats. Font: [48].**

Un segon estudi realitzat per l'institut d'energia solar [49] va analitzar quelcom similar, comparant en una part de l'estudi les diferències entre els rendiments europeu (EU) i californià (CEC). Tot seguit es poden veure els resultats numèrics que van obtenir, on es torna a repetir que el rendiment europeu tendeix a ser lleugerament menor al rendiment californià. Significa que degut als paràmetres de ponderació un mateix inversor pot ser lleugerament més eficient als Estats Units que a Europa, per aspectes de la xarxa elèctrica, freqüència...



Inverter	Calculated efficiency range: min-max (%)				$\eta_{EUR}$ (%)	$\eta_{CEC}$ (%)
	Madrid		Berlin			
	0X	2X	0X	2X		
1	94.8-96	94.8-95.9	95.0-96.0	94.9-96.0	95.2	95.4
2	94-94.9	94.5-95.0	93.4-94.9	93.8-95.0	93.7	94.4
3	93.3-94.7	93.1-94.7	93.3-94.8	93.1-94.8	93.6	93.9
4	91.7-93.1	92.5-93.2	90.6-93.1	91.7-93.2	91.3	92.5
5	93.8-95.5	94.7-95.9	92.6-95.5	93.4-95.8	93.4	94.7
6	93.2-94.3	93.1-94.3	93.3-94.3	93.1-94.4	93.5	93.7
7	93.9-94.5	94.3-94.6	93.6-94.5	94.0-94.6	93.8	94.3
8	92.8-94.0	93.4-94.2	92.0-94.0	92.6-94.2	92.5	93.4
9	91.8-94.2	93.1-94.6	90.2-94.2	91.4-94.6	91.5	93.1
10	94.3-94.8	94.7-94.9	94.2-94.8	94.5-94.9	94.3	94.7
11	91.4-92.4	92.0-92.5	90.6-92.4	91.4-92.5	91.1	92.0
12	94.3-95.2	94.7-95.4	93.6-95.2	94.0-95.4	94.0	94.7
13	95.4-96.4	95.6-96.5	95.5-96.5	95.6-96.5	95.7	96.0

Figura 62. Comparativa de rendiment EU i CEC. Font: [49].

Aquest segon estudi exposa un gràfic que resulta molt interessant perquè permet veure gràficament les franges de rendiment experimentals i, dins d'aquestes franges, el valor que acaba prenent el rendiment europeu i el rendiment californià.

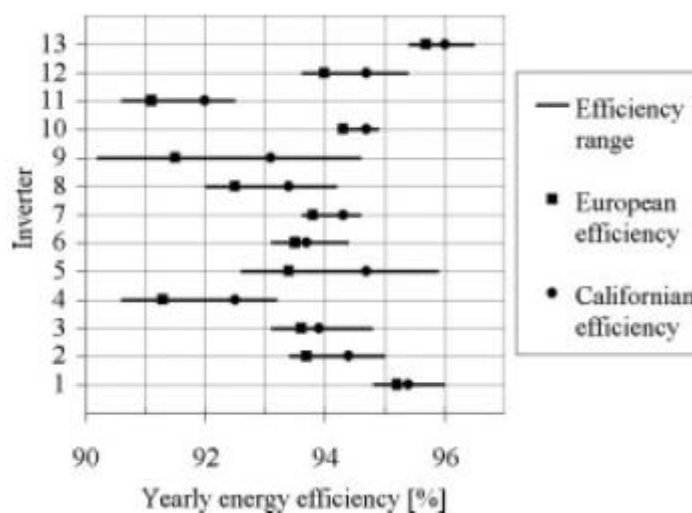


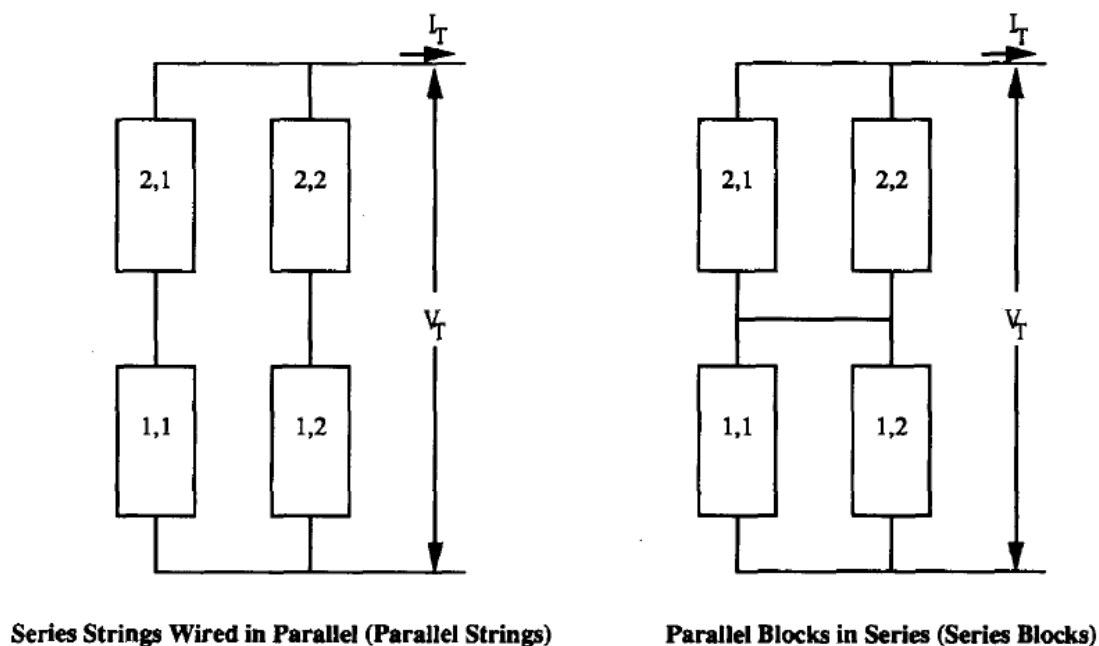
Figura 63. Comparativa gràfica de rendiment EU i CEC. Font: [49].

En tots els inversors es torna a veure com el rendiment californià tendeix a ser superior. D'aquest segon estudi també cal tenir en compte que com està publicat de l'any 2010 els rendiments són més baixos, per a aquest estudi es prenen els rendiments europeus prop del 97% que s'han vist anteriorment en fitxes tècniques actuals.

El que podria ser objecte d'estudi és avaluar realment si, tenint en compte el clima mediterrani que no és igual al clima europeu general, es podria arribar a utilitzar o aplicar el rendiment californià pels països europeus càlids com poden ser Espanya, Itàlia, Grècia...

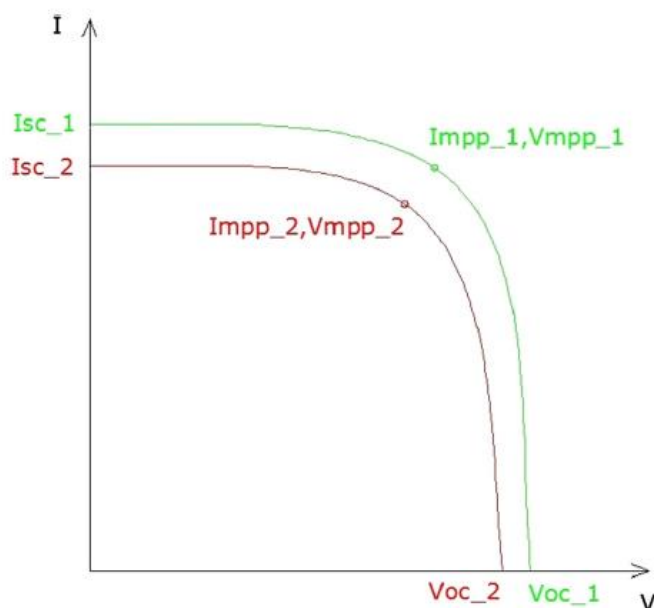
### 3.8 Pèrdues de “mismatch” o acoblament i des ajustament del MPPT

De forma molt resumida, “mismatch” significa mal emparellament, pel que aquest tipus de problema es produeixen quan s'aparellen malament els panells fotovoltaïcs, ja sigui en les connexions en sèrie o en les connexions en paral·lel. Tota connexió sèrie o paral·lel acaba presentant alguna petita pèrdua per mal emparellament però cal minimitzar-les al màxim.



*Figura 64. Esquema de panells en paral·lel i en sèrie. Font: [50].*

Els panells d'una instal·lació fotovoltaïca es connecten en sèrie de manera que el seu voltatge es suma. Quan es fan les instal·lacions cal procurar que en una mateixa sèrie tots els panells siguin iguals o tinguin les mateixes característiques: si es posa un panell amb una intensitat menor en una sèrie doncs aquest limitarà la sèrie sencera, aquest és l'efecte o pèrdua coneguda com “mismatch”. Cada tipus de panell presenta una corba I-V diferent i per tant un punt de màxima potència (MPPT) diferent, la combinació de mòduls amb diferents corbes farà que l'inversor no treballi bé i que no pugui assolir mai el punt de màxima potència del panell més potent, el que farà l'inversor és proporcionar un punt de funcionament nou comprès entre les dues corbes.



**Figura 65. Diferents corbes I-V de diferents panells. Font: [51].**

En el cas d'una combinació en paral·lel passaria el mateix: en una mateixa entrada MPPT d'un inversor s'hi poden entrar dues sèries paral·leles de panells fotovoltaïcs de manera que es suma la intensitat de les dues sèries però no el voltatge. Si aquestes sèries no són idèntiques (ja sigui en nombre de panells o en tipus de panells) passarà el mateix problema: l'inversor no podrà assolir el punt de màxima potència dels panells més potents i per tant hi haurà unes pèrdues només per no haver aparellat bé les sèries.

Aquest problema, tot i que té una solució aparentment senzilla, es dona en més ocasions del que sembla si una instal·lació no es dimensiona correctament i no s'uneixen els panells en les sèries més òptimes.

Sense anar més lluny, i encara que les sèries estiguin ben dimensionades, el simple fet que algun dels panells funcioni lleugerament diferent de la resta (perquè està rebent una ombra, perquè té una temperatura que la resta...) ja provoca aquest efecte "mismatch". Com la sèrie sencera no es troba en les mateixes condicions de funcionament doncs l'inversor no pot aconseguir el punt de màxima potència del panell.

És una pèrdua complicada de valorar a nivell percentual, ja que depèn com altres, de les condicions de funcionament. El que sí que existeixen són estudis i casos reals d'estudi on s'han avaluat aquestes pèrdues per poder determinar o aproximar el seu valor respecte la potència total d'una instal·lació.

El gran problema de mesurar aquest tipus de pèrdua és que està íntimament lligat amb altres pèrdues estudiades anteriorment: ombres, angulars, brutícia, temperatura... Si un panell de la sèrie rep ombra ens trobem en un cas de mismatch ja que no tots els panells treballen

igual, si algun dels panells de la sèrie té una inclinació o orientació diferent són pèrdues angulars que provoquen mismatch, si un dels panells de la sèrie està brut provoca mismatch, si un dels panells de la sèrie està més calent que la resta treballarà pitjor i per tant provocarà mismatch... Per tant diferenciar unes pèrdues d'altres i quantificar les pèrdues percentuals per culpa del mal emparellament no és una tasca senzilla.

Alguns autors han intentat donar una magnitud a aquestes pèrdues analitzant casos reals i modelitzant models i sistemes per a intentar determinar de forma teòrica aquestes pèrdues. Primer de tot es comenten dos estudis que, amb diferents instal·lacions, han avaluat de forma independent les pèrdues percentuals per mismatch de les sèries i per mismatch dels paral·lels.

Un estudi elaborat ja fa molts anys, l'any 1995 [50], va buscar determinar aquestes pèrdues provant una mateixa instal·lació en paral·lel i en sèrie de 192 panells amb moltes formes diferents i aleatòries per veure com afectaven les sèries i com afectaven les cadenes paral·leles.

A l'estudi analitzen molts aspectes diferents de la instal·lació però es pren l'objecte que interessa per aquest treball. Les seves conclusions van ser que les pèrdues per mismatch eren tan baixes que es podien gairebé menysprear. En la configuració en sèrie eren, com a màxim, del 0,53% i per la configuració en paral·lel com a màxim del 0,43%. En mitjana va significar menys d'un 0,1% de pèrdues tant un cas com l'altre.

Table 4. General tendency and variation in maximum output power and mismatch loss in random module parallel string and series block arrays

Variable	Minimum	Maximum	Median	Mean	Standard deviation
$P_{\max}$ without mismatch (W)	155.27	162.94	159.47	159.40	1.6
Parallel string $P_{\max}$ (W)	154.76	162.87	159.30	159.26	1.6
Series block $P_{\max}$ (W)	155.07	162.88	159.26	159.24	1.6
$\Delta P_{\max}$ (W)*	-0.52	0.60	0.01	0.01	0.14
Parallel string mismatch loss (%)	-0.00	0.53	0.06	0.08	0.08
Series block mismatch loss (%)	0.01	0.45	0.07	0.09	0.08

Figura 66. Pèrdues per mismatch sèrie i paral·lel. Font: [50].

Un altre estudi [51], analitza aquestes mateixes pèrdues mitjançant dos mètodes diferents en una instal·lació real amb dos tipus de panells fotovoltaïcs. Busca determinar també com varien les pèrdues en funció de si es connecten panells en sèrie o en paral·lel.

En aquest cas utilitzen fins a 4 mètodes diferents per a analitzar les pèrdues de les sèries i dels paral·lels de cadenes de 40 i 320 mòduls, es tracta d'un estudi molt elaborat que busquen provar diferents mètodes per assegurar que les pèrdues per mismatch que es troben són fiables, des d'un mètode dinàmic, fins a un mètode basat en les corbes I-V dels panells i fins a un mètode de càlcul senzill i simplificat aplicant una senzilla equació de càlcul de les pèrdues per mismatch.

Per exemple, pel mètode d'ús de la corba I-V, el que miren és la potència màxima que pot oferir el panell tot sol, sense connectar-se amb cap altre panell. Llavors es connecta en sèrie i es mira la seva potència i es repeteix el procediment connectant-lo en paral·lel. D'aquesta manera es veu ràpidament com varia la potència del panell ell tot sol o connectat en sèrie/paral·lel amb altres. Llavors es mira els nous punts de funcionament a la corba I-V.

Pel mètode estandarditzat directament es plantegen dues equacions: una per determinar les pèrdues en sèrie i una altra per a determinar les pèrdues en paral·lel. Aquestes equacions tenen en compte factors com les toleràncies dels panells, paràmetre de sèries, paràmetres de paral·lel... Factors difícils d'obtenir si no es busquen experimentalment.

Tot seguint es poden veure els resultats dels 4 experiments.

Results of the static simulations with simplified method at STC of the 40 and 320 modules arrays.

Module	Ordination	String	MMPT	$I_{mis,series}$ [%]	$I_{mis,par}$ [%]	$I_{mis,tot}$ [%]
40	Random	2	1	0.14	0.51	0.65
40	Random	2	2	0.14	–	0.14
40	Random	4	1	0.18	0.28	0.46
40	Random	4	2	0.18	0.25	0.43
40	$I_{mp}$	2	1	0.07	0.59	0.66
40	$I_{mp}$	2	2	0.07	–	0.07
40	$I_{mp}$	4	1	0.09	0.31	0.40
40	$I_{mp}$	4	2	0.09	0.29	0.38
320	Random	16	1	0.16	0.07	0.23
320	$I_{mp}$	16	1	0.02	0.8	0.10

**Figura 67. Pèrdues per mismatch pel mètode simplificat estàtic. Font: [51].**

Results of the static simulations with I-V curve method at STC of the 40 and 320 modules arrays.

Module	Ordination	String	MMPT	$I_{mis,series}$ [%]	$I_{mis,par}$ [%]	$I_{mis,tot}$ [%]
40	Random	2	1	0.02	0.03	0.05
40	Random	2	2	0.03	–	0.03
40	Random	4	1	0.03	0.07	0.10
40	Random	4	2	0.02	0.04	0.06
40	$I_{mp}$	2	1	0.01	0.03	0.05
40	$I_{mp}$	2	2	0.01	–	0.01
40	$I_{mp}$	4	1	0.01	0.03	0.05
40	$I_{mp}$	4	2	0.01	0.03	0.04
320	Random	16	1	0.08	0.03	0.11
320	$I_{mp}$	16	1	0.01	0.06	0.07

**Figura 68. Pèrdues per mismatch pel mètode I-V estàtic. Font: [51].**

Results of the dynamic simulations with simplified method of the 40 and 320 modules arrays.

Module	Ordination	String	MMPT	$E_{nom}$ [kW h]	$E_{mis}$ [kW h]	$I_{mis,tot}$ [%]
40	Random	2	1	18,529	18,408	0.65
40	Random	2	2	18,529	18,503	0.14
40	Random	4	1	18,529	18,444	0.46
40	Random	4	2	18,529	18,449	0.43
40	$I_{mp}$	2	1	18,529	18,406	0.66
40	$I_{mp}$	2	2	18,529	18,516	0.07
40	$I_{mp}$	4	1	18,529	18,455	0.40
40	$I_{mp}$	4	2	18,529	18,459	0.38
320	Random	16	1	136,230	135,916	0.23
320	$I_{mp}$	16	1	136,230	136,099	0.10

**Figura 69. Pèrdues per mismatch pel mètode simplificat dinàmic. Font: [51].**

Results of the dynamic simulations with  $I-V$  curve method of the 40 and 320 modules arrays.

Module	Ordination	String	MMPT	$I_{mis,series}$ [%]	$I_{mis,par}$ [%]	$I_{mis,tot}$ [%]
40	Random	2	1	18,529	18,518	0.06
40	Random	2	2	18,529	18,518	0.06
40	Random	4	1	18,529	18,517	0.07
40	Random	4	2	18,529	18,520	0.05
40	$I_{mp}$	2	1	18,529	18,519	0.05
40	$I_{mp}$	2	2	18,529	18,522	0.04
40	$I_{mp}$	4	1	18,529	18,521	0.04
40	$I_{mp}$	4	2	18,529	18,524	0.03
320	Random	16	1	136,230	136,080	0.11
320	$I_{mp}$	16	1	136,230	136,147	0.06

**Figura 70. Pèrdues per mismatch pel mètode I-V dinàmic. Font: [51].**

Les conclusions i els valors presenten similitud amb el primer estudi valorat. En general es pot veure com, en el pitjor dels casos, les pèrdues per mismatch no arriben a l'1% i amb prou penes superen el 0,5%.

Un tercer estudi elaborat a la Xina [52] va realitzar un mateix estil d'estudi avaluant les pèrdues per mismatch associades en aquest cas a les ombres. Ja s'ha comentat que és un tipus de pèrdua un xic confusa ja que en el cas de les ombres es produeix aquest efecte mismatch i per tant resulta complex diferenciar les pèrdues per ombres de les pèrdues per mismatch.

En aquest estudi bàsicament analitzen el funcionament d'una instal·lació fotovoltaïca i amb una petita equació tenint en compte potència teòrica i potència de funcionament doncs analitzen l'efecte d'ombres parcials sobre la instal·lació i ho fan per diferents tipus de panells.

Mismatch losses of different types of PV arrays.

Technologies	Theoretical $P_m$ (W)	Simulated $P_m$ (W)	Mismatch losses $\eta$ (%)
Multi-crystalline BP SX 150S	363.07	363.05	0.006
	421.44	420.74	0.166
	449.43	446.88	0.567
Mono-crystalline STP270S	653.74	653.73	0.002
	760.41	759.64	0.101
	811.83	808.62	0.395
Thin-film CHSM 5011T	259.6	259.42	0.069
	301.03	300.05	0.326
	320.78	318.64	0.667

**Figura 71. Pèrdues per mismatch d'ombres parcials. Font: [52].**

Es pot veure com els resultats mostren unes pèrdues molt i molt petites. Per a diferents tipus d'ombres es veu com, pels panells monocristal·lins, les pèrdues varien entre un 0,002% i un 0,395%, valors molt baixos. El que es veu és que, per culpa del mismatch, entre les pèrdues per sèrie/paral·lel i les pèrdues que provoquen les ombres s'estaria parlant d'unes pèrdues pròximes a l'1% en el pitjor dels casos. Es veu però mirant valors mitjans, que es podrien arrodonir aquestes pèrdues a un 0,5% en condicions estàndards.

Per últim, per acabar de verificar les dades dels diferents articles consultats, es presenten els resultats d'un últim estudi on s'utilitza un model anomenat PVMismatch que permet, entre altres, determinar les pèrdues per mismatch d'una instal·lació.

En aquest cas es tracta d'un estudi més senzill que fan proves amb dos tipus de panells i amb 4 combinacions de sèries diferents (només avaluen pèrdues de sèries). Proven 3 sèries de 8 panells, 21 sèries de 14 panells i 139 sèries de 22 panells. Els resultats es poden veure a la següent figura.

System configurations		Mismatch loss (%)							
		D <sub>pvm1</sub>				D <sub>pvm2</sub>			
		STC		Annual		STC		Annual	
N <sub>s</sub>	N <sub>m</sub>	P50	P95	P50	P95	P50	P95	P50	P95
3	8	-0.04	-0.05	-0.06	-0.12	-0.08	-0.14		
21	14	-0.03	-0.04			-0.09	-0.11		
139	22	-0.03	-0.04			-0.09	-0.10		

**Figura 72. Pèrdues per mismatch per diferents sèries. Font: [53].**

Es pot veure com les pèrdues, altra vegada, presenten valors molt i molt petits. De fet són valors que s'assemblen molt a les pèrdues per les sèries del mètode de la corba I-V de l'estudi [51]. Les pèrdues màximes que van observar van ser de 0,14%, mentre que de forma general es veuen valors que no arriben al 0,1%.

Després d'haver avaluat diferents articles i haver vist la problemàtica de l'emparellament de les plaques fotovoltaïques, es considera que les pèrdues màximes que podria arribar a tenir una instal·lació per culpa d'aquest fenomen serà del 0,5%. Per a prendre aquesta decisió es prescindeix dels resultats vistos a l'estudi [52] ja que valoren l'efecte de les ombres i aquest es considera avaluat dins l'1% de pèrdues per ombres, que ja s'ha considerat a l'alça tenint en compte possibles ombres parcials i no tant parcials.

És una pèrdua que, si s'avalua per si sola, presenta uns valors molt baixos. El problema és quan es barreja amb ombres i brutícia, d'alguna manera tant una pèrdua com l'altra es consideren pèrdues per mismatch altes.

### 3.9 Pèrdues de tolerància del mòdul fotovoltaic

Aquest tipus de pèrdua fa referència a les possibles pèrdues que pot tenir el panell per defectes o diferències fruit del procés de fabricació d'aquests. Tot producte d'aquestes característiques presenta un rang de tolerància de possibles variacions respecte les condicions que el fabricant estipula a la fitxa del producte.

Els fabricants de forma general estipulen que la potència del mòdul es troba dins d'un rang P+-3%, P+-5% o P+-10%, la realitat però és que en algunes ocasions sol passar que la potència de cada mòdul es troba dins de la banda inferior i no dins de la banda superior, el que significa que en alguns casos el rang o la banda acaba essent de P-10% i no P+-10% per exemple [54].

Aquesta pèrdua depèn única i exclusivament del tipus de panell i del fabricant. És per aquest motiu que no s'investiga més sobre aquesta característica, tots els components elèctrics presenten unes toleràncies de fabricació que el fabricant estipula a les característiques d'aquest.

Si es comparen diversos panells que actualment es troben al mercat, la majoria d'ells (compresos entre potència de 360W i 500W) marquen una tolerància de 5W, pel que en el pitjor dels casos es podria estar parlant d'unes pèrdues d'entre un 1% i un 2% com a molt. Panells més vells presenten toleràncies del 3%. En general són valors que no sobrepassen aquests percentatges.

Es presenta una breu relació entre diferents panells actuals del mercat i les toleràncies que indiquen les seves respectives fitxes tècniques.

**Taula 5. Toleràncies de diversos panells actuals del mercat. Font: Elaboració pròpia.**

MARCA I MODEL DE PANELL	TOLERÀNCIA
JA Solar JAM72S30	+ - 5 W
REC TwinPeak 4	+ - 3%
TRINA Tallmax	+ - 5W
JINKO Tiger N-Type 66TR	+ - 3%
LONGI LR4-72HPH	+ - 5 W
CanadianSolar HiKu	+ - 10W

Per a posar una condició molt desfavorable, veient panells actuals, es considerarà aquesta pèrdua d'un 3% com a molt.



### 3.10 Pèrdues de no seguiment del MPPT a l'inversor

Com s'ha explicat, tots els panells fotovoltaïcs tenen un punt de màxima potència entre intensitat i voltatge que és el punt de funcionament que l'inversor busca constantment: la seva missió és treballar per aconseguir la màxima potència possible dels panells.

Com tota màquina l'inversor és imperfecte (ja s'havia vist per exemple amb les pèrdues de rendiment), i no sempre aconseguix aquest punt de màxima potència o MPPT. Aquest fenomen doncs provoca unes petites pèrdues de potència pel simple fet que l'inversor no aconseguix treure tot el suc possible a les plaques.

Al llarg del dia el funcionament de la instal·lació fotovoltaïca varia constantment, des l'aparició d'un núvol fins a la variació de la irradiància solar. Aquests factors i altres provoquen que el punt de màxima potència canviï i per tant l'inversor, mitjançant un dispositiu electrònic i un algoritme, estigui tota l'estona buscant el punt de màxima potència.

Existeixen diferents tipus d'algoritmes que els inversors utilitzen per aconseguir la màxima potència dels panells. Els dos més coneguts funcionen de la següent manera:

- El seguidor MPPT va pujant en la corba I-V fins a arribar a un punt on, en cas de seguir pujant, la potència obtinguda ja no augmenta.
- El seguidor MPPT busca i compara el pendent de tota la corba I-V per a trobar, d'aquesta manera, el punt on s'assoleix la màxima potència.

Aquesta pèrdua es pot trobar, en alguns casos, en la mateixa fitxa tècnica del fabricant dels inversors. Per exemple s'adjunta tot seguit una captura d'un inversor Fronius on es pot veure aquest comentari.

$\eta$ con. 100 % Pac. r 11	96,5 / 98,0 / 97,6 %	96,5 / 97,8 / 97,6 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %	96,9 / 98,1 / 97,6 %	96,8 / 98,0 / 97,6 %
Rendimiento de adaptación MPP	> 99,9 %				

**Figura 73. Rendiment d'adaptació del MPPT. Font:[44]**

Es pot veure com els inversors d'aquesta marca certifiquen que el seguiment del punt de màxima potència té un rendiment superior al 99,9%, per tant es pot concloure que són unes pèrdues molt petites al voltant del 0,1 %.

### 3.11 Pèrdues per disponibilitat

Quan es parla de disponibilitat es fa referència a parades per fets externs a la instal·lació fotovoltaïca com a tal. Cada vegada que una instal·lació deixa de funcionar per a una avaria, perquè ha marxat la llum en les instal·lacions connectades a xarxa, un manteniment o neteja ja sigui de l'inversor o de les plaques...

En general és freqüent que es donin varis d'aquests successos durant la vida útil de la instal·lació i per tant això provoca una pèrdues que s'anomenen per disponibilitat.

Dimensionar aquestes pèrdues és molt complicat, l'energia fotovoltaica es posa en funcionament i, si tot va bé, no es para. Per tant estem parlant d'unes pèrdues que es provoquen degut a avaries o degut a parades inesperades.

Enumerar les avaries és impossible, doncs si sabéssim quan es produeixen ja no es produirien. Es dona per fet que es realitza un bon manteniment de les instal·lacions per tal de minimitzar les avaries al llarg de la vida útil.

Hi ha algun estudi que precisament estudia aquesta paràmetre, la disponibilitat, d'alguna planta fotovoltaica i treuen certes conclusions. Un estudi dut a terme a Itàlia [58] conclou després d'un estudi empíric que, en plantes demés de 500 kW la disponibilitat d'aquestes sol ser aproximadament d'un 93%, el que significaria que un 7% del temps d'un any la planta estaria parada parcialment o completament per avaries o altres factors. Observant diferents plantes estudiades es veuen valors que es troben compresos entre el 70% i 95% aproximadament.

Una conclusió semblant és a la que arriba un estudi dut a terme a la Índia [59] on estudien una planta fotovoltaica de 1 MWp. En aquest cas els resultats són lleugerament millors ja que la planta no baixa del 90% del rendiment de disponibilitat. Durant 5 anys seguits d'estudi van concloure que la disponibilitat de la planta es trobava entre el 92,44% i el 95,69 % anual, això significa que de mitjana cada any hi havia entre un 4,31% i un 7,56% de la capacitat fotovoltaica instal·lada que no produïa.

En els dos casos es determina que aquest tipus de plantes es poden moure al voltant d'aquest 93% de disponibilitat, però cal tenir en compte que es tracten de parcs fotovoltaics amb molts inversors i molts panells, on la probabilitat d'avaries i manteniment rutinari és més elevat. Al final com més aparells hi ha instal·lats més possible és que algun falli. Aquest tipus de plantes també estan subjectes més manteniments i operacions.

Un últim estudi al respecte parla de diferents pèrdues i diferents valors d'aquestes, es tracta d'un article laboratori nacional d'energies renovables de Denver als Estats Units [60]. Aquest article planteja un estudi on es valoren diferents pèrdues i determinen que les pèrdues per disponibilitat són d'un 2,3% per a un total de 250 instal·lacions i més de 157MW als Estats Units. Tot i aquest resultat l'article cita un valor del 99% de disponibilitat que és típic que s'utilitza en la comunitat d'enginyeria independent.

De cares a l'estudi, es consideraran unes pèrdues del 3% tenint en compte els diferents valors vistos als articles citats.

### 3.12 Pèrdues totals

Com a punt final a l'anàlisi de totes les pèrdues que pateixen o poden patir les instal·lacions fotovoltaïques es presenta un breu resum de tot el que s'ha conclòs i observat.

D'entrada es pot veure com les pèrdues totals aproximades anuals són d'un 25% tenint en compte les diferents lectures repassades. Cal tenir en compte que pèrdues com les ombres són de molt mal calcular i a més es tracta d'un tipus de pèrdua que tot i que és fàcil d'evitar si hi és pot incrementar les pèrdues-

L'objectiu a la segona part de la memòria serà comprovar i calcular les pèrdues en instal·lacions reals per comprovar si realment tot el que s'ha llegit en diverses fonts científiques és cert o no.

*Taula 6. Pèrdues teòriques que pot tenir una instal·lació fotovoltaïca. Font: Elaboració pròpia.*

TIPUS DE PÈRDUES	VALOR CONSIDERAT (%)
Temperatura	6 %
Brutícia i pols	4 %
Cablejat	1,5 %
Degradació	0,7 % / anual
Ombres	1 %
Angulars i espectrals	3 %
Inversor	3 %
Mismatch	0,5%
Tolerància dels panells	3 %
No seguiment del MPPT	0,1 %
Disponibilitat	3 %
<b>TOTAL</b>	<b>25,8 %</b>

Programes de càlcul com el PVGIS solen parlar d'unes pèrdues del 14% (sense tenir en compte les de temperatura, angulars i espectrals). En aquest cas restant aquestes pèrdues sumen un 16,8%. Es pot concloure que les pèrdues que els programes de càlcul estimen són força correctes tot i que és un percentatge difícil de concloure amb poques dades d'una instal·lació.

## 4 RENDIMENT DE LES INSTAL·LACIONS FOTOVOLTAIQUES

De forma genèrica, es coneix per rendiment la producció que genera una instal·lació respecte la que hauria de produir de forma òptima.

En el cas de l'energia fotovoltaica el rendiment es calcula d'una manera una mica diferent ja que d'alguna manera cal tenir en compte el rendiment que les plaques presenten segons fabricant i després el rendiment real que ofereixen al consumidor.

Com s'havia explicat, en condicions estàndards de laboratori, els fabricants proven les plaques fotovoltaïques amb una irradiància de 1000 W/m<sup>2</sup>, el que es coneix amb les inicials  $G_{CEM}$  (condicions estàndards de mesura).

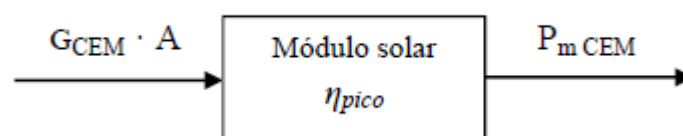
Quan el fabricant indica a la fitxa tècnica que els panells són d'una potència pic, per exemple 450 Wp, no està dient que aquell panell produirà sempre que tingui sol 450W. El que vol dir aquesta potència és que, en condicions de test estàndards de laboratori (temperatura de cèl·lula 25°C, irradiància 1000 W/m<sup>2</sup> i massa d'aire de 1,5), la placa produirà aquesta potència.

Aquestes condicions tan bones, però, no es donen pràcticament mai a la vida real, per tant el rendiment que els consumidors obtenen de les plaques gairebé mai serà el que marquen els fabricants.

Per a determinar el rendiment de les plaques primer de tot cal conèixer el rendiment que el fabricant els assigna. Aquest rendiment es sap a partir de l'equació 30 i es coneix amb a eficiència pic.

$$Eficiència\ pic\ (\%) = \frac{P_{pic}\ (W)}{G_{CEM}\left(\frac{W}{m^2}\right) \cdot Àrea(m^2)} \quad Eq. 30$$

Sabent que la placa hauria de produir tants watts, a 1000W/m<sup>2</sup> i sabent la superfície del panell doncs ja es pot saber quin percentatge de la radiació solar pot transformar la placa en qüestió.



**Figura 74. Eficiència pic dels panells. Font: [10]**

Aquesta eficiència pic del fabricant a dia d'avui sol rondar valors prop del 20%, el que significa que les plaques poden convertir en electricitat, en condicions estàndards, el 20% de la radiació solar.

Aquest fet es deu principalment a que la transformació de la radiació en energia elèctrica és un procés irreversible on es perd molta energia en forma de calor. És un aspecte on els grans fabricants de plaques mundials hi treballen constantment per obtenir panells cada vegada més eficients.

El procés de captació de la irradiació solar és un procés amb un grau d'irreversibilitat molt elevat. La llum solar està formada per feix de fotons provinents del sol dels quals els sistemes fotovoltaïcs actuals només permeten aprofitar-ne un petit percentatge.

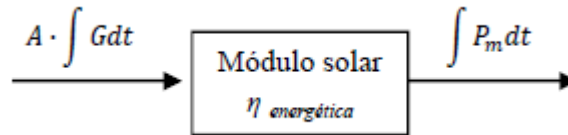
Les cèl·lules fotovoltaïques que formen en conjunt els panells són les encarregades de transformar tots aquests fotons en energia, però, aquest sistema presenta fonts d'irreversibilitat tal i com s'havia comentat més amunt. Dos d'aquests problemes són els següents:

- Falta d'acoblament entre el petit percentatge d'absorció de la cèl·lula respecte el gran ventall de fotons generats pel sol. Aquest fet provoca que una gran part dels fotons generats pel sol s'acabin transformant en calor, un efecte que precisament no interessa ja que, com es veurà més endavant, l'increment de temperatura dels panells fotovoltaïcs és culpable d'una significativa pèrdua de rendiment i eficiència.
- La reflectivitat de les cèl·lules fotovoltaïques augmenta la irreversibilitat de l'absorció solar. Una part dels fotons solars es reflecteixen al panell i es perden sense poder-los recuperar.

Tornant al càlcul del rendiment, l'eficiència pic no és la que l'usuari es trobarà en condicions a l'aire lliure, com s'ha explicat. Per tant una altra eficiència que cal determinar és la coneguda com energètica i que és la producció real que la instal·lació està generant a l'aire lliure respecte la potència que hauria de produir en cas que pogués convertir el 100% de la radiació solar en energia. Per tant cal conèixer la producció real, la superfície del panell i la radiació solar real en condicions exteriors. S'utilitza l'equació 31.

$$Eficiència energètica (\%) = \frac{Energia\ generada\ (kWh)}{Radiació\ \left(\frac{kWh}{m^2}\right) \cdot Àrea(m^2)} \quad Eq. 31$$

Aquesta eficiència serà la real que s'obté, la qual serà inferior al 15-20% que marca el fabricant. La radiació real es pot obtenir de diverses fonts, des de sondes fins a portals web. Per a l'elaboració de la part pràctica d'aquest treball, s'explica en diversos punts, s'extreuen dades de radiació tant del PVGIS, com de la Generalitat de Catalunya com de l'Atlas de radiació de Catalunya. El més ideal és disposar d'una sonda al lloc de la instal·lació per a poder saber, amb la màxima precisió de la ubicació, quina és realment la radiació.



**Figura 75. Eficiència energètica dels panells. Font: [10].**

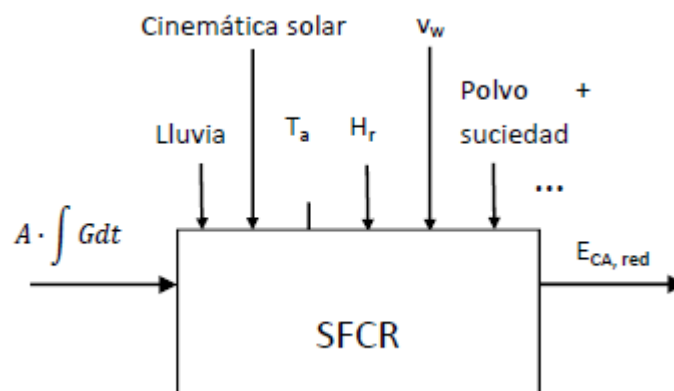
Finalment el rendiment global o performance ratio (PR), sabent l'eficiència segons fabricant i sabent l'eficiència real, es determina mitjançant una simple ràtio com es veu a l'equació 32.

$$PR (\%) = \frac{\text{Eficiència energètica} (\%)}{\text{Eficiència pic} (\%)} \quad \text{Eq. 32}$$

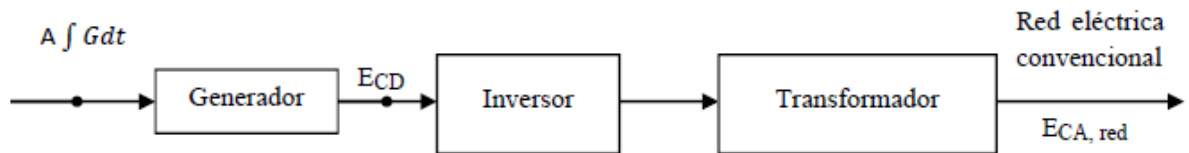
A dia d'avui com s'ha explicat l'eficiència pic ronda valors d'entre el 15% i el 20% i el rendiment global PR es mou normalment entre un 0,7 i 1, el que significa que l'eficiència de les instal·lacions es troba entre el 70% i el 100%.

De forma genèrica, a la nostra zona, els programes de càlcul solen indicar unes pèrdues totals d'un 20-25%, tenint en compte totes les pèrdues que s'han anat comentant. Aquest percentatge coincideix bastant amb el que s'ha vist en diversos articles científics. De fet el PVGIS indica de forma genèrica per totes les instal·lacions unes pèrdues del 14% per aspectes variis, unes pèrdues aproximades (a la nostra zona) del 7% per temperatura i d'un 3% per pèrdues angulars. Per a saber aquesta informació els programes en tenen prou amb saber la ubicació, inclinació i orientació. En el treball el que es busca és comprovar i els supòsits dels programes de càlcul estan ben fets.

Com s'ha anat explicant, les pèrdues tant poden provenir del clima i de les plaques com poden venir de l'inversor i la instal·lació elèctrica. Totes aquestes pèrdues són les que provoquen que l'eficiència energètica sigui inferior a l'eficiència pic.



**Figura 76. Pèrdues per raons de clima, ubicació, orientació i inclinació. Font: [10].**



**Figura 77. Pèrdues per raons elèctriques. Font: [10].**

Al final totes les pèrdues que s'han explicat es poden veure una mica resumides en aquestes dues imatges. Un cas d'estudi podria ser analitzar el rendiment de les plaques respecte la radiació solar, però en aquest estudi el nucli són les pèrdues que fan que les plaques no rendeixin com els fabricants diuen.

Les equacions presentades en aquest apartat són les que s'utilitzaran pels casos pràctics per a determinar el "performance ratio" (PR) de les instal·lacions.

Tot aquest apartat s'ha realitzat en base a un article d'una revista de ciència i tecnologia que explica de forma detallada el rendiment de les plaques i el seu càlcul [10].

## 5 ESTUDI D'INSTAL·LACIONS REALS

En aquesta segona part del treball, el que es farà és portar a la pràctica aspectes comentats i explicats durant la primera part. Bàsicament el que es durà a terme és l'estudi i anàlisi de diferents instal·lacions fotovoltaïques a les quals s'hi disposa d'accés a les dades de producció i a altres paràmetres. L'estudi que es realitzarà consta de diversos punts:

- Breu resum de cada una de les instal·lacions per a saber-ne les característiques (es guardarà l'anonimat de la seva ubicació exacte i del propietari).
- Es valorarà el seu rendiment anual, analitzant la seva producció mensual respecte la producció òptima que hauria de tenir segons les dades del fabricant, d'aquesta manera es podrà comparar si les pèrdues totals anuals es mouen al voltant dels percentatges que s'han pogut veure a la teoria.
- Dues de les instal·lacions presenten dades reals de la temperatura de les cèl·lules fotovoltaïques, en aquestes dues es prendran dades reals d'aquesta temperatura i es compararan amb tots els models de càlcul comentats anteriorment, es buscarà comprovar la validesa dels sistemes de càlcul per veure la seva fiabilitat tant en dies d'hivern com en dies d'estiu.
- Es determinarà quin dels models és el més fiable i aquest s'aplicarà a les altres dues instal·lacions de les quals no es disposa de les dades de temperatura reals.
- Es calcularà el percentatge de pèrdues per temperatura per un dia de cada mes de cada instal·lació. Es podrà veure quines pèrdues aproximades hi ha un dia estàndard de cada mes i es podrà comprovar si el percentatge deduït a la teoria és correcte o no.
- Algunes de les instal·lacions han sigut netejades per manteniment al llarg dels últims mesos, es compararà la producció uns dies abans de la neteja i uns dies després de la neteja per comprovar quin percentatge de pèrdues significava i veure si les dades bibliogràfiques sobre les pèrdues per brutícia són certes.

### 5.1 Instal·lacions fotovoltaïques

Per a avaluar les pèrdues de rendiment es disposa de les dades de producció de 4 instal·lacions fotovoltaïques: una a ubicada a una empresa al Pla de l'Estany, una ubicada a una empresa de Riudellots de la Selva, una ubicada a un hotel a Osona i una última ubicada a un hotel a La Selva.

Totes elles són instal·lacions destinades al sector industrial o al sector serveis, pel que són de dimensions més grans en comparació a instal·lacions domèstiques.



Tot seguit es presenten amb un breu resum per conèixer les característiques més importants i per a explicar de quines dades es disposa de cada una d'elles. Disposar de dades exactes farà que l'estudi sigui molt més precís però malauradament disposar de totes les dades meteorològiques, hora a hora, d'una instal·lació fotovoltaïca no sempre és senzill ja que cal disposar d'un bon sistema de monitorització i assegurar-te que les dades es reben de forma correcta.

Com a últim apunt abans de conèixer les instal·lacions cal remarcar que per temes de privadesa no s'adjunta cap fotografia ni es donen detalls exactes de la ubicació. Les empreses implicades han facilitat l'accés a les dades però s'ha preferit no sé més explícit amb la seva identificació.

### 5.1.1 Instal·lació fotovoltaïca al Pla de l'Estany– Instal·lació 1

Aquesta instal·lació fotovoltaïca es troba situada a una empresa ubicada al Pla de l'Estany i d'ara en endavant s'anomenarà instal·lació 1 de cares al seu estudi.

Consisteix en una instal·lació formada per un total de 40 panells de 250Wp formant una potència total de 10 kWp, connectats tots ells a un inversor de 10 kWn.

Els panells es col·loquen lleugerament aixecats respecte la teulada, com la coberta no té massa inclinació aquests s'aixequen lleugerament fins a una inclinació total de 25°. Els panells s'ubiquen tots ells mirant cap a la mateixa direcció, cap el sud-oest, que en aquest cas equival a una orientació azimut de -13° respecte el sud. En teulades industrials, de xapa grecada, és quelcom molt habitual aixecar les plaques ja que són teulades que moltes vegades no arriben als 10° d'inclinació, cosa que pot fer que a l'hivern el rendiment sigui massa baix.

**Taula 7. Dades de la instal·lació fotovoltaïca 1. Font: Elaboració pròpia.**

<b>DADES DE LA INSTAL·LACIÓ 1</b>	
<b>Ubicació</b>	Pla de l'Estany
<b>Potència pic</b>	10 kWp
<b>Potència nominal de l'inversor</b>	10 kWn
<b>Nombre de panells</b>	40
<b>Potència dels panells</b>	250 Wp
<b>Inclinació dels mòduls</b>	25°
<b>Orientació dels mòduls (azimut)</b>	-13° S

Aquesta instal·lació es va posar en funcionament el mes de maig de 2018, inclús abans que entrés en vigor el real decret que va facilitar els tràmits i abans també del gran “boom” que va patir el sector a partir del 2019 i 2020. Per aquest motiu els panells són de 250Wp, a dia d’avui ja no se’n posen amb una potència tan baixa.

Es disposa de la producció horària, diària i mensual des del dia que es va posar en funcionament, pel que es podrà analitzar el rendiment mensual sense cap problema i amb dades fiables.

La instal·lació però no disposa de cap sensor i per tant no es coneix amb exactitud cap dada meteorològica històrica, només es sap amb exactitud la producció fotovoltaica. Per a poder determinar les pèrdues per temperatura s’aplicarà el model més fiable utilitzant dades meteorològiques horàries extretes del PVGIS.

Per altra banda, però, els propietaris de la instal·lació van dur a terme una neteja a tots els panells el dia 11 de febrer d’aquest 2022, pel que es podrà analitzar la producció abans i després d’aquesta data i valorar si la neteja va implicar algun guany energètic o no.

### **5.1.2 Instal·lació fotovoltaica a Riudellots de la Selva – Instal·lació 2**

Aquesta instal·lació fotovoltaica es troba situada a una empresa al polígon de Riudellots de la Selva, d’ara en endavant serà coneguda com la instal·lació 2.

Consisteix en una instal·lació formada per un total de 376 panells formant una potència total de 118,2 kWp, connectats tots ells a 5 inversors ( 3 de 17 kWn i 2 de 25 kWn) formant un total de 101 kWn.

Es tracta d’una instal·lació elaborada en dues etapes, 264 panells són d’una potència de 225 Wp instal·lats el 2013 i els altres 112 són d’una potència de 525 Wp instal·lats el 2020. Abans de la segona instal·lació no es disposava de dades de monitorització, pel que tot l’estudi es realitzarà amb el total de panells. Com a detall aquest estiu del 2022 aquesta empresa ha instal·lat 200 kWn addicionals, aquests però es van posar en marxa a finals del mes d’agost i no han pogut entrar en l’estudi.

Els panells es troben col·locats tots ells a 34° d’inclinació en direcció sud per optimitzar-ne la producció fotovoltaica, la seva orientació és doncs de 0° respecte el sud. Com en la instal·lació 1 es tracta d’una coberta de xapa grecada inclinada molt pocs graus i per tant es van aixecar i a més es van orientar exactament cap al sud per maximitzar la producció.

**Taula 8. Dades de la instal·lació fotovoltaïca 2. Font: Elaboració pròpia.**

<b>DADES DE LA INSTAL·LACIÓ 2</b>	
<b>Ubicació</b>	Riudellots de la Selva
<b>Potència pic</b>	118,2 kWp
<b>Potència nominal de l'inversor</b>	101 kWn (5 Uds.)
<b>Nombre de panells</b>	376
<b>Potència dels panells 1</b>	225 Wp
<b>Potència dels panells 2</b>	525 Wp
<b>Inclinació dels mòduls</b>	34°
<b>Orientació dels mòduls (azimut)</b>	0° S (Sud)

Es disposa de la producció horària, diària i mensual dels últims mesos, on es pot comprovar el funcionament i la producció del total de 118,2 kWp.

Es disposa també de dades de la temperatura de les plaques fotovoltaïques pel que serà possible analitzar els models de càlcul de temperatura de les plaques i comparar-los amb la temperatura real. De la mateixa manera serà possible veure les pèrdues per temperatura reals i comparar-les.

Apart d'això s'hi va fer una neteja completa entre els dies 16 i 17 de juny d'aquest any 2022, pel que serà possible comprovar si el rendiment va variar amb la neteja i veure els efectes de la pols.

En resum aquesta instal·lació és la més completa de totes a nivell d'informació ja que es disposa d'absolutament tots els paràmetres necessaris per a dur a terme l'estudi de forma precisa.

### **5.1.3 Instal·lació fotovoltaïca a Osona– Instal·lació 3**

Aquesta instal·lació fotovoltaïca es troba situada en un hotel a la comarca d'Osona, a partir d'ara s'anomenarà instal·lació 3.

Consisteix en una instal·lació formada per un total de 84 panells de 290Wp formant una potència total de 24,36 kWp, connectats tots ells a un inversor de 20 kWn.

Els panells es col·loquen de forma inclinada amb una estructura de 45° i estan tots orientats 40° respecte el sud, pel que es troben direcció sud est. En aquest cas l'estructura no segueix

la inclinació de la coberta sinó que és una instal·lació feta sobre planer sobre una estructura inclinada exactament els 45° que s'han comentat.

**Taula 9. Dades de la instal·lació fotovoltaïca 3. Font: Elaboració pròpia.**

<b>DADES DE LA INSTAL·LACIÓ 3</b>	
<b>Ubicació</b>	Osona
<b>Potència pic</b>	24,36 kWp
<b>Potència nominal de l'inversor</b>	20 kWn
<b>Nombre de panells</b>	40
<b>Potència dels panells</b>	290Wp
<b>Inclinació dels mòduls</b>	45°
<b>Orientació dels mòduls (azimut)</b>	40° S

Aquesta instal·lació es va posar en funcionament l'any 2019 i es disposen de diverses dades des de la posta en funcionament, ja que disposa d'algunes sondes també.

Les sondes de les quals disposa aquesta instal·lació són per a detectar la temperatura ambient, la temperatura dels panells, la irradiància i la velocitat del vent. El que es detecta analitzant les dades és que durant un llarg període de temps alguna de les sondes no va estar funcionant bé o mesurant correctament.

Per als 12 últims mesos es disposa de totes les dades de producció, temperatura ambient i irradiància. En canvi, però, de la temperatura de les plaques només es disposa d'informació dels mesos de maig, juny, juliol i agost de 2022. Això significa que per a comprovar els models de càlcul només es podrà només es podran tenir en compte aquests 4 mesos.

La sonda de vent no es troba en funcionament a dia d'avui i no es disposen d'aquestes dades amb prou fiabilitat, pel que arribats al punt de necessitar-les s'extreuran directament del PVGIS (només les dades de vent).

Aquesta instal·lació és la única de les 4 que, en un període raonable de temps, no s'ha netejat. Això significa que no es podrà avaluar l'impacte de la neteja i de la brutícia. En defensa de la instal·lació, però, cal tenir en compte que disposa d'una inclinació pronunciada (45°) i per tant l'impacte de la pols, segons s'ha pogut veure en alguns articles científics, és molt baix tenint en compte, a més a més, les pluges.

#### 5.1.4 Instal·lació fotovoltaica a La Selva – Instal·lació 4

Aquesta instal·lació fotovoltaica es troba situada a un hotel de la comarca de La Selva, d'ara endavant s'anomenarà instal·lació 4.

Consisteix en una instal·lació formada per un total de 252 panells de 290Wp formant una potència total de 73,08 kWp, connectats tots ells a tres inversors de 20 kWn cada un, formant un total de 60 kWn.

Els panells es col·loquen de forma coplanar aprofitant el pendent de la coberta la qual té una inclinació de 6°. Es troben tots ells ubicats a una orientació azimuth de 38°, el que significa que miren direcció sud-est. En aquest cas es tracta d'una instal·lació amb una inclinació molt i molt baixa, fet que provocarà un rendiment menor els mesos d'hivern. A més a més, el fet de col·locar els panells de forma coplanar a la teulada, fa que l'espai de ventilació a la part posterior sigui tant petit que segurament la temperatura dels panells tendeixi a ser superior i les pèrdues màximes per temperatura siguin encara majors. Es veurà a la part de resultats.

**Taula 10. Dades de la instal·lació fotovoltaica 4. Font: Elaboració pròpia.**

<b>DADES DE LA INSTAL·LACIÓ 4</b>	
<b>Ubicació</b>	La Selva
<b>Potència pic</b>	73,08 kWp
<b>Potència nominal de l'inversor</b>	60 kWn (3 Uds.)
<b>Nombre de panells</b>	252
<b>Potència dels panells</b>	290Wp
<b>Inclinació dels mòduls</b>	6°
<b>Orientació dels mòduls (azimut)</b>	38° S

Aquesta instal·lació es va posar en funcionament a finals de 2018, però només es disposa de les dades de producció dels últims mesos. De totes les instal·lacions és la que es disposa de menys dades ja que no disposa de sondes i l'accés a les dades no ha sigut tant lliure com les altres tres anteriors.

Per aquesta instal·lació la situació és pràcticament igual a la primera de totes: no es disposa de cap sonda i per tant no es disposa de cap dada fiable de l'entorn meteorològic. Com es disposa de la producció si que és possible veure'n el rendiment però en canvi per a determinar les pèrdues per temperatura caldrà calcular-les mitjançant el model de càlcul més precís utilitzant la informació meteorològica que el PVGIS proporciona per un dia de cada mes.

Per altra banda, i donada la poca inclinació que tenen els panells, es tracta d'una instal·lació que es neteja de forma freqüent per evitar precisament l'acumulació de pols. Durant els últims mesos la instal·lació es va netejar els dies 11 i 13 de febrer de 2022 i es va tornar a netejar el dijous 1 de setembre de 2022. Aquesta part s'ha afegit a última a hora arran d'una neteja amb la qual no es comptava però que permet veure els resultats durant els 2-3 dies previs a l'entrega d'aquesta memòria.

## 5.2 Resultats

### 5.2.1 Anàlisi del rendiment anual

Per a determinar el rendiment de la instal·lació s'utilitza la metodologia comentada en l'apartat 4 d'aquesta memòria i explicada a l'article [56].

A forma de resum es determina l'eficiència pic de la instal·lació segons la superfície dels panells i les dades proporcionades pels fabricants. Aquesta eficiència com s'ha explicat sol ser de l'ordre del 15-20% actualment, tot i que és cert que com alguna de les instal·lacions està feta des fa uns anys es veuran rendiments pic inferiors.

Posteriorment s'analitza la producció real de la instal·lació i es calcula l'eficiència energètica de la instal·lació en base a la producció que ha ofert durant l'últim any. És important que per a cada instal·lació s'han tingut en compte els valors d'energia produïda dels 12 últims mesos disponibles, això pot ajudar a veure en instal·lacions més antigues possibles pèrdues per degradació. Com s'havia explicat són unes pèrdues aproximadament del 0,4% anual i per tant una instal·lació que porta gaires anys feta portarà implícites unes pèrdues per degradació superiors.

Finalment per a determinar el rendiment global o PR només fa falta calcular la ràtio entre l'eficiència energètica i l'eficiència pic.

Per a elaborar aquest rendiment s'ha pres per bona la irradiància que planteja l'atles de radiació solar de Catalunya [55]. L'atles proporciona, en base les estacions meteorològiques de Catalunya, la radiació mitja mensual a una ubicació, a una orientació i a una inclinació determinada. Per tant es prendran les dades de l'atles per cada instal·lació per a saber els kWh/m<sup>2</sup> que la instal·lació hauria de produir en condicions òptimes. Per tant s'ha utilitzat de forma aproximada la radiació que l'atles ofereix a Girona per a unes condicions d'inclinació i orientació concretes. Cal destacar doncs que aquesta radiació és un promig a les proximitats de Girona i per tant no s'està treballant amb els valors exactes que rep cada instal·lació.

Les instal·lacions amb sondes de radiació (la 2 i la 3) ofereixen valors d'irradiància horaris però no ofereixen els valors de radiació, per aquest motiu els valors presos per les 4 instal·lacions són aproximacions.

Així doncs, es determina el rendiment mensual a partir de conèixer la radiació mitja de cada mes i de saber la producció total de cada mes.

Tot seguit es presenten els resultats per a cada una de les instal·lacions.

**Taula 11. Resum del rendiment PR durant l'últim any per a cada instal·lació. Font: Elaboració pròpia.**

MES / PR (%)	Instal·lació 1	Instal·lació 2	Instal·lació 3	Instal·lació 4
<b>Gener</b>	69,72%	93,14%	84,47%	91,12%
<b>Febrer</b>	62,41%	86,66%	76,54%	77,14%
<b>Març</b>	94,21%	46,36%	74,69%	88,06%
<b>Abril</b>	77,73%	63,32%	74,46%	71,29%
<b>Maig</b>	72,22%	78,10%	73,22%	76,02%
<b>Juny</b>	84,34%	84,22%	78,78%	77,46%
<b>Juliol</b>	74,16%	78,61%	99,31%	81,97%
<b>Agost</b>	69,44%	74,88%	98,57%	77,43%
<b>Setembre</b>	69,43%	68,20%	94,68%	80,29%
<b>Octubre</b>	81,11%	67,29%	98,17%	91,47%
<b>Novembre</b>	65,95%	59,08%	95,81%	76,82%
<b>Desembre</b>	73,82%	79,45%	90,85%	97,51%
<b>PROMIG</b>	<b>74,55%</b>	<b>73,28%</b>	<b>86,63%</b>	<b>82,22%</b>

Havent realitzat un estudi teòric a partir de diversos articles científics s'havia determinat que les pèrdues eren al voltant del 25% respecte la producció que haurien de tenir segons el fabricant.

A primera vista es pot comprovar com els valors de les instal·lacions es mouen dins aquests rangs, la que a presenta un rendiment menor és la instal·lació 2, amb un 73,28% i la que presenta un major rendiment és la instal·lació 3, amb un 86,63%.

El rendiment mig de les 4 instal·lacions és del 79,17%. La diferència entre la realitat i les conclusions teòriques és molt petit, una diferència del 4% aproximadament, pel que es pot concloure que les instal·lacions presenten un rendiment correcte.

Com a destacar es pot veure com hi ha alguns mesos on el rendiment de les instal·lacions ronda el 100% sense arribar a superar-lo mai. Això significa que realment hi ha alguns mesos que les pèrdues són molt baixes o bé que la radiació considerada pel càlcul no és exacte. Com s'ha comentat la radiació s'ha agafat de l'atles de Catalunya a Girona i a una orientació i inclinació que en algun cas no s'ajusta a la realitat, també podria ser que aquest fet provoqui alguna desviació.

També es pot destacar el mes de març de la instal·lació 2, on presenta un rendiment del 46%, el qual és molt i molt baix. Això pot ser degut o a un temps amb una radiació molt baixa durant molts dies (la radiació real va ser molt més baixa que la mitjana històrica de la ubicació) o bé que la instal·lació va tenir algun desperfecte o algun factor extern que es desconeix.

Disposar de les dades de producció i radiació in-situ de les instal·lacions és molt important per a poder precisament controlar i estudiar aquests valors mensuals. Pot ser un gran indicador per detectar anomalies o brutícies.

### **5.2.2 Comparativa dels models de càlcul**

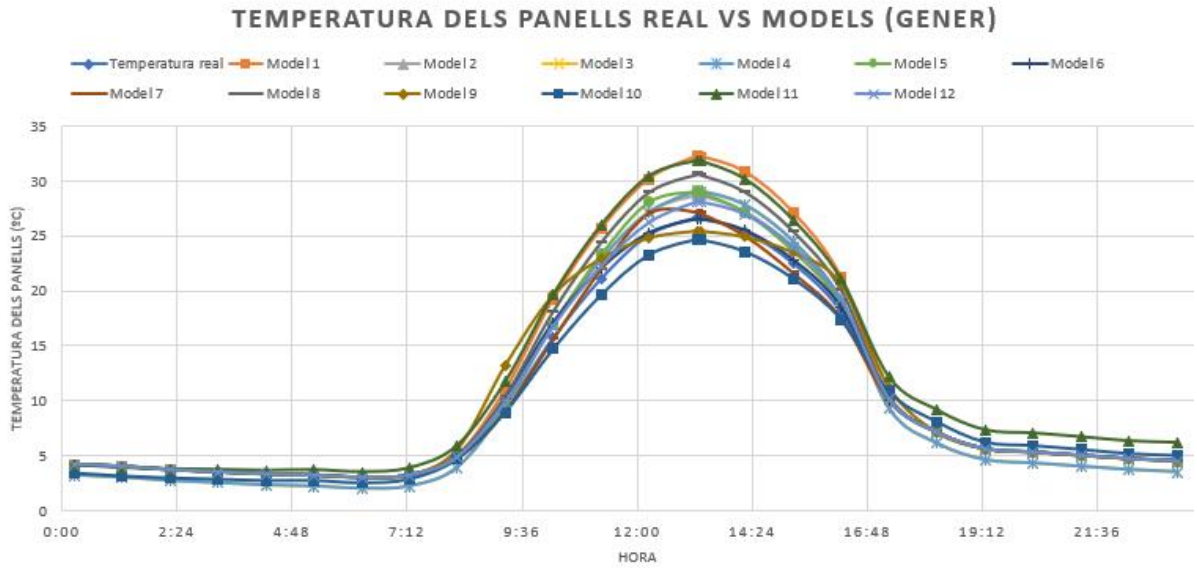
Un segon estudi que s'ha realitzat és el de determinar per un costat si els models de càlcul de la temperatura del panell determinats per diversos articles científics són vàlids i per altra banda analitzar quin d'ells resulta més fiable o adequat per les instal·lacions que s'estan estudiant. Resulta un estudi molt interessant perquè permet precisament posar en comú la informació que diferents autors comparteixen i al mateix temps comparar-los tots entre ells per treure'n una conclusió.

Per a poder fer aquesta comprovació, s'ha utilitzat les dades de la instal·lació 2 i de la instal·lació 3. En el cas de la 2 es disposa de la temperatura dels panells exacte de cada hora de cada dia de tot l'últim any. En el cas de la instal·lació 3 aquesta informació es disposa dels mesos de maig, juny, juliol i agost de 2022 (els últims 4 mesos).

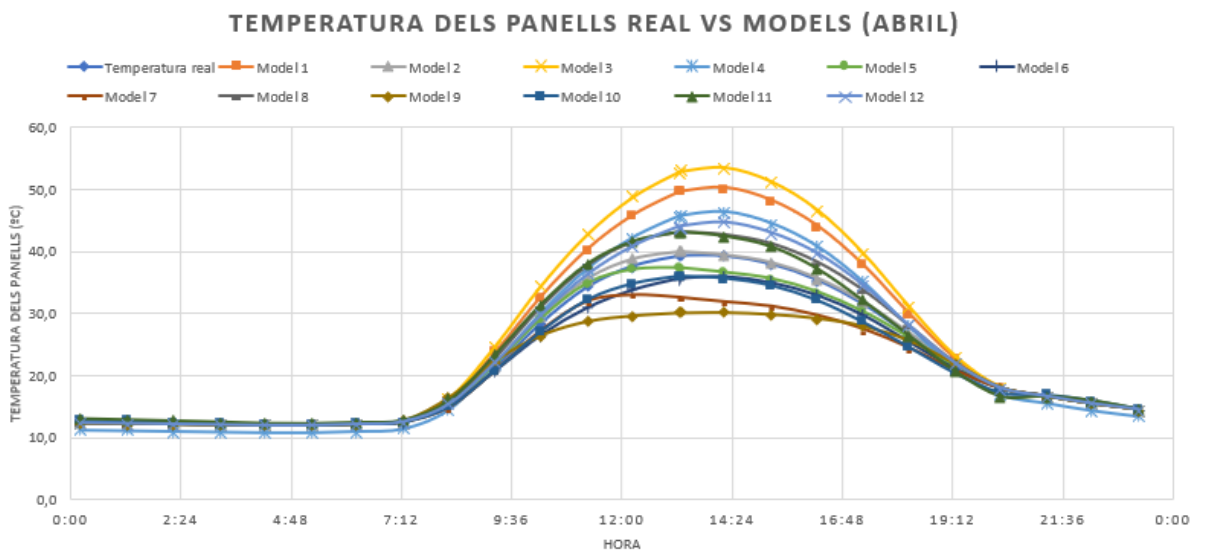
Tot seguit es presenten uns gràfics amb la comparativa entre la temperatura real i les temperatures deduïdes pels models. Es pot veure un gràfic per a un dia de cada estació (hivern, primavera, estiu i tardor) per la instal·lació 2 i pels mesos de maig i agost de la instal·lació 3.

A l'apartat dels annexos s'hi poden trobar els resultats exactes per cada hora del dia per un dia de cada mes de cada instal·lació i, a partir d'aquí, l'error respecte la temperatura de cada dia per cada model. En aquest apartat es fan 5 cèntims dels resultats finals obtinguts.

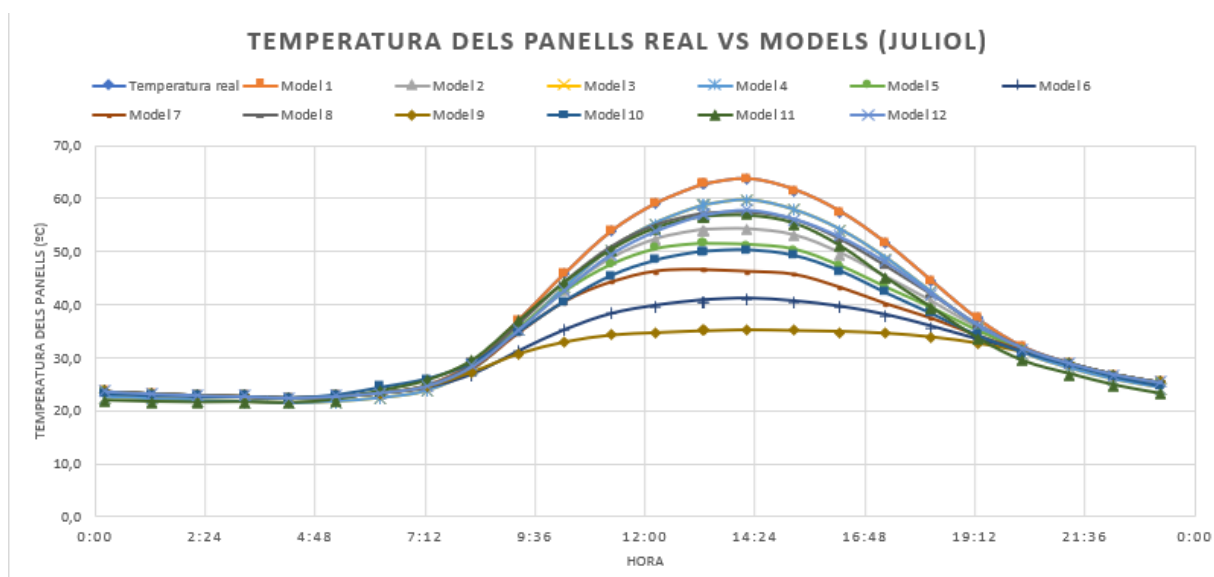




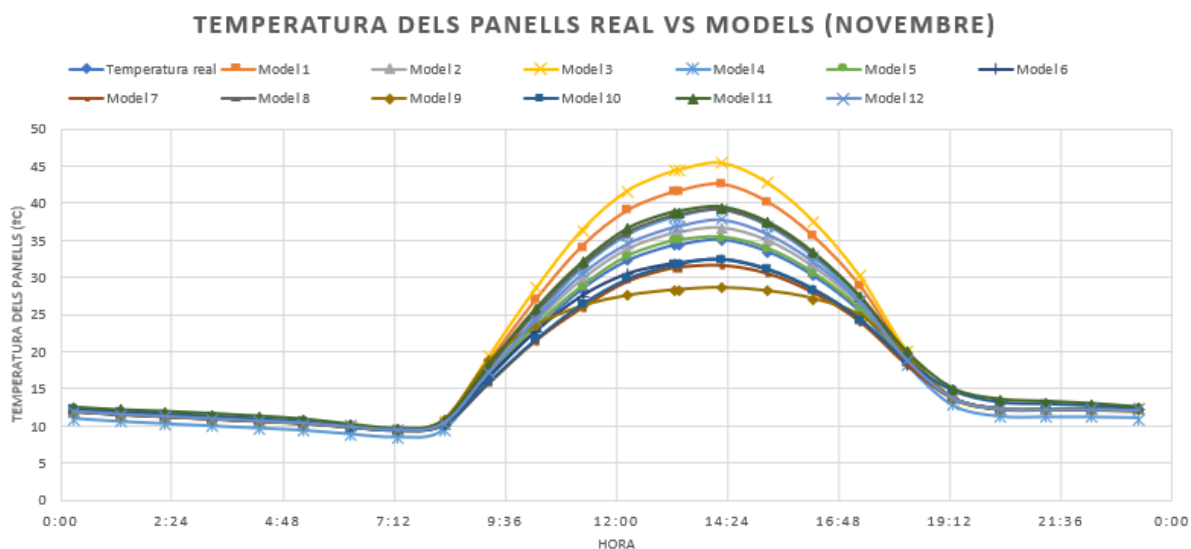
**Gràfic 1. Temperatura real vs models de càlcul el gener de la instal·lació 21. Font: Elaboració pròpia.**



**Gràfic 2. Temperatura real vs models de càlcul l'abril de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

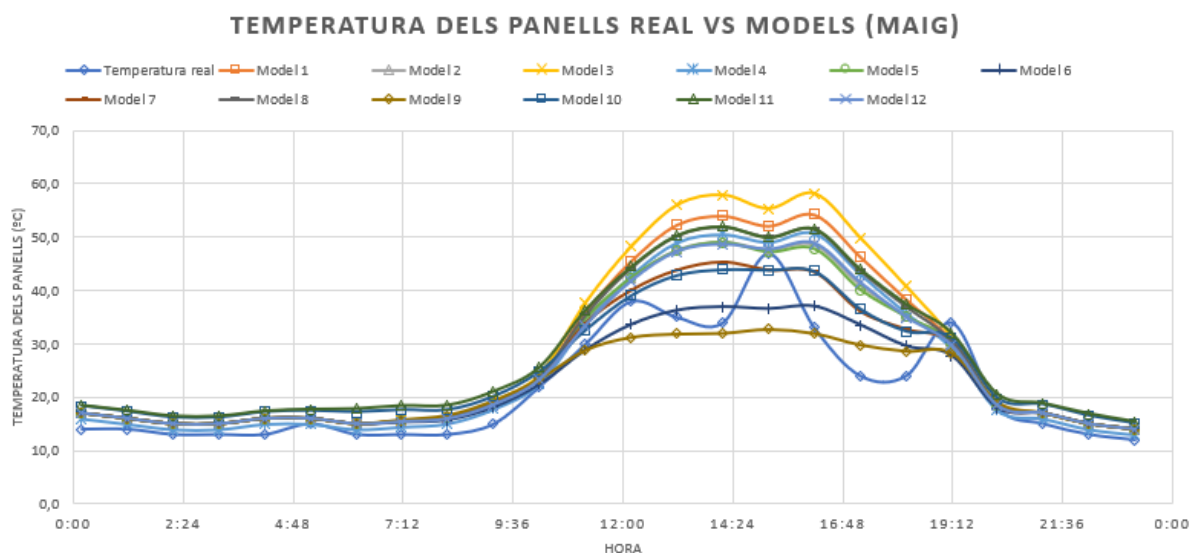


**Gràfic 3. Temperatura real vs models de càlcul el juliol de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

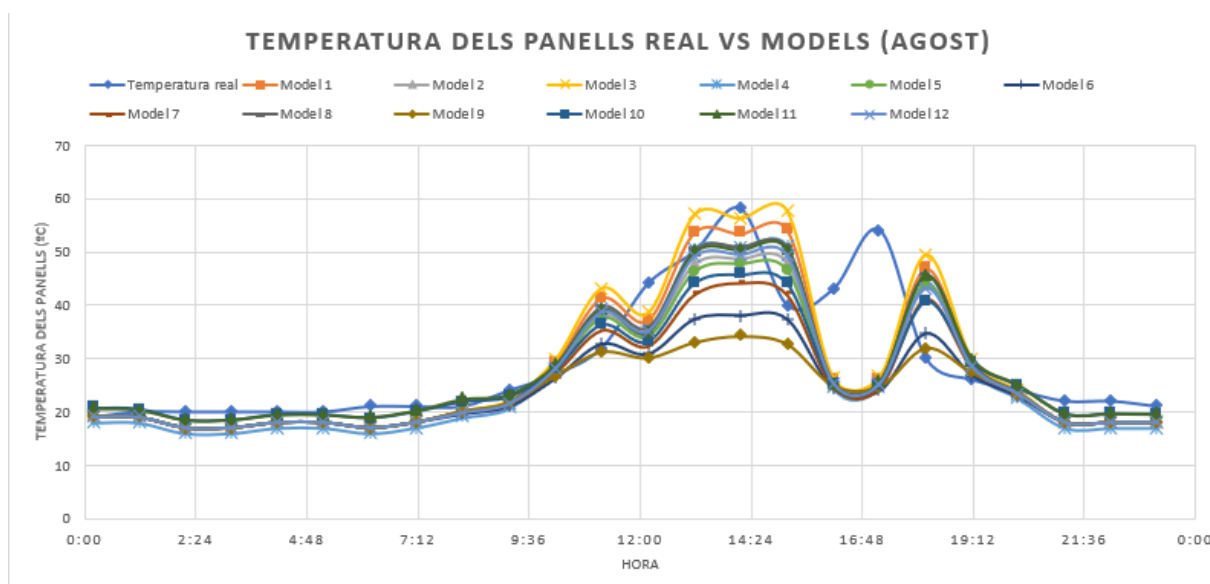


**Gràfic 4. Temperatura real vs models de càlcul el novembre de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

Per la instal·lació 2 com s'ha vist s'han pres dies on no hi hagut daltabaixos en els valors de la temperatura dels panells. A simple vista, i sense entrar en detall, es comprova que tots els models de càlcul segueixen la mateixa tendència que el valor real de temperatura, pel que és senzill dir que no hi ha cap model que sigui errat del tot. Entrant en detall és on es veuen més les diferències. Tot i que es veuen varis models que segueixen amb molta precisió la temperatura real si que gairebé sense entrar en números es pot descartar directament els models 1, 5, 9 i 10 ja que tots ells són els que surten més de la trajectòria de la resta. Per aquesta instal·lació es considera però que els models segueixen bé i es determinarà numèricament quin és el més precís.



**Gràfic 5. Temperatura real vs models de càlcul el maig de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.**



**Gràfic 6. Temperatura real vs models de càlcul l'agost de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.**

Per a la instal·lació 3 es veu ràpidament com la fiabilitat disminueix i com els models presenten més discrepàncies i diferències respecte l'original. En primer lloc cal tenir en compte que aquesta instal·lació, per aquests dos mesos, no presenta un perfil constant, doncs pateix certes variacions degut a canvis bruscos a la irradiància o a la temperatura ambient al llarg del cotxe.

En aquests casos on la temperatura real no és constant es demostra que els models ja no són tan exactes com en el cas anterior amb un perfil més constant. Tot i així tot ells segueixen aproximadament la trajectòria variant de la temperatura real, fet que permet concloure que els

models realment són fiables i poden donar una idea sòlida de a quina temperatura es troben els panells coneixent les dades meteorològiques.

Tot seguit es mostren els marges d'error dels diferents models per a cada instal·lació.

**Taula 12. Marge d'error respecte la temperatura real dels panells per cada model. Font: Elaboració pròpia.**

<b>Model / Error (%)</b>	<b>Instal·lació 2</b>	<b>Instal·lació 3</b>
<b>Model 1</b>	7 %	17 %
<b>Model 2</b>	1 %	14 %
<b>Model 3</b>	10 %	19 %
<b>Model 4</b>	9 %	13 %
<b>Model 5</b>	2 %	14 %
<b>Model 6</b>	4 %	13 %
<b>Model 7</b>	3 %	13 %
<b>Model 8</b>	4 %	16 %
<b>Model 9</b>	7 %	15 %
<b>Model 10</b>	6 %	16 %
<b>Model 11</b>	10 %	19 %
<b>Model 12</b>	3 %	14 %

Com s'havia comentat la instal·lació 2 mostra nivells d'errors molts més petits el que significa que els models de càlcul determinen amb molta exactitud la temperatura dels panells. La instal·lació 3 en canvi presenta unes diferències un xic més grans tot i que alguns models no queden del tot lluny. Apart de presentar un perfil de temperatura variable també cal tenir en compte que per aquesta instal·lació no es disposava de les dades de velocitat del vent exactes, pel que els models que tenen en compte el vent pot ser que no hagin sigut tant fiables.

Mirant els marges d'errors es pot veure com hi ha varis models que es determinen amb una precisió bastant semblant la temperatura. De fet es pot veure com el model 2 (Sandia) presenta un marge d'error mitjà de només un 1% respecte els valors reals de la temperatura en la instal·lació 2.

Realitzant la mitjana entre les dues instal·lacions a més es pot veure com els models 2, 5, 6, 7 i 12 presenten uns marges d'errors pràcticament idèntics i per tant tots ells poden donar una gran fiabilitat per a determinar la temperatura.

Si es mira al detall, però, el model que mostra una major precisió per a determinar la temperatura és el model 2, anomenat de forma oficial com el mètode "Sandia" (pel nom del laboratori on es va desenvolupar).

Aquest model mostra un marge d'error de només un 1% per tot l'any per la instal·lació 2, fet que demostra que tenint en compte la temperatura ambient, la irradiància, la velocitat del vent i les constants a i b explicades i determinades a la part teòrica doncs es pot saber la temperatura de la placa de forma molt precisa.

Per la instal·lació 3 hi ha models que s'hi ajusten una mica més que el 2 (per un 1% de diferència) però està entre els 6 models que mostren un error del 13-14% pel que es pren com a model més fiable.

Aquest fet permet veure com les constants a i b extretes de la bibliografia s'ajusten a la perfecció a la realitat i als panells que s'instal·len a dia d'avui. A més a més es pot concloure que el model més precís és un que inclou la velocitat del vent als seus càlculs i per tant es pot confirmar que aquesta té cert impacte (més alt o més baix) però hi té impacte.

### **5.2.3 Anàlisi de les pèrdues per temperatura**

Un tercer anàlisi que es realitza de les instal·lacions és la determinació de les pèrdues d'eficiència per temperatura degut a l'escalfor que poden arribar a agafar les plaques.

Aplicant el model 2, o "Sandia", es pot obtenir amb molta fiabilitat la temperatura dels panells al llarg d'un dia sencer en funció de la temperatura ambient, la irradiància i la velocitat del vent.

S'aplica aquest model per a un dia de cada mes de l'any a les instal·lacions 1 i 4. A més a més s'aplica també pels mesos de la instal·lació 3 dels quals no tenim informació. En aquest cas, i veient els resultats de l'apartat anterior, cal tenir en compte que segurament s'estaran obtenint uns resultats amb una desviació mitjana del 14% tot i que com no es disposa dels valors reals (i veient la precisió en el cas de la instal·lació 2) es dona per bo.

Coneixent la temperatura dels panells, i aplicant l'equació 2, es determina doncs el percentatge de pèrdues que provoca la temperatura al llarg de cada dia estudiat.

Per aquest anàlisi és molt important entendre i tenir en compte les hores del dia en les quals cal interpretar els resultats. Durant les hores nocturnes, les instal·lacions fotovoltaïques no funcionen i per tant no tenen cap mena de pèrdua (ni de guany). En aquestes hores doncs

no es calcula ni es té en compte la temperatura dels panells, ja que aquesta no implicarà cap efecte per la instal·lació.

La majoria de models venen donats com a una funció de la temperatura ambient més una constant per la irradiància, pel que per molts models durant les hores nocturnes les plaques fotovoltaïques tindran exactament la mateixa temperatura que la temperatura ambient.

Si es calculessin les pèrdues per temperatura durant aquestes hores on les plaques poden tenir temperatures d'entre 5°C i 10°C amb una irradiació de 0 W/m<sup>2</sup> sortirien unes guanyes bastant elevats que no serien veritat, ja que realment les plaques no estan funcionant. El mateix passa a les primeres i últimes hores del dia: les plaques produeixen molt poca potència però estan fredes perquè ni la temperatura ambient ni la irradiància són altes, de fet estan en valors molt baixos. Totes aquestes hores no es tenen en compte per aquest anàlisi ja que donen una falsa idea del que implica la temperatura als panells: a primera hora del matí els panells produeixen tan poc amb una irradiància tan baixa que no es pot considerar, per exemple, que estiguin tenint un guany del 5-10% per treballar a temperatura baixa.

Resumint: per avaluar aquestes pèrdues es tenen en compte les hores diürnes centrals de cada dia, és en aquests marges on es pot avaluar correctament l'efecte de la temperatura sobre les plaques.

**Taula 13. Pèrdues per temperatura. Font: Elaboració pròpia.**

MES/ PÈRDUES (%)	INSTAL·LACIÓ 1		INSTAL·LACIÓ 2		INSTAL·LACIÓ 3		INSTAL·LACIÓ 4	
	MIG	MÀX	MIG	MAX	MIG	MAX	MIG	MAX
<b>GENER</b>	-0,23 %	-3,56 %	1,27 %	-0,65 %	0,68 %	-2,56 %	-0,44 %	-2,87 %
<b>FEBRER</b>	-1,60 %	-5,04 %	0,33 %	-1,66 %	-1,11 %	-6,36 %	-2,33 %	-6,14 %
<b>MARÇ</b>	-1,35 %	-5,09 %	-1,34 %	-3,64 %	-1,65 %	-4,97 %	-1,82 %	-6,05 %
<b>ABRIL</b>	-2,34 %	-6,60 %	-2,33 %	-5,15 %	-1,31 %	-4,61 %	-3,40 %	-7,22 %
<b>MAIG</b>	-3,08 %	-8,30 %	-3,77 %	-6,55%	-2,43 %	-7,92 %	-3,68 %	-9,59 %
<b>JUNY</b>	-3,96%	-7,53 %	-4,90 %	-9,43 %	-5,56 %	-11,16 %	-4,44 %	-8,76 %
<b>JULIOL</b>	-6,75 %	-11,02 %	-6,96 %	-10,30 %	-6,51 %	-11,52 %	-7 %	-8,73 %
<b>AGOST</b>	-7,54 %	-11,03 %	-5,06 %	-8,42 %	-4,84 %	-11,88 %	-8,42 %	-11,09 %
<b>SETEMBRE</b>	-7,35 %	-11,03 %	-4,67 %	-7,42 %	-4,48 %	-10,48 %	-7,21 %	-11,11 %
<b>OCTUBER</b>	-1,90 %	-6,76 %	-1,82 %	-3,82 %	-1,12 %	-6,38 %	-2,57 %	-6,76 %
<b>NOVEMBRE</b>	-0,59 %	-4,78 %	-1,35 %	-3,71 %	-1,25 %	-5,41 %	-0,99 %	-4,12 %
<b>DESEMBRE</b>	0,12 %	-2,43 %	0,32 %	-0,86 %	0,02 %	-3,18 %	-0,30 %	-3,94 %
<b>TOTAL</b>	<b>-3%</b>	<b>-6,93 %</b>	<b>-2,52 %</b>	<b>-5,13 %</b>	<b>-2,46%</b>	<b>-7,21 %</b>	<b>-3,55 %</b>	<b>-7,2 %</b>

Com es pot veure, els resultats mitjos mostren valors en tendència per sota del que s'havia vist a la teoria. De mitja durant les hores diürnes les instal·lacions presenten unes pèrdues d'entre el 2,5% i el 3,5% aproximadament al llarg d'un any sencer.

Per a poder valorar la magnitud de les pèrdues un dia de cada mes de l'any es presenten també les pèrdues màximes que les instal·lacions presenten en la part central del dia. Aquest valor permet veure el que s'havia explicat a la teoria i mostra exactament quina pèrdua aproximada es té cada dia.

En aquest cas els valors encaixen amb els estudis avaluats anteriorment: de mitjana cada dia de l'any s'arriba a unes pèrdues d'entre el 5% i el 7,2%. Com es pot veure hi ha instal·lacions que a l'estiu arriben a pèrdues del 11-12% i a l'hivern no baixen de 2-3%. Això significa que cada dia de l'any, durant les hores de més llum, existeixen pèrdues per temperatura que com a mínim seran del 2-3%.

Un altre detall que es veu és que hi ha algun dia d'algun mes d'hivern on surten valors lleugerament positius. Aquest fet es dona a que hi ha dies que, ja sigui per temperatura ambient

baixa o per irradiància baixa, els panells no arriben a escalfar-se per sobre dels 25°C i aquells dies, en termes de temperatura, els panells treballaran un xic per sobre del que és habitual. Aquests dies però van acompanyats de baixes irradiàncies i per tant de produccions molt baixes.

#### **5.2.4 Anàlisi de les pèrdues per brutícia**

Per últim, 3 de les 4 instal·lacions estudiades han sigut netejades almenys una vegada durant els últims mesos.

Tot seguit s'avalua la producció durant uns dies abans i després de les neteges per avaluar si s'han assolit guanys de producció o si aquesta no ha augmentat. Aquesta producció es compara amb la radiació mitja diària extreta del servei meteorològic de la Generalitat de Catalunya [23]. És important comparar-ho amb la radiació ja que moltes vegades la producció augmenta justament pel canvi de radiació, i podria fer creure que les neteges provoquen un efecte que no és real.

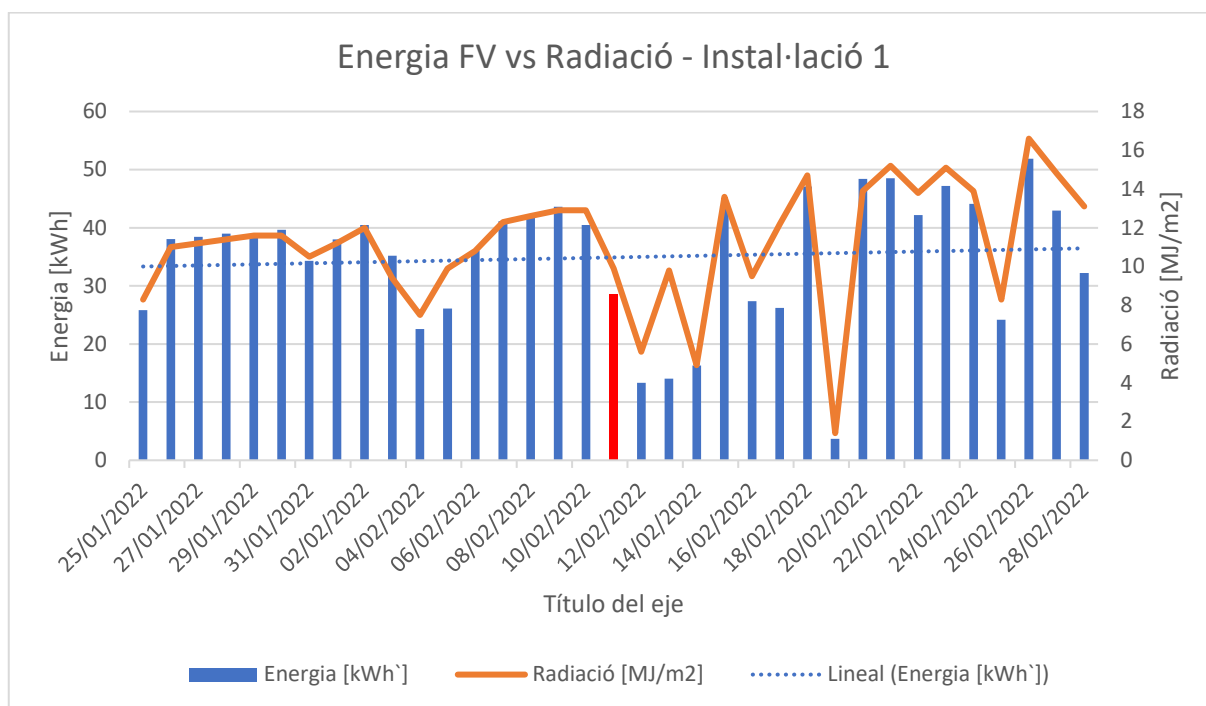
Aquest estudi no resulta tant precís com l'avaluació de les pèrdues per temperatura ja que la brutícia depèn molt de la ubicació i la seva anàlisi també depèn molt de la meteorologia i de les condicions. Cal tenir en compte que ja d'entrada, a mesura que avancen els mesos d'hivern cap a estiu, la instal·lació ja de per si sola produirà cada vegada més (cada vegada hi haurà més radiació i més hores de sol), per tant un augment de l'eficàcia després d'una neteja els mesos de primavera pot no ser degut 100% a la neteja en qüestió.

Un segon punt a tenir en compte, i que s'ha donat en alguna de les situacions, és una meteorologia adversa per a poder veure clarament el rendiment. Una possibilitat ben real és que els dies abans de la neteja hi hagi molta radiació solar i que els panells, tot i que bruts, produeixen una quantitat d'energia molt acceptable i que llavors, els dies després de la neteja, faci núvol durant varis dies i llavors l'energia generada sigui menor als dies previs.

Aquests dos aspectes fan que, avaluar exactament i de forma empírica aquestes pèrdues, sigui complicat. Per aquest estudi el que s'ha buscat és prendre les dades d'uns dies abans i uns dies després i intentar intuir una tendència en la producció fotovoltaica per comprovar si aquesta tendeix a augmentar o no.

Tot seguit es presenta la informació de les neteges de forma gràfica per a poder-la veure amb claredat.





**Gràfic 7. Producció vs radiació abans i després de la neteja a la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.**

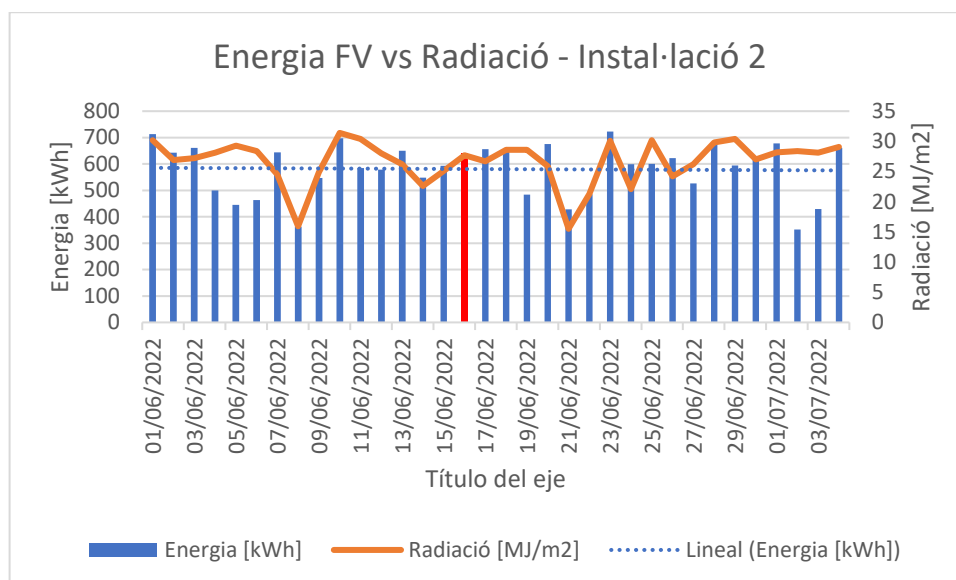
Per la instal·lació 1, netejada el dia 11 de febrer com s'ha marcat, d'entrada es pot veure com els primers dies després de la neteja sobretot van ser dies de núvol i molt baixa producció i radiació, fet que pot fer pensar que la neteja va empitjorar la instal·lació i tot.

Si es miren bé les dades però, a nivell de tendència, es pot veure com aquesta tendeix a l'alça. Tot i que les setmanes següents a la neteja es veuen dies molt fluixos es pot observar com la producció en dies "normals" tendeix a ser superior una vegada es va efectuar la neteja. Es pot veure com dels 14 dies en total (del gràfic) que es superen els 40 kWh de producció 9 pertanyen a després de la neteja, el que indica que en conjunt després de la neteja la instal·lació va produir més (deixant apart els dies dolents).

Abans de la neteja la producció màxima era d'uns 42 kWh mentre que després de la neteja, inclús la primera setmana després de la neteja, la producció màxima ja havia sigut de 47 kWh aproximadament. En aquest sentit s'estaria parlant d'un augment del 10% aproximadament en aquest sentit (si es mira la producció 2 dies abans comparada amb la producció 7 dies després).

Cal fixar-se en la radiació però, on es veu com la producció augmenta però també puja la radiació de forma proporcional. Per tant en aquest cas tot i que l'energia pic produïda és superior també ho és la radiació i per tant és de mal analitzar. La realitat d'aquests números és que la neteja no va generar un efecte molt significatiu a la producció més enllà de ser necessària pel correcte manteniment de les plaques i per assegurar-se que no hi ha perill de punts calents.

Una conclusió que es pot treure és que la inclinació dels panells, a  $25^\circ$ , pot estar relacionada amb aquest efecte de la neteja. Com s'havia vist en la bibliografia a més inclinació menys acumulació de pols i per tant les pèrdues derivades són menors. També cal tenir en compte que es van netejar el febrer a mig hivern. Durant aquests mesos és més freqüent que hi hagi pluges ocasionals i per tant podria ser que l'estat dels panells no fos molt defectuós en el moment de realitzar la neteja.



**Gràfic 8. Producció vs radiació abans i després de la neteja a la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

Per a avaluar la instal·lació 2 s'han pres dades del mes on es va fer la neteja i alguns dies per poder veure la diferència. En aquest cas es pot observar com la línia de tendència també és a l'alça però és més complicat d'apreciar ja que no es veuen grans diferències.

Si es mira dia per dia no s'observen grans diferències, inclús s'observa que les produccions màximes són semblants. El que sí que es pot veure és que a un mateix nivell de radiació la producció és lleugerament superior després de la neteja. Si es compara per exemple el dia 12 de juny amb el dia 18 de juny, es veu com la radiació és semblant (uns 28 MJ/m<sup>2</sup>) però en canvi es veu com la producció total és superior després de la neteja). En aquest cas concret, i de forma exacta, es tenia una radiació de 28 MJ/m<sup>2</sup> amb una energia de 577,92 kWh el dia 12 i una radiació de 28,6 MJ/m<sup>2</sup> amb una energia de 654,18 kWh el dia 18. En aquest exemple concret, amb una radiació un 2% superior es veuen guanys energètics d'un 13%.

Aquesta mateixa prova es pot fer amb dies més consecutius que també són semblants. El dia 13 de juny (3 dies abans de la neteja) una radiació de 26,2 MJ/m<sup>2</sup> va produir 650,23 kWh. Per altra banda el dia 20 de juny (4 dies després de la neteja) una radiació de 25,9 kWh va produir 675,55 kWh. En aquest cas una disminució d'un 1% de la radiació va implicar un guany d'un 3% de la producció.

Cal dir que són mostres que, tot i que mostren una clara tendència a l'alça, és complicat determinar un percentatge de brutícia. Si bé els dos dies avaluats presenten guanys del 13% i del 3% hi ha dies que aquests guanys seran menors i dies que seran majors.

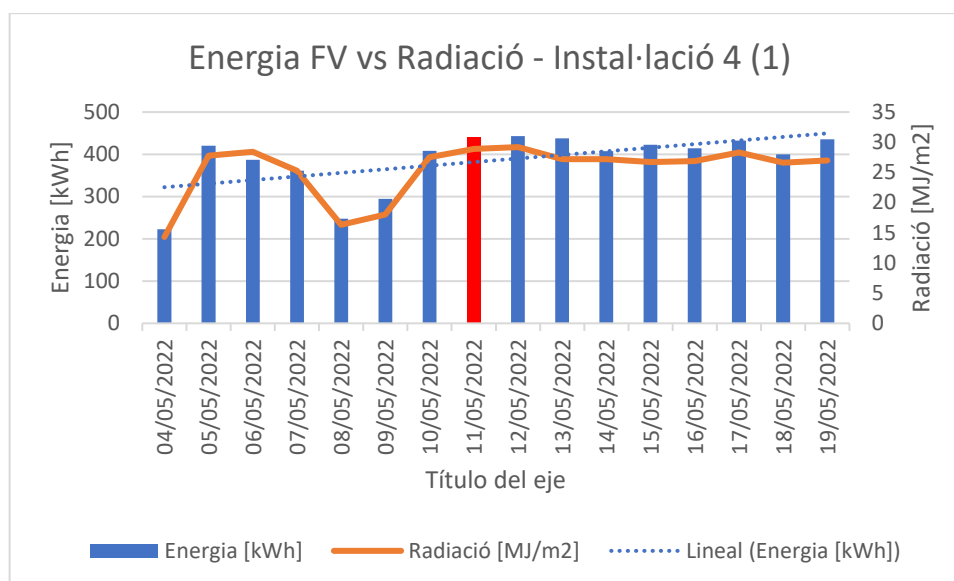
Aquesta instal·lació feia més d'un any i mig que no es netejava i les pèrdues per brutícia només eren les comentades, una de les causes en pot ser la inclinació de la instal·lació com s'havia comentat per la instal·lació anterior.

Per tant aquesta instal·lació permet veure com la inclinació de 34° que té aquesta instal·lació provoca que tot i que la instal·lació no es netegi d'una forma molt periòdica les pèrdues no arriben a valors molts exagerats.

Com s'ha explicat abans, aquesta empresa ha instal·lat recentment 200 kWn addicionals, els quals es troben a inclinacions molts baixes d'entre un 6% i un 10%. Tot i haver realitzat l'estudi es seguirà de la vora el seu rendiment i es veurà si la neteja rutinària hi impactarà. Com s'havia vist a la teoria a aquests panells nous els hauria d'anar bé una neteja cada 6 mesos aproximadament.

Per últim s'avalua la instal·lació 4, ubicada a La Selva. D'entrada, observant el gràfic inferior, es veu una tendència a l'alça de la producció molt més marcada que en les altres dues, el que significa que la neteja va ser gairebé un abans i un després per a la producció mitjana.

Si bé abans de la neteja hi ha un dia de sis que es superen els 400 kWh produïts, després de la neteja aquest valor es supera pràcticament cada dia, el que mostra molta més regularitat en la producció. De fet el millor dia abans de la neteja arriba als 420 kWh aproximadament mentre que després de la neteja s'arriba als 435 kWh de màxim, un augment entre dies similars d'un 1% aproximadament. Cal tenir en compte però la radiació, que abans de la neteja va ser lleugerament inferior.

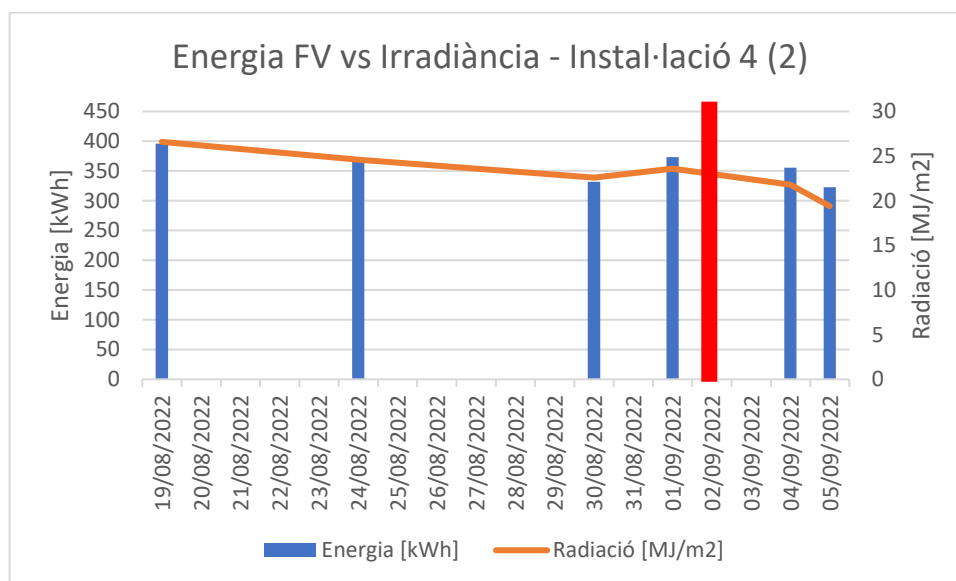


**Gràfic 9. Producció vs radiació abans i després de la primera neteja a la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

Entrant amb números, una radiació mitjana de 26,7 MJ/m<sup>2</sup> el dia 15 de maig produeix 423 kWh mentre que una radiació mitjana de 28,4 MJ/m<sup>2</sup> el dia 6 de maig produeix 386,79 kWh. Després de la neteja amb menys radiació produeix més. Aquests valors signifiquen que, després de la neteja amb una radiació un 6% menor s'està produint un 9% més d'energia fotovoltaica. Es pot veure clarament com la neteja va significar un guany important en la producció i que a més les pèrdues que provocava la brutícia ja s'assemblen més a alguns valors vistos en articles bibliogràfics.

En aquesta instal·lació cal tenir en compte que la inclinació dels mòduls és només del 6% fet que, com s'ha vist en la bibliografia, tendeix a augmentar la quantitat de pols acumulada als panells i per tant es veu més clar l'efecte. Aquest tipus d'instal·lacions cal tenir-les ben monitoritzades i realitzar-hi neteges periòdiques.

Per últim, la instal·lació 4, es va tornar a netejar el dia 2 de setembre d'aquest 2022 pel que s'ha mirat la producció de dos dies abans i dos dies després per veure també l'impacte. Cal dir que per aquesta neteja no s'han pogut mirar més dies per falta de temps.



**Gràfic 10. Producció vs radiació abans i després de la segona neteja a la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

En aquest cas es disposa de menys dades, la neteja va ser el dia 2 de setembre i es disposa de les dades dels dies que es poden veure al gràfic adjunt. D'entrada el que es pot veure és que la energia total no augmenta després de la neteja però cal veure que la radiació, des que es va realitzar la neteja i en comparació amb els dies previs, ha baixat.

Per a comparar-ho es poden observar els dies 30 d'agost i 4 de setembre. El dia 30 d'agost la radiació va ser de 22,6 MJ/m<sup>2</sup> mentre que el dia 4 de setembre (amb la neteja feta) la radiació va ser de 21,8 MJ/m<sup>2</sup>. Tot i aquesta disminució de la radiació l'energia produïda va ser superior, de fet el dia 30 es van generar 331,87 kWh i el dia 4 de setembre se'n van generar 355,35 kWh. Això significa que, amb un 1% més de radiació la instal·lació va produir pràcticament un 7% menys.

Al no disposar de més dies i dades és una conclusió que pot ser precipitada però en aquest cas sí que s'observa que la neteja realment ha millorat l'eficiència dels panells.

Ja s'ha explicat més amunt però la inclinació de 6° de la coberta provoca una acumulació de pols important. La sequera que s'està vivint aquest estiu sense gaires pluges fomenta també aquesta brutícia i en aquest cas es veu clarament el que remarcaven varis estudis científics: durant els estius sense pluges i amb poca inclinació les pèrdues per brutícia guanyen força pes, doncs un 7% (amb menys radiació) és un valor que val la pena tenir en compte pel propietari per a planificar i periodificar neteges.

### **5.2.5 Anàlisis resum**

Havent vist les pèrdues totals, les pèrdues per temperatura i les pèrdues per brutícia s'ha pogut comprovar com totes elles prenen valors coherents i lògics.

Un següent pas amb l'estudi d'instal·lacions seria entrar en més detall per a conèixer amb més detall les pèrdues que són complicades d'obtenir. Ara es coneixen en total les pèrdues per temperatura, les pèrdues per brutícia (aproximades), les pèrdues per degradació (es saben els anys de funcionament), les pèrdues per rendiment de l'inversor ( es disposa de les dades del fabricant), les pèrdues per no seguiment del MPPT (dades del fabricant), tolerància dels panells (dades del fabricant) i pèrdues angulars i espectrals (valors a la bibliografia en base la inclinació dels panells) .

Tots aquests valors es coneixen i per tant es poden comparar amb la pèrdua total de rendiment. En aquest estudi s'ha donat importància a la temperatura i a la pols, ja que són dos pèrdues molt rellevants i es volia conèixer en detall el seu impacte i efecte, ja que són a dia d'avui els dos efectes inevitables que més pèrdues provoquen, sobretot a casa nostra on tant tenim episodis de calors extremes com episodis de pluges de sorra per exemple.

En una altra fase caldria determinar empíricament com afecta a aquestes instal·lacions les ombres que puguin tenir al seu entorn, les pèrdues òhmiques en base al cablejat i controlar quin percentatge de temps cada any estan parats per temes de disponibilitat. També caldria afegir sondes a totes les instal·lacions per a conèixer amb la màxima exactitud possible els valors de l'entorn.

Les pèrdues trobades encaixen dins dels valors bibliogràfics, ara caldria anar més enllà amb l'estudi per intentar perfilar al màxim totes les pèrdues. Comprovant aquest valor amb el rendiment anual es podria arribar a analitzar si existeix alguna pèrdua que els articles científics no estan tenint en compte o si s'està considerant alguna pèrdua supèrflua que realment no afecta tant com es creu a la instal·lació.

Com es comenta això ja seria una segona fase que no es va contemplar en aquest estudi però que queda oberta com a possible continuació, ja que realment podria ser que les instal·lacions tinguessin un tipus de pèrdua que encara no es coneix o que s'està obviant i que podria ajudar a entendre encara més el rendiment d'aquestes instal·lacions.



## 6 RESUM DEL PRESSUPOST

Per a elaborar aquest estudi no ha fet falta realitzar cap pressupost ni ha fet falta adquirir material. La informació de les instal·lacions ha estat proporcionada pels corresponents propietaris amb l'ajuda del tutor i els valors meteorològics han sigut extrets de forma gratuïta dels portals PVGIS, Atlas de radiació de Catalunya i el Servei Meteorològic de la Generalitat de Catalunya.

Per altra banda els articles científics revisats s'han pogut aconseguir gràcies a l'autenticació de la Universitat de Girona a través de diferents portals de recerca científica.

La única part imputable com a cost ha sigut el temps dedicat a revisar la bibliografia i el temps dedicat elaborar el corresponent fent el tractament de dades i el seu traspàs a "Excel" i després a "Word".

A dia d'avui el redactor d'aquest informe disposa d'un grau universitari en enginyeria industrial, pel que per edat i titulació se'l pot considerar un tècnic,

El preu per hora de feina es determina a partir de la base Bedec de preus [61], tenint en compte la categoria "tècnic mitjà o superior". Segons Bedec el cost horari per a algú d'aquesta titulació és de 44,19€/h.

Per a elaborar aquest informe, tot i que durant els mesos d'abril i maig s'hi va dedicar algunes estones, es considera que han fet falta una mitjana d'unes 5 hores setmanals durant els mesos de juliol i agost i la primera setmana de setembre.

Així doncs, comptant des la setmana 27 fins la setmana 35 han fet falta 9 setmanes a 5 hores setmanals el que signifiquen un total de 45 hores.

El cost total aproximat de l'estudi realitzat és de 1.988,55€ + IVA.



## 7 CONCLUSIONS

Al llarg d'aquest estudi s'han extret diverses conclusions, algunes que resolen dubtes que s'havien plantejat al començament del treball i d'altres que deixen amb les ganes de seguir monitoritzant aquestes instal·lacions ( i de noves) per a veure amb més claredat el comportament de les plaques enfront diversos factors.

En primer lloc s'ha avaluat i s'ha entrat en detall de totes les pèrdues d'eficiència que presenten les instal·lacions fotovoltaïques. Tot i que moltes vegades s'ha donat que les instal·lacions tenen unes pèrdues concretes perquè així ho determinen els programes de càlcul com el PVGIS la intenció d'aquesta part era conèixer i plantejar quines pèrdues són i , el més important, perquè passen o per quins motius es produeixen, saber si són evitables, el seu impacte teòric en base a articles científics...

El que s'ha vist és que la quantitat de pèrdues, després d'avaluar-les a diferents estudis empírics i haver consultat informació de fabricants actuals , realment tenen un valor total molt pròxim al que els programes marquen. Si bé és cert que acabarà depenent de la magnitud d'algunes pèrdues incertes (la pols en l'ambient depèn del lloc, les ombres depenen de com s'hagin muntat...) si fa o no fa sense saber massa informació de les instal·lacions s'ha vist que es pot afirmar i defensar que les instal·lacions, almenys a Espanya, presentaran d'entrada unes pèrdues d'entre un 20 i un 25% respecte les condicions que indiquen els fabricants.

Analitzant el PVGIS per instal·lacions a Girona aquest tendeix a indicar unes pèrdues pròximes al 22% pel que el seu criteri és fonamentat i realment es pot defensar.

S'ha pogut veure que les instal·lacions presenten unes pèrdues importants associades a la temperatura de les plaques i que aquesta es pot calcular amb diferents models de càlcul que diferents autors han anat plantejant al llarg dels anys. D'alguna manera el que buscaven aquests autors és poden determinar la temperatura de les plaques sense necessitat de tenir-ne la temperatura monitoritzada. El resultat són bastants models on tots ells utilitzen paràmetres semblants però relacionant-los diferents. S'ha comprovat que a Girona a l'estiu els panells, a nivell teòric, poden adquirir pèrdues de fins el 11-12% i que en canvi a l'hivern no haurien de superar el 2%.

S'ha aprofundit molt també en les pèrdues generades per la brutícia, tot i que la conclusió ha sigut bastant incerta: si bé les plaques brutes perden molta eficiència cal tenir en compte les pluges, el tipus de pols atmosfèrica i la densitat d'aquesta. S'ha considerat que en condicions normals aquestes pèrdues no haurien de superar el 4-5%.

En segon lloc s'ha buscat analitzar 4 instal·lacions diferents, properes a Girona, per avaluar precisament aquestes pèrdues. Tot i que la teoria ha corroborat el que marquen els programes de càlcul feia falta portar-ho a la pràctica.

En aquesta part se'n deriven varies conclusions:

- El rendiment anual de les instal·lacions s'aproxima al valor teòric però s'ha vist que al final depèn de cada instal·lació. Les 4 instal·lacions es troben en rendiments d'entre el 72% i el 86% el que significa que tot i que els valors són prou semblants a la teoria no són ben bé exactes. La instal·lació amb el menor rendiment, per exemple, té una part dels panells en funcionament des del 2013 pel que és molt possible que les pèrdues per degradació siguin les que marquen aquest rendiment per sota la mitja. La instal·lació amb major rendiment en canvi és troba inclinada 45° (instal·lació molt òptima pels mesos d'hivern) i es troba en una zona que a l'estiu és menys soferta (prop de les Guilleries) on s'ha demostrat a més que la instal·lació amb unes pèrdues mitges més baixes per culpa de la temperatura. Al mateix temps la inclinació de 45° ajuda a que la pols pràcticament no s'hi dipositi.
- El model més fiable per a determinar la temperatura ha acabat essent el "Sandia", que té en compte principalment la temperatura ambient, la irradiància i la velocitat del vent. S'ha vist com varis models s'acostaven molt però no ho han fet amb tanta precisió. Per altra banda s'ha comprovat per exemple que els dos models empírics determinats mitjançant l'estudi d'instal·lacions a altres països no han demostrat una gran fiabilitat, el que significa que són models extrets en uns climes i que segurament són més precisos en estudis al mateix país o en climes idèntics. La conclusió però és que els models estudiats, uns quants d'ells, són una eina molt fiable per a saber a quina temperatura es troben uns panells sabent 4 dades fàcils de determinar.
- Les pèrdues per temperatura coincideixen en gran part amb els articles científics i amb els percentatges de pèrdues determinats. Si bé les pèrdues mitjanes anuals tenint en compte la majoria d'hores diürnes es troba per sota del que es pensava si que es pot confirmar que pràcticament cada dia de l'any, a casa nostra, les instal·lacions pateixen pèrdues d'aquest tipus. Amb les calors dels últims mesos i les que aniran venint els pròxims anys és un factor a tenir en compte quan es dimensionen instal·lacions fotovoltaïques ja que en alguns casos cada dia que fa sol, encara que sigui hivern, les plaques presenten pèrdues de com a mínim el 5%.
- Es pot confirmar que la brutícia afecta negativament el rendiment de les instal·lacions tal i com s'ha pogut veure a la teoria. Si bé és cert que és una conclusió que no és del tot clara ja que la irradiància i la meteorologia hi juguen un paper molt important. S'ha pogut veure com la tendència després de les neteges és augmentar el rendiment

(sobretot en la instal·lació amb 6° d'inclinació) però el percentatge de guany és de mal determinar. En alguna de les instal·lacions s'han pogut veure guanys superiors al 5% pel que en aquest sentit es podria dir que les pèrdues per culpa de la brutícia són superiors al que s'havia pensat en un principi. Per a poder tenir una conclusió més determinant farà falta seguir amb la monitorització de les instal·lacions.

Com a conclusió final cal dir que les instal·lacions fotovoltaïques, tot i que són cada vegada més habituals, encara presenten molts factors que la gent desconeix. Resulta de vital importància tenir les instal·lacions monitoritzades i amb un bon manteniment per a allargar-ne la vida útil i sobretot reduir-ne les pèrdues al màxim, doncs algunes de les pèrdues són evitables amb un bon manteniment i dimensionament.

## **8 RELACIÓ DE DOCUMENTS**

El present treball està format per un sol document que està compost per:

- Resum
- Memòria
- Annexos



## 9 BIBLIOGRAFIA

- [01] Adler F., B. M. (2013). *Energía solar fotovoltaica. Instalaciones Industriales*.
- [02], J. S. (2008). *Analisis comparativo de plantas solares fotovoltaicas conectadas a la red*.
- [03] Montoya Rasero, C. (2011). *Energía solar fotovoltaica*.
- [04] Cepeda, J., & Sierra, A. (s.f.). *Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones*.
- [05] *Electrical Engineering 123*. (26 de 06 de 2022). Obtenido de <https://electricalengineering123.com/tag/solar-panel/>
- [06] *HelioEsfera*. (2022).
- [07] Hyacinthe Kapumpa, K., & Singh Viridi, A. (2016). *A review paper on Solar Photovoltaic Systems*.
- [08], I. C. (2020). *Energia Solar Fotovoltaica*.
- [09] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). (2011). *Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red PCT-C-REV -julio 2011*.
- [10] Vilariño Garcia, L., Jerónimo Gudiel, M. L., & Menéndez Milanés, H. F. (2014). Análisis integral del rendimiento global de un SFGR en la zona V de España. *Revista Tecnologi@ y desarrollo*.
- [11] Alshawaf, M., Poudineh, R., & Alhajeri, N. S. (2020). *Solar PV in Kuwait: The effect of ambient temperature and sandstorms on output variability and uncertainty*.
- [12] Agustian Fajarin, R., & Adhi Setiawan, E. (2018). *Analysis Corrected Performance Ratio on Photovoltaic Through Four Temperatura Cell Model*.
- [13] Kou, Q., Klein, S., & Beckman, W. (1997). *A method for estimating the long-term performance of direct-coupled pv pumping systems*.
- [14] Schwingshackl, C. P. (2013). *Wind effect on PV module temperature: Analysis of different techniques for an accurate estimation*.
- [15] Gaglia, A. L. (2016). *Energy efficiency of PV panels under real outdoor conditions - An experimental asesment in Athens, Greece*.
- [16] Dhimish, M. (2020). *Thermal impact on the performance ratio of photovoltaic systems: A case study of 8000 photovoltaic installations*.
- [17] Shravanth Vasisht, M., Srinivasan, J., & Ramasesha, S. K. (2016). *Performance of solar photovoltaic installations: Effect of seasonal variations*.

- [18] Elibol, E., Tüzün Özmen, Ö., Nedim, T., & Köysal, O. (2015). *Outdoor performance analysis of different PV panel types*.
- [19] Trina Solar . (2022). Obtenido de <https://www.trinasolar.com/es>
- [20] TamizhMani, G. J. (2003). *Photovoltaic module thermal/wind performance: Long-term monitoring and model development for energy rating*.
- [21] Ren, Z. J. (2014). *PVLab: an innovative and flexible simulation tool to better size photovoltaic units*.
- [22] Abood, A. S. (2018). *Modeling and simulation of 1mw grid connected photovoltaic in Karbala city*.
- [23] Generalitat de Catalunya. (2022). *Servei meteorològic de Catalunya*.
- [24] European Commission. (03 de 07 de 2022). *PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)*.
- [25] Salamah, T. R. (2022). *Effect of dust and methods of cleaning on the performance of solar PV module for different climate regions: Comprehensive review*.
- [26] Kaldellis, J., Fragos, P., & Kapsali, M. (2010). *Systematic experimental study of the pollution deposition impact on the energy yield of photovoltaic installations*.
- [27] Appels, R. L. (2013). *Effect of soiling on photovoltaic modules*.
- [28] Kalogirou, S. A., Agathokleous, R., & Panayiotou, G. (2012). *On-site PV characterization and the effect of soiling on their performance*.
- [29], D. (2021). *Instruction Manual*.
- [30] Goossens, D., & Van Kerschaever, E. (1998). *Aeolian dust deposition on photovoltaic solar cells: the effects of wind velocity and airborne dust concentration on cell performance*.
- [31] Gürtürk, M., Benli, H., & Koçdemir Ertürk, N. (2018). *Effects of different parameters on energy - Exergy and power conversion efficiency of PV modules*.
- [32] Zorrilla-Casanova, J. P.-L.-d.-C. (2011). *Analysis of dust losses in photovoltaic modules*.
- [33]. (2022). *Cambio energético*. Obtenido de <https://www.cambioenergetico.com/blog/suciedad-placas-solares/>
- [34], M. d. (2022). *Instalaciones generadoras de baja tensión. ITC-BT-40*. Obtenido de [http://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/REBT/ITC\\_BT\\_40.pdf](http://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/REBT/ITC_BT_40.pdf)
- [35]. (2022). *Jinko*. Obtenido de <https://www.jinkosolar.com/en/>

- [36] Sánchez-Fiera, P. P. (2011). *Analysis of degradation mechanisms of crystalline silicon PV modules after 12 years of operation in Southern Europe*.
- [37]. (2022). *The Solar Planner*. Obtenido de [https://www.thesolarplanner.com/array\\_placement.html](https://www.thesolarplanner.com/array_placement.html)
- [38]. (2022). *Sun Earth Tools*. Obtenido de <https://www.sunearthtools.com/>
- [39] Martin, N. R. (2000). *Calculation of the PV modules angular losses under field conditions by means of analytical model*.
- [40] Pérez López, J. F. (2006). *Experimental solar spectral irradiance until 2500 nm: Results and influence on the PV conversion of different materials*.
- [41] Alonso-Abella, M. C.-R. (2013). *Analysis of spectral effects on the energy yield of different PV (photovoltaic) technologies: The case of four specific sites*.
- [42]. (2022). *Solar Choice*. Obtenido de <https://www.solarchoice.net.au/blog/types-of-solar-inverter-efficiency/>
- [43]. (2022). *SMA*. Obtenido de <https://www.sma-iberica.com/>
- [44]. (2022). *Fronius*. Obtenido de <https://www.fronius.com/es-es/spain>
- [45]. (2022). *SolarEdge*. Obtenido de <https://www.solaredge.com/es>
- [46]. (2022). *Solar Huawei*. Obtenido de <https://solar.huawei.com/es/>
- [47]. (2022). *Enphase*. Obtenido de <https://enphase.com/es-es>
- [48] Rampinelli, G. K. (2013). *Mathematical models for efficiency of inverters used in grid connected photovoltaic systems*.
- [49] Muñoz, J. M. (2010). *On-site characterisation and energy efficiency of grid-connected PV inverters*.
- [50] Chamberlin C.E., L. P. (1995). *Effects of mismatch losses in photovoltaic arrays*.
- [51] Gómez Lorente, D. P. (2013). *Mismatch losses in PV power plants*.
- [52] Wang, Z. Z. (2020). *Quantitative estimation of mismatch losses in photovoltaic arrays under partial shading conditions*.
- [53] Chaudhari, C. K. (2018). *Quantification of System-Level mismatch losses using PVMismatch*.
- [54] Alonso Abella, M. C. (2006). *Estimación de la energía generada por un sistema fotovoltaico conectado a red*.
- [55], G. d. (2001). *Atlas de radiació solar a Catalunya*.



- [56] King, D. B. (2004). *Photovoltaic Array Performance Model*.
- [57] Koehl, M. H. (2010). *Modeling of the nominal operating cell temperature base on outdoor weathering*.
- [58] Spertino, F. C. (2020). *Maintenance activity, reliability, availability and related energy losses in ten operating photovoltaic systems up to 1,8 MW*.
- [59] Kumar, N. D. (2018). *Availability factor of a PV power plant: evaluation based on generation and inverter running periods*.
- [60] Deline, C. A. (2021). *PV Fleet performance data initiative: performance index-based analysis*.
- [61]. (2022). *ITEC*.

## 10 GLOSSARI

- $I_{SC}$  : Intensitat de curtcircuit
- $V_{OC}$ : Voltatge de circuit obert
- $I_{pmp}$ : Intensitat del punt de màxima potència
- $V_{pmp}$ : Voltatge del punt de màxima potència
- $W_p$ : Potència pic
- $W_n$ : Potència nominal
- ONC: Condicions nominals de treball
- CEM / STC: Condicions estàndards de mesura
- $T_c$ : Temperatura de les cèl·lules o panells fotovoltaïcs
- $T_a$ : Temperatura ambient
- $T_{ONC}$ : Temperatura nominal de treball
- $T_{AONC}$ : Temperatura ambient en condicions nominals de treball
- $T_{STC}$  : Temperatura en condicions estàndards de mesura
- G: Irradiància solar
- $G_{TONC}$  : Irradiància en condicions d'operació nominal segons fabricant
- AM: Massa de l'aire
- $V_s$ : Velocitat del vent
- $V_{STC}$  : Velocitat del vent en condicions estàndards
- $U_0$  : Constant de transferència de calor
- $U_1$  : Convecció de transferència de calor
- $\tau \cdot \alpha$  : Transmissància de la placa pel coeficient d'absorció de les cèl·lules
- a : Coeficient límit de la temperatura sobre el panell fotovoltaïc a un vent baix i a una radiació solar elevada
- b : Coeficient de temperatura per un vent elevat
- $\beta$  : Coeficient de temperatura de màxima potència
- $\eta_{STC}$  : Rendiment segons fabricant en condicions estàndards de mesura
- $h_w$  : Coeficient de convecció del vent
- $h_{wONC}$  : Coeficient de convecció del vent en condicions d'operació segons fabricant
- $U_{pv}$ : Coeficient d'intercanvi de calor
- PVGIS: Programa de càlcul i dimensionament d'instal·lacions fotovoltaïques de la comissió europea.



## II. ANNEXOS

### ANNEX A – DADES METEOROLÒGIQUES DE LES INSTAL·LACIONS

Per a poder dur a terme l'estudi, resulta vital disposar de les dades meteorològiques, tant horàries com mensuals, de les ubicacions de les instal·lacions.

Per a analitzar el rendiment anual de les instal·lacions s'utilitza la radiació (kWh/m<sup>2</sup>) mitja mensual de cada ubicació. Aquesta informació es treu i s'obté directament de l'Atlas de radiació de Catalunya [55]. L'atles ofereix els valors a la província de Girona per diferents inclinacions i orientacions de panells en valors mitjos mensuals per dia (kWh/m<sup>2</sup>/dia). Sabent els dies que té cada mes doncs ja es disposa de la radiació per metre quadrat. Tot i que es la radiació genèrica per proximitats de Girona pel càlcul del rendiment es decideix de fer servir.

Posteriorment, per entrar a la valoració dels models de càlcul de la temperatura, és necessari disposar de les dades horàries tant de irradiància (W/m<sup>2</sup>), com de temperatura ambient (°C) com de la velocitat del vent (m/s). Per aplicar els models aquesta informació és important de tenir-la per a totes les hores de diversos dies que es valoraran. Més avall, per cada instal·lació, s'explicarà d'on s'obtenen ja que en alguna instal·lació es disposa directament dels valors verídics a través de la mateixa monitorització (instal·lació 2) i en alguna no es disposa de cap dada lligada a la instal·lació i cal estimar-les o buscar-les (instal·lació 1 i 4).

#### A.1. Instal·lació 1

La instal·lació 1, del Pla de l'Estany, es troba inclinada 25° i orientada -13° respecte el sud. Respecte les dades mensuals de radiació es prenen les dades a Girona per inclinacions de 25° i orientacions de 0° (només proporciona dades amb orientacions a 0°, 30° o 60°).

**Taula 14. Radiació mensual per la instal·lació 1. Font: [Elaboració pròpia].**

MES	RADIACIÓ [kWh/m <sup>2</sup> ]
GENER	114,81
FEBRER	135,71
MARÇ	135,75
ABRIL	158,63
MAIG	202,49
JUNY	172,72
JULIOL	210,65
AGOST	203,67
SETEMBRE	163,69
OCTUBRE	135,06
NOVEMBRE	101,67
DESEMBRE	99,84

Aquesta informació permet obtenir de forma aproximada l'energia que una instal·lació amb aquesta radiació hauria de produir, i com es disposa de les dades de producció mensual doncs s'obté el rendiment.

Una altra informació meteorològica que fa falta per l'estudi són les dades d'un dia de cada mes de:

- Temperatura ambient (°C)
- Irradiància (W/m<sup>2</sup>)
- Velocitat del vent (m/s)

Aquesta informació es fa servir per a poder calcular la temperatura mitjançant els models de càlcul presentats. Aquest model s'aplica per un dia complet (24 hores) de cada mes de l'any, així es veu la seva precisió per a situacions de calor i per a situacions de fred.

La instal·lació 1 no disposa de cap tipus de sonda i per tant no es coneixen amb exactitud aquestes dades. Per a disposar d'unes dades més o menys fiable s'extreuen del PVGIS les dades horàries d'un dia de cada mes de l'any 2020 (les dades més recents de les quals disposa).

Es donen per bones aquestes dades tot i que no són ni exactes ni les més recents. Es presenten a continuació aquests tres paràmetres per cada hora del dia per un dia de cada mes a la ubicació exacte i amb les característiques de la instal·lació 1.

**Taula 15. Dades meteorològiques del gener i febrer de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	GENER			FEBRER		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	3,91	0	1,59	7,71	0,00	1,45
1:15	3,52	0	1,66	7,33	0,00	1,52
2:15	3,05	0	1,72	6,73	0,00	1,52
3:15	2,47	0	1,66	6,55	0,00	1,45
4:15	1,86	0	1,72	6,56	0,00	1,31
5:15	1,42	0	1,72	6,96	0,00	1,24
6:15	1,16	0	1,72	6,92	0,00	1,24
7:15	1,3	0	1,72	7,41	18,74	0,9
8:15	1,35	320,2	1,52	9,24	83,50	0,34
9:15	5,75	552,68	0,9	10,81	548,79	0,41
10:15	10,2	709,95	0,55	11,57	768,91	0,21
11:15	12,06	792,01	0,55	12,35	856,75	0,14
12:15	13,13	802,76	0,76	13,17	857,03	0,14
13:15	13,74	735,34	0,83	13,8	820,12	0,48
14:15	13,86	585,08	1,03	13,73	524,14	0,97
15:15	13,51	362,06	1,1	13,72	115,76	0,97
16:15	12,55	154,63	1,17	13,31	170,43	1,24
17:15	10,91	0	0,9	12,32	0,00	1,45
18:15	9,65	0	0,69	11,01	0,00	1,24
19:15	9,12	0	0,62	10,53	0,00	0,83
20:15	8,93	0	0,62	10,18	0,00	0,83
21:15	8,1	0	0,83	9,48	0,00	0,9
22:15	6,64	0	1,1	8	0,00	1,17
23:15	5,67	0	1,38	7,26	0,00	1,24

**Taula 16. Dades meteorològiques del març i abril de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	MARÇ			ABRIL		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	10,01	0,00	0,55	10,92	0	1,03
1:15	9,5	0,00	0,69	10,54	0	1,03
2:15	9,4	0,00	0,69	10,29	0	1,17
3:15	9,16	0,00	0,83	9,95	0	1,17
4:15	8,97	0,00	0,90	9,96	0	1,17
5:15	8,64	0,00	1,03	9,91	0	1,24
6:15	8,23	0,00	1,03	10,34	124,87	1,03
7:15	8,37	259,94	0,9	13,1	340,15	1,38
8:15	9,95	438,35	0,83	14,84	530,8	1,72
9:15	12,02	555,70	1,66	16,27	752,05	1,66
10:15	13,81	423,82	2,55	17,74	944,45	1,86
11:15	15,39	767,60	3,31	18,82	927,54	2,28
12:15	16,4	986,60	3,86	19,26	656,07	2,62
13:15	16,98	900,53	4	18,55	399,57	3,1
14:15	16,91	717,86	4	18,38	369,71	2,83
15:15	16,29	429,24	4	17,68	395,04	2,48
16:15	15,12	231,60	4	17,32	276,83	2,41
17:15	13,79	55,69	3,45	16,72	66,81	2,55
18:15	12,52	0,00	2,83	15,7	6,53	2,41
19:15	11,57	0,00	2,14	14,92	0	1,59
20:15	11,07	0,00	2	13,94	0	1,45
21:15	10,77	0,00	1,93	13,26	0	1,52
22:15	10,64	0,00	1,86	12,83	0	1,52
23:15	10,35	0,00	1,59	12,89	0	1,66



**Taula 17. Dades meteorològiques del maig i juny de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	MAIG			JUNY		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	11,24	0,00	1,24	15,06	0	0,76
1:15	10,44	0,00	1,31	15,25	0	0,83
2:15	9,78	0,00	1,38	15,56	0	0,69
3:15	9,45	0,00	1,45	15,96	0	0,48
4:15	9,17	0,00	1,52	15,8	0	0,69
5:15	9,07	43,15	1,24	15,82	28,87	1,17
6:15	11,46	108,05	0,48	16,42	255,99	0,97
7:15	14,04	236,69	0,55	17,47	454,3	1,66
8:15	15,29	272,16	0,9	19,12	552,63	1,86
9:15	16,38	769,32	1,03	20,75	655,48	2,28
10:15	17,56	629,42	1,1	22,08	834,79	3,1
11:15	18,49	1043,31	1,38	22,71	960,35	3,72
12:15	19,01	624,39	1,79	23,24	780,07	4,34
13:15	18,95	148,18	1,79	23,38	661,82	4,83
14:15	19,12	217,46	1,66	23,25	483,72	5,1
15:15	19,17	436,69	1,93	23,05	539,02	4,9
16:15	18,88	133,74	2,28	22,73	395,3	4,48
17:15	18,14	70,24	2,41	21,96	188,1	3,79
18:15	17,15	7,45	1,79	20,8	53,13	3,52
19:15	16,42	0,00	0,76	19,37	0	3,03
20:15	15,5	0,00	0,83	17,96	0	2,48
21:15	14,67	0,00	0,9	16,79	0	2,34
22:15	14,49	0,00	1,1	15,94	0	2,21
23:15	14,35	0,00	1,79	15,3	0	2,07

**Taula 18. Dades meteorològiques del juliol i agost de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	JULIOL			AGOST		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	19,97	0,00	1,45	19,64	0,00	1,24
1:15	19,53	0,00	1,59	19,19	0,00	1,24
2:15	19,18	0,00	1,66	18,81	0,00	1,31
3:15	18,7	0,00	1,66	18,58	0,00	1,31
4:15	18,27	0,00	1,72	18,34	0,00	1,38
5:15	18,04	43,89	1,66	18,14	0,00	1,38
6:15	19,86	212,41	1,24	18,58	157,11	1,10
7:15	22,27	421,48	1,52	21,44	367,93	0,9
8:15	23,58	625,14	1,66	24,08	612,96	1,24
9:15	24,79	798,31	1,66	25,89	785,75	1,79
10:15	25,64	932,78	1,66	27,57	935,34	2,55
11:15	26,5	995,12	1,72	29,11	1001,27	2,97
12:15	27,23	961,13	1,38	30,14	963,14	3,24
13:15	25,55	916,93	0,76	30,76	908,36	3,52
14:15	26,12	764,49	1,17	30,83	765,13	3,79
15:15	26,21	573,06	0,97	30,82	572,53	3,86
16:15	25,32	326,76	0,69	30,28	352,08	3,86
17:15	24,88	179,71	0,83	29,11	140,33	3,52
18:15	24,77	74,58	1,17	27,48	28,90	3,24
19:15	24,12	0,00	0,76	25,76	0,00	2,69
20:15	23,54	0,00	0,48	24,25	0,00	2,34
21:15	22,99	0,00	0,55	23,11	0,00	2
22:15	21,24	0,00	1,03	22,23	0,00	1,93
23:15	20,17	0,00	1,38	21,62	0,00	1,93

**Taula 19. Dades meteorològiques del setembre i octubre de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	SETEMBRE			OCTUBRE		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	18,88	0,00	1,38	6,23	0	1,86
1:15	18,48	0,00	1,45	5,73	0	1,93
2:15	18,09	0,00	1,38	5,29	0	1,93
3:15	17,95	0,00	1,38	4,97	0	1,93
4:15	17,83	0,00	1,45	4,65	0	1,86
5:15	17,74	0,00	1,45	4,35	0	1,79
6:15	17,56	73,09	1,31	4,1	0	1,79
7:15	19,82	318,60	0,9	5,18	144,01	1,93
8:15	22,74	556,64	0,41	9,12	294,67	1,45
9:15	24,51	758,90	0,21	12,59	425,74	1,24
10:15	25,7	888,41	0,69	14,34	859,22	0,9
11:15	26,72	952,30	0,97	15,41	960,19	0,62
12:15	27,38	933,61	1,17	16,11	902,72	0,28
13:15	27,65	836,04	1,24	16,19	747,85	0,97
14:15	27,61	680,82	0,62	15,35	602,23	1,72
15:15	27,5	480,94	0,62	13,86	394,08	1,17
16:15	27,06	51,96	0,69	13,17	105,06	0,41
17:15	26,08	57,62	1,24	12,58	0	0,14
18:15	24,39	0,00	1,38	10,86	0	1,03
19:15	22,89	0,00	1,31	10,86	0	1,03
20:15	21,76	0,00	1,59	9,75	0	1,24
21:15	20,31	0,00	1,66	8,33	0	1,45
22:15	19,4	0,00	1,66	7,05	0	1,72
23:15	18,74	0,00	1,66	5,97	0	1,79

**Taula 20. Dades meteorològiques del novembre i desembre de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	NOVEMBRE			DESEMBRE		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	9,66	0,00	1,24	9,07	0,00	1,86
1:15	8,75	0,00	1,31	9,07	0,00	1,86
2:15	8,34	0,00	1,24	8,95	0,00	1,72
3:15	7,66	0,00	1,31	8,94	0,00	1,72
4:15	7,24	0,00	1,31	8,73	0,00	1,72
5:15	7,2	0,00	1,17	8,31	0,00	1,79
6:15	7,15	0,00	1,24	8,16	0,00	1,79
7:15	6,03	72,57	1,59	7,59	0,00	1,79
8:15	8,21	99,66	0,97	7,72	225,21	1,59
9:15	11,91	651,42	0,55	10,07	369,40	1,31
10:15	14,12	722,32	0,21	12,39	528,04	1,86
11:15	15,22	766,20	0,48	13,59	699,66	2,28
12:15	15,82	755,89	0,41	14,46	716,25	2,83
13:15	16,23	647,21	0,07	15,22	635,52	2,83
14:15	16,68	458,95	0,28	15,49	460,19	2,62
15:15	16,54	256,05	0,28	15,05	274,60	2,07
16:15	15,29	0,00	0,83	13,57	0,00	1,86
17:15	13,59	0,00	0,62	11,89	0,00	1,79
18:15	13,3	0,00	0,34	10,6	0,00	1,66
19:15	11,75	0,00	0,83	10,11	0,00	1,24
20:15	10,47	0,00	1,24	9,14	0,00	1,1
21:15	9,7	0,00	1,31	8,57	0,00	1,1
22:15	9,12	0,00	1,38	8,13	0,00	1,1
23:15	8,68	0,00	1,38	7,01	0,00	1,31

## A.2. Instal·lació 2

La instal·lació 2, de Riudellots de la Selva, es troba inclinada  $34^\circ$  i orientada  $0^\circ$  respecte el sud. Respecte les dades mensuals de radiació es prenen les dades a Girona per inclinacions de  $35^\circ$  i orientacions de  $0^\circ$ .

*Taula 21. Radiació mensual per la instal·lació 2. Font: [Elaboració pròpia].*

MES	RADIACIÓ [kWh/m <sup>2</sup> ]
GENER	105,09
FEBRER	112,56
MARÇ	149,11
ABRIL	163,8
MAIG	179,49
JUNY	177
JULIOL	181,35
AGOST	172,98
SETEMBRE	150,6
OCTUBRE	130,51
NOVEMBRE	104,4
DESEMBRE	97,65

D'aquesta instal·lació es disposa de totes les dades in-situ, per tant serà la més fiable en quant a resultats. El programa de monitorització actualment permet disposar de cada hora de cada dia de les dades de temperatura ambient, temperatura dels panells, irradiància i velocitat del vent. Per tant es presenten aquestes dades tot seguit.

**Taula 22. Dades meteorològiques del gener i febrer de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	GENER			FEBRER		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	4,2	0	2,7	5,6	0	1,7
1:15	4	0	2,75	5,4	0	1,53
2:15	3,7	0	2,64	5,2	0	1,62
3:15	3,5	0	2,55	5	0	1,73
4:15	3,3	0	2,48	4,8	0	1,8
5:15	3,2	0	2,38	4,5	0	1,66
6:15	3	0	2,38	4,3	0	1,53
7:15	3,2	0	2,27	4,5	0	1,45
8:15	4,3	22	2,01	5,7	60	1,43
9:15	5,4	178	1,76	7	297	1,44
10:15	6,7	401	1,45	8,3	488	1,35
11:15	8,5	548	1,11	9,7	647	1,1
12:15	10,2	639	0,9	11,1	744	1,32
13:15	11,5	663	1,23	12,3	772	1,66
14:15	11,5	662	1,25	12,4	772	1,66
15:15	11,5	617	1,49	12,7	723	1,63
16:15	11,5	499	1,76	13,1	611	1,71
17:15	11	327	1,82	12,9	413	1,85
18:15	9	45	1,26	10,9	164	1,34
19:15	7,1	0	1,23	9	23	1,44
20:15	5,6	0	1,49	7,5	0	1,49
21:15	5,3	0	1,49	7,2	0	1,3
22:15	5	0	1,53	6,8	0	1,43
23:15	4,7	0	1,59	6,6	0	1,68

**Taula 23. Dades meteorològiques del març i abril de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	MARÇ			ABRIL		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	9,7	0	1,95	12,3	0	1,81
1:15	9,6	0	1,86	12,2	0	1,86
2:15	9,4	0	1,83	12,1	0	1,91
3:15	9,3	0	1,78	12	0	1,97
4:15	9,1	0	1,73	11,9	0	2,05
5:15	9	0	1,69	11,9	0	2,07
6:15	8,9	0	1,65	12,1	0	2,08
7:15	8,9	0	1,6	12,3	8	2,11
8:15	9,3	42	1,51	13,2	88	2,03
9:15	11,7	195	1,12	15,6	261	1,83
10:15	14,1	382	1,03	18	472	1,9
11:15	16,2	571	1,27	20	650	2,17
12:15	17,1	718	1,72	20,9	798	3,07
13:15	18	778	2,24	21,8	888	4,31
14:15	18	776	2,29	21,8	892	4,38
15:15	18,5	743	2,76	22,3	894	5,17
16:15	17,9	623	2,89	22,1	835	5,07
17:15	17,3	538	3,03	21,9	710	4,98
18:15	16,6	322	3,12	21,4	524	4,62
19:15	15,1	272	2,98	20,2	311	3,65
20:15	13,5	94	2,99	19	118	3,13
21:15	12,2	0	2,88	17,7	9	2,96
22:15	11,5	0	2,7	16,6	0	2,09
23:15	10,9	0	2,61	15,4	0	1,82

**Taula 24. Dades meteorològiques del maig i juny de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	MAIG			JUNY		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	16,4	0	3,02	22,4	0	2,33
1:15	16,3	0	3	22,5	0	1,79
2:15	16	0	2,88	22,4	0	1,43
3:15	15,7	0	2,73	21,7	0	1,39
4:15	15,4	0	2,59	21,1	0	1,51
5:15	15,4	0	2,46	21,1	0	1,66
6:15	16,1	0	2,45	21,8	6	1,3
7:15	16,8	26	2,47	22,5	28	1,5
8:15	18	143	2,63	23,3	109	1,54
9:15	20,4	308	3,39	25,1	308	1,43
10:15	22,8	448	4,16	27	507	1,72
11:15	24,8	640	4,9	28,5	635	2,09
12:15	25,6	837	5,39	29,4	799	2,64
13:15	26,3	909	5,85	30,7	912	3,23
14:15	26,4	911	5,9	30,9	917	3,25
15:15	26,8	899	6,3	31,8	928	3,58
16:15	26,5	863	6,44	31,6	865	3,57
17:15	26,2	741	6,6	31,3	696	3,62
18:15	25,6	561	6,6	30,6	374	3,27
19:15	23,8	340	5,97	27,5	215	2,17
20:15	22	126	5,35	24,8	71	2,27
21:15	20,6	23	4,85	23,5	30	2,22
22:15	19,6	0	4,41	22,7	7	1,65
23:15	18,6	0	4,1	21,9	0	1,87



**Taula 25. Dades meteorològiques del juliol i agost de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	JULIOL			AGOST		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	23,7	0	3,02	25	0	1,83
1:15	23,3	0	2,93	24,7	0	2,12
2:15	23	0	2,82	24,5	0	2,41
3:15	22,8	0	2,65	23,6	0	2,2
4:15	22,5	0	2,57	22,6	0	2,73
5:15	22,8	0	2,35	22	0	3,11
6:15	23,5	0	1,68	22,3	0	2,88
7:15	24,2	24	1,28	22,8	10	2,65
8:15	25,5	122	1,32	23,8	61	2,54
9:15	27,9	302	1,28	26,2	140	2,5
10:15	30,4	499	1,66	28,6	372	2,84
11:15	32,5	682	2,36	30,5	636	3,3
12:15	33,3	827	2,78	31,1	717	3,79
13:15	34,1	914	3,48	31,8	842	4,89
14:15	34,1	918	3,54	31,8	829	5
15:15	34,6	931	4	32,1	824	5,85
16:15	34,3	875	3,77	31,6	824	5,71
17:15	34,1	750	4,14	31,1	694	5,83
18:15	33,7	574	4,61	30,3	475	5,69
19:15	32,9	370	4,07	28,5	275	4,27
20:15	32	172	3,65	26,8	120	3,54
21:15	30,9	38	3,31	25,2	20	3,65
22:15	28,9	6	3,06	24	0	2,88
23:15	26,9	0	3,14	23,7	0	1,69

**Taula 26. Dades meteorològiques del setembre i octubre de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	SETEMBRE			OCTUBRE		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	21,4	0	1,59	13,3	0	1,5
1:15	21,2	0	1,12	13,2	0	1,53
2:15	21	0	1,36	13	0	1,57
3:15	20,6	0	1,24	12,8	0	1,54
4:15	20,2	0	1,37	12,6	0	1,52
5:15	19,9	0	1,53	12,4	0	1,52
6:15	19,9	0	1,57	12,3	0	1,56
7:15	19,9	0	1,82	12,1	0	1,57
8:15	20,4	54	1,95	12,5	21	1,49
9:15	22,2	129	1,58	14,5	173	1,21
10:15	24	208	1,45	16,6	351	1,06
11:15	25,7	508	1,37	18,3	535	1,16
12:15	27,5	751	2,23	19	683	1,57
13:15	28,9	767	3,53	19,8	715	2,11
14:15	29	767	3,65	19,9	712	2,16
15:15	29,9	794	4,69	20,2	709	2,59
16:15	29,7	785	5,3	19,4	616	2,63
17:15	29,4	647	5,94	18,6	485	2,68
18:15	28,8	466	6,29	17,8	334	2,54
19:15	26,7	235	4,9	16,8	119	1,91
20:15	25,2	63	4,27	15,7	0	1,43
21:15	23,8	0	3,58	14,8	0	1,01
22:15	22,9	0	2,53	14,8	0	0,64
23:15	22	0	2,14	14,7	0	0,6

**Taula 27. Dades meteorològiques del novembre i desembre de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	NOVEMBRE			DESEMBRE		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
1:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
2:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
3:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
4:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
5:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
6:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
7:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
8:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
9:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
10:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
11:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
12:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
13:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
14:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
15:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
16:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
17:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
18:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
19:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
20:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
21:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
22:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46
23:15	12	0	2,02	8,1	0	1,46

### A.3. Instal·lació 3

La instal·lació 3, a Osona, es troba inclinada 45° i orientada 40° respecte el sud. Respecte les dades mensuals de radiació es prenen les dades a Girona per inclinacions de 45° i orientacions de 30°.

**Taula 28. Radiació mensual per la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.**

MES	RADIACIÓ [kWh/m <sup>2</sup> ]
GENER	128,6
FEBRER	167,46
MARÇ	139,04
ABRIL	147,69
MAIG	173,36
JUNY	159,61
JULIOL	191,9
AGOST	191,59
SETEMBRE	160,41
OCTUBRE	142,02
NOVEMBRE	119,62
DESEMBRE	111,57

D'aquesta instal·lació es disposa de sondes in-situ però aquestes no han estat en correcte funcionament durant forces mesos dels últims. La irradiància s'ha pogut agafar completament de les dades de la instal·lació.

La velocitat del vent s'ha extret del PVGIS ja que no la proporcionava i finalment la temperatura ambient s'ha pogut agafar d'alguns dies de la instal·lació i altres dies del PVGIS ja que no ha funcionat correctament últimament.

**Taula 29. Dades meteorològiques del gener i febrer de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	GENER			FEBRER		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	0,09	0,00	1,66	5,79	0,00	0,97
1:15	-0,26	0,00	1,66	6,04	0,00	1,03
2:15	-0,4	0,00	1,59	6,1	0,00	1,03
3:15	-0,48	0,00	1,59	5,8	0,00	1,1
4:15	-0,51	0,00	1,59	5,74	0,00	1,03
5:15	-0,83	0,00	1,66	5,85	0,00	1,03
6:15	-0,46	0,00	1,59	5,88	0,00	1,1
7:15	-0,8	0,00	1,72	6,12	0,00	0,97
8:15	-0,61	0,00	1,66	7,26	15,00	0,62
9:15	2,28	59,19	1,31	8,81	72,00	0,55
10:15	5,36	283,00	1,38	10,63	314,34	0,62
11:15	7,11	529,00	1,72	12,44	597,19	1,24
12:15	8,21	728,00	2	13,55	762,22	1,52
13:15	8,73	860,00	2	14,43	900,11	1,72
14:15	9,07	916,00	1,66	14,81	966,03	1,79
15:15	8,77	878,00	0,9	14,88	945,00	2,07
16:15	7,84	738,75	0,48	14,25	830,00	2
17:15	6,72	134,00	0,48	12,57	146,00	1,52
18:15	4,98	0,00	1,1	10,69	11,00	1,38
19:15	4,26	0,00	1,24	10,04	0,00	1,38
20:15	2,18	0,00	1,59	9,46	0,00	1,24
21:15	0,75	0,00	1,66	8,88	0,00	1,03
22:15	-0,04	0,00	1,59	8,33	0,00	0,97
23:15	-0,34	0,00	1,52	8,3	0,00	1,17

**Taula 30. Dades meteorològiques del març i abril de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	MARÇ			ABRIL		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	10,02	0,00	0,41	7,54	0,00	1,45
1:15	9,52	0,00	0,55	7,21	0,00	1,38
2:15	9,19	0,00	0,62	7,31	0,00	1,52
3:15	9,04	0,00	0,69	6,97	0,00	1,52
4:15	8,92	0,00	0,76	6,73	0,00	1,45
5:15	8,86	0,00	0,97	6,74	0,00	1,52
6:15	8,45	11,00	1,03	6,95	0,00	1,52
7:15	8,87	75,00	0,76	10,06	0,00	0,9
8:15	11,01	150,00	0,83	12,42	76,00	1,79
9:15	12,84	367,00	1,03	13,54	148,09	2,69
10:15	14,23	605,00	1,72	14,6	239,04	3,24
11:15	15,45	786,00	2,69	15,39	347,00	3,79
12:15	16,45	882,00	3,45	15,13	669,77	3,86
13:15	16,42	617,00	3,59	14,89	733,00	3,93
14:15	16,1	648,00	3,45	14,59	765,00	3,93
15:15	15,98	759,00	3,24	13,62	980,00	3,52
16:15	15,1	368,00	3,03	12,95	954,00	3,24
17:15	14,05	231,69	2,62	12,21	832,84	2,41
18:15	12,81	2,00	1,93	11,65	620,00	1,86
19:15	12,36	0,00	1,31	10,85	338,00	1,72
20:15	11,7	0,00	1,24	10,58	19,00	1,45
21:15	11,04	0,00	1,31	10,31	0,00	1,24
22:15	10,29	0,00	1,24	10,09	0,00	0,9
23:15	9,64	0,00	1,03	9,56	0,00	0,83

**Taula 31. Dades meteorològiques del maig i juny de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	MAIG			JUNY		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	17,00	0,00	1,24	24,01	0,00	0,9
1:15	16,00	0,00	1,24	25,00	0,00	1,1
2:15	15,00	0,00	1,31	24,00	0,00	1,1
3:15	15,00	0,00	1,31	25,00	0,00	1,1
4:15	16,00	0,00	1,31	23,00	0,00	0,97
5:15	16,00	0,00	1,1	25,01	0,00	0,76
6:15	15,00	0,00	0,41	26,00	0,00	0,28
7:15	15,00	17,03	0,34	27,00	30,08	0,48
8:15	15,00	39,10	0,69	27,00	54,00	1,59
9:15	17,00	65,00	0,69	28,00	85,00	2,21
10:15	21,00	93,00	0,69	28,00	124,00	2,41
11:15	23,00	420,00	0,9	33,00	400,00	2,69
12:15	26,00	635,00	1,38	34,00	589,00	2,9
13:15	26,00	857,00	1,59	36,00	747,00	2,69
14:15	26,00	911,00	1,52	36,00	864,00	1,59
15:15	29,00	752,27	1,79	37,00	914,03	1,03
16:15	25,99	919,00	1,93	38,00	950,00	0,83
17:15	21,00	824,00	2,07	32,00	164,00	0,76
18:15	21,00	564,00	1,59	27,00	109,00	0,48
19:15	26,00	148,00	0,62	26,00	37,00	0,62
20:15	17,00	55,95	0,9	27,00	37,02	0,55
21:15	16,99	0,00	0,97	25,00	22,00	0,62
22:15	15,00	0,00	1,03	23,99	0,00	0,55
23:15	14,00	0,00	1,38	22,00	0,00	0,69

**Taula 32. Dades meteorològiques del juliol i agost de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	JULIOL			AGOST		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	24,00	0,00	1,17	19,00	0,00	1,03
1:15	23,00	0,00	1,24	19,00	0,00	1,17
2:15	22,00	0,00	1,17	17,00	0,00	1,17
3:15	22,00	0,00	1,03	17,00	0,00	1,17
4:15	22,00	0,00	1,03	18,00	0,00	1,17
5:15	23,00	0,00	1,03	18,00	0,00	1,17
6:15	23,00	0,00	0,76	17,00	0,00	0,83
7:15	23,00	17,00	0,48	18,00	2,00	0,69
8:15	24,00	35,00	0,28	19,00	33,02	0,48
9:15	25,00	59,00	0,21	20,00	60,00	1,03
10:15	30,00	134,00	0,41	24,00	164,00	1,79
11:15	33,00	362,00	0,55	28,00	432,00	2,41
12:15	35,00	583,00	1,17	27,00	329,00	2,62
13:15	38,00	748,00	1,31	30,00	768,00	2,76
14:15	39,00	880,00	1,24	33,00	664,00	2,41
15:15	41,00	911,00	1,52	29,00	819,00	2,69
16:15	39,00	893,00	1,52	23,00	93,00	2,21
17:15	38,00	805,85	1,24	21,99	130,63	1,93
18:15	37,00	629,00	0,97	28,00	612,00	1,45
19:15	35,00	417,00	1,1	25,00	137,00	1,17
20:15	31,00	113,00	0,9	22,00	53,00	0,97
21:15	26,00	11,00	0,62	18,00	0,00	1,03
22:15	25,00	0,00	0,48	18,00	0,00	1,03
23:15	24,00	0,00	0,62	18,00	0,00	1,1



**Taula 33. Dades meteorològiques del setembre i octubre de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	SETEMBRE			OCTUBRE		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	15,65	0	1,52	5,24	0	1,31
1:15	15,18	0	1,59	4,39	0	1,45
2:15	14,85	0	1,59	3,64	0	1,52
3:15	14,54	0	1,52	3,02	0	1,59
4:15	14,22	0	1,52	2,66	0	1,59
5:15	13,88	0	1,52	2,53	0	1,59
6:15	13,72	0	1,45	2,46	0	1,66
7:15	16,37	0	1,03	2,74	0	1,66
8:15	20,27	26,07	0,62	7,19	87,96	1,31
9:15	22,64	90	0,76	9,95	189,24	1,31
10:15	23,95	157	1,38	11,49	440,67	1,24
11:15	24,77	327	1,59	12,55	428	1,31
12:15	25,12	669,08	1,72	13,22	617	0,97
13:15	25,35	757	1,59	13,68	642	0,41
14:15	25,2	774	1,66	13,75	925	0,62
15:15	24,58	910	1,45	13,62	885,65	0,69
16:15	24,18	820	1,31	13,03	299	1,1
17:15	23,23	169	1,03	11,78	76	0,69
18:15	21,96	56	0,83	11,11	0	0,34
19:15	20,7	45,87	0,83	10,14	0	0,48
20:15	19,76	0	0,9	8,89	0	0,48
21:15	19,1	0	0,9	8,27	0	0,62
22:15	18,24	0	1,1	7,37	0	0,97
23:15	17,58	0	1,24	6,37	0	1,31

**Taula 34. Dades meteorològiques del novembre i desembre de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	NOVEMBRE			DESEMBRE		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	7,49	0,00	1,38	6,97	0,00	1,03
1:15	7,36	0,00	1,45	6,48	0,00	0,97
2:15	7,57	0,00	1,59	6,5	0,00	0,9
3:15	7,7	0,00	1,45	6,68	0,00	0,83
4:15	7,39	0,00	1,45	6,49	0,00	0,83
5:15	6,93	0,00	1,59	6,16	0,00	0,9
6:15	6,35	0,00	1,66	5,93	0,00	0,97
7:15	6,2	0,00	1,72	5,6	0,00	1,03
8:15	8,09	16,07	1,52	5,74	0,00	1,24
9:15	11,88	148,00	1,66	8,47	85,21	1,03
10:15	13,84	402,00	2,28	10,27	303,00	1,72
11:15	15,02	635,00	3,03	11,23	521,00	2
12:15	15,99	813,00	3,45	12,04	672,00	2,62
13:15	16,49	914,00	3,52	12,93	787,00	2,97
14:15	16,62	913,00	3,38	13,13	812,00	2,76
15:15	16,29	628,00	2,62	12,7	764,00	2
16:15	15,17	507,00	2,21	11,23	553,00	1,59
17:15	13,76	72,81	1,72	9,58	47,78	1,45
18:15	12,68	0,00	1,52	8,21	0,00	1,38
19:15	11,5	0,00	1,31	7,85	0,00	1,1
20:15	10,72	0,00	1,24	6,9	0,00	1,17
21:15	10,17	0,00	1,38	5,98	0,00	1,31
22:15	10,05	0,00	1,38	5,16	0,00	1,38
23:15	10	0,00	1,24	4,52	0,00	1,38

#### A.4. Instal·lació 4

La instal·lació 4, a La Selva, es troba inclinada 6° i orientada 38° respecte el sud. Respecte les dades mensuals de radiació es prenen les dades a Girona de l'Atlas per a les característiques de la planta.

*Taula 35. Radiació mensual per la instal·lació 4. Font: [Elaboració pròpia].*

MES	RADIACIÓ [kWh/m <sup>2</sup> ]
GENER	65,41
FEBRER	80,36
MARÇ	122,14
ABRIL	152,4
MAIG	184,14
JUNY	189,9
JULIOL	190,65
AGOST	167,71
SETEMBRE	130,2
OCTUBRE	98,58
NOVEMBRE	68,1
DESEMBRE	58,28

D'aquesta instal·lació no es disposa de cap dada meteorològica, tal i com passa amb la instal·lació 1. En aquest cas doncs es prenen les dades per a les 24 hores d'un dia significatiu de cada mes directament del PVGIS.

**Taula 36. Dades meteorològiques del gener i febrer de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	GENER			FEBRER		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	6,47	0	2,9	8,73	0	2,97
1:15	6,46	0	2,97	8,51	0	3,17
2:15	6,35	0	3,03	8,32	0	3,17
3:15	6,26	0	3,17	8,19	0	3,1
4:15	6,24	0	3,17	8	0	2,69
5:15	6,18	0	3,17	7,55	0	2,41
6:15	6,17	0	2,97	7,11	0	2,21
7:15	6,51	0	2,97	6,83	0	1,93
8:15	6,19	312,97	2,69	7,7	344,2	1,66
9:15	7,24	535,45	2,28	11,27	480,11	1,17
10:15	9,53	647,02	2,14	14,94	740,81	0,41
11:15	12,02	764,24	1,86	16,63	833,72	0,21
12:15	13,13	751,94	1,66	17,46	815,2	0,69
13:15	13,8	679,35	1,03	17,72	770,54	1,03
14:15	13,86	543,06	0,55	17,63	629,08	1,03
15:15	12,94	34,64	0,62	17,26	430,01	1,03
16:15	11,47	11,54	1,59	16,42	200,32	0,9
17:15	9,82	0	1,52	15,06	0	0,76
18:15	8,99	0	0,34	13,02	0	0,97
19:15	8,65	0	0,55	13,55	0	0,76
20:15	7,53	0	0,97	11,38	0	1,24
21:15	6,72	0	1,1	9,89	0	1,52
22:15	6,24	0	1,17	8,55	0	1,59
23:15	5,32	0	1,31	7,42	0	1,66

**Taula 37. Dades meteorològiques del març i abril de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	MARÇ			ABRIL		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	8,17	0	1,59	10,3	0	2,9
1:15	7,58	0	1,52	10,26	0	2,83
2:15	7,07	0	1,52	10,11	0	2,69
3:15	6,63	0	1,45	9,88	0	2,41
4:15	6,22	0	1,45	9,56	0	2,28
5:15	5,98	0	1,52	9,47	0	2,14
6:15	5,88	0	1,52	9,5	117,85	1,93
7:15	8,14	99,56	0,97	11,3	417,48	1,72
8:15	11,74	268,24	0,69	13,48	647,46	2,07
9:15	13,95	501,6	1,24	15,37	852,2	2,55
10:15	15,2	690,67	1,66	16,91	996,38	2,76
11:15	16,09	771,56	1,86	17,94	1068,55	3,03
12:15	16,68	947,96	2,07	18,69	1067,13	3,17
13:15	16,95	851,74	2,14	19,06	968,74	3,1
14:15	16,9	719,9	2,21	18,95	743,44	3,03
15:15	16,54	559,67	2,07	18,6	577,34	2,83
16:15	15,84	264	1,93	18,05	344,32	2,28
17:15	14,77	71,18	1,31	17,15	117,69	1,31
18:15	13,57	0	0,83	15,98	8,39	0,97
19:15	12,36	0	0,62	14,54	0	1,17
20:15	12,12	0	0,62	12,99	0	1,38
21:15	11,58	0	0,55	11,65	0	1,52
22:15	11,09	0	0,55	10,6	0	1,45
23:15	10,72	0	0,55	10,64	0	1,1

**Taula 38. Dades meteorològiques del maig i juny de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	MAIG			JUNY		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	13,09	0	1,45	15,94	0	1,31
1:15	12,91	0	1,45	15,59	0	1,38
2:15	12,75	0	1,45	14,7	0	1,45
3:15	12,45	0	1,45	14,19	0	1,45
4:15	12,36	0	1,52	13,93	0	1,38
5:15	12,37	30,2	1,45	13,97	61,32	1,24
6:15	13,38	174,08	1,1	16,08	247,4	0,55
7:15	15,83	211,79	0,83	18,61	466,39	0,48
8:15	17,92	580,41	0,55	19,62	670,45	0,69
9:15	18,86	656,84	0,62	20,93	840,49	1,45
10:15	19,68	970,86	0,69	21,7	977,83	2
11:15	20,43	409,71	0,55	22,45	1001,89	2,34
12:15	20,84	1014,57	0,62	22,91	985,31	2,55
13:15	21,25	773,43	1,03	22,61	176,08	2,41
14:15	21,56	696,73	1,31	21,06	362,28	1,45
15:15	21,42	586,85	1,72	20,72	337,39	1,1
16:15	20,46	370,52	2	19,89	85,63	0,97
17:15	19,31	157,41	1,66	19,1	169,1	0,62
18:15	18,6	47,55	1,03	18,68	23,3	0,48
19:15	18,1	0	0,76	19,02	0	0,28
20:15	16,96	0	0,9	18,19	0	0,48
21:15	15,32	0	1,38	16,98	0	0,9
22:15	14	0	1,79	16,23	0	1,17
23:15	13,15	0	1,86	15,72	0	1,38

**Taula 39. Dades meteorològiques del juliol i agost de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	JULIOL			AGOST		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	20,99	0	1,1	23,68	22,09	0,83
1:15	20,36	0	1,31	23,05	21,67	0,9
2:15	19,84	0	1,24	22,35	21,08	1,1
3:15	19,41	0	1,1	21,99	20,51	1,17
4:15	19,04	0	0,76	21,52	19,8	1,24
5:15	18,74	0	0,48	20,96	19,22	1,45
6:15	18,6	33,9	0,28	21,57	53,7240417	1,1
7:15	20,03	160,76	0,28	24,5	185,546818	1,1
8:15	22,48	330	1,03	26,69	362,19713	1,45
9:15	24,12	503,41	1,24	28,47	541,815	1,72
10:15	25,45	651,63	1,31	30	695,187447	1,86
11:15	26,58	757,38	1,45	31,19	804,729503	2,41
12:15	27,44	820,09	1,59	31,8	869,820629	2,83
13:15	28,01	835,9	1,79	32,06	886,48557	3,1
14:15	28,28	802,77	1,79	31,88	852,801756	3,38
15:15	28,24	715,49	1,59	31,13	763,380326	3,38
16:15	27,98	587,4	1,66	30,11	631,789453	3,1
17:15	27,51	433,88	1,72	29,21	473,955693	2,62
18:15	26,8	271,39	1,59	28,02	306,630399	2
19:15	25,85	118,73	1,52	26,5	149,112746	1,52
20:15	24,48	1,1	1,59	25,05	27,1977661	1,52
21:15	23,32	0	1,72	23,87	25,04	1,38
22:15	22,48	0	1,72	22,87	24,2	1,31
23:15	21,7	0	1,79	22,13	23,49	1,31

**Taula 40. Dades meteorològiques del setembre i octubre de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	SETEMBRE			OCTUBRE		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	19,18	0	1,31	6,23	0	1,86
1:15	18,63	0	1,38	5,73	0	1,93
2:15	18,22	0	1,31	5,29	0	1,93
3:15	18,06	0	1,31	4,97	0	1,93
4:15	17,93	0	1,38	4,65	0	1,86
5:15	17,69	0	1,45	4,35	0	1,79
6:15	17,58	70,97	1,31	4,1	0	1,79
7:15	20,03	320,97	0,83	5,18	144,01	1,93
8:15	22,84	556,31	0,41	9,12	294,67	1,45
9:15	24,65	740,85	0,41	12,59	425,74	1,24
10:15	25,88	880,01	0,76	14,34	859,22	0,9
11:15	26,89	944,08	0,9	15,41	960,19	0,62
12:15	27,53	932,92	1,03	16,11	902,72	0,28
13:15	27,69	841,18	1,17	16,19	747,85	0,97
14:15	27,6	675,45	0,62	15,35	602,23	1,72
15:15	27,46	354,79	0,21	13,86	394,08	1,17
16:15	27,06	76,98	1,1	13,17	105,06	0,41
17:15	25,95	38,8	1,59	12,58	0	0,14
18:15	24,45	0	1,59	10,86	0	1,03
19:15	23,4	0	1,45	10,86	0	1,03
20:15	22,02	0	1,59	9,75	0	1,24
21:15	20,83	0	1,59	8,33	0	1,45
22:15	19,92	0	1,66	7,05	0	1,72
23:15	19,3	0	1,66	6,49	0	1,86



**Taula 41. Dades meteorològiques del novembre i desembre de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

HORA	NOVEMBRE			DESEMBRE		
	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]	TEMPERATURA AMBIENT [°C]	IRRADIÀNCIA [W/m <sup>2</sup> ]	VELOCITAT DEL VENT [m/s]
0:15	10,31	0	1,93	9,5	12,24	1,79
1:15	10,26	0	1,93	9,32	12,19	1,72
2:15	10,77	0	2,07	9,06	12,84	1,59
3:15	11,05	0	2,14	9,04	13,19	1,59
4:15	11,07	0	2,21	8,74	13,28	1,52
5:15	10,88	0	2,21	8,21	13,09	1,59
6:15	10,48	0	2,34	8,03	12,82	1,66
7:15	10,51	82,21	2,62	7,52	97,26086758	1,72
8:15	11,81	346,86	2,55	7,76	369,367175	1,59
9:15	14,38	606,14	2,69	10,42	637,2985299	1,38
10:15	16,21	724,83	3,45	12,93	760,4038078	2,14
11:15	17,35	840,21	4	13,86	879,2615439	2,48
12:15	18,14	756,99	4,28	14,56	795,0268435	2,97
13:15	18,5	647,5	4,34	15,24	683,6380684	2,97
14:15	18,59	468,45	4,14	15,44	500,9462188	2,83
15:15	18,25	263,65	3,24	14,98	291,0203864	2,34
16:15	17,22	0	2,83	13,54	20,05	2,21
17:15	15,88	0	2,41	12	18,29	2,21
18:15	14,8	0	2,21	10,88	17,01	2
19:15	13,75	0	2	10,29	15,75	1,17
20:15	13,02	0	1,86	9,46	14,88	1,17
21:15	12,49	0	1,79	8,68	14,28	1,24
22:15	12,28	0	1,66	8,22	13,94	1,17
23:15	12,08	0	1,52	7,37	13,6	1,24

## ANNEX B – RENDIMENT DE LES INSTAL·LACIONS

### B.1. Instal·lació 1

Per a determinar el rendiment de la instal·lació fan falta les següents dades del fabricant:

*Taula 42. Dades dels panells de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.*

<b>Mesures dels panells</b>	1,62 x 0,992 metres
<b>Nombre de panells</b>	40 Uds.
<b>Superfície total</b>	65,07 m <sup>2</sup>
<b>Potència pic total</b>	10 kWp

$$Eficiència\ pic\ (\%) = \frac{P_{pic}}{G_{STC} \cdot Àrea} = \frac{10000}{1000 \cdot 65,07} = 15,37\ \%$$

Els panells d'aquesta instal·lació presenten un rendiment pic del 15,37%, el que significa que poden transformar el 15,37% de la radiació solar que els arriba.

Amb aquesta informació es compara l'energia teòrica que haurien de produir amb l'energia real que han produït sabent la irradiància mitja mensual i la superfície de la instal·lació.

Per a determinar l'eficiència energètica:

$$Eficiència\ energètica\ (\%) = \frac{Energia\ generada\ (kWh)}{Radiació\ (\frac{kWh}{m^2}) \cdot Àrea(m^2)}$$

**Taula 43. Eficiència energètica de la instal·lació fotovoltaica 1. Font: Elaboració pròpia.**

Mes	Radiació [kWh/m2]	Energia teòrica [kWh]	Energia real [kWh]	Eficiència energètica [%]
Gener	114,81	7471,28	800,51	10,71%
Febrer	135,71	8831,35	846,95	9,59%
Març	135,75	8833,95	1278,95	14,48%
Abril	158,63	10322,87	1233,07	11,95%
Maig	202,49	13177,07	1462,41	11,10%
Juny	172,72	11239,78	1456,72	12,96%
Juliol	210,65	13708,09	1562,2	11,40%
Agost	203,67	13253,86	1414,23	10,67%
Setembre	163,69	10652,15	1136,5	10,67%
Octubre	135,06	8789,05	1095,43	12,46%
Novembre	101,67	6616,19	670,48	10,13%
Desembre	99,84	6497,10	737,04	11,34%

Sabent l'eficiència energètica que ha presentat la instal·lació cada mes de l'últim any es pot obtenir doncs el rendiment global de la instal·lació que es presenta tot seguit.

$$\text{Rendiment global}(\%) = \frac{\text{Eficiència energètica}(\%)}{\text{Eficiència pic}(\%)}$$

**Taula 44. Rendiment global de la instal·lació fotovoltaïca 1. Font: Elaboració pròpia.**

<b>Mes</b>	<b>Rendiment global (%)</b>
<b>Gener</b>	69,72%
<b>Febrer</b>	62,41%
<b>Març</b>	94,21%
<b>Abril</b>	77,73%
<b>Maig</b>	72,22%
<b>Juny</b>	84,34%
<b>Juliol</b>	74,16%
<b>Agost</b>	69,44%
<b>Setembre</b>	69,43%
<b>Octubre</b>	81,11%
<b>Novembre</b>	65,95%
<b>Desembre</b>	73,82%
<b>PROMIG</b>	<b>74,55%</b>

La instal·lació fotovoltaïca 1, ubicada al Pla de l'Estany, ha treballat l'últim any amb un rendiment mig del 74,55% respecte la seva capacitat, una mica per sota del rendiment que s'havia vist a la teoria, tot i que es mou molt a prop del 20-25% de pèrdua d'eficiència esperada.

## B.2. Instal·lació 2

Per a determinar el rendiment de la instal·lació fan falta les dades dels fabricants. En aquest cas es presenten dades dels dos tipus de panells que té la instal·lació.

*Taula 45. Dades dels panells de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.*

<b>Mesures dels panells 1</b>	1, 636 x 0,992 metres
<b>Nombre de panells 1</b>	264 Uds.
<b>Superfície total 1</b>	428,44 m <sup>2</sup>
<b>Potència pic total 1</b>	59,4 kWp
<b>Mesures dels panells 2</b>	2,279 x 1,134 metres
<b>Nombre de panells 2</b>	112 Uds.
<b>Superfície total</b>	289,45 m <sup>2</sup>
<b>Potència pic total</b>	58,8 kWp

$$Eficiència\ pic\ 1\ (\%) = \frac{P_{pic}}{G_{STC} \cdot Àrea} = \frac{59400}{1000 \cdot 428,44} = 13,86\ \%$$

$$Eficiència\ pic\ 2\ (\%) = \frac{P_{pic}}{G_{STC} \cdot Àrea} = \frac{58800}{1000 \cdot 289,45} = 20,31\ \%$$

Els panells de la primera instal·lació tenen un rendiment pic del 13,86%, són uns panells molt vells comparat amb el moment actual del mercat i per aquest motiu presenten un rendiment pic tant i tant baix en comparació als que avui en dia es troben amb rendiments superiors al 20%. Per altra banda, l'ampliació més recent, es pot veure el rendiment lleugerament superior al 20% comentat.

Amb aquesta informació es compara l'energia teòrica que haurien de produir amb l'energia real que han produït sabent la irradiància mitjana mensual i la superfície de la instal·lació.

Per a determinar l'eficiència energètica:

$$Eficiència\ energètica\ (\%) = \frac{Energia\ generada\ (kWh)}{Radiació\ \left(\frac{kWh}{m^2}\right) \cdot Àrea\ total(m^2)}$$

**Taula 46. Eficiència energètica de la instal·lació fotovoltaïca 2. Font: Elaboració pròpia.**

Mes	Radiació [kWh/m <sup>2</sup> ]	Energia teòrica [kWh]	Energia real [kWh]	Eficiència energètica [%]
Gener	105,09	75443,77	11570	15,34%
Febrer	112,56	80806,46	11530	14,27%
Març	149,11	107045,59	8170	7,63%
Abril	163,8	117591,50	12260	10,43%
Maig	179,49	128855,30	16570	12,86%
Juny	177	127067,73	17620	13,87%
Juliol	181,35	130190,59	16850	12,94%
Agost	172,98	124181,79	15310	12,33%
Setembre	150,6	108115,26	12140	11,23%
Octubre	130,51	93692,71	10380	11,08%
Novembre	104,4	74948,42	7290	9,73%
Desembre	97,65	70102,62	9170	13,08%

Sabent l'eficiència energètica que ha presentat la instal·lació cada mes de l'últim any es pot obtenir doncs el rendiment global de la instal·lació que es presenta tot seguit.

$$\text{Rendiment global}(\%) = \frac{\text{Eficiència energètica}(\%)}{\text{Eficiència pic}(\%)}$$

En aquest cas, com es disposa de dues eficiències pic, aquesta es pondera per obtenir una eficiència pic global:

**Taula 47. Eficiència pic ponderada de la instal·lació fotovoltaïca 2. Font: Elaboració pròpia.**

Àrea total	717,89 m <sup>2</sup>
Àrea 1	40,32 %
Àrea 2	59,68 %
Eficiència pic 1	13,86 %
Eficiència pic 2	20,31 %
Eficiència pic ponderada	16,46 %

Amb aquest valor d'eficiència pic es determina el rendiment global de la instal·lació:

**Taula 48. Rendiment global de la instal·lació fotovoltaïca 2. Font: Elaboració pròpia.**

Mes	Rendiment global (%)
Gener	93,14%
Febrer	86,66%
Març	46,36%
Abril	63,32%
Maig	78,10%
Juny	84,22%
Juliol	78,61%
Agost	74,88%
Setembre	68,20%
Octubre	67,29%
Novembre	59,08%
Desembre	79,45%
<b>PROMIG</b>	<b>73,28%</b>

La instal·lació fotovoltaïca 2, ubicada a una empresa de Riudellots de la Selva, ha treballat l'últim any amb un rendiment mig del 73,28% respecte la seva capacitat, una mica per sota del rendiment que s'havia vist a la teoria, tot i que es mou molt a prop del 20-25% de pèrdua d'eficiència esperada com en la primera instal·lació.

### B.3. Instal·lació 3

Per a determinar el rendiment de la instal·lació fan falta les següents dades del fabricant:

**Taula 49. Dades dels panells de la instal·lació fotovoltaica 3. Font: Elaboració pròpia.**

<b>Mesures dels panells</b>	1,675 x 0,997 metres
<b>Nombre de panells</b>	84 Uds.
<b>Superfície total</b>	140,27 m <sup>2</sup>
<b>Potència pic total</b>	24,36 kWp

$$Eficiència\ pic\ (\%) = \frac{P_{pic}}{G_{STC} \cdot Àrea} = \frac{24360}{1000 \cdot 140,27} = 17,37\ \%$$

Els panells d'aquesta instal·lació presenten un rendiment pic del 17,37%, el que significa que poden transformar el 17,37% de la radiació solar que els arriba.

Amb aquesta informació es compara l'energia teòrica que haurien de produir amb l'energia real que han produït sabent la irradiància mitja mensual i la superfície de la instal·lació.

Per a determinar l'eficiència energètica:

$$Eficiència\ energètica\ (\%) = \frac{Energia\ generada\ (kWh)}{Radiació\ (\frac{kWh}{m^2}) \cdot Àrea(m^2)}$$



**Taula 50. Eficiència energètica de la instal·lació fotovoltaïca 3. Font: Elaboració pròpia.**

<b>Mes</b>	<b>Radiació [kWh/m2]</b>	<b>Energia teòrica [kWh]</b>	<b>Energia real [kWh]</b>	<b>Eficiència energètica [%]</b>
<b>Gener</b>	128,6	18039,73	2646,11	14,67%
<b>Febrer</b>	167,46	23490,93	3122,51	13,29%
<b>Març</b>	139,04	19504,23	2529,72	12,97%
<b>Abril</b>	147,69	20717,64	2678,72	12,93%
<b>Maig</b>	173,36	24318,57	3091,94	12,71%
<b>Juny</b>	159,61	22389,75	3063,05	13,68%
<b>Juliol</b>	191,9	26919,32	4642,41	17,25%
<b>Agost</b>	191,59	26875,84	4600,39	17,12%
<b>Setembre</b>	160,41	22501,97	3699,76	16,44%
<b>Octubre</b>	142,02	19922,26	3396,26	17,05%
<b>Novembre</b>	119,62	16780,04	2791,78	16,64%
<b>Desembre</b>	111,57	15650,80	2469,09	15,78%

Sabent l'eficiència energètica que ha presentat la instal·lació cada mes de l'últim any es pot obtenir doncs el rendiment global de la instal·lació que es presenta tot seguit.

$$\text{Rendiment global}(\%) = \frac{\text{Eficiència energètica}(\%)}{\text{Eficiència pic}(\%)}$$

**Taula 51. Rendiment global de la instal·lació fotovoltaïca 3. Font: Elaboració pròpia.**

Mes	Rendiment global (%)
Gener	84,47%
Febrer	76,54%
Març	74,69%
Abril	74,46%
Maig	73,22%
Juny	78,78%
Juliol	99,31%
Agost	98,57%
Setembre	94,68%
Octubre	98,17%
Novembre	95,81%
Desembre	90,85%
<b>PROMIG</b>	<b>86,63%</b>

La instal·lació fotovoltaïca 1, ubicada al Pla de l'Estany, ha treballat l'últim any amb un rendiment mig del 86,63% respecte la seva capacitat. En aquest cas es tracta d'una instal·lació molt més eficient que la resta. Factors com la ubicació o la inclinació segurament afecten d'aquesta forma positiva el seu rendiment.

#### **B.4. Instal·lació 4**

Per a determinar el rendiment de la instal·lació fan falta les següents dades del fabricant:

**Taula 52. Dades dels panells de la instal·lació fotovoltaïca 4. Font: Elaboració pròpia.**

<b>Mesures dels panells</b>	1,675 x 0,992 metres
<b>Nombre de panells</b>	252 Uds.
<b>Superfície total</b>	418,72 m <sup>2</sup>
<b>Potència pic total</b>	73,08 kWp

$$Eficiència pic (\%) = \frac{P_{pic}}{G_{STC} \cdot Àrea} = \frac{73080}{1000 \cdot 418,72} = 17,45 \%$$

Els panells d'aquesta instal·lació presenten un rendiment pic del 17,45%, el que significa que poden transformar el 17,45% de la radiació solar que els arriba.

Amb aquesta informació es compara l'energia teòrica que haurien de produir amb l'energia real que han produït sabent la irradiància mitja mensual i la superfície de la instal·lació.

Per a determinar l'eficiència energètica:

$$Eficiència energètica (\%) = \frac{Energia generada (kWh)}{Radiació \left(\frac{kWh}{m^2}\right) \cdot Àrea(m^2)}$$

**Taula 53. Eficiència energètica de la instal·lació fotovoltaïca 4. Font: Elaboració pròpia.**

Mes	Radiació [kWh/m <sup>2</sup> ]	Energia teòrica [kWh]	Energia real [kWh]	Eficiència energètica [%]
Gener	65,41	27388,68	4355,84	15,90%
Febrer	80,36	33648,59	4530,11	13,46%
Març	122,14	51142,85	7860	15,37%
Abril	152,4	63813,41	7940	12,44%
Maig	184,14	77103,69	10230	13,27%
Juny	189,9	79515,53	10750	13,52%
Juliol	190,65	79829,57	11420	14,31%
Agost	167,71	70224,06	9490	13,51%
Setembre	130,2	54517,76	7640	14,01%
Octubre	98,58	41277,73	6590	15,97%
Novembre	68,1	28515,04	3823,31	13,41%
Desembre	58,28	24403,18	4153,16	17,02%

Sabent l'eficiència energètica que ha presentat la instal·lació cada mes de l'últim any es pot obtenir doncs el rendiment global de la instal·lació que es presenta tot seguit.

$$\text{Rendiment global}(\%) = \frac{\text{Eficiència energètica}(\%)}{\text{Eficiència pic}(\%)}$$

**Taula 54. Rendiment global de la instal·lació fotovoltaïca 4. Font: Elaboració pròpia.**

Mes	Rendiment global (%)
Gener	91,12%
Febrer	77,14%
Març	88,06%
Abril	71,29%
Maig	76,02%
Juny	77,46%
Juliol	81,97%
Agost	77,43%
Setembre	80,29%
Octubre	91,47%
Novembre	76,82%
Desembre	97,51%
<b>PROMIG</b>	<b>82,22%</b>

La instal·lació fotovoltaïca 1, ubicada a un hotel de la comarca de La Selva, ha treballat l'últim any amb un rendiment mig del 82,22% respecte la seva capacitat. En aquest cas es tracta d'una instal·lació molt més eficient que la resta. Factors com la ubicació o la inclinació segurament afecten d'aquesta forma positiva el seu rendiment.

## ANNEX C – APLICACIÓ DELS MODELS DE CàLCUL DE LA TEMPERATURA DELS PANELLS

Com s'ha explicat es disposa de dues instal·lacions (la 2 i la 3) de les quals es disposa de la temperatura real dels mòduls fotovoltaïcs hora a hora. Saber aquesta temperatura permet saber amb exactitud les pèrdues per culpa de la temperatura que la instal·lació pateix.

En aquest apartat el que es farà és calcular les pèrdues per temperatura d'aquestes dues instal·lacions amb els 12 models de càlculs plantejats i explicats a la teoria. Es compararan els resultats per veure si s'ajusten o no i es decidirà quin d'ells és el més precís i fiable.

Aquest model més fiable o precís s'aplicarà posteriorment a les altres dues instal·lacions i es calcularan les pèrdues per temperatura per a totes 4 instal·lacions, per comprovar si s'ajusten als valors vistos anteriorment.

### C.1. Instal·lació 2

El primer de tot que cal fer és definir els paràmetres dels panells fotovoltaïcs que faran falta per poder aplicar tots els models, per a la instal·lació de Riudellots els paràmetres es mostren tot seguit. En aquest cas hi ha el problema que es disposen de dos tipus de panells i presenten dues característiques lleugerament diferent. Per no duplicar càlculs es realitza una aproximació.

*Taula 55. Paràmetres constants pel càlcul de la temperatura dels panells de la instal·lació 2.  
Font: Elaboració pròpia.*

<b>Temperatura d'operació (Tonc)</b>	45 °C
<b>Temperatura ambient d'operació (Taonc)</b>	20 °C
<b>Temperatura de laboratori (Tstc)</b>	25 °C
<b>Irradiància d'operació</b>	800 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocitat del vent a laboratori (Vstc)</b>	1 m/s
<b>Coeficient SANDIA (a)</b>	-3,56
<b>Coeficient SANDIA (b)</b>	-0,075
<b>Transmitància del sistema - Coeficient d'absorció (<math>\tau \cdot \alpha</math>)</b>	0,9
<b>Coeficient de temperatura de màxima potència (<math>\beta</math>)</b>	0,36
<b>Rendiment (<math>\eta</math>)</b>	16,46 %

Aquests són els valors constants que fan falta per a aplicar tots els models, llavors cal saber les dades reals de la instal·lació de: temperatura ambient, irradiància i velocitat del vent.

Aquestes dades, per la instal·lació de Riudellots, es saben de la mateixa planta ja que disposa dels dispositius necessaris per a mesurar-les. Per tant es disposa per cada hora de cada dia de l'últim any de les dades meteorològiques exactes que permeten aplicar amb la màxima fiabilitat possible el càlculs dels models de temperatura.

Per no aplicar aquest càlcul per a tots els dies de l'any (a nivell de càlcul seria excessiu i resultaria molt laboriosa l'extracció de dades dels corresponents portals d'informació fotovoltaica) es prenen les dades d'un dia significatiu de cada mes. Quan es parla de significatiu es fa referència a prendre dies dins la mitja de dades de temperatura i irradiació ja que són els casos habituals, prendre l'únic dia del mes on ha plogut i tot el dia ha estat nuvolat faria agafar unes pèrdues per temperatura massa baixes i faria imaginar o pensar que aquestes pèrdues són més baixes del que realment són, per tant s'agafen les dades reals per un dia significatiu de cada mes i per cada hora del dia de tots ells s'apliquen els models de càlcul.

Les equacions dels models s'han plantejat anteriorment, es recupera la taula 1 la qual és el resum de tots els models. .

**Taula 56. Resum dels models i equacions de càlcul de la temperatura. Font: Elaboració pròpia.**

NOM DEL MODEL:	NOMENCLATURA PRÒPIA:	EQUACIÓ:
Model estandard	Model 1	$T_c = T_a + (T_{ONC} - 20) \cdot \frac{G}{800}$
Sandia	Model 2	$T_c = G \cdot \{e^{a+b \cdot WS}\} + T_a$
Ross and Smokler	Model 3	$T_c = T_a + 0,035 \cdot G$
Schott	Model 4	$T_c = T_a + 0,028 \cdot G - 1$
Faiman / Koehl	Model 5	$T_c = T_a + \frac{G}{U_0 + U \cdot V_s}$
Duffie and Beckman	Model 6	$T_c = T_a + \frac{G}{G_{NOTC}} \cdot (T_{ONC} - T_a) \cdot \left(1 - \frac{\eta_c}{\tau \cdot \alpha}\right)$
Skoplaki	Model 7	$T_c = T_a + \frac{G}{G_{NOCT}} \cdot (T_{ONC} - T_{AONC}) \cdot \frac{h_{w,NOCT}}{h_{w(v)}} \cdot \left[1 - \frac{\eta_{STC}}{\tau \cdot \alpha} \cdot (1 - \beta_{STC} \cdot T_{STC})\right]$
Kurtz	Model 8	$T_c = T_a + G \cdot e^{-3,473 - 0,0594 \cdot V_s}$
Mattei	Model 9	$T_c = \frac{U_{PV} \cdot T_a + G \cdot [\tau \cdot \alpha - \eta_{STC} \cdot (1 - \beta_{STC} \cdot T_{STC})]}{U_{PV} + \beta_{STC} \cdot \eta_{STC} \cdot G}$
Model experimental 1	Model 10	$T_{pv} = 2,08 + 1,038 \cdot T_a + 0,0182 \cdot G - 1,13 \cdot V_s$
Model experimental 2	Model 11	$T_c = 0,943 \cdot T_a + 0,028 \cdot G - 1,528 \cdot V_s + 4,3$
PVLab	Model 12	$T_c = T_a + \left(\frac{\alpha \cdot G \cdot (1 - \eta)}{U_0}\right)$

**Taula 57. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de gener. Font: Elaboració pròpia.**

°C	GENER												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	4,2	4,2	4,2	4,2	3,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	3,4	4,2	4,2
1:10	4	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,1	3,9	4,0
2:10	3,8	3,8	3,8	3,8	2,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,0	3,8	3,8
3:10	3,5	3,5	3,5	3,5	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	2,8	3,7	3,5
4:10	3,3	3,3	3,3	3,3	2,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	2,7	3,6	3,3
5:10	3,2	3,2	3,2	3,2	2,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	2,7	3,7	3,2
6:10	3	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	3,5	3,0
7:10	3,1	3,1	3,1	3,1	2,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	2,7	3,7	3,1
8:10	4,5	4,7	4,6	4,7	3,6	4,6	4,6	4,5	4,6	5,1	4,4	5,6	4,6
9:10	8,6	10,0	9,0	10,5	8,5	8,9	9,3	8,3	9,5	12,1	8,3	10,8	9,0
10:10	15,2	18,7	16,4	20,1	16,4	16,4	16,7	15,1	17,6	19,3	14,3	19,1	16,3
11:10	20,7	25,1	22,3	27,1	22,4	22,8	21,7	21,4	23,9	22,7	19,2	25,4	21,8
12:10	24,9	29,9	27,0	32,3	26,9	27,9	25,1	27,0	28,8	24,7	23,1	30,2	26,0
13:10	26,8	32,2	28,7	34,7	29,1	29,2	26,6	27,4	30,7	25,5	24,7	31,9	28,1
14:10	25,6	31,0	27,4	33,3	28,0	27,4	25,7	25,3	29,2	25,0	23,7	30,4	27,1
15:10	22,8	27,5	24,3	29,4	24,8	24,0	23,1	21,9	25,8	23,6	21,4	26,8	24,3
16:10	18,6	21,8	19,6	23,1	19,7	19,3	19,0	17,9	20,6	20,9	17,7	21,5	19,7
17:10	10,5	11,0	10,7	11,3	9,9	10,7	10,6	10,6	10,9	12,0	11,3	12,7	10,7
18:10	7,3	7,3	7,3	7,3	6,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	8,3	9,3	7,3
19:10	5,6	5,6	5,6	5,6	4,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	6,2	7,3	5,6
20:10	5,3	5,3	5,3	5,3	4,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,9	7,0	5,3
21:10	5	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,6	6,7	5,0
22:10	4,7	4,7	4,7	4,7	3,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	5,2	6,3	4,7
23:10	4,5	4,5	4,5	4,5	3,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5,0	6,2	4,5



**Taula 58. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de febrer. Font: Elaboració pròpia.**

°C	FEBRER												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	5,5	5,5	5,5	5,5	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,8	6,8	5,5
1:10	5,4	5,4	5,4	5,4	4,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	6,0	7,1	5,4
2:10	5,2	5,2	5,2	5,2	4,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,7	6,7	5,2
3:10	5	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,3	6,4	5,0
4:10	4,8	4,8	4,8	4,8	3,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	5,0	6,1	4,8
5:10	4,6	4,6	4,6	4,6	3,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	5,0	6,1	4,6
6:10	4,4	4,4	4,4	4,4	3,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,9	6,1	4,4
7:10	4,4	4,4	4,4	4,4	3,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	5,0	6,2	4,4
8:10	6,8	7,3	7,0	7,5	6,1	7,0	7,0	6,8	7,1	8,5	7,3	8,9	7,0
9:10	13,1	15,6	14,0	16,7	13,7	14,0	14,1	13,1	14,8	17,2	12,7	16,4	13,9
10:10	18,9	23,0	20,3	24,8	20,4	20,4	20,0	18,9	21,7	21,6	17,6	23,2	20,0
11:10	24,3	29,5	26,3	31,9	26,4	26,8	24,9	25,3	28,1	24,4	22,4	29,5	25,5
12:10	28	34,1	30,1	36,9	30,7	30,4	28,0	28,2	32,2	25,9	25,5	33,4	29,5
13:10	29,6	36,4	31,7	39,3	32,9	31,4	29,4	28,4	34,0	26,5	27,0	35,0	31,6
14:10	29,1	35,5	31,0	38,2	32,1	30,8	28,7	28,0	33,2	26,3	26,7	34,2	30,9
15:10	27	32,6	28,7	34,9	29,5	28,4	26,6	26,0	30,6	25,6	25,1	31,5	28,7
16:10	22,7	26,7	23,9	28,3	24,3	23,5	22,5	21,7	25,2	23,5	21,5	26,0	24,0
17:10	15,4	17,0	16,0	17,8	15,4	16,0	15,5	15,5	16,5	17,9	15,6	18,0	15,9
18:10	9,8	10,2	10,0	10,3	9,1	10,0	10,0	9,9	10,1	10,7	10,6	11,7	10,0
19:10	7,5	7,5	7,5	7,5	6,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	8,2	9,0	7,5
20:10	7,2	7,2	7,2	7,2	6,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	8,1	9,1	7,2
21:10	6,9	6,9	6,9	6,9	5,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	7,7	8,7	6,9
22:10	6,6	6,6	6,6	6,6	5,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	7,0	7,9	6,6
23:10	6,5	6,5	6,5	6,5	5,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	7,1	8,1	6,5

**Taula 59. . Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de març. Font: Elaboració pròpia.**

°C	MARÇ												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	9,7	9,7	9,7	9,7	8,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	10,0	10,5	9,7
1:10	9,6	9,6	9,6	9,6	8,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,9	10,5	9,6
2:10	9,4	9,4	9,4	9,4	8,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,8	10,4	9,4
3:10	9,3	9,3	9,3	9,3	8,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,7	10,4	9,3
4:10	9,1	9,1	9,1	9,1	8,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,6	10,2	9,1
5:10	9	9,0	9,0	9,0	8,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,5	10,2	9,0
6:10	8,9	8,9	8,9	8,9	7,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	9,5	10,2	8,9
7:10	8,9	8,9	8,9	8,9	7,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	9,5	10,2	8,9
8:10	9,8	10,1	9,9	10,2	9,0	9,9	9,9	9,8	10,0	10,7	10,4	11,4	9,9
9:10	15,6	17,1	16,2	17,8	15,5	16,3	15,6	15,9	16,7	18,0	16,0	18,4	16,0
10:10	22,4	25,4	23,6	26,7	23,2	24,0	21,6	23,2	24,6	23,3	22,0	26,1	23,1
11:10	28,9	33,5	30,6	35,6	30,7	30,9	27,0	29,4	32,2	26,6	27,6	33,2	30,1
12:10	33	39,2	34,8	41,8	35,9	34,5	30,5	31,7	36,9	28,0	30,7	37,6	34,8
13:10	35,1	42,3	36,7	45,2	38,8	35,7	32,3	32,1	39,2	28,6	32,4	39,7	37,5
14:10	34,6	42,0	35,9	44,8	38,6	34,4	32,0	30,6	38,3	28,5	31,9	38,6	37,4
15:10	31,5	38,0	32,7	40,4	34,9	31,3	29,7	28,0	34,7	27,5	29,2	34,8	34,0
16:10	28,7	34,3	29,7	36,4	31,6	28,5	27,5	25,6	31,5	26,4	26,6	31,3	31,0
17:10	23,5	27,0	24,1	28,3	25,0	23,4	23,1	21,6	25,2	23,7	21,9	24,5	25,0
18:10	21,2	24,2	21,8	25,3	22,3	21,1	21,0	19,6	22,7	22,2	19,8	22,2	22,4
19:10	15,8	16,9	16,0	17,3	15,6	15,8	15,9	15,2	16,4	17,1	14,8	15,5	16,3
20:10	12,2	12,2	12,2	12,2	11,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	11,5	11,4	12,2
21:10	11,6	11,6	11,6	11,6	10,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,1	11,1	11,6
22:10	11	11,0	11,0	11,0	10,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	10,6	10,7	11,0
23:10	10,3	10,3	10,3	10,3	9,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	9,9	10,1	10,3

**Taula 60. . Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes d'abril. Font: Elaboració pròpia.**

°C	ABRIL												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	12,3	12,3	12,3	12,3	11,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,8	13,1	12,3
1:10	12,2	12,2	12,2	12,2	11,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,7	13,0	12,2
2:10	12,1	12,1	12,1	12,1	11,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,5	12,8	12,1
3:10	12,0	12,0	12,0	12,0	11,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,3	12,6	12,0
4:10	11,9	11,9	11,9	11,9	10,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	12,1	12,4	11,9
5:10	11,9	11,9	11,9	11,9	10,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	12,1	12,4	11,9
6:10	12,1	12,1	12,1	12,1	11,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,3	12,5	12,1
7:10	12,4	12,5	12,4	12,5	11,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,5	12,6	12,8	12,4
8:10	14,6	15,3	14,8	15,6	14,1	14,7	14,6	14,3	15,0	15,8	14,6	15,5	14,8
9:10	20,8	23,0	21,4	23,9	21,2	21,3	20,3	20,3	22,2	21,9	20,4	22,9	21,5
10:10	27,9	32,0	29,0	33,7	29,5	28,6	26,2	26,7	30,4	26,2	26,7	30,9	29,2
11:10	33,9	39,7	35,2	42,1	36,6	34,5	30,7	31,6	37,2	28,6	31,8	37,5	35,8
12:10	37,5	45,5	38,8	48,4	41,9	37,0	33,8	32,9	41,3	29,6	34,7	41,5	40,6
13:10	39,3	49,3	40,0	52,6	45,4	37,3	35,7	32,5	43,0	30,1	35,9	43,0	43,8
14:10	39,3	50,3	39,6	53,7	46,4	36,6	36,1	31,8	42,7	30,2	35,7	42,5	44,7
15:10	38,2	48,4	38,5	51,6	44,7	35,7	35,2	31,2	41,4	29,9	34,6	41,0	43,2
16:10	35,7	44,5	36,0	47,2	41,1	33,7	33,2	29,8	38,6	29,3	32,3	37,6	40,0
17:10	31,9	38,4	32,3	40,4	35,6	30,6	30,1	27,6	34,2	28,1	28,9	32,5	35,0
18:10	27,0	30,6	27,4	31,8	28,5	26,5	25,8	24,7	28,5	25,9	25,0	27,0	28,5
19:10	21,8	23,2	22,1	23,7	21,8	21,8	21,4	21,1	22,5	22,3	20,8	21,2	22,4
20:10	18,0	18,2	18,1	18,2	17,1	18,0	18,0	18,0	18,1	18,2	17,3	16,8	18,1
21:10	16,7	16,7	16,7	16,7	15,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	17,0	16,8	16,7
22:10	15,5	15,5	15,5	15,5	14,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	16,1	16,2	15,5
23:10	14,5	14,5	14,5	14,5	13,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,7	14,6	14,5

**Taula 61. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de maig. Font: Elaboració pròpia.**

°C	MAIG												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	16,4	16,4	16,4	16,4	15,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	15,7	15,2	16,4
1:10	16,3	16,3	16,3	16,3	15,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	15,6	15,1	16,3
2:10	16	16,0	16,0	16,0	15,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,4	15,0	16,0
3:10	15,7	15,7	15,7	15,7	14,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,3	14,9	15,7
4:10	15,4	15,4	15,4	15,4	14,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,1	14,8	15,4
5:10	15,3	15,3	15,3	15,3	14,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,2	15,0	15,3
6:10	16	16,0	16,0	16,0	15,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,9	15,7	16,0
7:10	17,3	17,5	17,3	17,6	16,4	17,3	17,2	17,2	17,4	17,6	17,2	17,0	17,4
8:10	20,5	21,8	20,8	22,3	20,4	20,6	20,2	20,0	21,2	21,2	20,0	20,8	21,0
9:10	26,3	29,5	26,8	30,6	27,5	26,1	25,2	24,5	27,8	25,5	24,7	26,6	27,7
10:10	31,3	36,3	31,7	37,9	33,8	30,4	29,2	28,1	33,2	28,2	28,9	31,6	33,5
11:10	36,5	43,9	36,9	46,2	40,9	34,9	33,2	31,6	39,0	30,2	33,5	37,4	40,1
12:10	41,1	51,4	41,2	54,5	47,7	38,5	36,5	34,1	44,2	31,3	37,6	43,3	46,2
13:10	43	54,5	42,9	57,9	50,6	39,9	37,8	35,1	46,1	31,8	39,2	45,5	48,9
14:10	43,2	54,9	42,8	58,3	51,0	39,8	37,9	35,1	46,0	31,9	39,2	45,2	49,3
15:10	42,2	53,8	41,9	57,1	50,0	39,0	37,5	34,5	45,0	31,8	38,3	43,9	48,4
16:10	39,7	49,9	39,4	52,7	46,4	36,9	35,9	33,0	42,1	31,3	35,7	40,1	45,2
17:10	36	43,8	35,7	45,9	40,9	33,8	33,3	30,8	37,8	30,3	31,8	34,6	40,2
18:10	30,5	35,3	30,5	36,6	33,1	29,3	29,1	27,4	31,8	28,1	26,7	27,8	33,0
19:10	24,7	26,5	24,8	27,0	25,0	24,3	24,3	23,5	25,3	24,5	21,5	20,8	25,6
20:10	21,1	21,4	21,1	21,4	20,3	21,0	21,0	20,9	21,2	21,2	18,4	16,9	21,2
21:10	19,7	19,7	19,7	19,7	18,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	17,5	16,1	19,7
22:10	18,7	18,7	18,7	18,7	17,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	16,8	15,6	18,7
23:10	17,8	17,8	17,8	17,8	16,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	16,2	15,1	17,8

**Taula 62. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de juny. Font: Elaboració pròpia.**

°C	JUNY												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	22,4	22,4	22,4	22,4	21,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,7	21,8	22,4
1:10	22,5	22,5	22,5	22,5	21,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	23,4	22,7	22,5
2:10	22,5	22,5	22,5	22,5	21,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	23,8	23,3	22,5
3:10	21,8	21,8	21,8	21,8	20,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	23,2	22,8	21,8
4:10	21,2	21,2	21,2	21,2	20,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	22,4	22,0	21,2
5:10	21,1	21,1	21,1	21,1	20,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	22,1	21,6	21,1
6:10	21,9	21,9	21,9	21,9	20,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	23,3	23,0	21,9
7:10	23,1	23,3	23,2	23,4	22,2	23,2	22,9	23,1	23,2	23,2	24,2	24,0	23,2
8:10	25,3	26,1	25,6	26,5	24,8	25,6	24,6	25,2	25,9	25,2	26,1	26,4	25,6
9:10	31,6	34,1	32,4	35,2	32,1	32,5	28,9	31,5	33,3	29,0	31,7	33,9	32,3
10:10	37,9	42,1	39,1	43,9	39,5	38,8	32,8	36,9	40,5	31,2	36,9	40,7	39,0
11:10	42,7	48,4	44,0	50,8	45,3	43,3	35,6	40,5	46,0	32,5	40,9	45,9	44,5
12:10	46,3	53,7	47,6	56,6	50,2	46,2	37,6	42,3	50,1	33,2	43,8	49,9	48,9
13:10	49,7	58,8	50,8	62,2	54,9	48,6	39,4	43,8	53,8	33,8	46,6	53,6	53,2
14:10	51,2	61,0	52,1	64,5	56,9	49,6	40,2	44,6	55,2	34,3	48,1	54,9	55,2
15:10	49,7	58,9	50,6	62,2	55,0	48,2	39,5	43,6	53,5	34,2	46,7	53,1	53,5
16:10	46,2	53,9	47,0	56,6	50,5	45,0	38,0	41,1	49,4	33,8	43,6	48,5	49,4
17:10	38,7	42,7	39,2	44,2	40,5	38,2	34,5	36,2	40,5	32,8	37,2	38,8	40,4
18:10	33,1	35,2	33,6	36,1	33,5	33,3	30,7	32,2	34,3	30,4	32,9	33,9	33,8
19:10	26,5	27,3	26,7	27,6	26,0	26,6	25,9	26,3	27,0	26,3	26,8	26,5	26,8
20:10	24,3	24,6	24,4	24,7	23,5	24,3	24,1	24,2	24,5	24,3	24,6	24,0	24,4
21:10	23	23,1	23,0	23,1	22,1	23,0	22,9	23,0	23,1	23,0	24,1	23,5	23,0
22:10	21,9	21,9	21,9	21,9	20,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	22,7	22,1	21,9
23:10	22,7	22,7	22,7	22,7	21,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	23,5	22,8	22,7

**Taula 63. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de juliol. Font: Elaboració pròpia.**

°C	JULIOL												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	23,7	23,7	23,7	23,7	22,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,3	22,0	23,7
1:10	23,4	23,4	23,4	23,4	22,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,1	21,9	23,4
2:10	23,1	23,1	23,1	23,1	22,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	22,9	21,7	23,1
3:10	22,8	22,8	22,8	22,8	21,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	21,7	22,8
4:10	22,6	22,6	22,6	22,6	21,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	21,7	22,6
5:10	22,7	22,7	22,7	22,7	21,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,9	22,0	22,7
6:10	23,4	23,4	23,4	23,4	22,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	24,4	23,7	23,4
7:10	24,7	24,9	24,8	25,0	23,8	24,8	24,5	24,7	24,8	24,7	26,2	25,8	24,8
8:10	27,7	28,6	28,0	29,0	27,2	28,0	26,7	27,7	28,3	27,1	28,7	29,0	27,9
9:10	34,2	36,6	35,1	37,7	34,7	35,2	31,0	34,4	35,9	30,7	34,6	36,4	34,8
10:10	41,2	45,3	42,4	47,1	42,7	42,3	35,0	40,5	43,8	33,0	40,4	43,9	42,3
11:10	47,2	53,4	48,4	55,9	50,2	47,4	38,2	44,3	50,5	34,4	45,3	50,1	49,2
12:10	51	58,7	52,1	61,8	55,1	50,5	39,7	46,4	54,8	34,8	48,3	54,3	53,7
13:10	53,1	62,4	54,0	65,8	58,5	51,7	40,8	46,8	57,0	35,2	50,1	56,6	56,8
14:10	53,6	63,7	54,2	67,2	59,7	51,4	41,2	46,4	57,3	35,4	50,4	56,9	57,9
15:10	52,6	62,0	53,3	65,3	58,1	50,8	40,7	46,0	56,3	35,3	49,6	55,7	56,5
16:10	49,5	57,9	50,1	60,8	54,5	47,8	39,7	43,7	52,7	35,1	46,8	51,6	53,2
17:10	45,3	52,2	45,6	54,5	49,3	43,8	38,3	40,5	47,7	34,8	42,6	45,6	48,6
18:10	40,7	45,0	41,0	46,5	42,8	39,8	36,1	37,7	42,3	34,1	38,7	39,9	42,6
19:10	35,9	37,9	36,1	38,6	36,3	35,6	33,7	34,6	36,8	33,0	34,7	34,2	36,8
20:10	31,9	32,3	32,0	32,5	31,2	31,8	31,4	31,6	32,1	31,3	31,3	29,6	32,1
21:10	29,2	29,4	29,3	29,4	28,4	29,3	29,2	29,2	29,3	29,2	29,0	27,3	29,3
22:10	27,1	27,1	27,1	27,1	26,1	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	26,7	25,1	27,1
23:10	25,4	25,4	25,4	25,4	24,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	24,8	23,3	25,4

**Taula 64. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes d'agost. Font: Elaboració pròpia.**

°C	AGOST												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	25	25,0	25,0	25,0	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	26,0	25,1	25,0
1:10	24,8	24,8	24,8	24,8	23,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	25,5	24,5	24,8
2:10	24,5	24,5	24,5	24,5	23,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,8	23,7	24,5
3:10	23,6	23,6	23,6	23,6	22,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	24,1	23,3	23,6
4:10	22,7	22,7	22,7	22,7	21,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,6	21,6	22,7
5:10	22	22,0	22,0	22,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	21,4	20,2	22,0
6:10	22,2	22,2	22,2	22,2	21,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	21,9	20,8	22,2
7:10	22,8	22,8	22,8	22,8	21,8	22,7	22,7	22,7	22,8	22,8	22,6	21,7	22,8
8:10	24,7	25,3	24,9	25,5	24,1	24,8	24,4	24,5	25,0	24,7	24,7	24,2	25,0
9:10	28,8	30,2	29,1	30,7	28,7	28,9	27,7	28,3	29,6	27,9	28,7	28,7	29,3
10:10	36	39,6	36,7	41,0	37,5	35,9	32,4	34,1	37,8	31,3	34,9	36,9	37,4
11:10	43,4	49,7	44,2	52,0	46,7	42,6	36,6	39,4	46,2	33,3	41,2	45,3	45,9
12:10	45,3	52,8	46,0	55,4	49,5	44,1	37,6	40,3	48,3	33,7	42,8	47,3	48,5
13:10	48,4	58,4	48,7	61,6	54,6	45,9	39,4	41,3	51,7	34,1	45,2	50,8	53,1
14:10	47,3	57,6	47,0	60,7	54,0	44,3	39,3	40,0	50,0	34,2	43,6	48,5	52,6
15:10	47,1	57,5	47,0	60,6	53,8	44,2	39,1	39,8	49,9	34,0	43,5	48,6	52,4
16:10	44,2	53,2	44,1	55,8	49,9	41,7	37,8	38,0	46,6	33,6	40,7	44,5	48,8
17:10	39,5	45,8	39,5	47,7	43,2	37,8	35,3	35,2	41,2	32,7	36,0	37,9	42,7
18:10	34,3	37,7	34,6	38,8	35,8	33,7	31,9	32,2	35,6	31,0	32,2	32,8	35,9
19:10	29,6	31,0	29,8	31,5	29,6	29,4	28,5	28,7	30,2	28,5	28,4	28,0	30,2
20:10	25,7	26,0	25,8	26,1	24,9	25,7	25,6	25,6	25,8	25,7	24,5	23,1	25,9
21:10	24,1	24,1	24,1	24,1	23,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	23,8	22,5	24,1
22:10	23,8	23,8	23,8	23,8	22,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	24,9	24,1	23,8
23:10	21,8	21,8	21,8	21,8	20,8	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	22,4	21,8	21,8

**Taula 65. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de setembre. Font: Elaboració pròpia.**

°C	SETEMBRE												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
<b>0:10</b>	21,4	21,4	21,4	21,4	20,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	22,3	21,8	21,4
<b>1:10</b>	21,2	21,2	21,2	21,2	20,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	22,9	22,6	21,2
<b>2:10</b>	21	21,0	21,0	21,0	20,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	22,3	22,0	21,0
<b>3:10</b>	20,6	20,6	20,6	20,6	19,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	22,1	21,8	20,6
<b>4:10</b>	20,2	20,2	20,2	20,2	19,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	21,5	21,3	20,2
<b>5:10</b>	19,9	19,9	19,9	19,9	18,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	21,0	20,7	19,9
<b>6:10</b>	19,9	19,9	19,9	19,9	18,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	21,0	20,7	19,9
<b>7:10</b>	19,9	19,9	19,9	19,9	18,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	20,7	20,3	19,9
<b>8:10</b>	21,2	21,6	21,3	21,8	20,5	21,3	21,0	21,1	21,5	21,5	21,7	21,6	21,4
<b>9:10</b>	24,7	25,8	25,0	26,2	24,4	25,0	23,9	24,5	25,4	24,6	25,3	26,0	25,0
<b>10:10</b>	28,3	30,0	28,8	30,7	28,3	28,8	26,6	28,2	29,4	27,2	28,7	30,0	28,7
<b>11:10</b>	36,6	40,5	37,8	42,3	38,0	37,9	31,9	36,3	39,2	30,6	35,8	39,6	37,5
<b>12:10</b>	43,9	50,5	45,3	53,3	47,1	44,5	36,2	41,1	47,6	32,3	41,6	47,6	45,9
<b>13:10</b>	44,8	52,8	45,7	55,6	49,3	43,7	37,2	39,6	48,2	32,8	42,1	47,7	48,0
<b>14:10</b>	45,6	54,9	45,9	57,9	51,3	43,4	38,1	39,1	48,7	33,3	42,4	47,8	49,9
<b>15:10</b>	44,8	54,5	45,0	57,5	51,0	42,3	38,0	38,1	47,8	33,1	41,5	46,5	49,6
<b>16:10</b>	41,6	49,9	41,4	52,4	46,8	39,2	36,4	35,7	43,8	32,6	37,9	41,4	45,9
<b>17:10</b>	37,7	44,2	37,6	46,0	41,6	36,0	34,3	33,4	39,4	31,8	33,9	35,6	41,2
<b>18:10</b>	31,7	34,8	31,9	35,8	33,0	31,1	30,0	29,7	32,8	29,5	29,0	29,2	33,3
<b>19:10</b>	26,8	27,6	26,8	27,9	26,4	26,6	26,3	26,2	27,1	26,4	24,8	23,7	27,2
<b>20:10</b>	23,9	23,9	23,9	23,9	22,9	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9	22,8	21,2	23,9
<b>21:10</b>	23	23,0	23,0	23,0	22,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	22,0	23,0
<b>22:10</b>	22	22,0	22,0	22,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,5	21,8	22,0
<b>23:10</b>	21,2	21,2	21,2	21,2	20,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,3	20,5	21,2



**Taula 66. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes d'octubre. Font: Elaboració pròpia.**

°C	OCTUBRE												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	13,3	13,3	13,3	13,3	12,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	14,2	14,5	13,3
1:10	13,2	13,2	13,2	13,2	12,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	14,1	14,4	13,2
2:10	13	13,0	13,0	13,0	12,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,8	14,2	13,0
3:10	12,8	12,8	12,8	12,8	11,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	13,6	14,0	12,8
4:10	12,6	12,6	12,6	12,6	11,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	13,5	13,9	12,6
5:10	12,4	12,4	12,4	12,4	11,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	13,2	13,7	12,4
6:10	12,3	12,3	12,3	12,3	11,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	13,1	13,5	12,3
7:10	12,2	12,2	12,2	12,2	11,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	13,0	13,4	12,2
8:10	12,7	12,8	12,8	12,9	11,8	12,8	12,7	12,7	12,8	13,0	13,5	14,1	12,8
9:10	18,1	19,5	18,6	20,1	17,9	18,7	17,8	18,2	19,1	19,7	18,6	20,5	18,5
10:10	24,2	26,9	25,2	28,2	24,8	25,6	22,9	24,8	26,2	24,3	24,0	27,6	24,8
11:10	30,3	34,5	31,8	36,4	31,8	32,2	27,7	30,9	33,3	27,3	29,2	34,3	31,2
12:10	34,4	40,1	36,1	42,6	36,9	36,0	30,9	33,6	38,1	28,6	32,4	38,8	35,9
13:10	35,6	42,1	37,2	44,8	38,8	36,4	32,0	33,2	39,4	29,0	33,3	39,8	37,7
14:10	35,6	42,5	36,9	45,1	39,1	35,6	32,2	32,0	39,1	29,1	33,1	39,3	38,0
15:10	32,9	39,1	34,1	41,4	36,1	33,0	30,3	29,8	36,1	28,2	30,8	36,2	35,2
16:10	29,3	34,3	30,3	36,1	31,6	29,3	27,6	26,8	31,9	26,8	27,5	31,8	31,2
17:10	25,3	28,8	26,1	30,1	26,7	25,4	24,3	23,7	27,2	24,9	24,1	27,0	26,6
18:10	19,9	21,2	20,3	21,8	19,8	20,2	19,5	19,6	20,7	20,9	19,9	21,2	20,4
19:10	15,8	15,8	15,8	15,8	14,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	16,8	17,0	15,8
20:10	14,8	14,8	14,8	14,8	13,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	16,3	16,7	14,8
21:10	14,8	14,8	14,8	14,8	13,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	16,7	17,2	14,8
22:10	14,7	14,7	14,7	14,7	13,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	16,7	17,3	14,7
23:10	14,6	14,6	14,6	14,6	13,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	16,3	16,8	14,6

**Taula 67. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de novembre. Font: Elaboració pròpia.**

°C	NOVEMBRE												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	12	12,0	12,0	12,0	11,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,3	12,6	12,0
1:10	11,7	11,7	11,7	11,7	10,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	12,0	12,2	11,7
2:10	11,3	11,3	11,3	11,3	10,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,6	12,0	11,3
3:10	11	11,0	11,0	11,0	10,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,3	11,7	11,0
4:10	10,8	10,8	10,8	10,8	9,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	11,0	11,4	10,8
5:10	10,4	10,4	10,4	10,4	9,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,5	10,9	10,4
6:10	10	10,0	10,0	10,0	9,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,4	10,0
7:10	9,6	9,6	9,6	9,6	8,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,4	9,8	9,6
8:10	9,9	10,1	10,0	10,1	9,0	9,9	10,0	9,9	10,0	10,3	9,7	10,2	10,0
9:10	16	18,0	16,6	18,8	16,4	16,3	16,3	15,4	17,2	18,4	15,4	17,7	16,8
10:10	22,4	26,3	23,4	27,8	23,9	22,9	22,2	21,0	24,6	23,2	21,1	25,1	23,7
11:10	28,1	33,8	29,4	36,0	30,9	28,5	27,2	25,7	31,3	26,1	26,2	31,7	30,2
12:10	32,1	38,8	33,6	41,5	35,5	32,5	30,3	29,2	35,8	27,6	29,6	36,3	34,4
13:10	34,4	41,6	36,0	44,4	38,1	35,0	31,9	31,4	38,4	28,4	31,8	38,9	36,8
14:10	35,3	42,7	36,8	45,6	39,2	35,5	32,4	31,7	39,2	28,7	32,6	39,6	37,9
15:10	33,8	40,6	35,3	43,2	37,3	34,1	31,2	30,7	37,5	28,3	31,4	37,8	36,2
16:10	30,6	36,0	31,8	38,1	33,2	30,9	28,6	28,2	33,6	27,3	28,8	33,8	32,5
17:10	26	29,6	26,9	31,0	27,4	26,3	24,8	24,5	28,0	25,3	24,9	28,1	27,3
18:10	19,4	20,8	19,8	21,4	19,3	19,7	19,0	19,1	20,3	20,5	19,4	20,9	19,8
19:10	14	14,0	14,0	14,0	13,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	15,0	15,3	14,0
20:10	12,3	12,3	12,3	12,3	11,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	13,2	13,6	12,3
21:10	12,2	12,2	12,2	12,2	11,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,9	13,4	12,2
22:10	12,2	12,2	12,2	12,2	11,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,7	13,1	12,2
23:10	12,1	12,1	12,1	12,1	11,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,4	12,6	12,1

**Taula 68. Càlcul de la temperatura amb els 12 models pel mes de desembre. Font: Elaboració pròpia.**

°C	DESEMBRE												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
<b>0:10</b>	8,1	8,1	8,1	8,1	7,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,8	9,7	8,1
<b>1:10</b>	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,8	9,7	8,0
<b>2:10</b>	7,9	7,9	7,9	7,9	6,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	8,9	9,8	7,9
<b>3:10</b>	7,8	7,8	7,8	7,8	6,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	8,9	9,9	7,8
<b>4:10</b>	7,7	7,7	7,7	7,7	6,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	8,8	9,8	7,7
<b>5:10</b>	7,6	7,6	7,6	7,6	6,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	8,5	9,5	7,6
<b>6:10</b>	7,5	7,5	7,5	7,5	6,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	8,4	9,4	7,5
<b>7:10</b>	7,6	7,6	7,6	7,6	6,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	8,5	9,4	7,6
<b>8:10</b>	8,9	9,0	8,9	9,1	8,0	8,9	8,9	8,9	9,0	9,4	9,8	10,8	8,9
<b>9:10</b>	12,8	14,1	13,3	14,7	12,6	13,4	13,1	13,0	13,8	15,6	13,2	15,5	13,2
<b>10:10</b>	19,3	22,5	20,5	23,9	20,2	20,8	19,5	19,8	21,6	21,6	18,6	23,2	20,1
<b>11:10</b>	23,7	27,8	25,3	29,8	25,2	26,0	23,4	24,9	26,8	24,2	22,6	28,3	24,6
<b>12:10</b>	26,6	31,4	28,4	33,6	28,5	29,0	25,8	27,6	30,1	25,5	25,1	31,4	27,8
<b>13:10</b>	27,4	32,4	29,0	34,6	29,5	29,1	26,4	27,1	30,8	25,8	25,7	31,8	28,8
<b>14:10</b>	25,5	30,1	27,0	32,0	27,4	26,9	24,8	25,0	28,5	24,9	24,1	29,5	26,8
<b>15:10</b>	22,1	25,8	23,3	27,3	23,5	23,2	21,9	21,6	24,5	23,2	21,2	25,5	23,3
<b>16:10</b>	17,0	18,8	17,6	19,6	17,2	17,5	17,0	16,7	18,2	19,1	16,8	19,2	17,6
<b>17:10</b>	11,5	11,7	11,6	11,7	10,6	11,6	11,5	11,5	11,6	12,0	12,5	13,4	11,6
<b>18:10</b>	9,7	9,7	9,7	9,7	8,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	11,0	11,9	9,7
<b>19:10</b>	8,6	8,6	8,6	8,6	7,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	9,4	10,3	8,6
<b>20:10</b>	8,4	8,4	8,4	8,4	7,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	9,2	10,0	8,4
<b>21:10</b>	8,2	8,2	8,2	8,2	7,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,9	9,7	8,2
<b>22:10</b>	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,6	9,4	8,0
<b>23:10</b>	7,8	7,8	7,8	7,8	6,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	8,4	9,2	7,8

Com s'ha anat veient a tots els gràfics i a totes les taules, tots els models presenten certes similituds, el que significa que tots ells tenen un raonament i una precisió. Ara bé, si es mira al detall es pot veure com alguns models són més exactes que d'altres, ja sigui per les dades que utilitza o per la tipologia d'instal·lació, es presenten tot seguit els errors dels models respecte la temperatura real de les cèl·lules fotovoltaïques.

**Taula 69. Error dels 12 models per cada mes. Font: Elaboració pròpia.**

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
<b>GENER</b>	7%	2%	10%	18%	3%	1%	1%	5%	5%	11%	20%	2%
<b>FEBRER</b>	8%	3%	11%	14%	3%	1%	1%	5%	6%	8%	25%	2%
<b>MARÇ</b>	7%	2%	10%	9%	1%	2%	3%	4%	5%	5%	10%	3%
<b>ABRIL</b>	9%	1%	12%	9%	2%	3%	5%	4%	7%	4%	6%	4%
<b>MAIG</b>	10%	0%	13%	9%	2%	4%	6%	3%	8%	7%	7%	5%
<b>JUNY</b>	6%	1%	8%	5%	1%	7%	3%	3%	9%	4%	4%	2%
<b>JULIOL</b>	6%	1%	9%	5%	1%	8%	4%	3%	11%	3%	5%	2%
<b>AGOST</b>	7%	0%	9%	6%	1%	6%	5%	2%	9%	4%	4%	3%
<b>SETEMBRE</b>	6%	1%	8%	6%	1%	5%	3%	2%	7%	5%	5%	3%
<b>OCTUBRE</b>	6%	2%	8%	7%	1%	3%	2%	4%	4%	7%	11%	2%
<b>NOVEMBRE</b>	7%	2%	10%	8%	1%	2%	3%	4%	5%	4%	8%	3%
<b>DESEMBRE</b>	5%	2%	8%	10%	2%	1%	1%	4%	3%	9%	20%	1%
<b>TOTAL</b>	<b>7%</b>	<b>1%</b>	<b>10%</b>	<b>9%</b>	<b>2%</b>	<b>4%</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>7%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>3%</b>

Es pot veure que són varis els models que, per a aquesta instal·lació que té ben monitoritzades les variables de temperatura ambient, temperatura del mòdul, velocitat del vent i irradiància, són fiables i precisos. Es poden veure errors anuals de només el 2% i el 3% prenen dies de cada mes. En canvi sí que és cert que alguns models, per aquest cas, perden precisió.

### C.2. Instal·lació 3

En aquest cas, només es disposa de dades reals de la temperatura dels panells pels mesos de maig, juny, juliol i agost. Per tant els models de càlcul s'aplicaran per 4 dies en total, un per cada mes.

Els paràmetres constants per aquesta instal·lació són els següents.

**Taula 70. Paràmetres constants pel càlcul de la temperatura del panell amb els 12 models.**  
*Font: Elaboració pròpia.*

<b>Temperatura d'operació (<math>T_{onc}</math>)</b>	44,6 °C
<b>Temperatura ambient d'operació (<math>T_{aonc}</math>)</b>	20 °C
<b>Temperatura de laboratori (<math>T_{stc}</math>)</b>	25 °C
<b>Irradiància d'operació</b>	800 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocitat del vent a laboratori (<math>V_{stc}</math>)</b>	1 m/s
<b>Coeficient SANDIA (a)</b>	-3,56
<b>Coeficient SANDIA (b)</b>	-0,075
<b>Transmitància del sistema · Coeficient d'absorció (<math>\tau \cdot \alpha</math>)</b>	0,9
<b>Coeficient de temperatura de màxima potència (<math>\beta</math>)</b>	0,36
<b>Rendiment (<math>\eta</math>)</b>	17,4 %

**Taula 71. Temperatura dels panells de la instal·lació 3 amb els 12 models el mes de maig.**  
**Font: Elaboració pròpia.**

°C	MAIG												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	14,0	17,0	17,0	17,0	16,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	18,3	18,4	17,0
1:10	14,0	16,0	16,0	16,0	15,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	17,3	17,5	16,0
2:10	13,0	15,0	15,0	15,0	14,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	16,2	16,4	15,0
3:10	13,0	15,0	15,0	15,0	14,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	16,2	16,4	15,0
4:10	13,0	16,0	16,0	16,0	15,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	17,2	17,4	16,0
5:10	15,0	16,0	16,0	16,0	15,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	17,5	17,7	16,0
6:10	13,0	15,0	15,0	15,0	14,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	17,2	17,8	15,0
7:10	13,0	15,5	15,5	15,6	14,5	15,5	15,3	15,5	15,5	15,8	17,6	18,4	15,4
8:10	13,0	16,2	16,1	16,4	15,1	16,1	15,7	16,1	16,2	16,6	17,6	18,5	16,0
9:10	15,0	19,0	18,8	19,3	17,8	18,9	18,2	18,8	18,9	19,3	20,1	21,1	18,6
10:10	22,0	23,9	23,5	24,3	22,6	23,7	22,4	23,6	23,8	23,4	24,8	25,7	23,3
11:10	30,0	35,9	34,2	37,7	33,8	34,8	28,9	33,8	35,4	28,8	32,6	36,4	33,4
12:10	38,0	45,5	42,3	48,2	42,8	42,4	33,6	40,0	44,1	31,2	39,1	44,5	41,7
13:10	35,0	52,4	47,6	56,0	49,0	47,4	36,3	43,7	50,2	31,9	42,9	50,4	47,2
14:10	34,0	54,0	49,1	57,9	50,5	49,0	36,9	45,2	51,8	32,0	43,9	52,0	48,6
15:10	47,0	52,1	47,7	55,3	49,1	47,2	36,6	43,7	50,0	32,7	43,9	50,0	47,6
16:10	33,0	54,2	48,6	58,2	50,7	47,8	37,0	43,3	51,4	31,9	43,6	51,6	48,7
17:10	24,0	46,3	41,1	49,8	43,1	40,2	33,6	36,0	43,6	29,8	36,5	44,0	41,4
18:10	24,0	38,3	35,2	40,7	35,8	35,1	29,6	32,7	36,9	28,6	32,4	37,5	35,0
19:10	34,0	30,6	30,0	31,2	29,1	30,4	27,8	30,2	30,4	28,3	31,1	32,0	29,7
20:10	18,0	18,7	18,5	19,0	17,6	18,6	18,0	18,4	18,6	19,0	19,7	20,5	18,4
21:10	15,0	17,0	17,0	17,0	16,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	18,6	18,8	17,0
22:10	13,0	15,0	15,0	15,0	14,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	16,5	16,9	15,0
23:10	12,0	14,0	14,0	14,0	13,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	15,1	15,4	14,0

**Taula 72. Temperatura dels panells de la instal·lació 3 amb els 12 models el mes de juny. Font: Elaboració pròpia.**

°C	JUNY												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	23	24,0	24,0	24,0	23,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	26,0	25,6	24,0
1:10	23	25,0	25,0	25,0	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	26,8	26,2	25,0
2:10	22	24,0	24,0	24,0	23,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	25,8	25,3	24,0
3:10	23	25,0	25,0	25,0	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	26,8	26,2	25,0
4:10	21	23,0	23,0	23,0	22,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	24,9	24,5	23,0
5:10	24	25,0	25,0	25,0	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	27,2	26,7	25,0
6:10	24	26,0	26,0	26,0	25,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	28,8	28,4	26,0
7:10	26	27,9	27,8	28,1	26,8	27,9	27,3	27,9	27,9	27,5	30,1	29,9	27,7
8:10	26	28,7	28,4	28,9	27,5	28,3	27,6	28,1	28,5	27,8	29,3	28,8	28,3
9:10	27	30,6	30,0	31,0	29,4	29,9	28,9	29,5	30,3	29,0	30,2	29,7	30,1
10:10	30	31,8	30,9	32,3	30,5	30,7	29,3	30,1	31,3	29,4	30,7	30,5	31,1
11:10	39	45,3	42,3	47,0	43,2	41,5	36,0	39,3	43,6	33,9	40,6	42,5	42,9
12:10	45	52,1	47,5	54,6	49,5	46,2	38,0	42,9	49,4	34,6	44,8	48,4	48,6
13:10	50	59,0	53,4	62,1	55,9	51,9	40,1	47,8	55,8	35,5	50,0	55,1	54,5
14:10	53	62,6	57,8	66,2	59,2	57,6	40,8	53,9	60,4	35,5	53,4	60,0	57,4
15:10	54	65,1	61,1	69,0	61,6	62,0	41,5	59,4	63,7	35,8	56,0	63,2	59,6
16:10	56	67,2	63,4	71,3	63,6	65,0	42,0	63,0	66,1	36,1	57,9	65,5	61,5
17:10	37	37,0	36,4	37,7	35,6	36,7	33,3	36,4	36,9	32,8	37,4	37,9	36,1
18:10	28	30,4	30,0	30,8	29,1	30,3	28,2	30,3	30,3	28,6	31,6	32,1	29,7
19:10	25	27,1	27,0	27,3	26,0	27,1	26,4	27,1	27,1	26,7	29,1	28,9	26,9
20:10	26	28,1	28,0	28,3	27,0	28,1	27,4	28,1	28,1	27,6	30,2	30,0	27,9
21:10	24	25,7	25,6	25,8	24,6	25,6	25,3	25,6	25,7	25,5	27,7	27,5	25,5
22:10	21	24,0	24,0	24,0	23,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	26,4	26,1	24,0
23:10	19	22,0	22,0	22,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	24,1	24,0	22,0

**Taula 73. Temperatura dels panells de la instal·lació 3 amb els 12 models el mes de juliol.**  
**Font: Elaboració pròpia.**

°C	JULIOL												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	22	24,0	24,0	24,0	23,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	25,7	25,1	24,0
1:10	20	23,0	23,0	23,0	22,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	24,6	24,1	23,0
2:10	20	22,0	22,0	22,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	23,6	23,3	22,0
3:10	19	22,0	22,0	22,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	23,8	23,5	22,0
4:10	20	22,0	22,0	22,0	21,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	23,8	23,5	22,0
5:10	21	23,0	23,0	23,0	22,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	24,8	24,4	23,0
6:10	21	23,0	23,0	23,0	22,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	25,1	24,8	23,0
7:10	21	23,5	23,5	23,6	22,5	23,5	23,2	23,5	23,5	23,4	25,7	25,7	23,4
8:10	22	25,1	25,0	25,2	24,0	25,1	24,5	25,1	25,1	24,8	27,3	27,5	24,9
9:10	23	26,8	26,7	27,1	25,7	26,9	25,7	27,0	26,8	26,2	28,9	29,2	26,5
10:10	29	34,1	33,7	34,7	32,8	34,1	31,3	34,1	34,1	31,2	35,2	35,7	33,3
11:10	38	44,1	42,9	45,7	42,1	43,8	35,7	43,6	43,9	34,0	42,3	44,7	42,0
12:10	46	52,9	50,2	55,4	50,3	50,6	38,6	48,7	51,9	35,1	47,7	51,8	49,4
13:10	52	61,0	57,3	64,2	57,9	57,6	41,2	54,8	59,5	36,3	53,7	59,1	56,5
14:10	55	66,1	61,8	69,8	62,6	62,3	42,2	59,2	64,4	36,5	57,2	63,8	60,8
15:10	57	69,0	64,1	72,9	65,5	64,0	43,1	60,2	66,8	37,2	59,5	66,1	63,6
16:10	54	66,5	61,7	70,3	63,0	61,6	42,2	57,9	64,3	36,5	57,1	63,8	61,1
17:10	51	62,8	58,9	66,2	59,6	59,3	41,4	56,5	61,2	36,2	54,8	60,8	58,0
18:10	48	56,3	53,6	59,0	53,6	54,4	40,1	52,8	55,4	35,9	50,8	55,3	52,6
19:10	42	47,8	45,9	49,6	45,7	46,3	37,6	45,0	47,1	35,1	44,8	47,3	45,3
20:10	33	34,5	34,0	35,0	33,2	34,2	32,0	33,9	34,3	31,8	35,3	35,3	33,8
21:10	25	26,3	26,3	26,4	25,3	26,3	26,1	26,3	26,3	26,2	28,6	28,2	26,3
22:10	23	25,0	25,0	25,0	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	27,5	27,1	25,0
23:10	22	24,0	24,0	24,0	23,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	26,3	26,0	24,0



**Taula 74. Temperatura dels panells de la instal·lació 3 amb els 12 models el mes d'agost. Font: Elaboració pròpia.**

°C	AGOST												
	Treal	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
0:10	19	19	19	19	18	19	19	19	19	19	20,6	20,6	19
1:10	20	19,0	19,0	19,0	18,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	20,5	20,4	19,0
2:10	20	17,0	17,0	17,0	16,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	18,4	18,5	17,0
3:10	20	17,0	17,0	17,0	16,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	18,4	18,5	17,0
4:10	20	18,0	18,0	18,0	17,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	19,5	19,5	18,0
5:10	20	18,0	18,0	18,0	17,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	19,5	19,5	18,0
6:10	21	17,0	17,0	17,0	16,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	18,8	19,1	17,0
7:10	21	18,1	18,1	18,1	17,1	18,1	18,0	18,1	18,1	18,1	20,0	20,3	18,0
8:10	21	20,0	19,9	20,2	18,9	20,0	19,5	20,0	20,0	20,1	21,9	22,4	19,8
9:10	24	21,8	21,6	22,1	20,7	21,6	21,0	21,5	21,8	21,7	22,8	23,3	21,5
10:10	27	29,0	28,1	29,7	27,6	28,0	26,2	27,2	28,6	26,8	28,0	28,8	28,1
11:10	32	41,3	38,3	43,1	39,1	37,6	32,6	35,3	39,6	31,3	36,3	39,1	38,7
12:10	44	37,1	34,7	38,5	35,2	34,1	30,7	32,3	35,7	30,2	33,1	35,0	35,1
13:10	50	53,6	47,8	56,9	50,5	46,2	37,2	42,0	50,2	33,1	44,1	49,9	49,0
14:10	58	53,4	48,8	56,2	50,6	47,7	38,0	44,2	50,9	34,2	45,7	50,3	49,4
15:10	40	54,2	48,0	57,7	50,9	46,5	37,3	41,9	50,7	32,8	44,1	50,5	49,3
16:10	43	25,9	25,2	26,3	24,6	25,1	24,3	24,6	25,5	24,9	25,2	25,2	25,3
17:10	54	26,0	25,2	26,6	24,6	25,1	23,9	24,5	25,6	24,7	25,1	25,7	25,2
18:10	30	46,8	43,6	49,4	44,1	43,6	34,6	41,2	45,4	32,0	40,7	45,6	43,2
19:10	26	29,2	28,6	29,8	27,8	28,7	26,7	28,2	29,0	27,3	29,2	29,9	28,4
20:10	24	23,6	23,4	23,9	22,5	23,5	22,8	23,3	23,6	23,4	24,8	25,0	23,3
21:10	22	18,0	18,0	18,0	17,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	19,6	19,7	18,0
22:10	22	18,0	18,0	18,0	17,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	19,6	19,7	18,0
23:10	21	18,0	18,0	18,0	17,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	19,5	19,6	18,0

**Taula 75. Marge d'error dels 12 models de càlcul de temperatura del panell. Font: Elaboració pròpia.**

	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>	<b>M7</b>	<b>M8</b>	<b>M9</b>	<b>M10</b>	<b>M11</b>	<b>M12</b>
<b>MAIG</b>	26%	22%	30%	19%	21%	15%	19%	24%	16%	24%	33%	21 <sup>o</sup> %
<b>JUNY</b>	11%	8%	13%	6%	8%	10%	7%	10%	13%	12%	14%	8%
<b>JULIOL</b>	14%	11%	16%	9%	12%	13%	10%	13%	16%	14%	18%	10%
<b>AGOST</b>	17%	16%	18%	19%	16%	16%	16%	17%	16%	13%	14%	16%
<b>TOTAL</b>	17%	14%	19%	13%	14%	13%	13%	16%	15%	16%	19%	14%

## ANNEX D – CÀLCUL DE LA TEMPERATURA DELS PANELLS

En aquest apartat es determina la temperatura dels panells per a les dues instal·lacions de les quals no es coneixia aquesta informació i pels mesos de la instal·lació 3 dels quals no es tenen aquestes dades.

Com s'ha vist el mètode que resulta més fiable respecte la realitat, per les instal·lacions d'estudi, és el model 2 anomenat "Sandia". Aquest mètode necessita la temperatura ambient, la irradiància i la velocitat del vent, apart de conèixer els coeficients a i b que es coneixen de forma empírica segons fonts bibliogràfiques com s'havia comentat abans. Aquest coeficients pel tipus de panell d'estudi són els mateixos valors tota l'estona.

L'equació és la presentada anteriorment com equació 3.

$$T_c = G \cdot \{e^{a+b \cdot V_s}\} + T_a \quad Eq. 3$$

Per a determinar doncs la temperatura dels panells de forma precisa, per la resta d'instal·lacions, es necessiten les dades meteorològiques presentades a l'annex A d'aquesta memòria.

Amb aquesta informació doncs es calcula per un dia de cada mes la temperatura dels panells de cada una de les instal·lacions que queden.

**D.1. Instal·lació 1****Taula 76. Temperatura de les plaques al llarg de l'any a la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.**

Tc °C	GEN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DES
0:15	3,9	7,7	10,0	10,9	11,2	15,1	20,0	19,6	18,9	6,2	9,7	9,1
1:15	3,5	7,3	9,5	10,5	10,4	15,3	19,5	19,2	18,5	5,7	8,8	9,1
2:15	3,1	6,7	9,4	10,3	9,8	15,6	19,2	18,8	18,1	5,3	8,3	9,0
3:15	2,5	6,6	9,2	10,0	9,5	16,0	18,7	18,6	18,0	5,0	7,7	8,9
4:15	1,9	6,6	9,0	10,0	9,2	15,8	18,3	18,3	17,8	4,7	7,2	8,7
5:15	1,4	7,0	8,6	9,9	10,2	16,6	19,1	18,1	17,7	4,4	7,2	8,3
6:15	1,2	6,9	8,2	13,6	14,4	23,2	25,4	22,7	19,4	4,1	7,2	8,2
7:15	1,3	7,9	15,3	21,8	20,5	28,9	33,0	31,2	28,3	8,7	7,9	7,6
8:15	9,5	11,6	21,7	28,1	22,5	32,8	39,3	40,0	38,1	16,6	10,8	13,4
9:15	20,4	25,9	26,0	35,2	36,6	36,5	44,8	45,4	45,8	23,6	29,7	19,6
10:15	29,6	33,1	23,8	41,1	34,0	40,9	49,1	49,5	49,7	37,2	34,3	25,5
11:15	33,7	36,5	32,4	41,1	45,2	43,4	51,4	51,9	51,9	41,5	36,2	30,4
12:15	34,7	37,3	37,4	34,6	34,5	39,3	51,9	51,6	51,7	41,2	36,7	30,9
13:15	33,4	36,3	36,0	27,6	22,6	36,5	50,2	50,6	49,3	36,0	34,5	29,8
14:15	29,3	27,6	32,0	26,9	24,6	32,6	46,0	47,2	46,1	30,4	29,5	26,2
15:15	23,0	16,8	25,3	27,0	29,9	33,7	41,4	43,0	40,6	24,1	23,7	21,7
16:15	16,6	17,7	20,0	23,9	22,1	30,8	34,1	37,8	28,5	16,1	15,3	13,6
17:15	10,9	12,3	15,0	18,3	19,8	26,0	29,7	32,2	27,6	12,6	13,6	11,9
18:15	9,7	11,0	12,5	15,9	17,3	22,0	26,7	28,1	24,4	10,9	13,3	10,6
19:15	9,1	10,5	11,6	14,9	16,4	19,4	24,1	25,8	22,9	10,9	11,8	10,1
20:15	8,9	10,2	11,1	13,9	15,5	18,0	23,5	24,3	21,8	9,8	10,5	9,1
21:15	8,1	9,5	10,8	13,3	14,7	16,8	23,0	23,1	20,3	8,3	9,7	8,6
22:15	6,6	8,0	10,6	12,8	14,5	15,9	21,2	22,2	19,4	7,1	9,1	8,1
23:15	5,7	7,3	10,4	12,9	14,4	15,3	20,2	21,6	18,7	6,5	8,7	7,0



## D.2. Instal·lació 3

**Taula 77. Temperatura de les plaques pels mesos dels quals no es disposen dades a la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.**

Tc °C	GEN	FEB	MAR	ABR	SET	OCT	NOV	DES
0:15	0,1	5,8	10,0	7,5	15,7	5,2	7,49	7,0
1:15	-0,3	6,0	9,5	7,2	15,2	4,4	7,36	6,5
2:15	-0,4	6,1	9,2	7,3	14,9	3,6	7,57	6,5
3:15	-0,5	5,8	9,0	7,0	14,5	3,0	7,70	6,7
4:15	-0,5	5,7	8,9	6,7	14,2	2,7	7,39	6,5
5:15	-0,8	5,9	8,9	6,7	13,9	2,5	6,93	6,2
6:15	-0,5	5,9	8,7	7,0	13,7	2,5	6,35	5,9
7:15	-0,8	6,1	10,9	10,1	16,4	2,7	6,20	5,6
8:15	-0,6	7,7	15,0	14,3	21,0	9,5	8,50	5,7
9:15	3,8	10,8	22,5	17,0	25,1	14,8	15,60	10,7
10:15	12,6	19,2	29,4	19,9	28,0	22,9	23,48	17,8
11:15	20,3	27,9	33,7	22,8	33,0	23,6	29,41	24,0
12:15	26,0	32,9	35,8	29,4	41,8	29,5	33,84	27,7
13:15	29,8	36,9	29,8	30,4	44,5	31,4	36,45	30,8
14:15	32,1	38,8	30,3	30,8	44,6	38,9	36,77	31,9
15:15	32,1	37,9	32,9	35,0	47,8	37,5	30,96	31,4
16:15	28,1	34,6	23,4	34,2	45,3	20,9	27,39	25,2
17:15	10,4	16,3	19,5	32,0	27,7	13,8	15,58	10,8
18:15	5,0	11,0	12,9	27,0	23,5	11,1	12,68	8,2
19:15	4,3	10,0	12,4	19,3	21,9	10,1	11,50	7,9
20:15	2,2	9,5	11,7	11,1	19,8	8,9	10,72	6,9
21:15	0,8	8,9	11,0	10,3	19,1	8,3	10,17	6,0
22:15	0,0	8,3	10,3	10,1	18,2	7,4	10,05	5,2
23:15	-0,3	8,3	9,6	9,6	17,6	6,4	10,00	4,5

**D.3. Instal·lació 4****Taula 78. Tempertura de les plaques a la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

Tc °C	GEN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DES
0:15	6,5	8,7	8,2	10,3	13,1	15,9	21,0	24,3	19,2	6,2	10,3	9,8
1:15	6,5	8,5	7,6	10,3	12,9	15,6	20,4	23,6	18,6	5,7	10,3	9,6
2:15	6,4	8,3	7,1	10,1	12,8	14,7	19,8	22,9	18,2	5,3	10,8	9,4
3:15	6,3	8,2	6,6	9,9	12,5	14,2	19,4	22,5	18,1	5,0	11,1	9,4
4:15	6,2	8,0	6,2	9,6	12,4	13,9	19,0	22,0	17,9	4,7	11,1	9,1
5:15	6,2	7,6	6,0	9,5	13,1	15,6	18,7	21,5	17,7	4,4	10,9	8,5
6:15	6,2	7,1	5,9	12,4	17,9	22,8	19,5	23,0	19,4	4,1	10,5	8,4
7:15	6,5	6,8	10,8	21,7	21,5	31,4	24,5	29,4	28,6	8,7	12,4	10,0
8:15	13,5	16,3	19,0	29,2	33,8	37,7	31,2	35,9	38,2	16,6	20,0	17,1
9:15	20,1	23,8	26,9	35,4	36,7	42,4	37,2	42,0	45,1	23,6	28,5	26,8
10:15	25,2	35,4	32,5	39,9	45,9	45,6	42,2	47,2	49,5	37,2	32,1	31,3
11:15	30,9	40,0	35,2	42,2	31,6	46,4	45,9	50,3	52,0	41,5	35,1	34,6
12:15	32,0	39,5	39,8	42,6	48,4	46,1	48,1	51,8	52,1	41,2	33,8	32,7
13:15	31,7	38,0	37,6	40,9	41,6	26,8	48,8	52,0	49,6	36,0	31,8	30,8
14:15	28,7	34,2	34,2	35,8	39,5	30,3	48,2	50,7	45,9	30,4	28,4	27,0
15:15	13,9	28,6	30,2	31,9	36,1	29,6	46,3	48,0	37,4	24,1	24,1	21,9
16:15	11,8	21,7	22,3	26,3	29,5	22,2	42,7	44,4	29,1	16,1	17,2	14,0
17:15	9,8	15,1	16,6	20,2	23,3	23,7	38,4	40,3	26,9	12,6	15,9	12,4
18:15	9,0	13,0	13,6	16,2	19,9	19,3	33,7	35,5	24,5	10,9	14,8	11,3
19:15	8,7	13,6	12,4	14,5	18,1	19,0	28,9	30,3	23,4	10,9	13,8	10,7
20:15	7,5	11,4	12,1	13,0	17,0	18,2	24,5	25,7	22,0	9,8	13,0	9,8
21:15	6,7	9,9	11,6	11,7	15,3	17,0	23,3	24,5	20,8	8,3	12,5	9,1
22:15	6,2	8,6	11,1	10,6	14,0	16,2	22,5	23,5	19,9	7,1	12,3	8,6
23:15	5,3	7,4	10,7	10,6	13,2	15,7	21,7	22,7	19,3	6,5	12,1	7,7

## ANNEX E – CÀLCUL DE LES PÈRDUES PER TEMPERATURA

En aquest apartat es duen a termes els càlculs necessaris per determinar quines són les pèrdues d'eficiència per temperatura de les 4 instal·lacions fotovoltaïques.

Una vegada es coneix la temperatura del panell fotovoltaic, la pèrdua d'eficiència que aquesta representa es calcula amb l'equació abans comentada:

$$Pèrdues (\%) = \beta \left( \frac{\%}{^{\circ}C} \right) \cdot \frac{T_c - 25}{100}$$

A partir d'aquí doncs, com es coneix la temperatura dels panells de totes les instal·lacions (algunes de forma exacta d'altres mitjançant l'aplicació del model 2 anomenat "Sandia", doncs ja es pot determinar la pèrdua percentual a la que poden arribar cada dia les instal·lacions fotovoltaïques.

El coeficient  $\beta$  de les instal·lacions 1 i 4 són iguals i el seu valor és el següent.

$$\beta_1 = -0,41 \%/^{\circ}C$$

$$\beta_4 = -0,41 \%/^{\circ}C$$

Per la instal·lació 3 ja s'ha donat anteriorment aquest valor.

Els coeficients a i b mantenen els mateixos valors que per la resta d'instal·lacions ja que s'està treballant amb la mateixa tipologia de panells. El paràmetre "a" pren un valor de -3,56 i el paràmetre "b" pren un valor de -0,075. Amb aquesta informació i les dades meteorològiques de l'Annex A es pot determinar la temperatura.



**E.1. Instal·lació 1****Taula 79. Pèrdues per temperatura promig de cada mes de la instal·lació 1. Font: Elaboració pròpia.**

	<b>PÈRDUES PROMIG HORES DIÛRNES</b>	<b>PÈRDUES MÀXIMES</b>
<b>GENER</b>	-0,23 %	-3,56 %
<b>FEBRER</b>	-1,60 %	-5,04 %
<b>MARÇ</b>	-1,35 %	-5,09 %
<b>ABRIL</b>	-2,34 %	-6,60 %
<b>MAIG</b>	-3,08 %	-8,30 %
<b>JUNY</b>	-3,96%	-7,53 %
<b>JULIOL</b>	-6,75 %	-11,02 %
<b>AGOST</b>	-7,54 %	-11,03 %
<b>SETEMBRE</b>	-7,35 %	-11,03 %
<b>OCTUBRE</b>	-1,90 %	-6,76 %
<b>NOVEMBRE</b>	-0,59 %	-4,78 %
<b>DESEMBRE</b>	0,12 %	-2,43 %
<b>TOTAL</b>	-3%	-6,93 %

**E.2. Instal·lació 2****Taula 80. Pèrdues per temperatura promig de cada mes de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

	<b>PÈRDUES PROMIG HORES DIÛRNES</b>	<b>PÈRDUES MÀXIMES</b>
<b>GENER</b>	1,27 %	-0,65 %
<b>FEBRER</b>	0,33 %	-1,66 %
<b>MARÇ</b>	-1,34 %	-3,64 %
<b>ABRIL</b>	-2,33 %	-5,15 %
<b>MAIG</b>	-3,77 %	-6,55%
<b>JUNY</b>	-4,90 %	-9,43 %
<b>JULIOL</b>	-6,96 %	-10,30 %
<b>AGOST</b>	-5,06 %	-8,42 %
<b>SETEMBRE</b>	-4,67 %	-7,42 %
<b>OCTUBRE</b>	-1,82 %	-3,82 %
<b>NOVEMBRE</b>	-1,35 %	-3,71 %
<b>DESEMBRE</b>	0,32 %	-0,86 %
<b>TOTAL</b>	-2,52 %	-5,13 %

**E.3. Instal·lació 3****Taula 81. Pèrdues per temperatura promig de cada mes de la instal·lació 3. Font: Elaboració pròpia.**

	<b>PÈRDUES PROMIG HORES DIÛRNES</b>	<b>PÈRDUES MÀXIMES</b>
<b>GENER</b>	0,68 %	-2,56 %
<b>FEBRER</b>	-1,11 %	-6,36 %
<b>MARÇ</b>	-1,65 %	-4,97 %
<b>ABRIL</b>	-1,31 %	-4,61 %
<b>MAIG</b>	-2,43 %	-7,92 %
<b>JUNY</b>	-5,56 %	-11,16 %
<b>JULIOL</b>	-6,51 %	-11,52 %
<b>AGOST</b>	-4,84 %	-11,88 %
<b>SETEMBRE</b>	-4,48 %	-10,48 %
<b>OCTUBRE</b>	-1,12 %	-6,38 %
<b>NOVEMBRE</b>	-1,25 %	-5,41 %
<b>DESEMBRE</b>	0,02 %	-3,18 %
<b>TOTAL</b>	-2,46%	-7,21 %

**E.4. Instal·lació 4****Taula 82. Pèrdues per temperatura promig de cada mes de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

	<b>PÈRDUES PROMIG HORES DIÛRNES</b>	<b>PÈRDUES MÀXIMES</b>
<b>GENER</b>	-0,44 %	-2,87 %
<b>FEBRER</b>	-2,33 %	-6,14 %
<b>MARÇ</b>	-1,82 %	-6,05 %
<b>ABRIL</b>	-3,40 %	-7,22 %
<b>MAIG</b>	-3,68 %	-9,59 %
<b>JUNY</b>	-4,44 %	-8,76 %
<b>JULIOL</b>	-7 %	-8,73 %
<b>AGOST</b>	-8,42 %	-11,09 %
<b>SETEMBRE</b>	-7,21 %	-11,11 %
<b>OCTUBRE</b>	-2,57 %	-6,76 %
<b>NOVEMBRE</b>	-0,99 %	-4,12 %
<b>DESEMBRE</b>	-0,30 %	-3,94 %
<b>TOTAL</b>	-3,55 %	-7,2 %



## ANNEX F – ANÀLISIS DE LES PÈRDUES PER BRUTICIA

Per a dur a terme aquest estudi es presenten les dates que es prenen de referència amb l'energia fotovoltaica total que es va generar cada dia i amb la radiació diària mitja d'aquell dia exacte a la estació de la Generalitat de Girona [23].

Disposar de la radiació de cada dia permetrà diferenciar millor les pèrdues per brutícia de les pèrdues per radiació abans i després de les neteges.

### F.1. Instal·lació 1

La neteja d'aquesta instal·lació es va realitzar el dia 11 de febrer.

*Taula 83. Energia produïda per la instal·lació 1 abans i després de la neteja. Font: Elaboració pròpia.*

DATA	ENERGIA FV [kWh]	RADIACIÓ [MJ/m <sup>2</sup> ]
25/01/2022	25,83	8,3
26/01/2022	38,08	11
27/01/2022	38,44	11,2
28/01/2022	38,98	11,4
29/01/2022	38,62	11,6
30/01/2022	39,66	11,6
31/01/2022	34,3	10,5
01/02/2022	38,01	11,2
02/02/2022	40,5	12
03/02/2022	35,19	9,4
04/02/2022	22,57	7,5
05/02/2022	26,08	9,9
06/02/2022	36,07	10,8
07/02/2022	41,12	12,3
08/02/2022	42,11	12,6
09/02/2022	43,61	12,9
10/02/2022	40,46	12,9

<b>DATA</b>	<b>ENERGIA FV [kWh]</b>	<b>RADIACIÓ [MJ/m2]</b>
11/02/2022	28,55	9,9
12/02/2022	13,34	5,6
13/02/2022	14,04	9,8
14/02/2022	16,32	4,9
15/02/2022	43,74	13,6
16/02/2022	27,36	9,5
17/02/2022	26,19	12,2
18/02/2022	47,06	14,7
19/02/2022	3,67	1,4
20/02/2022	48,4	13,9
21/02/2022	48,53	15,2
22/02/2022	42,19	13,8
23/02/2022	47,2	15,1
24/02/2022	44,09	13,9
25/02/2022	24,18	8,3
26/02/2022	51,85	16,6
27/02/2022	42,94	14,8
28/02/2022	32,22	13,1

## F.2. Instal·lació 2

La neteja d'aquesta segona instal·lació es va realitzar el dia 16 de juny.

**Taula 84. Energia produïda abans i després de la neteja de la instal·lació 2. Font: Elaboració pròpia.**

DATA	ENERGIA FV [kWh]	RADIACIÓ [MJ/m <sup>2</sup> ]
01/06/2022	712,85	30,2
02/06/2022	643,21	26,9
03/06/2022	660,86	27,2
04/06/2022	499,24	28,1
05/06/2022	445,39	29,3
06/06/2022	463,3	28,4
07/06/2022	643,81	24,5
08/06/2022	362,57	15,9
09/06/2022	546,56	24,9
10/06/2022	696,94	31,4
11/06/2022	584,33	30,4
12/06/2022	577,92	28
13/06/2022	650,23	26,2
14/06/2022	548,23	22,6
15/06/2022	592,59	25,1
16/06/2022	641,23	27,7
17/06/2022	656,47	26,7
18/06/2022	654,18	28,6
19/06/2022	484,33	28,6
20/06/2022	675,55	25,9
21/06/2022	427,64	15,5
22/06/2022	485,18	21,3



<b>DATA</b>	<b>ENERGIA FV [kWh]</b>	<b>RADIACIÓ [MJ/m2]</b>
23/06/2022	722,21	30,1
24/06/2022	598,6	22,1
25/06/2022	599,94	30,2
26/06/2022	622,11	24,2
27/06/2022	526,85	26,2
28/06/2022	673,58	29,8
29/06/2022	594,7	30,4
30/06/2022	629,32	27
01/07/2022	677,33	28,2
02/07/2022	351,91	28,4
03/07/2022	429,15	28,1
04/07/2022	660,93	29,1

### F.3. Instal·lació 4

En el cas d'aquesta instal·lació l'últim any s'hi han fet dues neteges. Per tant es presenten les dades necessàries per avaluar tant la primera com la segona. La primera es va realitzar l'11 de maig i la segona el 2 de setembre.

De la segona neteja es disposa de molt poques dades i saltades, es veurà que les dates no són correlatives algunes però no es disposava de tota la informació.

**Taula 85. Energia produïda abans i després de la primera neteja de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

DATA	ENERGIA FV [kWh]	RADIACIÓ [MJ/m <sup>2</sup> ]
04/05/2022	222,3	14,3
05/05/2022	420,72	27,8
06/05/2022	386,79	28,4
07/05/2022	361,23	25,3
08/05/2022	247,6	16,3
09/05/2022	294,82	18
10/05/2022	407,89	27,5
11/05/2022	440,34	28,9
12/05/2022	443	29,2
13/05/2022	437,62	27,2
14/05/2022	407,28	27,2
15/05/2022	423	26,7
16/05/2022	414	26,9
17/05/2022	432,8	28,3
18/05/2022	399,64	26,6
19/05/2022	435,16	27

**Taula 86. Energia produïda abans i després de la segona neteja de la instal·lació 4. Font: Elaboració pròpia.**

<b>DATA</b>	<b>ENERGIA FV [kWh]</b>	<b>RADIACIÓ [MJ/m<sup>2</sup>]</b>
19/08/2022	395,96	26,6
24/08/2022	372,74	24,6
30/08/2022	331,87	22,6
01/09/2022	373,2	23,6
04/09/2022	355,35	21,8
05/09/2022	322,88	19,4